

Sissejuhatus ehitusinfo modelleerimisse (BIM)

Konspekt
Raido Puust

Sisujuht

1.	Sissejuhatus BIMi	8
1.1.	Algupärane ärimudel ning võrdlus BIM-iga	8
1.1.1.	<i>Design-Bid-Build</i>	9
1.1.2.	<i>Design-Build</i>	11
1.1.3.	<i>Construction Management at Risk</i>	13
1.1.4.	<i>Integrated Project Delivery</i>	13
1.1.5.	Millist meetodit valida?	13
1.2.	Dokumenteeritud ebaefektiivsused klassikalises meetodis	13
1.3.	Uued töövahendid ning uued protsessid.....	15
1.3.1.	Parameetriliste objektide definitsioon	16
1.3.2.	Projektmeeskonna kootöötamise tugi.....	17
1.4.	Mis ei ole BIM tehnoloogia?	17
1.5.	Mis ei ole BIMi eelised? Milliseid probleeme aitab see lahendada?	18
1.5.1.	Ehituse ettevalmistusega seotud kasu omanikule.....	18
1.5.2.	Projekteerimisega seotud eelised.....	18
1.5.3.	Ehitamise ning tootmisega seotud eelised	19
1.5.4.	Ehitusjärgsed eelised	21
1.6.	Milliseid väljakutseid võib oodata?.....	21
1.6.1.	Koostööst tingitud väljakutsed	21
1.6.2.	Õiguslikud muudatused dokumentatsiooni omanduses ja tootmises.....	21
1.6.3.	Muudatused praktikas ning teabe kasutamises	22
1.6.4.	Rakendamise seotud probleemid	22
1.7.	Küsimused aruteluks.....	22
2.	BIM töövahendid ning parameetiline modelleerimine	24
2.1.	Objekti-põhise, parameetrilise modelleerimise areng	24
2.1.1.	Varasem 3D modelleerimine	24
2.1.2.	Ehitiste objektipõhine parameetiline modelleerimine.....	30
2.1.3.	Parameetrilise modelleerimise võrdlus	31
2.2.	Ehitiste parameetiline modelleerimine	32
2.2.1.	Parameetiline modelleerimine	32
2.2.2.	Parameetiline modelleerimine ehituses.....	34
2.2.3.	Kasutajapõhised parameetrilised objektid	35
2.3.	Parameetrilistest kujunditest väljaspool.....	36
2.3.1.	Relatsioonilised struktuurid	36
2.3.2.	Parameetrite ning atribuutide haldus.....	37

2.3.3.	Jooniste loomine	38
2.3.4.	Skaleerivus	40
2.3.5.	Objekti haldus ning lingid.....	40
2.3.6.	Mõned enamlevinud küsimused.....	41
2.4.	BIM keskkonnad, platvormid ning töövahendid.....	42
2.5.	Ülevaade enamlevinud BIM platvormidest	43
2.5.1.	Kui BIM töövahend.....	43
2.5.2.	Kui BIM platvorm	43
2.5.3.	Kui BIM keskkond.....	45
2.6.	BIM platvormid	45
2.6.1.	Autodesk Revit	45
2.6.2.	Bentley AECOSim Building Designer.....	46
2.6.3.	GRAPHISOFT ArchiCAD.....	47
2.6.4.	Digital Project.....	47
2.6.5.	Vectorworks	48
2.6.6.	Tekla Structures	49
2.6.7.	DESTINI Profiler	50
2.6.8.	AutoCAD põhised rakendused	50
2.7.	Kergekaalulised modelleerimise rakendused	50
2.8.	Küsimused aruteluks	51
3.	Koostalitlusvõime.....	52
3.1.	Sissejuhatus.....	52
3.2.	Erinevad andmevahetusformaadid.....	54
3.3.	Erinevate andmemudelite taust	56
3.3.1.	ISO-STEP ehitiste ehituses.....	56
3.3.2.	IFC (buildingSMART).....	57
3.3.3.	Mis see IFC on?	57
3.3.4.	IFC ulatus.....	59
3.3.5.	IFC kasutus BIM standardites.....	60
3.3.6.	IFC kaasatus koostalitlusvõimes.....	61
3.4.	Standardiseerimise teised suunad	62
3.4.1.	buildingSMART Data Dictionary	62
3.4.2.	OmniClass.....	62
3.4.3.	COBie.....	62
3.4.4.	XML-põhised skeemid	62
3.5.	Faili põhiselt jagamisest ehitise andmemudeli hoidlani	63

3.5.1.	Projekti ülekanded ning sünkroniseerimine	63
3.5.2.	BIM serverite funktsionaalsus.....	65
3.5.3.	BIM serverite näited	66
3.6.	Küsimused aruteluks	67
4.	BIM omanikule ning haldajale.....	69
4.1.	Miks peaksid omanikud hoolima BIM-st?.....	69
4.2.	BIM rakendusvaldkonnad omanikele	71
4.2.1.	Projektinfo hinnang.....	72
4.2.2.	Ehitiste keerukus.....	73
4.2.3.	Jätkusuutlikkus	73
4.2.4.	Maksumuse usaldatavus ning haldamine	74
4.2.5.	Turundamise aeg.....	75
4.2.6.	Varahaldus	76
4.3.	BIM töövahendi valik omaniku perspektiivist.....	76
4.3.1.	BIMi põhise eelarvestuse töövahendid.....	76
4.3.2.	Ehitise varahalduse töövahendid.....	77
4.3.3.	Opereerimise simulatsiooni töövahendid.....	77
4.4.	Omaniku ning haldaja ehitise mudel	78
4.5.	BIMi rakendamise juhtimine projekti vältel.....	79
4.5.1.	Standardite arendamine BIMi põhiste projektidele	80
4.5.2.	Ettevõtte sisese eestvedamise ning teadmiste tekitamine	80
4.5.3.	Teenusepakkuja valik	80
4.5.4.	Kvalifitseeritud BIM teenusepakkujate võrgustiku loomine ning harimine	81
4.5.5.	Üleandmise nõuete muutmine: lepingute ning lepinguvormide redigeerimine	82
4.6.	BIMi rakendamisega seotud takistused: riskid ning müüdid	84
4.6.1.	Protsessiga seotud takistused.....	85
4.6.2.	Tehnoloogilised riskid ning takistused, rakendatav ühe valdkonna piires	86
4.7.	Juhendid ning küsimused omanikele, millega peab <i>BIM</i> kaasamisel arvestama	87
4.8.	Küsimused aruteluks	88
5.	BIM projekterijale	89
5.1.	Sissejuhatus.....	89
5.2.	Projekteerimise ulatus	91
5.2.1.	Koostööl baseeruv projekti edastus.....	92
5.2.2.	Informatsiooni loomise kontseptsioon	93
5.3.	BIMi kasutus projekteerimisprotsessides	94
5.3.1.	BIMi põhine kontseptsioonide loomine.....	95

5.3.2.	Ehitise süsteemide projekteerimine, analüüsid, simulatsioon ning kontroll.....	103
5.3.3.	Ehitustäpsusega ehitise mudelid	107
5.3.4.	Projekteerimise-ehituse integratsioon	110
5.3.5.	Projekti läbivaatus.....	111
5.4.	Ehitise objektide mudelid ning raamatukogud.....	113
5.4.1.	Kogemuse kaasatus ehituskomponentidesse.....	114
5.4.2.	Objekti raamatukogud	115
5.4.3.	<i>BOM</i> portaalid.....	117
5.4.4.	Installeeritavad või sisevõrgu raamatukogud	118
5.5.	Mõtteid rakendamaks igapäevasesse projekteerimispraktikasse	118
5.5.1.	BIMi õigustus.....	118
5.5.2.	Koolitus ning kasutuselevõtt.....	120
5.5.3.	Järk-järguline kasutamine	121
5.6.	Uus ning muutuv personal	121
5.7.	Küsimused aruteluks.....	123
6.	BIM ehitajale	124
6.1.	Sissejuhatus.....	125
6.2.	Ehitusettevõtete tüübid.....	125
6.3.	Ehitajate infovajadus BIM-st	127
6.4.	Ehitusinfo mudeli loomise protsess ehitajale	129
6.5.	Projektvigade vähendamine läbi vastuolude kontrolli	130
6.6.	Mahtude väljavõtte ning eelarvestus.....	133
6.6.1.	Mahtude eksport eelarvestuse paketti.....	134
6.6.2.	BIM komponentide linkimine eelarvestuse paketiiga	134
6.6.3.	Mahtude väljavõtte töövahendi kasutamine.....	135
6.6.4.	Juhtnõore ning BIMi rakendamisega seotud probleeme, et toetada mahtude väljavõtet ning eelarvestamist.....	136
6.7.	Ehitusega seotud analüüsid ning planeerimine	137
6.7.1.	Ehituse planeerimise toetamine läbi <i>4D</i> mudelite.....	139
6.7.2.	<i>4D</i> mudelite eelised	140
6.7.3.	<i>4D</i> modelleerimise protsessid.....	141
6.7.4.	BIM-toega planeerimise ning ajagraafikute loomise probleemid ning juhised.....	145
6.8.	Integratsioon eelarvestuse, planeerimisega ning teiste haldussüsteemidega.....	147
6.9.	Kasutamine eeltootmises.....	148
6.10.	BIMi kasutamine ehitusplatsil: ehitustegevuste kontroll, juhtimine ning järgimine.....	149
6.11.	BIMi ning timmitud ehituse koostöö	150

6.12.	Mõju hankelepingutele ning organisatorsetele muutustele	152
6.13.	BIMi rakendamine.....	152
6.14.	Küsimused aruteluks	153
7.	BIM alltöövõtjale.....	154
7.1.	Sissejuhatus.....	154
7.2.	Alltöövõtjate ning tootjate liigitus	155
7.2.1.	Insenerlahendusega komponentide tootjad	156
7.2.2.	Projekteerimisteenuse pakkujad	156
7.2.3.	Spetsialiseerunud koordineerijad	156
7.3.	BIM protsessi eelised alltöövõtule.....	156
7.3.1.	Turundus ning pakkumine	158
7.3.2.	Tootmistsüklite vähenevad ajad	158
7.3.3.	Projekti koordineerimisega seotud vigade vähenemine	160
7.3.4.	Vähenev inseneriiaga ning koostejooniste tegemisega seonduv kulu	162
7.3.5.	Automaatsete tootmistehnoloogiate suurem kasutus.....	164
7.3.6.	Eelkooste- ning eeltootmise kasv	164
7.3.7.	Kvaliteedikontroll, tarneahela haldus ning elukaare põhine hooldus	166
7.4.	BIMi kasutusega protsesside muutmise.....	167
7.4.1.	Timmitud ehitus.....	167
7.4.2.	Vähem paberit ehituses	168
7.4.3.	Töö parem jagatavus.....	169
7.5.	Üldised nõuded BIM süsteemile tootjate tähenduses.....	169
7.5.1.	Parameetrilised ning kohandatavad komponendid ning seosed.....	170
7.5.2.	Komponentide raporteerimine tootmiseks	170
7.5.3.	Liidestus juhtimisinfosüsteemile.....	171
7.5.4.	Koostalitlusvõimekus	172
7.5.5.	Informatsiooni visualiseerimine.....	172
7.5.6.	Tootmistevõimude automatiseerimine.....	173
7.6.	Peamiste tootjate liigitus ning nende erivajadused.....	173
7.6.1.	Teraskonstruktsioon	174
7.6.2.	Monteeritav betoon.....	174
7.6.3.	Raudbetoonvalu.....	175
7.6.4.	Fassaadisüsteemid	176
7.6.5.	KV, elekter ning torustikud	177
7.7.	BIMi kaasamine tootmistevõimustesse	179
7.7.1.	Asjakohaste eesmärkide seadmine.....	180

7.7.2.	Tegevused omaks võtmisel	181
7.7.3.	Üleminekutempo planeerimine	182
7.7.4.	Inimressurssidega seotud kaalutlused	183
7.8.	Küsimused aruteluks	183
	Kasutatud kirjandus	184

1. Sissejuhatus BIMi

BIMi esmamainimiseks ehitussektori kontekstis võib pidada aastat 2004 (Eastman et al., 2011). BIMi mõiste tuleneb ingliskeelsetest sõnadest *building information modelling*, mis on eestikeelsena kasutusel kui ehitusinfo modelleerimine. Tänapäevaks on BIM mõjutamas kogu ehitussektorit, mida on peetud küllaltki traditsiooniliseks või raskesti muudetavaks valdkonnaks. BIM ei tähenda lihtsalt tehnoloogia kasutusele võtmist, vaid on vägagi protsessikeskne muudatuste kogum. BIMi üheks eesmärgiks on esitada ehitist (selle mõiste alla läheb nii hoone kui taristu) läbi intelligentsete objektide/komponentide, mis ühelt poolt kaasavad endas väga detailset infot objekti/komponendi enese kohta aga ka linke või seotust teiste objektidega. BIM ei muuda üksnes põhimõtet, kuidas ehitisega seotud jooniseid või visualiseeringuid luuakse, vaid mõjutab kõiki olulisi protsesse, mis on kaasatud ehitise kui terviku loomises: tellija nõuete/vajaduste kaasamine ruumiplaneeringute tähenduses ja/või eskiisina; projektlahendite võrdlus energia kasutuse, konstruktsiooni-, ruumi-, sobitumise tähenduses aga ka maksumuse ning ehitatavuse analüüs. Neid aspekte on aga palju teisigi, mis ennekõike sõltuvad BIMi rakendamise valdkonnast (hoone, taristus jne). BIMi teine oluline verstapost on, et selle juures kaasatud alati kogu meeskond, kes on suunatud koostööle nii ühe osamudeli kui ka terviku tähenduses. Kaasatud meeskond võtab sõna, kuidas ehitist tegelikult välja ehitatakse, kaasates muuhulgas (nt komponentide tasandil) tehases toimuvat ettevalmistust läbi erinevate allhankijate. Aga BIMi kasutamine ei lõpe ehitise valmimisega, vaid jätkub ehitise korrashoiu (haldus- ning hooldusetapis). BIM mõjutab kõiki neid protsesse, kuhu on senisest rohkem kaasatud intelligentsust ning efektiivsust. Olemasolevate protsesside uuendamine/värskendamine tähendab uute võimaluste kaasamist, muuhulgas koondmudeli mõiste, mille kaudu teostatakse juba enne ehitusprotsessi algust olulisi analüüse, et vältida võimalike vigasid ehitamise käigus. Näiteks vastuolude kontroll. BIMi tähenduses töötab kogu projekti meeskond ehitusprotsessi ajal reaajas, milles 2D jooniste osatähtsus/vajadus on viidud miinimumini. BIM muudab ka põhimõtteid, kuidas koostatakse lepinguid, järgides näiteks IPD põhimõtteid (ingl *integrated project delivery*, eestikeelsena kui *integreeritud projekti teostus*). IPD-st kui koostööle suunatud ning lepingulisest paradigmast (suuna muutusest) hakati suure häälega rääkima alates 2008. aastast ning sellest tuleb juttu edaspidi.

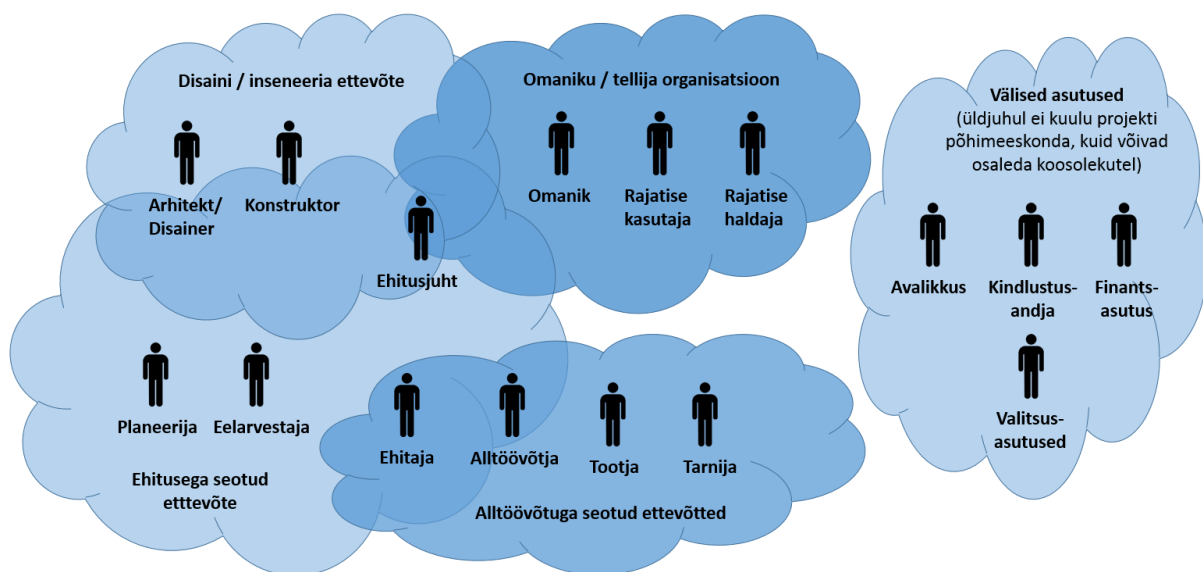
BIMi mõistet tuleks ennekõike vaadata kui tegevust (modelleerimine, informatsiooni modelleerimine, informatsiooni haldamine) ning mitte kui asja (mudel). See, miks BIMi juures räägitakse erinevatest mõistetest, tulenebki asjaolust, kas viimast tähte (ehk siis „M“) esitatakse kui nimisõna ehk „mudel“ (ingl *model*), modelleerimisena (ingl *modelling*) või hoopis informatsiooni haldamisena (ingl *management*). BIMi kasutusele võtmine tähendab põhimõttelist muudatustest tänastes tegevustes kui protsessides ning pole kinni pelgalt tarkvaras. Suurim roll on just inimese tegevusel, mille käigus muudetakse paljusid protsesse nii projekteerimise, ehitamise kui ka korrashoiu tähenduses. Väga oluline on tähele panna ka BIMi laiemat tähendust. See võimaldab meil projekte ellu viia senisest keskkonnasäästlikumalt nii ehitise ehitamise kui korrashoiu vaatevinklist – vähem raiskamist/kulusi, madalam risk (sh finantsiline) kui seda võimaldavad traditsioonilised (mitte BIMi põhimõtteid rakendavad) praktikad.

1.1. Algupärane ärimudel ning võrdlus BIM-iga

Üks levinumaid probleeme 2D suhtluse juures ja seda just projekteerimise etapis, on asjaolu, et väga palju aega kulutatakse kriitilise info läbi analüüsimiseks, mis kaasab kavandatud projektlahendust, eelarvestust, energiakasutust (kui räägime hoonest), konstruktsiooni koostejoonist jpm. Neid tehakse väga viimasel etapil, mis omakorda tähendab, et muudatusi on peaaegu võimatu sisse viia. Kui need, iteratiivsed parandused ei juhtu projekteerimise faasis, on vaja kasutada n-ö väärtuspõhist inseneriteadmist, et need probleemid jooksvalt lahendada, mis tähendab, et algne kavand kannatab. Vaatame lähemalt, kuidas ühte ehitise projekti saab iseloomustada (ca 10 milj. €) (Hendrickson 2003).

- Projektis osalejate arv (ettevõtted): 420 (kõiki allhankijaid, tootjaid kaasa arvatud)
- Indiviidi tasandil, osalejate arv: 850
- Erinevate dokumendi tüüpide arv: 50
- Dokumentide lehekülgede arv: 56 000
- Projekti kaustade hoiustuskarpe: 25
- Sahtlikappe (4 sahtliga): 6
- Paberivajadusest lähtuv, maha võetavate puude arv (D = 500 mm, 20-aastased, 15 m kõrgused): 6
- Võrdväärne andmehulk, mis vajalik, et hoida seda paberimahtu skaneeritult (paberitelt): 3 GB

On selge, et sellist hulka inimesi ning dokumente pole lihtne hallata/juhtida. Ja seda sõltumata lepinguvormist. Allpool on esitatud illustratsioon projekti meeskonna liikmetest ja nende kokkukuuluvusest.



Joonis 1.1. Põhimõtteline diagramm, mis esitab ehitussektori projekti meeskonna ning nende tüüpilised organisatoorsed piirjooned (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 3).

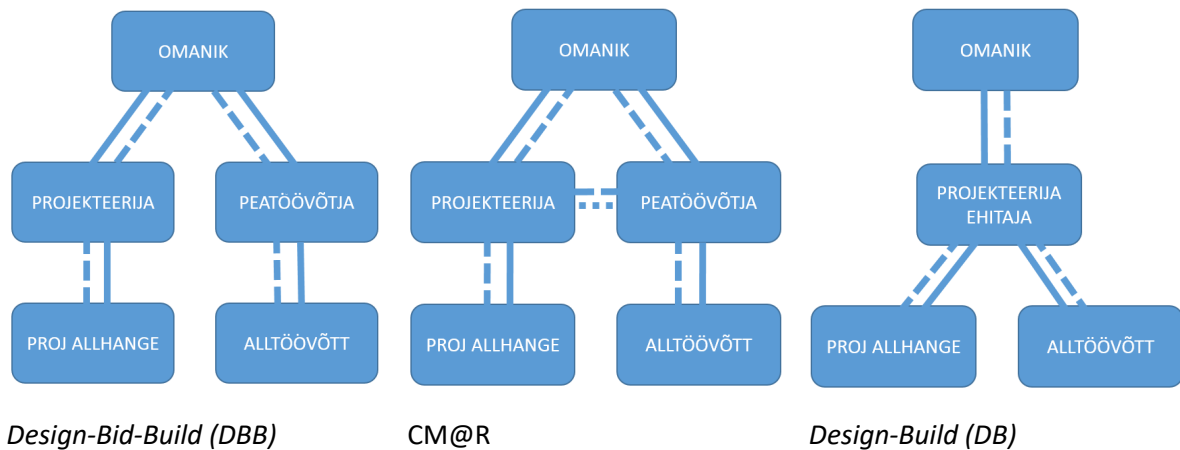
Laias laastus on kolm kõige laiemalt kasutusel olevat lepinguvormi: (a) *Design-Bid-Build*, (b) *Design-Build*, (c) *Construction Management at Risk*. Ehkki nendest on mitmeid variatsioone, siis selgelt eristuv neist kolmest on üks, mis kannab nimetust *Integrated Project Delivery* (IPD) – ennekõike on selle n-ö võidukäik tekkinud kogenumate ehitise omanike/valdajate seas.

1.1.1. *Design-Bid-Build*

Märkimisväärne hulk ehitusega seotud projekte viiakse ellu just selle lepinguvormiga, *Design-Bid-Build* (DBB) (isegi kuni 90% avalikest projektidest ning 40% erasektoris olevatest – aasta 2002 analüüs, DBIA 2007). Seda projekti iseloomustab asjaolu, et projekteerimine ning ehitamine korraldatakse eraldi hangetena. Eelised sedalaadi lähenemise juures on:

- konkurentsi teel saavutatav madalam projekti maksumus omanikule;
- väiksem poliitiline surve valida kindlat ehitajat (ennekõike oluline avalike projektide juures).

Allolevalt (joonis 1.2) on visualiseeritud kolm eelnimetatud hanke meetodit.



Joonis 1.2. Enamlevinud hankemeetodid (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 4).

DBB meetodi korral palkab tellija (omanik) endale arhitekti/projekterija, kes seejärel arendab välja ehitise vajadusest lähtuvad nõuded (ruumiprogramm, ruumiline planeerimine) ning määratleb projekti eesmärgid. Projekterimisena läbitakse mitu etappi: eskiis, eelprojekt, põhiprojekt ning tööprojekt. Lõpp-dokumendid peavad rahuldama ehitisega seotud ruumiprogrammi ning olema kooskõlas kohalike ehitiste kodeeringutega. Peatöövõtja, kas palkab või teeb lepingu konsultantidega, kes loovad erinevad osamudelid. See kõik kajastub jooniste näol (plaanid, vaated 3D visualiseeringud), mis peavad olema koordineeritud, et peegeldada kõiki aja jooksul tekkinud muudatusi. Viimane komplekt jooniseid peab olema piisava detailsusega, et saaks edasi liikuda ehitushanke juurde. Võimalikust vastutusest sõltuvana, võib arhitekt/projekterija lisada joonistesse vähem detailsust või kaasata märkuseid, et jooniseid ei saa võtta 100% täpsena (ka mõõtude tähenduses). Sedalaadi „harjumused“ viivad aga tihti peale vaidlusteni ehitajaga, kes avastab olulisi puuduseid, mis aga tähendab lisavastutust ning lisakulu.

Järgneb peatöövõtja hange. Tellija ning arhitekt/projekterija võivad teha koostööd, milles määravad tingimused, kes töövõtjatest (ehitajatest) saavad hankes osaleda. Iga töövõtja peab saama jooniste ning spetsifikatsioonide komplekti, et seeläbi luua individuaalne mahtude arvestus. Need mahud ühes alltöövõtja pakkumistega moodustavad hinnapakumuse. Allhankijad läbivad analoogse protsessi koos peatöövõtjaga. Kuna iga pakkumuse koostamine on reaalne ajakulu/tööaeg, siis kulutavad ehitajad (peatöövõtja, alltöövõtja) ca 1% oma eeldatavast kulust pakkumuse koostamisele (hanke-dokumentatsiooni läbi töötamine, mahtude väljavõtete koostamine, alltöövõtjatega koordineerimine ning maksumuse/pakkumise koostamine). Kui töövõtja võidab ühe ca 6-10st hankest, milles nad osalevad, võrdub ühe eduka pakkumise kulu ca 6-10% kogu projekti eelarvest. Need kulud kaasatakse kui peatöövõtja ning alltöövõtja üldkuluna.

Hanke võitnud osaline on seega madalaima hinna pakkuja, mis kaasab nii peatöövõtja kui alltöövõtja kulu. Enne tegelike tööde algust on tavapärase, et peatöövõtja peab tegema täpsustusi joonistes, et esitada ehitamise protsessi või staadiumi. Neid täpsustusi võib nimetada ka kui üldisteks tööprotsessi joonisteks. Samas kui alltöövõtja ning tootja peavad looma/saama tööjoonised, mis realselt

peegeldavad detaili/elementi, mida on vajalik ehitusprotsessi käigus (nt monteeritavad betoonelemendid, teraskonstruksioonide detailid, torustiku elemendid jpt).

Kõige olulisem ning täpsem roll on siin täita tööjoonistel, kuna need kirjeldavad tootmisprotsessi. Kui need on ebatäpsed või poolikud, või baseeruvad joonistel, mis juba sisaldasid vigasid/ebakooskõlasid – tekivad aja- ning ressursimahukad konfliktid ehitusplatsil.

Ebakooskõla, ebatäpsus ning ebakindlus projektdokumentatsioonis teeb materjalide/toodete valmistamise tehases keerukaks. Seega peab see toimuma ehitusplatsil ja olukorras, kus kõik eeldused/tingimused paigas. Ehitusplatsil tootmine/ehitamine on aga märksa kallim, ajamahukam ning lisaks on võimalik ka vigade tekkimise oht, mis oleks olnud välistatud, kui seda oleks tehtud tehaste tingimustes, kus kulu ning kvaliteedikontroll on paremini kontrollitav.

Ehitamise käigus viiakse projekti sisse mitmeid muudatusi – mis olid põhjustatud näiteks teadmatusest lähteolukorraga arvestamisest või tehti materjalide saadavuse osas valearvestus ja neid põhjuseid on veel. Kõik need muudatused tuleb lahendada projekti meeskonna poolt. Esmalt tõstatub küsimus, mis tuleb delegerida vastavalt selle iseloomust vastutavale osalisele. Seda nimetame ka kui info päring (*request for information* ehk RFI), milleks võib kasutada ka mõnda veebipõhist töövahendit ning millele peab siis vastama projekteerija või mõni teine osaline, kes just selle osa eest vastutab. Seejärel järgneb muudatuse sisseviimise etapp (*construction change order* ehk CCO), mille käigus teavitatakse muudatusest kõiki mõjutatud osalisi ja mille tagajärjel valmivad jooniste täpsustused. Sedalaadi protsess viib aga tihtipeale ka vaidlusteni, mis tõstab kulu ning ehitustähtaeg lükkub edasi. Ehkki veebipõhised töövahendid aitavad kommunikeerida probleemi kui sellist, ei käsitle need kõige olulisemat aspekti, milleks on probleemi allikas. Miks see probleem tekkis?

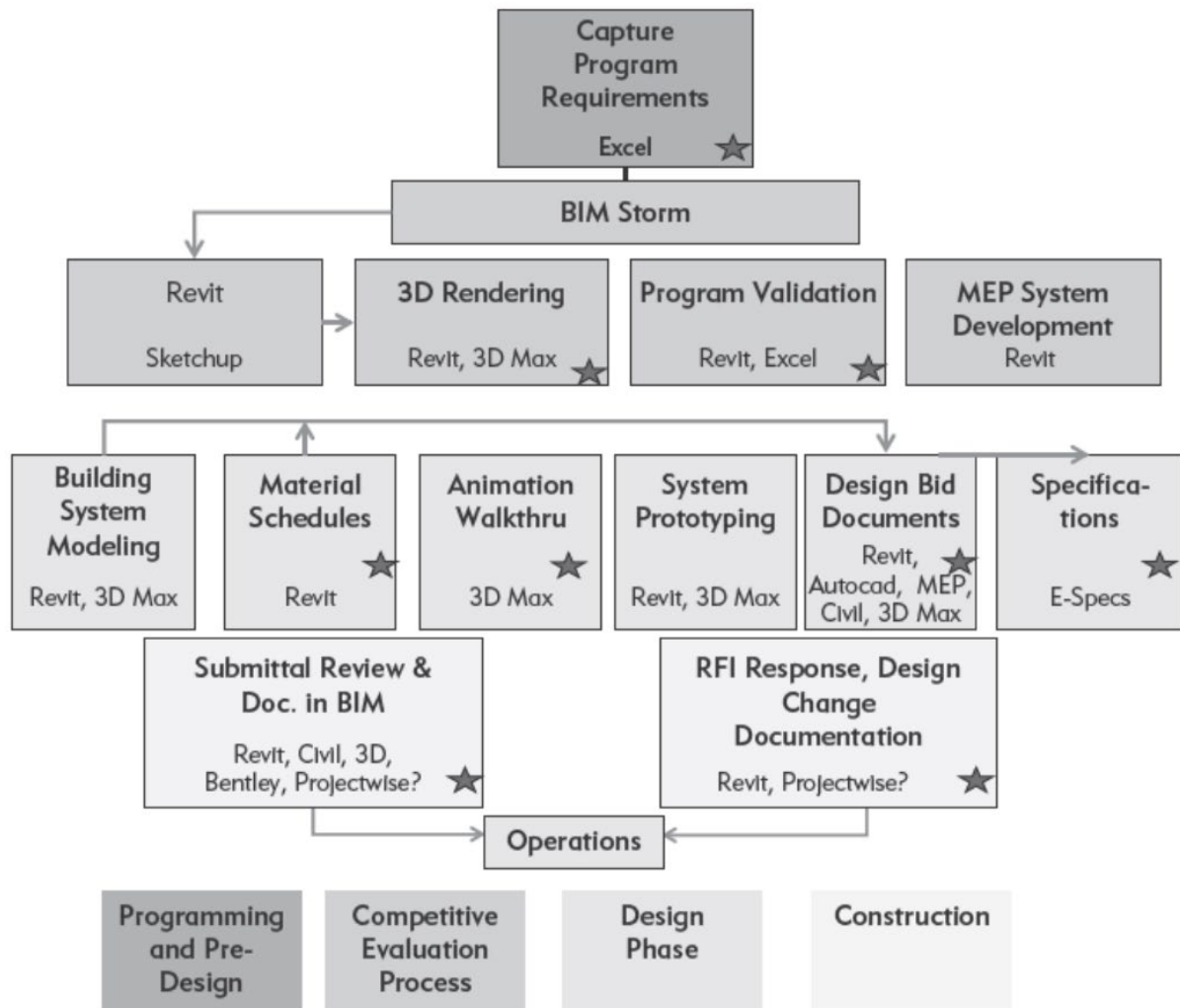
Probleemid ilmnevad tihtipeale ka asjaolul, kus ehitaja pakub alla omahinna, et võita pakkumine. Seetõttu võib ehitaja püüda leida viise, kuidas hüvitada alla omahinna tehtud pakkumust. See omakorda tekitab vaidlusi tellija ning projekti meeskonna vahel.

DBB projekti ajakava on üldjuhul pikem kui DB projekti puhul. Seda asjaolul, materjalide hankimine peab olema tagatud kuniks omanik pakkumuse kinnitab. Viimane etapp on ehitise vastuvõtmine peale selle ehitusliku osa lõppu. See kaasab ehitises olevate süsteemide testimist (nt hoones: küte-, ventilatsioon, elektrisüsteemid, VK, sprinklersüsteemid jne), et need ka realselt töötavad. Alles seejärel ning sõltuvalt lepinguga paika pandud nõuetest, luuakse lõplik komplekt jooniseid (teostusjooniseid), mis kajastab ka ehituse käigus tehtud muudatusi. Need edastatakse omanikule ühes installeeritud seadmete hooldusjuhustega. Just sel hetkel võib DBB protsessi lugeda lõpetatuks.

Kuna kogu info, mis omanikule edastatakse, on 2D (paberil või digitaalselt), peab ta olulisel määral panustama, et kogu vajalik info jõuab ehitise haldajani ühes ehitisega seotud opereerimise infoga. See protsess on ajakulukas, vearohke, kulukas ning on oluliseks takistuseks info üleandmisel. Just neil loetletud põhjustel pole DBB meetod kõige kiirem ega ka kõige efektiivsem viis projekteerida ning ehitada. Selleks on välja töötatud teised meetodid, et neid probleeme lahendada.

1.1.2. *Design-Build*

Design-Build (DB) meetod arendati välja põhjusel, et liita projekteerimise ning ehitamise osavastutus ühte lepingulisesse vormi ning lihtsustada administreerimise ülesandeid omaniku vaatevinklist (Beard et al., 2005). Allolevalt on esitatud selle meetodi diagramm (vaid BIM põhised protsessid on kaasatud).



Joonis 1.3. Design-Build meetodi BIMi põhised protsessid (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 7).

Selle mudeli kasutamisel teeb omanik (tellija) lepingu ühe projekteeija-ehitaja konsortsiumiga (üldjuhul on selleks ehitaja, kel on ka projekteerimise võimekus või kes teeb koostööd arhitektiga/projekteerijaga), et luua hästi töötava ehitise ruumiprogrammi (ruumilise planeeringu) ning skeemlahenduse, mis katab omaniku vajadused. Peatöövõtja hindab seejärel kulusid (finants ning aeg) nii projekteerimise kui ehitamise tähenduses. Peale omaniku poolsete soovide arvestamist ning muudatuste sisseviimist kinnitatakse projekt ning lõplik eelarve pannakse lukku. Oluline on tähele panna, et kuna DB mudel võimaldab muudatusi sisse viia projekteerimise varajases staadiumis, väheneb ka muudatuste sisseviimisele kuluv aeg ning raha. Peatöövõtja (DB konsortsiumis) sõlmib allhanke lepingud vastavalt vajadusele. Need baseeruvad ühikhindadel ning madalamal pakkumusel. Seejärel võib ehitusprotsess alata ning kõik edasised muudatused projektlahenduses (eelnevalt kokkulepitud mahus) on peatöövõtja vastutusel. Sama kehtib ka vigade ning puuduste osas. Kõikide tööjooniste olemasolu ei ole vajalik näiteks ehitise teatud osa ehitamise hetkeks (nt kui rajatakse ehitise vundamenti). Seetõttu ja lihtsustatud protsessi kaasates, saab ehitise kiiremini valmis, väiksema hulga komplikatsioonide ning ka mõningase, vähenenud kogukuluga. Samas on omaniku perspektiivist väga vähe paindlikkust olukorras, kus algne projektlahend on juba kokku lepitud ning eelarvestus tehtud.

DB mudel leiab laialdasemat kasutust üle terve maailma. BIMi kasutamine DB mudelis on vägagi soovitatav. Näiteks on erinevad osalised loonud juhendeid, kuidas DB projektide juures BIMi kasutada.

1.1.3. *Construction Management at Risk*

Construction Management at Risk (CM@R) projekti edastusmeetodi juures palkab omanik (tellija) nii peaprojekterija, kes vastutab projekteerimisega seotud küsimuste kui ka ehitusjuhi, kes vastutab ehitise haldusega seotud tegevuste eest nii eel- ning põhiehitusprotsesside staadiumites. Sealhulgas on nende isikute ülesanne ette valmistada ning koordineerida hanke paketid, ajagraafikud, kulude kontroll, maksumuse analüüs ning ehituse juhtimine. Ehitusjuht on üldjuhul litsentseeritud peatöövõtja ning tagab projekti maksumuse selle maksimumi tähenduses. Omanik/tellija on vastutav projekteerimise eest kuniks projekti maksimumhind on paigas. Võrreldes DBB-ga, võimaldab CM@R kaasata ehitajat juba projekti algstaadiumis (projekteerimise etapis), kus neil on märkimisväärne sõnaõigus. Seega on antud meetodi eeliseks just ehitaja varasem kaasatus ning omaniku väiksem vastutus ülekulu tähenduses.

1.1.4. *Integrated Project Delivery*

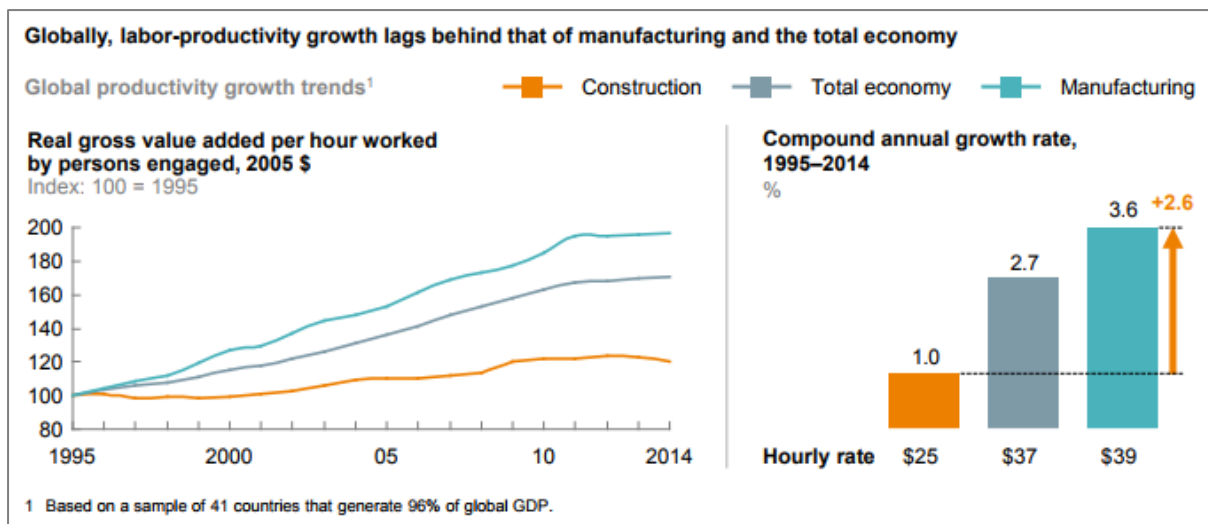
Integrated Project Delivery (IPD) on võrreldes eelmistega märksa uuenduslikum hankeprotsess eriti seoses BIMi populaarsuse kasvuga. IPD-st on erinevaid lähenemisi. IPD hanke / lepinguvormi esmased versioonid tehti kättesaadavaks *American Institute of Architecture* (AIA) poolt (AIA, 2007). Kõikidel puhkudel keskendub IPD meetod efektiivsele koostööle, omaniku (tellija), peaprojekterija (aga ka alltöövõtjad), peatöövõtja (ehitaja aga ka olulisemad alltöövõtjad) vahel. See koostöö saab alguse projekti varajases staadiumis ning kestab kuni projekti üleandmise/vastuvõtuni. Oluline rõhk on asjaolul, et kogu projekti meeskond töötab üheskoos, kaasates parimaid neile kättesaadavaid koostöövahendeid, tagamaks, et projekt vastab tellija ootustele/nõuetele oluliselt väiksema ajakulu ja maksumusega. Selle meeskonna liikmeks võib olla nii tellija ise, tema poolt palgatud konsultant või mõlemad, kes esindavad tellija huve. Kompromisse, mis on projekti lahutamatu osa, saab hinnata läbi BIMi – maksumus, hoonete puhul ka energiakulu, talitusvõimekus, esteetika ning ehitatavuse küsimused. Seega on BIM ja IPD loodud koos funktsioneerima ning esitlevad murrangulist erinevust klassikalisest, lineaarsest tööprotsessist, kus info edastusmeetodiks on ennekõike paber. On selge, et omanik/tellija võidab IPD-st väga palju, kuid nad peavad olema piisavalt teadlikud, et selles ise osaleda ning suutma määratleda ka lepingus, mida nad tahavad erinevatelt projektis osalistelt ning kuidas seda saavutatakse.

1.1.5. Millist meetodit valida?

Sellele ei ole ühest vastust, kuna sõltub väga paljudest asjaoludest, mis vajavad eelnevalt täpsustamist (sh projekti meeskonna kaasatus, kuidas toimub tasustamine, kes võtab riskid). BIMi tähenduses on põhirõhk kaasatusel ning koostööl. Seetõttu on ka DBB meetod problemaatiline, kuna ehitaja pole projekteerimise etappi kaasatud. Seevastu DB meetod pakub väga head BIMi rakendamise võimalust, kuna üks kindel isik/osaline on vastutav projekteerimise ning ehitamise eest. Erinevaid IPD või ka CM@R meetodid võimaldavad koostööd varajases staadiumis, mis omakorda tähendab vähem raiskamist nii BIMi kui timmitud ehitusprotsessi (ingl *lean process*) kaasates.

1.2. Dokumenteeritud ebaefektiivsused klassikalises meetodis

Vaatame lähemalt, kuidas klassikaline meetod panustab ebavajalikesse raiskamistesse ning vigadesse. Allpool on esitatud graafik, mis võrdleb omavahel ehitussektori produktiivsust tootmisvaldkondadega ning üldise majanduskasvuga. Ehitussektor tervikuna on paigalseisus ja kohati isegi langustrendi ootel.



Joonis 1.4. Ehitussektori produktiivsus võrrelduna tootmisvaldkonnaga (allikas: McKinsey&Company, 2017).

CIFE (*Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, 2007*) analüüsis ehitussektori kehva tööviljakust. Lisakulu, mis kaasneb klassikalise projekteerimise ning ehitusmeetodite kasutamisega, on täheldatud mitmetes aruannetes ning teadusartiklites. Vanimad võrdlused on tehtud tagasiulatuvalt 1964 – 2009. Võrreldi väikefirmade tööstussektorit ehitussektoriga, kus lepingumaksumus jagati töötundidega. Need lepingud kaasasid nii arhitektuurset kui inseneriarvutustega seotud kulu aga ka materjalide ning logistikaga seotud kulu (komponentide transport ehitusplatsile, mis toodetud väljaspool). Ehitusplatsist eemal olevaid töötunde (nt terase tootmine, monteeritav betoon jne) arvesse ei võetud. Vaadeldava perioodi jooksul (ehk 44 aastat) on üldine tööviljakus kasvanud rohkem kui kaks korda. Samas kui ehitussektori tööviljakus oli jäänud samaks ja pigem isegi ca 10% väiksem kui see oli 1964. ndal aastal. Töötund ise moodustab ca 40-60% ehituse hinnangulisest kogukulust (sõltub konstruktsiooni tüübist). Tuleb välja, et omanikud maksid ca 5% rohkem 2009. ndal aastal kui nad oleks sama ehitise eest maksnud 1964. aastal. On selge, et nende 40 aasta jooksul on turule tulnud nii paremad materjalid kui muutunud ka tehnoloogilised protsessid. Seetõttu võib öelda, et kvaliteet ise on parem kui see välja paistab, kuna paljud tegevused toimuvad väljaspool ehitusplatsi. Teiselt poolt on tooted ise aga keerukamad, ehkki neid saab odavamalt toota. Manuaalsed tööülesanded on asendatud masinate poolt juhitavate tegevustega, mis samuti vähendab töö maksumust ning tõstab kvaliteeti tervikuna. Samas ei saa seda kõike väita ehitussektori kui terviku kohta.

Ehitajad kaasavad üha rohkem ehitusplatsilt eemal toodetud komponente, mida luuakse kontrollitud tingimustes ning spetsiaalset tehnoloogiat kaasates. See tõstab kvaliteeti ning langetab tootmiskulu kui võrrelda seda ehitusplatsil tehtuga. Ehkki nende komponentide maksumus on kaasatud ehitusmaksumusse, siis tööjõukulu üldjuhul pole. Seega paistavad ka ehitusplatsil tehtud tegevused paremas valguses kui need tegelikult on. Selle vea tegelikku ulatust on aga raske hinnata, kuna väljaspool ehitusplatsi tehtavate tegevuste kogumaksumust pole vaadeldud uuringu käigus piisavalt dokumenteeritud. Ehkki põhjused pole senini üheselt teada, on statistika nukker ja viitab selgelt asjaolule, et ehitusplatsil toimuv pole tootmise võidukäiku (automatiseeritud tootmine, parem tarneahela juhtimine, paranenud koostöövahendid) justkui ära kasutanud. Toome siinkohal välja mõned võimalikud põhjused:

- 65% ehitusettevõtete töötajate arv on väiksem kui 5, mis teeb keerukaks uude tehnoloogiasse investeerida; suurettevõtted moodustavad ca 0.5% kogu ehitussektori mahust ja seetõttu ei paista nende edumeelsus tervikpildis välja.

- Inflatsioonist sõltuv töötasu ning boonussüsteemid on aegunud, ametiühingute roll on vähenenud töötajate õiguste kaitsmisel ning immigrandist-töötajate kaasamine on suurenenud, mis oluliselt pärsib tööjõu säästlikkuse poole vaatamist ja uute meetodite kasutusele võtmist. Innovatsioon on küll tehnoloogia näol olemas (naelapüstolid, efektiivsemad masinjuhtimise tehnoloogiad/kraanad), kuid see ei suuda tervikus välja paista (üldises tootlikkuses).
- Muudatused või rekonstrueerimine moodustab ca 23% ning hooldus ja parandus ca 10-12% ehitismahust. Sedalaadi projektide juhtimiseks on kapitalimahukaid meetodeid keerukas rakendada. Nende puhul on tegemist suurema tööjõukuluga ja tõenäoliselt see nii ka jääb. Uusehitised moodustavad seega ca 64% ehituse kogumahust.
- Uute ning innovaatilisemate äritavade kasutusele võtmine on olnud nii projekteerimise kui ehitamise valdkonnas väga aeglane ja ennekõike olnud suuremate ettevõtete fookuses. Lisaks on uute tehnoloogiate kasutuselevõtt jätnud alles vanad meetodid, seega on uuendusmeelsus justkui fragmenteerunud. Näiteks on meeskonna huvides vajalik naasta 2D CAD jooniste juurde, et tagada üheselt mõistetavus ning tagada ka hangetes suurem osalusprotsent, et saavutada soodsamat vähempakkumust. Tihtipeale just omavalitsused tingivad paberpõhist majandamist ja sellel baseeruvat kooskõlastusringide läbimist. Sellest lähtuvalt on paberil täna veel suur sõnaõigus ja piirab revolutsiooni võidukäiku.
- Projekti partnerid pidevalt vahetuvad, mistõttu ei ole võimalik tööprotsesse üheskoos arendada. Näiteks tootmises on tarnija-tootja ahel kokku lepitud üsna pikaks perioodiks, mistõttu saavad nad ka teha suuremaid investeeringuid. Ebaefektiivsus või samade vigade kordamine pidevalt muutavas partnerluses väljendub lisakulus nii rahas kui ajas mõõdetuna.

National Institute of Standards and Technology (NIST) viis läbi uuringu, milles vaadeldi lisakulu ehitise valdajale (omanikule) olukorras, kus on puudunud koostalitlusvõimekus, milles sisaldub info vahetatavus ning haldus. Teisisõnu, erinevad süsteemid polnud omavahel ühilduvad. NIST võrdles omavahel erinevaid stsenaariume, sh hüpoteetilisi, kus info voolavus oli täielik ning infokadu olematu. Info puuduslikust koostalitlusvõimest tehti järgmised järeldused, mis otseselt seotud lisakuluga:

- Ebapiisav valmidus (aegunud riistvara, ebaefektiivne äriprotsesside haldus, ebapiisav IT tugi);
- Püüdlus probleeme leevendada (info uuesti sisestamine, info päringute haldus);
- Edasilükkamine (kulu, mis seotud eemal olevate töötajatega ja/või teiste vajaminevate ressurssidega).

BIMi laialdasem kasutusele võtmine ning laiapõhjalise digitaalse mudeli kaasamine ehitise terviklikus elukaares, aitab liikuda õiges suunas ning elimineerida kulud, mis põhjustatud ebapiisavast andmestiku koostalitlusvõimekusest.

1.3. Uued töövahendid ning uued protsessid

Kõik CAD (ingl *computer aided design*) süsteemid loovad digitaalseid faile. Vanemate CAD süsteemide väljund oli jooniste väljatrükk. Failides olev visuaal koosneb enamjaolt vektoritest, nendega seotud joone tüüpidest ning kihtide määrangutest. Aja möödudes hakkasid need samad failid kaasama märksa rohkem infot – näiteks andmeplokid ning sellega seotud tekst. Kui aga jõuti 3D juurde, lisandusid spetsiifilisemad objektide definitsioonid ning pinnaobjekti mõiste.

Olukorras, kus CAD süsteemid muutusid intelligentsemaks ning rohkem kasutajaid soovisid andmeid vahetada, liikus ka põhitähelepanu joonistelt ning 3D-lt hoopis andmetele enesetele. Ehitise mudel, mis on loodud läbi BIM töövahendite, võib endas kaasata mitmeid vaateid andmestikust, mis kuulub ühte jooniste gruppi. Ja seda nii 2D kui 3D esitusena. Ehitise mudelit saab kirjeldada läbi selle sisu (milliseid objekte see endas kaasab) või läbi selle võimete (milliseid infonõudeid see endas kannab).

Viimati nimetatu on eelistatavam, kuna see defineerib, mida sa saad mudeliga teha ja mitte pelgalt, kuidas andmed on loodud.

National Building Information Modeling Standard (NBIMS) visioonis on BIM kui parem planeerimise, projekteerimise, ehitamise, opereerimise ning korrashoiu protsess läbi standardiseeritud ning masinloetava infomudeli iga ehitise (uus või vana) kohta, mis sisaldab kogu ehitise kohta vajalikku infot viisil (formaadis), mis on taaskasutatav elukaareüleselt.

BIMi ulatus mõjutab kas otseselt või kaudselt kõiki projektis osalisi. BIM eristub ennekõike ehitise elukaarega seotud informatsiooni loomise, kasutamise kui ka jagamise kontekstis. Mõisted nagu ehitusinfomudel ning ehitusinformatsiooni modelleerimine on seetõttu paralleelselt kasutusel. NBIMS algatus kategoriseerib ehitusinfomudelit (BIM) kolmel viisil:

1. kui toode;
2. IT-valmidusega, avatud standardil baseeruv sooritus, koostööle suunatud protsess;
3. ehitise elukaare haldamisega seotud nõue/vajadus.

Need kategooriad võimaldavad toetada tööstusinformatsiooni väärtusahela loomist, mis on BIMi arengu olulisi aspekte. BIM tõukab tööstust edasi, kus siiani on ennekõike keskendunud projekti tegevuspõhisele automatiseerimisele ning paberil baseeruvate protsesside arendamisele (3D CAD, animatsioon, lingitud andmebaasid, tabelid ning 2D CAD joonised). BIM keskendub integreeritud, koostalitlusvõimega tööprotsessidele, kus ka eelnimetatud tegevused on endiselt alles, kuid peidetud kujul ja seda tänu paremini koordineeritud ning koostööle suunatud protsessidele, mis maksimeerivad arvutusvõimsust, veebipõhist suhtlust ning andmete koondamist informatsioonina kui teadmist ehitise kohta. Kõike seda kaasatakse realistlike mudelitega teostatavates simulatsioonides, et hallata ehitatut faktidel baseeruva, korratava ning kontrollitava otsustusprotsessina, mis vähendab riske ning tõstab toote ning tegevuste kvaliteeti.

1.3.1. Parameetriliste objektide definitsioon

Parameetriliste objektide mõiste omab keskset tähendust BIMist arusaamisel ning eristumisest 3D objektidest. Parameetrilised BIM objektid defineeritakse järgmiselt:

- Koosnevad geomeetristest definitsioonidest ning sellega seotud andmestikust ning reeglitest.
- Geomeetria on integreeritud mitte-koondatult ning mitte ühtegi vastuolu pole lubatud. Kui objekti kuvatakse 3D-s, siis ei saa kujundit esitada seesmiselt ülelliigse, näiteks läbi erinevate 2D vaadete. Objekti plaaniline- ning vertikaalvaade peavad olema alati kooskõlas. Mõõdud ei saa olla ligikaudsed.
- Objektide parameetrilised seaduspärasused (reeglid) määravad automaatselt sellega seotud geomeetriat kui see sisestatakse ehitise mudelisse või kui tehakse muudatus seotud objektiga. Näiteks hoone puhul sobitub üks automaatselt seinasse, valgusti lüüti paigutub automaatselt õigele ukse poolele, sein muudab automaatselt enda kõrgust lähtuvalt vahelaest või katusest jne.
- Objekte saab defineerida läbi erinevate koondumiste tasemete, seega saame defineerida nii põhikomponendi (nt sein) kui ka selle erinevad alakomponendid. Objekte saab defineerida ning hallata läbi kuitahes paljude hierarhiliste tasemete. Näiteks, kui muutub alamkomponendi kaal, siis peab muutuma ka põhikomponendi kogukaal, mis nendest alamkomponentidest moodustub.
- Objekti reeglistik saab aru, kus teatud muudatus läheb vastuollu selle objekti teostatavuse tähenduses lähtuvalt selle suurusest, valmistatavusest, jmt.

- Objektidel on võime linkida või olla lingitud/jagatud/eksportitud atribuutide/parameetrite gruppides. Näiteks konstruktsiooni materjali, akustilise andmestiku, soojusliku andmestiku ülekandmine teistesse tarkvaradesse ning mudelitesse.

Erinevaid tehnoloogilisi lahendusi, mis võimaldavad luua ehitise mudeleid, mis koosnevad parameetristest objektidest, võib pidada BIMi põhimõtteid kaasavateks töövahenditeks.

1.3.2. Projektmeeskonna kootöötamise tugi

Avatud platvormid peaksid suutma importida olulist andmestikku, et luua ning redigeerida projektinfot aga ka eksportida andmestikku erinevatesse formaatidesse (integratsioon teiste toodete ning tööprotsessidega). Laias laastus on sellele kaks lähenemisviisi: (a) baseeruda ühe tarkvara tootja toodetel või (b) kasutada erinevate tootjate tarkvaralisi lahendusi, mis suudavad andmeid jagada tööstusstandardeid järgides. Esimene variant võimaldab tihedamat ning ka lihtsamat koostööd kasutatavate tarkvarade vahel ja seda erinevates suundades vaadatuna. Näiteks, hoone projekti kontekstis, kui tehakse muudatus arhitektuurses mudelis, põhjustab see küte-vent (KV) osamudeli muudatuse ja ka vastupidi. Eelduseks on siiski sama tarkvaratootja lahenduste kasutamine.

Teine lähenemisviis võib kaasata nii kommerts- kui avatud standardil baseeruvat infovahetust, elementide defineerimist (nt *Industry Foundation Classes* ehk IFC). Need standardid võimaldavad koostööd väga erinevate platvormide vahel (objektide eksporti/importi erinevate tarkvarade vahel). Kaasatakse suurem paindlikkus ühes võimaliku madalama koostöötalitlusvõimega olukorras, kus kõik kasutatavad tarkvarad ei toeta vahetusstandardit ühtemoodi (ühel ja samal versioonil).

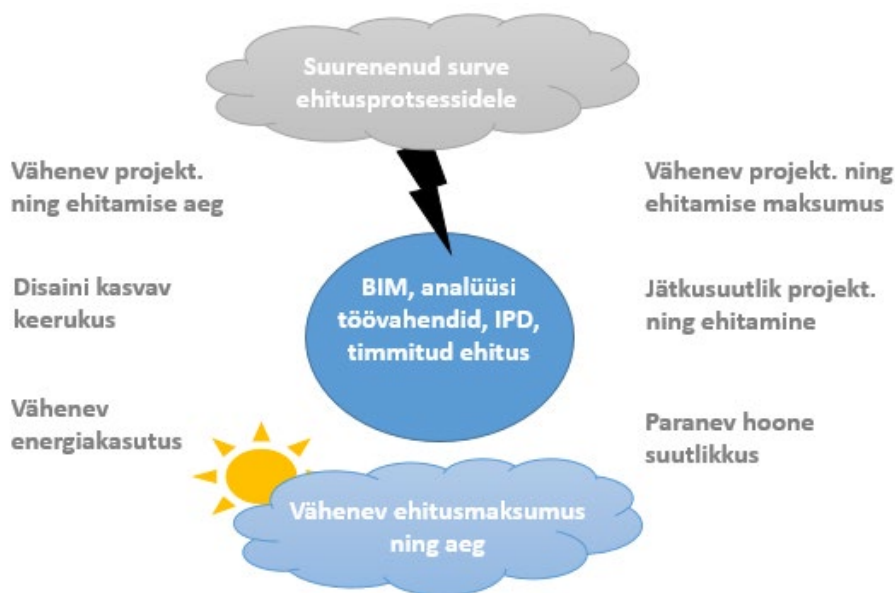
1.4. Mis ei ole BIM tehnoloogia?

BIM on kohati muutunud tarkvara tootjate sidesõnaks, et kirjeldada oma toodete võimekust. Seetõttu on BIM tehnoloogia definitsioon hägustunud ja on tekitamas üksjagu segadust. Selle vältimiseks on mõistlik selgitada, mis ei ole BIM-põhine projekteerimise/ehitamise/korrashoiu meetod või tehnoloogia. Selle alla kuuluvad töövahendid, mis loovad järgmisi mudeleid:

- Mudelid, mis sisaldavad ainult 3D infot ning objekti atribuute on väga vähesel määral või puuduvad üldse. Sedalaadi mudeleid kasutatakse pigem geomeetria visualiseerimiseks ning objektide omavaheline intelligentsus puudub. Ehkki visualiseerimise tähenduses on selle näol tegemist piisava infoga, siis andmete integreeritavuse või analüüside võimekuse tähenduses on see selgelt ebapiisav. Näiteks *Trimble SketchUp*. Tegemist on suurepärase töövahendiga, et kiirelt skitseerida ehitise vorm, kuid *SketchUp* ise ei toeta või on väga piiratud analüüsi võimalustega, kuna ta ei oma objektide kohta infot väljaspool nende geomeetrilise kuuluvuse ning välimuse konteksti, mistõttu väljendubki peamine rakendus ennekõike visualiseerimises (välja arvatud juhul, kui see võimaldab kaasata kolmandate tootjate pistikprogramme – nt *Trimble Sefaira* hoonega seotud energiasimulatsioonid).
- Mudelid, mis ei toeta käitumisreeglistikku. Need on mudelid, mis defineerivad küll objekte, kuid ei suuda kohandada oma positsiooni või mõõtusi, kuna neis puudub parameetiline intelligentsus. See teeb muudatuste sisseviimise ajamahukaks ning samuti pole võimalik tagada, et mudeli vaated poleks vastuolulised või ebatäpsed.
- Mudelid, mis baseeruvad mitmetel 2D CAD referentsfailidel, mis peavad olema kombineeritud, et defineerida ehitist kui tervikut. Selliste mudelite puhul on võimatu tagada, et saadav 3D mudel oleks teostatav, järjepidev, loendatav ning objektide kuva oleks intelligentne.
- Mudelid, mis lubavad muudatuse sisse viia ühes vaates, aga mida ei muudeta või ei kajastata teistes vaadetes. See põhjustab vigade ilmumist, mida on väga keeruline kontrollida (võrreldav valemil üle kirjutamisega käsitsi arvutatud tulemusega).

1.5. Mis ei ole BIMi eelised? Milliseid probleeme aitab see lahendada?

BIM võimaldab toetada ning parendada erinevaid äritavasid. Ehkki võib öelda, et ehitussektor tervikuna on endiselt BIMi kasutusele võtuks väga erinevatel tasemetel (sõltuvalt regioonist, projektist jne), on aru saadud märkimisväärtetest eelistest kui seda võrrelda traditsioonilise 2D CAD või paberil baseeruvate praktikatega. Mida n-ö ajalooline praktika ei suuda aga BIM suudab? See on kokkuvõetud järgmise pildiga (joonis 1.5).



Joonis 1.5. BIM tehnoloogia ning sellega seotud protsessid aitavad lahendada üha suurenevad survet hoonele üle selle terve elukaare (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 20).

1.5.1. Ehituse ettevalmistusega seotud kasu omanikule

- **Kontseptsioon, teostatavus ning projekteerimisega seotud eelised.** Esmalt tuleb hinnata, kas eelarve võimaldab ehitada soovitud projekti eeldatud aja jooksul. Seda tuleb hinnata kindlustundega. Kui selgub, et mingi projektlahend ületab olulisel määral eelarvet ja seda aja möödudes, on toimunud juba raiskamine. Ligikaudne ehitse mudel, mis on lingitud maksumuse andmebaasiga võib anda omanikule tohutu lisaväärtuse.
- **Parem ehitise toimivus ning kvaliteet.** Luues esmase eskiis enne detailsemat lahendust, aitab lahendada küsimusi nagu ehitise funktsioneerimine ning keskkonnaga seotud nõuete vastavus. Analüüsid, mis viiakse läbi varajases staadiumis, tõstab ehitise kui terviku kvaliteeti.
- **Paranev koostöö läbi IPD projekti haldusmudeli.** Kui omanik kasutab IPD põhise projekti hankemeetodit, saab BIMi kasutada kogu projektmeeskonna poolt kohe projekteerimise alguses, mis aitab lahendada projektiga seotud nõuete täitmist ning vaadata kogu projekteerimisprotsessi vältel kättesaadavat maksumuse hinnangut. See võimaldab projekteerimise ning maksumuse vahelist seost paremini mõista ning samuti väldib paberpõhiste töövoolude kasutamist, mis omakorda vähendab projekti valmimisega seotud hilinemisi.

1.5.2. Projekteerimisega seotud eelised

- **Varasemad ning täpsemad projekti visualiseeringud.** BIMi põhimõtteid järgiv 3D mudel, mis ei baseeru erinevatel 2D vaadatel, vaid need 2D vaated tulenevad 3D mudelist endast. Seda saab kasutada projekti visualiseerimiseks selle erinevatel staadiumitel, milles on tagatud mõõduline täpsus mistahes vaatel.

- **Madalama taseme parandused projektlahenduse muutumisel.** Kui projektlahendis kasutatavad objektid on kontrollitud parameetriliste seaduspärasustega, mis tagavad nende täpse joondumise, siis puuduvad selles 3D mudelis ka geomeetrilised, joondumisest või ruumi koordinaatidest tingitud vead. See omakorda vähendab kasutaja panust hallata projekti muudatusi.
- **Täpsete ning kooskõlas olevate 2D vaadete loomine mistahes projekti staadiumis.** Täpseid ning kooskõlas olevaid jooniseid saab luua mistahes objekti gruppidest või mistahes projekti vaadena. See vähendab märgatavalt ajakulu ning vigade ilmsiks tulekut, mis on seotud erinevate tööjooniste loomisega. Kui projektlahendus on vaja teha muudatusi, saab uue grupi jooniseid uuesti genereerida koheselt peale projektiga seotud paranduse sisseviimist.
- **Varasem koostöö erinevate projekti valdkondade vahel.** BIM aitab koordineerida erinevate valdkondade mudeleid. Ehkki ka jooniste tasandil saab seda teha, on see oluliselt keerukam ning ajamahukam, kui see on töötades koordineeritud 3D mudeliga. See vähendab projekteerimisele kuluvat aega ning vähendab ka vigade arvu või puuduseid. Samuti saab seeläbi parema ülevaate projekti vigade kohta, mis omakorda pakub paremaid lähenemisviise projektlahendi parendamiseks. See on oluliselt kulutõhusam kui oodata projekti lõplikku valmimist ning seejärel rakendada väärtuspõhiseid analüüse kui juba olulised otsused on tehtud.
- **Projekti kavatsuse lihtsam kontroll.** BIM pakub varast 3D visualiseerimise võimekust ning pakub võimalust teha ruumiprogramm ning materjalidega seotud mahtude väljavõtteid. Tehes seda varajases staadiumis, saame täpsemad prognoosid. Tehniliste hoonete (laborid, haiglad jmt) juures hinnatakse projekti kavatsust just kvantitatiivselt ning ehitise mudel võimaldab seda just väga edukalt teha, kus vastavus nõuetele on tagatud. Kvalitatiivsete nõuete tagamiseks (ruumide omavaheline paiknemine) saab samuti kasutada 3D mudeleid.
- **Projekteerimise etapi vältel teostatavad maksumuse kalkulatsioonid.** BIM võimaldab teha mistahes projekteerimise etapis mahtude väljavõtteid, mida omakorda kaasata maksumuse arvestamises. Projekti algstaadiumis vaadatakse oluliste komponentide maksumust. Näiteks parkimiskohtade arv, büroopinna ruutmeetrid, ruutmeetri ühikmaksumus. Kui projekt areneb, siis saab teha ka täpsemaid kalkulatsioone. Seega saab kõiki osalisi hoida kursis, kuidas maksumus täpsustub just aja jooksul enne kui see saavutab detailsusastme, mille baasil saab välja kuulutada ehitushanke. Kui kasutada BIMi ehitise maksumuse hindamiseks, on oluline kaasata nii ehitusjuhti ning võimalusel ka olulisemaid allhankijaid, kellel on täita oluline roll ehitise terviku valmimisel. Nende tähelepanekud mõjutavad oluliselt ehitatavuse küsimusi ning ka täpsemate ehitismaksumuste eelarvestamist.
- **Efektivsem energiakasutus ning keskkonnasäästlikkus.** Ehitise (hoone kontekstis) mudeli linkimine energia simulatsioonide töövahenditega aitab läbi viia energiakasutuse analüüse juba projekti varajases staadiumis. Seda pole praktiline teha 2D töövahenditega, kuna analüüsi sisendi saamiseks on vajalik panustada väga suur hulk lisa-aega. Kui seda siiski teha, on see analüüs vaid ühe nurga alt vaadeldav ning ei võimalda kontrollida, mismoodi lähteandmete muudatus võiks algset tulemust/arvutust mõjutada. Ehitisega seotud mudeli linkimine erinevate analüüsi töövahenditega aitab olulisel määral tõsta ehitise kvaliteeti.

1.5.3. Ehitamise ning tootmisega seotud eelised

- **Projektmudeli kasutamine tehases valmistatavate komponentide tarvis.** Kui projektmudelit kasutada BIMi põhises tootmistsükli, saab luua tööjoonised, mis esitavad väga täpselt toodetava komponendi joonised/masinfaili. Kuna komponendid on juba defineeritud 3D-na, saab nende valmistamiseks kasutada automatiseeritud tehnoloogiaid. See on väga levinud terasdetailide, lehtmetaili loomise juures. Seda kasutatakse ka monteeritava betoonelemendi

loomiseks, akende/uste, klaaskomponentide valmistamiseks. Kuna need tegevused toimuvad ehitusplatsi väliselt, siis väheneb ehitusplatsil nendele tegevustele kuluv tööaeg. BIMi täpsus võimaldab valmistada ka suuremaid detaile/komponente kui seda suudaks 2D joonis, mille puhul oodatakse pigem viimase hetkeni, et teada saada täpsed mõõdud kui ehitus on juba niikaugele jõudnud. Väheneb ka tööjõukulu, paigaldusaeg ning logistilises mõttes ei toimu asjatut ladustamist.

- **Kiirem reageerimine projekti muudatustele.** Soovitud muudatus sisestatakse otse ehitise mudelisse ning teised muudatused, mis on vajalik läbi viia teiste objektide tasandil, toimuvad automaatselt. Mõned uuendused viiakse läbi tänu parameetrilistele seostele. Mõned täpsustused viiakse sisse läbi visuaalse kontrolli või automatiseeritud kokkulangevusanalüüside. Muudatuste tagajärjed kajastuvad koheselt kõikidel mudeli vaadetel. Kuna muudatusi saab jagada, visualiseerida, eelarvestada ning lahendada ilma paberdokumentatsiooni kaasamiseta, on kogu muudatuste läbiviimisele kuluv aeg oluliselt väiksem. Paberpõhiste protsesside juures on analoogne tegevus väga suure vigade tõenäosusega.
- **Projekti vigade avastamine ning eemaldamine enne ehitamist.** Kuna 3D mudelit kaasatakse kõikide 2D ning 3D vaadete loomiseks, siis ebakooskõlas olevaid 2D jooniseid ei eksisteeri. Kuna kõikide valdkondade mudeleid saab kokku tõsta ning omavahel võrrelda, toimub pidev kontroll nii vastuolude olemasolu (lõikuv, ebapiisav vahekaugus) kui visuaalse korrektsuse (teist tüüpi vigade) tähenduses. Erinevad probleemsituatsioonid ning ehitatavuse küsimused lahendatakse enne ehitamist. Suureneb projekteerijate ning ehitajate omavaheline koordineeritus ning vigade hulk väheneb. See tõstab ehituskiirust, vähendab kulutusi, vähendab ka õiguslikus plaanis tekkivaid arusaamatusi ning pakub sujuvamaid tööprotsesse kogu projekti meeskonnale.
- **Projekti ning ehitusplaani sünkroniseerimine.** Ehituse planeerimine läbi 4D CADi eeldab konstruktsiooni plaani sidumist projekti 3D objektidega, et saaks simuleerida ehitusprotsesse ning näidata, mis seisus on ehitis mistahes ajahetkel. Sedalaadi graafilist simulatsiooni saab kasutada igapäevaseks ehitustegevuse visualiseerimiseks, pakkudes samas ka võimalust analüüsida võimalikke probleeme või võimalusi tegevusi paremini jooksvalt planeerida (ehitusplatsi organiseerimine, meeskond, varustus, ruumilised konfliktid, probleemid turvalisusega jne). Sedalaadi analüüse ei saa läbi viia paberpõhistes hankeprotsessides. Samas saab projekti lisaväärtust veelgi tõsta kui mudelis on ka ajutised konstruktsioonid, kraanad ning muu ehitustehnika, mis võimaldab neid linkida planeeritud tegevustega ning näidata ehitusplaanis.
- **Timmitud ehitusprotsessi rakendamine.** Timmitud ehitusprotsessi kasutamine eeldab väga täpset koordineerimist ehitaja ning allhankijate vahel, et tööülesannet saaks läbi viia koheselt kui materjal/komponent on jõudnud ehitusplatsile. See vähendab ressursi raiskamist/pingutamist ning vähendab ka jooksvat inventuuri teostamist. BIM pakub just lahendust oma täpse mudeli ning materjalide haldamise tähenduses mistahes tööstaadiumile, mis omakorda on aluseks tegevuste planeerimiseks ning lisaressursside kaasamiseks vastavalt soovitud ajahetkele. Mudelit saab kasutada ka nutiseadmetes, et järgida materjali saabumist, installeerimise kulgu ning automatiseeritud juhtimist ehitusplatsil.
- **Sünkroniseeritud projekteerimise ning ehitushanke korraldus.** Terviklik ehitise mudel pakub täpseid mahtusid kogu (või vähemasti enamikele, sõltuvalt mudeli detailsusastmest) materjalide ning objektide tähenduses. Need mahud, spetsid ning omadused on saadaval selleks, et hankida materjale nende tootjatelt, allhankijatelt (nt monteeritavad betoonelemendid). Samas tuleb tähele panna, et see on valdkond, mis areneb jõudsalt, kus objekti definitsiooniga saab panna paika kõikide toodete spetsifikatsioonid. Kui need on

teostatavad, siis on sellest saadav tulu märkimisväärne (nt teraselemendid, monteeritavad betoonelemendid, HVAC komponendid, aknad/uksed jpm).

1.5.4. Ehitusjärgsed eelised

- **Ehitise kohta käiv adekvaatsem info selle üleandmisel/vastuvõtul.** Ehitustegevuste käigus kogutakse infot installeeritud materjalide ning hooldust vajavate komponentide kohta ehitises kui tervikus. Seda infot saab linkida mudeli komponentidega, ning edastada ehitise üleandmisel omanikule/tellijale, mida tema saab kasutada ehitise korrashoiu. Seda saab samuti kasutada, et kontrollida, kas kõik süsteemid töötavad nii nagu need olid projekteeritud ja seda enne kui ehitise võetakse vastu tellija poolt.
- **Ehitise parem haldamine ning töös hoidmine.** Ehitusmudel esitab infot (geomeetrilises ning spetsifikatsioonide tähenduses) kõikide ehitisega seotud süsteemide kohta. Eelnevad analüüsid, mille käigus kontrolliti komponentide töökorras olekut, saab vastandada projekti eesmärkidega ning tagada nende paikapidavus. Seeläbi saab kontrollida, et kõik süsteemid töötavad nii nagu peavad peale ehitise üleandmist.
- **Ehitisega seotud infosüsteemide integreeritavus (korrashoiu võtmes).** Ehitise mudel, mida täiendati ehitise käigus tehtud muudatustega, on täpse sisuga teostusinfomudel, mis on heaks lähtepunktiks ehitisega seotud korrashoiu teostamiseks. Ehitusinfomudel võimaldab reaajas läbi viia erinevaid analüüse, olla erinevate sensorite platvormiks ning võimaldada ehitise distantsilt haldamist.

1.6. Milliseid väljakutseid võib oodata?

Ennekõike varasemat kaasatust erinevate projekti partnerite vahel, kuna jagataval infol on suurem väärtus juba projekteerimise faasis. IPD hankemeetodi kasutamine aitab tõsta koostööle suunatud tööprotsesside kvaliteeti.

1.6.1. Koostööst tingitud väljakutsed

Ehkki BIM pakub uusi koostööle suunatud meetodeid, toob see kaasa ka probleeme, kuidas luua efektiivsemat meeskonda. Seega tuleb paika panna, kuidas projektinfot jagatakse, et sellest kõik kasu saaksid. Kui projekteerija kasutab klassikalist (paberil baseeruvat) meetodit, siis peab ehitaja looma 3D mudeli, et ta saaks läbi viia ehituse planeerimist, eelarvestamist ning koordineerimist. Kui projekteerija loob projekti läbi BIMi põhimõtete, ei pruugi see mudel olla piisava detailsusastmega, mida saab kasutada ehitusprotsessis, või puudub kasutatud komponentidel lisainfo, mille baasil saaks teha ehitusmahtude väljavõtteid. Seetõttu võib olla vajalik luua uus mudel, mida saab kasutada ehitusprotsesside juhtimiseks. Kui projektimeeskond kasutab erinevaid töövahendeid, siis on vaja viisi, kuidas neid tõsta ühest keskkonnas teise või omavahel kombineerida. See võib kaasa tuua keerukust ning põhjustada lisavigasid, mis omakorda tähendab ajakulu. Neid probleeme aitab vältida avatud andmevahetusvormingute kasutamine nagu IFC. Alternatiiviks on kasutada serverlahendust, kus infovahetus toimub otse tarkvarast või läbi IFC formaadi.

1.6.2. Õiguslikud muudatused dokumentatsiooni omanduses ja tootmises

Õiguslikud aspektid toovad alati väljakutseid. Kes omab koondmudelit, tööjooniseid, analüüse, - kes selle kõige eest maksab ning kes on vastutav nende täpsuse eest? Need küsimused tõstatuvad kui BIM võetakse kasutusele. Kuna omanikud/tellijad saavad paremini aru BIMi eelistest, siis tekib neil vajadus omada ehitise mudelit, et toetada erinevaid ehitisega seotud tegevusi. Üle maailma loovad erinevad organisatsioonid (nt AIA, AGC) juhendeid, mis täpsustavad lepinguvormide tekste ning keelekasutust, et katta BIM tehnoloogiaga tekkinud probleeme.

1.6.3. Muudatused praktikas ning teabe kasutamises

BIMi kasutamine tähendab ehitusega seotud teadmiste varasemat kaasamist ka projekteerimise etappi. Integreeritud DB (*Design-Build*) tüüpi konsortsiumid võivad sellest kõige rohkem. IPD tüüpi lähenemine eeldab head koostööd ning pakub selgeid eelseid tellijale kui BIMi kasutatakse. Üks märkimisväärsemaid muudatusi, millega ettevõtte kokku puutuvad BIMi rakendamisega, on jagatud infomudel, mis peab olema koordineeritud igal ajahetkel ning kõikide projekti osalistega. Muutus või üleminek eeldab aega ning koolitust. See on aga mistahes tehnoloogilise või tööprotsessi muudatuse lahutamatu osa.

1.6.4. Rakendamisega seotud probleemid

2D või 3D CAD keskkonna välja vahetamine ehitise mudelpõhise süsteemi vastu ei tähenda pelgalt tarkvara väljavahetamist aga ka koolitust ning riistvara uuendamist. BIMi efektiivsem kasutusele võtmine eeldab, et ettevõttes tuleb teha pea kõikide protsesside juures muudatusi (mitte lihtsalt teha sama asja teist moodi). See eeldab BIM tehnoloogiast ning sellega kaasnevatest protsessidest arusaamist ning oskust planeerida BIMi rakendamist enne selle kasutusele võtmist. Selleks otstarbeks võib palgata konsultandi, et planeerida, monitoorida ning juhendada protsessis olles. Ehkki vajalikud sammud sõltuvad osaliste tegevusest/rollist võib üldjuhul tuua välja järgmised olulised aspektid:

- Määra juhtkonna tasandil vastutav osaline, kes kannab hoolt BIMi rakenduskava eest, mis katab kõiki ettevõtte äritegevusi ning kuidas väljapakutavad muudatused mõjutavad ettevõtte osakondi ning välispartnereid ja kliente.
- Loo juhtgrupp, kelle vastutusala on plaani rakendamine, ühes maksumuse, aja ning tulemuslikkust näitava eelarvega, et hinnata nende suutlikkust.
- Alusta BIMi kasutamist ühe või kahe väiksema (soovitavalt isegi juba lõpetatud) projekti näitel ja seda samaaegselt traditsioonilisi tööprotsesse kaasates, kus väljavõtteid teostatakse otse mudelist. See võimaldab näha puudujääke ehituskomponentide tasandil, et oleks võimalik läbi viia erinevat tüüpi analüüse. Samuti saab selle käigus paika panna ettevõtte modelleerimise standardid ning määrata mudelite kvaliteediate ning detailsus erinevaid kasutajaid silmas pidades. See pakub võimalust tagada koolitus ka ettevõtte juhtivtöötajatele.
- Kasuta esmaseid tulemusi edasiseks koolitamiseks. Hoia ettevõtte kõrgemaid juhte asjadega kursis, too välja arengud, võimalikud probleemid, võimalused jne.
- Kaasa BIMi uute projektide juures ning alusta tööd välispartneritega, et paika panna uued koostöö protsessid, mis aitavad parendada infovahetust juba projekti algstaadiumis ning tekitada teadmine ehitusega seotud mudeli parematest kasutusvõimalustest.
- Jätka BIMi rakendamist ettevõtte teistesse funktsioonidesse ning kaasa need uutesse klientidega ning äripartneritega seotud lepinguvormidesse.
- Planeeri perioodilist BIMi rakendamisprotsesside ülevaatamist, et teha kokkuvõtteid eelistest ning probleemidest, mis siiani kogetud ning sea uued eesmärgid tulemuslikkusele, ajale ning maksumusele. Jätka BIM-põhiste protsesside laiendamist teistesse, ettevõttega seotud protsessidesse.

1.7. Küsimused aruteluks

1. Mis see BIM on ning kuidas see erineb 3D modelleerimisest?
2. Nimeta mõned olulisemad probleemid, mis on seotud 2D CAD põhiste tööprotsessidega ning kuidas need raiskavad vahendeid ning aega nii projekteerimise kui ehitamise staadiumis võrrelduna BIMi põhiste protsessidega?
3. Miks pole ehitussektor siiani suutnud ületada probleeme, mis seotud ehitusplatsil oleva tööviljakusega, ehkki me kogeme pidevalt uute ehitustehnoloogiate kasutusele võttu?

4. Milliseid muudatusi on vaja ellu viia nii projekteerimise kui ehituse protsessis, et BIMi saaks tõhusamalt kasutada?
5. Kuidas mõjutavad parameetrilised seosed, BIMi objektide tähenduses, projekteerimise- ning ehitusprotsessi?
6. Mis on üldiste objekti andmekogude piirangud, mis tulevad kaasa BIM-süsteemidega?
7. Miks *Design-Bid-Build* ärimudel ei võimalda BIMist täit kasu saada projekteerimise või ehitamise staadiumis?
8. Kuidas IPD erineb *Design-Build* ning *Construction Management at Risk* tüüpi projekti hangetest?
9. Milliseid õiguslikke asjaolusid/probleeme võib BIM kergitada koostööle suunatud meeskonnas?
10. Millised on võimalused integreerida projektlahendi analüüsi tarkvarad projekteerija poolt loodud ehitise mudeliga?
11. Kuidas võimaldab BIM läbi viia jätkusuutlikumat ehitise projekti?

2. BIM töövahendid ning parameetiline modelleerimine

Objekti-põhine parameetiline modelleerimine sai alguse 1980ndatel tootedisainis (tööstuses). Tähelepanek, et objekti ei esitata kindla kuju ja omadustega, vaid parameetrite ning reeglitega, mis määravad geomeetria aga ka mitte geomeetrilised osad/omadused. Need parameetrid ning reeglid võivad olla seotud teiste objektidega, seega komponendid on mõjutatud üksteisest. Kasutajapõhised parameetrilised objektid võimaldavad modelleerida keerukamaid geomeetriaid, mis varem oli pea võimatu või väga ebapraktiline. Arhitektuuri valdkonnas on BIM-iga seotud tarkvara ettevõtteid loonud teatud baasobjektide klassid, mida kasutaja saab redigeerida, laiendada jne. Viisi, kuidas objekt ennast ise uuendab, nimetatakse selle käitumiseks (ingl *behavior*). Eksisteerivad nn süsteemi põhised klassid, mis on eeldefineeritud ning panevad paika, kuidas need suhestuvad teiste objektidega (nt sein, põrand, katus). Objekti parameetreid/atribuute kasutatakse aga ära erinevate analüüside läbi viimiseks, aga ka mahtude väljavõteteks. Samas peavad need atribuudid olema ka defineeritud. Arhitektuurse BIMi valdkonnas lubatakse kasutajal omavahel kombineerida 3D modelleeritud objekte ühes 2D lõigetega ehk siis kasutaja paneb paika 3D detailsuse, samas kui loob ikkagi terviklikke jooniseid. Komponente, mis luuakse 2D-s, ei lisata mahtude väljavõttesse ega ka analüüsis (teistesse tarkvaradesse üle ei kanta). Toomisega seotud BIM lahendused esitavad aga kogu info 3D-s. Seetõttu on 3D detailsus üks suurimaid erinevusi kui vaadata erinevaid BIM praktikaid. Selles peatükis vaatame lähemalt peamisi BIM-iga seotud mudeli loomise võtteid ning töövahendeid ning funktsioonilisi erinevusi, mis aitaks neil vahet teha.

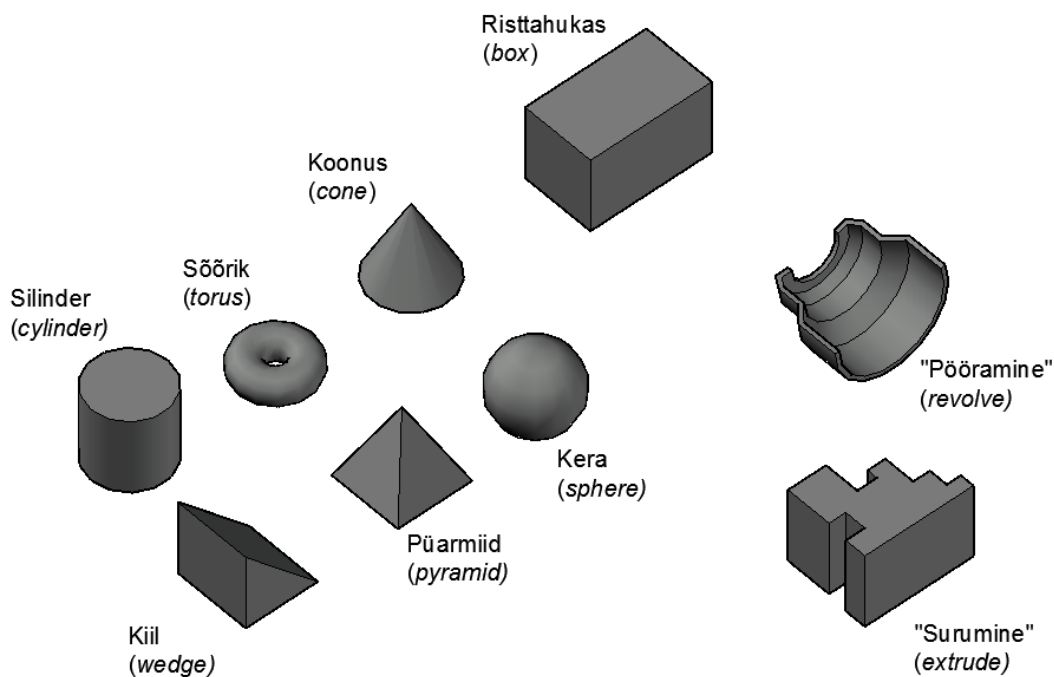
2.1. Objekti-põhise, parameetrilise modelleerimise areng

Hea käsitöömeister tunneb oma töövahendeid, seda sõltumata asjaolust, kas tegemist on osaliselt automatiseeritud töövahendiga või mitte. Vaatame lähemalt põhimõttelist raamistikku, et mõista BIM töövahendite võimekust. Tänapäevane BIMi töövahendite võidukäik on pea 50 aasta uurimistöö tulemus/arendus, milles on keskendunud interaktiivsete 3D projekteerimise ja ennekõike fookusega objekti-põhisele parameetrilisele modelleerimisele. Teeme põgusa ülevaate, kuidas selleni on jõutud.

2.1.1. Varasem 3D modelleerimine

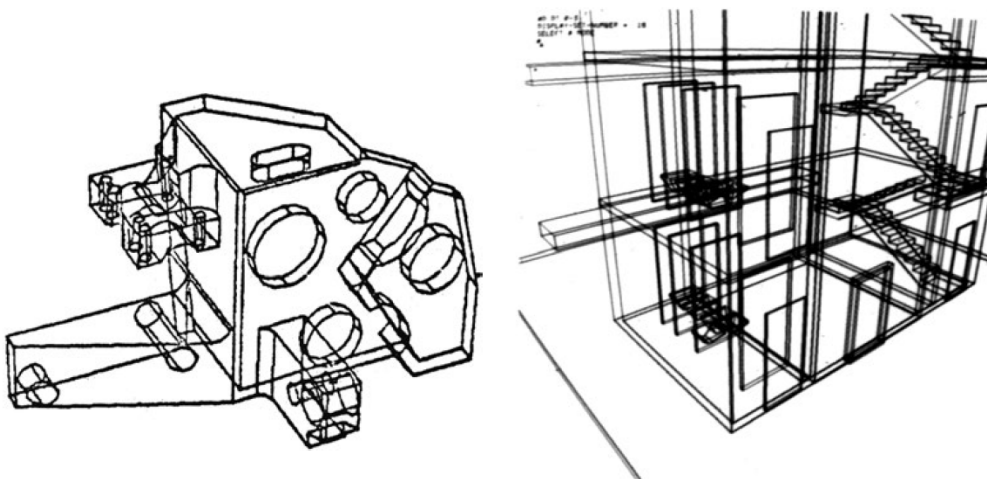
Võib öelda, et 3D geomeetria on olnud oluliseks uurimisteenaks juba 1960.ndatest. Selle rakendusena nähti nii filmitööstust, arhitektuuri kui inseneeriat aga ka mängutööstust. Mitmeliigiliste vormide kompositsioon arendati välja just 1960.ndatel ning see viis ka esimese, arvutigraafikat sisaldava filmi, *Tron* (1982). Ehkki sel hetkel oli objektide loome parameetriselt väga piiratud, siis projekteerimise seisukohast oli vaja seda lähenemisviisi muuta, ehk siis mistahes keerukusega kujundeid pidi saama lihtsalt redigeerida. 1973. aastal õnnestus kolmel üksteisest sõltumatu uuringugrupil (*Ian Braid@Cambridge University*, *Bruce Baumgari@Stanford*, *Ari Requicha ning Herb Voelcker@University of Rochester*) see saavutada, kus siis avalikustati viis juhuslikke 3D kujundite loomiseks ning redigeerimiseks. Seda tuntakse kui tahkkehade modelleerimisena (ingl *solid modeling*) ja sellest sai esimeste praktiliste, 3D modelleerimise töövahendite võidukäik.

Algselt arendati välja kaks tahkkehade modelleerimise viisi (*B-rep* ehk *boundary representation approach*). Selles variandis loodi kujund suletud ning orienteeritud, piiratud pindade komplektina. Arvutuslike funktsioonide abil oli võimalik neid kujundeid luua erinevate mõõtudega, sh parameetrilised kuubid, koonused, sfäärid, püramiidid jt. Lisaks võimaldas see luua ka nn pöördkehasid (ingl *swept shape*) – milles defineeritakse kujundi surumine piki joont (ingl *extrude*) või ümber telje pööramine (ingl *revolve*).



Joonis 2.1. Erinevad 3D tahkkehääd.

Kujundite redigeerimisel oli võimalik tekitada nende kattumisi. Kattuvaid objekte sai kombineerida ruumilise liitmise, ühisosas või lahutamise ehk *Boolean* operatsioonide teel. Seeläbi sai luua väga keerukaid kujundeid/vorme. Mis on tähelepanuväärne, et kombineeritud kujundid säilitasid oma *B-rep* funktsionaalsuse ja operatsioonidega sai jätkata. Seeläbi võimaldati nn standardkujundite kasutamise ja nendega manipuleerimise läbi saavutada mistahes ruumilist kujundit.

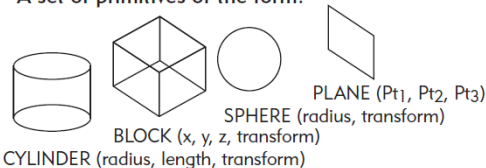


Joonis 2.2. *B-rep* mehaanikakomponent ühes *Boolean* operatsioonidega (vasakul), hoone maht tahkkehäa modelleerimise läbi (paremal) (Eastman et al., 2011).

Alternatiivne või paralleelne lähenemine kandis nimetust *Constructive Solid Geometry (CSG)*, kujund esitati funktsioonide kogumina, mille tagajärjel saadi primitiivseid kujundeid nagu ka *B-rep* meetodil. Need funktsioonid on kombineeritud algebralisteks võrranditeks, milles samuti kasutatakse *Boolean* operatsioone.

THE CSG MODEL:

A set of primitives of the form:



A set of operators:

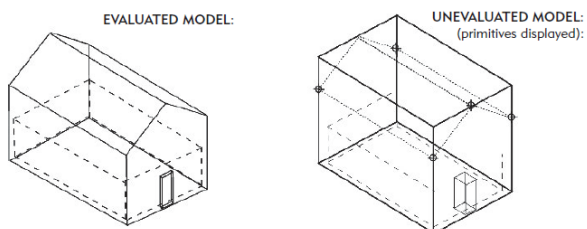
UNION (S_1, S_2, S_3, \dots)
 INTERSECT (S_1, S_2)
 DIFFERENCE (S_1, S_2)
 CHAMFER (edge, depth)

Joonis 2.3. CSG mudeli interpretatsioon (Eastman et al., 2011).

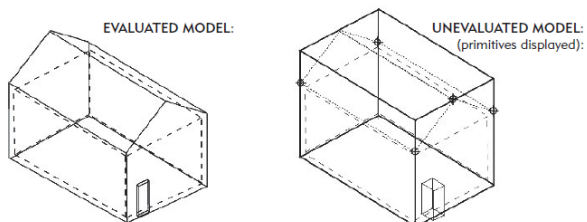
Samas põhines CSG mitmekesisemal meetodil tänu algebralistele seostele. Näiteks võis seda küll kuvada ekraanil, kuid piiritletud pindasid ei genereeritud. Joonisel 2.4 on esitatud lihtne maja. Viimane algebraline seos ütleb, et eelnevalt defineeritud kujunditega tuleb kasutada *Boolean* seoseid. Tulemuseks on üks kujund/vorm, milles on üks ruum, ukse ava, viilkatus (joonis 2.4). Samas kui arvutamata variant on näha paremal pool (üksikud komponendid).

Peamine erinevus *B-rep* ning CSG meetodi vahel on, et CSG hoiab endas algebralist seost, mis defineerib kujundi, samas kui *B-rep* hoiab endas definitsioonide tulemit kui tegevuste gruppe ning objekti argumente. Erinevused on tegelikult märkimisväärsed. CSG korral saab elemente redigeerida ning uuesti luua vastavalt vajadusele. Pane tähele, et eelmise pildi juures saab kõikide komponentide asukohti ning kujundite parameetreid muuta. Ehkki oli see meetod väga kompakte – lihtsalt teksti stringid – oli nende arvutamine selle aja arvutites üsna ajamahukas – mitmeid sekundeid. *B-rep* eeliseid oli aga kiire tagasiside saamine, leida mahuga seotud parameetreid aga ka renderdamiseks ning animeerimiseks või siis kontrollimaks ruumilist vastuolu. Algselt need kaks meetodid võistlesid omavahel, kuid üsna pea saadi aru, et need meetodid tuleb omavahel kombineerida, mis tähendas redigeerimisvõimaluse loomist CSG tähenduses (kui arvutamata kujund – unevaluated shape) ning *B-rep* meetodit kujundi kuvamiseks ning interakteerumiseks. Teisisõnu *B-rep* meetodist sai kui arvutatud kujund (ingl *evaluated shape*). Tänapäeval kaasavad kõik parameetrilised modelleerimise töövahendid mõlemaid esitusviise – CSG tüüpi redigeerimiseks ning *B-rep* tüüpi visualiseerimiseks, mõõtmiseks, vastuolude kontrolliks ning teisteks, mitte-redigeeritavateks tegevusteks.

```
BuildingMass := BLOCK(35.0,20.0,25.0,(0,0,0,0,0));
Space := BLOCK(34.0,19.0,8.0,(0.5,0.5,0,1.0,0,0));
Door := BLOCK(4.0,3.0,7.0,(33.0,6.0,1.0,1.0,0,0));
Roofplane1 := PLANE((0,0,0,18.0),(35.0,0,0,18.0),(35.0,10.0,25.0));
Roofplane2 := PLANE((35.0,10.0,25.0),(35.0,20.0,18.0),(0,0,20.0,18.0));
Building := (((BuildingMass - Space) _ Door) - Roofplane1) - Roofplane2;
```



```
Space := BLOCK(34.0,19.0,14.0,(0.5,0.5,0,1.0,0,0));
Door := BLOCK(4.0,3.0,7.0,(33.0,6.0,1.0,1.0,0,0));
```



Joonis 2.4. Hoone esitus, mis koosneb 3D komponentidest (Eastman et al., 2011).

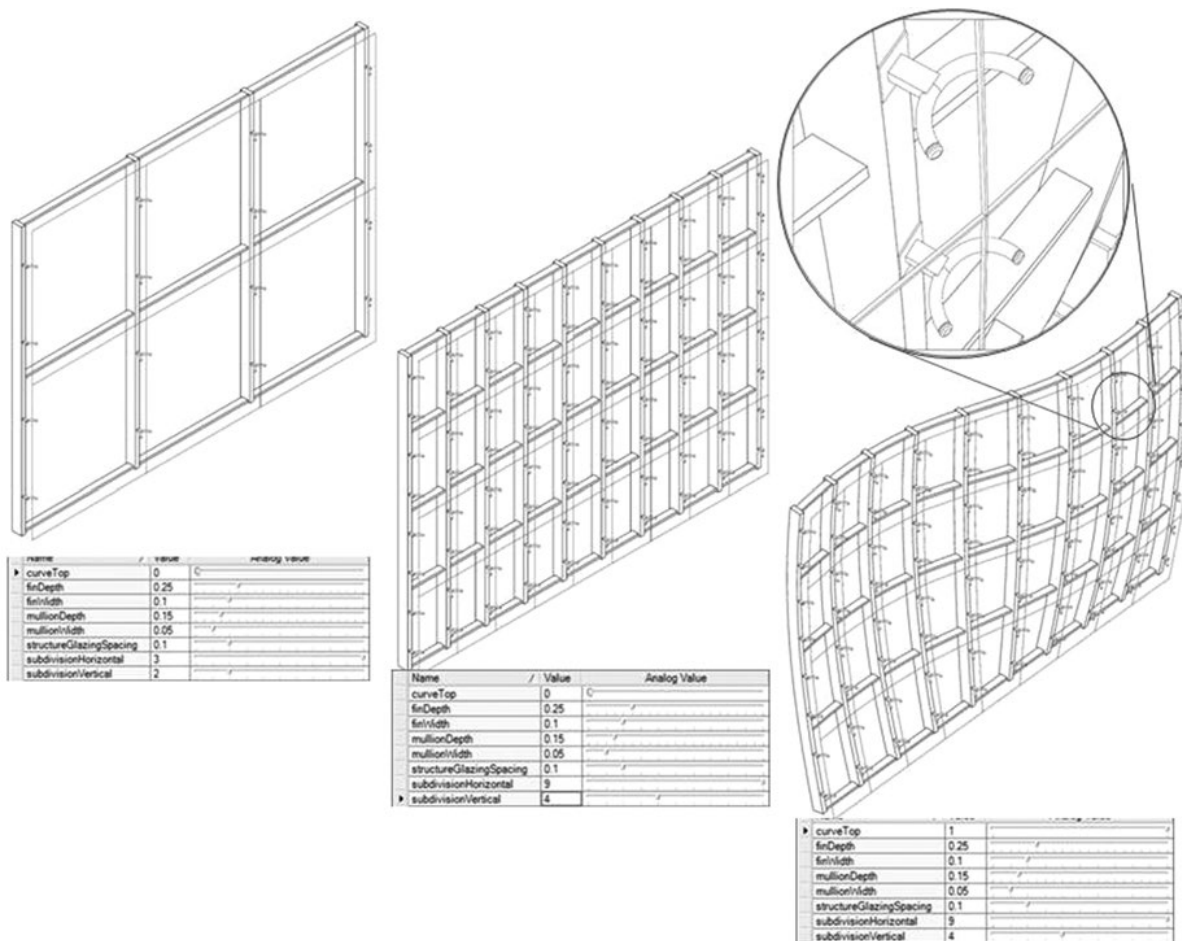
Üsna pea sai selgeks, et kujunditega peab saama kaasata erinevaid tunnuseid/parameetreid nagu näiteks materjal. Sest just seeläbi sai mudeli ette valmistada näiteks konstruktsiooni analüüsiks või määrata mahtusid, omakaalu, väljavõtteid. Siin tekkis ka kohe teine küsimus. Kui kaks objekti omavad erinevaid materjale, siis mismoodi peaks *Boolean* operatsioon neid objekte manipuleerima? Kui lahutamise tegevus oli ilmne (eemaldame seinast akna mahu või avad terasplaadis), siis lõikumised ning ühisosad, milles interakteeruvad erinevad materjalid, seda polnud.

Seega jäi üle, et *Boolean* operatsioone sai kasutada esmase põhikujundi loomiseks (väljaulatuvad osad, mahalõikamised jne). Samas kui tegemist oli objektiga, mis lisatakse funktsioonina põhiobjekti külge, siis ta suhestub küll põhiobjektiga, aga seda saab endiselt ümber nimetada, viidata või redigeerida. Põhikomponendi materjal omistatakse kogu selle komponendid muutuva mahule. Funktsioonil baseeruv modelleerimine on parameetrilise modelleerimise üks olulisi alaliike. Akna/ukse avad täitmiskomponendina seinas on sedalaadi funktsioonide elementaarsed näited.

Ehitiste modelleerimine 3D *solid* modelleerimisena arendati välja 1970. aastate lõpus – 1980. aastate alguses. CAD süsteemid nimetustega *RUCAPS* (hiljem *SONATA*), *TriCAD*, *Calma*, *GDS* ning uurimisgruppide lahendused (nt *Carnegie-Mellon University*, *University of Michigan*) olid esimeste seas. Täpsemalt CAD tehnoloogia ajaloolisest arengust saad lugeda: <http://mbinfo.mbdesign.net/CAD-History.htm>.

Selle aja CAD süsteemid olid küll võimekad (funktsionaalsuse tähenduses), kuid riistvara ei olnud veel järgi jõudnud. Lisaks ei oldud harjutud modelleerima 3D-s (3D objektide mõiste tähenduses) ning 2D-s töötamine oli käepärasem. Süsteemid ise olid samuti väga kallid, suurusjärgus 35000 \$ / töökoha eest. Toomisvaldkond ja ka kosmosetööstus nägi integreeritud analüüsise läbiviimise võimekuses väga suurt potentsiaali, mis aitas vähendada vigasid ning tööprotsesse automatiseerida. Seetõttu töötasid nad otse erinevate CAD ettevõtetega, et omale vajalikke lahendusi välja töötada. Samas kui ehitistega seotud ehitussektor neid eeliseid ei näinud. Selle asemel alustasid nemad ennekõike arhitektuursete jooniste redigeerimise programmide nagu *AutoCAD*, *MicroStation*, *MiniCAD* – ning digitaalselt pöörati ennekõike rõhku 2D projekteerimisele ja tööjoonistele.

Üheks oluliseks versta-postiks CAD-ist parameetrilise modelleerimise juurde jõudmiseks sai ka asjaolu, et erinevad kujundid on võimelised omavahel parameetreid jagama. Näiteks seina perimeeter on defineeritud põranda plaaniga, seina ning vahelae pinnaga, mis seda ümbritsevad. Viis, kuidas objektid omavahel on ühendatud, määrab osaliselt ka nende kuju/vormi mistahes vaatel. Kui ühte seina nihutatakse, siis kõik sellega seotud komponendid peavad tegema sama. Teisisõnu muudatused on seotud omavaheliste ühenduvustega. Samas on ka kujundeid, mis defineeritakse globaalselt ja mitte teiste kujundite poolt. Näiteks hoone teljed (võrgustik), mis on olnud ajast-aega konstruktsiooni elementide lähtepunktiks. Seega kui nihutada ühte võrgujoont, siis sellega seotud kujundid peavad ka kaasa liikuma. Globaalseid parameetreid/võrrandeid saab kasutada ka lokaalselt. Fassaadseina kõverus mõjutab selle sees olevate komponentide vormi/kuju.

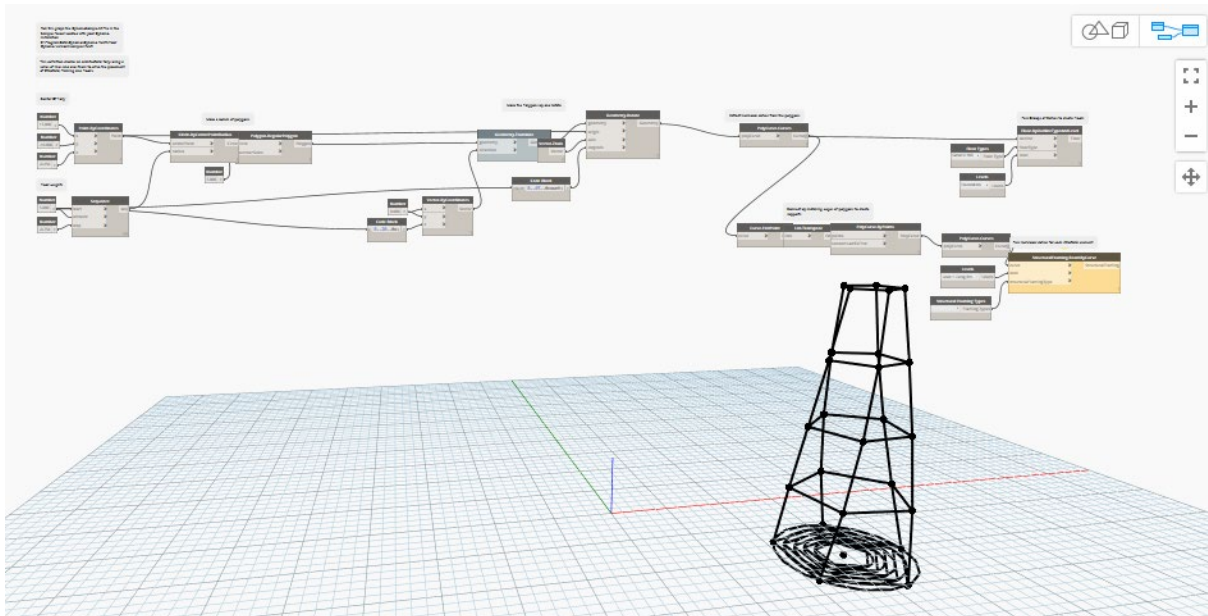


Joonis 2.5. Kõverpinnal baseeruv fassaadi koost (Eastman et al., 2011).

Esmalt loodi need võimalused (nt treppide või seinte tähenduses) objekti defineerivate funktsioonide sisse. Seega kui oli vaja defineerida parameetreid trepile; määrati selle asukoht, trepi astme kõrgus, aste ise ning laiuse parameetrid – ning trepp oli seeläbi ka defineeritud. Sedalaadi funktsionaalsust kasutati *Autodesk Architectural Desktop* tarkvaras (mis hiljem nimetust *AutoCAD Architecture* kasutama hakkas). Samas pole tegemist täielikult parameetrilise modelleerimisega.

Hilisemas 3D modelleerimise ajaloos oli võimalik parameetreid juba automaatselt ümber arvutada ning kujundit uuesti luua, alguses küll kasutajapoolset sisendit oodates. Tarkvara sai võimaluse, kus ta märkis ära, mida oli redigeeritud ning ainult need komponendid genereeriti ümber. Kuna üks muudatus võis kaasa tuua teiste objektide muudatuse, siis oli vajadus kokkupaneku järjekorra (montaaži, ingl *assembly*) defineerimiseks, milles oli oluline roll ka muudatuste järjekorra analüsaatoril, et nende sisse viimine/uuendamine toimuks kõige efektiivsemalt. Sedalaadi automaatne võimekus uuendusi läbi viia on tänase BIMi ning parameetrilise modelleerimise tiptase.

Objekti või komponendi sisemine struktuur parameetrilise modelleerimise tähenduses on sisuliselt kui üks suunddiagramm, kus vaheplokkid (ingl *node*) on parameetritega/tegevustega objekti klassid, mis defineerivad või redigeerivad objekti ennast. Samas kui lingid/jooned vaheplokkide vahel defineerivad omavahelised seosed. Mõned tarkvarad võimaldavad muuta parameetrilise diagrammi teha nähtavaks ja ka redigeeritavaks. Moodsamad parameetrilised objektipõhised modelleerimise süsteemid määravad sisemiselt ära, kus on vaja redigeerimisi läbi viia ning teostavad muudatused vaid nendes plokkides, mis tähendab ka efektiivsemat muudatuste haldust.



Joonis 2.6. Autodesk Dynamo – parameetrised seosed, mis loovad 3D esituse (ekraanipilt Dynamo tarkvarast).

Reeglite ulatus, mida parameetrites vaheplokkides saab kasutada, määrab sisuliselt ka süsteemi kasutuse ulatuse. Parameetriste objektide klassid defineeritakse läbi parameetrite nagu pikkus, nurk ning reeglite nagu “ühendatud millega”, “paralleelne millega”, “kaugus millestki”. Lisaks saab kasutada tingimusi “kui-siis” (ingl *if-then*). Need “kui-siis” tüüpi tingimused võivad viia läbi projekti muudatuse, kus siis üks komponent vahetatakse välja teise vastu ja seda sõltuvalt tulemusest (nt arvutustulemus või muu kriteeriumile vastavus). Näiteks saab seda edukalt kasutada konstruktsiooni tööjooniste juures, kus üks ühendusviis asendatakse teisega lähtuvalt rakendatavast koormusest või komponentide ühendusskeemist.

Mitmed BIM tarkvarad toetavad parameetrisi seoseid keerukamate kujundite/pindade nagu splainid, *NURBS* (*non-uniform rational b-spline*). Samas on ka neid tarkvarasid, mis neid võimalusi ei sisalda. Põhjuseid on erinevaid, nt platvorm ise toeta või pole selle arendamise käigus sellele mõeldud või tooks see kaasa tarkvara jõudluse või usaldusväärsuse küsimusi.

Parameetriste objektide defineerimine pakub ka võimalust teostada hilisemas järgus objektide mõõdistamist (mõõtkettide lisamist). Näiteks kui aken lisatakse seina servast teatud kaugusele ja seda mõõdetuna akna tsentrist, siis saab see edaspidi olema kui vaikimisi mõõt, mida tähistada ka joonisel. Seetõttu on oluline tähele panna, mida üks tarkvara toetab ja mida mitte. Aga kokkuvõtvalt peaksime siis järgima allolevaid põhimõtteid/võimalusi:

- Parameetriste seoste üldistus, ideaalolukorras lähtuma nii täielikest algebralistest kui trigonomeetristest seostest.
- Tingimuste hargnemise tugi ning reeglistik, mis defineerib objekti eristuvaid omadusi.
- Objektide linkimise tugi ning sõltumatu objekti tüübist. Näiteks seina baasjoon lähtuvalt põrandast, kaldtee või trepp.
- Globaalsete või väliste parameetrite kasutamise võimalus, mille abil kontrollida objektide paigutust või valikut.
- Võimekus olemasolevate parameetriste objektide klasse laiendada, et olemasolev objekti klass suudaks määrata ka elemente, mille käitumine polnud algselt määratud.

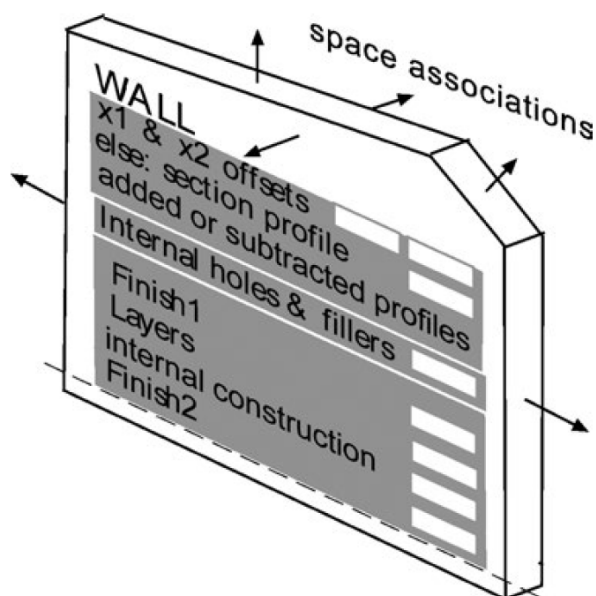
Parameetiline objekti modelleerimine pakub võimekat geomeetria loomise ning redigeerimise võimalust. Ilma selleta oleks mudeli genereerimine ning projekteerimine väga kohmakas ning vigade rohke.

2.1.2. Ehitiste objektipõhine parameetiline modelleerimine

Tänased, BIMi kaasavad, arhitektuurse projekteerimise tarkvarad (sh *Autodesk Revit*, *Bentley AECOsim Building Designer*, *Graphisoft ARCHICAD*, *Nemetscek Vectorworks* jt) aga ka tootmisele keskenduvad BIM tarkvarad (nt *Tekla Structures*, *StructureWorks*, *Nemetscek SDS/2* jt) kasvasid välja mehaanika valdkonnale kujundatud objekti-põhistest, parameetrilise modelleerimise pakettidest. Väga suure töö tegi selles osas ära ettevõtte *Parametric Technologies Corporation (PTC)*, kes 1980.ndatel defineeris (pani paika) objekti parameetrite grupid ning objektide omavahelise hierarhia, mille tulemusena defineeriti nii 2D kui 3D kujund/vorm.

Parameetrilise projekteerimise juures määratakse esmalt elemendi klass või perekond (kuuluvus) ning mitte ei asuta kohe selle üksiku elemendi defineerimise juurde nagu konkreetne sein või uks. Klass või perekond määrab teatud hulgal fikseeritud ning parameetrilisi seoseid/geomeetriaid, linke ning reeglistikku, mismoodi neid parameetreid saab muuta ning mille baasil seejärel ka element ise luuakse. Mudeli perekonna vorm/kuju sõltub selle sisust. Objekte ning nende tahkusi saab defineerida läbi erinevate seoste, sealhulgas distantsilased, nurgaga seotud ning reeglitega nagu *attached to*, *paralleel to* ning *offset from*. Need seosed võimaldavad igal elemendil sellest elemendi klassist omada oma enda parameetrite seadeid, kontekstiga seotud tingimusi. Teiselt poolt võib vaadata neid reegleid ka kui nõudeid, mis peavad olema täidetud projekteerimisnõudega (nt minimaalne betooni kihi paksus üle armatuuri, mis võimaldab projekteerijal teha muudatusi projektis ning samas kontrollitakse, et elemendi reeglite läbi on kriteeriumid tagatud, kui seda aga ei suudeta teha, siis teavitatakse sellest kasutajat).

Kui tavapärase 3D CAD juures peab kasutaja ise defineerima elemendi geomeetria, siis parameetrilise modelleerimise juures toimub see automaatselt. Vaatame lähemalt seina klassi, mis sisaldab nii kuju atribuute kui ka seoseid.



Joonis 2.7. Seinaperekond ja selle seosed (Eastman et al., 2011).

Nooled tähistavad seoseid sellega külgnevate objektidega. Pildil on esitatud just nimelt seinaperekond või klass, kuna seeläbi saab defineerida väga palju erinevaid elemente (erinevas asukohas ning erinevate parameetritega). Seinaperekonnad võivad erineda nii geomeetria kui ka seotud objektide tähenduses, ehk siis millise teise elemendiga seda saab liita. Mõned BIM tarkvarad sisaldavad endas erinevaid seinaklasse. Üldjuhul aga ühte seinatüüpi teiseks konverteerida pole võimalik.

Seinapaksus pannakse tüüpiliselt paika kahe nihke väärtusega seinakontrolljoonest. Need nihked võivad tuleneda ka seinakonstruktsiooni tüübist, milles on defineeritud erinevad kihid (materjalid). Mõnel juhul saab defineerida ka seinasid, mis kitsenevad ja seda siis vertikaalse profiili lisamise võimalusega. Seinakõrguslik kuju on üldjuhul antud ühe või rohkema baastasapinnaga. Selle ülemine serv võib olla ka kui ettemääratud kõrgus või olla seotud mingi teise tasapinnaga (nt teise korruse tasapind). Seinatsad on aga defineeritud seinte liitumistega/ristumistega, kusjuures saab eristada nii kindlat lõpp-punkti või seotust teiste seintega/postidega. Täiesti omaette operatsioone/reegleid vajatakse siis kui mõned seinakihid ulatuvad põrandatasapinnast kaugemale. Näiteks vundamendi osakatmine seinaviimistlusmaterjaliga. Seinapõhijoon (alusjoon) omab alg- ning lõpp-punkti ning seetõttu on ka seinat teatud pikkusega. Sein on seotud kõikide teda ümbritsevate objektidega ning võib olla ruumide jagajaks.

Seinapühituse poole nagu näiteks seinakinnitused saab siduda ühe või rohkema seinakihi (nt mitmega kui on vaja akustilist või termilist jagamist). Ukse või seinavavad omavad seinasuhtes alg- ning lõpp-punkti (aga selleks võib olla ka ukse/akna keskjoon) ühes vajalike lisaparameetritega. Avapaikneb samas koordinaatsüsteemis nagu ka sein ise, mistõttu seinamuutmisel, muutub ka ava.

Seintest ei saa üle ega ümber ning tegemist on ka üsna keerukate komponentidega. Hästi defineeritud parameetiline sein peab katma väga palju erinevaid tingimusi, milleks võivad olla:

- Uksed ja aknad ei saa üksteist üle katta või ulatuda seinaperimeetrist väljapoole või ulatuda asukohta, kus moodustub seinte nurk/sõlmpunkt. Üldjuhul kuvatakse veateade, kui üks või teine eelnimetatust tuleb esile.
- Seinakontrolljoon võib olla sirge või kaarjas, võimaldades seinal omandada erinevaid vorme/kujusid.
- Sein võib kattuda/ristuda põrandaga, vahelaega, teiste seintega, treppidega, kaldpindadega, postidega, taladega aga ka teiste ehituskomponentidega, millest igaüks sisaldab erinevaid tasapindu/tahkusi ja seeläbi moodustades tervikuna väga keerukaid seinte vorme.
- Sein võib koosneda erinevatest konstruktsiooni tüüpidest ning materjalidest, mis kõik võivad omavahel interakteeruda.

Üsna tavaline, et selliste, parameetriliste ehituselementide klassi defineerimiseks on vaja üle 100 madalama taseme reegli ning väga mahukat parameetrite gruppi. Seetõttu ei ole haruldus, kus kasutaja soovib luua seinapühitust, mis satub vastuollu mõne reegluga ja tal pole võimalik seda seinat lisada või üheselt määrata (nt ei liitu kõikide piirnevate komponentidega korrektselt).

2.1.3. Parameetrilise modelleerimise võrdlus

Parameetrilise modelleerimise tähenduses eristuvad töövahendid lähtuvalt nende kasutuse valdkonnast üksjagu (nt ehitised vs tootedisain). Ehitiste juures räägime me laias laastus suurest hulgas erinevatest, kuid loomult lihtsatest komponentidest. Mistahes ehitise süsteem omab tüüpilist reeglistikku ning seoseid, mis on märksa ette aimatavamad kui seda tootedisaini juures. Samas on infohulk just see, mis ehitiste projektide juures ka kõige ägedamad riistvarad "puhke seisundisse" saadavad. Lisaks on ehitiste puhul terve rida standardeid, praktikaid, mida siis saab kaasata objektide

defineerimisse. Lisaks peavad *BIM* tarkvarad suutma luua ka jooniseid, milles on kaasatud arhitektuurset kommet/omapära. Sedalaadi piirangud ongi viinud meis seisu, kus *BIM* rakendustena kasutatakse vaid üksikuid tooteid. Samas on see ka paljudele mehaanika valdkonna tarkvara tootjatele võimalus arendada välja *BIMi* spetsiifiline toode. Ka eelnevas ajaloolises kirjelduses sai rõhutada, et võidukäik on ennekõike tekkinud erinevate tehnoloogiate kombineerumisel.

- *Tase 1* – parameetiline tahkkeha modelleerimine (keerukad kujundid läbi väikese grupi parameetrite). Muudatus viiakse ellu kui parameetrit kasutaja poolt muudetakse. Näiteks *AutoCAD*. Tegemist on *CAD* platvormiga, millel baseeruvad nii mõnedki *BIM* töövahendid.
- *Tase 2* – objektide hierarhia kaasamine, kus üksiku kujundi parameetri muutus võib mõjutada ka teiste kujundite muutust. Näiteks *AutoCAD Architecture*.
- *Tase 3* – ühe kujundi parameetrid võivad läbi reeglite mõjutada teise kujundi parameetreid.

2.2. Ehitiste parameetiline modelleerimine

Tootmisektoris on parameetrist modelleerimist kasutatud ettevõtete poolt, et sidustada projekteerimine (disain), inseneeria ning tootmine omavahel läbi erinevate reeglistike. Näiteks *Boeing 777* väljatöötamisel kaasati väga erinevate reeglistike loomist, mis defineerisid lennuki sisemuse, välimuse, tootmise ning kokkupaneku. Lennuki välise vormiga viidi läbi mitu sada erinevat aerodünaamilist arvutust (*CFD* ehk *computational fluid dynamics*), mille käigus katsetati/prooviti ning lihviti viimase täiuseni väga mitmeid üksikuid alamvorme. Lennuk pandi kokku virtuaalselt, et kontrollida ja välistada tootmise käigus tekkivaid probleeme. Ühtekokku välditi seeläbi üle 6000 erineva muudatuse ja seeläbi õnnestus vähendada 90% ulatuses ruumilist ümbertegemist. Võib leida hinnanguid, kus *Boeing* investeeris rohkem kui 1 miljard dollarit oma parameetrilise modelleerimise süsteemi ülesehitamiseks just *777* tooteseeriast silmas pidades.

John Deere Company – on teine näide, kelle tegevusvaldkond on põllumajandusmasinate tootmine. Neile oli oluline enese jaoks defineerida, kuidas traktoreid konstrueerida. Selleks loodi väga erinevaid mudeleid, mis lähtusid *John Deere*'i projekteerimisest-tootmisesse (*design-for-manufacturing* ehk *DfM*) reeglistikust. Kasutades parameetrist modelleerimist, saavad erinevad ettevõtted määrata, kuidas nende objektide perekonnad luuakse/konstrueeritakse, aga ka kuidas neid saab parameetriselt varieerida ning siduda tervikult läbi nende funktsionaalsuste, tootmisepära ja muude kriteeriumite baasil. Sellistel puhkudel lähtuvad ettevõtted oma enda korporatiivsest teadmisesest ning praktikast (projekteerimine, tootmine, kokkupanek, korrashoid), ning vigadest õpitust. Tegemist on standard praktikaga, kuidas tootmishiiud tänasel päeval optimeerivad oma tegevusi.

2.2.1. Parameetiline modelleerimine

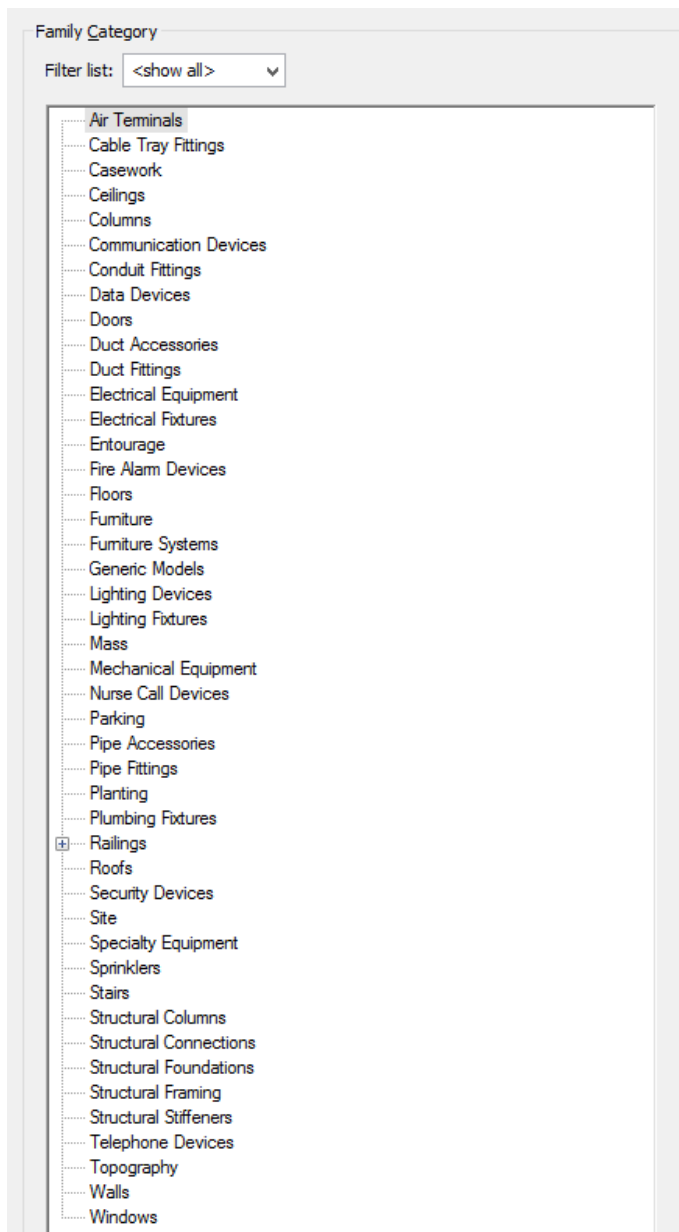
Ideeliselt eristuvad ehitusinfo modelleerimise töövahendid teistest objekti-põhistest parameetristest modelleerimise süsteemidest. Seda ennekõike asjaolul, et objektide klassid on erinevad. Andmaks ettekujutust, millised on need objektide perekonnad, mida tänane *BIMi* tarkvara kaasab, vaata allolevat pilti (*Autodesk Revit* näitel).

Samas võib lisaks tarkvara tootja põhiste perekondadele leida ka mitmeid veebilehti, kust saab alla laadida lisaperekondasid. Siin võime paralleelsele tõmmata erinevate plokkide andmekogudega, mida kaasata 2D jooniste tegemisel, kuid on selge, et 3D komponendid on oluliselt intelligentsemad. Lisaks peaks säilima võimalus, et olemasolevaid komponente (objektide perekondi) saab laiendada. Näiteks seina välimisele tahule lisada liitepunkt/ühendus/komponent, mis aitab seda ehituslikult paika seada (monteeritav betoonelement). Seda kõike ei pruukinud tarkvara tootja kohe välja pakkuda, mistõttu kasutajal on võimalus teha täiendusi. Kõik *BIMi* tarkvarad kaasavad lisaks veel teisi objektide tüüpe, mida kaasatakse peamiste komponentide redigeerimises. Näiteks avad ning liitekohad seinte ja

põrandate puhul, avad katuseakende ja -uukide korral või siis jällegi talade/postide ning teiste konstruktsiooni elementide liitmiseks vajalikud komponendid.

Mitte kõik komponendid ei pea olema parameetriliste seostega. Näiteks vannitoa komponendid või kindla suurusega uks/aken – need ei muutu, vaid neist on erinevad esitused. Seda võib tihtipeale nimetada ka kui teist järku objektide klassiks, mille eest vastutab nende tootja või siis veebileht (teenus), kes neid objekte/komponente pakub.

On ka kolmas klass komponente, mis kuuluvad kommertstoodete alla ning on erilahendused mõnest baasobjektist/komponendist. Siia alla kuuluvad fassaadide erilahendused, keerukamad vahelae konstruktsioonid, korpused, trepi piirded ja muud arhitektuursed-konstruktsioonilised erilahendused.



Joonis 2.8. Objekti perekondade tüübid Autodesk Revit tarkvaras (ekraanipilt tarkvarast).

Funktsionaalsuse tähenduses erinevad BIMi parameetrilised modelleerimise töövahendeid teiste valdkonna toodetest samuti, kuna ehitiste puhul peab selle ruum oleme üheselt piiritletud ehitise elementide poolt. Ehitise juures on oluline selle keskkonnasõbralikkus. Seega peab siseruumi projekti

juures pöörama tähelepanu selle kujule, vormile, erinevatele pindadele, keskkonnasäästlikkusele, valgustatusele ja muudele parameetritele, mis tuleb projekteerimise käigus lahendada või millele tähelepanu pöörata.

CAD tarkvaradele oli üsna suureks probleemiks just asjaolu, et need ei suutnud esitada ehitisega seotud ruumi üheselt, objektide vorme lähendati ja seda siis 2D jooniste loomise meetoditele sarnaselt, kus ruumi defineeris lihtsalt üks polügoon ühes ruumi nimetusega. Hüpe toimus tänu *General Services Administration (GSA) 2007*.nda aasta nõudmisele, et BIM töövahendid peavad suutma esitada ka ruumi mahtu (ruumala). Ehkki ruumi polügon sai nüüd kolmanda mõõtme, ei suuda see siiski lahendada keerukamate mahtude esitust (nt kus sein vertikaalis muutub).

Ahitektid töötavad vähemasti alguses enamjaolt nimimõõduliste ehituskomponentide vormidega. Samas kui insenerid ning tootjad peavad omama tootmisküpseid vorme, mille puhul nimimõõdust enam ei piisa. Lisaks tuleb arvestada, et kujundid muutuvad nende eelpingestatud staadiumis (kumerus, lühenemine), kõrvalekaldumine gravitatsiooni tõttu ning paisumine ning temperatuurist sõltuv muutumine. Kuna ehitusinfo mudeleid kaasatakse üha enam tööstuslikus tootmises, peab neid aspekte parameetriliste mudeli vormide loomisel samuti arvesse võtma ning BIM tarkvara peab kaasama selleks lisavõimalusi.

2.2.2. Parameetiline modelleerimine ehituses

BIMi põhimõtteid kaasavad tarkvaralised lahendused võimaldavad lõikesse jäävatele seina pindadele (2D lõike tasapind) omaette kihte, siis osad BIMi tarkvarad võivad veelgi enam ehk kaasata neil pindadel parameetriselt seotud komponente nagu näiteks parameetrist sõrestikku seina kihi paksuse suhtes. Seeläbi saame me ka sõrestiku mahud kätte, vähendades üldist raiskamist, võimaldades kiiremat ehitise püstitust puit- või metallisõrestiku baasil. Suuremamahulistest konstruktsioonides kaasatakse sarnast raamistikku ka tootmiseks ettevalmistuseks. Selle näiteks on ka elementmajad, kus kõik süsteemid paigutatakse kindlat reeglistikku järgides. Komponentidel on tihtipeale ka ühendusliitmikud, mis on süsteemipõhised. Keerukamatel juhtudel tuleb iga süsteemi osa eelnevalt kokku panna, et moodustuks tervik nagu näiteks betooni armeering või terasest sõrestikelemendid.

Osad BIM põhised tarkvarad on loodud spetsiifiliselt tootmiseks ettevalmistamiseks. Selleks otstarbeks on ka erinevad objekti perekonnad, et kaasata tootmise omapärasid. Sealhulgas vaadatakse ka võimalust materjalide paremaks jälgimiseks ning tellimisprotseduure. Tarkvarade näidetena võib tuua: *Tekla Structures*, *Nemetscek SDS/2*, *StruCad* (nüüd *Trimble/Tekla* omanduses). Algselt oli nende tarkvarade näol tegemist lihtsalt 3D paigutussüsteemi tarkvaradega, milles olid eeldefineeritud parameetriselised objektid komponentide omavaheliseks liitmiseks aga ka redigeerimise operatsioonid komponentide lõikamiseks kui nende paigutus seda nõudis. Neid võimalusi avardati aga automaatsete liitmike lisamise tehnoloogiaga, mis baseerusid koormuse arvutusel ning elemendi ristlõigetel. Seejärel siduslink CNC masintehnoloogiatega, mis olid võimelised mudeleid otse kasutama. Sarnaselt on loodud süsteeme ka monteeritava betooni tarvis, armeeritud betooni, metallist venttorusüsteemide, torustike ja teiste ehitussüsteemide loomiseks/koostamiseks.

Viimaste uuendustena lisandusid monteeritava betooni automaatsed armeerimise märkimised, mis vastaksid konstruktsiooni arvutustele. Niipea kui muudetakse elementide ristlõikeid, muudetakse ka armeeringut. Tänu parameetrilistele modelleerimise operatsioonidele, saab vorme omavahel lõigata või liita, et luua erilahendusi (sälgud, eendid jne) selleks, et elemente omavahel kokku liita. Allpool on toodud näide fassaadi elemendist (monteeritav betoonelement), kus on nii 3D esitus kui ka selle koostejoonised. Iga koostejoonise juures kasutatakse omaette reeglite gruppi, et see automaatselt luua. Iga ehitise alaelement vajab oma enda reeglite gruppi, et paika panna selle elemendi koost.

Tänu paljudele organisatsioonidele püütakse standardiseerida, kuidas koostejooniseid luua/määrata ja seda nii monteeritava betooni kui ka teraselementide tähenduses (*American Institute of Steel Construction's Steel Design Guide, Precast/Prestressed Concrete Institute's PCI Design Handbook*). Samas tuleb rõhutada, et ettevõtte, kes neid tehnoloogiaid tootmises kasutab peab suuresti redigeerima tarkvara/süsteemi baasobjektide kogu, et need sobituksid ettevõtte tehnoloogiatega.

Ka tänasel päeval kasutatakse tootmises CAD süsteeme, mis pole otseselt parameetriliste objektipõhiste BIM tarkvarade näited. Pigem esitavad nad klassikalist *B-rep* modelleerimist ühes CSG-põhise hierarhilise struktuuriga ja kindla objektide põhiste klassidega. Sellest hoolimata on tegemist heade lahendustega. Näiteks *AutoCAD Architecture* platvorm on aluseks *CADPipe* ning *Fabrication CADmep, CADDUCT* tarkvaradele. Nendes CAD süsteemi platvormidel saab kasutaja parameetriselt mõjutada ning maha märkida 3D objekti ühes selle atribuutidega. Neid objekte ja atribuute saab eksportida teistesse tarkvaradesse, et teha mahtude kokkuvõtet, panna paika töökäsud ning tootmistsükkel. Need süsteemid töötavad suurepäraselt kindlate elemendi klasside korral, milles kaasatakse kindlaid reegleid. Rakendustest võib tuua: torustikega, venttorudega ning kaablikanalitega seotud tooted. *Architectural Desktop* (nüüd *Autodesk Architecture*) just selliselt välja kujunes. Ajapikku lisati sellele objekti klasse, et laiendada selle fookust/võimalusi ehitise ehituses (enne veel kui *Autodesk* ostis ära *Revit* tarkvara tootja). Uusi objekti klasse sai lisada läbi ARX või MDL programmeerimiskeele.

Suurimaid erinevusi selle aja süsteemide ja tänase BIMi vahel on asjaolu, et kasutajad saavad defineerida oluliselt keerukamaid objekti perekondade struktuure/vorme ning ka nende vahelisi seoseid kui seda suudab 3D CAD. Kusjuures defineerida ilma lisa programmeerimiseta. BIM-iga saab fassaadseina elemendi siduda põrandaga ning postidega viisil, mis ei eelda programmeerimiskust. Sedalaadi lähenemine eeldaks aga 3D CAD pakettides oluliste laienduste lisamist.

2.2.3. Kasutajapõhised parameetrilised objektid

Iga BIMi pakett omab laiendatavat eeldefineeritud parameetriliste objektide klasse, mis on sihtotstarbeliselt kasutatavad. Mõned tarkvarad keskenduvad projekteerimisele ja teised jällegi tootmise ettevalmistusele. Erinevad projekteerimise valdkonnad lähtuvad juhendmaterjalidest. Näiteks arhitektuuris on selleks *Architectural Graphic Standard* (Ramsey and Sleeper, 2000). Teraskonstruksioonide käsiraamatutest võib aga välja tuua *Detailing for Steel Construction (AISC 2007)* või *PCI Design Handbook (PCI 2004)*. Tegelikus maailmas piiravad aga eeldefineeritud objektid ning nende reeglistik projekteerimise ning tootmise staadiumeid ja seda väga mitme põhjusel, näiteks:

- Teistsugust komponentide konfiguratsiooni eeldatakse ehitamise-, analüüside ning esteetika tõttu. Näiteks aken ühes *Frank Lloyd Wright*'ist inspireeritud klaasnurgast; erilahendusega akna raam ühes soojusülekannet murdvate kanalitega; erilahendusega liitmikud klaas- või plastkomponentidele; erinevate kasutajapõhiste liideste loomine teras-, betoon või puitkonstruktsioonidele.
- Aluskomponendid ei esita tegelikku projekt-tingimust, mida kasutatakse realselt. Näiteks sein, mis toetub astmelisele põrandale; spiraalne kaldtee ühes muutuva kaldega; ruumelemendid ühes uukidega katusel.
- Tehnosüsteem, mille konstruktsioon või käitumine pole saadaval tarkvaras ega tootjalt. Näiteks fassaadide erilahendused, ehitise väline lisakest.
- Mõned objektid ei eksisteeri BIM tarkvarades üldse. Näiteks taastuvenergia komponendid, päikesepaneelid, termilised akumulatsiooni paagid.

- Laiendatud objektid, mis kaasaks ettevõtte omapärasid ning parimat praktikat. Siia alla kuuluvad komponendid, mida on muudetud või laiendatud (lisatud parameetreid või detailsust).

Juhul kui parameetrist komponenti BIM tarkvaras pole, saab valida järgmiste tegevuste vahel:

1. Luua objekt mõnes teises tarkvaras ning importida see kasutatavasse BIM töövahendisse kui referentsobjekt, mida ei saa lokaalselt redigeerida.
2. Luues vastav objekt n-ö käsitsi läbi tahkkehha modelleerimise töövahendite, lisades käsitsi atribuudid ning püüda meeles pidada, et seda objekti on vaja uuendada vastavalt vajadusele.
3. Defineerides uue parameetriselise objekti perekonna, mis kaasab sobivaid väliseid parameetreid ning projektireeglistikku, et tagada automaatne uuenemine, kuid need uuendused pole seotud teiste objektide klassidega.
4. Defineerides olemasolevale parameetriselise objekti perekonnale laienduse, mis omab redigeeritud vormi, käitumist, parameetreid nii, et see haakub teiste olemasolevate baas- ning laiendatud objektidega.
5. Defineerides uue objekti klassi, mis täielikult integreerub and suhestub sellega seotud objektidega.

Kaks esimest meetodit on üsna lähedal CAD põhiste tehnoloogiatele, milles pole parameetrist esitust. Kõik BIM töövahendid võimaldab luua kasutajapõhiseid objekti klasse (valikud 3 ning 4). Seeläbi saab luua uusi objektide klasse, mis suudavad end ise uuendada. Kõige keerulisem osa on see, kuidas need interakteeruvad teiste eeldefineeritud objektidega nagu ukSED, seinad, põrandad ning katused, mida pakub just see BIM töövahend.

Kui ettevõtte töötab pidevalt teatud objektidega või ehitise tüübiga, siis tasub kasutajapõhise komponentide loomine end igati ära (ka arvestades ekstra tööaega nende loomiseks). Need baseeruvad ettevõtte parimal praktilikal ning neid saab kasutada projektist projekti.

2.3. Parameetristest kujunditest väljaspool

Vaatame nüüd parameetrist modelleerimist süviti, mis ei pöörle vaid parameetriselise geomeetria modelleerimise ümber.

2.3.1. Relatsioonilised struktuurid

Lisades parameetriselise mudelisse seinu, saame selle siduda teda ümbritsevate pindadega, nagu põrand, seinu otste piirnevused, liigenduvad seinad ning vahelae komponendid, mis piiravad selle kõrgust. Lisaks piiritleb see ruumobjekti kahes servast. Tegemist on seostega parameetriselises struktuuris, mille kaudu kontrollitakse uuendusi. Kui me lisame akna või ukse seinu sisse, loome me sellega omaette relatsiooni akna ning seinu vahel (ning ka ruumide vahel, mõlemal pool seinu). Näiteks torusüsteemide juures defineerime me nende liitmike tüübid (polt-liide, keevisliide). Liidestust matemaatilises keeles nimetatakse topoloogiaks ning need on eristuvalt geomeetria väga kriitilised ehitise mudeli esitamise tähenduses. Tegemist on kui fundamentaalsete definitsioonidega, mis kaasatud parameetriselise modelleerimisse.

Analoogseid näiteid on veel, kus üks komponent seostub teisega (nt armatuur betonelemendis, sõrestik seinas, mööbel kuulub ruumile jne). Suhete kirjeldamiseks kasutatakse ka mõistet koondatus (ingl *aggregation*). Koondatust kasutatakse ruumobjektide grupeerimiseks, komponentide sidumiseks koosteks (ingl *assembly*) jne. Koondatusega saab siduda reegleid, näiteks kuidas koost saab parameetreid üksikutelt komponentidelt.

Relatsioonid sisaldavad endas kolme tüüpi infot: (a) mida saab omavahel liita või siis komponentide koondatus; (b) mõned relatsioonid omavad alamesitusi, näiteks kuidas üks liitumine mõjutab liidetavaid komponente; (c) relatsiooni enda parameetrid.

Relatsioonidel on BIM mudeli juures täita oluline roll. Sellega pannakse paika, mis tüüpi reegleid saab osade vahel defineerida.

2.3.2. Parameetrite ning atribuutide haldus

Objektidel baseeruv parameetiline modelleerimine lähtub nii geometriast kui topoloogiast, kuid need objektid peavad endas kaasama ka terve hulk parameetreid (omadusi). Parameetrid on jagatud gruppidesse ning kaasatud erinevates etappides. Näiteks projekteerimise parameetrid ruumobjekti tähenduses on selle nimetus, kuid energia analüüs kasutab sellelt objektil parameetreid nagu ruumi tüüp, inimeste arv, ruumi funktsioon. Tsoonide tasandil määrame jällegi parameetrid nagu soojuskoormus. Parameetrid kaasavad ka materjalidele omaseid spetsifikatsioone. Parameetrite läbi seotakse ehituselement nii ehituseks ettevalmistuseks, paigalduseks kui selle korrashoiuks. BIM pakub võimalust nende parameetrite haldamiseks ning integreerimiseks üle terve ehitise elukaare.

Parameetrid võivad lähtuda alamparameetritest või nende gruppidest. Need on omakorda seotud konkreetse funktsiooniga. Näiteks valgustuse tähenduses on meil vaja materjali värvitooni (üks parameeter), peegeldumise koefitsienti (teine parameeter), ilmselt ka tekstuuri (kolmas parameeter) jne. Seega on tegemist parameetrite grupiga. Parameetrite gruppide defineerimine on iga BIM mudeli hea tava. Need omadused pole aga alati saadaval komponendi tootjalt, mistõttu peab kasutaja need ise defineerima või kasutama lähendväärtuseid (sarnase materjali baasil). Parameetrite gruppide standardiseerimine on täies hoos, mistõttu kasutajal on siis hetkel väga suur vabadus või kohustus.

Tänastes BIM tarkvarades pole seega komponenti täielikult parametrizeeritud. Selle kasutajale antakse võimalus neid laiendada. Seeläbi, lisaparameetrite defineerimisega, saab komponenti kasutada kindla tüübiga analüüsides. Probleemiks on mõistagi asjaolu, et erinevad tarkvarad eeldavad parameetrite gruppe mõnevõrra erineval kujul/seades/mahus või ka erinevates ühikutes (nt energiasimulatsioon või valgustusanalüüs). Hetkel saame rääkida vähemalt kolmest erinevast meetodist, kuidas parameetreid hallata erinevate tarkvarade tähenduses:

- Eeldefineerides objektide raamatukogus; seega kui lisatakse objekt, tuleb sellega kaasa ka parameetrite grupid;
- Kasutaja lisab need vastavalt vajadusele ja tarkvara nõuetele ettevalmistatud parameetrite gruppide raamatukogust.
- Parameetrid lisatakse automaatselt sidusandmebaasist kui komponent eksporditakse kindlasse tarkvarasse mõne analüüsi/simulatsiooni läbiviimiseks, mis baseerub objekti unikaalsel *ID* väärtusel.

Esimene variant on oluline tootmisküpsuse saavutamisel või selles etapis, kus erinevatele komponentidele kaasatakse automaatselt parameetrite grupid, kuid probleem võib tekkida siis kui kasutatakse kasutajapõhiseid objekte. Kuna iga objekt võib endas sisalda väga palju erinevaid parameetrite gruppe ja mingi kindel funktsionaalsus/analüüs kasutab sellest vaid teatud osa, võib kõikide parameetrite korrakaasamine muuta projektiga töötamise aeglaseks. Seetõttu võimaldab just teine variant kasutajal valida, mida ja milliseid parameetreid ta soovib lisada/eksportida. Selle puuduseks on aga aeganõudev eksport ise, sest iga uus simulatsioon eeldab taas nende parameetrite kaasamist/eksporti (nt olukorras, kus soovitakse analüüsida erinevaid aknalahendusi energia-simulatsiooni tähenduses). Kolmas variant hoiab projekti ennast küll kompaktsena, kuid eeldab üsna keerukat materjalide automaatse lisamise protseduuri defineerimist, et parameetrite gruppide

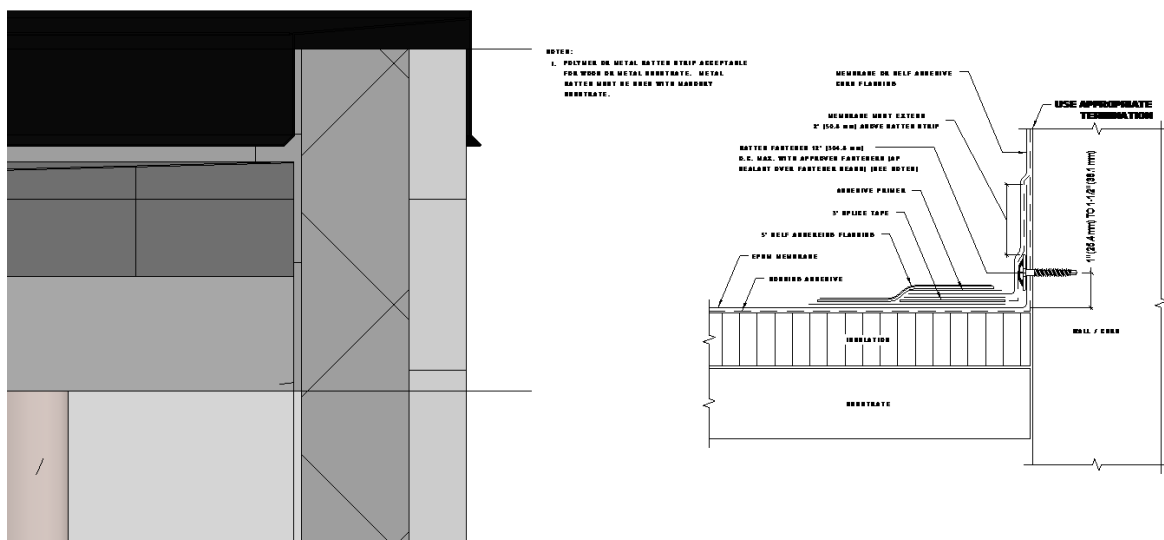
lisamine objektidele toimuks vastavalt olukorrale ning vajadusele. Ilmselt just see kolmas variant on kõige optimaalsem viis tulevikku suundasid arvestades. Seega on vaja objektid klassifitseerida globaalse, unikaalse ID väärtusega (tänapäevastes tarkvarades on see juba olemas), mistõttu siduste loomine ja ka parameetrite gruppide andmebaasi loomine saab olema efektiivsema majandamise märksõnaks. Probleemiks täna on ennekõike asjaolu, et ehki ühe tarkvara piires on need unikaalsed ID väärtused olemas, võivad need teises tarkvaras olla midagi muud.

2.3.3. Jooniste loomine

Tänapäevased harjumused/vajadused või siis lepingujärgsed nõuded eeldavad endiselt ka jooniste kasutamist/loomist. Joonis kui mingi kindla vaatenurga väljavõtt mudelist. Seetõttu peavad ka tänapäevased BIM töövahendid sellega toime tulema, need peavad võimalikult efektiivselt suutma luua jooniseid. Ehitise terviklikus mudelis defineeritakse iga komponent vaid üks kord. Ühisest andmebaasist tehakse seejärel erinevaid vaateid/väljavõtteid kus kuvatakse see sama objekt lihtsalt vaadatuna erineva nurga alt. Tavapärasel 2D joonistamiskultuuris esitatakse aga ühte objekti väga erinevatel vaadetel, mis pole omavahel seotud ja seega peab muudatuse korral tegema muudatuse ka kõikides vaadetes, kus see objekt või selle osa on nähtaval. See võib kaasa tuua üksjagu vigasid, eksimusi, unustamisi jne. Näiteks monteeritava betoonelemendi tootmise juures on varasema 2D praktika näitel leitud, et sedalaadi vead moodustavad ca 1% ehituskuludest (Sacks et al., 2003).

Arhitektuursed, tehnosüsteemi komponente eristatakse joonistel lähtuvalt staadiumist, lisaks on vaja neid esitada nii rist- kui isomeetrisel projektsioonis. See omakorda tähendab, et erinevates vaadetes (või vaate tüüpides) peab seda komponenti esitama erinevat moodi. Teisisõnu peab BIM tarkvara pakkuma võimalust, kuidas neid komponente saab esitada, sisuliselt tõmbame siin paralleele 2D tarkvarale, kus on vaja esitada peen- ja jämejoonega; pideva- või kriipsjoonega. Lisaks ühistele arusaamadele (nt standard) võib ettevõtte soovida teatud mahus kaasata oma enda väljakujunenud visuaalset keelt, mistõttu oodatakse BIM tarkvaralt jooniste loomise tähenduses väga suurt paindlikkust. Tänapäevased BIM töövahendid võimaldavad küll automaatselt jooniseid genereerida, kui on üsna ebatõenäoline, et need on lähiajal 100% terviklikud ja täpsustusi/täiendusi pole teha vaja.

Ehitised sisaldavad endas tuhandeid objekte. Üldjuhul saab neid lahterda ka viisil, mida modelleeritakse ning mida pole mõtet modelleerida. Samas peavad ka need mitte-modelleeritavad komponendid olema teatud viisil märgitud joonistel. BIM töövahend võimaldab seega luua väljavõtte modelleeritud komponentidest ja seda erineva detailsusega (kas näiteks näidatakse seina kõiki kihte või mitte). Joonistel märgitakse see ära, kust see väljavõte on tehtud, ning sellega seotakse ära omaette joonis. Seejärel saab seda väljavõtet täpsustada. Kui nüüd aga 3D komponent peaks selles mudelis muutuma, siis muutub see küll lõikes, 2D väljavõttes aga kui sellega seonduvalt on lisatud täpsustusi 2D tähenduses, siis neid peab üldjuhul käsitsi redigeerima.



Joonis 2.9. Ekraanipilt Autodesk Revit mudelist.

Üksikud vaated moodustavad vaadete gruppe (lõiked, plaanid jne). Neid vaadete gruppe või ka üksikuid vaateid kaasatakse paberilehtedel. Need paberilehed vormistatakse nii nagu ikka, koos raami ning kirjanurgaga.

Allolevalt toome välja jooniste genereerimise erinevad tasemed, alustades madalamast:

1. Kõige madalam tase võimaldab 3D mudelist teha rist-projektsioonilisi väljavõtteid, mida kasutaja seejärel täpsustab, korrigeerides joonte esitust, lisab mõõtketid, erinevad detailsused ning tähised/tekstid. Need on omavahel ühenduvuses (ingl *associative*). Seega nii kaua kui eksisteerib konkreetne mudeli vaade/väljavõte, eksisteerib ka see täpsustus.
2. Järgmisel tasandil kaasatakse juba objektide malle lähtuvalt nende paigutumise vaate tüübist joonisel (plaan, lõige, vertikaal), milles genereeritakse elementide mõõdud, pannakse paika joonte paksused ning lisatakse ka tekstilised väljavõtted lähtuvalt parameetrite/atribuudi gruppidest. See võimaldab jooniste loomist muuta oluliselt efektiivsemaks. Malle, mille järgi seda tehakse, saab kasutaja redigeerida. Nii esimesel kui ka teisel juhul ei suudeta jooniseid automaatselt uuendada, vaid need tuleb ümber genereerida.
3. Tänapäevane kõrgeim tase jooniste loomise juures lähtub kahepoolsest redigeerimise võimekusest mudeli ning jooniste vahel. Juhul kui muudatus tehakse joonisel, siis muudab see ka mudelit.

Uste, akende ning lukusüsteemide spetse saab samuti analoogselt defineerida. Ehk siis spetsifikatsioonide kaudu on võimalik teha mudelis muudatusi, kuid see võib ka viia probleemideni, kuna tüübi muudatus tabelis võib põhjustada vastuolu mõnes teises reeglis, mida peab seejärel kontrollima 3D mudelis.

Tööprojektide või koostejooniste loomise BIM lahendustes on 3D vs 2D detailsuse käsitsi lisamise funktsionaalsuse vajadust olulisel määral vähendatud. Aga sellistel puhkudel lisatakse ka 3D komponente juba mudeliise mõnevõrra rohkem (nt kinnituselemendid). Selgemast selgem on see, et me püüame jooniste loomist automatiseerida nii palju kui vähegi võimalik. Teiselt poolt püüame me jooniste vajadust ajas vähendada ja seega jääb see BIM lahenduste kasutamisel tahaplaanile, sest mudeleid kasutatakse otse ülesande täitmisel, sh tootmisprotsessis. Ehk siis suund on paberivaba tööprotsesside poole.

BIM tehnoloogia kasutamisel saame me valida, millises 3D detailsuses me töötame ja kasutame 2D-d selleks, et täita n-ö modelleerimata jäänud tühimikke. Võidakse väita, et täielik või 100% 3D-s

tegemine täna end ei õigusta, kuid me näeme, et sinna poole ollakse sellest hoolimata teel ja selle kohta on juba täna ka projekti näiteid (Eastman et al., 2011). Erineva tasemega kasutajad alustavadki tasakaalukalt, samas kui edasijõudnud püüavad BIM töövahendeid maksimaalselt ära kasutada.

2.3.4. Skaleerivus

Paljud kasutajad näevad BIM projektide tähenduses väljakutseid just nende skaleeruvuses. Nimelt, kui projektmudelid muutuvad suuremaks, siis tekivad üsna tihti ka probleeme nendega töötamises, mis võib väljenduda mudeli aeglases toimimises ja seega ajakulu tegevuste/muudatuste läbiviimisel. Ühes projektis võib olla miljoneid komponente, kõik need tahavad saada oma osa ka arvuti mälu. Sõltuvalt aktiivse vaate ulatusest, kord vähem, kord jälle rohkem. Lisaks sõltume ka mudeli detailsusest või siis kuvatavast detailsusastmest (nt kus modelleeritakse iga kruvi, polt ja mutte).

Varasemalt oleme rääkinud, et parameetrilises modelleerimises sõltub üks komponent teisest või üks mõjutab teist. Seega kui me muudame ühte parameetrit, võib see kaasa tuua väga paljude teiste komponentide muutmisvajadust kuni ehitise tervikliku tasandini välja. Teatavas ulatuses me saame mudeli jagada väiksemateks mahtudeks, kuniks jagatavad mahud pole omavahel seotud. Aga alati pole see võimalik. Seetõttu tuleb väga palju infot hallata korraga ja riistvara vaba mälu olemasolul on siin täita oluline roll. Kui see saab aga täis, siis hakatakse kasutama kõvaketast, mis teeb protsessid väga aeglaseks. Osaliselt saame mudeleid jagada ka faili põhiselt või referentsina. Kui räägime mudelitest sõltuvaid alamfaile (nt koostejoonised), siis uuendamise käigus need joonised lihtsalt avatakse üksikhaaval ja muudatus viiakse läbi. Tõsi, faili avamine-sulgmine on ajamahukas tegevus (või moodustab olulise osa), siis tegevuse läbiviimine ise ei ole väga suuri ressursse nõudev, sest seda tehakse n-ö fail korraga. Mistõttu ei oma siin niivõrd tähtsust ka mudeli detailsus, kuna vaid teatud mahu tähenduses viiakse uuendused sisse.

2.3.5. Objekti haldus ning lingid

BIM mudelid võivad muutuda üsna suureks ning keerukateks. Gigabaitides mõõdetavad mudelite mahud on muutumas tavapäraseks. Sellistel puhkudel saab andmete koordineerimisest ning haldusest väga oluline ülesanne või murekoht. Tavapärane, failidel baseeruv, muudatuste sisseviimise protsess sisaldab järgmisi probleeme:

1. Failid muutuvad mahukamateks ning projekti peab mingil moel hakkama jagama, et projekteerimine saaks jätkuda; failid on suured, töö aeglustub ning on tülikas.
2. Failides olevate muudatusvajaduste analüüs on käsitöö, lisades näiteks annotatsiooni ühes kommentaariga (PDF formaati kaasates). Tüüpiliselt ei olnud oluliste muudatuste sisseviimine ehitusstaadiumis enam lubatud, kuna kaasas väga suurt lisakulu. BIM ja sellega seonduv mudelpõhine haldus püüab seda probleemi minimeerida. Kui parameetrilised uuendused vastutavad lokaalsete muudatuste eest, siis erinevate mudelite koordineerimine on siiski problemaatiline.

Varasemalt välja toodud, kuid alles nüüd praktikasse jõudnud võimalus, kus jagatakse vaid muutunud komponente/objekte on tänaste tarkvaratootjate fookus. Teisisõnu, suund on faili põhiselt jagamiselt andmekesksele lähenemisele, kus fookus on ligipääsu andmine andmelaole (või selle osale), kust saab siis päringute kaudu teha väljavõtteid ja seejärel muudatused tagastada uuesti vastavasse andmelattu (andmebaasi). Seeläbi vähendatakse oluliselt info ülekandmise mahtu mistahes ajahetkel. Selle kasutamine eeldab aga objektipõhist lähenemist ning selle versiooni haldust (tavaliselt ajatempliga).

Eelnevalt sai kirjeldatud, et parameetrite väline haldus aitab valida info vahel, mida parasjagu mingi ajahetkel on vaja. Seetõttu räägime täna ka parameetrite vahetatavusest ja niinimetatud universaalsest listist, mille poole saavad erinevad tarkvara pöörduda, tagades seeläbi ühelaadse info

kaasamise. Seda listi võib vaadata mõne tabelina, kus on siis defineeritud parameetrid, mis sõltumata tarkvara platvormist kontrollivad parameetrist mudelit. Seda võib vaadata ka kui käsiraamatut. Näiteks kui teatud komponendid on defineeritud kindla struktuuri järgi ja kannavad sellest lähtuvalt ka eristuvat nimetust, siis saavad erinevad tarkvarad selle nime järgi ligipääsu referentstabelitest (andmebaasidest) olulistele parameetritele. Näitena võib tuua terase profiilid, kus kindel profiil on nimetatud kui *W20x20* või *L10x10*. Läbi nende tunnuste saame ligipääsu selle konkreetse profiiliga seotud andmetele nagu kaal, massiga seotud omadused jmt.

mõõt	kg/m
20x20x2	1,05
25x25x2	1,37
25x25x2,5	1,64
25x25x3	1,89
30x30x2	1,68
30x30x2,5	2,03
30x30x3	2,36

Joonis 2.10. Terasprofiilid ning sellega seotud lisaandmed (kaal) (<http://www.kanemetall.ee/terasprofiilid/>).

Sarnaselt võib katalooge luua või linkida ka armatuuri, monteeritava betooni, aknatootjate andmebaasidega (tabelitega). Oluline, et erinevad osalised saavad linkida samale kataloogile.

Lisaks võime soovida kaasata ka täpsustatud viiteid linkide/failide näol. Selle ehedaks näiteks on paigaldus- ja/või hooldusjuhised. Siin loetletud funktsionaalsed võimekused on olulised kui valitakse sobivat BIM platvormi.

2.3.6. Mõned enamlevinud küsimused

BIM-iga seondult on terve rida küsimusi, mis tekivad. Püüame osadele siinkohal vastuse anda.

Objektipõhise, parameetrilise modelleerimise tugevad küljed ning piirangud

Parameetrilise modelleerimise eeliseks on kindlasti intelligente objektidega töötamise haldus. Samas tähendab sedalaadi intelligentsuse lisamine ka keeruka süsteemi loomist, mis teeb BIM tarkvara kasutuse kohmakaks ja selle õppimine võtab aega (mõõdetav üldjuhul kuudega). Mõned modelleerimispaketid, mida me eelistame, ei ole parameetrilise modelleerimise töövahendid (nt *SketchUp*, *Rhino*, *form•Z*). Nende tarkvarade näol on rangemalt paika pandud, kuidas objekti põhists manipuleerimist saab läbi viia, mistõttu on neid ka lihtsam kasutada. Objekti atribuutide lisamine tähendab üldjuhul neis tarkvarades lisatööd ning käsitsi sekkumist (vastupidiselt BIM-ile, kus need lisatakse automaatselt objekti loomise hetkel). Võib väidelda teemal, et sedalaadi tarkvarade kasutamine on piisav näiteks eskiis loomisel, kuid ka siin räägime me võimalusest kuidas juba tehtud töö üle kanda järgmisesse staadiumisse nii, et me ei kaotaks juba tehtud tööd.

Miks erinevad parameetrilise modelleerimise paketid ei suuda omavahel mudeleid jagada?

Põhjuseks on asjaolu, et erinevad tarkvara on välja töötatud erinevaid baas objekte ning nende käitumisreegleid arvestades. *Bentley* sein komponent käitub mõneti teistmoodi kui seda teeb näiteks *Autodesk Revit*-i või *Tekla Structures* sein komponent. See probleem on ühene vaid parameetriliste komponentide juures ning mitte fikseeritud komponentide tähenduses. Seega fikseeritud komponendi jagamine ei ole probleemiks, aga kui soovitakse jagada ka selle käitumisreeglistikku (et sein jääb seinaks jne), siis siin tekivad erisused. Analoogsed probleemid eksisteerivad ka tootmisega seotud ettevõtetes.

Kas ehituse-, tootmise- ning arhitektuurse BIMi tarkvarade vahel on erisusi?

Kas sama BIM platvorm suudab täita nii projekteerimisega seotud kui tootmisega seotud küsimusi? Kuna tehnoloogiliselt vaatepunktist on mõlemad süsteemid sarnased, siis pole põhjust, miks ei suudaks üks tarkvara teises valdkonnas olla kasutatav. Näiteks *Autodesk Revit* püüab lahendada ka tootmisega seotud küsimusi. Samas on ka *Tekla Structures* tarkvara kasutatud mõlemaks, nii üldiseks projekteerimiseks kui tootmistsükli ettevalmistuseks. Sellest hoolimata on need tarkvarad just laiendanud (ja veelgi laiendamas) oma algset fookust (kas siis alustatud projekteerimise poolelt ja laienetud tootmissektorisse või vastupidi).

Kas tootmises kasutatav parameetriline modelleerimise töövahend võiks sobituda BIMi tööprotsessidesse?

Tegelikult on mehaanika valdkonna tooteid juba tänaseks rakendatud BIMi juures. Näiteks: *Catia > Digital Project > Trimble Connect*. Või siis: *Solidworks > StructureWorks*. Sarnaselt näeme suunamuutusi ka tehnosüsteemide valdkonnas, kus luuakse integratsioone tootmis- ning projekteerimistarkvara vahel.

2.4. BIM keskkonnad, platvormid ning töövahendid

Selles osas tutvume lähemalt mõnede BIM töövahenditega ja nende funktsiooniliste erinevustega. Siiani oleme keskendunud platvormile tervikuna, kuid kui liigume töövahendite tasandile, siis paljud BIM rakendused omavad liideseid teiste tarkvaradega (nt renderdamiseks, energia simulatsiooni läbiviimiseks, mahtude väljavõtete tegemiseks jpm). Seetõttu on oluline (ja seda ka organisatsiooni tasandil) aru saada, et BIM ei ole lihtsalt üks tarkvara, vaid see kaasab mitmeid erinevaid töövahendeid, millest igaüks täidab kindlat rolli/ülesannet. Suuremates ettevõtetes on kasutusel 10 – 50 erinevat töövahendit, mistõttu peab leidma viise, et need oleksid integreeritud ka omavahel. Oleme siiani kasutanud mõisteid töövahend, platvorm ning keskkond. Vaatame nende põhimõttelist tähendust/erinevust:

- **BIM töövahend** – tegevuse põhine rakendus, millel on kindel väljund; nt mudeli genereerimine, jooniste loomine, spetsifikatsioonide loomine, maksumuse analüüs, vastuolude kontroll, energia simulatsioon, renderdus, ajagraafikute loomine ning visualiseerimine. Töövahendi väljund on tihtipeale eraldiseisev, nt raportina, joonisena jne. Sama mõningatel juhtudel on töövahendi väljundiks eksport teistesse rakendustesse (mahtude väljavõtete tegemine, konstruktsiooni arutamiseks, sisendiks koosteejoonise tegemiseks).
- **BIM platvorm** – rakendus, mis enamjaolt kasutatav projekteerimise staadiumis ja loob andmestikku erinevaks otstarbeks. Tegemist on andmemudeliga, milles seda infot erinevaks otstarbeks hoitakse/redigeeritakse. Need platvormid sisaldavad üldjuhul ka töövahendeid, et läbi viia kindlaid tegevusi – jooniste loomine, vastuolude kontroll. Siin on kaasatud ka erinevad liidesed töötamiseks teiste töövahenditega. Mõned platvormid jagavad kasutajaliidest või infojagamise põhimõtteid.
- **BIM keskkond** – andmete haldus läbi ühe või rohkema info edastusviisi, mis integreerib erinevaid rakendusi (töövahendid ja platvormid) ettevõtte piires. See toetab ettevõtte erinevaid eeskirju, praktikaid. BIM keskkond on ajas kasvav, ja määratud ettevõtte arengusuundadega. BIM keskkond võimaldab märksa suuremat informatsiooni vahetust kui lihtsalt mudelitel baseeruv. Selleks võib olla nii video, pildid, heli, e-kirjad jm infot sisalduv materjal/meedium. BIM platvorm ei suuda üldjuhul sellel tasemel infot hallata. BIM keskkonna näiteks on nn BIM serverid. BIM keskkond sisaldab muuhulgas infot, mis on projektist projekti taaskasutatav ning on integreeritav ettevõtte teiste ärihaldussüsteemidega.

2.5. Ülevaade enamlevinud BIM platvormidest

Selles osas tutvume lähemalt enamlevinud BIM platvormidega ning keskendume nende funktsionaalsete ning tööpõhimõtete (sh jõudlus) erisustele, milles on nii platvormile kui töövahenditele omased tunnused. Samas mõtleme neist ka kui BIM keskkonna võimalikust osast. Ülevaade keskendub ennekõike projekteerimisele või tootmisele orienteeritud BIM töövahenditele. Nende näidete juures keskendume kolmele olulisele aspektile: (a) kui töövahend; (b) kui platvorm ning (c) kui keskkond. Samas tuleb rõhutada, et üksik toode üldjuhul keskkonna rolli ei saa täita. Kuna rakenduste funktsionaalsus on ajas muutuv, tuleb tähele panna, et ka siin esitatu ei pruugi anda ühest pilti nimetatud rakenduste võimekusest.

2.5.1. Kui BIM töövahend

Töövahendi tasandil mõtleme ennekõike mudeli defineerimist ning jooniste loomist. Mudeli genereerimist ning redigeerimist saab vaadata mitmetahulisena (nt kasutajaliides, eriobjektid ning keerukamate pindade modelleerimine).

- **Kasutajaliides** – BIM töövahendid on loomult keerukamad kui CAD-põhised töövahendid. Mõned töövahendid on väga lihtsasti kasutatava kasutajaliidesega, samas kui teised pööravad suuremat rõhku funktsionaalsusele. Kasutajaliidesest lähtuvalt võib välja tuua menüüde või töövahendite kasutusmugavust, nende grupeerimist, vajadusel peitmist, et mitte üle koormata tegevuste kuvamisega, mida pole vaja igal ajahetkel sooritada. Lisaks ka seost/linki abiinfoga või kiiremat kasutust (klahvikombinatsioon).
- **Joonise genereerimine** – siin on ennekõike oluline, kui lihtne on joonised genereerida ning hoida neid värsketena/uuendada. Vaadata tuleb ka võimet reageerida erinevatele visuaalsete eelistuste rakendamisel (visualiseerimiseeadete rakendamise kiirus).
- **Lihtne viis kasutajapõhiste parameetriliste komponentide loomiseks** – see on üsna olulise tähtsusega ja hinnatav erinevatest vaatepunktidest:
 - Skitseerimise lihtsus; piirangute lisamise ulatus (möödueline, nurgana, tahkude järgi joondumine, “if-then” tingimused ja lihtsamad algebralased funktsioonid).
 - Võimekus defineerida kasutajapõhine parameetiline komponent lähtuvalt olemasolevast parameetrisest klassist või perekonnast, et selle objekti klassi käitumisreeglid kantakse üle ka uuele loodavale, kasutajapõhisele komponendile.
 - Võimekus toetada globaalse parameetri järgi objekti juhtimist, nt hoone teljed (3D võrgustik), mis globaalse parameetrina mõjutavad nende seotud komponentide paigutust, suurust, pinna omadusi.
- Keerukamate, kõverpindade modellerimine – tugi kaasata erinevaid joonobjekte (sh *NURBS*, *spline*) keerukamate, üldjuhul kõverpinnaliste objektide modelleerimiseks. Üldjuhul on selline võimekus BIM tarkvara alustala ja koheselt olemas (või siis mitte), ning neid ei saa lisada edasise tarkvara uuendusega ilma et tarkvara loogikat väga suuresti muutma ei peaks.
- Teised, töövahendil tasandil baseeruvad funktsionaalsused – näiteks vastuolude kontrolli toetamine, mahtude väljavõte, probleemi järgimine ning toote ja konstruktsioonilise info kaasatus). Lisaks vaadatakse siin ka veebipõhise sisu kaasatavuse küsimust.

2.5.2. Kui BIM platvorm

BIM rakenduste põhimõtteline funktsionaalsus seisneski töövahendis, mis hakkas arenema platvormiks hetkel kui saadi aru ehitusmudeli info kasutusest. Seetõttu on ka BIM platvormile seatavad nõuded kasvanud ühes ehitusinfo vajaduse kasvuga. Enamik BIM platvorme töötavad *Windows*-i operatsioonisüsteemil, mõned ka *Apple macOS*-i peal.

- **Skaleeruvus** – võimekus saada hakkama suurte projektidega ning võimaldada detailirohket modelleerimist. Seega peab süsteem alles hoidma oma reageerimisvõimekuse ka olukorras, kus projektis on suur hulk 3D parameetrilisi komponente. Skaleeruvus on väga oluline olukorras, kus hierarhilist elementide struktuuri kasutatakse suuremate elementide juures, näiteks fassaadsein või ehitis (hoone) tervikuna. Probleem on ilmne kui süsteem baseerub kõvakettal ja mitte operatiivmälul. Kõvakettalt lugemise/kirjutamisega kaotame me kõige rohkem väiksemate projektide juures, samas kui suuremate projektide korral see aeglus väga ei kasva. Operatiivmälul baseeruvad lahendused on väiksemate süsteemide korral kiiremad, kuid kiirus kahaneb oluliselt kui mälumaht saab täis. Tänapäevased operatsioonisüsteemidel (64-bit) on piisav operatiivmälu kasutamise suutlikkus, kuid seda peavad toetama ka teised süsteemi komponendid. Mõnede süsteemide jaoks on oluline ka graafikakaardi võimekus.
- **Töövahendi liidesed** – platvormina peavad BIM rakendused suutma esitleda väga suurt hulka informatsiooni, geometriat, omadusi ning nendevahelisi seoseid erinevatele teistele rakendustele. Näidetena olgu toodud konstruktsiooni-, energia-, valgustuse-, maksumuse- ning muud analüüsid, mida projekteerimise käigus on järjepidevalt vaja läbi viia. Lisaks ka vastuolude kontroll, probleemide järgimine, töö- ja ehitusgraafikud.
- **BIM elementide raamatukogud** – iga BIM platvorm kaasab endas mitmeid eeldefineeritud objektide raamatukogusid, mida saab kasutamiseks importida. Lisakomponentide kättesaadavus, mis on loodud teatud standardeid järgides, hõlbustab töötamist selle platvormiga.
- **Platvormi kasutajaliidese ühetaolisus** – platvormi kasutajaliideseid võib vaadata kahe erineva stsenaariumi järgi. Üks on kasutaja põhine ning teine koostööle suunatud. Kui esimesel puhul on kasutajaks spetsialist, kes keskendubki ühele konkreetsele tööle/ülesandele, siis teise variandi puhul on oluline järgida, et töövahendite kasutus oleks ühetaoline ja et neid oleks lihtne kasutama õppida. Viimane on küll väljakutsete rohke, kuna me tahame pakkuda rikkalikku funktsionaalsust.
- **Laiendatavus** – siin mõeldakse ennekõike võimalust, kas platvormi saab laiendada mõne skriptipõhise lahendusega, mis võimaldab lisada funktsionaalsust või madalama taseme tegevusi automatiseerida (nt *AutoLISP* *AutoCAD*-is, *Dynamo* *Revit*-is või *API* ligipääs koos väga hea lahti kirjutusega). Mõistagi on erinevad laiendatavuse võimalused mõeldud erineva tasemega kasutajatele ja API kasutus pigem tarkvara arendajaid silmas pidades. Samas on seda kõike vaja, et luua kasutajapõhiseid objekte, millel on spetsiifilised funktsionaalsused ning liidestused teiste rakendustega.
- **Koostalitlusvõime** – Mudelinfo luuakse osade kaupa, et seda jagada erinevate rakenduste vahel, et saaks kaasata erinevaid osalisi ja/või läbi viia erinevaid analüüse kohe projekti algjärgus. Oluline on siinkohal ka koostöö aspekt. Kuidas toetab BIM platvorm teisi rakendusi, üldisemas plaanis milliseid on import/eksport võimekused või kaasata avatud standardil põhinevaid formaate.
- **Mitme-kasutaja tugi** – Mõned süsteemid võimaldavad koostööd projektimeeskonna liikmete vahel võimaldades erinevatel osalistel töötada sama projekti raames ning panustada just oma vastutusala piires projekti kui tervikusse. Seda lahendust saab kasutada kõvakettal baseeruva platvormi puhul ning mitte niivõrd operatiivmälul baseeruvatel BIM platvormidel, kus mitu erinevat kasutajat justkui võistlevad sama riistvara mahu kasutamise tähenduses.
- **Parameetrite efektiivne haldus** – Parameetrid on BIMi töövahendite üks olulisi osasid. Omaduste/parameetrite grupe peab seetõttu saama üles seadistada väga lihtsalt. Võimalused selle tegemiseks varieeruvad platvormi põhiselt.

2.5.3. Kui BIM keskkond

BIM algusaegadel arvata, et üks ja see sama rakendus suudab täita nii töövahendi, platvormi kui keskkonna rolli. Nüüdseks on sellest saanud eksiarvamus, kuna BIM projekti skaleeruvusest on paremini aru saadud. BIM keskkonna üheks oluliseks eelduseks on, et see suudaks luua ning hallata objekte, mida kasutavad erinevad töövahendid ning platvormid. Sealhulgas peavad need suutma ka objekti versioonihaldusega tegeleda. Eesmärgiks on saanud objekti keskne ning objekti gruppide põhine haldus ning mitte faili põhine jagamine.

2.6. BIM platvormid

BIM platvormi võidakse kasutada nii arhitekti kui inseneri poolt, seda nii üldiseks projekti loomeks aga ka jooniste genereerimiseks või hoopis konstruktsiooniinfo lisamiseks või energiasimulatsiooni läbi viimiseks. Lisaks võib seda kasutada ka töö- või tootmisjooniste ettevalmistamiseks või ehitise korrashoiuks. Rollid on erinevad ja seda on ka kasutusvaldkonnad. Ehkki tänasel päeval pakuvad enamik tarkvara tootjaid pigem toodete komplekte, siis siin näites fokuseerimine end põhiplatvormile ja selle analüüsile.

Tarkvara omandamine/kasutusõiguse saamine on väga erinev teistest ostuotsustest. Näiteks auto soetamisel me lähtume selle hetke vajadustest/soovidest/võimekusest jne. Tarkvara puhul lähtume me selle tänasest võimekusest ning tulevikus lisanduvast, mis võib olla jooksvalt, kvartali või aasta põhine. Vähem oluline pole ka tarkvara kasutajate ring ning võimalus tarkvara ühtse kommuunina paremini kasutama õppida (foorumid, blogid, kasutajapõhiste komponentide jagamine jne). Ka seda peab tarkvara soetamisel arvesse võtma.

2.6.1. Autodesk Revit

Autodesk Revit omab nii arhitektuurse (2002), konstruktsiooni (2005) kui tehnosüsteemide (2006) mudeli loomise võimekust ning analüüse. *Autodesk Revit*-i soetas *Autodesk* 2002.ndal aastal *startup* ettevõttelt [Charles River Software](#) (hiljem kui *Revit Technology Corporation*).

- **Töövahendina** – lihtne menüüstruktuur, jooniste loomise võimekus väga hea, joonised säilitavad seotavuse, kahesuunalise redigeerimise tugi, kasutajapõhiste objektide loomise võimalus koos erinevat liiki piirangute kaasamise, toetab parameetrite hierarhilist struktuuri, *API* tugi, lisakomponentide väga hea saadavus (sh tootja põhiselt).
- **Platvormina** – BIMi turuliider (kasutajate arvu tähenduses), väga hea lisarakenduste kättesaadavus/integreeritavus.
 - Konstruktsioon – *Autodesk Robot Structural Analysis Professional* (link), *SOFiSTiK*, *Bentley STAAD.Pro*, *StruSoft FEM-Design*, *GRAITEC Advance Design* jt.
 - Tehnosüsteemid – *MagiCAD*, *Trimble SysQue*, *HYDRATEC* jt.
 - Energiasimulatsioon ning keskkond – *EnergyPlus*, *Autodesk Insight* (link), *Autodesk Green Building Studio* (link), *IESVE* jt.
 - Visualiseerimine – *Autodesk Rendering (cloud)*, *Autodesk 3ds Max* (link), *Revit Live*, *Lumion* (plugin), *Chaos Software V-Ray*, *Next Limit Maxwell* jt.
 - Varahaldus/hooldus – *Archibus*, *Ecodomus* jt.
 - Maa-ala planeering – *AutoCAD Civil 3D*
 - 4D/5D simulatsioonid – *Innovaya*, *Autodesk Navisworks*, *Trimble Vico Office*
 - Ehituse spetsifikatsioonid – *e-SPECS*, *BSD SpecLink-E*
 - Import – *SketchUp*, *AutoDesSys form•Z*, *Rhino*, *Google Earth*
 - Failide tugi – *DWG*, *DXF*, *DGN*, *SAT*; *DWF/DWFX*, *ADSK*, *html* (ruumide raport), *FBX*, *gbXML*, *IFC*, *ODBC*

- **Keskkonnana** – *Autodesk* on varasemalt investeerinud veebiserveritesse nagu *Buzzsaw*, *Constructware*, samas põhitähelepanu on *Autodesk BIM 360* rakendustel. *Autodesk Revit* kaasab endas küll objekti ID-d, samas kui versioonihaldus ning muudatuste info on faili põhine ning mitte objekti põhine. See seab piirangud, et saaks sünkroniseerida objekte erinevate failide vaadete vahel. Seetõttu saame öelda, et *Revit* on küll platvorm aga mitte *BIM* keskkond. Kui *Autodesk Revit* kombineerida *Autodesk Collaboration for Revit* pilveteenusega ning *BIM 360 Team* funktsionaalsustega, siis pilt muutub ja sarnaneb rohkem juba *Graphisoft BIMcloud* (varem ka kui *BIM Server*) lahendusele.

Revit tarkvara tugevad küljed – lihtne õppida, kasutada; väga lai objektide raamatukogude tugi.

Revit tarkvara nõrgad küljed – operatiivmälul baseeruv rakendus, mis suuremate projektide korral aeglustab tööd (alates ca 300 MB); piirangud mõnede parameetriliste reeglitega ning piiratud tugi keerukate pinnaobjektide loomises tähenduses (*Dynamo* küll seda osa leevendab); piiratud objekti põhise haldamise süsteem *BIM* keskkonna näol (*Autodesk Collaboration for Revit* leevendab).

2.6.2. Bentley AECOsim Building Designer

Bentley AECOsim on korduvalt nime vahetanud (*TriForma*, *Bentley Architecture*), kuid samaks on jäänud see, et tegemist *MicroStation* platvormil baseeruva lahendusega. *AECOsim* näol liidetakse erinevad valdkonna (arhitektuur, konstruktsioon, tehnosüsteemid) tooted üheks tervikuks. Valdkonna toodete ühildamine toimus samal ajal kui *Autodesk Revit* oma valdkonna tooted kokku liitis.

- **Töövahendina** – eeldefineeritud standardne parameetriliste komponentide kogum; parameetrilisi komponente saab redigeerida vaid *MDL API* vahendusel; lisaks toetatakse kasutajapõhiseid komponente *Parametric Cell Studio* mooduli ning *Generative Components* vahendusel – samas ei ole erinevalt loodud parameetrilised komponendid omavahel tihedalt seotud (erinevad seosed); väga hea *NURBS* modelleerimise võimekus; hea 2D detailsuse lisamise võimetus 3D mudeli lõigetele (jooniste loomine); eeldefineeritud komponendid on kahepoolse lingiga; lihtne parameetrite lisamine objekti klassidele; võimekas süsteem erinevate moodulite tähenduses, kuid keerukas kasutada; objektide impordi/ekspordi tugi ning sisse ehitatud vastuolude kontroll.
- **Platvormina** – *Bentley Microstation* platvormil baseeruvad tooted on faili põhised süsteemid, mis tähendab, et kõik tegevused kirjutatakse koheselt faili ning operatiivmälule langeb oluliselt väiksem koormus; süsteem on hea skaleeruvusega; väga hea intergreeritavus *Bentley* enda toodetega (millest väga mitmedki on *Bentley* poolt üles ostetud ja seega pole integratsioon täielik, ning vajalik on failide konverteerimine; lisaks peab arvestama erinevate kasutajaliidestega, ehkki paljude tarkvarade *CONNECT edition* püüab tänasel päeval seda ühtlustada); funktsionaalsusi saab laiendada läbi *VBA*, *NET*, *C++*, *C#* ning *Bentley MDL* vahendusel.
 - Failide tugi – *DWG*, *DXF*, *PDF*, *U3D*, *3DS*, *Rhino 3DM*, *IGES Parasolid*, *ACIS SAT*, *CGM*, *STEP AP203/AP214*, *STL*, *OBJ*, *VRML*, *Google Earth KML*, *SketchUp*, *Collada*, *ESRI SHP*, *IFC*, *CIS/2 STEP*, *SDNF*.
- **Keskkonnana** – *Bentley* pakub hästi välja arendatud ning üsna populaarset projektide serverilahendust *ProjectWise*. Tegemist on siiski failidel baseeruva lahendusega ning mitte objektitasandil hallatava süsteemiga. *ProjectWise* toetab *DGN*, *DWG*, *PDF*, *MS Office* ja *Bentley* enda universaalformaati *iModel*.

AECOsim tarkvara tugevad küljed – suur töövahendite valik; väga hea pinnaobjektide modelleerimise võimekus (*Bezier*, *B-splines*); kasutajapõhiste komponentide lisamise võimalus läbi erinevate tehnoloogiate, parameetrilise modelleerimise plugin *Generative Components* võimaldab luua väga

keerukaid, kuid parameetrilises seoses olevaid geomeetrilisi koosluseid; võimalus edukalt kasutada suurte projektide korral, milles väga palju objekte; nii multiplatvormi kui serverpõhise lahenduste toega.

AECOSim tarkvara nõrgad küljed – suur töövahendite valik seab ka teatava piirangu nende kasutamise õppimisele, kuna erinevad kasutajaliides; erinevate töövahenditega tehtud komponendid on erineva reeglistikuga, mistõttu lisab keerukust nende tundma õppimisele.

2.6.3. GRAPHISOFT ArchiCAD

ArchiCAD-i saab pidada kõige vanemaks BIMi rakenduseks arhitektuuri valdkonnas. *GRAPHISOFT* hakkas *ArchiCAD*-i turundama 1980.ndate algul. Peakorteriga *Budapestis (Ungari)* osteti see 2007 üles *Nemetschek*-i poolt (Saksa päritolu CAD tarkvara tootja), kellel ka väga tugev tsiviilehitusega seotud tarkvarade taust. *ArchiCAD* töötab nii *Windows* kui *macOS* platvormil.

- **Töövahendina** – viimistletud kasutajaliides; jooniste loomine automatiseeritud; muudatuste kaasamine kõikidel plaanidel/vaadetel/lõigetel; jooniseid käsitletakse raportitena, mis tähendab, et need pole kahepoole seotavusega; suur parameetrilise objektide raamatukogu; kasutajapõhiseid komponente saab luua käbi *Geometric Description Language (GDL)* skriptide (sarnane *Visual BASIC* süsteemile, CSG-tüüpi ülesehitusele); skitseerimise töövahendid ei toeta algebralisi seoseid või tingmuslikke seoseid; olemasolevaid komponente saab täiendada läbi GDL-i; globaalsete võrgustike kaasamine on võimalik, kuid keerukas; toetab OBDC liidestust; toetab keerukaid pinnaobjekte, kuid need pole *ArchiCAD* komponentide tüüpi, mistõttu ei saa neid lokaalselt redigeerida; peale ülesostu *Nemetschek*-i poolt laiendas oma haaret ehituse halduse valdkonnas, sh integreeritavus *VICO*-ga.
- **Platvormina** – omab erinevaid võimalusi (GDL, IFC) liidestumaks laia valiku töövahenditega.
 - Konstruksioon – *Tekla, Revit, SCIA Engineer, ETABS, SAP, FEM-Design, AxisVM*.
 - Tehnosüsteemid – *GRAPHISOFT MEP Modeler, AutoCAD MEP, Revit*.
 - Energiasimulatsioon ja keskkond - *EcoDesigner STAR, ArchiPHYSIK, RIUSKA, Autodesk Green Building Studio, EnergyPlus, IESVE*.
 - Visualiseerimine – *Artlantis, LightWork Design, MAXON Cinema 4D* jt.
 - Varahaldus – *OneTools, ArchiFM*.
 - Import/failide tugi – *SketchUp, IFC*.
 - Mahtude analüüs - *Tocoman iLink*.
- **Keskkonnana** – *ArchiCAD BIMcloud* lahendus toetab serverpõhist koostöötamise viise. See baseerub objekti tasandil, mistõttu saab komponentide tasandil läbi viia muudatusi (objekti *ID* baasil ning ajatempli kasutamise põhimõttel).

***ArchiCAD* tarkvara tugevad küljed** – lihtsalt kasutatav kasutajaliides; mahukad objektide raamatukogud; väga hea teiste tarkvarade tugi; kasutatav mistahes staadiumis (va tootmisjoonised); väga hea serveripõhine koostöötamise tugi (objekti põhine); vähestest platvormidest, millel ka *macOS* tugi.

***ArchiCAD* tarkvara nõrgad küljed** – teatav piirang kasutajapõhiste komponentide loomisel (eriti tänases valguses); operatiivmälul baseeruv lahendus, seega skaleeruvusega võib tekkida probleeme, samas on selle lahendamiseks välja töötatud serveripõhine koostöötamise viis.

2.6.4. Digital Project

Digital Project (DP) arendajaks oli *Gehry Technologies* kuniks *TRIMBLE* selle üles ostis. Nüüd arendab seda *Digital Project Inc.* Tarkvara arendati *Dassault's CATIA* platvormi baasil (lennunduse ning

autotööstuse platvorm). DP eeldab võimekat riistvara, kuid suudab hakkama saada ka suurte projektidega. Baseerub *OpenGL* tehnoloogial.

- **Töövahendina** – keerukas töövahend, mida õppida sammhaaval; kasutajaliides redigeeritav; toetab nii globaalset parameetrite kaasamist objekti klassidele kui lokaalset reeglistikku/seoseid, mida siis objektide vahel tagada; väga hea töövahend loomaks ka kõige keerukamaid parameetrilisi kooste (nt saada hakkama tootmiseks ettevalmistamiseks); toetab keerukamate pinnaobjektide loomist; erinevaid võimalusi andmete importimiseks/eksportimiseks läbi tabelpõhiste või XML allikate; jooniste loomine ei ole kahepoolselt seotud; toetab vastuolude kontrolli.
- **Platvormina** – Digital Project on failide baseeruv lahendus ning seetõttu väga hästi skaleeruv; mitmed töövahendid saadaval läbi *CATIA Workbenches* funktsionaalsuse; saab linkida *MS Project* ning *Primavera Project* tarkvaradega; DP on üles ehitatud selleks, et seda saab kasutada uute objekti ning perekonna klasside loomiseks; toetab *Visual BASIC* skripte; omab head *API* tuge, mis omakorda kaasab *.NET* põhiseid lisamooduleid; *Uniformat* ning *Masterformat* klassifikatsioonide tugi; failide tugi: CIS/2, IFC, SDNF, STEP AP203/AP214, DWG, DXF™, VRML, TP, STL, CGR, 3DMAP, SAT, 3DXML, IGES, STL ning HCG.
- **Keskkonnana** – DP töötati välja kui platvorm, mis katab tootmiseks vajalikke töövahendeid; toetab mitut samaaegset kasutajat; SVN versiooni haldus; objekti ID (GUID) kasutamine objektipõhiseks versioonihalduseks.

Digital Project tarkvara tugevad küljed – suurepärase ning terviklik parameetrilise modelleerimise võimekus; suudab modelleerida mahukaid kooste, mis kontrollivad omakorda pindasid, omadusi ning alamkooste; tootmiseks ettevalmistuse tugi; suurepärase platvormi tasandil, kuna kogu info sisuliselt on 3D parameetriselt modelleeritav; integreeritud *Workbench* töövahendid.

Digital Project tarkvara nõrgad küljed – pikale veniv õpikõver; keerukas kasutajaliides; kõrge alginvesteering; eeldefineeritud objektide raamatukogu, mis sobitub ehitiste valdkonda, on piiratud; piiratud väliste raamatukogude kasutatavus; piiratud arhitektuursete joonise loomise võimekus.

2.6.5. Vectorworks

Vectorworks, mis alguses kandis nime ka *MiniCAD*, arendas välja *Diehl Graphoft Inc* (1985). Aastast 2000 kuulub *Nemetscek* gruppi (esmal osteti üles *GRAPHISOFT* poolt). Aastast 2009 kasutab *Parasolid* geomeetrilist algoritmi kui peamise geomeetrilise modelleerimise platvormina. Varasemalt sarnanes see pigem *Autodesk Architectural Desktop (AutoCAD Architecture)* loogikale.

- **Töövahendina** – väga mahukas töövahendite arsenal erinevate toodetena, kuid ühtse pakatina; *Designer* – tootedisain; *Architect* – arhitektuur ning *BIM* rakendused; *Landmark* – maa-ala planeerimine koos 2D/3D taimestiku raamatukoguga; *Spotlight* – valguse simulatsioon saalide/avalike ruumide tarvis; *Renderworks* – renderduse töövahend; mõnede töövahendite funktsionaalsused kattuvad; tekstid/mõõdud pole mudeli väljavõtetega seotud, mis tähendab ettevaatlikkust ning jooniste kontrollimise vajadust; kaasab mõistlikku koguse objekti raamatukogusid; suurepärase NURBS modelleerimise võimekus; võimalik eelnevalt defineeritud objekti klasse redigeerida ning ka uusi defineerida (*API, Vectorscript*).
- **Platvormina** – Operatiivmälul baseeruv süsteem; töötab nii *macOS* kui *Windows* platvormil; kasutab *Workgroups* funktsionaalsust, et jagada mudel väiksemateks tükkideks, et võimaldada samaaegset töötamist projektis; hästi integreeritud kasutajaliides üle terve tooteseeria; väliste tarkvarade tugi enamjaolt IFC vahendusel.
 - Konstruksioon – *Revit, Scia Engineer, Tekla, Nemetscek Allplan*
 - Tehnosüsteemid – *MagiCAD*

- Energiasimulatsioon ning keskkond – *IESVE*
- Visualiseerimine – *Renderworks* (baseerub *Cinema 4D* renderduse algoritmil), *Artlantis*
- Mahtude analüüs – tabelpõhiste raportite eksport, et saaks edasi analüüsida teistes tarkvarades
- Import – *SketchUp*
- Failide tugi – DXF/DWG, IGS, SAT, STL, X_T, 3DS, IFC
- **Keskkonnana** – *Vectorworks* on keskendunud kindlatele projekteerimisvaldkondadele ja seda siis sõltuvalt regioonist. Objektidel puudub GUID tugi, objektipõhine versioonihaldus pole toetatud.

2.6.6. Tekla Structures

Tekla Structures sai alguse Soome ettevõttes *Tekla Corp.* juba aastal 1966 ja laienes üle maailma. *Tekla* ettevõttega omab allüksuseid, mis tegelevad nii hoonete, infra kui ehitusvaldkonnas. Algne toode kandis nimetust *Xsteel* (1990. aastate keskel), millest sai kõige laiemalt kasutatav terase tööjooniste loomise tarkvara üle maailma. Tegemist on suuresti failidel baseeruva rakendusega ning seetõttu hästi skaleeruv. Võimaldab sama projektiga töötada mitmel projektimeeskonna liikmel. Hetkel ei toeta *B-spline* või *NURBS* pindade loomise võimalust. Aastast 2011 kuulub *TRIMBLE* korporatsiooni.

- **Töövahendina** – alates 2004 saab *Teklas* teha monteeritava betoonelemendi projekti ning tootmiseks ettevalmistust nii konstruktsiooniliste kui arhitektuursete montaažidena; aastast 2004 nimetati tarkvara kui *Tekla Structures* ja ka laienes komponentide tugi – nüüd lisaks teras, puit, armeeritud betoon ning konstruktsiooni arvutused; omab head tuge olemasolevate aga ka uute parameetriliste komponentide loomise/redigeerimise tähenduses; tegemist on kompleksse süsteemiga, mille tundma õppimine võtab aega.
- **Platvormina** – *Tekla* pakub tuge väga erinevatele rakendustele:
 - CNC – *AxisVM*
 - Konstruktsioon – *CYPECAD, Diamonds, Fastrak, FEM-Design, MidasGEN, ModeSt, RSTAB, SCIA, STAAD, STRUDS*
 - Konstruktsioonide analüüs – *NISA, Powerframe, RFEM, Robot Structural Analysis, SAP2000, S-Frame*
 - Tööplaani mahamärkimine – *Trimble LM80*
 - Tooteinfo, tehniline info – *BuildSite*
 - Projekti haldus – *Meridian Prolog Converge*
 - Import/eksport – *DWG, DXF, .calma, CIS/2, DsTV, .ell, .xml (sh MS Project, Primavera), .hli, IFC, IGES, DGN, SAP, Oracle, ODBC, STAAD, .sdf, .sdnf, STEP, .uni* (mitte täielik nimekiri, osaliselt erinevused import/ekport tähenduses)
- **Keskkonnana** – *Tekla* võimaldab samaaegset ligipääsu ühele ja samale projektile; võimaldab ka objektipõhist reserveerimist; objekti ID tugi, ajatempel; objekti põhine redigeerimine/haldus võimaldatud.

***Tekla Structures* tarkvara tugevad küljed** – konstruktsioonide tähenduses väga hea võimekusega ning detailsusastmega (lai materjalide andmebaas); suudab toime tulla ka mahukamate projektidega; mitme-kasutaja tugi; kasutajapõhiste parameetriliste komponentide tugi, sh olemasolevate redigeerimine.

***Tekla Structures* tarkvara nõrgad küljed** – pikale veniva õpikõveraga; saab importida keerukamaid pindasid teostatuna teistes rakendustest, kuid need pole redigeeritavad; suur alginvesteering.

2.6.7. DESTINI Profiler

DESTINI Profiler on loodud *Beck Technology Ltd* poolt 1990. ndate lõpus, baseerudes ülesostetud PTC (*Parametric Technologies Corporation*) parameetrilise modelleerimise platvormil (2000), kuna PTC olid võtnud vastu otsuse, et ei soovi siseneda AEC turule. *DESTINI Profiler* funktsionaalsus on unikaalne, kuna lähtub eskiismudeli ehitusmaksumuselt ning teatavas mahus ka selle korrashoiust. Võimaldab kiiret eskiismudeli loomist. Kõik objektid on seotud kooste makse klassiga. Objekte saab muuta ühest konstruktsiooni tüübist teise ilma, et peaks geometriat uuesti looma. Tugevus on kindlasti maksumuse-eelarvestuse vaatepunktist ja hargnedes sellest vaatepunktist komponentideks, kollektsioonideks, koosteks ning joonteks. Võimaldab siduda erinevaid maksumuse andmebaase. Toetab erinevaid enamlevinud failiformaate nagu DGN, DXF, PDF, DWF. Energiasimulatsioonidest omab linki *eQuest* tarkvarasse.

DESTINI Profiler tarkvara tugevad küljed – sobitub mistahes ehitise (hoone) tüübiga; baseerub kooste maksumustel ja seost maksumuse andmebaasidega saab pidada ka selle toote kõige tugemaks küljeks.

DESTINI Profiler tarkvara nõrgad küljed – tegemist ei ole tavapärase BIM töövahendiga; tegemist on ennekõike finantstöövahendiga ehitusprojektide tähenduses.

2.6.8. AutoCAD põhised rakendused

Autodesk-i peamine, *AutoCAD* platvormil baseeruv, ehitise rakendus on *AutoCAD Architecture* (varem nimetatud ka kui *Architectural Desktop*) ning koos eriosade toega *AutoCAD MEP*. Tegemist oli *Autodesk-i* peamise tootega arhitektuuri valdkonnale enne kui *Autodesk* omandas *Revit* platvormi. *AutoCAD Architecture* baseerub *AutoCAD-i* tahkkehaga ning pinnaobjekti modelleerimise laiendustel. Algne fookus oli pakkuda võimalust 2D joonistelt sujuvat üleminekut BIM-ile. Eeldefineeritud objektid omavad piiratud gruppi reegleid. Parameetrilise kehtib ennekõike objekti piires (nt trepp, katus). Teataval määral saab teha ka kasutajapõhiseid komponente. Suuremate projektide halduseks saab kasutada *AutoCAD XREF* tehnoloogiat. Joonis (*Layout*) on lingitud mudeli loomise ruumiga (*Model Space*), mis töötab ühepoolset (mudelist paberile). Mudeli vaated on lihtsat ristprojektsioonivaated, milles on piiratud vaate redigeerimise võtmed. Toetab nii DWG, DGN, DWF, DXF kui IFC formaate. Programmeerimise tähenduses toetab: *AutoLISP*, *Visual Basic*, *VB Script*, *ARX (C++)*, *.NET* liideseid. Lisaks *AutoCAD Architecture / MEP* tarkvarale on terve rida teisi *AutoCAD*-il baseeruvaid rakendusi, mis kasutavad erinevaid objekti tüüpe/klasse. Kolmandad tarkvaratootjad on integreeritud oma tooteid *AutoCAD* platvormile (nt *MagiCAD*).

AutoCAD-il baseeruva tarkvara tugevad küljed – *AutoCAD* kasutajale lühike õpikõver; hea API tugi ning SDK.

AutoCAD-il baseeruva tarkvara nõrgad küljed – põhimõtteline puudus on asjaolu, et tegemist pole parameetrilise modelleerimise paketiga, mistõttu teeb uute objektide/reeglite/piirangute defineerimise mitte-programmeerijale keerukaks (kui mitte võimatuks); piiratud tugi teiste rakendustega; operatiivmälul baseeruv lahendus, mistõttu skaleeruvus võib olla takistus kui ei kasutata XREF-e; muudatuste tegemine jooniste grupile on manuaalne.

2.7. Kergekaalulised modelleerimise rakendused

Varasemalt nimetatud platvormid kaasavad endas ehitise mudelit ning erinevaid rakendusi, mis võimaldavad seda luua, redigeerida ning infot üle kanda erinevatesse formaatidesse, kasutuseks. Samas on kasutatud ka teisi, kergekaalulisi formaate, millel on oma rakendus. Nendeks on *3D PDF* (*Adobe*) ning *DWF* (*Autodesk*). Eelnimetatud formaadid ennekõike jagamise funktsionaalsusega. *DWF* on aga jäämas ajale jalgu ja *Autodesk* seda edasi ei arenda ning see on asendumas *Autodesk* tarkvaradesse integreeritud veebipõhise jagamise/markeerimisega (ehk *DWF-i* saab endiselt

luua/importida). 3D PDF-i tugi erinevatest tarkvaradest on aga pehmelt öeldes nõrk, siiski mõne erandiga (läbi *.u3d formaadi konverteerimise). Lisaks peab arvestama ka võimaliku eritarkvaraga, mis neid 3D PDF-e suudaks täies mahus avada/navigeerida.

2.8. Küsimused aruteluks

1. Tee kokkuvõtte peamistes funktsioonilistest erisusest BIM töövahendi ning 3D CAD modelleerimise rakenduse vahel.
2. Enamik BIM töövahendeid toetavad nii 3D modelleerimist kui ka 2D jooniseid. Millega peaks arvestama kui soovida määrata omavahelist üleminekut detailsuse tähenduses ehk siis millal lõpetada 3D modelleerimine ja täpsustada seda 2D joonisena?
3. Miks võib eeldada, et ei saa eksisteerida ühte integreeritud parameetrilist mudelit kõikide ehitise osade tähenduses? Teiselt poolt, mis võib olla selle eelis, kui see siiski juhtub?
4. Millest lähtuvalt pole tänased ja väga populaarsed töövahendid BIM rakendused? *SketchUp?* *3ds Max?* *form•Z?* *Rhino?*
5. Mis eristab tootele keskenduvat parameetrilist modelleerimise töövahendit (nt *Autodesk Inventor*) BIM töövahendist nagu näiteks *Autodesk Revit*?
6. Kas sinu arvates võime endiselt näha arenguid, kus tootmissektori tarkvara arendatakse BIM rakenduseks? Mis võivad olla selle arenduskulud ning eelised? Mis võivad olla tehnilised probleemid?
7. Oletame, et sa oled ettevõtte teabejuht (kuni 25 töötajaga ettevõttes). Ettevõtte keskendub avalikele ehitistele (nt koolid). Paku välja ettevõtte kasutajapõhiste komponentide raamatukogu struktuur.
8. Kuulud ühte väiksemasse initsiatiivgruppi, kes on otsustanud käivitada integreeritud DB (*design-build*) tüüpi ettevõtte ühes välise ehitusettevõtte ning kahe arhitektiga. Palun planeeri, milline võiks olla üks või rohkem BIM rakendus. Defineeri ka üldine struktuur keskkonnana.

3. Koostalitlusvõime

Erinevad rakendused ühes osaliselt kattuva andmestikuga on mõeldud eritüübiliste projekteerimise, ehituse- ning haldustegevuste läbiviimiseks. Koostalitlusvõimeks nimetame me seejuures võimekust jagada andmeid erinevate rakenduste vahel võimalikult sujuvalt ning võimalusel automatiseeritud protsesse kaasates. Koostalitlusvõime on pikalt ja just ajalooliselt keskendunud faili põhiseks jagamisele nagu näiteks formaadid DXF (*Drawing Exchange Format*), IGES (*Initial Graphic Exchange Specification*). Otseväljundid tarkvaralisest liidesest on seetõttu vanimad ning siiani oma rolli täitvad võimalused infot vahetada. Alates 1980.ndatest hakkasid aga tekkima andmemudelite standardid, mis pakkus tuge nii toote kui ka siis objektipõhise info jagamist erinevate tööstusharude vahel, mida juhiti läbi ISO-STEP rahvusvaheliste standardite. Andmemudelid eristavad andmete organiseerimiseks vajalikku struktuuri ning andmeid ennast. Mõned konverteerijad võivad andmeid üle kanda ühest struktuurist teise (nt IFC > XML).

Ehitistega seonduvalt on kaks teistest olulisemat standardit: *Industry Foundation Classes (IFC)* – ehitiste planeerimine, projekteerimine, ehitamine ning haldus ja *CIMsteel Integration Standard Version 2 (CIS/2)* – konstruktsiooni terase projekteerimiseks ning tootmiseks. Lisaks veel STEP andmemudel (*ISO-15926* järgi), kus põhiorhk on tootmisprotsessil. Kõik kolm loetletud mudelit esitavad erinevat tüüpi geometriat, seoseid, protsesse ning materjale ja teostuseks-, tootmiseks vajalikke parameetreid, mida kaasata projekteerimise või tootmise etapis.

Kuna toote mudeli struktuur on rikkalik ning fookusega, suudavad kaks erinevat rakendust importida/eksportida eritüübilist infot sama objekti kirjeldades. Standardid on ajas muutuvad ning neid arendatakse/täpsustatakse ajapikku. Ka IFC formaadi tähenduses me näeme uuendusi. Näiteks alates aastast 2017-2018 saame rääkida IFC 4.x formaadist ja mitte enam IFC2x3. Aga peame siis arvestama, et formaadi täpsustumisel peab ka rakendus ise toetama seda uuendust.

Lisaks faili põhisele jagamisele on oluline ja kasvav vajadus jagada infot ka ehitise objekti tasemel. Selleks peab omama ligipääsu ehitise terviklikule andmemudelile ja tekitama võimalused, kuidas neist saab andmeid filtreerida (vastavalt vajadusele).

3.1. Sissejuhatus

Ehitise projekteerimine ning ehitus on meeskonnatöö tulemus. Üha rohkem näeme, et erinevad tegevused on haaratud läbi erinevate rakenduste. Lisaks geomeetria on vajadus üle kanda ning jagada ka analüütilisi mudeleid (konstruktsioon, energiasimulatsioon). Koostalitlusvõime on võimekus jagada infot erinevate rakenduste vahel. Koostalitlusvõime madalaim tase on see, et seeläbi väldime andmete käsitsi kopeerimist, uuest loomist. Selline uuesti loomine tähendab üldjuhul seda, et meil jääb vähem aega läbi mängida erinevaid stsenaariume, et leida parim lahend. Mõistagi on igasugune sedalaadi kopeerimine võimalikke vigasid esile kutsuv. Ja kahjuks pole selliseid tegevusi võimalik automatiseerida, jääb vaid rutiinne ning korduv, ebaefektiivne töörežiim.

Me oleme ajalooliselt kasutanud erinevaid formaate andmete ülekandmiseks nagu DXF, IGES või SAT. Need on teatud mõttes lollikindlad formaadid, ehk siis geomeetria tähenduses saame edukalt kontrollida, kas meil on joonises probleeme või mitte. Aga miks siis ehitisega seotud mudeli ülekandmine on keerukam? Põhjuseks asjaolu, et ajaloolise kujundite ning geomeetria modelleerimise asemel oleme liikunud objektide modelleerimise juurde – esmalt üldisemat laadi ja seejärel juba komponendid, mis vastavad tegelikule tootele. Kuna enamik CAD süsteeme töötavad joonise digitaalsel esitamisel, siis BIM toob lisaks mängu veel geomeetria omavahelise sõltuvuse, seosed, atribuudid, erinevad omadused. Mudel peab kaasama oluliselt rohkem infot kui seda teeb CAD fail.

See on suur ja põhimõtteline muudatus, mille jaoks on samuti vaja standardeid, mis seda kõike reguleeriks. Ja sellega on ajapikku ka tegeletud.

Koostalitlusvõimet võib vaadelda sõltuvalt BIM rakenduse tüübist (töövahend, platvorm, keskkond). Andmete vahetatavuse tähenduses on kõige olulisem BIM platvorm ja selle töövahendite omavaheline suhtlus (tihtipeale just analüüsi töövahendid – konstruktsiooni analüüs, soojuskoormuse analüüs, mahtude väljavõte, ehitusgraafikud, hankega seotud rakendused jne). Sellisel juhul kindel osa platvormi originaalandmestikust (andmete struktuur, mida platvorm ise kasutab) lihtsalt tõlgitakse ümber. Tõlkimine tähendab mudeli andmestiku loomist, mida töövahend eeldab. Seda võib nimetada ka kui kindel vaade andmetele selle platvormi originaalandmebaasist. Üldjuhul on andmete tõlkimine platvormist töövahendisse ühepoolne, kuna töövahend ise ei suuda originaalandmebaasi uuendada. Seega uuendatakse töövahendid tulemuste baasil ka platvormi andmeid aga seda kasutaja poolt. Siiski võib leida viise, kuidas töövahend suudab arvutuste baasil uuendada ka platvormi andmestikku (nt viia läbi komponentide väljavahetuse, ristlõigete muudatuse, tehnosüsteemi ümberkonfigureerimise torustiku ühenduse seisukohast, kuna varasem lahend tekitas kokkulangevusi jpt). Tänapäeval on kasvamas sedalaadi töövahendite hulk ning parem integratsioon. Platvormilt töövahendisse info vahetus on kõige tavalisem koostalitlusvõimekuse näide, mida saab vaadata nii otselingina (originaalandmestik valmistatakse automaatselt ette) või siis vaheformaati kasutades (nt IFC). Kuna suund on automaatsete teisenduste juurde, siis inimfaktorit on ikkagi vaja, et neid konverteerimisi kontrollida ning vajadusel sekkuda, kui on vaja neid täpsustada.

Töövahendist töövahendisse konverteerimine on mõnevõrra lihtsam. Esmalt ka seetõttu, et siin on suuremad piirangud ja otseselt sõltutakse kättesaadavast andmestikust. Näiteks mahtude väljavõtete eksport eelarvestamise rakenduse tarvis. Siin võib see väljavõte olla kaasatud nii eelarvestamiseks, hilisemate ostude ning materjalide järgimiseks (logistikaks) või olla hoopis seotud tööpakettidega ning –graafikutega. Teise töövahendi näitena võib tuua geomeetria vaaturtarkvarad. Neil on täita omaette roll näiteks projekti ülevaatamises/kinnitamises aga ka visualiseerimises. Selles osas on tekkinud väga mitmeid veebipõhiseid rakendusi, mis on võimelised teostama ka järelanalüüse. Samas on selle töövahendi ja platvormi vaheline seos üsna udune, teisisõnu need ei suuda täiendada/uuendada platvormi andmestikku ja muudatused tuleb teha käsitsi.

Koostalitluse väljakutse on aga platvormide vaheline suhtlus. Näiteks *ArchiCAD vs Revit vs Tekla Structures*. Platvormid kaasavad endas hulga rohkem andmeid ning nende vahelisi seoseid. Seega, geomeetria ülekandmine on üldjuhul lihtne, aga selle redigeeritavuse säilitamine hulga keerulisem, kuna see eeldaks ka erinevate reeglite üle kandmist. Seega võib juba lihtsa seina komponendi ülekandmine peavalu valmistada, sest erinevates tarkvarades on see defineeritud läbi erinevate reeglistike, kaasatud alamobjektide (nt karkass) ja omakorda nendele lisatud reeglistike. Siinkohal aitaks ühise, standardse definitsioonide kogumi loomine seda probleemi tulevikus lahendada, mis siis võimaldaks infot vahetada ka platvormide vahel (parameetriliste mudelite tähenduses).

Koostalitlus pole pelgalt info tõstmine ühest platvormist/töövahendist teise, vaid esitada seda projektinfot väga erineval moel. Küsimus pole seega mitte arhitektuurse mudeli teisendamises, vaid selle infomudeli laiendamises nii, et seda saaks kasutada ka muuks otstarbeks, näiteks konstruktsiooni arvutamiseks (üldjuhul eeldab see ühe mudeli täpsustamist, info lisamist). Kui nüüd siia lisada ka aspekt, et projekt pidevalt muutub, peab ka info ülekandmist uuesti ja uuesti läbi viidama.

Miks peavad arhitektid, ehitajad, insenerid ning tootmisettevõtted muretsema koostalitlusvõimekuse pärast? Kas see ei peaks olema tehnoloogiline küsimus, mida lahendada ja seetõttu tarkvara ettevõtete pärusmaa? Miks on seda oluline siiski siinkohal vaadelda ja sellest aru saada? Tegelikult on see väga sarnane mistahes tarkvara arenduses. On arendajad ning on selle tarkvara kasutajad.

Kasutajad saavad dikteerida, kuidas mingi asi peab töötama, milline peaks olema funktsionaalsus, nii et sellest lahendusest tõesti ka kasu oleks. Spetsiifiline termin peab olema lahti mõtestatud tarkvara arendaja vaatepunktist, kes üldjuhul ei tea, mis asi on soojusülekanne tegur, luumen ja miks neid just nii tuleb üle kanda ja mitte teisiti. Võtame näiteks arhitektuurse mudeli, mis tuleb konverteerida, et seda saak kasutada energiasimulatsiooniks. Ruumide perimeetrid muutuvad oluliselt. Arhitektuurses mudeli vaadatakse sellele infole ühtmoodi, energiasimulatsioonist teistmoodi, - mistõttu võib see ka viia vajaduseni, kus ruumobjekti vaadeldakse kahe erineva objektina (parameetrite grupina), üks arhitektile ning teine insenerile.

3.2. Erinevad andmevahetusformaadid

Juba 2D CAD võimaluse tekkimisel (1970-1980) sai selgeks, et andmete vahetust erinevate rakenduste vahel peab vaatama fundamentaalse ning olulise küsimusena. Üks levinumaid AEC CAD süsteeme sel ajal oli *Intergraph*. Tekkisid mitmed ettevõtted, kes keskendusidki *Integraph* formaadi teisendusele erinevate teiste valdkondade tarvis. NASA sai ühel hetkel aru, et nad kulutavad märkimisväärse osa oma eelarvest lihtsalt andmete teisendamisele või siis nn tõlkeprogrammide loomisele. Seetõttu kerkis päevakorda küsimus, et selleks otstarbeks tuleb arendada välja avatud andmevahetuse standard. Selle formaadi nimeks sai IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*). Seega tekkis arusaam, et nüüd peavad erinevad tarkvaratootjad looma liidestuse, mis võimaldab infot eksportida ja importida IGES formaati/formaadist. IGES on tänase päevani kasutusel.

Andmevahetust rakenduste vahel võib laias pildis vaadata kahel definitsiooni tasandil. Kõrgem tasand on mudeli skeem, mis defineerib info tähenduse, mida vahetatakse. Faili formaat ei kirjutatud ette, kuidas infot peab liigitama selle semantika vaatepunktist (nt IGES ja DXF). Seetõttu sai skeemi lahutamine üldisest skeemi keelest tähelepanuväärne verstaapost. Kõige tuntum on siinkohal vast *Structured Query Language* (SQL). Võib leida tuhandeid erinevaid SQL skeeme. Näiteks ISO-STEP ning *EXPRESS* on kasutusel mitmete toote modelleerimisega seotud tehnoloogiates/skeemides, sh *Industry Foundation Classes* (IFC) ning *CIMsteel Integration Standard, v2* (CIS/2) juures.

Teine keel, mida andmevahetuseks väga palju kasutatakse on XML (*eXtensible Markup Language*). XML näol on tegemist HTML laiendusega (baaskeel paljudele veebiledele). XML toetab erinevaid skeemide haldamist. Mõned on integreeritud andmestikku, ning teised jällegi kasutatavad välise skeemi läbi. Mõned XML skeemid on avatud, teised jällegi kinnised või siis patenteeritud. Erinevad XML skeemid toetavad väga eriliigiliste andmete ülekanndmist rakenduste vahel. Näidetena olgu toodud IFC / *CityGML* XML skeemid.

Esitades skeemi ning skeemi keele mõõtme, saab jagamist defineerida kolmel erineval moel:

- **Otselink** (*direct link*) – Kasutades ühe tarkvara API-t (*Application Programming Interface*), et andmed n-ö välja kirjutada ning viia teisendada teise tarkvara API-ile kohaselt. Otselingid baseeruvad programmeerimiskeelel. Seeläbi antakse ligipääs teatud osale andmestikust, et seda taasluua, redigeerida, kontrollida või kustutada. Sedalaadi liidestust (API) kasutatavad väga paljud tarkvara tootjad ning väga tihti antakse ligipääs API-le kas siis vabakasutusena või kahe ettevõtte vahel sõlmitud koostööleppega. API kasutuse juures on väga oluline, et see oleks lahti kirjeldatud – laiapõhjalise juhendi olemasolu.
- **Patenteeritud vahetusvorming** – fail või veebiteenus, mis on arendatud kindla tarkvaratootja poolt, et suhelda kindla tarkvaraga. Skeemi kirjeldus võib olla avalik või konfidentsiaalne. Näitena saab tuua DXF, mis loodud *Autodesk*-i poolt. Teiste näidetena aga ka SAT (*Spatial Technology*, geomeetrilise modelleerimise juhised), STL (3D printimise tehnoloogia), *3DS* (*3D Studio, Autodesk*). Iga neist täidab oma kindlast eesmärki (geomeetria tähenduses).

- **Avatud standardil baseeruv vahetusvorming** – avatud ning avalikult hallatav skeem ning selle keel (XML, teksti fail). Mõned toote mudelid toetavad nii XML kui ka teksti põhists vahetusvormingut. Näitena võib tuua IFC, CIS/2, ISO 151296.

Tabel 3.1 võtab kokku enamlevinud vahetusvormingud AEC valdkondades. Selleks on nii 2D rastergraafika, 2D vektorgraafika, 3D pinna- ja mahuelemendid. Mõistagi BIMi tähenduses omavad suuremat rolli 3D formaadid. Näiteks ISO-STEP formaat kaasab lisaks 3D kujundile ka komponentide omavahelist sidusust, atribuute. Levinuim tänasel päeval on IFC. Lisaks on ka mitmeid teisi formaate, mis täidavad oma kindlat rolli sh GIS-i põhised andmevormingud. Aja jooksul on tekkinud väga palju erinevaid formaate. Samas on oluline märkida, et vältimaks monopoli, ei tohiks keskenduda kindla tarkvara tootja formaadile või platvormile. Selle asemel peaks tänane fookus keskenduma avatud formaadile. Just avatud standardil baseeruvad formaadid leiavad kasutust ka rahvusvaheliselt tasandil ja hõlbustab infovahetust erinevate osaliste vahel.

Tabel 3.1. Enamlevinud vahetusformaadid (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 109).

Pildi (raster) formaadid	
JPG, GIF, TIF, BMP, PNG, RAW, RLE	Rasterformaadid erinevad üksteisest nende kompaktsuse, piksli kohta värvide arvu, läbipaistvuse, kokkupakitavuse tähenduses ühes või ilma andmekaota.
2D vektorformaadid	
DXF, DWG, AI, CGM, EMF, IGS, WMF, DGN, PDF, ODF, SVG, SWF	Vektorformaadid varieeruvad nende kompaktsuse, joone vormingu, värvi, kihtide toe ning eritüüpi kõverjoonte toe tähenduses; mõned on failil baseeruvad ning teised jällegi kasutavad XML-i.
3D pinna- ja kujundite formaadid	
3DS, WRL, STL, IGS, SAT, DXF, DWG, OBJ, DGN, U3D PDF (3D), PTS, DWF	3D pinna- ja kujundite formaadid erinevad üksteisest pinna tüübi ning servade esituse tähenduses, kas need esitavad pindasid ja/või tahkkehasid (<i>solid</i>), kas kaasavad materjali omadusi (värv, raster, tekstuuri) ning vaatepunkti infot. Mõned omavad nii ASCII kui binaarset kodeeringut. Mõned kaasavad valgustuse, kaamerate ning teiste vaatega seotud parameetrite kaasamist; mõned on failil baseeruvad ning mõned jällegi XML-il.
3D objekti põhised vahetusformaadid	
STP, EXP, CIS/2, IFC	Toote andmestikku esitatakse geomeetria, kas siis lähtuvalt 2D või 3D tüübist lähtuvalt. Need kaasavad ka objektiga seotud infot ning ka omadusi, mis seotud teiste objektidega suhestumisel. Tegemist on infoküllase formaadiga.
AecXML, Obix, AEC, bcXML, AGCxml	XML skeemid, mis loodud ehitiseiga seotud andmestiku vahetamiseks; erisused vahetatavas info ning tööprotsesside toe tähenduses.
V3D, X, U, GOF, FACT, COLLADA	Ennekõike mängutehnoloogiates kasutatavad faili formaadid, milles esitatakse pinnaobjekte ja võimekusega kaasata hierarhilist struktuuri; materjali omaduste tüüpe, tekstuuri infot/parameetreid, animatsiooni.
SHP, SHX, DBF, TIGER, JSON, GML	Geoinfo jagamiseks mõeldud formaadid nii 2D kui 3D võimekust kaasates, aga ka andmelinkide toega. Nii faili põhised kui XML toega.

3.3. Erinevate andmemudelite taust

Kuni 1980. aastate keskpaigani toimus pea kogu andmevahetus (projekteerimise, inseneeria valdkondades) erinevatel, fikseeritud skeemiga faili formaatidel (nt DXF, IGES). Neid sai edukalt kasutada nii 2D kui 3D geomeetria jagamiseks. Samal hetkel töötati välja objekti põhised mudelid ka tehnosüsteemide valdkonnas. Kui andmemudel, mis kaasanuks keerukaid objekte ühes nende geomeetria, atribuutide ning suhete, oleks baseerunud mistahes fikseeritud skeemiga faili vahetusformaadi, oleks sellest saanud üsna pea väga keerukas ning mahukas formaat, mida oleks keerukas rakendada. See sama probleem kerkis üles nii Euroopa kui USA juhtivate organisatsioonide poolt ning *International Standards Organization (ISO)* algatas komisjoni, kelle ülesandeks sai välja töötada standard nimetusega STEP (*Standard for the Exchange of Product Model*) numbriga ISO-10303. Sellega seondult defineeriti uus lähenemisviis ühes tehnoloogia kaasamise, et lahendada andmevahetusega seotud probleeme.

Üks ISO-STEP väljundeid oli EXPRESS keel (arendajaks *Douglas Schenck* ning hiljem ka *Peter Wilson*). EXPRESS keelest sai keskne süsteem, et toetada toodete modelleerimist üle väga erinevate tööstusharude (mehaanika, elekter-, laevaehitus, mööblitööstus, protsesse kaasavad tehased, lõplike elementide mudelid jpm). Muuhulgas sisaldab see ka palju omadusi, klassifikaatoreid, et üles ehitada erinevaid andmemudeleid (nii SI kui US ühikusüsteemis). Kuna tegemist oli masinloetava keelega, oli see oma olemusest ka arvutusressursse säästev, kuid inimese poolt keerukas lugeda. Selleks otstarbeks arendati välja graafiline liides nimetusega EXPRESS-G. STEP standardist lähtuvalt pakuvad paljud tarkvara ettevõtted erinevaid töövahendeid (*toolkit*), et tarkvara saaks rakendada/testida läbi EXPRESS keele. Teksti faili ning XML lugemise ning kirjutamise suutlikkus on laialdaselt tagatud.

3.3.1. ISO-STEP ehitiste ehituses

ISO-STEP tehnoloogiast, mis defineeritud EXPRESS keele abil on ehitussektoris kasutust leidnud järgmised toote mudelid:

- AP 225 – ehitise elemendid määratud täieliku kuju esitusega, lõpetatud ning kinnitatud andmemudel. Ennekõike mõeldud ehitise geomeetria jagamiseks, kasutust leidnud Euroopas (Saksamaa), alternatiiviks DXF-ile. Samas vaid vähesed CAD rakendused toetavad seda formaati.
- IFC – *Industry Foundation Classes* - andmemudel, mis mõeldud kogu ehitise elukaare esitamiseks (arendajaks: buildingSMART). Väga laialdaselt toetatud erinevates tarkvarades.
- CIS/2 – *CimSteel Integration Standard, versioon 2* – laial levinud andmemudeli standard, mis mõeldud teraskonstruksiooni projektide, analüüside ning tootmisinfo vahetuseks (arendajad: *American Institute of Steel Construction* - USA, *Construction Steel Institute* – UK).
- AP 241 – üldine mudel, ehitise elukaare toega AEC valdkonnale (ennekõike tööstust silmas pidades). Kattub IFC funktsionaalsusega.
- ISO 15926 – tööstusvaldkonna automaatjuhtimissüsteemidele ning integreerimisele suunatud. Üsna oluline väärtus selle standardi juures on väga mahukas raamatukogu, mis katab nii vedelikke, elektri- kui mehaanikakomponente.

Eelnimetatud standardid kattuvad teatud määral üksteisega. Näiteks nii IFC, AP 225 kui ISO 15926 esitavad ehitise geomeetriat. Nii IFC kui CIS/2 suudavad endas kanda konstruksiooni terasega seotud infot. Seevastu torustikku ning mehaanika komponente suudavad esitada nii ISO 15926 kui IFC. Samas tuleks need pingutused, mis kaasatud erinevatesse formaatidesse, harmoniseerida, millesse on aga väga vähe panustatud.

3.3.2. IFC (buildingSMART)

IFC-l on pikk ajalugu. Aastal 1994 algatas *Autodesk* projekti, mis läbi C++ klasside suudaks integreerida omavahel erinevaid rakendusi. Algatusega liitus 12 USA ettevõtet. Alates 1995 võisid liituda kõik huvitatud osalised. Eesmärgiks oli välja arendada tarkvara-neutraalne andmemudel, mis toetaks kogu ehitise elukaart. Alates 2005 kannab konsortsium nime *buildingSMART* (<https://www.buildingsmart.org/>).

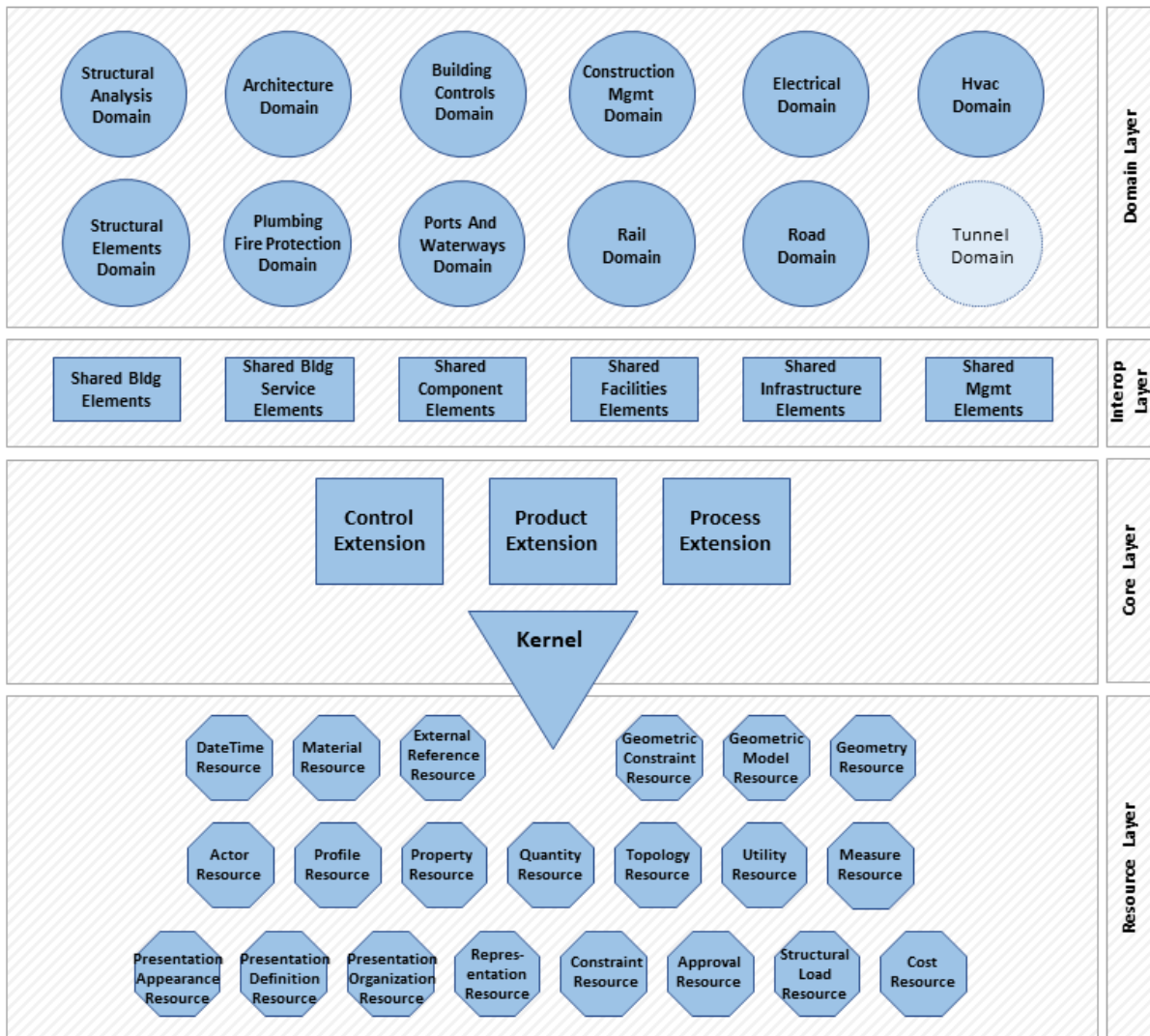
3.3.3. Mis see IFC on?

Industry Foundation Class (IFC) on skeem, mille eesmärk defineerida ehitusinfo andmestikku selle jagamiseks erinevate AEC rakenduste vahel. See baseerub ISO-STEP EXPRESS keelel. IFC on disainitud viisil, mis võimaldaks endas kanda kogu ehituse elukaarega seotud infot (sh korrashoid). IFC-st on saadaval erinevaid versioone. Alates 2013-st on kasutatav IFC 4.x, mis kaasab ca 800 andme objekti, 358 omaduse gruppi ning 121 andme tüüpi. Ehkki ühelt poolt näitab see IFC keerukust, siis teiselt poolt selle semantilist rikkust ehitisega seotud info esitamiseks. IFC 4.x on asendamas selle varasemat versiooni IFC2x3. IFC süsteemi arhitektuur on esitatud joonisel 3.1. Kõige alt võib leida 26 gruppi baas *EXPRESS* definitsiooni, mis määratlevad taaskasutatavad konstruktsioonid nagu geomeetria, topoloogia, materjalid, mõõtmised, osalejad, rollid, esitlused ning omadused. Need kehtivad kõikide toodete juures ning haakuvad *ISO-STEP* jagatud raamatukogudega (mõnede laienduste erisusega).

Need baas elemendid defineerivad AEC objektid, nimetatuna kui jagatud objektid (IFC-s). Siia alla kuuluvad ehituskomponendid nagu seinad, põrandad, konstruktsiooni elemendid, HVAC komponendid, haldamiseks vajalikud elemendid jne. Kuna IFC on defineeritud läbi laiendatava andmemudeli ning on objektidel baseeruv, saab neid baaskomponente täpsustada ning luua alamtüüpe (põhiparameetrid päritakse põhiklassilt, kuid lisaks sellele kaasatakse uued parameetrid, mis siis eristavad seda põhiklassist).

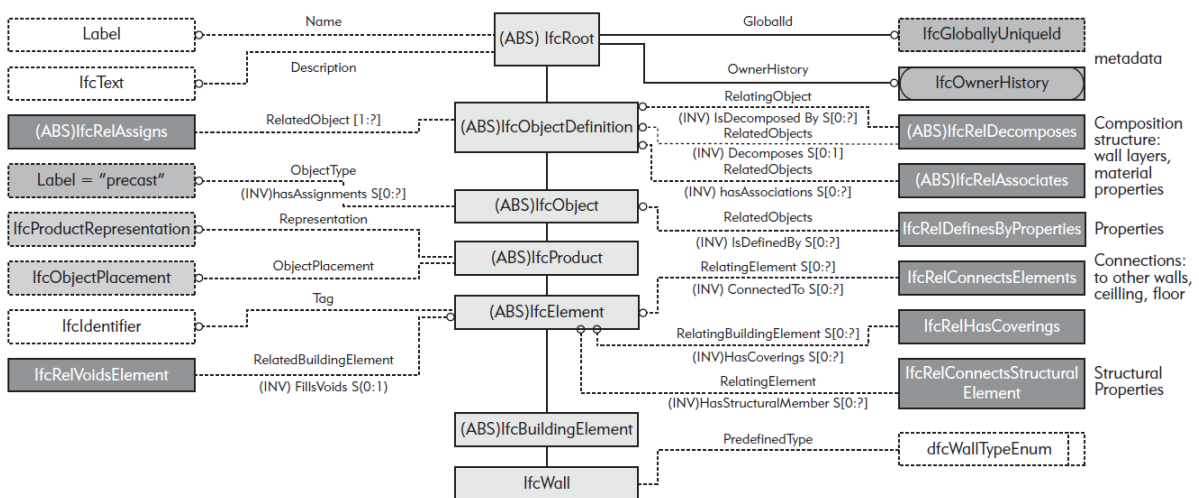
Kõige ülemine tase on valdkonna põhine kiht, kuhu kuuluvad nii konstruktsiooni elemendid, konstruktsiooni analüüsi laiendused aga ka arhitektuurse ning HVAC laiendused. Kuna IFC on üles ehitatud hierarhiliselt moodustavad vahetatavad objektid/komponendid väga n-ö sügavaid hierarhilisi tasemeid. Vaatame näiteks seina elemendi näidet (*joonis 3.2*). Iga tase antud hierarhias esitab kindlaid atribuute ning seoseid seina komponendi tähenduses.

- *IfcRoot* - määrab globaalse ID (tunnuse) ning muu objekti haldusega seotud info, nagu näiteks, kes selle tegi ning millal.
- *IfcObjectDefinition* – paigutab seina ehitise konteksti, milles määratakse näiteks seina komponendid, sealhulgas aknad, uksed ja muud avad.
- *IfcObject* – esitab lingid seina omadustele, sõltuvalt selle tüübist (mis määratakse veidi allpool).
- *IfcProduct* – määrab seina asukoha ning kuju.
- *IfcElement* – kaasab selle elemendi seoseid teistele, nagu näiteks seina perimeetri seosed ning ka ruumide info, mida sein eraldab. Lisaks kaasatakse siin ka kõik seinas olevad avad ning vajadusel ka selle ava täitvat komponenti – uks või aken. Kui tegemist on kandva seinaga, saab konstruktsiooni elementi siin sellega siduda.



Industry Foundation Classes version 4.3.x Architecture overview

Joonis 3.1. (allikas: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/HTML/content/introduction.htm)



Joonis 3.2. IFC struktuur defineerimaks seinä (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 116).

Seina tüübid võivad olla (IFC 4.x järgi):

- *Movable* – nihutatav sein, üldjuhul pole ruume eraldav.
- *Parapet* – tõkisein, vältimaks tule levikut või “allakukkumist”.
- *Partitioning* – kergsein, mis mõeldud ka ruumide eraldamiseks.
- *PlumbingWall* – tehnosüsteemide paigutamisruumiga sein.
- *Shear* – nihkele töötav sein, tugisein (näiteks maapinna nihke vältimiseks)
- *SolidWall* – ühe või mitmekihiline massiivsein (betoonist, kivist; kandev sein; tuletõkke tsoon)
- *Userdefined* – kõik ülejäänud tüübid.
- *Undefined* – defineerimata seina element.

Paljud loetletud omadustest, seostest on valikulised ja seega pole alati eksporditavasse infosse valitud. Tuleb arvestada, et mitte kõik *BIM* töövahendid ei suuda luua või esitada eritüübilisi seinasid.

Omadused kantakse üle valikulise omaduse grupi määranguga *PSet* (*property set*). Näiteks seinte puhul kaasab *PSetWallCommon* parameetreid nagu: *Identifier*, *AcousticRating*, *FireRating*, *Combustibility*, *SurfaceSpreadOfFlame*, *ThermalTransmittance*, *IsExterior*, *ExtendToStructure*, *LoadBearing*, *Compartmentation* jt. Seina elemendid toetavad ka erinevaid liselemente, välja ulatuvad osasid või õõnsuseid ning ka erikujusid, mis põhjustatud näiteks erikujuliste lae komponentidega lõikamisest.

Kõik *IFC* mudelid pakuvad võimaluse määratleda ehitise üldist ruumilist struktuuri ehitise elementide maha märkimiseks ning ligipääsuks. Kasutatakse määrangut: *Project > Site > Building > BuildingStorey > Space*. Sõltuvalt elemendi tüübist võib üks element kuuluda kindla korruse/taseme või ehitise tasandile. Näiteks trepp, mis kulgeb läbi hoone mitme korruse, kuulub *Building* gruppi. Samas seinad aga korruste põhitesse gruppidesse (sõltuvalt sellest, kas need võtavad enda alla mitu korrust või ühe – *Building* või *BuildingStorey*).

Selle seina näitel sai antud lihtne ettekujutus, kuidas hoone elemendid *IFC*-s on defineeritud. On selge, et lisaks kirjeldatule on veel väga palju teisi parameetreid/seoseid, mis määravad omadusi väga eriliigilistele elementidele, mis on omased vaid neile.

3.3.4. IFC ulatus

IFC ulatus, mida see on võimeline kirjeldama ehitise projekti, inseneeria ning tootmisinfo tähenduses, kasvab iga uue versiooniga. Kõik rakenduse põhised objektid, kui need tõlkida *IFC* mudeliks, kaasavad endas sobivat objekti tüüpi, sellega seotud geomeetriat, seoseid ning omadusi. Lisaks sellele kaasab *IFC* endas ka protsessi, mis märgib tegevusi, et kokku panna ehitise kui tervik aga ka objektiga seotud analüüse (sisend parameetrid ning väljund), mida üldjuhul hoitakse ehitise geomeetriast lahus.

- **Geomeetria** – *IFC* võimaldab esitada väga laias skaalas geomeetriat (sh *B-Reps* ning *Boolean* tegevustega saadud kujundeid). Vaikimisi eksporditakse kõik kujundid *B-Reps* geomeetria. *IFC 2x4* pakub pinnaobjektide defineerimise tähenduses ka *Bezier* ning *NURBS* pinnaobjektide esitust.
- **Seosed** – Seosed lingivad objektid omavahel. Tuleb olla tähelepanelik, kuidas erinevad tarkvarad neid seoseid *IFC*-sse üle kannavad. *IfcRelations* sisaldab mitmeid alamklasse, et seosed defineerida. Tegemist on ühe mahukama defineerimise alaga, mida täpsustatakse iga *IFC* versiooniga.
- **Omadused** – *IFC*-s keskendutakse omaduste gruppide (ingl *property sets* või *P-sets*). Selle näol on tegemist omaduste grupiga, mis üheskoos defineerivad materjali, kindlat tüüpi suutlikkuse

või kontseptsiga seotud omaduse nagu näiteks tuul, geoloogiline või ilmaga seotud tingimus. *P-sets* grupid eksisteerivad paljudele ehitise (hoone) objektidele, nagu näiteks katus, sein, akna klaas, tala sarrus. Lisaks on mitmed parameetrid seotud erinevate materjalide käitumisega nagu termiline materjal, mehaanilised parameetrid, betoon, sarrus jpt. Tuleb tähele panna, et üksjagu parameetreid on ka puudu. Näiteks mõõtude puhul ei ole kaasatud tolerantse. Puudub ühene võimalus kaasata määramatust. Sellistel puhkudel on võimalik kaasata kasutajapõhiseid parameetreid, mida peab siis kasutajate vahel ka haldama, kuna need ei ole lisatud spetsifikatsioonidesse. Paljud parameetrid kuuluvad aga klassifikatsioonide hulka, ehk siis teatud eelnimekirjast valitakse väärtus. Näiteks ruumi nimetused pole standardiseeritud, ehkki selle järgi võidakse panna paika mitmed eeldused energiasimulatsiooni tähenduses. Seega on need vaja käsitsi redigeerida. *IFC* pole täna kõige efektiivsem eristamiseks eritüübilisi konstruktsioonelemente analüüsi läbiviimiseks. Selleks saab kasutada *CIS/2* formaati. Siia alla kuuluvad näiteks erinevat tüüpi piirangud, paindeomadused, keevisõmblused ning spetsifikatsioonid. Sarnaselt on *IFC* piiratud ka tehnosüsteemide komponentide tähenduses.

- **Meta-andmed** – *IFC*-d saab edukalt kasutada ka info haldaja, muudatuste seotud info ning erinevate kooskõlastustega seotud andmete hoidmiseks. Kuid see ei ole suurt kasutust leidnud.

Arhitektuursete komponentide tasandil on tänane *IFC* väga hea, kuid tootmise seisukohast mõnevõrra puudulik. Näiteks suudab see vaid osaliselt defineerida betoonis olevat armatuuri, keevisõmbluseid ning nende spetsifikatsioone, betooni segu ning viimistlust, tootmise spetsiifikat akna süsteemidele. Seda saab parendada läbi teiste *IFC* toote spetsifikatsioonide või omaette formaatidega nagu *CIS/2*. Need loetletud piirangud pole aga nii olulised, et *IFC*-d kasutada ei saaks. Pigem pannakse see paika kasutajate tänaste ootustega, mida saab vajadusel täiendada erinevate laiendustega, mis tulevikus ilmavalgust näevad.

3.3.5. *IFC* kasutus BIM standardites

Koostalitlusvõime peamine kasu ei seisne mitte vahetusformaate automatiseerimises kahe erineva BIM rakenduse vahel, vaid tööprotsesside silumises, eemaldades liigsed vahesammud ning parendada protsessi kui tervikut. Selle nimetatakse ka kui timmitud tööprotsessiks (ingl *lean workflows*).

Tarkvarades olevad *IFC export* ning *IFC import* nupud on kaheti mõistetavad, kuna paljud kasutajad ei vaevud tegelikku sisu, mida eksporditakse/importitakse, kontrollima. Seetõttu on ka keerukas tagada, et vahetav info oleks sihipäraselt loodud. Selles valguses on vajalik tekitada võimalus, kus nende eelnimetatud nupukest asemel on alamvalikud, millega määratakse tegevuse põhine vahetus. Näiteks „*arhitektuurne mudel esmaseks konstruktsiooni analüüsiks*“ või siis „*fassaad-seina tootmisjoonis ehitusjuhile tootmise koordineerimiseks*“. Neid vahetusi võib nimetada ka kui mudeli vaadetek. Sedalaadi määratluse läbi me esmalt valime sisu ning seejärel selle kandja ehk *IFC*. Mudeli vaated on spetsifikatsiooni tase, mis asub üleval pool *IFC* skeemi.

Miks mudeli vaated on olulised?

Mudeli kandev idee on määrata, mis on oluline ekspordida ja mida mitte. Täna sel päeval on põhiohk defineerida efektiivsemat *IFC* vahetust. Lisaks on vajadus määrata üleantav dokumentatsioon projekti erinevate staadiumite lõikes. Näiteks projekteerimisest ehitamisesse ning ehitamisest haldusesse – nii nagu see on määratud *COBie* (*Construction Operations Building information Exchange*) poolt. See on juba infovahetuse peenhäälestus, mis tuleb määrata lepingus. Seejärel määrata tarkvarade vahelisel ning avaliku andmemudeli tähenduses. Just seetõttu määravad mudeli vaadete definitsioonid väga olulist rolli projekti hangetes, mida lihtsat *IFC* andmevahetusena tõlgendada ei anna. *Põhja-Ameerikas*

saadi aru, et tööprotsesside määramises on väga palju kinni, mistõttu loodi *National BIM Standard (NIBS 2008)*, mille üheks märksõnaks oli ka mudeli vaadete definitsioonide loomine.

Esimene staadium: Programm

Esmalt tuleb määrata erinevate huvigruppide kaasamisel vahetusinfo verstepostid mudeli vaadete tähenduses, mis siis oleks defineeritud piisava detailsusega, et neid üle kanda IFC-sse. *BuildingSMART* võttis kasutusele väga tuntud protsesside modelleerimise keele (BMPN, *Business, Process Modeling Notation*, <http://www.bpmn.org/>). BMPN pakub lihtsat ja selget vaadet kirjeldamiseks tegevusi ning info ülekandmist erinevate tegevuste vahel, mida siis saab nimetada protsessikaardiks. BMPN diagramme saab teha väga erinevate tarkvaradega (nt *MS Visio*). Lõpptulemusena saadakse programmi staadiumi raport, mida nimetatakse ka kui *Information Delivery Manual (IDM)*, mis siis määrab erinevat vahetusinfot ning nende sisu kasutaja perspektiivist. See spetsifikatsioon kinnitatakse vastava osakonna poolt.

Teine staadium: Projekt

Vahetusinfo vajaduste määratlemine toimub järgmise etapina, mida saab vaadata infomoodulitena ning seetõttu siduda ka erinevate rakendusskeemidega (IFC; CIS/2, XML). See töö viiakse läbi IT spetsialistide poolt, koostöös esimese staadiumi ekspertidega. Mudeli vaadete loomisel defineeriti ilmselt väga palju korduvaid elemente, geomeetriat, linke erinevate osade ning koostide vahel. Kõik need kordused, nende rakendamine ning testimine on ajaraisk; neid tuleb nii defineerida, rakendada kui testida vaid üks kord ning seejärel uuesti kasutada. Neid definitsioone nimetatakse ka kontseptsioonideks, mida võib kujundada väga erinevatele mudeli vaate definitsioonidele. Neid saab jagada avalike veebilehtede vahendusel just taaskasutamise eesmärgil (<http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-view-definition>). Projekteerimisstaadiumis määratakse rakenduse lingid ning kuidas erinevaid parameetreid kaasatakse, määrates ühtlasi tarkvara rakendusliku poole spetsifikatsioonid mudeli vaate definitsioonidele.

Kolmas staadium: Konstrueerimine

Kolmas staadium keskendub mudeli vaadete rakendustele läbi tarkvara ettevõtete (kes peaksid olema kaasatud ka varasemates staadiumites). Rakenduse testimine on jagatud kahte omaette staadiumisse, mille eesmärk on siis mudeli vaadete valideerimine. Alguses tehakse seda ühiktestide tähenduses, kus kontrollitakse mudeli vaadete definitsioone erinevate tingimuste kaupa (import/eksport). Seejärel juba tervikliku testina.

Neljas staadium: Rakendamine

Neljas staadium kaasab mudeli vaadete definitsioonide rakendamist ning realselt kasutust. Seda peab toetama erinev juhendmaterjal, mis siis määrab mudeli vaadete defineerimise ning kuidas kasutaja peab komponente täpselt modelleerima valitud BIM töövahendis. Kui need vaated, olles kontrollitud ning kinnitatud, pakub suuremat paindlikkust IFC põhisele infovahetusele, mis eemaldab eelneva testimisvajaduse ning proovivahetuste loomise, mida tänasel päeval väga palju tehakse.

Mudeli vaadete defineerimine on veel arendamise järgus ning selle eeliseid ma näeme lähitulevikus aina rohkem.

3.3.6. IFC kaasatus koostalitlusvõimes

Tundub, et mudeli vaadete definitsioonid pakuvad uut, efektiivsemat infovahetust ning lahendab üksjagu koostalitlusega seotud probleeme. Osaliselt on võimalik mudeli vaadete definitsioone automatiseerida, et need vahetaksid infot erinevate BIM rakenduste vahel. IFC plussiks on kindlasti

asjaolu, et see on ainus rahvusvaheline standard, mida kasutatakse üle maailma väga erinevate otsuste kujundamisel, hindamisel, kinnitamisel. Selle areng on jätkuv ning uusi võimalusi lisatakse aina juurde.

3.4. Standardiseerimise teised suunad

IFC on vaid üks pusle tükike tervikust, mida ehitussektor saab kasutada. Kui IFC määrab andmestruktuurid läbi geomeetria, seoste ning parameetrite, siis kuidas parameetrid peaksid olema nimetatud või neid kasutama? Aga mis siis, kui keegi ei kasuta ladina tähestikku? Näiteks Hiina? Koostalitlusvõime on laiem teema kui algselt paistab, laiem kui IFC ja mõni muu XML põhine skeem katta suudab.

3.4.1. buildingSMART Data Dictionary

Euroopa Liit nägi ühel hetkel probleemi objekti klasside ning nende omaduste nimetamisel. Kui inglise keeles tähistatakse ust sõna *Door* ja prantsuse keeles kasutatakse sõna *Porte* ning saksa keeles *Tür* ja hiina keeles ... , siis kuidas neid omavahel kokku viia? Hea seegi, et IFC suudab ühiküsteemidel vahet teha (nt *US* või *SI*). Lisaks, kui CIS/2 ning IFC kirjeldavad sama objekti, siis kuidas tagada nende ühtsus? Ehkki tegemist on sama keelega. Selleks on algatatud *buildingSMART Data Dictionary* (<http://bsdd.buildingsmart.org/>). Hästi üldsõnaliselt omistatakse igale parameetrile (ja sealhulgas ka objektile) unikaalne ID, mis ei sõltu keelest ja just selle ID kaudu saab teostada päringuid projekti erinevates staadiumites.

3.4.2. OmniClass

OmniClass (<http://www.omniclass.org/>) on välja arendatud *International Organization for Standardization (ISO)* ning *International Construction Information Society (ICIS)* alamkomiteede poolt 1990. aastast alates. Mõeldud ehitussektorile. Omab kattuvusi siiani käibel *MasterFormat* (töö tulemused) ning *UniFormat* (elemendid) ning *EPIC (Electronic Product Information Cooperation – toodete struktureerimine)*. See kaasab 15 erinevat tabelit.

3.4.3. COBie

Construction Operations Building information Exchange (COBie) keskendub üle antavale informatsioonile ehitaja ja tellija/omaniku vahel. Keskendub ennekõike haldamise ning hoolduse küsimustele (aga ka varahaldus). COBie paneb paika standardse meetodi, kuidas infot projekteerimise ning ehitamise käigus koguda, et seda saaks edastada tellijale (ehitaja poolt). Seega kaasab see infot projekteerijatelt, kui nad määravad projekti ning seejärel ehitajatelt, kui nad on ehitise valmis ehitanud. COBie lahterdab info praktilisel ning lihtsasti kasutataval viisil. COBie värskem versioon (COBie2) omab formaate, mis loetavad inimese kui masinate poolt. Inimese poolt loetav info on tavaliselt tabelitena (nt *MS Excel* formaadis). COBie andmeformaati on kaasatud ka IFC-sse, et jagada ehituse haldusega seotud infot (ifcXML). Erinevad vaheprogrammid võimaldavad andmeid tõlkida/üle kanda *IFC-Express* ning ifcXML juures COBie2 tabelitest (<http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-view-definition/fm-handover-aquarium/fm-aquarium-cobie2-description>).

3.4.4. XML-põhised skeemid

Extensible Markup Language (XML) pakub alternatiivset skeemi keelt ning ülekandmise struktuuri, mida ennekõike hea kasutada veebipõhiste tehnoloogiate juures. Nii nagu paljud vahetusformaadid on faili põhised, siis mõned uuemad vahetusformaadid on vaid XML-il baseeruvad. XML on täiendus HTML-ile, keel, mille abil infot kanda üle veebi. HTML sisaldab endas kindlat nimekirja tähiseid (ingl *tag*), mis määravad info tüübi ning kirjelduse. XML laiendab HTML-i võimalusi, andes kasutajale võimaluse defineerida lisa-tähiseid, et üle kantavale andmestikule anda spetsiifiline tähendus. Neid

lisa-tähised saab defineerida läbi erinevate meetodite (nt XML *schema*, RDF, OWL *Web Ontology Language*). Mõned XML põhised skeemid on rakendust leidnud ka ehitussektoris, mis on kokku võetud alljärgnevas tabelis. Tuleb rõhutada, et need ei ole omavahel haakuvad ning mõeldud kindlaks eesmärgiks. XML põhine andmete esitus võtab üldjuhul rohkem infomahtu kui tekstipõhine (2-6 korda rohkem, kui võrrelda näiteks IFC baasil). Samas saab XML faile kiiremini töödelda ning seetõttu saab seda pidada efektiivsemaks info edastuseks.

XML skeemid AEC sektoris	
OpenGIS	Geograafiliste objektide spetsifikatsioon, arendajaks OGC (<i>Open Geospatial Consortium</i>).
gbXML (Green Building XML)	Energiasimulatsioonide tarvis vajaliku info ülekandmiseks.
ifcXML	IFC skeemi esitus XML-ina.
BCF (BIM Collaboration Format)	Info väljavõtte formaat, mida kasutatakse ennekõike projekti ülevaatamise etapis, kus soovitakse teha mudelist väljavõtte (nt pildi tähenduses) ning lisada kommentaar. See info peab olema ülekantav teisele osalejale standardses formaadis, ilma et kogu mudelit peaks edastama. BCF salvestab pildi tegemise vaatepunkti (kaamera asukoha) sarnaselt vastuolude kontrolli töövahenditele. BCF formaati saab seejärel importida teistesse BIM tarkvaradesse, kus see kuvab salvestatud vaatepunkti ning kommentaari lähtuvalt tarkvara originaalsisust. BCF töötati algselt välja <i>Tekla</i> ning <i>Solibri</i> poolt, kuid tänasel päeval toetatud ka teiste tarkvara tootjate poolt.
CityGML	Linnakeskkonna esitamise 3D formaat (sh virtuaalsed linna mudelid). Formaati kaasab endas 5 erinevat detailsusastet (<i>level of detail</i> ehk LOD). CityGML võib (kuid ei pea) erineva detailsusastmes oleva objekti esitamiseks kasutada erinevat objekti ja seda samaaegselt (https://www.citygml.org/).

3.5. Faili põhiselt jagamisest ehitise andmemudeli hoidlani

Ehitiste projektid vajavad tervikliku projekti esitamiseks mitut erinevat mudelit ja seda nii projektlahendi, inseneeria kui ehitamise tähenduses. Koostalitlusvõimekus sai alguse tarkvaravahelistest infovahetustest, mida võib ka faili põhisteks vahetusteks nimetada. Samas on sellel omad probleemid. Ennekõike nende mahukus, sest projekti vältel on vaja vahetada korduvalt ja korduvalt neid „samu“ faile. Probleemi lahendamiseks on loodud võimalus, kus andmetele antakse ligipääs andmemudeli hoidla või BIM serveri tähenduses. BIM serveri mõistet võime endiselt pidada innovaatiliseks tehnoloogiaks, kuna selles valdkonnas toimub hoogne areng. See areng on innustatud asjaoludest, et on hakatud aru saama, mis probleeme ja mis viisil peab see lahendama. Seetõttu oleks paslik vaadata, millist funktsionaalsust me neilt ootame.

3.5.1. Projekti ülekanded ning sünkroniseerimine

Üks oluline kontseptsioon, mis andmebaaside (hoidlate) juures on oluline, on ülekanne. Ülekanne on see, mille eest andmebaasi kaitsta. Olgu esmalt selgitatud, et rakendus teostab tegevusi andmebaasi koopias baasil. Kui see andmestik oli korrektne ning ühilduv, siis me ei soovi seda enne üle kirjutada, kui ka kopeeritud andmestik vastab samaga. Kui see on tagatud, siis kasutaja toel toimub andmete üle kirjutamine. Üle kirjutamise juures kopeeritakse andmed esmalt varupesasse (vältimaks mistahes võrgu ja/või elektrikatkestusega seotud häiret) ja alles seejärel kopeeritakse serveris sellest varupesast hetkel kehtivasse versiooni. Tuleb tähele panna, et selline andmete kopeerimine ei kaitse

siiski kasutajapoolsetest infokadude põhjustamisest. Andmete ülekanne võib olla piiratud kasutaja õigustega ning vältimaks, et korraga saab mitu kasutajat ligipääsu samale andmestikule, saab seada piirangud, et enne kui üks kasutaja pole andmete kopeerimist lõpule viinud, ei saa teine seda algatada. Täna sel päeval liigutakse andmemudeli tasandil väga spetsiifilistes alamtasemetes, mis ühelt poolt annab meile võimaluse töötada just olulise osa andmestikuga (objektiga) ja ka neid muudatusi mõnevõrra lihtsamini andmelattu sünkroniseerida. Tuleb tähele panna, et samale objektile võib olla ligipääs väga erinevate rakenduste poolt, mistõttu tuleb arendada välja heterogeenne koordineerimine, sünkroniseerimine. Seega peavad kõik komponendid/objektid omama ajatempli ning globaalset *ID* väärtust. Globaalne, unikaalne *ID* (*GUID – Global Unique ID*) määratleb objekti ja seda sõltumata asjaolust, mis tarkvara sellele soovib ligipääsu. Seeläbi saab uuendada selle objekti erinevaid aspekte erinevate rakenduste (kasutajate) poolt. *GUID* näol räägime me meta-andmestikust, mida ehitise mudelis hoitakse. Meta-andmestikku võib seega vaadelda ka kui “andmeid andmestikust”, mida on vaja hallata. Seega, mistahes rakendus, mis saab luua, redigeerida või kustutada projektandmestikku, peab toetama:

- Uue *GUID* ning ajatempli loomist, mistahes hetkel kui see objekt luuakse (salvestatakse) või eksporditakse;
- Suutma lugeda *GUID* väärtust ning ajatemplit imporditud objektide juures ning kaasata seda infot ka hilisemaks ekspordiks;
- Eksportima *GUID* ning ajatemplit väärtust ühes muu eksporditava andmestikuga ning objektidega, mis on loodud, redigeeritud või kustutatud.

Seega näiteks, kui mahtude väljavõtete rakendus teostab mahtude väljavõtte *BIM* mudelist, siis mahtude ajatemplid määravad nende aktuaalsuse hilisemas etapis. Näiteks kui toote spetsifikatsiooni muudetakse mõnes vastavas rakenduses, võib see muuta ka selle akna mahtude arvestust, paigaldusnõudeid ja teisi nüansse. Muudatus peab seega üle kanduma kogu seotud infole. Versioonihaldus võimaldab aga hallata automaatset sünkroniseerimist. Sünkroniseerimine tagab, et andmestikku on kontrollitud kõige hilisema ajatempli kohaselt. Sünkroniseerimine ei toimu iga vahesalvestamise käigus, vaid alles siis kui muudatust soovitakse kinnitada ehk need on piisavad, mida jagada ülejäänud osalistega. Objektid, mis pole seega kõige värskemal kujul, ei tohiks liikuda teistesse süsteemidesse. Seega peab neil objektidel olema märged, et need on hetkel *n-ö* välja laentaud ning sünkroniseerimine on ootel. Sünkroniseerimine võib olla nii automaatne kui manuaalne. Näiteks kui komponent pole otseses sõltuvuses teisest (vastuolude kontroll) saab selle geomeetriat lihtsasti uuendada/värskendada või muuta selle mõnda parameetrit. Peale uuendamist, uuendatakse ka nende ajatempli. Kui aga sünkroniseerimine kaasas objekti, mis näiteks oli eelnevalt vastuolude kontrollis, siis peab kasutaja selle manuaalselt kinnitama, et see lahendus on nüüd *OK*. Siinkohal on võimalik arendada välja automaatsed vastuolude kontrolli meetodid, mis siis lähtuvad muudatusest ja võimaldavad kinnituse teha automaatse kontrolli käigus.

Baasnõuded ühele *BIM* hoidlale on tegelikult üsna tavapärased. Pane tähele, et osad nõuded on väga üldised ja omased mistahes andmebaasi põhisele süsteemile. *AEC* valdkonna eripäradest lähtuvalt peaksime aga keskenduma järgmistele aspektidele:

- Kasutajapõhine ligipääs, millest lähtub tema lugemise/kirjutamise/loomise õigused mudeli erinevatele detailsustele. Mudeli detailsus on väga oluline, kuna see paneb paika kui palju mudeli andmestikust peab olema piiritletud, et kasutaja saaks seda muuta.
- Esindusrolliga projekti kasutajad, et nende kaasatust, ligipääsu ning tegevusi saaks järgida ning tööprotsessidega koordineerida.

- Platvormide *originaal-BIM-mudelite* lugemise/kirjutamise ning salvestamise võimekus ning tuletatud andmemudelite samaväärsed võimekused, mis loodud teiste BIM töövahendite poolt.
- Avatud standardil baseeruvad andmemudelite lugemine, salvestamine ning kirjutamine teatud koostalitlusvõimekuse tagamiseks / tööprotsessideks ning projekti halduseks.
- Objektipõhiste andmete haldamine, nende lugemine, kirjutamine ja kustutamine lähtuvad uuendusega seotud ülekannetest.
- Tootekataloogide tugi BIM mudelites nii projekteerimise kui ka tootmise etapis.
- Tootepõhise info ning tootega seotud haldamise/hooldusinfo salvestamise võimekus, et linkida teostusmudeliga omanikule/tellijale üle antavat infot.
- Muu ärisüsteemidega haakuva andmestiku sidumine (nagu maksumus, tarnijad, tellimuste nimekirjad, arvepidamine jne) rakendustega.
- Mudelpõhiste vahetusformaate loomise võimekus veebipõhiseks koostöötamiseks, FTP ja/või faili põhiseks jagamiseks.
- Struktureerimata, suhtlusega seotud andmete haldamine: e-post, telefonikõned, koosoleku märkused, kalenderplaanid, fotod, videod jne.

Ehkki eelnimetatud list paneb paika BIM serveri baasnõuded, ei peegelda see mudelite keerukuse taset ning kuidas kogu seda andmestikku hallata.

3.5.2. BIM serverite funktsionaalsus

Kõik BIM serverid peaksid toetama ligipääsu kontrollmehhanismi ning info omamise küsimusi. Sellest lähtuvalt saab BIM servereid vaadata erinevatest funktsionaalsustest lähtuvalt:

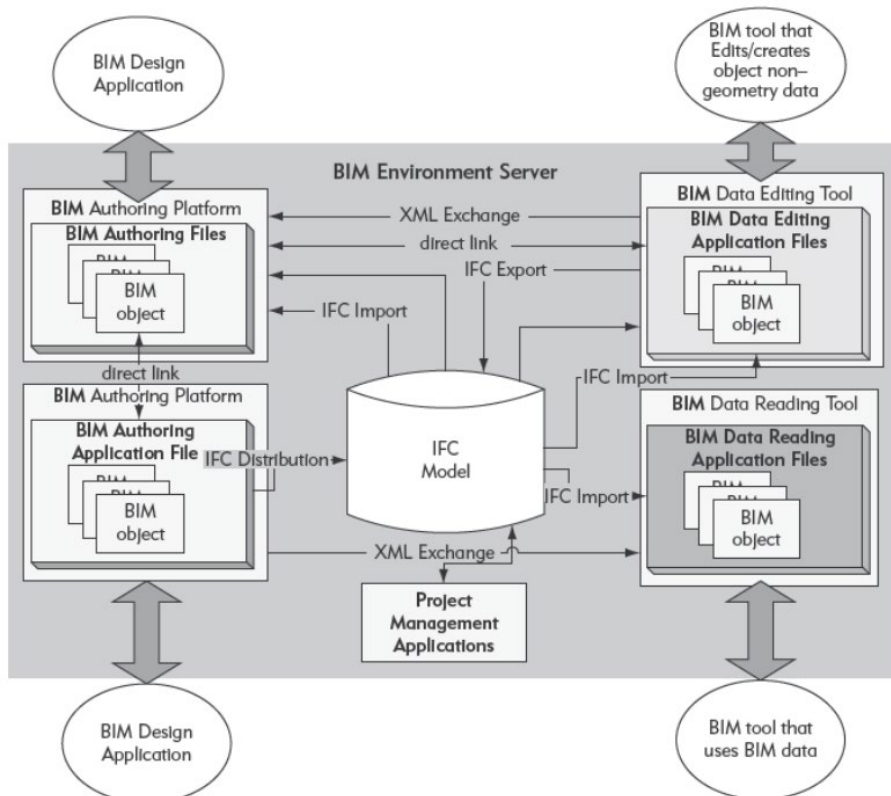
- Projekteerimise-ehituse projektipõhine vaatenurk; see on kõige fookus, mis on üldjuhul projektipõhine ning peab toetama väga paljusid erinevaid rakendusi koos versioonihaldusega ning sünkroniseerimisega.
- Valmistamise-tellimuse täitmise vaatenurk; tellimustöödele suunatud, kus toode on n-ö paberile pandud ja peab jõudma tootmisesse/tellimusse, üldjuhul pole projekti põhine (seega tootmise koordineerimine on väga oluline aspekt) ning peab toime tulema nagu iga teinegi toote elutsükli haldamise süsteem (*product lifecycle management – PLM*).
- Rajatise haldamise vaatenurk; suunatud rajatise opereerimisele/kasutamisele, lähtudes erinevatest sensoritelt saadavatest andmetest (sh reaajas).

Kõik need kolm suunda/vaatenurka arenevad järgnevatel aastatel lähtuvalt andmete vajalikkuse printsiibist, mida need süsteemid peavad hakkama toetama.

Kui uurida lähemalt esimest nimetatutest, siis on selge, et BIM serveri tähenduses määrab osaleja roll temale ligipääsetava info mahu, millele saab paralleelsele tõmmata jooniste põhise tööprotsessidega. Nimelt, ka jooniste tähenduses ei huvita kõiki osalisi, kuidas on lahendatud mõne kandva konstruktsiooni armatuur või mis on keevisliite spetsifikatsioonid. Seega seda sama korraldatakse ka BIM serveri põhistes lahendustes. Aga nüüd ligipääsudega mudeli vaadetele ühisest andmebaasist.

BIM serveri üks keskne küsimus saab olema, kuidas ja mis kujul peab see hoidma andmeid, et need oleksid kasulikud ning taaskasutatavad erinevatele BIM rakendustele. Siinkohal tuleb rõhutada, et universaalsed formaadid (avatud standardid) ei suuda tagada originaalandmeteks teisendust BIM rakenduste tarvis (IFC > Revit või siis IFC > Tekla Structure jne), mistõttu on keerukas, et BIM server neil universaalsetel formaatidel baseeruks. Seda seoses asjaoluga, et erinevad tarkvarad mõistavad parameetrilisi seoseid erinevalt ning me ei saa tagada andmete ühetaolisust (tõlgendamist) erinevate

BIM rakenduste poolt. Seega peavad need neutraalsed formaadid olema tõlgitud algsesse formaati, milles see info esmalt loodi. Idealiseeritud BIM serveri ülesehitus on toodud ka alloleval pildil.



Joonis 3.3. BIM server, mis baseeruks avatud standardil (universaalsel formaadil) (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 143).

3.5.3. BIM serverite näited

BIM serverite areng on tänasel päeval märkimisväärne ja funktsionaalsust lisatakse pidevalt juurde. Meie esmane huvi siinkohal on BIM server kui projekti (disainlahenduse tähenduses) loomise lahendus.

- **Autodesk BIM 360 Design (Build)** – Autodesk-i keskne lahendus toetamaks mitme kasutaja vahelist koostööd sõltumata tarkvarast. *Design* suunatud *Autodesk Revit* kasutajatele, *Build* projekti üldisemale haldusele.
- **Bentley ProjectWise** – Versioonikontrolliga serverilahendus, mis baseerub failidel ja mitte objektidel. Tänapäeval üha rohkem integreeritud ka *Bentley* enda *i-model* funktsionaalsusega. *i-model* on *Bentley* poolt välja arendatud info edastusformaad. Seetõttu võib tekkida vajadus ka IFC failid esmalt tõlkida *i-model* failiks enne, kui neid saab kasutada *Bentley* serverilahendustes. *Bentley* tarkvara piires hea lahendus, kuna oma toodete siseselt hästi integreeritud. Osaliselt toetavad *ProjectWise* projektipanka ka teised tarkvara arendajad/tootjad. Integreeritud lahendused (*i-model* baasil) koostöötamiseks (sh markeerimine, kommenteerimine, vastuolude kontroll jne).
- **BIM Server** – vabavaraline IFC-I baseeruv BIM serveri lahendus, IFC versioonihalduse ning import/eksport suutlikkusega. Objektipõhiste päringute koostamine. Kirjutatud Java keeles, integreeritud IFD ja CityGML tugi. Mitmeid lisapluginaid, mis toetavad seda serveri platvormi (nii tasuta kui tasulisi). Selle lahenduse peamine eesmärk on anda võimalus erinevatest arendusteks.

- **dRofus** – Veebipõhine SQL andmebaas, mis lähtub mistahes ehitise (hoone) ruumidest ning ruumides olevatest seadmetest. Seega tegemist pole justkui tervikliku BIM serveri lahendusega, vaid pigem kontsentreeritud vaatele ruumide tähenduses. Platvorm lähtub objekti põhistest ID väärtustest. Antud lahendus kasutatav olukorras, kus on vajalik ka hoone/ruumide seadmete määrang on oluline, näiteks haiglad ning erinevat liiki laboratooriumid.
- **Eurostep ShareAspace** – serveripõhine lahendus, mis algselt loodu lennunduse valdkonna tarvis ja seejärel leidnud kinnitust AEC valdkonna poolt. Objekti põhine mudelil baseeruv lahendus, mis baseerub IFC-I, kuid võimaldab ka originaalformaate tuge.
- **Graphisoft BIMcloud** – võimaldab mistahes BIM põhist tööprotsessi kasutada mistahes võrgu, tarkvara või riistavara konfiguratsioonis, liites projektimeeskonnad ning nende projektid (sõltumata nende suuruselt või ülesseadistusest).
- **Jotne EDM Model Server** – toetab mistahes *Express* keele põhist skeemi (nt IFC või CIS/2). Toetab mitmekeelelist keskkonda (IPD).
- **Oracle Primavera, AutoView** – keskendub *Primavera* projekti infole, ajagraafikule ning ressursside haldusele. Toetab algseid formaate (nii sisse- kui välja operatsioonideks). Tegemist pole siiski objektipõhise BIM halduriga ning keskendub erinevatele vajadustele lähtuvalt ettevõtte profiilist. Integreeritud 3D PDF ning *AutoView*.
- **Trimble Connect** – pilvteenusel põhinev lahendus, integreerimaks erinevaid osalisi ning tarkvarasid.

AEC valdkonna tehnilised lahendused on paljustki sõltuvuses toote põhistest serverilahendustest. Seega saab n-ö kätt pulsil hoida ka toote põhistel serveritehnoloogiatel (nt *Dassault v6 P 2.0 PLM*, *SAP PLM*, *SmartTeam*). Endiselt võib öelda, et me oleme selliste PLM (*Product Lifecycle Management*) süsteemide ootel, mida saab rakendada erinevates valdkondades.

Võib väita, et BIM serveri lahenduste pakkumine on tänane trend, ja me näeme siinkohal väga suuri arenguid, teenuse täiuslikkuse arendamise suunas.

3.6. Küsimused aruteluks

1. Mis on peamised erinevused DXF-i kui vahetusformaadi ning objekti põhise (nt IFC) skeemi vahel?
2. Vali projekteerimise või insenerivaldkonna rakendus, mis ei oma efektiivset kasutajaliidest BIM projekteerimise töövahendiga, mida sooviksid kasutada. Määratle, mis laadi infot peaks see BIM projekteerimise töövahend suutma edastada vastavasse rakendusse.
3. Laienda eelmist mõttekäiku, et mida saaksid sa tagasi (info mõttes) BIM projekteerimise töövahendisse, kui oled vastava rakendusega töö läbi viinud.
4. Vali mõne lihtsa objekti disain, näiteks LEGO klotsidest tehtud. Kasutades IFC-d, määratle, mis IFC komponente on vaja, et see disain ellu viia (esitleda). Kaasa *EXPRESS* edastajat, näiteks [EXPRESS-O](#) kontrollmehhanismi, mis leitav *Sourceforge* veebilehelt.
5. Ühe või rohkema koordineerimise ülesande tarvis, määratle, mis infot peaks liigutama mõlemas suunas:
 - a. Ehitise projekt, mis on mõjutatud energiasimulatsiooni baasil.
 - b. Ehitise projekt, mis on mõjutatud konstruktsiooni analüüsi baasil.
 - c. Terasekonstruktsiooni mudel, mis on koordineeritud tootmis-spetsifikatsioonid ning materjalide järgmise protsessidega.
 - d. Betoonvalul baseeruv projekt, mis määratletakse modulaarse raketisesüsteemiga.
6. Mis on funktsionaalsed erinevused, kui võrrelda ehitise mudeli hoidlat / andmebaasi ja faili põhist vahetust?

7. Selgita, miks vahetusprotsess, mis baseerub IFC baasil, võib esile kutsuda ebakooskõlasid. Kuidas saak sellised vigasid määratleda?
8. Sa oled BIM hoidla haldur, kes omab ligipääsu nii konstruktsiooni analüüsi kui energiasimulatsiooni mudelile. Sa teostad muudatuse füüsilise mudeli paigutuse (arhitektuurne sisend) tähenduses. Kuidas peaksid sa sünkroniseerima tööde protsesse, et hoida BIM keskkonnas olev mudel ajakohane?

4. BIM omanikule ning haldajale

Omaniku/tellijana võimaldab BIMi kasutusele võtmine muuta projekti elluviimine sujuvamaks ja saavutada kvaliteetsem lõpp-tulemus, kus ehitise tervikuna on läbimõeldum ning kasutuselt efektiivsem. BIM õhutab koostööd projekti osaliste vahel, vähendades vigasid ning muudatuste arvu ehitusplatsil ning seetõttu võimaldab saavutada efektiivsema ning usaldusväärsema projekti hanke ühes väiksema ajakulu ning maksumusega. BIMi kaasamiseks on mitmeid võimalusi. Omanik saab ehitusinfomudelit:

- Tõsta ehitise (hoone) efektiivsust läbi BIM-põhise energiasimulatsiooni ning valgustatuse analüüside.
- Vähendada projektiga seotud finantsilist riski läbi BIM mudeli, nägemaks usaldusväärsemaid maksumuse kalkulatsioone projekti varajases staadiumis ning paremat koostööd projekti meeskonna liikmete vahel.
- Vähenev projekti ajagraafik selle kooskõlastusest üleandmise läbi ehitise infomudelite, milles koordineeritakse ning eeltoodetakse projektilahendusi, mis ühtlasi vähendab ehitusplatsil kuluvat aega.
- Usaldusväärsete ning täpsete maksumuse kalkulatsioonide saamine läbi automatiseeritud mahtude väljavõtete ehitise mudelist, pakkudes juba projekti varajases staadiumis tagasisidet, kus otsustel on suurim kaal ning mõju.
- Programmi nõuete tagamine läbi jooksvate ehitise mudeli analüüside, millega tagatakse vastavus omaniku ning kohalikele nõuetele/kriteeriumitele.
- Ehitise korrashoiu optimeerimine läbi teostusmudeli info/sisseseade eksportimise ehitise elukaarega seotud korrashoiu süsteemidesse.

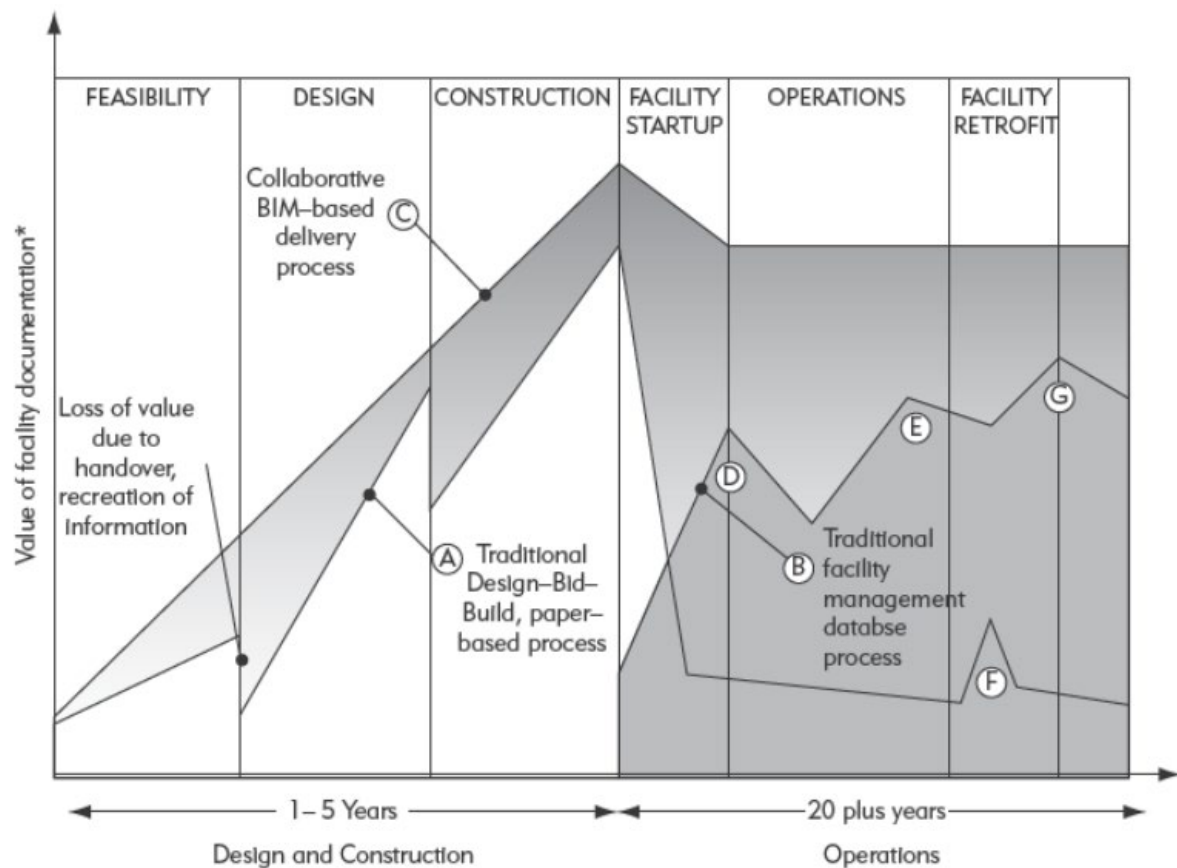
Eelnimetatud eelised kehtivad kõikidele omanikele ja seda mistahes projektide ulatuses. Samas tuleb tõdeda, et omaniku vaatevinklist peavad nad nende eeliste tajumise juurde alles jõudma, kuna see nõuab ka mitmete töövahendite kasutusele võtmist ning protsesside muutmist. Märkimisväärne roll BIMist täit kasu saada on projekti üleandmise protsessil, teenuse pakujate valimisel ning üldisel projekti elluviimise meetodikal. Tänapäeval on omanikud üle vaatamas projekti tingimusi (hankelepinguid), et kaasata BIMi põhiste protsesside ning tehnoloogiata paremat ära kasutamist. Enamus omanikke, kes on BIM-iga seotud protsesse rakendanud, on kogunud paremat ehitustulemust ning väiksemat opereerimise kulu. Sellega seoses on osad omanikud võtnud suuna, et BIMi põhimõtteid veelgi rohkem kasutataks läbi nende poolse kogemusliku tagasiside/koolituse.

4.1. Miks peaksid omanikud hoolima BIM-st?

Timmitud protsessid ning digitaalne modelleerimine on tekitanud pöördelise arengu tootmise- ning lennunduse valdkonnas. *Toyota* ning *Boeing*, kes on nende protsessi muudatuste varajased rakendajad, on saavutanud märkimisväärse toomise efektiivsuse ning sellega kaasnevalt ka kommertsedu (Laurenzo, 2005). Hilisemad liitujad pidid konkurentsipüsimeks sama teed minema, ehkki neil oli juba veidi lihtsam, kuna tehniliselt olid nii mitmedki konarused juba välja lihvitud. Siiski protsesside muutmise tähenduses oli vaja teha suuri muutusi.

AEC (*architecture-engineering-construction*) valdkond on kogemas analoogset revolutsiooni, kus muuta on vaja nii protsesse kui ka paradigmat, milles tuleb liikuda 2D dokumentatsioonidelt digitaalsete prototüüpidele ning koostööle suunatud tööprotsessidele. BIMi eelised on selle koordineeritus ning infoküllane ehitusmudel, millesse on integreeritud virtuaalne prototüüp, analüüsid ning virtuaalne ehitusmudel. Need võimalused avardavad CAD-i põhiseid protsesse, aidates

projektinfo linkida äriprotsessidega, näiteks eelarvestus, müügiotsused ning opereerimised. Need töövahendid toetavad koostööd projekti hankes. Koostöö rajaneb usaldusel ning ühistel eesmärkidel, et saada omaniku seisukohast parim tulemus ja mitte lähtuda niivõrd individuaalsete alameesmärkide maksimeerimisest. Joonistel baseeruv protsess tähendab sisuliselt seda, et erinevad analüüsid luuakse ehitise tervikprojekti tähenduses lahusolevatena, mis kaasab vigade rohket ning tüütut andmesisestust.



Joonis 4.1. Ehitise elukaar: (A) traditsiooniline, staadiumi põhine, joonistel baseeruv projekti edastus; (B) traditsiooniline ehitise haldamise andmebaas/süsteem; (C) BIMi põhine projekti edastus üle selle terve elukaare; (D) ehitise haldamise ülesseadistus (FM – facility management); (E) FM süsteemi integratsioon alamsüsteemidega; (F) teostusjooniste kasutamine renoveerimises; (G) FM andmebaasi uuendamine (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 153).

Selle tulemusena on projekti staadiumites saadav info vähem väärtuslikum, samas kui kvaliteetse tulemuse saavutamiseks on vaja väga suurt pingutust. BIMi põhise protsessi kasutamisel saab omanik suure tõenäosusega kasumlikuma projekti tänu integreeritud projekteerimisprotsessidele ning info väärtus staadiumite lõikes võimaldab suuremat efektiivsust projekti liikmete vahel. Tänu projekti kvaliteetsemale lõpp-tulemusele ning vähenenud kuludele ehitisega seotud kasutuse etapis väheneb projekti tasuvusuaeg ning omanik saab seeläbi reaalset tulu/dividende oluliselt varem.

Uus, integreeritud projekti edastusmeetod (ingl *integrated project delivery*, IPD) omab suurt tähendust projekti meeskonna koostöötamise õhutamisele ning BIM-il on siin täita oluline roll. Omanikul on siin kandev roll, kuna just tema initsiatiivil valitakse projekti edastusmeetod ja juba esimene leping peaks õhutama selle erilisust stiilis “*integreeritud leping timmitud projekti edastamiseks*”. IPD tähenduses on ka standardlepingu vorme, mida saab võtta aluseks ([AIA](#) ning [ConsensusDocs](#)).

Tüüpiliselt määratleb IPD leping kasutatava BIM töövahendid, sh infovahetusmeetodi (serverlahenduse). Omanik on IPD lepingu tähenduses pidevalt kaasatud, andes sisendit mistahes projekti staadiumis. Seetõttu peab ka omanik lähtuma temale suunatud BIM töövahenditest ning oskus nende kasutamiseks on seega ülioluline.

4.2. BIM rakendusvaldkonnad omanikele

Tavaliselt pole olnud omanikud need, kes on õhutanud muudatusvajadustele ehitussektoris. Nad on väga tihti leppinud tüüpiliste ehitusega seotud probleemidega nagu ülekulu, ajagraafikute venimine ning probleemid kvaliteediga. Paljud omanikud vaatava ehitusmaksumusele silma kui väga väikese osakaaluga projekti elukaare maksumusest. Olukorras, kus majandus on pidevas muutuses, peavad ka omanikud ümber hindama oma vaateid ning panustama senisest rohkem ehitisega seotud projekti edastusmeetodile ning selle mõju hindamisele nende äritegevuses.

Ettevõtted, kes pakuvad teenuseid omanikele (AEC valdkonna töötajad) toovad väga tihti välja omaniku lühinägelikkuse ning nende sagedase nõudmise teha muudatusi, mis olulisel määral mõjutada projekti kvaliteeti, ehitusmaksumust ning ajagraafikut.

Kuna BIMi kasutamine omab positiivset mõju eelnevalt märgitud probleemidele, peavad omanikud ka aru saama, kuidas BIMi rakendused võimaldavad neil saavutada konkurentsieelis ning kohanduda paremini muutuva turu tingimustes, et seeläbi saavutada ka paremat investeringute tasuvust. Olukorras, kus teenuse pakkuja on justkui BIM rakendamise eestkõneleja, otsides samal ajal oma enda konkurentsieelist, saavad teadlikumad omanikud ära kasutada oma projekterijate ning ehituspartnerite teadmist.

Mõjufaktorid, mis peaks mistahes omanikke panema kaasa rääkima BIM tehnoloogiate kasutusele võtuks:

- Projektinfo hinnang selle varajases staadiumis
- Ehitiste keerukus
- Turundamise aeg
- Maksumuse usaldatavus ning haldamine
- Lõpptulemi kvaliteet, "lekete" kõrvaldamise, talitushäirete ning põhjendamatute hoolduste tähenduses.
- Jätkusuutlikkus
- Varahaldus

Tabel 4.1 teeb kokkuvõtte BIM rakendustest, millega on omanikul kokkupuude ja millest saab kasu lõigata.

Tabel 4.1. BIM rakendusala ning võimalikud eelised omanikele, omanikust haldajale, omanikust-arendajale.

BIM rakendamise valdkond omanikule	Mõjufaktor	Kasu omanikele	Omaniku kokkupuude
Ruumi planeerimine ning vastavus nõuetele	Maksumuse haldus; turu keerukus	Kindlusta projekti nõuetele vastavus	Projekteerimisetaapp
Energiasimulatsioon	Jätkusuutlikkus	Jätkusuutlik ning energiasäästlik mõtteviis	
Projekti esitus/stsenaariumi haldus	Maksumuse haldus; ehitise keerukus.	Kvaliteetse projekti edastus	
Tehnosüsteemide analüüs/simulatsioon	Jätkusuutlikkus	Ehitise suutlikkus ning kvaliteet	

Projekti kommunikatsioon/üle vaatamine	Turu keerukus ning suhtlusbarjäärid	Suhtlus	
Mahtude väljavõtt ning maksumuse kalkulatsioon	Maksumuse haldus	Usaldusväärsemad ning varajasemad hinnangud projekti kestel	Projekteerimis- ja ehitusetapp
Projekti koordineerimine	Maksumuse haldus	Vähenevad vead ehitusplatsil ning väiksem ehituskulu.	
Ajagraafikute simulatsioon / 4D	Turundamise aeg, tööjõu defitsiit, suhtlusbarjäärid	Ajagraafikute visuaalne esitamine	Ehitusetapp ning tootjad
Projektijuhtimine	Turundusaeg	Projekti tegevuste järgimine	
Eeltootmine	Turundamise aeg	Ehitusplatsil tehtava kulutuste vähendamine ning parema projekti kvaliteedi saamine.	
Esialsed analüüsid	Maksumuse haldus	Usaldusväärsem maksumushinnang	Ehitise elukaar
Opereerimis simulatsioonid	Jätkusuutlikkus/ maksumuse haldus	Ehitise suutlikkus ning hallatavus	
Kasutuselevõtt ning varahaldus	Varahaldus	Ehitise- ning varahaldus	

4.2.1. Projektinfo hinnang

Omanikud peavad suutma hallata ning hinnata projekti ulatust lähtuvalt oma enda nõuetest mistahes projekti staadiumi vältel. Eskiisi ajal haarab see ennekõike ruumilisi analüüse. Hiljem lisanduvad ka funktsionaalsed analüüsid. Täna sel päeval tehakse seda endiselt väga palju käsitsi, milles projekteerija esitleb jooniste, piltide ning renderdatud animatsioonide jadana erinevaid eesmärke. Need nõuded aga on pidevas muutuses, samas on ka kõige ilmselgemata nõuete juures omanikul keerukas kindlustada nende täitmist. Kui siia lisada ka linnaruumi kohandatavad ehitised või nende renoveerimised, mõjutab iga uus ehitise ümbruskonna teisi elanikke/kasutajaid. Saada erinevatelt osalistelt sisendit pole nii lihtne kui see võib algselt tunduda, sest osalised on väga erineva oskustasemega ning kõik ei oska jooniseid või spetsifikatsioone lugeda. Omanikud saavad kaasa lüüa oma projektmeeskonnas, et BIM mudelit kasutada:

- **Programmiline nõuete integreerimine** – programmiliste ning teostatavuse staadiumis töötavad omanikud koos konsultantidega, et paika panna projekti plaan ning nõuded. Töövahendi näidis sedalaadi tegevuste läbiviimiseks: <http://www.bimstorm.com/>
- **Projekti plaani parendamine läbi BIM põhiste ruumiliste analüüside** – ruumi mõõtude/funktsiooni põhised värvikoodid, mis aitavad visuaalselt läbi viia efektiivseid ruumilisi analüüse. See sama värvikood võib omakorda esile tõsta piirkonnad, kus nõuetele vastavus puudub. Sedalaadi visuaalne tagasiside eskiislahendustega töötamisel on väga väärtuslik. Seeläbi saab omanik veenduda, et nõuded on täidetud ning opereerimise efektiivsused on läbi mõeldud.
- **Visuaalsed simulatsioonid erinevatele osalistele** – omanikud vajavad otsekohest tagasisidet erinevatelt projekti osalistelt, kes ei hooa projekti andmestikku tervikuna. Kui traditsiooniline reaalarv ja kõrgkvaliteediline renderdus on ühekordne vaatlus, siis BIM ning sellega kaasnevad 4D töövahendid võimaldavad läbi viia “*mis-siis-kui*” tüüpi analüüse oluliselt lihtsamalt, majanduslikumalt.

- **Kiirelt korrigeeritavad projekti stsenaariumid** – reaalaajas korrigeerimise võimekus on mõistagi seotud kasutatava töövahendiga.
- **Ehitise opereerimise simulatsioon** – näiteks evakuatsiooni simulatsioonid (nt metroojaama n-õ tühjendamise või tulekahju olukorras). Sedalaadi simulatsioonid on töömahukad ning spetsiifiliste töövahendite olemasolu vajalik. Samas olukorras, kus me räägime ehitisest, mis sõltub sedalaadi simulatsioonides/käitumistest – tasub keerukamate BIM-il baseeruvate süsteemide investeeering end ära.

4.2.2. Ehitiste keerukus

Kaasaegsed ehitised on keerukad oma füüsilise infrastruktuuri poolest ja ka organisatoorse, finantsilise ning õiguslike protsesside tähenduses. Ehitusnormid, seadusest tulenevad ning vastutusega seotud küsimused on nüüd tavapärase mistahes piirkonnas ning pudelikaelaks või märkimisväärseks takistuseks projekti meeskonnale. Üsna tihti peavad omanikud koordineerima projekteerimist ning kooskõlastamist samaaegselt. Samal ajal on füüsikaline infrastruktuur nagu tehnosüsteemid üha rohkem integreeritud automaatjuhtimissüsteemidega (sh tark maja). *BIM* töövahendid ning protsessid aitavad omanikul koordineerida neid keerukamaks muutuvaid süsteeme järgmistest vaatepunktidest lähtuvalt:

- **Infrastruktuuri täielik koordineerimine läbi 3D mudelite, milles kaasatud kõik osamudelid (sh tehnosüsteemid, arhitektuur, konstruktsioon)** – ehitusinfo mudel võimaldab virtuaalselt koordineerimist ehitise infrastruktuuri tähenduses üle kõikide valdkondade. Ümbertegemine projekteerimisest tingitud vigadest väheneb olulisel määral.
- **Kõrge kvaliteediliste ning hallatavate infrastruktuuride loomine läbi interaktiivse koordineeritud mudelite kontrolli** – paljud omanikud peavad lähtuma oluliselt keerukamate tehnosüsteemide koordineerimisülesannetest, et tagada nende sihipärane ning veatu töö. Eriti oluline on see ehitiste juures, kus süsteemide töö peab olema tagatud 24/7.
- **Kohtuvaidluste vältimine läbi koostööpõhise loome ning ehitusinfomudelite üleandmise** – tänasel päeval satutakse väga paljude ehitistega kohtuvaidlustesse seoses muudatuste vajadusega. Siia alla kuuluvad projekteerija poolsed muudatused seoses omaniku poolt algatatud soovidega; omanike poolsed vaidlustused, et projekteerija ei täitnud lepingujärgseid kohustusi; ning ehitaja vastuväited seoses asjaoludega, et nende edastatud info on ebatäpne. Protsess, mis keskendub terviklikule ehitise mudelile, saab neid situatsioone vältida, kuna kaasatud info on oluliselt täpsem ning koostööle suunatud pingutus mõjutab ka projektipartnerite suuremat huvi vastutada oma osa eest.

4.2.3. Jätkusuutlikkus

Keskkonnasäästlike ehitiste trend on pannud paljusid omanikke mõtlema ka energiakasutuse efektiivsusele oma ehitistes (hoonetes) ning projekti terviku mõju ühiskonnale. Jätkusuutlik ehitis on hea äritava ning võib viia parema müügitulemuseni. Ehitise mudelid võimaldavad just tänu info kaasatusele energiasimulatsioonide läbi viia. Omaniku vaatevinklist on siin olulised järgmised asjaolud:

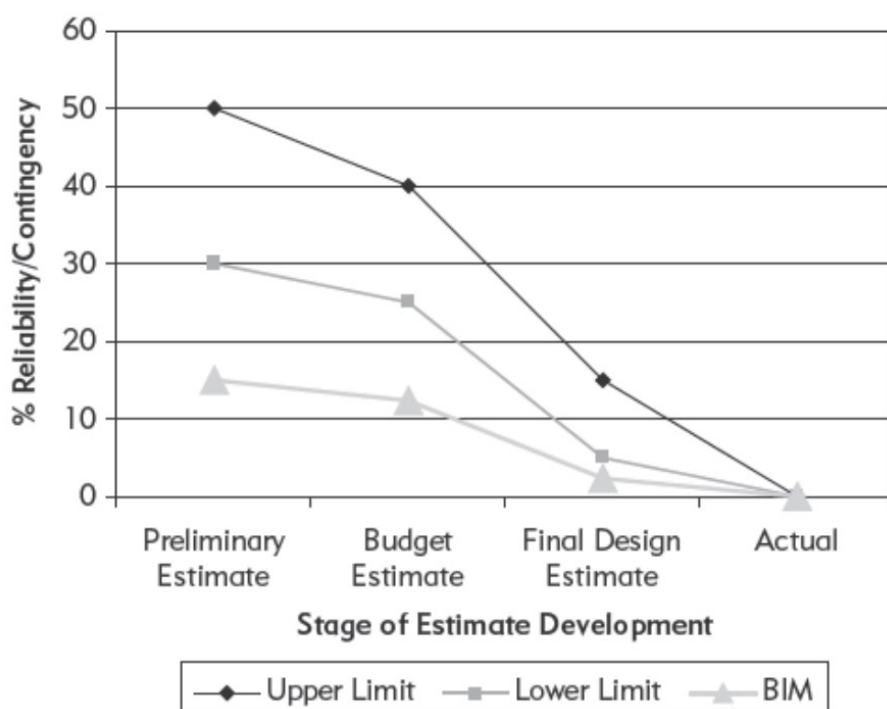
- **Energiakasutuse vähendamine läbi energiasimulatsioonide** – laias laastus võib öelda, et investeeering energiasäästlikesse lahendustesse nagu näiteks suurendatud soojapidavus, vähendab energiakasutust ca 10%. Siinne väljakutse on ennekõike leida viis, kuidas hinnata energiakasutuse vähenemist kui kaasatakse energiasäästlikumat lahendust. Õnneks on selleks olemas mitmeid tarkvaralisi lahendusi, mis võimaldavad analüüsida ehitise infomudelit tervikuna või hindama seda läbi elukaare põhiste analüüside.
- **Parenda opereerimise tootlikkust läbi mudeli loomise ning simulatsioonide töövahendite** – jätkusuutlik projektilahend võib oluliselt mõjutada töökoha tootlikkust. Opereerimise kuludest

kuni 92% moodustub hoones töötavate inimeste poolt. On leitud, et päevalguse osakaalul on täita väga oluline roll tootlikkusele ning töölt puudumisele. BIM tehnoloogiad pakuvad erinevaid analüüsi töövahendeid, et leida nn murdepunkt tagamaks päevalguse osakaal tööruumides ning pimestamise leevendamise ja päikese soojusenergia vahel.

Peale ehitise valmimist ning kasutusse võtmist, saavad omanikud võrrelda modelleeritud ning mõõdetud energiakasutust.

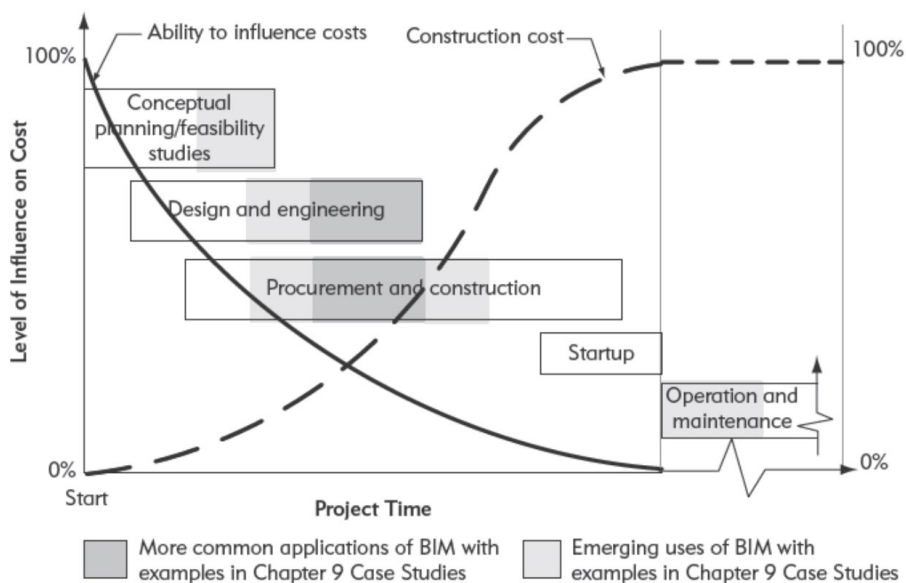
4.2.4. Maksumuse usaldatavus ning haldamine

Omanikud kogevad üsna tihti ülekuulu, mis tingib lahendustest loobumist, eelarve suurendamist või projekt seisata. Kirjanduse baasil on tehtud kokkuvõtteid, kus suurusjärgus 2/3 ehitusprojektidest raporteerivad ülekuulu. Selleks, et neid ettenägematuid kulusid tasakaalustada, lisavad omanikud tihtipeale lisahinnangud olemasolevatele hinnangutele. Alloleval pildil on toodud sellekohane näide, kus sõltuvalt projekti staadiumist võib omanik lisada 5 – 50%.



Joonis 4.2. Usaldusväarsus vs projekti staadium. Pildil esitatud tüüpilised ülekulunumbrid, mida omanik lisab sõltuvalt projekti staadiumist. Lisaks on toodud BIMi põhise protsessi järgne ülekulu hinnang (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 163).

Ebausaldusväärsete hinnangute omanikele suur risk ning juba tehnilikult tõstab projektiga seotud kõiki kulusi. Maksumushinnangute usaldusväarsust mõjutavad mitmed faktorid, sealhulgas turusituatsioon, mis muutub ajas aga ka hinnangu läbiviimise aeg ja selle rakendamine võis siis jällegi projektimuudatuste iseloom või probleemid kvaliteediga. Täpsem ning loomult arvutusteks loodud ehitusinfo mudel pakub märksa usaldusväärsemat lähtepunkti mahtude väljavõteteks ning maksumuskalkulatsioonide tegemiseks ja seda lähtuvalt projektist tehtavate muudatuste. See on väga oluline just seetõttu, et maksumust tervikuna on võimalik kõige lihtsamini mõjutada projekti algstaadiumis (eskiis) (vt joonis 4.3). Ebakvaliteetsete hinnangute põhjustena tuuakse ka vähese aja olemasolu, kehvade dokumentatsioonide ning kommunikatsioonist tingitud viivitusi projekti osaliste vahel (ennekõike omanik vs eelarvestaja).



Joonis 4.3. Projekti maksumuse mõjutatavus projekti elukaare vältel (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 164).

Omanikud saavad hallata kulusid läbi BIMi rakenduste, et:

- **Usaldusväärsemad hinnangud projekti algstaadiumis läbi eskiisil baseeruvate BIM lahenduste** – täpsed hinnangud omavad väga olulist rolli projekti varajases staadiumis, ennekõike finantseeringute kaasamise vaatepunktist. Seeläbi on muuhulgas võimalik vähendada laenuvõtmise vajadust kui maksumushinnangud on täpsemini paigas.
- **Kiirem, üksikasjalikum ning oluliselt täpsem hinnang läbi BIM põhiste mahtude väljavõtte töövahendite** – nii omanikud kui eelarvestajad on kitsikuses esitada ajakohaseid maksumushinnanguid projekti muudatustest lähtuvalt. Sidudes projektmudeli ning eelarvestamise protseduuri, saab projekti meeskond kiirendada mahtude väljavõtete protsessi ning seeläbi värskendada projekti muudatusest tingitud maksumushinnangut. BIMi põhise eelarvestamise ajakulu võrrelduna käsitsi teostatavaga, võib olla ca 92% väiksem ja seda täpsusklassiga 1% (BIM vs käsitsi teostatav). Samas tuleb rõhutada, et BIM-il baseeruvad väljavõtted ning hinnangud moodustavad vaid ühe osa eelarvestamisest. Näiteks ei kaasa see erinevaid seisakuid, ehitusplatsi omapära või ehitise keerukust, mille hindamiseks peab olema oluliselt kogenum. BIM põhine maksumushinnang ei püüa asendada kogenuid eelarvestajaid, vaid pigem neid aidata, pakkuda lisatöövahendeid teha seda efektiivsemalt.

4.2.5. Turundamise aeg

Turundamise aeg mõjutab kogu tootmisvaldkonda ning ehitise ehitamine on tüüpiline pudelikael. Tootmisettevõtted on enese jaoks väga hästi paika pannud tootmistsükli, mis läbi erinevate meetodite ning tehnoloogiate võimaldab neil saavutada kiiremat tarneaega parema kvaliteediga ning samas odavamalt. BIM pakub omanikele ning tema projektimeeskonnale võimalust ning töövahendeid, et osaliselt automatiseerida projekteerimist, simuleerida opereerimist ning rakendada ehitusplatsi välist tootmistsükli (ehk kasutada eeltootmist ja ehitusplatsil paigaldamist). Sedalaadi innovatsioon pakub ka omanikele erinevaid BIM rakendusi, et reageerida järgnevale turundamise aega mõjutavatele vajadusele:

- **Turundamise aja vähendamine tänu parameetrilistele mudelitele** – pikad ehitustsüklid suurendavad tururiski. Projekte, mis rahastati soodsas majanduskliimas võivad turule jõuda majanduslanguse faasis ja seega oluliselt mõjutada projekti investeeringutasuvust (ingl *return on investment* ehk ROI). BIM protsessid nagu BIMi põhine projekteerimine ning eeltootmine

võivad suuresti projekti kestvust vähendada selle kooskõlastusest vastuvõtmiseni. Parameetiline BIM mudelite olemus võimaldab muudatusi senisest lihtsamini ning veavabamalt ellu viia ja vähendab oluliselt jooniste ümbervormistamiseks kuluvat aega.

- **Ajagraafikute vähendamine läbi 3D koordineerimise ning eeltootmise** – kõik omanikud peavad lõivu maksma ehituse seisakust või projekti üldisest venimisest lähtuvalt. Seda siis suureneva intressikulu, saamata renditulu või mistahes muu müügitulu saamata jäämise vaatepunktist.
- **Vähenev ajagraafikutest tingitud risk läbi BIMi põhise planeerimise** – ajagraafikud sõltuvalt ennekõike kõrge riskiga seotud tegevustest, seotud tegevustest või mitmest osalisest sõltuvatest tegevustest. Tihtipeale tekivad sedalaadi probleemid just olemasolevate ehitiste renoveerimisel.
- **Kiirreageerimine ettenägematutele ehitusplatsi tingimustele läbi 4D koordineeritud BIM mudelite** – omanikud ning nendega seotud teenuse pakkujad satuvad olukordadesse, mis on tingitud ettenägematutest olukordadest, mida üksi, ka kõige parem digitaalne mudel ei suuda ette näha. Samas meeskonnad, kes omavad digitaalseid mudeleid, suudavad ettenägematu olukorra kiiremini lahendada ning naasta ajagraafikusse. Näiteks olukorras, kus projekt seisatakse mitmeks kuuks, siis seda aega saab kasutada projektiplaani täiustamiseks ning projekt endiselt lõpetada õigeaegselt.

4.2.6. Varahaldus

Mistahes tööstusharu on vastandumas olukorraga, kuidas infot vaadata kui vara; ehitise haldaja ei ole siin erandiks. Tänapäeval lisatakse infot projekti igas staadiumis ning väga tihti sisestatakse seda uuesti kui liigutakse ühest staadiumist teise või info vahetab omanikku. Pea kõikide projektide lõppedes, kukub loodud info väärtus hüppeliselt, kuna seda ei uuendata, et kajastuks teostusolukord või pole see lihtsasti ligipääsetaval kujul (pole hallatav). *Joonis 4.1* esitas olukorra, kus koostööle suunatud info loomine ning haldus vähendab ka dubleeritud andmete olemasolu ning infokadu. Omanikud, kes näevad väärtust projekti terviklikus elukaases, saavad ehitise mudelit kasutada strateegilisemal ning efektiivsemal viisil:

- **Effektiivsem ehitise tellimine/vastuvõtt** – ehitise infomudeli kasutamine projekteeritud funktsionaalsuste korrasoleku kontrolliks lähtuvalt ehitises (hoones) teostatud tegelikele mõõtmistele ja seeläbi kinnitada teatud mahtude vastuvõtt efektiivsemalt.
- **Ehitise haldussüsteemi kiirem loomine** – näitena on toodud, et haldussüsteemi paika seadistamiseks läbi ehitusinfo mudelite võib ajakulu väheneda kuni 98%, mis ennekõike on tingitud vähenevast töötundide vajadusest andmete uuesti sisestamise tähenduses.
- **Ehitise varahaldus läbi BIMi põhiste varahaldustöövahendite** – omanikul on võimalus järgida ehitist lähtuvalt selle üksikute osade toimivustest.
- **Senisest kiirem renoveerimisplaani või hooldustöö mõju hinnang** – näiteks visuaalne hinnang, millised ehitise (hoone) ruumid on mõjutatud teatud renoveerimisplaanist või hooldustööst elektrikatkestuse tähenduses.

4.3. BIM töövahendi valik omaniku perspektiivist

Eelnevalt oleme märkinud erinevaid BIM tehnoloogiasid, mida omanikud ning teenuse pakkujad saavad kasutada. Selles seksioonis vaatame lähemalt BIM töövahendeid või funktsionaalsusi, mis täidaksid just omaniku vajadusi.

4.3.1. BIMi põhise eelarvestuse töövahendid

Omanikud kasuta eelarvestamist selleks, et panna paika projekti baaskulu ning hinnata finantside kaasamise vajadust või tulususe prognoosi (*ingl pro forma analyses*). Tihtipeale tehakse need

eelarvestused projekti varajases staadiumis, enne põhiprojekti staadiumi. Need eelarvestused baseeruvad ruutmeetri või ühikmaksumuse meetodikal, mida üldjuhul teostab omaniku esindaja või eelarvestuse konsultant. Omanike silmas pidades on arendatud välja spetsiifilisi tarkvarasid nagu näiteks *U.S. Cost Success Estimator*. Samas on *MS Excel* ikkagi enamlevinud eelarvestamise töövahend. Alates 2007 pakkus *U.S. Cost* oma kasutajatele võimalust, et nad saavad mahtude väljavõtteid otse *Autodesk Revit* mudelist. Samaväärseks tarkvaraks võib pidada ka *Exactal CostX*, mis võimaldab importida ehitusinfo mudeleid ning läbi viia automaatseid ning manuaalseid väljavõtteid.

4.3.2. Ehitise varahalduse töövahendid

Enamik ehitise varahalduse töövahendeid baseeruvad kas polügoonidel baseeruvatel 2D infol, mille kaudu esitatakse ruumi pindasid või numbrilisel infol tabelite baasil. Enamike ehitiste haldajate vaatevinklist ei oma ruumide ning nendega seotud seadmete haldus 3D infot; samas 3D või siis komponentidel baseeruvad mudelid suudavad pakkuda omaette väärtust ehitise haldusfunktsioonide korraldamisesse. Ehitusinfo mudelid pakuvad selgeid eeliseid esmase ehitusinfo sisestamiseks ning sellega koostöötamiseks. BIM-iga suudab omanik interakteeruda ruumipõhist infot/komponente 3D-s ja seega vähendades oluliselt aega, mis vajalik ehitise varahalduse andmebaasi koostamiseks, kuna traditsioonilised meetodid eeldavad käsitsi ruumide loomist peale projekti lõpetamist. Täna päeval võib leida töövahendeid, mis suudavad sisendeid vastu võtta BIM ruumobjektidena või muude ehitise komponentidega, mis esitavad erinevaid varasid. Näidetena võib tuua:

- *AcrhiFM*
- *ONUMA Planning System*

Lisaks üldistele omadustele, mida üks ehitise haldussüsteem (ingl *facility management* - FM) peab toetama, peavad omanikud kaaluma järgnevaid aspekte, mida sedalaadi töövahendite kasutusele võtmiseks peaks arvestama:

- **Ruumobjekti tugi** – kas ruumobjektide tugi *BIM* tarkvarast on toetatud, kas siis algses formaadis või läbi IFC? Juhul kui on, mis andmeid see töövahend suudab importida?
- **Kokkuliitmise tugi** – kas andmeid saab uuendada või kokku tõsta erinevatest allikatest? Näiteks tehnosüsteemid ühest süsteemist ning ruumobjektid teisest süsteemist?
- **Uuendamine** – juhul kui leiab aset ehitise moderniseerimine või ümber konfigureerimine, kas süsteem toetab lihtsat ehitise mudeli uuendamist? Kas see suudab muudatustel silma peal hoida (muudatuste ajalugu)?
- **Sensor- ning juhtimisautomaatika** – kas sensorid ning juhtimisautomaatika kulub FM süsteemi hulka? Kas neid saab hallata läbi vastava süsteemi?

Ehitusinfo mudeli kaasamine ehitise haldamiseks võib eeldada kindlate *BIM* töövahendite kasutamist või kolmandate tootjate *BIM* lisatoodete kaasamist. Üks väljakutsetest, mida *BIM* mudeli ülekandmine ehitise haldussüsteemi pakub, on asjaolu, et *BIM* tavapärased formaadid ei ole tihtipeale toetatud. Samas on seda püütud tasakaalustada läbi *COBie* formaadi, mis just mõeldud sedalaadi info ülekandmiseks. *BIM*i kasutamine ehitise halduses on endistviisi astumas oma esmaseid samme ning on alles rajamas endale teed ning usaldust. Seetõttu peavad omanikud koostöötama oma haldusmeeskonnaga, et välja uurida, kas tänased töövahendid toetavad *BIM* andmestikku või kas sellelaadse toe või ülemineku vajadus on päevakorras/vajalik.

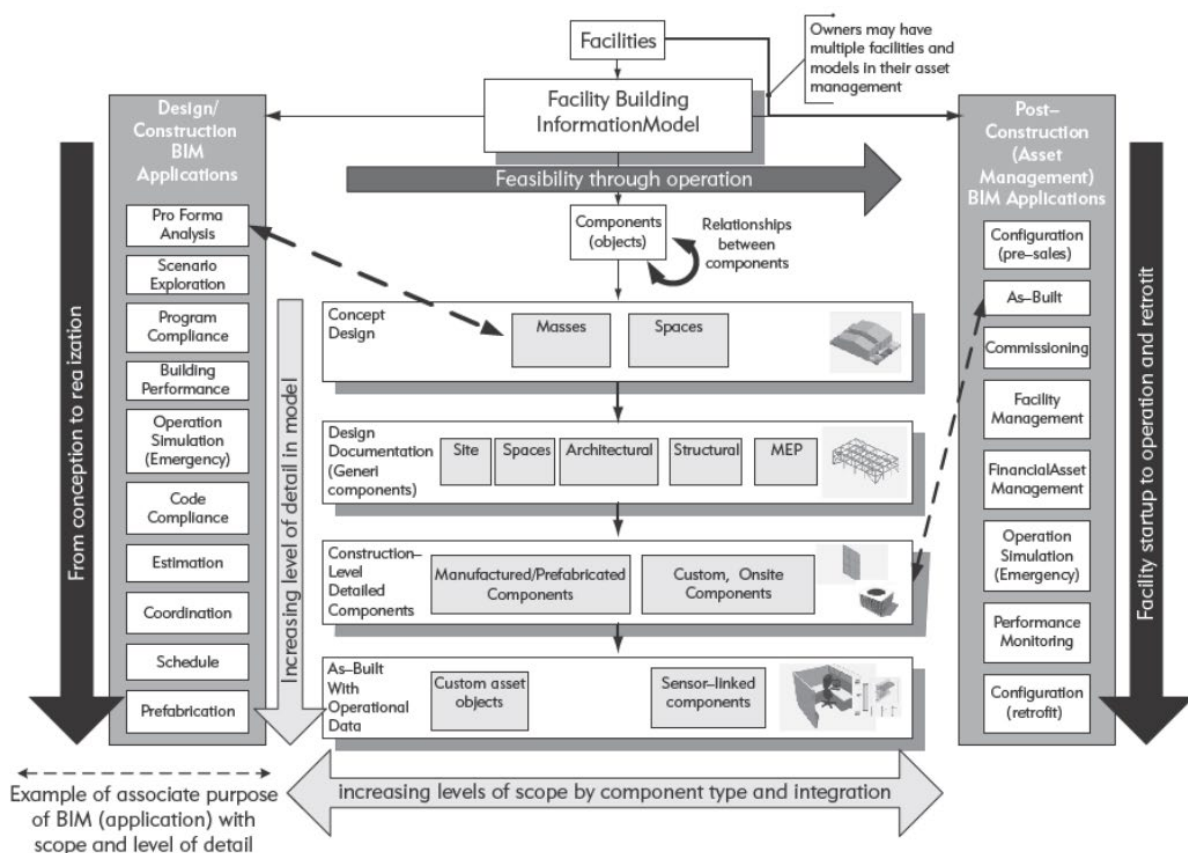
4.3.3. Opereerimise simulatsiooni töövahendid

Teiseks suureks väljundiks omanike vaatevinklist on opereerimise simulatsioonide töövahendite kasv, mis põhinevad ehitusinfomudelitel. Siia alla kuuluvad rahvamasside käitumise simulatsioonide töövahendid nagu *Legion Software*, *eRena ViCrowd*, *Oasys MassMotion*; haiglate protseduuriliste

simulatsioonide ning hädaolukordadega seotud evakuaatsiooni simulatsioonidega nagu *IES Simulex* või *building Exodus*. Paljud tarkvara tootjad pakuvad ka teenust, et sedalaadi simulatsioone läbi viia. Mõlemal juhul on ikkagi vaja, et nendesse töövahenditesse lisainfot sisestada, et simulatsioone saaks luua. Oluline on tähele panna, et mõnel juhul võivad sedalaadi töövahendid teha väljavõtteid ehitise geometriast ehk siis on võimelised ära kasutama ehitise infomudelit. Paljud teised töövahendid on keskendunud pigem reaajas visualiseerimistele (nt hädaolukorrad lõbustuspargis, *Ameerika mägede* atraktsioonil sõites).

4.4. Omaniku ning haldaja ehitise mudel

Omanikud ei pea olema ainult teadlikud saadaolevatest BIM töövahenditest, kuid saama ka aru oma vajadustest kaasata ehitise mudelit oma projektis. *Joonis 4.4* esitab omanikele raamistiku, mis selgitab mudeli detailsust (mahud, ruumid, ehituslik täpsus – vertikaalne suund) ning mudeli ulatust (sh ruumiline ning valdkonna põhised elemendid nagu arhitektuuri ja tehnosüsteemide elemendid).



Joonis 4.4. Põhimõtteline diagramm, mis näitab BIM rakenduste omavahelist seost ehitise üleandmise faasis ning ehitusjärgseid tegevusi ning omavahelisi seoseid mudeli ulatuse ning detailsuse tähenduses (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 173).

Tihti peale paneb teenuse pakkuja paika ulatuse ning sellega kaasneva detailsuse, mis siis nende töö puhul vajalik. Omanik võib nõuda vajalikku mudeli ulatust ning detailsust, et seda saaks kasutada ehitusjärgseteks tegevusteks. Teostatavuse staadiumis (eskiis) piisab mahtudest ning ruumide defineerimisest, et kaasata BIM rakendusi. Edasistes staadiumites hakkab mudeli detailsus kasvama ning seega muutuvad ka BIM töövahendid. *Tabel 4.2* esitab osalise nimekirja info alamtüüpidest, mida ehitusinfomudel peab toetama ehitusjärgsetes tegevustes. Osaliselt on info defineeritud [IFC skeemi](#) poolt. Lisaallikad, mis omaniku infovajadusi kaardistada aitavad on:

- **OSCRE** (*Open Standards Consortium for Real Estate*) – mittetulunduslik organisatsioon, kes on defineerinud info vajaduse ning standardid üleandmisel baseeruvatel stsenaariumitel, sh hindamine, ärikinnisvara infovahetus ning ehitiste haldamise töökäsud (tellimused).
- **Capital Facilities Information Handover Guide** – see dokument kirjeldab info üleandmise juhiseid iga ehitisega seotud staadiumi edastuse lõikes, milles ka siinses peatükis on juttu olnud.
- **OGC** (*Open Geospatial Consortium*) – see mittetulunduslik standardite loomise organisatsioon on arendamas standardeid georuumilise info kohta ning püüab sidustada GIS-i ning ehitusmudeli andmestikku.
- **COBie2** (*Construction Operations Building Information Exchange*) – COBie2 lihtsustab tööde mahtu, mis on vajalik teha projekti üleantava andmestiku tähenduses. COBie2 lähenduses sisestatakse andmed nii nagu see tehtud kättesaadavaks projekteerimise, ehitamise ning üleandmise staadiumis. Projekteerijad esitavad põrandaplaanid, ruumide info ning seadmete asetuse. Ehitajad esitavad installeeritud seadmete tootjapoolsed andmed. Enamus andmesitkust, mis edastatakse ehitaja poolt, tuleb tootjatelt, kes samuti saavad kaasa lüüa COBie2 tähenduses. COBie2 [kasutamise juhiseid](#) Autodesk Revit näitel.

Tabel 4.2. Omaniku ehitusinfomudel.

Eesmärk	Mudeli info tüüp
Toetamiseks programmiline vastavust ning ehitise haldamist. Tüüpilises projekteerimise protsessis luuakse ruumiline info, et tagada programmiline vastavus ning toetada normidele vastavuse kontrolli. Need on kriitilised aspektid programmilise vastavuse tähenduses ning BIM kasutamiseks ehitise haldamises.	Ruumid ning funktsioonid.
Tellimustega seotud tegevuste tugi (tehnilised näitajad).	Tehnilised näitajad tehnosüsteemide ning teiste ehitise opereerimisega seotud seadmetele.
Ehitusjärgseteks analüüsideks ning järgimiseks aga ka tuleviku prognoosideks.	Teostusmudeli ajagraafik ning maksumuse info.
Hoolduse planeerimine, eelarve, ajagraafik.	Tootja poolne info.
Asendamiste eelarve koostamiseks ning ajagraafik koos hinnangutega.	Varahaldusandmestiku rahaline pool.
Evakueerimiseplaanide koostamiseks.	Hädaolukorra põhine teave.
Projekteerimise, ehitamise ning haldamise järgimiseks.	Tegevuse staatus.
Erinevate sensorite järgimine ning reaajas tehnosüsteemide juhtimine.	Sensorite andmestik.

4.5. BIMi rakendamise juhtimine projekti vältel

Omanikud kontrollivad, kellega nad sõlmivad lepingud, lisaks ka lepinguvormi, üleandmise protsessi ning andmete vajaduse ehitise tähenduses. Kahjuks mitte kõik omanikud ei suuda ajaga kaasas käia ja teevad asju endistviisi ja seega nad ei taju, et nad tegelikult saaksid juhtida seda, kuidas ehitise üle antakse. Nad võivad olla ka mitteteadlikud BIMi põhiste protsesside eelistest. Omanikud toovad näitena, et nad ei saa muuta standardeid/nõudeid, mis on riiklikul tasandil paika pandud ja seega on võimetud tegema asju teistmoodi. Samas on organisatsioone, kes nende standardite kohandamisega tegelevad ning rakendusse püüavad anda. Samas on võimalik ka traditsioonilisi lepinguvorme kasutades ületada takistusi ning BIMi ikkagi kaasata (vt hilisemat seksiooni). Omaniku kaasatus on BIM optimaalse kasutamise eelduseks projektiks. Omanikud võivad oma organisatsiooni tulemust maksimeerida kui löövad kaasa BIM juhendite loomises; olles samal ajal eeskujuks ning teadmiste

edastajaks; valides partnereid BIMi põhiste kogemustega/teadmistega; ja koolitades tervet võrgustikku, kes oma teenuseid pakuvad; ning muutes lepingutingimusi, mis seda kõike toetaks.

4.5.1. Standardite arendamine BIMi põhiste projektidele

Paljud organisatsioonid, ennekõike omanikud, kes ehitavad ning haldavad mitmeid erinevaid ehitisi, on loonud BIMi juhendeid (nt [Riigi Kinnisvara](#)). Välisriikidest võib leida mitmeid juhendeid, mida on ära kasutatud kohalike juhendite arendamiseks/loomiseks. Need on ka väga heaks infoallikateks, et õppida aru saama, mismoodi BIM võiks projekte paremini ellu viia aidata. Üldiselt kirjeldatakse neis:

- BIMi kasutamise eesmärgid ning selle joondumine organisatsiooni üldiste eesmärkidega;
- BIMi kasutamine ning selle ulatus üle erinevate projekti staadiumite (nt BIMi rakenduste nimekiri, mida saab kasutada energiaanalüüsiks või vastuolude kontrolliks);
- Standardite ulatus ning formaadid, mis seotud BIM-iga ning BIM info vahetuseks;
- BIMi protsessides osalevate inimeste rollid ning osalejate vahel üleantav info.

4.5.2. Ettevõtte sisese eestvedamise ning teadmiste tekitamine

Mitmetes BIMi kaasavates projektides on omaniku roll jagunenud suuresti kaheks: (1) omanik peab esmalt välja arendama ettevõtte sisese teadmise BIM tehnoloogiast; (2) ning omanik peab seejärel tagama juhtpersonalit, kes seda püüet hakkavad ellu viima. Tööprotsesse analüüsides jõutakse uute töövõtetenit (sh töövahendid) ning timmitud meetoditenit, mis aitavad ehitist efektiivsemalt ellu viia. See ei tähenda, et omanik peab alati omama ülevaadet, kuidas täpselt mõnda BIM rakendust kasutada. See võib toimuda läbi võimaluse loomise, kus omanik pakub välja projektikeskkonna, mis toetaks projektimeeskonna kaasatust läbi erinevate BIM rakenduste.

Omaniku poolt on oluline mõista, mida saab teha teistmoodi või mis eeliseid ta saab kui ta lähtub BIM põhimõtetest. Analüüsides 2D info piiratust ja kõrvutades BIM mudelite eeliseid ja võimalusi, on võimalik välja arendada sisemine teadmine ja selle baasil ka muuta senist arusaama. Ebaefektiivsete tegevuste mõistmine on siin märksõnaks, mis aitab alustada seniste tööprotsesside ümber vaatamist.

4.5.3. Teenusepakkuja valik

Ehitussektoris on protsesside standardiseerimine oluliselt keerukam kui seda on tööstusvaldkonnas, kus sisuliselt domineerivad kindlad ettevõtted ja juhivad muudatusi turul. Sektoris, kus pole selgelt liidrit, on raske juhinduda, mistõttu tihtipeale taandubki mittetegemine asjaolule, et *“Ka teised ei tee, miks peaksin mina”*. Väga tihti on omanik seotud ka vaid ühe projektiga, mistõttu on tal keerukas võtta liidri rolli. Samas on ka ühisjooni, mida omanikud jagavad – nimelt viis, kuidas valitakse teenusepakkujaid ning mis on projekti edastusmeetod. Omanikud saavad kaasata erinevaid meetodeid tagamaks, et teenusepakkuja, kes temaga hakkab töötama, on BIM-iga ning sellega seotud protsessidega kursis:

- **Tööoskuse nõuete korrigeerimine, mis sisaldaks ka BIM-põhiseid oskuseid ning teadmist** – omaniku vaatevinklist peab ta omama spetsialisti, kellel on 3D ning BIMi taust (nt *BIM Manager*), või seda teenust sisse ostma. Näiteks võivad siia alla kuuluda nõuded:
 - Vähemalt 3 aastat kogemust ärihoonete projekteerimises/ehitamises;
 - Kõrgharidus ehituse-, inseneeria või arhitektuuri valdkonnas; olemasolev portfoolio, mis tõestab ehitusinfomodelleerimise oskusteavet;
 - Tõendatud oskus kasutada vähemalt ühte BIMi rakendust ning võimekus erinevate ülevaate töövahenditest; ühe loetletud tarkvara vähemalt kesktaseme oskus: *Autodesk Revit, ArchiCAD, Tekla Structures, Navisworks, SketcUp* (või mõni muu, mida omaniku organisatsioon ise kasutab);

- Väga hea arusaam projekteerimise, dokumenteerimise ning ehitustegevuste protsessidest ning võimekust seda edastada ehitusplatsi töötajatele.
- **BIM-põhise eelkvalifitseerumise tingimuse lisamine** – hanketingimustes on kvalifitseerumise tingimusena üheselt ära märgitud 3D modelleerimise tehnoloogiate kasutamisoskus, kogemus.
- **Intervjuud/kohtumised võimalike teenusepakkujatega** – on selge, et mistahes teenusepakkuja võib täita vormi, kus talt nõutakse seda ja teist ja seda ka olukorras, kus tal tegelikult neid oskuseid ei ole. Omanik võib siinkohal võtta ka eesmärgiks, et ta külastab võimalike teenusepakkujate kontoreid, et näha nende töökeskkonda ning kasutatavaid töövahendeid/protseesse. Intervjueerimise käigus võidakse küsida järgmisi küsimusi:
 - Milliseid BIM tehnoloogiaid sinu organisatsioon täna kasutab ning kuidas sa tegid seda oma eelmises projektis (projektides)?
 - Millised teised ettevõtted sinuga koostöötasid, kui olid loomas/redigeerimas ning uuendamas ehitusmudelit? Näiteks kui seda küsimust küsida arhitekti käest, siis peaks järgnema lisaküsimus, kuidas konstruktor, ehitaja või eeltootmisettevõtte panustas mudelisse ning kuidas need erinevad osalised koos töötasid.
 - Milliseid õppetunde saadi ning mida täpsemalt mõõdeti projektide edukuse tähenduses läbi BIM mudeli ja töövahendite kaasamise? Kuidas olid need integreeritud sinu organisatsioonis? (see aitab aru saada ning veenduda, et ettevõttes on olemas meelsus õppimiseks ning muutusteks).
 - Mitu inimest sinu ettevõttes on sinapeal *BIM* töövahenditega ning kuidas sa neid harid/koolitad?
 - Kas sinu ettevõttes on olemas kindel roll (töökoht), kes vastutab BIMi eest tervikuna? (nt *BIM manager*, *BIM spetsialist*, *BIM guru*, *BIM administraator*, *VDC spetsialist*, *4D spetsialist* jt). See kindlustab pühendumise ning tunnustamise *BIM* kasutamise koha pealt ettevõttes.
 - Kuidas sa andsid üle *BIM* mudeleid ning kuidas saan mina seda infot, mida mul on vaja ehitise haldussüsteemis, üle kanda?

4.5.4. Kvalifitseeritud *BIM* teenusepakkujate võrgustiku loomine ning harimine

Omaniku üheks väljakutseks on kindlasti asjaolu, kuidas leida kvalifitseeritud teenusepakkujaid oma olemasolevat võrgustikust, kes on *BIM* tehnoloogiate kasutamises kogenud. See on viinud ennetavate tegevusteni, kus omanik koolitab võimalikke teenusepakkujaid (nii organisatsiooni siseseid kui väliseid) läbi erinevate koolituste, seminaride ning juhendmaterjalide. Laias laastus võib need jagada kolme alagruppi:

- **Ametlik koolitus** – koolitusprogrammid, mis räägivad lahti, kuidas omanik tööpakkujaid valib, millele hanketingimustes tähelepanu pöörata. Siia alla kuuluvad mitmed ettevõtted, kes on vastava valdkonna koolitusprogramme välja töötanud (sh koolituskeskused, kõrgkoolid, standardite eest vastutavad organisatsioonid ning ka riiklikud omanikud/tellijad).
- **Mitteametlik koolitus** – teadmiste/kogemuse jagamised, kus üks ettevõtte (nt omanik/tellija) koolitab oma partnereid.
- **Tarkvara spetsiifiline koolitus** – kaasab nii *BIM* põhimõtete kui parameetrilise modelleerimise aspekte kindla tarkvara näitel, et liikuda 2D-lt 3D-le. Paljudele teenusepakkujatele on see kulukas ettevõttmine, mistõttu võib kõne alla tulla fakt, et omanik/tellija teostab omavahenditest (võib kuuluda ka projekti eelarvesse, mida saab mõõta) teenusepakkujatele vajaliku koolituse.

4.5.5. Üleandmise nõuete muutmine: lepingute ning lepinguvormide redigeerimine

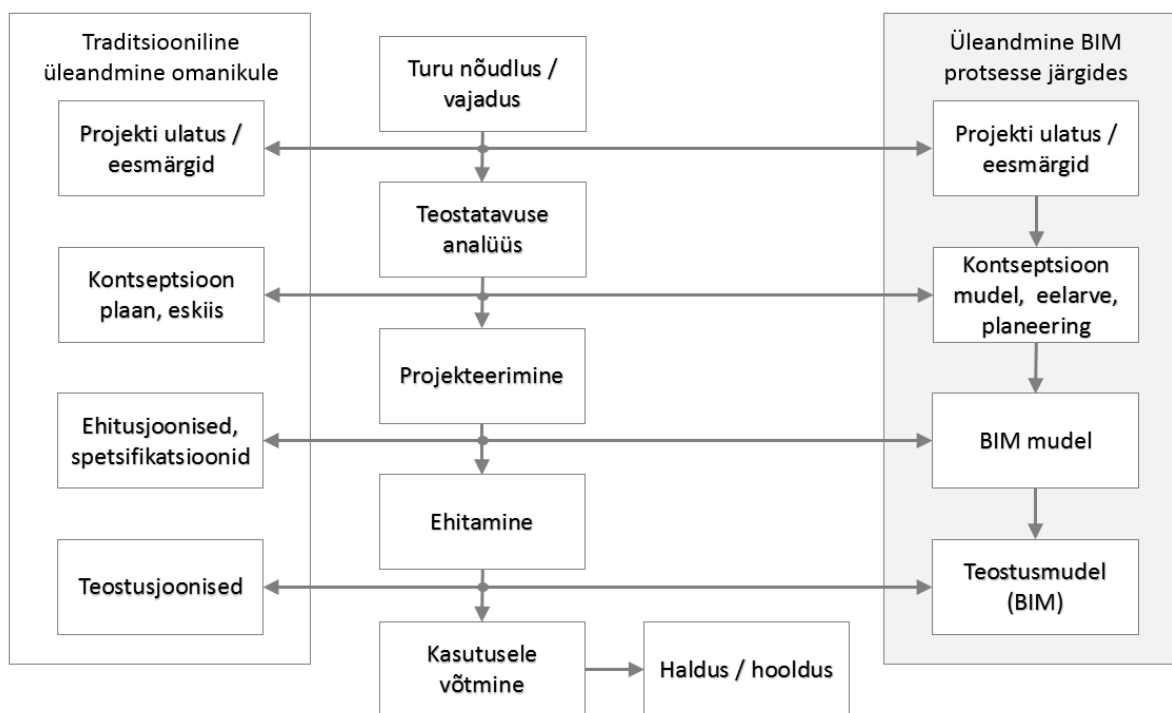
Omanik saab kontrollida, milliseid BIM rakendusi kaasatakse nende projektides läbi üleandmisnõuete defineerimise/täpsustamise. Üleandmisprotseduuride muutmine on tihtipeale keerukam kui nõuete muutmine. Paljud omanikud alustavad taotlusvormide ning lepingute muutmisega järgmistes alalõikudes:

- **Mudelpõhise info ulatus ning detailsus** – siin pannakse paika projekti dokumentatsiooni formaat ning sõnastatakse, et lähtutakse 3D digitaalsest mudelist (mitte 2D joonistest). Omanik võib määratleda lisanõuded, mida 3D formaat peab endas sisaldama ning mislaadi info peavad teenusepakkujad sinna kaasama. *Tabel 4.3* esitab info alaliigid, mida omanik peaks kaaluma *BIM* rakenduste tähenduses.
- **Mudelinfo kasutusvaldkonnad** – siin määratletakse täpsemalt teenused, mida *BIM* töövahenditega soovitakse teha nagu näiteks 3D koordineerimine, reaalaajas mudeli kontroll, maksumuse kalkulatsioonid, energiasimulatsioonid. Ehkki seda saab teha ka erinevate 2D/3D töövahenditega, pakub *BIM* siinkohal eeliseid. Näiteks on 3D koordineerimine *BIM*i üks kindel võimekus.
- **Mudelinfo organiseerimine** – palju omanikud ei pööra sellele tähelepanu, näiteks *CAD* põhistes süsteemide paneb struktuuri rangelt paika kihtide standardi järgimine. Seda sama peaks omanik defineerima ka *BIM*i juures, ehk paika panema informatsiooni jagamise põhimõtted/struktuuri. Näiteks võidakse esmalt lähtuda ehitise lõövist, ehitise plokist.

Neid nõudeid on aga tihtipeale raske järgida ilma, et ei modifitseeritaks tasustamise põhimõtet ning omavahelise koostööta projekti partnerite vahel või ilma stiimulit loova plaanita, mis defineerib tööprotsessi ning digitaalse edastuse valdkondade vahel. Seda ongi raskem defineerida olukorras, kus kasutatakse tööprotsessidel baseeruvat digitaalset mudelit ning mitte faile ja dokumente. Samas nõutakse 2D projekti dokumentatsiooni endiselt, mistõttu sellest ei saa veel loobuda. Sellest tulenevalt säilitavad paljud omanikud oma senise, traditsioonilise dokumentidel ning failidel baseeruva üleandmise (vt *joonis 4.5*) ning nad integreerivad digitaalse 3D edastusmeetodi sellesse täiendavalt. Seega töötab iga valdkond oma enda tööülesannete piires (ulatuses) ning *BIM* rakendustega ja edastavad 3D digitaalse mudeli kindlatele ajahetkedel. Selgemast selge on see, et see pole soovitud lähenemisviis olukorras, kus *BIM*i soovitakse rakendada maksimaalselt.

Tabel 4.3. BIMi rakendamise ala ning ehitise mudeli ulatuse ning detailsusastme vajadus.

BIM-i rakenduse ala	BIM ulatus								Komponentide omaduste tüübid				
	Eskiis			Põhiprojekt			Ehitus		Geomeetriselised	Materjal	Funktsioonilised	Maksumus	Ehitatavus (meetod)
Mahud	Ruumid	Ehitusplats	Arhitektuur	Konstruksioon	Tehnosüsteem	Kommunikatsioon	Eeltoodetud komponendid	Eriühendused					
Projekteerimine/ehitamine													
Mahuanalüüs													
Stsenaariumite analüüs													
Programmilised nõuded													
Ehitussuutlikkus													
Opereerimise simulatsioon													
Normidele vastavus													
Maksumus													
Koordineerimine													
Ajagraafik													
Eeltootmine													
Ehitusjärgsed tegevused / opereerimised													
Konfiguratsioon													
Vastuvõtt													
Ehitise haldus													
Finantsiline varade haldus													
Opereerimise simulatsioon													
Suutlikkuse analüüs													
Teostus													
Konfiguratsioon (renoveerimine)													



Joonis 4.5. Tüüpiline lepingu üleandmine (Design-Bid-Build) ning BIM põhine, koostööle rajatud üleandmine (nt IPD). Omanikud peavad muutma lepinguvorme, et BIMi saaks kasutusele võtta.

Modifitseeritud *Design-Build* edastusviis – omanik palkab projekteerija-ehitaja meeskonna ning seejärel osaleb allhankijate ning konsultantide valikuprotsessis. Peamine eesmärk sellistel puhkudel on panna paika projektmeeskond võimalikult vara ning rakendada neid protsessi kohe alguses.

- **Tulemuspõhised lepingud** – keskenduvad ennekõike tulemusele ning on tüüpiliselt kindlaks määratud tasustamissüsteemiga, milles teenusepakkujad teevad töövõttu lähtuvalt oma enda parimatest praktikatest. Sedalaadi lepingute juures on oluline, et omanik panustab projekti algjärgus mõnevõrra rohkem, et määrata ehitisele seatavad nõuded ning loob lepingud lähtuvalt sellest. Ehkki võib siin tekkida vastuolu varasemate soovitustega võib ka siin väita, et teenusepakkujad, kes kasutavad BIMi, on ka konkurentsivõimelisemad, mistõttu võivad ka nõuded olla BIM-il baseeruvad.
- **Jagatud motivatsioonipakett** – Tulemuspõhiseid lepinguid rakendatakse tihtipeale jagatud motivatsioonipaketi põhimõttel. Kui kõik projekti partnerid panustavad kõikides projekti staadiumites, siis ei toimu ka kaaspanustajate eraldumist. See on ka IPD põhiste projektide eesmärk. Seega võib omanik siin lähtuda jagatud motivatsioonipaketist, kus kokkuvõttes jagatakse ära projektis osalevate partnerite vahel. Seega on siin põhirõhk projekti kui terviku suutlikkusele ja mitte niivõrd üksikute osaliste suutlikkusele. Sedalaadi pakette ei ole lihtne koostada, kuid nende mõte seisneb, et tunnustatakse projekti meeskonda kui tervikut nende ühise saavutuse eest.

Need erinevad hankemeetodid ei käsitle situatsioone, kus omanik ise viib läbi kas siis kõiki või osalisi tegevusi projekteerimise või ehitamise tähenduses. Allhange on paljude omanike jaoks tavapärane. Rahvusvahelisel tasandil on siiski ka erandeid, kus siis omaniku organisatsioon omab ehitusjuhti, järelevaatajat. Sellistel puhkudel peab omanik esmalt kaardistama oma sisemise võimekuse ning tööprotsessid. Üleandmise tõrge võib tuleneda ka organisatsiooni sisesest suutmatusest, mistõttu on mudeli üleandmise nõuete defineerimine ka sisemiste gruppide vahel väga olulise tähtsusega kui mitte öelda kriitiline. Omanik peab tagama, et kõik osalised (siseringi ning välised) suudavad panustada ehitusmudeli loomisesse, redigeerimisse ning kontrollimisse. See võib kaasa tuua ka vajaduse, kus omanik peab tagama kindlate tarkvarade kasutuse või kindlustama kindlate formaatide kasutuse/edastuse.

Allhankimine kindlasti mõjutab BIM-iga saavutatavat efekti, mistõttu kui omanik otsustab ehitusinfomudeli tellida kolmandalt osaliselt, kes ei kuulu projekti sise- või välisringi, peaks selle allhanke tegema kogu mudelile tervikuna. Allhankimise tulemusel võib üsna tihti saada pooliku või ebakvaliteetse lahenduse. See on tingitud mitmest asjaolust. Esiteks, sise- ja välisringi osalised peavad ühel hetkel üle andma traditsioonilise dokumentatsiooni. Teiseks, peab allhankija kulutama olulist ajaressurssi, et mõista ning modelleerida eelnevat projekti, kuna ta on juba kaasatud järgmisesse projekti. Seetõttu pole tema fookus siis enam koostööle, mis väljendub ka selles, et tellija ning allhankija pigem püüavad lihvida puuduseid eemalt, reaalse kokkusaamiseta. Ning kolmandaks, allhankija tüüpiliselt ei oma kvalifitseeritud tööjõudu, kes hoomaks ehitamisega seotud nüansse. Seetõttu peab allhankimine olema kaalutletud ning teostatud väga suure tähelepanelikkusega.

4.6. BIMi rakendamise seotud takistused: riskid ning müüdid

Iga tööprotsessi muutmisega on seotud kindel risk. Realistlike ning tajutavate takistuste olemasolu BIM rakendamiseks projektides pole siinkohal erand. Need takistused jagunevad kahte suuremasse kategooriasse: (a) protsessipõhised takistused äritegevusele, kaasates nii õiguslikke kui organisatsiooniga seotud küsimusi; (b) ning tehnoloogilised takistused, mis ennekõike seotud valmisolekuga ning rakendussuutlikkusega.

4.6.1. Protsessiga seotud takistused

- **Turg pole selleks veel valmis - endiselt veel lapsekingades või testimises** – paljud omanikud usuvad, et kui nad muudavad lepinguvorme, mis kaasab ka uut moodi lähenemist (ehk üleandmist), ennekõike 3D või ehitusinfo mudelite tähenduses, ei suuda nad konkurentsivõimelist pakkumist saada, kuna piiravad pakkujate ringi ja seega tõstavad oluliselt ka projekti maksumust. Värskemad uuringud on toonud aga välja, et enamuse teenusepakkujad kasutavad BIM tehnoloogiaid oma projektides. Omaksvõtt mõistagi varieerub, - on neid kes kasutavad BIMi selleks, et selle baasil jooniseid luua ning on neid, kes osalevad täiemahulistes IPD hangetes. Kui BIMi kasutamine kasvab, siis leiavad ka omanikud rohkem teenusepakkujaid, kes on võimelised BIMi kasutama.
- **Projekt on juba finantseeringu saanud ning projekteerimine lõpetatud – BIM kasutamine ei ole enam otstarbekas** – kui projekt läheneb ehitusstaadiumile, siis on selge, et nii omanikud kui projekti meeskond on jäänud ilma BIM rakenduste eelistest nagu näiteks esialgne eelarvestamine ning vastavus programmiliselt. Samas on seal endiselt piisavalt aega ning võimalusi, et BIM kasutusele võtta projekti hilisemas staadiumis ning seega ka ehituse algetapis. Näiteks võidakse järelprojekteerimise käigus avastada ning kõrvaldada hulganisti kokkulangevusi, mis ehitamise käigus maksaks kätte ja kasvatakse projekti eelarvet olulisel määral. On selge, et kui seda oleks tehtud projekteerimise hankes, oleks need vead kõrvaldatud juba seal etapis.
- **Koolituskulu ning õpikõver on väga suuremahulised** – uute tehnoloogiate rakendamine nagu ka BIMi tehnoloogiate, on kulukas ennekõike koolituse ja tööprotsesside muutmise tähenduses. Üldjuhul on tarkvara/riistvara kulukuse määr väiksem kui seda on koolituskulu ning algse tootlikkuse vähenemine. Erinevad teenuspakkujad ei ole valmis sedalaadi kulutusi tegema, kui nad ei näe asju pikemaajalise kasuna/tootlikkuse kasvuna või omanik (tellija tähenduses) ei taga koolituskulude katmist. Rahvusvahelistest projektidest on näiteid, kus omanik maksab oma kulude ja kirjadega koolituskulu, kuna ta teab, et seeläbi saavutab ta projektile ekstra tootlikkuse, kvaliteedi kasvu ning info kättesaadavuse hilisemaks haldamiseks.
- **Kõik peavad kaasa tulema, et BIMist tegelikult kasu oleks** – üsna tihti on keerukas tagada, et kõik projekti partnerid omavad teadmist ning soovi osaleda ehitusinfo mudeli loomises või selle kasutamise protsessis. Samas on ka näiteid, kus ka otsese kaasatuseta saab BIMist kasu lõigata, siis üldjuhul toob see kaasa väljakutseid, kuidas saada kätte väärtuslikku informatsiooni nendelt, kes modelleerimise protsessis ei osale.
- **Õiguslike takistuste olemasolul on kulukas sellega tegeleda** – BIMi kasutamiseks on vajalik lepingu- ning õiguslike küsimuste lahendamine ja nende muutmine. Isegi projektinfo digitaalne edastus võib mõnel juhul olla juba probleeme tekitav, mistõttu jagatakse endiselt paberdokumentatsiooni, mis baseeruvad aegunud lepinguvormidel. Avalik sektor võib end leida isegi suuremate väljakutsete ees, kuna neil on väga range kohustus järgida teatud seaduseid/norme ning nende muutmine ei saa juhtuda üle öö. Sellest hoolimata on näiteid nii valitsusorganisatsioonide kui erasektori näitel, kus nendest takistustest on üle saadud ning töötatakse uute lepinguvormide suunal, mis ei määratle ainult viisi, kuidas informatsiooni vahetatakse projektimeeskonna liikmete vahel aga ka lahendab ka vastutusega ning riskiga seotud küsimusi. Peamine väljakutse on vastutuse ning riski jaotamine. BIMi rakendamine toob kaasa informatsiooni kättesaadavuse, mis omakorda on seotud projekteerijate võimaliku vastutuse suurenemisega. Juriidiliselt on siin võimalik näha takistusi ning riskiga seotud vastumeetmete rakendamise vajadust. See on vägagi oluline takistus, mis ei lakka niisama olemast ning sõltub organisatsioonidest, kes muudaksid standardseid lepinguvorme või omanikest, kes täpsustavad oma enda lepingu nõudeid.

- **Mudeliga seotud omandi ning haldamisega seotud küsimused on omanikule lihtsalt koormavad** – BIM eeldatavasti nõuab ülevaate omamist erinevatest organisatsioonidest ning projekti aspektidest. Ehitusjuht teostab üldjuhul järelevalvet projekti dokumentatsiooni teabeedastuse haldamises ning selle üle vaatamises. Samuti kontrollib ta protsessi, mis seotud kindlate üleandmistega ning vaheetappidega. BIMi kasutamisega ilmnevad probleemid üldjuhul märksa varem ja ka sagedamini, võimaldades projektimeeskondadel neid operatiivselt lahendada, kuid tihtipeale eeldab see ka omaniku sekkumist, mida tuleks vaadata kui privileegi ja mitte kui puudust. Üleandmise hooletus väheneb olulisel määral, nõudes tegeliku omaniku kaasatust. Protsess tervikuna on sujuvam ning vahetum. Omaniku poolsed nõuded/muudatused ei paista nüüd enam nii selgelt välja ning nende muudatuste mõju nõuab katkematut kaasatust projektis. Sedalaadi protsesside ning ka mudeli haldamine on seeläbi kriitilise tähtsusega projekti enda huvides. Omanikud peavad looma kindlad rollid ning vastutusosalad ühes meetoditega, kuidas seda edastada projekti meeskonnale ning viimaks tagama, et omaniku kohalolek on vajadusel alati saadaval.

4.6.2. Tehnoloogilised riskid ning takistused, rakendatav ühe valdkonna piires

On selge, esmalt hakkasid 3D mudelid tekkima kindlates valdkondades, kes nägid nende loomises eeliseid. Ka siis oli selge, et nende loomiseks on vaja esialgu panustada oluliselt rohkem. Mudelite integreerimine on seda enam pingutust eeldav. Tänapäevased BIM rakendused pakuvad aga integreerimise tähenduse palju rohkem võimalusi ja seda ka objekti tasandil. Kuna mudeli ulatus pidevalt kasvab ning ehituskomponentide arv samuti suureneb, siis kaasneb sellega ka suutlikkuse küsimuste/probleemide kasv. Seetõttu eelistavad paljud projekti meeskonnad kasutada mudeli kontrolltöövahendeid, et toetada integreerimisest tingitud vajadusi nagu koordineerimine, ajagraafiku simuleerimine ning opereerimise simulatsioon. BIM töövahendid suudavad väga edukalt kombineerida erinevaid valdkonnamudeleid, kuid kaasamaks ka tööjoonistega kaasnevat detailsust, eeldab töövahenditelt ja ka riistvaralt oluliselt suuremat võimekust. Seetõttu ongi oluline kaasata mudeli kontrolltöövahendeid, et saada parimat tulemust.

Isegi suurem takistus on seotud tööprotsessidega ning mudeli haldamisega. Integreerides mitme valdkonna mudeleid eeldab ka ligipääsude tekitamist ehitusinfomudeli vaatevinklist. See eeldab tehnilist teadmist; protokollide defineerimist, et tagada mudeli uuendamised ning redigeerimised; ning vajadust luua veebipõhine teenus, kus seda mudeli hoida ning ligipääsetavaks teha. Samas võimaldab see suurepäraselt võimalust uutele kasutajatele, kes saavad seeläbi õppida kogenumatelt.

Omanikud peavad läbi viima projektimeeskonna sisese auditi, et määratleda integreerimise ning analüüside suutlikkust, mis on nõutud ning mis hetkel olemas, ühes prioriteetide paika panemise. Täiemahuline integreerimine on võimalik, kuid eeldab kogemust, planeerimist ning õiget BIM töövahendite valikut.

- **Standardeid pole või pole need laialdast kasutust leidnud – seega peame ootama** – varasemalt on saanud käsitleda erinevaid standardeid nagu IFC, mis õhutavad koostööle ning võimaldavad BIMi laialdasemalt rakendada. Siin saab seetõttu peamiseks komistuskiviks kui hästi osatakse neid standardeid kasutada, mistõttu paljud eelistavad endiselt infovahetuseks kasutada nn tarkvara spetsiifilisi või kommertsformaate. Omanikule võib see tähendada lisariski lähimas või pikemas perspektiivis, kui ta investeerib kindlasse ehitusinfomudeli tehnoloogiasse. Samas ei ole see BIMi rakendamise tähenduses olnud takistavaks asjaoluks nagu tõestavad ka mitmed juhtumianalüüsid.

4.7. Juhendid ning küsimused omanikele, millega peab BIM kaasamisel arvestama

Lihtsalt BIMi kasutusele võtmine ei ole edukuse tagamise võti. BIM kaasab endas terve rea tehnoloogiaid ning arendatavaid tööprotsesse, mis peavad olema toetatud meeskonna, juhatuse ning koostööalt omaniku poolt. BIM ei asenda suurepärasest juhtimiskultuuri, head projektmeeskonda või lugupidavat töökultuuri. Järgnevalt toome välja mõned olulised võtmetegurid, millega omanik peab arvestama kui planeerib BIMi kasutuselevõttu.

- **Pilootprojekti läbi viimine väikese aja jooksul, vähendatud kui kvalifitseeritud meeskonna kaasatusel ning selge eesmärgiga** – esialgne püüe peaks kaasama sisemisi ressursse või usaldusväärseid teenusepakkujaid, kellega sinu organisatsioon on eelnevalt kokku puutunud. Mida rohkem teadmist on omanik võimeline kaasama BIMi rakendamise tähenduses, seda suurema tõenäosusega tema pingutused ka tulevikus end ära tasuvad, kuna omanik arendab välja põhioskused, mis aitavad tal määrata ning valida kvalifitseeritud teenusepakkujaid ning tagada koostööaltid meeskonnad.
- **Loo prototüüpimist imiteeriv läbimängimine** – pilootprojekti tehes on mõistlik teha seda ohutul, imiteerival viisil, et tagada töövahendite ning protsesside edukas rakendamine/kasutus. See võib väljenduda projekteerijale esitatava väikesemahulise ülesandega, kus peab rakendama kindlaid BIM töövahendeid. Näiteks võib omanik paluda projektmeeskonnal projekteerida konverentsi ruum 20-le inimesele, mis kaasaks ka kindlat eelarvet ning energiakasutust. Üleantav maht peab sisaldama ehitusinfomudelit (või mudeleid, et tagada mitut erinevat võimalust) ning vastavaid energia- ning maksumuse analüüse. Tegemist on projekteerimise ülesandega, mida peaks saama ellu viia paari päevaga. Arhitekt loob esmalt mudeli, jagab seda tehnosüsteemide projekteerijaga ning eelarvestjaga, et saada prototüübile tulemuslikud näitajad. See eeldab, et projektis osalejad töötavad välja võimalikud probleemsituatsioonid ning võimaldab omanikul välja käia juhendeid, mis laadi info ning esitlusviisid pakuvad selget, väärtuslikku ning vahetut tagasisidet.
- **Fookus kindlatel äriliste eesmärkidel** – ehkki oleme varasemalt rääkinud erinevatest eelistest, siis kõikide eeliste korraga tagamine/saamine on kindlasti raskendatud ja sõltub ka väga palju töövahenditest. Ei ole võimatu et iga erineva eesmärgi/eelise saavutamiseks ongi vaja kasutada erinevat BIM rakendust.
- **Möödikute loomine progressi hindamiseks** – möödikute kasutamine on uute protsesside ning tehnoloogiate kaasamisel väga olulised. Paljud varasemad projektid on täheldanud vähenevat ostutellimuste arvu või ajagraafikust kinnipidamist ja isegi selle vähenemist või siis näiteks ruutmeetri omahinna vähenemist. Mitmed organisatsioonid on just nende möödikute väljatöötamisele keskendunud nagu näiteks [Construction Users Roundtable](#) või siis artikkel *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions*, mis keskendub just nimelt kindlate meedikute esitamisele (Kunz and Fischer, 2007).
- **Osalemine BIMi saavutamises** – omaniku osalemine on projekti edukuse võti, kuna omanik on projekti meeskonna juhtimiseks parim valik, õhutades koostööd, et BIMi kasutamine oleks maksimaalne. On hulganisti näiteid, kus just omaniku kaasatus on mänginud eduka BIMi rakendamise juhtrolli. Erinevad BIMi rakendused, mis lubavad omanikul olla kaasatud mängivad samuti väga olulist rolli ning samal pakkudes võimalust anda kohest tagasisidet.

4.8. Küsimused aruteluks

1. Esita kolm hankemeetodit ning too välja mismoodi need toetavad BIM tehnoloogiate ning protsesside kasutamist.
2. Kujuta ette, et sa oled omanik, kes alustab projektiga, olles varasemalt osalenud erinevatel seminaridel, mis siis BIMi eelised on käsitletud. Milliseid probleeme tooksid sina ennekõike esile, kui peaksid otsustama, kas BIMi oma projekti toetama ning ka õhutama?
3. Kui omanik on otsustanud rakendada BIMi, siis mis tüüpi otsuseid on vaja, et tagada projekti meeskonna edukus BIMi kasutuses mistahes ehitise elukaare staadiumis?
4. BIM tehnoloogiate ning protsesside eeliseid arvesse võttes, mis on peamised erinevused omaniku juures, kes ehitab ning turustab võrrelduna omanikuga, kes ehitab ning haldab?
5. Kujuta ette, et sa oled omanik, kes loob hanketingimusi, mis kaasaks koostööle suunatud lähenemist läbi BIMi kasutuse. Millised peaksid olema mõned olulised tingimused, mis peaksid olema lepingusse kaasatud, et õhutada meeskonna vahelist koostööd, BIMi kasutust ning projekti üldist edukust?
6. Nimeta ning diskuteeri kolme erineva riskifaktoriga, mis BIM kasutamine võib endas kaasata ning kuidas neid ületada.
7. Nimeta kaks või rohkem protsessi või projekti faktorit, mis mõjutavad BIMi rakendamise edukust.
8. Kujuta ette, et sa oled omanik, kes ehitab oma esimest projekti ning planeerib seda omada ning hallata järgmised 15-20 aastat. Sa ei planeeri ehitada järgmist ehitist, mistõttu otsustad projekteerimise ning ehitamise tellida allhankena. Kas sa otsustaksid BIMi kasuks? Kui jah, siis nimeta kaks või kolm põhjust, mismoodi BIM saab olla sinu organisatsiooni jaoks kasulik, ning kirjelda, milliseid samme sa võtaks ette, et neid eeliseid saavutada. Kui sa leiad, et BIMi kasutamisest kasu pole, palun selgita.
9. Nimeta kolm üldist turu trendi, mis mõjutavad BIMi rakendamist ning kasutust ning kuidas *BIM* võimaldab omanikul reageerida nendele turu trendidele.

5. BIM projekteerijale

Ehitusinfomodelleerimist võib vaadelda kui ephihiloovat üleminekut projekteerimise praktikas. Kui CAD automatiseerib traditsioonilist joonestamise protseduuri, siis BIM on põhimõtteline muudatus. Osaliselt küll automatiseerides mudelitest ehitusjooniste loomist, on BIMi rõhuasetus suunatud juba eskiislahenduste täpsustamisele, mis läbi jagatakse ümber staadiumite põhised töömahud. Lisaks tagatakse lihtsam ühtlustus jooniste ning raportite vahel, automatiseerides ruumilist vastuolude kontrolli, pakkudes samal ajal võimalust läbi viia erinevaid analüüse, simulatsioone ning eelarvestamist aga ka laiendades suhtlus- ning visualiseerimise võimalusi üle kõikide projekti staadiumite. Selles peatükis vaatame lähemalt järgmisi BIMi aspekte:

- Eskiislahenduse modelleerimine määratleb projekti ruumilise mahu, milles BIM võimaldab keerukamaid ehitise mahtusid lihtsamini luua ning seeläbi pakub ka laiemaid võimalusi eskiislahenduse uurimiseks/hindamiseks.
- Inseneritehniliste lahenduste tugi. BIM toetab uuenduslikke informatsiooni tööprotsesse ning suudab neid paremini integreerida olemasolevate simulatsiooni ning analüüsi töövahenditega.
- Tööprojekti täpsusega modelleerimine kaasab nii sõlmede jooniseid, spetsifikatsioone kui ka eelarvestamist. See on BIMi põhitugevus. Selles staadiumis pannakse proovile koostööle suunatud projekteerimise-ehitamise protsess nagu *Design-Build* ning *Integrated Project Delivery* (IPD).

Lepinguvormid, mida sõlmitakse projekteerimise/ehitushangete juures, on muutumas. Seda just ennekõike uute lepinguvormide nagu *Design-Build* ning IPD võidukäigule, kus peamine rõhk on suhtlusele ja koostööle suunatud, mis kõik projekti kui tervikut mõjutab.

5.1. Sissejuhatus

Renessansi aja arhitekt *Leon Battista Alberti* eristas oma 1492. aastal ilmunud uurimuses (*De Re Aedificatoria*, 1492) arhitektuurset “disaini” “konstruktsioonist” nägemusega, et disaini olemus on mõtete väljendus paberilehtede näol. Tema eesmärk oli eristada disaini intellektuaalset väljendusvormi ehituskunstist. Enne Albertit, esimesel sajandil eKr, arutles *Vitruvius* samanimelises teoses (*Ten Books of Architecture*) plaanide, vaadete ning perspektiivide olulisust arhitektuuri kui disaini kujutamises. Läbi arhitektuuri ajaloo on joonis olnud domineeriv esitusviis ning paljuski iseenesest mõistetav. Veel alles hiljuti võib leida tänaste kirjanike poolt loodud kriitikat, mis analüüsivad erinevate arhitektide jooniste ning skitseeringute tagapõhjasid, et avardada oma mõttemaailma ning loovust (Robbins, 1994). Asja teeb huvitamaks fakt, et arvutid võeti omaks esmalt arhitektuuris just nimelt arvutijoonestustena (*CADD* ehk *computer-aided design and drafting*), kuid rõhuasetus ei olnud kerge muutuma.

Peaasjalikult just sellest ajaloolisest aspektist on ka ehitusinfo modelleerimine revolutsiooniline, kuna see asendab arhitektuurse joonise 3D virtuaalse ehitise mudeliga. See muudab lähenemisviisi, kuidas esitus luuakse, põhimõtteline muutus joonte põhistes mõttemaailmades. BIMi töövahendite tundma õppimine on vaid üks osa või siis esimene samm saamaks aimu, kuidas disainilahendusi luuakse, täiendatakse ning analüüsitakse. Need muudatused suunavad uuele mõttemallile, mil määral luuakse projekt projekteerija/arhitekti peas, mida siis näidatakse väljapoole; või lähtub see projekteerija ning välise osalise omavahelisest suhtlusest; või moodustub see jagatud projektdokumentatsiooni baasil, mis pakub kasulava erinevatele spetsialistide mõttemaailmadele – või hoopis kõiki kolme. Mõjukam on aga fakt, et ühes esitusviisi muutumisega, muutub ka senine intellektuaalne tööülesanne.

Esitusviisi muudatus on lõppude lõpuks vaid vahend lõpptulemuseni jõudmiseks, milleks antud juhul on arhitektuurse projekti kavandamine ning ellu viimine. Kas BIM aitab luua keskkonnasäästlikumat projektlahendit? Kas see aitab kaasata efektiivsemaid ehitusmeetodeid? Kas see toetab kõrgemat kvaliteediga projekti? Need on väärtust loovad küsimused, millele püüame siinkohal vastuse leida. Projekteerimine (projekt), ehkki seda pole sellisel viisil piisavalt õpetatud, on meeskonna töö, mis kaasab omanikku/tellijat, arhitekti, spetsialiste, eriala insenere ning erinevaid alltöövõtjaid. Projekti elluviimine kaasab tohutul hulgal koordineerimist ning koostööd.

Koordineerimine ning koostöö kaasab endas väga mitmel tasandil suhtlemist. Üheks tasandiks võib olla kommunikatsioon inimeste vahel, mis puudutab väärtuseid, kavatsust, konteksti ning protseduure. Teisel tasandil võidakse aga keskenduda hoopis erinevate töövahendite esitusstiilidele ning vajadusele vahetamiseks infot erinevate töövahendite vahel. Erinevad projekti meeskonna liikmed kasutavad erinevaid digitaaltehnoogiaid, et toetada oma ettevõtmist. BIM pakub eeliseid mõlemal tasandil. 3D mudelid, mis on BIMi loomulik osa, pakub paremat visiooni inimestele, kuidas miski ruumiliselt on lahendatud. Hilisem praktika viis selleni, et keeruka projekti 2D vaadete põhine esitus vajas ehitusplatsil läbiviidavat korrektoori, kuna need ei esitanud projekti piisaval määral. Need piirangud on virtuaalse 3D mudeli kasutamisel eemaldatud. Igaüks saab vaadata, kuidas tema panus asetub teiste konteksti. Andmevahetuse aspektist lähtuvalt, kuna ehitise mudelid on masinloetavad, saab seda infot teisendada, et teha seda kättesaadavaks erinevatel eesmärkidel, sh hilisemal ehitusprotsessil.

Need uued suhtlusviisid pakuvad uusi võimalusi projekteerijate loomingu parendamiseks. Senisest varasem analüüsivõimekus annab olulist täiendinfot projekti suutlikkusele. Varasem, mudelpõhine koordineeritavus erinevate alltöövõtjatega tagab parema koordineeritavuse hilisema ehitusprotsessiga.

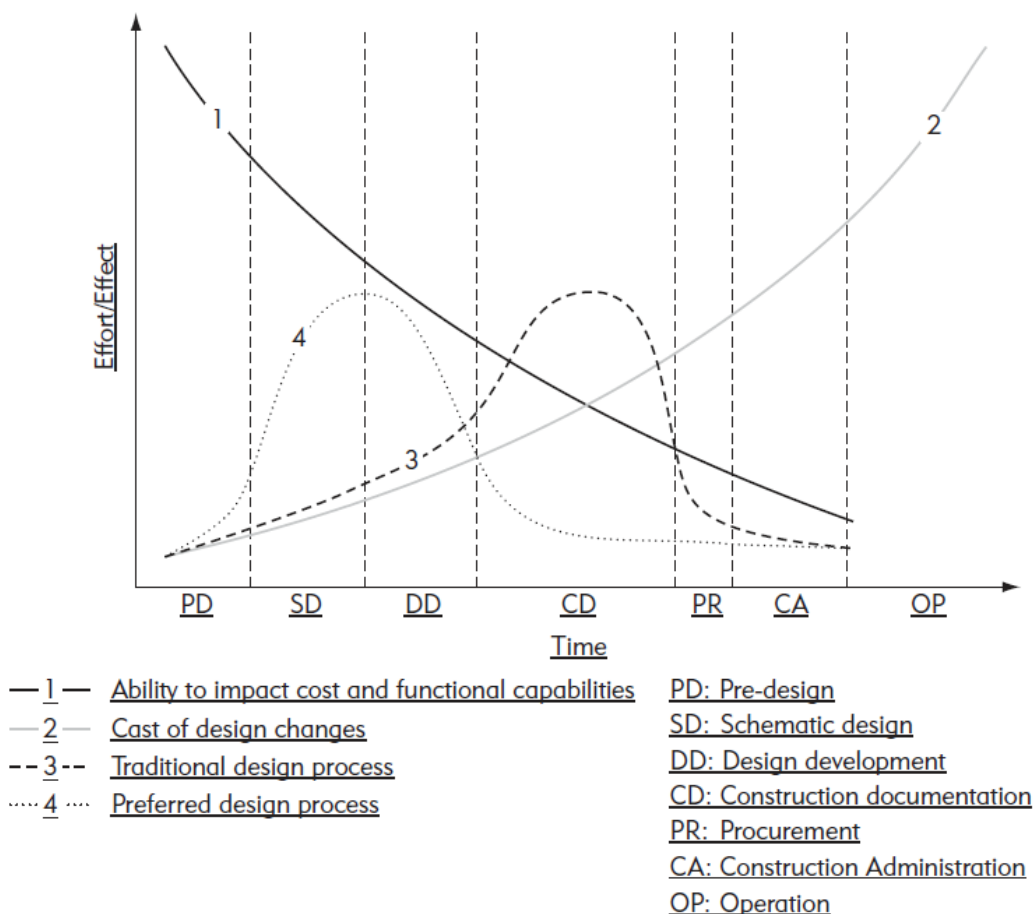
Tabel 5.1. Traditsiooniliste, arhitektuursete teenuste/staadiumite kirjeldused.

Teostatavus (planeering)	Mittespetsiifiline kvantitatiivne ning tekstiline projekti määratlus, et hinnata rahavoogusid, funktsioone ning tasuvust; seob ära vajaliku ruumi ning varustuse; paneb paika esmase eelarve; võib kattuda eskiisi etapiga; võib kattuda või areneda tootmise või majandusliku planeerimisega.
Eskiis (ingl <i>pre-design</i>)	Paneb paika ruumi ning selle funktsiooni, etappide ning võimalike laienduste vajaduse; ehitusplatsi ning asukohaga seotud eripärad; ehitisele seatavad normid ning tsoonide piirangud; võib sisaldada ka eelarve täpsustust lähtuvalt lisatud informatsioonist.
Eelprojekt (ingl <i>schematic design</i>)	Esmane projekt ühes ehitise plaanidega, mis esitlevad, kuidas eskiisi lahendatakse; mahumudel (ruumiline planeerimine) ning kontseptsiooni edasi andmine; võimalike materjalide kaasamine; ehitise (hoone) tehnosüsteemide määratlus.
Põhiprojekt (ingl <i>design development</i>)	Täpsed korruste plaanid ühes põhiliste konstruktsiooni elementidega (seinad, fassaadid, põrand ning kõik süsteemid: konstruktsioon, vundament, valgustus, elekter, küte-vent, vesi-kanal jne), milles märgitud ka üldomadused; materjalid ning viimistlus; ehitusplatsi äravoolusüsteemid, haljastus.

Tööprojekt (ingl <i>construction detailing</i>)	Täpsed lammutusplaanid; ehitusplatsi ettevalmistus; vertikaalplaneerimine; süsteemide ning materjalide määramine; komponentide täpsed suurused jmt.
Teostus	Koordineerimine, paigutuste kontroll, materjalide valik; muudatuste sisse viimine kui eeldatud tingimused ei vasta tegelikele või on põhjustatud muudest (sh projekteerimisega seotud) vigadest.

5.2. Projekteerimise ulatus

Projekteerimiseks nimetame tegevust, mille käigus defineeritakse projekti enamus informatsioonist. Tüüpiline tegevuste/teenuste kokkuvõtte traditsioonilise projekteerimisprotsessi käigust on esitatud *joonisel 5.1*. Konkurentsioõigus keelab näiteks AIA-l esitada standardset kulude struktuuri, kuid varasema traditsioonilise lepinguvormi tähenduses võib arhitektuurse projekti juures rääkida ligikaudu järgmistest staadiumipõhistest panustest: 15% - eelprojekt (ingl *schematic design*); 30% - põhiprojekt (ingl *design development* või *detail design*) ning 55% - tööjoonised ning projekti juhtimine (AIA 1994). Selline jagamine näitab kui suur panus läheb tegelikult tööjooniste loomisele.



Joonis 5.1. Panuse/väärtuse lisamise graafik staadiumite kaupa ühe muudatuste kulu võrreldes traditsioonilist projekti kulgu (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 198; pildi originaal Patrick MacLeamy, 2007).

Tänu põhiprojekti jooniste loomise automatiseerimisele võimaldab BIM oluliselt vähendada aega, mis kulub tööjooniste loomisele. *Joonis 5.1* esitab omavahel projektipanuse ning ajakulu, milles “*joon 3*” märgib traditsioonilist projekteerimisprotsessi ning kuidas seda saab muuta läbi BIMi (“*joon 4*”).

Viimane joon läheb märksa paremini kokku “*joon 1*”-ga, mis märgib otsuste väärtust projekteerimise ning ehitamise protsessile ühes “*joon-2*”-ga, mis näitab muudatuste kulu projekti elukaare vältel. Graafiku eesmärk on rõhutada, millist rolli mängivad varajased otsused terviklikule ehitusprojekti funktsionaalsusele, maksumusele ning eelistele. Sellest lähtuvalt on muutumas ka maksumuse struktuur, mida eelnevalt sai kirjeldatud, projektide juurest, mis uutest projekteerimismeetoditest on haaratud. Panuse jaotumise muutus mõjutab ka projekti edastusmeetodit ning lepingute sõlmimist.

5.2.1. Koostööl baseeruv projekti edastus

Traditsiooniline leping jaguneb üldjuhul kaheks eraldiseisvaks hankeks, mida siis ingl nimetatakse ka kui *design-bid-build* (projekteerimis- ja ehitushange). Sedalaadi projektid kaasavad esmalt projekteerimisetappi ning seejärel eraldi hanget ehitaja leidmiseks, mis üldjuhul saadakse madalaima hinna pakkumisest. Projekteerimisest lähtuvalt baseerub see *design-bid-build* hankeprotsess nüüdseks kahtluse alla seatud eeldustest:

- Ehitisi ehitatakse läbi standardsete meetodite, mis on üheselt mõistetavad nii arhitektidele kui ehitajatele. Ehitusmeetodeid saab täielikult ette prognoosida arhitektide ning inseneride pool, kes siis saavad optimeerida projektilahendust lähtuvalt maksumusest ning ehituse ajalisest mõõtmest (kestvusest).
- Ehitus baseerub enamasti juhtimistavadel, mida ei saa mõjutada projekti täpsustused.
- Ehituse vältelt tehtavad projekti muudatused on väga hästi defineeritud, üheselt mõistetavad ning mõõdetava mõjuga ehitusprotsessile.
- *Design-bid-build* ning madalaim pakkumine tagab projekti madalaima võimaliku kulu.

Sisemine vajadus liita arhitektuurne, inseneerial baseeruv projekt ehitusliku teadmisega lõplike jooniste loomise etapis on viinud pakutavate teenuste hägustumisele. Varasema praktika kohaselt on arhitekti joonised esitanud vaid “projekti kavandi” ning kõik detailid sh ehitamisega seotud üksikasjad lahendatakse omaette joonistega, mida võib siinkohal nimetada ka kui ehituse koordineerimise dokumentatsiooniks (nt haldamaks tehnosüsteemide koordineeritust) ning koostejooniste loomiseks (eeltootmise tarvis). See “projekti kavand” eksisteerib, et isoleerida arhitektide ning inseneride intellektuaalne panus tootjatest/ehitajatest ja seega vabastada projekteerijad ühtlaselt ka vastutusest projekti koordineerimise ning muude ette tulevate probleemide tähenduses.

Selline eraldamine ning liigne protsess on aga ebaefektiivne nii aja kui finantside mõttes. See on ka väga tihti viinud ehitusprojektide kohtuvaidlusteni. Võimaliku kohtuvaidluse tõttu on pannud arhitekke hoidma infot, mis on väga oluline ehitajale, endale ning seetõttu vähendanud automaatselt ka suhtlust ning koostööd, kuna kinni hoitav info pole arhitekti vastutusallas. Samuti tähendab see seda, et ehitajate kasum sõltub projektis olevatest projekti ning dokumenteerimise vigadest, mille baasil on vaja teha tellimuste muudatusi (ingl *cost of change order*). Kokkuvõttes on protsessid häiritud tähenduses, et omaniku/tellijaja huvid põled kaetud ning ei tagata projekti edukust.

Design-build leping liidab omaniku/tellijaja ning ühe kindla, projekti elluviimise konsortsiumi, mis siis katab nii projekteerimise kui ehitamise. Selle lähenemisviisi negatiivne külg on asjaolu, et arhitektuuribüroo oma väiksema tähendusega jääb projektis tahaplaanile, sest projekti juhib ja korraldab suuresti ehitaja. Selle näitena on suurkorporatsioonid, kus on siis nii projekteerimise- kui ehitusosakonnad (välisriikide näitel: *AECOM*, *URS*, *HDR*, *Gensler* ning *HOK*). Üheks sellise arengusuuna põhjuseks on asjaolu, et soovitakse lahendada esilekerkimise piirangut ning kaasata võimalust juhtida integreeritud projekte.

Integreeritud projekti edastus (ingl *integrated project delivery* ehk IPD) on uus lepingu vorm, mis eristub selgelt *design-bid-build* ning *design-build* valikutest. IPD projekti juures moodustavad omanik, projekteerija, peatöövõtja (ehitaja) ja eeltootjad ühise, koostööl baseeruva konsortsiumi. IPD üks

olulisemaid eesmärke on luua ühtne meeskond, milles on defineeritud ühised ning vastastikused ärihuid ning tehnilises ning sotsiaalses tähenduses omavaheline suhtlus ning koostöö. IPD juures on samuti oluline määratlus, kuidas asetuvad riskid, ajakulu ning finantsid. IPD juures on arhitektid ning insenerid täieõiguslikud partnerid, olles vastutavad projektis nii kulutuste kui eeliste saamise tähenduses. See on väga oluline muudatus, kuna eeldatavasti pakub võimalust, et paremast lahendist (nt ehitise funktsioneerimise või ehitusprotsessi tähenduses) saavad kasu kõik osalised (sh projekteerijad). Juhul kui näiteks projekt valmib enne tähtaega või väiksema kuluga, siis saavad ka projekteerijad kasu kogu meeskonna kokku töötamisest. Need ehituslikud tootlikkuse näitajad võimaldavad mõõta ka teisi projektiga seotud suutlikkuse näitajaid nagu energiakasutus, organisatoorne tulemuslikkus ehitise kasutamises ning keskkonnasäästlikus. See aitab tulevikuperspektiivi silmas pidades arendada välja paremaid projektlahendusi (teenuseid).

Koostööle suunatud ühtne lepinguvorm muudab oluliselt seniseid harjumusi/praktikaid, sealhulgas projekti edastusmeetodit, partnerite rolle ning mõistagi mõjutab arhitektuuri vägagi olulisel määral. Samas ei kao projekteerimisteenus kui selline, vaid saab projekti kui tervikusse paremini liigendatud.

5.2.2. Informatsiooni loomise kontseptsioon

Ehitusprojektid algavad informatsiooni lisamisega selle erinevatel tasemetel, sh ehitise funktsiooni, stiili ning ehitusmeetodi defineerimine. Informatsiooni lisamise tähenduses on mõnevõrra madalamal tasemel erinevad, n-ö laahoone tüüpi projektid või siis sõidutee äärsed ning kindlat teenust pakkuvad ehitised, milles on kindlaks määratud funktsionaalsed omadused, kuid ehitise iseloom on vägagi fikseeritud. Tihtipeale on sedalaadi ehitised eelprojekteeritud lahendusi kaasavad ning mõningad muudatused tuleb viia sisse asukoha eripärasid arvesse võtmiseks. Selle baasil on tegelikult info loomise vajadus minimaalne ning tellija teab täpselt, mida ta saab. Eeldatav väljund on selgesõnaliselt kirjeldatud, sh projekti eripära, ehitusmeetodid ning keskkonnaga seotud suutlikkuse analüüsid.

Info lisamise teises servas asuvad aga kõrgemat järku infovajadusega projektid, milles tellijad on huvitatud arendada välja uusi sotsiaalseid funktsioone kaasavaid ehitisi või mõelda ümber olemasolevaid funktsioone, näiteks lennujaama ühendamine meresadamaga või hoopis merealune hotell, veealune "hõljuv" tunnel jne. Infomahtu mõjutavad ka tellija ning projekteerija vahel sõlmitud kokkulepped, kus püütakse kasutada mitte-standardseid materjale, konstruktsiooni lahendusi või keskkonnajäreldust silmas pidades.

Võib öelda, et enamus ehitistest on siiski funktsionaalsed ning need katavad stiililiselt üldmõistetavaid sotsiaalseid funktsioone vaid teatud üksikute erisustega. Ehituse poolt vaadates, kaasatakse enamike ehitiste teostamiseks traditsioonilisi praktikaid vaid mõningaste innovaatiliste lähenemiste nii materjali kasutuse, eeltootmise kui ehitusplatsil või sellest väljaspool toimivate koostetega. Mistõttu on enamik projekti justkui tüüpprojektid, milles uue info arendus on piiratud ja tihtipeale seotud ehitusplatsi/asukoha eritingimustega. Omanikud/tellijad on hakanud aru saama info vajadusest ja selle arendamisest projektis kaasamiseks erinevaid projekteerimise teenuseid. Projektides, milles on funktsioonide ning ehitamise tarvis info väga hästi kirjeldatud võib projekti algstaadium olulisel määral lüheneda või hoopis ära jätta ning seega põhifookus saab olema projekti edasiarendamisel põhiprojekti ning tööprojekti staadiumis. Samas võib teostatavuse analüüs, eskiis ning eelprojekt olla kriitilise tähtsusega, milles ühtlasi määratletakse peamised kulud ning funktsionaalsed eelised. Informatsiooni arendamise erinevad tasemed on seega seotud erinevate kulutuste tasemetega.

Projekteerimise ulatus informatsiooni arendamise seisukohast võib olla lihtne või kõike haarav, sõltuvalt tellija vajadustest ning kavatsustest selle infoga midagi peale hakata. Traditsiooniliselt on info ulatuse arendamine olnud lepingutest järelduv, mis siis määravad arhitektuurse projekti ulatuse. Kuna mõned sellekohased teenused viiakse läbi peaprojekterija poolt, siis tihtipeale on need jagatud

välise konsultantide vahel. Konsultantide arv sõltub projekti mahukusest. Võimalikud, projekteerimisega seotud tehnilised teenused saab kokku võtta alljärgneva nimekirjaga:

- Finantsilised ning rahavoogudega seotud analüüsid.
- Põhifunktsioonidega seotud analüüsid (sh haiglate, hooldemajade, lennujaamade, restoranide, parkimismajade jne teenused).
- Maa-ala planeering, sh parkimine, äravoolusüsteemid, sõiduteed.
- Ehitise (hoone) süsteemide projekteerimine ning analüüs/simulatsioon, sh:
 - Konstruktsioon
 - Küte- ja ventsüsteemid
 - Evakuatsioonisüsteemid
 - Valgustus
 - Heliisolatsioon
 - Klassfassaadide süsteemid
 - Energia taaskasutus ning õhukvaliteet
 - Vertikaalne ning horisontaalne õhuringlus
 - Turvasüsteemid
- Eelarvestus.
- Juurdepääsu hinnang.
- Haljastus.
- Ehitise välikoristus, hooldus.
- Välisvalgustus ning liikluskorraldus.

Sellest ülevaatest selgub, et ehitise projekt on laiapõhjaline ning koostööle suunatud ettevõtmine, mis kaasab erinevat laadi probleemide lahendamist läbi tehniliste täpsustuste ning kogemuse kaasamise. Just selle laiapõhjalisuses peabki *BIM* tööle hakkama, toetades ühtlasi koostööd inimese ning sotsiaalsel tasandil aga ka arvutuslikul ning mudelil baseerual tasandil. Panustajate mitmekesisusest lähtuvalt on BIMi edukaks rakendamiseks vajalik kõikide osaliste kaasatus uute meetodite kasutusele võtuks. Päeva lõpuks peavad ühel hetkel nagunii kõik harjuma selle uue ärimudeliga; sellest saab lihtsalt uus standard.

5.3. BIMi kasutus projekteerimisprotsessides

Varasemalt käsitletud kaks tehnoloogilist alustala ehitusinfo modelleerimises – parameetiline modelleerimine ning koostalitus – koos üha kasvava BIM töövahendite valikuga, pakub väga mitmeid protsesside parendamise võimalusi kui võrrelda traditsiooniliste meetoditega. Need eelised on mistahes projekti staadiumis. Vaatame lähemalt kolme erinevat vaatenurka:

- **Kontseptsiooni loomine** – *joonis 5.1* pööras selle staadiumi olulisusele erilist tähelepanu. Kontseptsiooni loomine paneb paika projekteerimise baasraamistiku, mida edasistest etappides arendama asutakse. Tegemist on kõige loovamat lähenemist võimaldava etapiga. See kaasab kõik projekti erinevad aspektid lähtuvalt selle funktsioonist, maksumusest, ehitusmeetoditest ning materjalidest, keskkonnamõjust, ehitustavast, kultuurilistest ning esteetilisest valikutest. See eeldab ning võtab arvesse kogu projektmeeskonna teadmiste pagasit.
- **BIM projekteerimises ning analüüside loomises** – analüüsides võime mõelda mingi füüsilise suuruse hinnanguna, mida konkreetne ehitise opereerimine välja ehitatuna kaasa toob või tagab. Siia alla kuuluvad nii struktuuriline terviklikkus, temperatuuri kontroll, ventilatsioon ning õhuvahetus, valgustus, akustika, energia jaotus ning selle tarbimine, veetarbimine ning jäätmete korraldus, mis kõik sõltub muutuvast kasutusest või välisest

koormusest. Neid analüüse viivad läbi projektmeeskonna spetsialistid, milles kasutatakse ehitise projekti mudelit ühes tehnilise info kirjeldustega. See vaatenurk eeldab erinevate osaliste koostööd kontseptsiooni väljatöötamise lõppjärgust kuni töömudeli täpsusega infomudeli loomiseni. Varajases staadiumis võidakse samuti läbi viia erinevaid analüüse, kuid neis ei sõltuta niivõrd projektist enesest, vaid mingist uuest lahendusest, mida soovitakse testida, et tagada projekti suutlikkuse nõuded.

- **Ehituseks vajaliku info loomine** – ehitusinfo modelleerimise tarkvarad sisaldavad eelkirjeldatud reeglistikke, mida saab kasutada standardsete või siis eeldefineeritud tööjooniste loomiseks. See võimaldab protsesse tervikuna kiirendada ühes kvaliteedi kasvuga. Konstruktsioonide modelleerimine on BIM töövahendite peamine tugevus. Selles staadiumis vajatakse ennekõike just tööjooniseid. Kuid see on muutumas. Me oleme liikumas suunas, kus ehitise mudel ise täidab tööjooniste mõõdet ja seda ka õiguslikust aspektist. See vaatenurk integreerib omavahel projekteerimise ning ehitamise. Teisisõnu lähtutakse omavahel integreeruvast *design-build* protsessidest tavapärasest ehitamise protsessis, mis tagab kiirema, efektiivsema ehitise ehitamise peale selle projekteerimisetapi lõppemist või samaaegset elluviimist. Selles staadiumis lahendatakse ka eeltootmise tarvis vajalik modelleerimise ulatus. Samas ambitsioonikamas tähenduses võib selles vaatenurgas töötada ka välja mittestandardseid tootmise protseduure, milles on kaasatud hoolikalt ette valmistatud tööprojekti mudeleid, mida tootedisainis kutsutakse ka kui *design for fabrication* või siis tootmispõhine projekt.

Järgnevalt vaatame neid vaatenurkasid lähemalt.

5.3.1. BIMi põhine kontseptsioonide loomine

Kontseptsiooni loomine tähendab tavaliselt ehitise ruumprogrammi arendust ning täpsustamist – projekti määratlust lähtuvalt selle ruumivajadusest, funktsioonidest, ehitusmeetoditest ning selle põhilistest hinnangutest funktsioonilises ning majanduslikus tähenduses. Mõnel juhul on arhitektid kaasatud ehitise programmi arendamisesse, kuid tihtipeale on neile edastatud juba esialgne variant, mis vajab täiustamist. Peale ehitise ruumprogrammi täiustamist, luuakse ehitise üldine eskiismudel, mis paneb paika projekti baaskonfiguratsiooni (põrandaplaanid, mahuline ning üldine välimus, ehitise paigutuse määramine, orientatsioon krundil, konstruktsioon, ehitise sisene keskkonnapõhine väärtus/kvaliteet ning kuidas ehitise täidab ruumiprogrammi arvestades selle sotsiaalset, naabruskonna ning krundi konteksti).

Need esmased programmilised otsused ning kontseptsioon määravad ülitähtsa osa kogu projektist, mida sai esitada ka *joonisega 5.1*. See paneb suuresti paika maksumuse, kasutuse, ehituse keerukuse, valmimisaja ning muud kriitilised aspektid. Neid saab tänasel päeval nimetada kui fundamentaalseteks ning esitavad otsese väljakutse klassikalisele (või senisele) protsessile, mida eskiisi etapis kaasati.

Eskiismudel on varasemalt suuresti põhinenud arhitekti kogemusel, teadmisel – kaasates ühtlasi ka tema intuitsiooni, ning teiste projektmeeskonna liikmete tagasisidet. Sellel tasemel, kus tuleb luua ning hinnata erinevaid alternatiive, on need hinnangud enamjaolt tehtud intuitsiooni kaasates, alates eelneva variandi ebasobivaks kuulutamisest. Mõtlemisprotsess kui selline on analoogial baseeruv ning lähtub otsesest vajadusest. Kiireloomuline analüüs ning töövahendile seatavad madalad tunnetuslikud nõuded, on pliatsit (ning teised paberile markeerimist võimaldavad töövahendid) hoidnud domineeriva eskiisi loomise töövahendina. Vabakäeline visand on olnud peamiseks dokumentatsiooniks kommunikatsiooni talletamiseks. Niisamuti on mõned arhitektid valmis argumenteerima, et BIM ei toeta eskiislahenduste loomist, just selle keerukuse ning tunnetusliku eripära tõttu. Ehkki osaliselt võib sellega nõustuda vaatepunktist, et enamus tänaseid BIM rakendusi

vajavad üksjagu õppimist (pikk õpikõver), eeldavad standardite põhiste tegutsemist ning eeldavad objektide vaheliste seoste arvesse võtmist. See kõik aga lõhub justkui loovat lähenemist.

Lihtsasti kasutatavad töövahendid nagu *SketchUp*, *Rhino*, *form•Z jr* (varasemalt tuntud ka kui *bonzai3d*), *FormIt* on aga kasutust leidnud just nimelt eskiiside väljatöötamises. Nende töövahendite peamine fookus on kiirel 3D skitseeringul ning mahtude loomises. Need aitavad õhutada diskussiooni projekti meeskonna erinevate liikmete vahel. Nendes töövahenditest ei töötata ehituskomponentidega, mistõttu puudub neis tarkvarades ka objektipõhised seosed, ja seega geomeetriaga teostatavad muudatused rakenduvad kõikidele kujunditele ühtmoodi, mis vähendab oluliselt kasutamise keerukust. Mõned tarkvarad piiravad pindade loomist *NURBS (non-uniform rational b-splines)* tähenduses, mille abil on võimalik esitada väga paljusid erinevaid pindasid, sealhulgas lihtsat tasapinnalist või siis jällegi sfäärilist. Nendes töövahendites on siiski võimalik kaasata ka teatavas matus keerukust, et saada vahetumat tagasisidet visuaalse esituse kaudu. Regulaarsel kasutamisel võivad sedalaadi töövahendid saada justkui “nähtamatuks” projekteerija mõtteprotsessi osaks. Ehkki algupäraselt ei täitnud need töövahendid kõiki ootuseid eskiislahenduste välja töötamiseks, on see tänasel päeval muutumas. Üha uued versioonid täiendavad võimalusi või töövahendite valikut.

Samas on töövahendeid, mis toetavad eskiisi loomist lähtuvalt kindlast valdkonnast või vajadusest. Näiteks ruumiline planeerimine või energiakasutus või finantsiline otstarbekus. *BIM* platvormide tootjad on näinud oma töövahendite piiratust ning hakanud lisama oma toodetesse eskiismudelite spetsiifikast lähtuvaid töövahendeid/võimalusi. Vaatame mõnda toodet neist lähemalt.

3D skitseerimise töövahendid

Siinkohal vaatame lähemalt eelnevalt nimetatud skitseerimise töövahendeid, pöörates samal ajal rõhku nendega saavutatavatele tööprotsessidele, mis toetavad *BIMi* põhiste lähenemist, funktsionaalsust.

- **SketchUp** – on üks arhitektide lemmik skitseerimise töövahendeid. Alguse saanud 1999 kui *startup*, 2006 *Google* omanduses ning alates 2012 *Trimble Inc.* portfoolios. Esmalt keskendus just pindade modelleerimisele ülimalt lihtsa kasutajaliidesega. Tänapäeval eksisteerib 2 versiooni. Üks tasuta, ning teine, *SketchUp Pro* on tasuline. Positiivse küljena saab välja tuua, et see töötab nii *Windows* kui *macOS* platvormil ning sellest on ka veebipõhine (või brauseris töötav) versioon. Üks põhilisi eeliseid, miks *SketchUp*-i kasutada on selle võimekus defineerida 3D joon ja selle baasil luua koheselt ka pinnaobjekt mis joondub ruumi teiste punktide järgi, võimaldades ühtlasi ka lihtsat redigeerimist. *SketchUp*-i toetab laiapõhjaline, veebipõhine komponentide raamatukogu *3D Warehouse*. *SketchUp* kaasab endas ka *SketchUp Ruby API*, *SketchUp SDK* tuge, et tarkvara funktsionaalsust veelgi laiendada. Tänu sellele on paljud teised tarkvara tootjad pakkunud laiendusi, mis keskenduvad mudelpõhiste analüüside läbiviimiseks (nt *IESVE* või *Sefaira*). Vabavaralistest võib välja tuua *OpenStudio*, mis võimaldab läbi viia energiasimulatsioone *EnergyPlus* ning päevavalguse analüüsi *Radiance* koodi kasutades. *SketchUp* toetab ka renderduspluginaid nagu *V-Ray* ning *Maxwell*. *SketchUp* peamiseks miinuseks saab aga tuua asjaolu, et sellest väljapoole minnes ei ole just palju võimalusi. Tõsi, mudelit saab importida enamlevinud *BIM* tarkvaradesse (sh vahetada infot IFC formaadis), kuid tänapäeval on selle intelligentsus selles piiratud ning tihtipeale eeldab mudeli (mahumudeli tähenduses) uuesti loomist, et seda saaks kiiremini tõlkida komponentpõhiseks mudeliks.
- **Rhino** – on populaarne *NURBS* põhine modelleerimise pakett. *Rhino* leiab tänapäeval kasutust nii arhitektide, tööstusdisainerite, animaatorite, tootedisainerite jne poolt. Ehk siis

tegemist on võimeka 3D modelleerimise paketi *Rhino* võimekus seisneb eriliigiliste objekti tüüpide (nt *solid*, *surface*) kombineerimises ning ühe teiseks tõlkimises (nt *surface* > *mesh*). i toetab kasutajapõhist funktsionaalsuse täiendamist (erinevad skriptimiskeeled nagu *RhinoScript*, *Rhino.Python* jt) ning parameetrist modelleerimist läbi *Grasshopper* plugina. *Rhino* toetab mitmeid renderduspluginaid nagu *V-Ray* ning *Maxwell*. *Rhino*-le on saadaval erinevaid pluginaid, mis selle põhifunktsionaalsuseid veelgi avardavad, näiteks IFC import/eksport (pluginade keskkond: *food4Rhino*).

- **form•Z jr** – on NURBS põhine skitseerimise töövahend, mille arendajaks on *AutoDesSys*, kellelt siis ka saadaval märksa laiemate võimalustega 3D modelleerimis pakett *form•Z pro* või siis kärbitud versioon *form•Z free*. Tegemist on ennekõike *solid* komponentidel baseeruva modelleerimise töövahendiga, mis omab väga lihtsaid redigeerimise võimalusi sarnaselt *SketchUp*-ile. Kuna tegemist on NURBS pindadel baseeruva paketi, siis on mõistagi sarnasusi ka *Rhino*-ga. Arhitektil silmas pidades on saadaval ka mõned arhitektuurised, parameetrised komponendid (trepid, aknad, ukseid, katused). Toetab *RenderZone* pluginat ning mõistagi saab kasutada ka *V-Ray* või *Maxwell* pluginaid.
- **FormIt** – *Autodesk*-i poolt arendatud ning algselt vaid veebipõhise versioonina esitletud *SketchUp*-laadne skitseerimise pakett/teenus. Algselt vaid (2012) *iPad* äpina ilmavalgust näinud tarkvara on nüüdseks saanud nii veebipõhise kui ka allalaaditava versiooni (tasuline). Tasulises versioonis (*FormIt Pro*) on olemas ka integreeritud analüüside tugi (energiasimulatsioon, valgustuse analüüs). Üheks tugevamaks küljeks kui võrrelda teiste konkurentidega on asjaolu, et *FormIt* on väga hästi integreeritud *Autodesk Revit* tarkvaraga, seetõttu luues kõik eelduseks sujuvamaks BIM protsessiks. Ehkki vabavaraline versioon ajab teatud juhtudel asja ära, siis tasuline versioon lisab lisaks integreeritud analüüsidele ka koostöötamise võimaluse, ligipääsu *Autodesk* –i veebipõhisele materjalide andmebaasile (*Material Library*) ning parameetrisel skripti loomise ning taasesituse *Dynamo Studio* vahendusel. Kui soovida *FormIt* mudelit *Autodesk Revit*-isse importida, siis luuakse automaatselt *Revit Mass* elemendid, mida saab lihtsasti teisendada seinteks, põrandateks, korruse tasapindadeks, katusteks, klaasfassaadideks. Samuti saab *FormIt* tarkvarasse võtta sisse *Autodesk Revit* perekondasid (*family*). Mudel luuakse üldjuhul reaalkoordinaadis ning sellele saab alla võtta asukohapõhise aerofoto. *FormIt* mudelitest luuakse automaatselt ka *Autodesk Revit *.rvt* failid.

BIM rakendustes skitseerimine

BIM rakenduste tajutavaid piiranguid on ajajooksul tähele pandud ka nende arendajate poolt. Paljud neist on lisanud üldised, “massi-“ või siis proksi elemendil baseeruvad objektid ning loomise/redigeerimise töövahendid. Neid saab parametrizeerida, et luua lihtsamini redigeeritavaid alamkomponente. Loodud projekti saab kaasata erinevatesse analüüsidesse (sh energiasimulatsioonid, valguse/varju analüüsid jne). Näiteks *gbXML* tugi (olemas nii *Autodesk Revit*, *ArchiCAD* ning *Bentley AECOSim* platvormil), et vahetada infot erinevate energiasimulatsiooni võimaldavate pakettidega.

Skitseerimine funktsiooni-spetsiifilistes rakendustes

Mõned varasemad projekteerimise töövahendid keskendusid kindlate funktsioonidega seotud tööprotsessidele. Näiteks *Trelligence* pakub ruumi planeerimise töövahendeid, milles põhirõhk ruumiprogrammi loomisel lähtuvalt seatud eesmärkidele. Toetatud on nii *Autodesk Revit*, *ArchiCAD*, *AECOSim*, *SketchUp*, *IESVE* ning *ARCHIBUS* platvormid. Analoogsed töövahendid on olemas ka BIM rakendustes enestes (nt *Autodesk Revit*-is). *IESVE* pakub ka ise modelleerimise võimalust, et seejärel läbi viia energiasimulatsioone, päikese kiirguse analüüsi, valgustuse analüüsi – kõike, mis oluline tegelikult eskiismudelite loomise tasandil. Funktsiooni-spetsiifiliste tarkvara miinuseks saab ennekõike

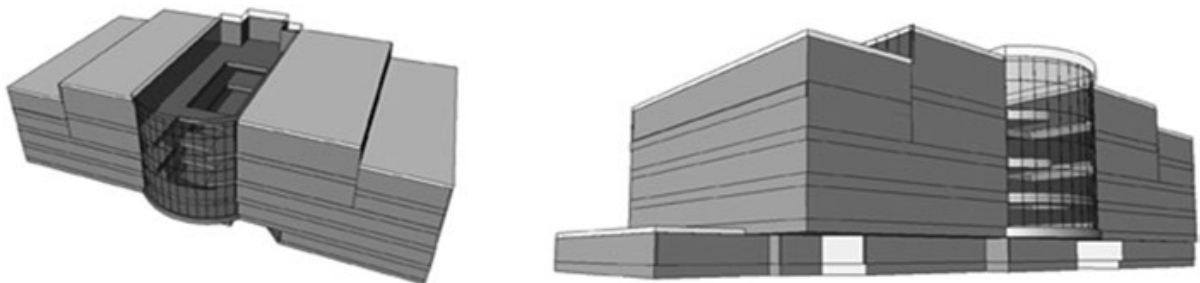
tuua nende kohmakuse olukorras, kus on vaja modelleerida (skitseerida) välja mahud, samas on nad sellest ka ise aru saanud ning pakuvad võimalust see geometria muus formaadis sisse importida. Peamine rõhuasetus, mida järgida, on ennekõike info ülekandmise sujuvus BIMi tarkvara ning funktsiooni-spetsiifilise rakenduse vahel.

Integreeritud eskiisi loomise näide

Viimase aja trendiks on asjaolu, et arhitektid on alustanud eskiisi loomist 3D mudelitena. Seega on ka nende eelkontroll muutunud lihtsamaks ning automaatsemaks. Esialgset eskiismudelit saab luua mistahes aktsepteeritava BIM töövahendiga, sh *Autodesk Revit*, *Bentley AECOsims*, *ArchiCAD*, *Allplan Architecture*, *Vectorworks Architect* jt. Mudelile esitatavad nõuded eskiisi tähenduses võib näiteks kokku võtta järgmise nimekirjaga:

- Põrandad määratud lõpliku paksusega ning põrandast-põrandani distantsina, mis kehtib ka katustele.
- Ehitise orientatsioon määratud põhja suunda esitava noolega.
- 3D ruumobjektid igal korruse tasapinnal ilma üksikuteks ruumideks jagamata, kuid nimetatud osakondade tasandil või üksikute ruumidena, milles ruumi kõrgus määrab lae kõrguse; seinte kasutamine ruumide eraldusena on valikuline.
- Liikumisteede esitus ühes turvalisuse nõudega.
- Trepid, liftišahtid ning kaldteed defineeritud läbi ruumimahu, mida need hõlmavad.
- Välise seinad ilma konstruktsiooni lahti kirjutuseta, kuid infoga, mis ütleb klaasipinna ulatuse; seina paksus määratleb seina mahu ning hilisema R-väärtuse (U-arv).
- Sisepääsude tähistatud ustega.

Eskiismudeli näidis on toodud *joonisel 5.2*.



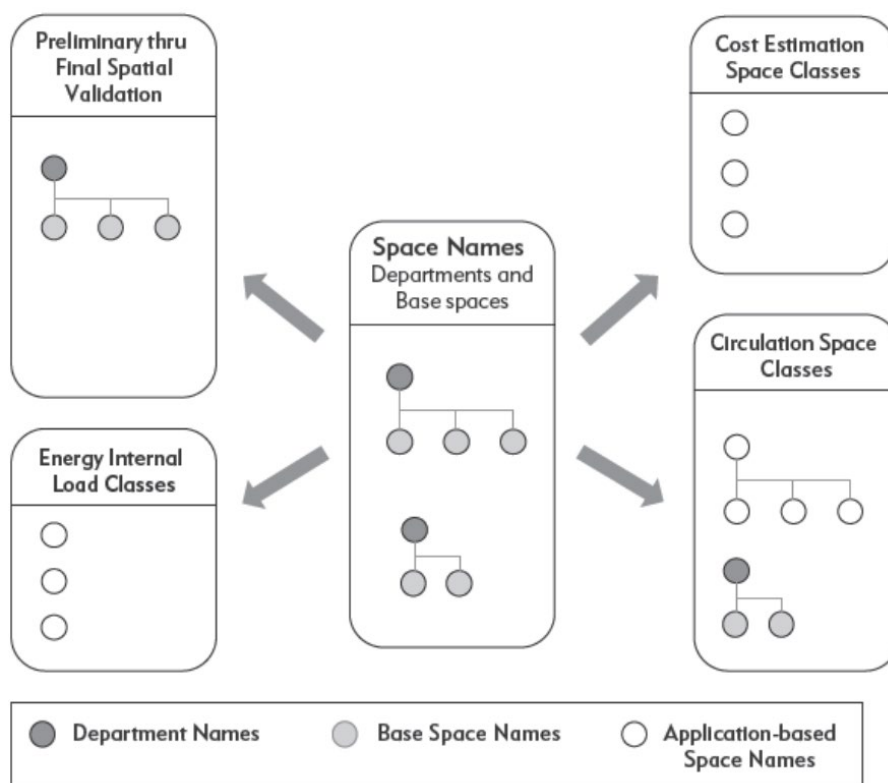
Joonis 5.2. Eskiismudelitel baseeruvad analüüsid (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 216).

Ülaltoodud info pakub minimaalse vajaliku, et defineerida eskiisi taset, kuid samas võimaldab läbi viia ka olulise suutlikkuse analüüsi. Mudeli fonõuded on defineeritud piisavalt paindlikult, et neid oleks lihtne arvesse võtta. On üsna tavapärane, et infot on vaja vahetada, mistõttu peab olema võimalik loodud mudelit (eskiisi tasandil) eksportida. Üldjuhul on selle standardseks formaadis IFC (*industry foundation class*) ning seeläbi saab infot jagada erinevatesse funktsiooni-põhistesse rakendustesse. Seeläbi saab teostada erinevaid automaatseid hinnanguid:

- Planeeringu ruumiline hinnang, võrreldes näiteks ehitise ruumiprogrammis ning eskiislahenduses esitatud tulemusi.
- Liikumisteede analüüsid, milles arvestatud ka erinevaid standardeid / norme (USA kohtuhoonete [näide](#)).
- Esialgne energiasimulatsioon (kasutades näiteks vabavaralisi tarkvarasid, sh [EnergyPlus](#)).
- Esialgne maksumuse analüüs (nt [PACES](#) maksumuse arvestamise tarkvara).

Eskiislahendus pöörleb suuresti ehitise ruumiprogrammi ümber, mida identifitseeritakse nende nimetuste järgi. Ruumide jaotus on eskiislahenduse fundamentaalne otsus. Samas on ruumide nimetused üldjuhul keerukust loovad, kuna ruumi programmis nimetatakse neid ühtmoodi ning rendipinnana teistmoodi ja siis veel eelarvestuse kategooriates omakorda teistmoodi ja energiasimulatsioonis jällegi uutmoodi... ning sellega jada veel ei lõpe. Seetõttu tulebki luua peamine kategooria ruumide nimetamisskeemis (võib baseeruda ka mõnel järgitava standardil). Peamine nimetamise tase on jagatud alamtasemeteks nii nagu näidatud *joonisel 5.3*. Selle asemel, et üheselt määratleda kõikide erinevate ruumide nimetused, aitab selline peatasand siduda nimetusi alamtasemetega, mida siis kasutatakse erinevate alamtgevuste tarvis. Seeläbi väldime ka inimlikku eksimise ohtu.

Ühest mudelist on seega võimalik võtta või tuletada mitu erinevat hinnangut. Eelhinnang peab tagama, et ehitusmudel sisaldab korrektseid komponente, nimetamise reegleid, omadusi ning muud konstruktsioonilist eripära. See eelkontroll tagab, et ebakvaliteetne mudel ei hakkaks esitama mõttetuid analüüsi tulemusi.



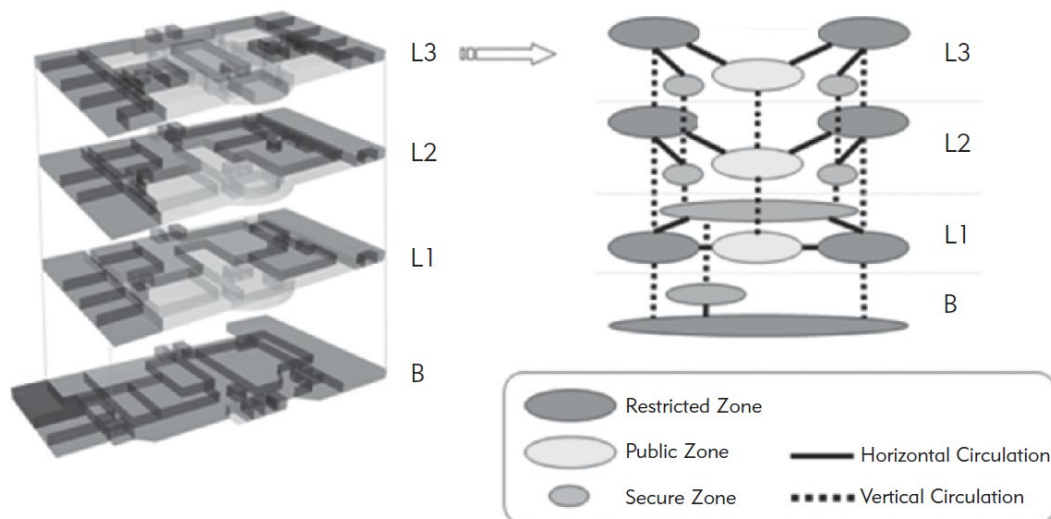
Joonis 5.3. Ruumid nime jagunemine (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 217).

- **Ruumiprogrammi valideerimine** – selle käigus kontrollitakse pindade arvutamise kooskõla standarditele. Võrdlemises võidakse vaadelda ka erinevaid alternatiivseid lahendusi. Tagatud peab olema kindlate parameetrite olemasolu, et alternatiivne saaks omavahel võrrelda. Võrdlus võib baseeruda erinevate raportite analüüsil: võrdlus tegelikule vs nõutud; pindalade kokkuvõtted tüübiti; korruse põhised ANSI/BOMA pindalad (sellest tuleb ka juttu hiljem), normidel baseeruv ruumiline hinnang (nt *joonis 5.4*) ning kasutajate liikumisalad. Esiagne liikumisskeem ning turvalisuse tagamine – näiteks kohtumajades on kasutusel kolm erinevat liikumisskeemi. Üks on mõeldud avalikkusele, teine kohtunikele ning kohtumaja töötajatele ja

kolmas süüalustele ning politseiülematele (turvatud ala). Need peaksid olema üksteisest eraldatud, mistõttu saavad need erinevad "rühmad" kokku vaid kohtusaalis ning mõnes kindlas alas veel. Liikumisskeemid on seega väga olulise tähtsusega kohtuhoonete projekteerimisel. Lähtuvalt ehitise tüübist sõltuvatele nõuetele võivad seega liikumisskeemid väga paljugi ette dikteerida. Näiteks kohtuhoone näidet jätkates peab kohtunikul olema täiesti eraldatud liikumisala oma ruumist kohtusaali. Kui teatud kindlad ruumid kuuluvad samasse liikumispääringusse saab neid eristada näiteks värvitooniga. Seda saab taandada külgnevusgraafidele, mida esitab *joonis 5.5*. Horisontaalsed servad tsoonide vahel on eristatavad vertikaalsetest külgnevustest, mida esitavad liftišahtid ning trepikojad. Analüüsid on teostatavad peaaegu momentaalselt.

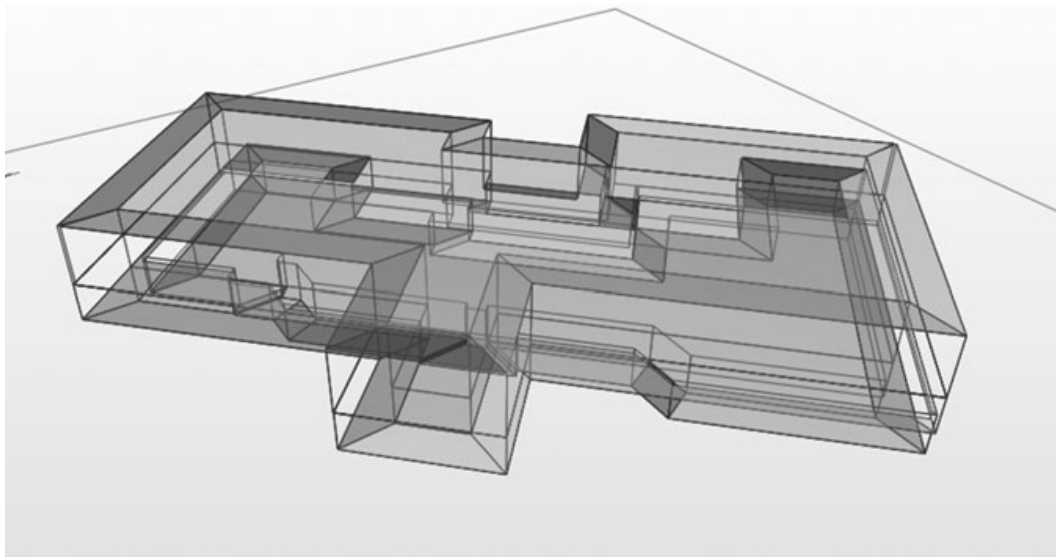
Early Space Program Review for Concept Design Evaluation					
Project: GT Test Courthouse					
#	Design parameter	Type	Target Value	Concept 1 Actual Value	Concept 2 Actual Value
1	Number of Building Floors	EA		6	6
2	Total building gross area	Area (nsf)		197,269	201,005
3	Inside parking area	Area (nsf)		10,319	10,380
4	Total gross minus inside parking area	Area (nsf)		186,950	190,625
5	Total usable area	Area (usf)		159,317	161,100
6	Atrium area	Area (nsf)		622	622
7	Building Efficiency (USF/Total gross minus parking area)	Ratio (%)	67%	85%	82%
8	Number of Courtrooms	EA	9	9	9
9	Number of Special Proceedings/Appeals Courtrooms	EA	0	Not found	Not found
10	Number of Chambers	EA	11	11	11
11	Number of Inside Parking Spaces	EA	24	22	24
12	Number of Elevator Spaces on the 1st Floor	EA	TBD	6	6
13	Elevator Ratio (Total Gross Area / Number of Elevator Spaces)	Area (nsf)	25,000	32,878	32,878
14	Floor to Floor Height for Court room	Height (ft)	20	20	20
15	Maximum Ceiling Height of Courtroom	Height (ft)	16	14	16
16	Floor to Floor Height for Sp. Proceedings/Appeals Courtroom	Height (ft)	-	Not found	Not Found
17	Maximum Ceiling Height for Sp. Proceedings/Appeals Courtroom	Height (ft)	16	Not found	Not found
18	Floor to Floor Height for Office Space	Height (ft)	14	14	14
19	Maximum Ceiling Height Judges Chamber	Height (ft)	10	10	10
20	Building Skin Area	Area (nsf)		99,579	100,422
21	Total Gross Area to Building Skin Area	Ratio (%)	45-55%	50%	49%
22	Main Entrance's floor level (Ground Level)			Level 02	Level 02
23	USMS Administrative Office's floor level		2nd or upper	Not found	Not found
24	Gross Area of Prisoner Circulation and Holding Cell Area	Area (nsf)		14,902	14,902

Joonis 5.4. Ruumiprogrammi valideerimise üks võimalikke viise, milles võrreldakse nõutud ruumiprogrammi projekti alternatiivist saadud (kandidaat-) projektiga (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 218).



Joonis 5.5. Ruumiprogrammi valideerimise üks võimalikke viise, milles võrreldakse nõutud ruumiprogrammi projekti alternatiivist saadud (kandidaat-) projektiga (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 219).

- Esmased energiaanalüüsid** – esialgne eskiis omab kindlaid omadusi, mis mõjutavad olulisel määral energia kasutust. Nendeks võivad olla: ehitise orientatsioon; ehitise välisperimeetri materjalid ning maht, soojustuse osakaal; ning aatriumi, siseõuealade ning katuseakende arvestamine. Selles staadiumis on projekteerijad ennekõike huvitatud ehitise kütte- ning jahutuskooormuste aastasest koormusest ning seega kütte-ventilatsiooni süsteemide nõuetest, et tagada vajalik sisekliima. Esmase hinnangu eesmärk on leida eelnimetatud komponentide mõjusused energia kasutusele ning seeläbi toetada projektlahendit tagamaks parimat energiakasutuse suutlikkust. Selleks, et sedalaadi simulatsioone saak läbi viia, peab kaasama terve rida erinevaid vaikumisi või standard lähtepunkte. Alustame kasvõi ehitise kütmise-jahutamise tsoonidest, mis võivad olulisel määral mõjutada energiaarvutust. Esialgse energiasimulatsiooni läbiviimiseks võetakse arvesse ennekõike ehitise välisperimeeter, et panna paika ehitise soojuslikud tsoonid (joonis 5.6). Sisemiste soojuskasvude arvesse võtmiseks nagu ruumide hõivatus inimeste arvu tähenduses, valgustus ning seadmete koormused – saadakse ruumide funktsionaalsest kirjeldusest lähtuvalt ehitise (hoone) termilisest tsoonist nagu näiteks büroo, koridor jne. Kasutajal võib olla võimalus teha muudatusi neis tingimustes või vaikeväärtustes, näiteks seinas olevate avade maht või ulatus või siis jällegi sein konstruktsiooni tüübi määramises ja mõistagi ka ehitise orientatsioonis. Lisaks, kuna ehitise mudel sisaldab endas suhteliselt vähe infot, pakub üldjuhul tarkvaraline lahendus välja erinevaid eelduseid, mida kaasata. Näiteks ehitise külgedel olevad päikese varjutuse osakaal, ehitise automaatne pööramine lähtuvalt päikesevalgusest, välisseinte tüüpide valik ning akende tüübid (nt U-väärtuse põhised). Selle tulemusel saadakse aastane energiakasutus, kuupõhine kütmise- ning jahutamise graafik ning energiakasutuse koormuse läbilõiked. Seda kõike võib saada ka visualiseerida lihtsate legendidega.



Joonis 5.6. Hoone välisperimeetri ning termilise tsooni modelleerimise näide (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 219).

- Esialgne maksumuse hinnang** – sarnaselt energiaanalüüsile, on oluline määrata esialgse projektlahendusega ka esialgne maksumuse hinnang. Seda teostatakse maksumusmooduli kaudu, mis kaasab piiratud informatsiooni, mis kättesaadav eskiismudelist. Maksumuse hinnang baseerub kahel olulisel komponendil: mõistagi ehitise mudelpõhisel infol ning maksumust mõjutaval tekstipõhisel infol. Ehitise (hoone) mudelist saadakse ruumide nimetused ning nendega seotud lisainformatsioon, põrandate pindalad, katused ning välised seinad ning treppide ja liftišahtide arv. Sellelaadse tarkvara näiteks on [PACES](#), millesse saab kaasata teatud eeldefineeritud ühikhinnangud. Hinnangu näide on toodud *joonisel 5.7*. Eeldatud konstruktsiooni tüüpe arvesse võttes saab hiljem tulemusi võrrelda kui jõutakse põhiprojekti staadiumisse, andes seeläbi ka kinnituse väärtuspõhise hinnanguna olukorras, kus projekt jooksvalt täieneb. Kõik sedalaadi hinnangud baseeruvad ruumi nimetuse põhistel andmebaasidel.

United States Courts—Gt test courthouse					
Cost Report by UniFormat™ Level 3 Category*					
UniFormat™ Level 1	UniFormat™ Level 2	UniFormat™ Level 3	Quantity	Unit Cost**	Cost
A SUBSTRUCTURE	A10 Foundations	A1010 Standard Foundations			\$190,480
		A1020 Special Foundations			\$0
		A1030 Slab On Grade			\$5,639,813
	A10 TOTAL		218583	\$26.67	\$5,830,293
	A20 Besement Construction	A2010 Besement Excavation			\$337,523
		A2020 Besement Walls			\$1,711,276
	A20 TOTAL		218583	\$9.37	\$2,048,799
A TOTAL			218583	\$36.05	\$7,879,092
B SHELL	B10 Superstructure	B1010 Floor Construction			\$2,894,639
		B1020 Roof Construction			\$1,286,159
	B10 TOTAL		218583	\$19.13	\$4,180,798
	B20 Exterior Enclosure	B2010 Exterior Walls			\$4,133,056
		B2020 Exterior Windows			\$345,127
		B2030 Exterior Doors			\$36,341
	B20 TOTAL		218583	\$20.65	\$4,514,524
	B20 Roofing	B3010 Roof Coverings			\$416,234
		B3020 Roof Openings			\$116,578
	B30 TOTAL		218583	\$1.9	\$532,812
B TOTAL			218583	\$40.11	\$9,228,134
C INTERIORS	C10 Interior Construction	C1010 Partitions			\$3,087,582
		C1020 Interior Doors			\$1,136,998
		C1030 Specialties			\$934,193
	C10 TOTAL		218583	\$23.6	\$5,158,774

Joonis 5.7. Maksumuse kalkulatsiooni väljundi näide (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 221).

On oluline märkida, et varasemalt eelprojekti staadiumisse kuulunud tegurid peavad samuti olema tagatud eskiismudeli tasandil, milleks on krundi planeering (kaasates olemasolevat olukorda) ning ehitise süsteemide liigituspõhine määratlemine. Nii mõnedki BIM töövahendid võimaldavad lävi viia krundi planeeringut ning mõned keskkonnaanalüüsi puudutavad töövahendid oskavad arvesse võtta krundi iseloomu ning naabruskonda samuti (kaasates nii päikese kui tuulega seotud kriteeriumeid). Eskiismudel tähendab üldjuhul ka iga üksiku ehitise süsteemi tüübi määratluse, mis kaasab nii nende konstruktsioonilist eripära, energiakasutust, valgustust kui ka vertikaalset ringlust. Üheks võimalikuks tarkvara näiteks on siinkohal [Destini Profiler](#). Sedalaadi tarkvarad baseeruvad ehitise tüübipõhistes maksumuse tabelitel ning peavad seega lähteandmetena olema sisestatud. Ehitise konteksti tajumiseks on oluline ka olemasolevate tingimuste kaasamine (nt ehitiste renoveerimine). Selles osas saab edukalt kasutada väga erinevaid lasertehnoloogiaid ning punktipilvede massiive, mille baasil tuletada ka olemasolev konstruktsioon.

Eskiisi töövahendid peavad leidma tasakaalu intuiitiivse ning loovust toetava mõtteprotsessi ning hinnanguid andva simulatsiooni/analüüsi töövahendi vahel, mis kõik kokku toetab infoküllasemat lahendust või valikuid. Kahjuks peab tõdema, et tihtipeale suudab üks tarkvara või lahendus tegeleda ühe kitsa teemaga või analüüsiga ning seetõttu on vajalik info pidev ülekanne, et tagada terviklikkus. Samas tuleb tõdeda, et muutused on toimumas ning intuitsioonil baseeruvad lahendid on asendumas arvutuslike hinnangutega (nt [Autodesk Project Fractal](#)). See on valdkond, millega peab tänane arhitektuuribüroo või arhitekt kindlasti harjuma ning omaks võtma.

5.3.2. Ehitise süsteemide projekteerimine, analüüsid, simulatsioon ning kontroll

Kui projekt väljub eskiisi raamidest, peavad ka erinevad süsteemid olema defineeritud detailsemalt. Näiteks kütte-ventilatsioonisüsteemide juures peavad olema märgitud nende suurused/ristlõiked ning konstruktsiooni elemendid peavad olema läbiarvutatud. Neid ülesandeid asutakse üldjuhul täitma koostööraamistikus.

Analüüsi/simulatsiooni tarkvara

Projekti edenedes peab ehitise erinevaid süsteeme asuma täpsustama, et saada aimu esmastest hinnangutest ning määrata süsteemid pakkumiste saamiseks, tootmiseks ning nende paigaldamiseks. See täpsustus kaasab mõistagi suurel hulgal tehnilist informatsiooni. Kõik ehitised peavad tagama konstruktsioonilise püsivuse, keskkonda puudutavate nõuete järgimise, tarbevee tagamise ning jäätmekäitluse, tuletõkke eralduse, tugev- ning nõrkvoolu tagamise ning teise baasfunktsioonide tagamise ning vastavuse. Sedalaadi vastavuste kontrolliks on välja arendatud mitmeid analüüsi tarkvarasid ja seda palju varem kui me hakkasime rääkima BIMist. Paljud neist tarkvaradest keskendusid varasemalt ennekõike ehitusfüüsikale, kaasates nii konstruktsioonide staatikat kui dünaamikast lähtuvalt arvutusi. Lisaks ka vedelike mehaanika ning voolamist käsitlevad, termodünaamika ning akustilised analüüsid. Paljud sedalaadi töövahendid eeldasid ehitiste 3D modelleerimist. Üks varasemaid konstruktsioonide arvutamise tarkvarasid on [GT STRUDL](#) (alates 1975). Eialgu tuli 3D mudeleid defineerida läbi koordinaatide põhise sisestamise, millega siis määrati sõlmed, joonelemendid. Graafilised liidesed lisandusid tarkvaradele niipea kui riistvara võimekus oli mõnevõrra kasvanud. Seetõttu on konstruktsiooni insenerid saanud töötada 3D parameetrilise modelleerimise juba üksjagu aega. Selles valguses on 3D parameetrilise modelleerimise aspektid, mida me täna BIMi juures räägime, justkui vähem uudsust toovad ning nende jaoks võiks tunduda loomulik, et BIM töövahendeid võetakse kui tänapäeva ja loomuliku tööprotsessi osana.

Samas tuleb tõdeda, et paraku pole see nii olnud. Ehk siis saab väita, et konstruktsiooni inseneride poolne BIMi omaksvõtt on visalt tulnud kui võrrelda seda teiste ehitusvaldkonna osalistega. Põhjus seisneb ennekõike selles, et konstruktsiooni inseneria valdkonnas keskendutakse ennekõike

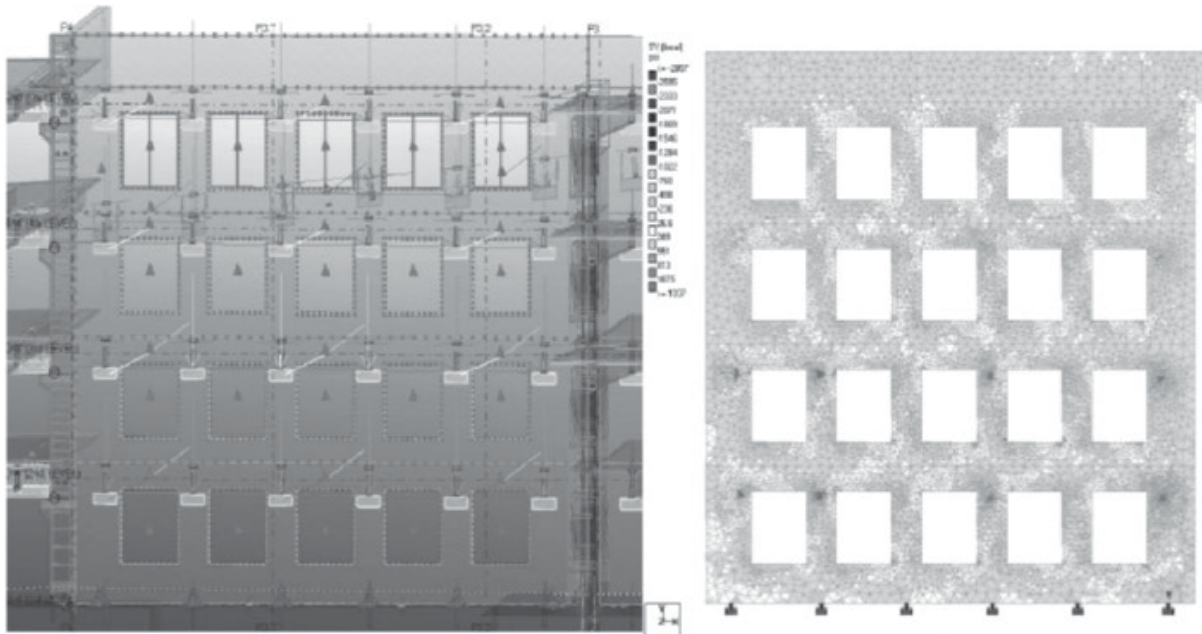
ehitusfüüsikale, samas kui ehitusinsenerid ehitaja tähenduses tegelevad n-ö päris eluga. Seetõttu on meil siin nii filosoofiline kui valdkonna põhine eristus. Filosoofiline lõhe seisneb idealiseeritud analüütilise mudeli ning tegeliku füüsikalise geomeetria vastandamises (nt teoreetiline sõlm või kinnituspunkt vs keerukas, reaalses ehituses kasutatav kinnituste/elementide grupp). Konstruksiooni insenerid on siiani modelleerinud konstruktsioone viisil, et neid saaks analüüsida. Neid samu mudeleid aga ei saa otseselt tõlkida ehitise mudeliteks, mis oleksid vajalikud ehitamiseks, kuna need on põhimõttelt erinevad. See põhimõtteline lõhe on nii mõneski riigis veel sellise kaaluga, et konstruktsiooni tööjooniste või täpsustuste tegemine jäetakse ehitajate pärusmaaks.

Sellest hoolimata pakub BIM koostööle suunatud eeliseid, mistõttu väheneb ümbertegemiste arv ning jooniste loomine on oluliselt tõhusam. BIMi tähenduses on seega kasutusel kaks erinevat mudeli – analüütiline ning füüsikaline või siis projekt ise. Ühte muutes uuendatakse ka teist ning seeläbi lihtsustame tööprotsesse, mis on vajalikud näiteks analüüsi sisenditena luua. BIMi tähenduses on seega oluline tähele panna linki ehitise mudeli ning analüüsi läbi viiva rakenduse vahel:

- Kindlate parameetrite ning seoste lisamine *BIM* töövahendi kaudu, mis vajalikud analüüside läbi viimiseks.
- Analüütilise mudeli loomine ehitise füüsikalisest mudelist, mis taasesitab ehitise täpse olemuse analüüsi tarkvara tarvis.
- Infovahetuse tugi, mis jätab alles analüütilise mudeli ning füüsikalise mudeli lingi läbi unikaalse *ID*, et mudeleid saaks mõlemas mahus ning rakenduses uuendada.

Need eelnimetatud aspektid on BIMi fundamentaalsed lubadused, mis välistab info topelt sisestamise või siis uuendamise kahes erinevas rakenduses, andes seeläbi võimaluse viia läbi analüüse märksa kiiremini ning efektiivsemalt. Enamik tänaseid ehitise (hoone) analüüsi tarkvarasid peavad enne analüüside läbiviimist mudeli teisendamata või siis selle ette valmistama, mille käigus defineeritakse või laaditakse näiteks materjalide põhine info konstruktsiooni elementidele ning rakendatakse erinevaid koormused (koormuste grupid). Kui üks *BIM* töövahend kaasab kõike eelnimetatud, saame öelda, et see võimaldab automatiseerida analüütilise mudeli loomist, materjalide lisamist ning koormusolukordade kaasamist, redigeerimist.

Kuna arhitektuurse projekti rakendused ei võimalda lisada konstruktsiooni elemente viisil, et seeläbi saab mudeli ette valmistada konstruktsiooni analüüsiks, on paljudes tarkvarades olemas integreeritud töövahendid, mis ajalooliselt on olnud eraldiseisvad. Näiteks tänasel päeval sisaldab *Autodesk Revit* ning *Bentley AECOsims* ka konstruktsioonimudeli loomiseks vajalikke elemente/komponente, kuid varasemalt olid need omaette tarkvarad (nt *Revit Architecture* ning *Revit Structure*). Luues konstruktsiooni mudelit (komponentidest nagu post, tala, kandev sein, põrand jt) on nende 3D komponentidega seotud ka analüütilised jooned/sõlmed. Lisaks saab kaasata ka konstruktsiooni koormamised või koormuste grupid ning ühenduste toimivuspõhimõtteid (fikseerimise tähenduses). *Joonis 5.8* esitab kandva seina elemendi BIMi tarkvaras ühes defineeritud koormustega ning sellele seinale langeva külgkoormuse, arvutatuna lõplike elemendi meetodiga.



Joonis 5.8. Monteeritav seinaelement Tekla Structures tarkvaras (vasakul) ning analüüsi kokkuvõte STAAD PRO tarkvaras (paremal) (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 225).

Energiasimulatsioonide läbiviimiseks on aga vaja järgida teistsuguseid nõudeid: esmalt, ehitise välise kesta mudel päikesekiirguse arvestamiseks; teiseks, sisemiste tsoonide olemasolu kütte- ning jahutuskoormuste erisusteks ning kolmandaks, kütte-vent agregaatide paigutuse mudel. Sedalaadi ettevalmistuse teeb üldjuhul energiasimulatsioonide spetsialist. Vaikimisi eksisteerib BIMi mudelis vaid esimesena mainitud maht.

Valgustuse, akustika ning õhuvoolude analüüsid ning simulatsioonid, mis baseeruvad arvutuslike vedeliku dünaamika algoritmidel (ingl *computation fluid dynamics* ehk CFD) sõltuvad omakorda neile spetsiifilistest/vajalikest parameetritest. Kui konstruktsiooni mudelite ning ka valgustuse analüüside (nt läbi renderdusalgoritmide) läbiviimiseks vajalike teadmiste olemasolu on tänasel päeval piisav, siis teiste analüüside sooritamiseks on tihtipeale teadmised napid, mis eeldaks olulist kogemust ning seadistust ja seega võivad need arvutused jääda tahaplaanile.

Eelnimetatud takistuse eemaldamiseks on BIM tarkvaradesse integreerumas üha rohkem erinevaid valideerimisprogramme, mis aitavad tagada ning ette valmistada üht mudelit kindlaks konkreetseks arvutuseks/simulatsiooniks. Seda võib vaadelda ka kui olemasoleva mudeli filtreeritud esitust, milles: (1) kontrollitakse, et BIM mudelis on minimaalses koguses geomeetrist infot; (2) eralda vajalik kogus geomeetriat mudelist; (3) lisa vajalik materjali ning objekti põhine info/parameetrid; ning (4) nõua parameetrite muutmist kasutaja poolt, kui see peaks analüüsi jaoks olema vajalik.

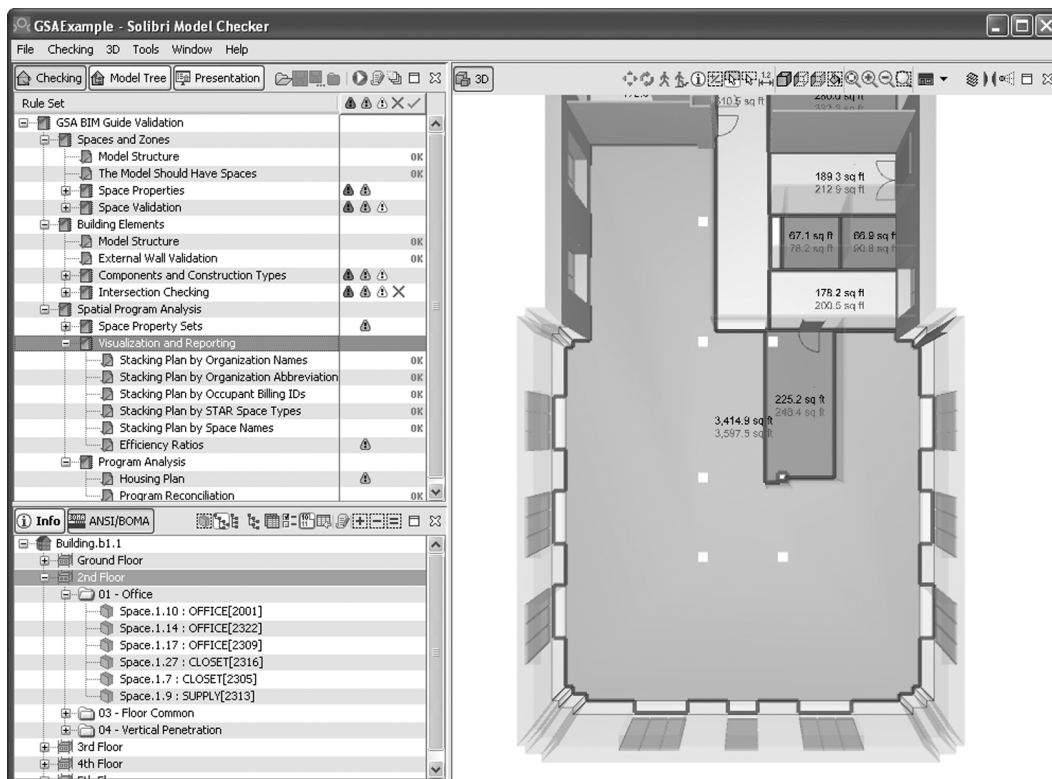
Andmevahetus käib tänastes tarkvarades kas siis integreeritult (kaasates sh ODBC ning COM põhiseid liidestusi), tarkvara tootja enda formaatide läbi (nt *ArchicAD-i* GDL, *Bentley* MDL) või avatud standardite vahendusel nagu IFC ning CIS/2.

On ebatõenäoline, et luuakse ühtne, analüüsist sõltumatu andmevahetuse formaat, et toetada kõiki tüüpilisi analüüse, kuna erinevad analüüsid soovivad andmetele ligipääsu erinevas abstraktsioonis. Lisaks võib piiranguid seada ka asjaolu, kuidas andmed on vastavas failis struktureeritud.

Ehituskoodeksi nõuetele vastavuse analüüsid

Eelnevalt sai käsitletud ennekõike kvantitatiivseid analüüse, mis seotud ehitise füüsikalise käitumisega. Aga ka mõnevõrra vähem keerukamad kriteeriumid peavad olema kontrollitud ning

täidetud nagu tuleohutus, liigpääs puudega inimestele ning ehituskoodeksi nõuetega seotud regulatsioonid. Selles osas on tarkvarasid, mis lähtuvad avatud standardil baseeruvad formaadist (IFC) ning suudavad läbi viia erinevaid, kindlal reeglil baseeruvad mudeli kontrole (ingl *rule-based model checking*). Üheks tarkvaraliseks näiteks võib siinkohal tuua *Solibri Model Checker* (joonis 5.9).



Joonis 5.9. Näide ANSI-BOMA ruumide aladest kontrollimaks lingitud hoone programmiga (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 228).

ANSI-BOMA pindalade arvutamise meetod lähtub domineeriva seina pinnast (mitte seina baasjoonest), leiab ruumide pindalad ning seejärel saab seda võrrelda näiteks vajadustega (hoone programm). Analoogsed, hinnanguid andvad rakendused, mis lähtuvad nii kvalitatiivsest kui kvantitatiivsest aspektist, muutuvad üha tavapärasemaks olukorras, kus eksisteerivad ehitiste standardsed esitused.

Maksumuse hinnangud

Kui analüüsi ning simulatsiooni tarkvarad püüavad hinnata ehitisega seotud erinevaid tüüpkäitumisi, siis selles valguses eristub maksumuse hinnang neist olulisel määral. Nii nagu kõikide analüüsides, peab ka maksumuse hinnang olema pädev mistahes ehitise staadiumis, võttes arvesse info täpsustumist/lisandumist hilisemates etappides. Kuna maksumuse hinnang on oluline ka omanikule/tellijale, ehitajale ning tootmisettevõttele, räägitakse sellest ka teistes vastavates peatükkides.

Endiselt võib leida olukordi, kus mahtusid, pindalaid või n-ö tükkide arvu arvestatakse käsitsi. See oli tavapärane enne tarkvaraliste lahenduste kättesaadavust. On selge, et olukorras, kus selle näol on tegemist inimtegevusega, on selliselt läbi viidud arvutused suure vigade tegemise ohuga. Ehitusinfomudelid, mis baseeruvad komponentidel, on eelarvestamist aga oluliselt lihtsustanud, kuna materjalide pindalad/mahud on automaatselt leitavad ja piltlikult võttes kättesaadav ühe silmapilguga. Tänu *BIM* töövahendile saame me täpsed mahud, mille baasil saame ka tõetruu maksumuse hinnangu. Üldiselt on mahtude väljavõtete tegemine võimaldatud juba *BIM*i pakettis ja

laiemaid võimalusi pakuvad seejärel juba spetsiifilisemad tarkvarad (*DESTINI Profiler, Vico Office for Cost, Nomitech*). Üks oluline aspekt mida tasub eelarvestuse seatud tarkvarade juures järgida on võimekus, kas see suudab end linkida erinevate maksumuse andmebaasidega (nt *RSMMeans, CostDataOnline, RICS BCIS* või eraldiseisvad: *PlanSwift, All Cost Data Info*). Kui eelarvestus ning BIM integreerida IPD projekti tähenduses, omab maksumuse hinnang sihthinna mõõdet (ingl *target costing*), mida pidevalt järgitakse (maksumuse hinnangu pideval ning kiirel uuendamisel), et projekt püsiks algselt seatud eelarves.

Projekteerijale on maksumuse kalkulatsioon ennekõike oluline seetõttu, et see võimaldab läbi väärtuspõhise projekteerimise kaaluda erinevaid alternatiivseid lahendusi, et tellija huvid ning sealhulgas eelarves püsimine ja/või ressursside optimaalne kasutus oleks tagatud.

Ehitiste organisatoorse võimekuse simulatsioonid

Ehitise ehitatakse kindlaid funktsioone silmas pidades, nt hooldemajad, ärihooned, bussi- ja rongijaamad või hoopis haridusasutused. Kui ehitise füüsikaline käitumine on mõistagi olulise tähtsusega, et funktsiooni tagada, saab arvutisimulatsioon luua ka ehitises olevate funktsioonide optimaalseks simuleerimiseks, nt ruumide tähenduses. Tööstusettevõtetes on see tänasel päeval iseenesest mõistetav, et tootmisprotsess ruumi kasutuses oleks optimeeritud. Sarnaselt on lähenetud ka näiteks haiglatele, kus doktorid ning medõed peavad olulise osa päevast olema liikvel. Traumaosakondade liikumistekondade analüüsid on samuti kriitilise tähtsusega.

Lennujaamades oleme me kõik pidanud läbi turvakontrolli, mis mõjutab oluliselt lennujaama lähteülesannet. Liikumistekondi või siis inimasside liikumist saab simuleerida erinevate tarkvaradega (nt *SimWalk, Pedestrian Dynamics*). Kui haiglate näol on meil suurepärased näited, kuidas kaasata eelnimetatud simulatsioone, et tõsta kuluefektiivsust, siis võib siit vaid küsida, kas arhitektid võtavad omaks kõik need erinevad simulatsioonide tegemise võimalused, et kaasata ka organisatoorsete protsesside optimeerimist teistes arhitektuursetes projektides? On selge, et seda dikteerib ka omaniku/tellijaja vajadus.

5.3.3. Ehitustäpsusega ehitise mudelid

Projekteerijad saavad ehitustäpsusega (töömudel, ehitusmudel) mudeli loomisele läheneda vähemalt kolmel erineval moel:

1. Traditsioonilisel viisil, milles projekteerija poolt loodud mudel on põhiprojekti täpsusega, mis väljendab projekteerija nägemust lähtuvalt tellija soovidest. Üldjuhul loob sellistel puhkudel ehitaja oma enda, sõltumatu ehitusmudeli (tööprojekti) ning dokumentatsiooni, mis ei pruugi lähtuda projekteerija poolt tehtud tööst (alustab nullist).
2. Alternatiivina võidakse siis ehitise mudelit edasi arendada nii, et see sisaldab ka ehituseks vajalikku spetsiifikat, detailsusi ning eeltootmiseks vajalikku infot. Sellisel juhul võtab ehitaja projektmudeli üle kui enda lähtepunktiks.
3. Projektmeeskond töötab koos ehitajaga ning allhankijatega (eeltootmise tähenduses) projekti algusest peale, milles lahendatakse koheselt erinevad probleemid, mis võivad näiteks mõjutada eeltootmist. Mudel edastatakse hiljem, mis kaasab endas ka tootmiseks vajalikku infot ühes projekti üldiste eesmärkidega (kavatsusi).

Peamiseks põhjuseks, miks just esimene loetelust on arhitektide ja inseneride juures enamkasutatavam, on asjaolu, et see elimineerib ehituse käigus tekkivad ning võimalikke kohtuvaidlusi põhjustavad probleemsituatsioone ja seega pakuvadki nad vaid nn projektinfot ning mitte ehituslikku infot. See on tavapärane joonistel, kus siis püütakse musta valgeks rääkida ja seega kogu mõõtmete vastutus ning täpsus nihutatakse ehitajate kaela. Mõistagi tähendab see seda, et

ehitajad ning tootjad peavad oma mudelit looma nullist, mis siis kaasab projekteerija kavatsust/lahendust, ning peab seetõttu läbima ka uue ringi kooskõlastusi, kontrolle ning täpsustusi.

Tänasel päeval on selline lähenemine oma olemuselt ebaefektiivne ning vastutustundetud tellijate suhtes. Seetõttu peaks toimuma nihe ning projekteerijad peaksid valima teise või kolmanda lähenemisviisi, mis üleval pool esitatud sai. Seeläbi edastaks mudelinfo tootjatele, et nemad saaks seni tehtud aluseks võtta ja täpsustada seda tootmise tähenduses. Jagatud mudel võimaldab kogu meeskonda hoida ühes tööprotsessis/koostöös, mis omakorda on toonud meieni ka uued hankemeetodid nagu integreeritud projekti edastus (teostus) – ingl *integrated project delivery (IPD)*. Samal ajal on *BIM* oluline komponent *IPD*-le. Näide, kus ühes tarkvaras on esitatud kolme erineva allhankija tarvis vajalik info, on toodud joonisel 5.10.

Enamus ehitise mudeli loomise töövahendeid toetavad nii 3D komponentide põhiseisut, 2D lõikeid ning 2D või 3D skemaatilisi esitusi nagu telgjoonel baseeruvad mahamärked. Torustikke võib esitada nii 3D-na kui ka telgjoonel baseeruva loogilise diagrammina. Nii ka elektriakaableid – 3D-na või loogiliste skeemidena. Samas tuleb rõhutada, et vaid kindlad mahud on masinloetavad. Seda defineerib paljuski ka mudeli täpsusaste (ingl *level of detail*). Automatiseeritud vastuolude kontrolli saab rakendada vaid 3D mahtudele. Seetõttu on vaja 3D geomeetriselise elementide täpsusaste määratleda ühes töömudelitelise valmimisega.

Üha rohkem konstruktsiooni spetsiifikat, mis mõeldud ehituseks vajaliku täpsuse saavutamiseks, on leidnud parameetrisel kujul oma tee tänastesse 3D BIM mudelitesse. Ja seetõttu esitusviis, mida varasemalt domineeris 2D lõige oma täpsustavate andmetega, on hakanud vankuma terviklikema 3D mudelite poole. Näitena võib tuua ühenduspunktide / liitmike 3D esitused või armatuuri kaasamine, milles on läbi analüüsitud ka vastuolude kontroll ning lahendatud armeerimise järjekord eri kooste staadiumitega. On selge, et sellise detailsuse lisamine on pidurdatud võimalike tekkivate vaidluste tõttu. Seadmete vale paigutus, mida mudel üheselt määrab ja mis siis ei lange kokku garantiitingimustega, võib tekitada lisakulu.



Joonis 5.10. Väljavõte Tekla Structures mudelist, kus on näha nii teraskonstruktsioon, armatuur kui ka betooni valu komponent, mis üldjuhul on toodetud kolme erineva allhankija poolt (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 232).

Ehitise süsteemide paigutus

Erinevatel ehitise (hoone) süsteemidel on oma spetsiifika, mistõttu võime tänasel päeval leida iga omaette süsteemi tarvis ka omaette tarkvaralise lahenduse. Näiteks fassaadseinte projekt eeldab spetsiifilist lähenemist ning mahamärkimist. Monteeritav betoonelement, konstruktsiooni teras ning venttorude süsteemid eeldavad samuti omaette lähenemist nii projekti, inseneritehnilise lahenduse kui tootmise tähenduses. Kütte-vent, elektri- ning torusüsteemide mahamärkimiseks on vaja eelnevalt need dimensioneerida ning seejärel leida tihtipeale kitsastes tingimuste neile sobiv asukoht. Kõigil neil puhkudel peab spetsialistidel, kes on projekti haaratud, olemas võimalus kasutada spetsiifilisi komponente ning parameetrilise modelleerimise reeglistikku, mis arvestab just nende komponentide spetsiifikat, et neid siis maha märkida, dimensioneerida.

Üldjuhul on projekteerija ning tootja/ehitaja/paigaldaja iga süsteemi puhul erinev. Kui üldjuhul 3D põhine mahamärkimine projekti käigus omab teatud eeliseid, siis olukorras, kus seda tehakse liiga vara, väljendub lihtsalt korduva ning ajakuluka muutmistegevusena. Enne, kui hakatakse valima tootjat, peavad arhitektid ning tehnosüsteemide insenerid looma eeldatud paigutused, olles konsulteerinud ka tootja poolse konsultandiga. Peale tootja välja valimist saab välja valitud objekte paigutada juba mudelisse, kusjuures võib see oluliselt erineda esialgse plaaniga, kuna nüüd tulevad mängu ka tootjapõhiseid eeliseid/soovitused ning täpsustused. Projekteerijad ning ehitajad on hakanud määratlema projekti staadiumi põhiseid detailsusastmeid (ingl *level of detail* ehk LOD) ehitise mudelis. See on viinud erinevate spetsifikatsioonideni, kus on üheselt määratletud LOD iga komponendi tüübi kohta lähtuvalt projekti staadiumist. On arusaadav, et selline spetsifikatsioon peaks saama projekti lepingu osaks.

BIM töövahendid on efektiivsemad olukorras, kui neid kasutatakse paralleelselt, kuid nii sujuvalt kui vähegi võimalik ja seda siis kõikide projekteerijate ning tootjate, allhankijate poolt. BIM töövahenditel on selge eelis kui kasutada neid *design-build* ning IPD lepinguvormide tähenduses. Ka siin saab vaid täheldada asjaolu, et ehitusvalmidusega mudelid, milles projektumodelit kasutatakse tootmispõhise info kaasamiseks, leiavad üha rohkem kasutust kulu ning aja kokkuhoiu tähenduses.

Viimaste aastate näitel oleme näinud, et suured BIM rakenduste tootjad, kelle toode keskendus ennekõike projekteerimise aspektidele on integreerinud või üles ostnud lahendusi, et komponentide tootmisvalmidust oleks lihtsam integreerida olemasolevatesse ehitise mudelitesse. Näiteks *Micro Application Packages Ltd* omandamine *Autodesk*-i poolt (2011), kes oli just keskendunud ehitise süsteemide tootmistarkvarade loomisele ja mis nüüdseks on integreeritud *Autodesk Revit* tööprotsessidesse. Selliseid liigutusi ei tehta asjata, vaid nähakse vajadust, et ehitise mudelist peab saama n-ö ehitatav mudel (ingl *constructible model*). Või siis jällegi *Building Data* omandamine *Trimble* poolt (2016).

Jooniste ning dokumentide loomine

Jooniste loomine on BIM rakenduste oluline, n-ö võimekuse näitaja ning ilmselt ei kao selle järgi vajadus veel niipea. Samas tuleb tõdeda, et ühel hetkel ei esita joonised enam projektinformatsiooni ning mudelist saab peamine seaduslik ning lepinguline objekt ehitusinfo väljendamiseks, edastamiseks. Tänapäeval polegi niivõrd probleemiks see, et ehitise ehitamiseks peaks tootma joonised, vaid asjaolu, et jooniste põhiselt toimub erinev kooskõlastus, tingimuste/nõuete vastavus ja ka erinevate maksumushinnangute andmine ning mis seal salata, tihtipeale on just joonised need, mis jõuavad projekteerijalt ehitaja kätte (mitte mudel). Jooniseid kasutatakse ehitamise käigus, et märkida maha olulisi lähtepunkte ning panna paika tööülesanded.

BIM arenguga ning tulevikku vaatega, et jooniste vajaduse aspekt ka seaduslikult muutub, tekib võimalus, kus projekteerimise ning ehitamise tootlikkust saab joonistest loobumise korral

märkimisväärselt kasvatada. Vahepealne eesmärk peab aga olema võimekus, kus jooniste loomine on täies mahus automatiseeritud, milles on rakendatud eeldefineeritud malle, et saada vajalikke väljavõtteid joonistena. Samas tuleb tõdeda, et on projekt või erilahendusi, kus malli tootmine ei tasu end ära, mistõttu nähtavas tulevikus ei saa välistada olukorda, kus teatud valdkonnas on vaja loodud jooniseid endiselt üksikasjalikult kontrollida enne kui need väljastatakse.

Spetsifikatsioonid

Terviklikult loodud 3D mudel ei paku piisavalt head ülevaadet infost, mis on vajalik selle välja ehitamiseks. Mudel (või siis ajalooliselt jooniste pakett) ei kaasa endas materjalide tehnilisi näitajaid, viimistlusinfot, kvaliteeditagamise nõudeid, ehitusprotsessist tulenevat spetsiifikat ning muud infot, mida on vaja, et saavutatud tulemust saada. Seda lisainfot võib vaadelda kui projekti spetsifikatsiooni. Need spetsid on üldjuhul jagatud lähtuvalt materjali tüübist ja/või tööklassist. Standardseks spetsifikatsiooni klassifikatsiooniks on *UniFormat*[™] (millest on kaks veidi eristuvat versiooni), *MasterFormat*[®] ning *OmniClass*[™]. Iga materjali, toote tüübi või töö tüübi tähenduses defineerib spetsifikatsioon toodete kvaliteedi või materjalid ning määrab kuitahes erilised tööprotsessid, mida peab järgima.

Võib leida mitmeid IT rakendusi, mis aitavad valida ning redigeerida spetsifikatsioone projektist lähtuvalt ning mõnel juhul ka siduda neid mudeli komponentidega. Üks varasemaid lahendusi, mis BIM projektmudeliga haakus oli *e-Specs*[®], mis töötab ka *Autodesk Revit* tarkvaraga. *e-Specs* hoiab alles linki mudeli komponendi ning selle spetsifikatsiooni vahel. Kui objekti muudetakse, siis teavitatakse ka kasutajat, et seotud spetsifikatsiooni tuleb uuendada. Spetsifikatsioonid võivad olla seotud ka komponentide raamatukogude tasandil, mis tähendab, et spetsifikatsiooni uuendatakse automaatselt kui raamatukogust võetav komponent lisatakse projekti. Teise näitena võib tuua tarkvara nimetusega *LinkMan-E*, mis töötab *Autodesk Revit* mudelitega ning lingib omavahel spetsifikatsioonid, mis loodud kaasneva *Speclink-E* töövahendiga.

UniFormat[™] defineerib dokumendi struktuuri, mis mõeldud täiendama ehitusjooniste paketti. Selle töövahendi üks piiranguid on asjaolu, et antud spetsifikatsioon määratleb väga suure rakendusala koos erinevate võimalike tarkvaradega. Loogiliselt võttes seab see piirangud, kuna lingid on ühepoolsed, sest üks ainus spetsifikatsioon võib olla rakendatud loomult erinevatele objektidele. Seega ei saa üheselt määratleda objekti ning spetsifikatsiooni suhet. Seda formaati on täiustatud, ning seeläbi loodud uus klassifikatsiooni süsteem nimetusega *OmniClass*.

5.3.4. Projekteerimise-ehituse integratsioon

Projekteerimise ning ehituse eraldatust tegelikult ei eksisteerinud keskajal, kuid see tekkis ühes renessansi võidukäiguga. Ajalooliselt oli seega väga pikalt toimiv tandem, kus ehitajad töötasid üheskoos projekteerijatega. Kuid see link hakkas häägustuma. Projekteerijast sai arhitekt ning ühes sellega vähenes kommunikatsioon ehitaja ning projektbüroo vahel. Selle asemel tekkis justkui omaette vorm või suhe, mis oli tingitud suuresti asjaolust, et tõsiste probleemide ilmnemisel kaasneks kohustuse võtmisega teatud risk.

Tänaste ehitiste keerukus on muutunud järjepidevuse hoidmise suurel hulgal jooniste vahel aga väga ja väga väljakutsete rohkeks. Isegi olukorras, kus jooniseid luuakse programmiliselt. Vigade tõenäosus kasvab ühes informatsiooni lisamisega. Kvaliteeditagamise nõuded või protseduurid ei ole lihtsalt piisavad, et kõiki vigasid avastada, kuid selgemaks selge on see, et kõik vead tulevad ilmsiks ehitamise käigus.

Ehitusprojekt ei esita mitte ainult *lõpp-toodet* aga ka ehitusprotsesse. Sedalaadi erisust tunnetame me just nimelt projekteerimise-ehituse integreerimisel. See kaasab projekteerimise protsesse, mis on

teadlik tehnilisest ning organisatoorsest mõjust, mille baasil ehitise ja selle süsteemid kokku pannakse, võttes samas arvesse ka lõpp-toote esteetilist ning funktsionaalset kvaliteeti. Praktikas tähendab see lihtsalt seda, et ehitusprojekt eeldab väga head koostööd ehitusvaldkonna ekspertidega aga samamoodi ka head koostööd projektmeeskonna ning ehitajate ja tootjate vahel. Soovitud tulemuseks on toode ning protsess, mis integreerib kogu vajalikku teadmist. Vaatame lähemalt, kuidas projekteerija sellest kõigest kasu võiks saada:

- Varajane, pika tellimisajaga komponentide määratlus ning seeläbi nende hanke ajagraafikute lühendamise.
- Väärtuspõhine inseneeria projekti täpsustumisel ühes pidevalt uuenevate eelarvestuste ning ajagraafikute, mis omakorda võimaldab n-ö järeleandmisi integreerida täielikult projekti ja mitte jätta neid faktipõhiseks eemaldamiseks või justkui amputeerimiseks, kus muid valikuid enam polnud.
- Lahenduste piirangute, mis seotud võimalike ehituskeerukustega, varajane määratlus. Neid väljavaateid saab ehitajatelt ning tootjatel, et projekt säilitaks oma ehitatavuse ning kajastaks parimaid praktikaid ja mitte jätta muudatuste tegemine liiga hilisesse etappi, millega kaasneks suur kulu või nõustudes madalama detailsusastmega. Kui projekteerimise alguses tootmise parimaid praktikaid arvesse võtta, saab vähendada ehituseks kuluvat aega.
- Aidates määratleda kokkupuutepunkte ehitusstaadiumite ning projekti detailide kirjeldamises, millega ühtlasi vähendatakse ka ehitusega seotud probleeme.
- Vähendades erinevusi ehitusmudelite vahel, mis loodud projekteerijate ning tootmiseks vajalike mudelite vahel, mis vajalikud tootmisettevõtete poolt ja seega eemaldades liigsed tegevused/sammud, mis omakorda lühendab kogu projekteerimise/tootmise protsessi.
- Oluliselt vähendades tootmiseks vajalike detailsuste lisamiseks kuluvat aega, mis omakorda vähendab panust, mis vajalik projekti kavatsuse hindamiseks ning sellega seotud vigade kõrvaldamiseks.
- Oluliselt vähendades koordineerimisega seotud vigade arvu, mis tuleksid ilmsiks erisüsteemide väljaehitamisel.

Osaliselt tuleb arvestada, et projekteerimise-ehitamise koostöö tähendab ka otsust, millal kaasata ehitaja poolne esindaja. Nende kaasatus võib alata ka juba kohe projekti alguses, mistõttu ehituse eripäradega arvestatakse esimesel võimalusel. Hilisem kaasatus on õigustatud vaid juhul kui projekt järgib n-ö lihvitud ehitustavasid või programmiliselt ei vajata otseselt ehitaja/tootja kaasatust. Samas on hea tõdeda, et suureneva trendina on hakatud ehitajaid/tootjaid kaasama projekti varajases staadiumis, mis üldjuhul toob kaasa efektiivsuse kasvu, mida tavapärase *design-bid-build* järgimisel poleks võimalik saavutada.

5.3.5. Projekti läbivaatus

Projekteerimise käigus lähtutakse koostööst projektmeeskonna ning inseneeria ja tehnilise valdkonna ekspertide vahel. See omavaheline konsultatsioon kaasab vajalikus koguses projekti puudutavat infot, selle kasutust ning konteksti spetsialistidele, kes peavad seda läbi vaatama ning saades seeläbi tagasisidet/nõuannet/muudatusettepanekuid. Koostöö kaasab tihtipeale ka probleemsituatsioonide lahendamist, kus iga osaline saab aru vaid teatud osast tervikust.

Traditsiooniliselt on need koostööd toimunud jooniste, fakside, telefonikõnede või füüsiliste kohtumiste taustal. Digijooniste ning mudelite ajastul on muutunud ka viisid, kuidas omavahelist suhtlust teostatakse – üsna selge, et e-kirjade saatmine oli järgmine, mis meie postkaste hakkas tihtipeale ummistama, kuna probleemi kirjeldusest polnud võimalik just kõige lihtsamini alati aru saada. Seejärel juba veebikonverents ning veebipõhised ühiskoosolekud, mis kaasasid juba ka

mudelite ühisvaatamisi. 3D mudelite veebipõhist ülevaatus saab korraldada väga erinevaid lahendusi kasutades, sh *Webex*, *GoToMeeting*, *Microsoft Teams*, *Skype* vahendusel. Konverentsil osalejaid saab kaasata üle maailma ning on piiratud vaid osaleja töö/puhke perioodiga ning ka ajatsoonist tulenevate erisustega. Uued tulijad nagu *Bluebeam Revu* võimaldab PDF-il baseeruvat ning veebipõhist sõltumatuid läbivaatusi, milles ei puudu ka võimalus dokumentide markeerimiseks, mis on eriti kasulik kui meeskonnad töötavad suurte ajatsoonide erisuses. Ühes heli ning pildi kaasatusega saab selliselt koordineerimisega seotud küsimusi väga efektiivselt lahendada.

Suuremate projektide korraldamises on leitud veelgi efektiivsemaid koostöövõimalusi. Nimelt tagatakse kõikide osaliste kaasatus ühes ja samas ärihoones, mistõttu kogu teadmine on olemas ühes ja samas asukohas. Seda soovitatakse rakendada ennekõike IPD tüüpi projektide korral. Selle n-ö väikevend on alternatiiv, kus meeskond kutsutakse periooditi kokku ühte ruumi, milles toimub siis ühine arutelu eelnevalt ettevalmistatud digiesitlusena, millesse on laaditud/kaasatud erinevate osaliste panus (mudelid).

Enamik peamisi BIM süsteeme sisaldavad võimalust mudelite ning jooniste läbivaatuseks ning veebipõhiseks markeerimiseks. Need vaaturprogrammid on aja jooksul muutunud üha võimekamaks (nt *Autodesk Viewer*, mis toetab enam kui 50 erinevat faili formaati vaadeldavana lihtsalt veebibrauseris). Täna sel päeval tasub ennekõike tähelepanu pöörata nende vaaturpakettide lisavõimalustele. Näiteks, kas see toetab objekti-põhise info kuvamist või siis objektide üldist kuvamist/peitmist. Lisaks veebipõhistele vaaturprogrammidele on ka *desktop* tüüpi lahendused endiselt aktuaalsed. Näiteks *Autodesk Navisworks*, mis võimaldab osamudeleid erinevatest allikatest (failiformaatidest) kokku tõsta ja seejärel teostada näiteks vastuolude kontrolli, mis ühtlasi täidab ka koordineerimisega seotud küsimusi. Neid *desktop* mudeleid on seejärel võimalik üles laadida ka veebipõhistesse rakendustesse, et ülevaatajate ringi imelihtsalt laiendada (nt *Autodesk BIM 360 Glue*).

Koostöö töötab üldjuhul vähemalt kahel tasandil. Esmalt siis osaliste vahel (kasutades nt veebipõhiseid suhtluskeskkondi või *desktop* lahendusi) ning teisalt projekti info jagamise tähenduses. Inimese kaasatusel on meil vaja esile tõsta järgmisi läbivaatuse valikuid (võimekust), et lahendada probleemsituatsioone:

1. Projektiga seotud küsimuse/probleemi määratlemine läbi vaatepunkti, milleks on kaamerast vaade probleemsele asukohale.
2. Märkused või muu andmestik, mis probleemi olemust täpsustab.
3. Lihtne võimalus probleemi edastamine projekteerimise rakendusse ning vastutava osalise teavitamine.
4. Probleemide järgmise kontrolli kuniks need on lahendatud.

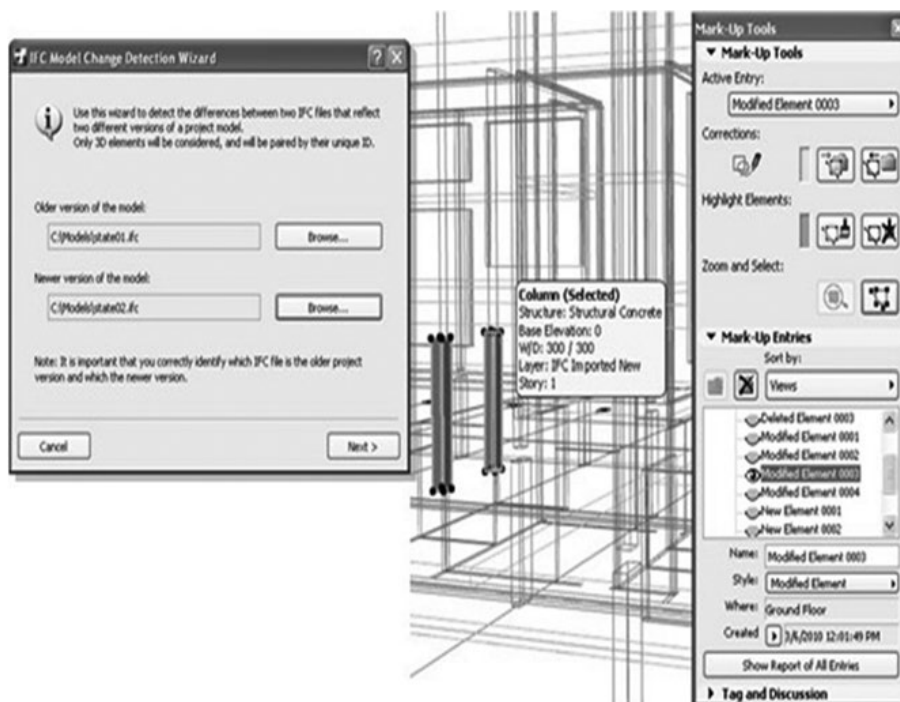
Töövahendid nagu *Autodesk Navisworks* ning *Solibri Model Checker* on pakkunud ennekõike ühte eelnimetatud tasandist. Samas kui *BIM Collaboration Format (*.bcf)* on katnud järgmise valiku. Need valikud, võimalused avarduvad kui me liigume BIM serverpõhistesse lahendustesse.

Kahepoolset ning mudelil baseeruvat vahetust/täiendust/muutmist on kaasatud näiteks konstruktsioonimudelite ülekannetel. Nii IFC kui CIS/2 ehitusinfomudelid toetavad komponentide unikaalseid ID väärtuseid (GUID). BIM platvormid nagu *ArchiCAD* võimaldavad valida või siis filtreerida ehituskomponente, mis on konstruktsioonilised või siis koormust vastuvõtavad ja seda läbi IFC formaadi. Samamoodi töötab ka tagasilink, kuid konstruktsiooni analüüsist on saadud täpsustused (joonis 5.11).

Efektiivsed, koostöö põhised ning kahepoolset linki kaasavaid tööprotsesse on täna sel päeval suhteliselt sujuvalt võimalik saavutada BIMi ning konstruktsiooni analüüsi pakettide vahel. Osaliselt

on need töötavad ka energiasimulatsioonide tähenduses, kuid teised valdkonnad on siin tagasörkjate rollis. Siiski tasub alati silmad lahti hoida ja kontrollida erinevate projekterimistarkvara (ja analüüsipakettide) võimekust, mis on ajas pidevalt muutumises.

Kiirem koostöö projekterijate ning konsultantide vahel on üks oluline eeldus timmitud projekterimise / ehituse filosoofias (ingl *lean design / construction*). Pikale venivad iteratsioonid (muudatuste sooritus) tähendab mõlemapoolset rööprähklemist ja seda üldjuhul mitme projektiga samal ajal töötades. Rööprähklemine tähendab ajakadu, kuna me ei suuda meenutada, mis just selles projektis nüüd seda viga põhjustas, kuna olime haaratud juba teise projektiga, mis kõik võib kaasa tuua inimliku eksimuse kasvu. Hoides aga muudatusi võimalikult lühikeses ajaraamis, aitab meil keskenduda ühele konkreetsele projektile. Selle tulemusel me kulutame vähem aega ning kõik tegevused on seeläbi efektiivsemad.



Joonis 5.10. Väljavõte Tekla Structures mudelist, kus on näha nii teraskonstruksioon, armatuur kui ka betooni valu komponent, mis üldjuhul on toodetud kolme erineva allhankija poolt (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 232).

5.4. Ehitise objektide mudelid ning raamatukogud

BIM defineerib ehitise läbi seda moodustavate objektide või komponentide. BIM töövahendid pakuvad seetõttu valikut eeldefineeritud, kindla geomeetriaga parametriseeritud objekte. Nende näol on tüüpiliselt tegemist standardsete komponentidega, mis saadud läbi ehitustavade ja mida saab kasutada eelprojekti tähenduses. Projekti arenedes muutuvad objektide definitsioonid, kuna arhitektid ning insenerid täiustavad esialgseid, et tagada loodetud või eesmärgiks võetud suutlikkuse näitajaid nagu energia-, valgustuse, akustika- või maksumuse tähenduses. Lisaks täiendavad projekterijad neid komponente, et toetada renderdust. Tehnilisi ning suutlikkusega seotud nõudeid saab esitada nii, et objekti spetsifikatsioonid määravad, mida peab see lõplikult välja ehitatud või valitud toode saavutama. See toote spetsifikatsioon on seejärel aluseks, et valida või välja ehitada lõplik objekt / komponent.

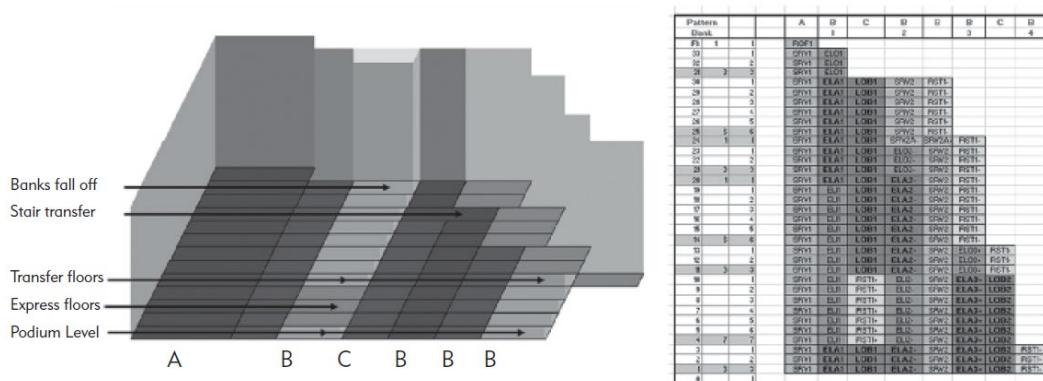
Varasemalt on erinevad mudelid või andmestik käsitsi üles seatud lähtuvalt selle kasutuse eesmärgist ning seetõttu puudus integratsioon. Üldjuhul soovime me aga objekti defineerida vaid üks kord ning kasutada seda mitmel erinval eesmärgil. Selleks võivad olla mitmed põhjused:

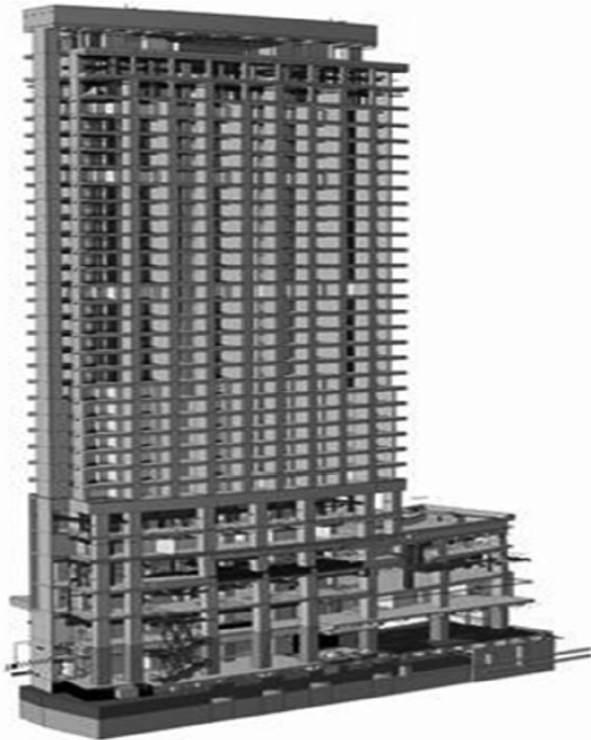
- Toodet esitlevad objektid, kas siis üldised või osaliselt määratud või kindlale tootele osutavad.
- Ehitise koosted (objektide kogumid), mida saab taaskasutada ettevõtte edasistest töodes.

Väljakutseks on siinkohal luua objekti definitsioon, mis on ühtmoodi hea hetke staadiumi jaoks, kuid võimeline katma ka hilisemaid staadiumeid. Hilisemas järgus hakkab see toode asendama spetsifikatsiooni. Seetõttu ongi oluline kirjeldada ühte objekti mitmel erineval tasandil ning spetsifikatsioonis. Sellelaadse protsessi käigus läbivad objektid mitmeid erinevaid täpsustusi, mis kaasab erinevat liiki parameetrite kaasatust, et toetada analüüse, maksumuse hinnanguid jmt. Aja jooksul loodame jõuda punkti, kus need komponendid on kohanduvad lähtuvalt projekti staadiumist (eskiis, põhiprojekt, tööprojekt). Ehituse lõppedes sisaldab vastav ehitusmudel sadades kui mitte tuhandetest erinevaid objekte – paljud neist on üheselt ülekantavad ehitise haldussüsteemi, et toetada ehitise mudelpõhist elukaart.

5.4.1. Kogemuse kaasatus ehituskomponentidesse

Iga projektmeeskond loob projektide tegemise käigus teataval määral intellektuaalset sisu. Mõnel juhul on selle loomise eest vastutav kindel isik. Parameetriliste komponentide loomine, mis seda sama kogemust kaasab, annab võimaluse ühe inimese teadmist üle kanda organisatsioonile ja seeläbi saada kasu laiemalt. Üheks väljundiks on siin ka tüüplahenduste parametrisseerimine. Näiteks kõrghoonete tähenduses, kus hoone põhistruktuur ei pruugigi niivõrd erineda või saab seda lihtsasti parametrisseerida, et arvesse võtta erinevaid hoone programmilisi nõudeid. Seeläbi on võimalik luua lähtepunkt, milles määratakse näiteks korruse laius ning sügavus, korruste arv ja seda siis erinevate korruste tähenduses ja ülejäänud jäetakse juba parameetriliste komponentide kanda, mis siis viivad muudatused/täiendused sisse korruse põhiselt. Selline lähenemine, mis integreerib ka komponentide automaatse nimetamise ja seeläbi jooniste loomise, võib säästa päevi ning nädalaid ning jätab rohkem ruumi erinevatele diskussioonidele ning aruteludele, et luua veelgi paremaid teostatavuse analüüse ühe ainsa kohtumise käigus (joonis 5.11). *Dynamo* või skriptidel baseeruv projekteerimise loogika on siinkohal mõtteainet pakkuv ja ehkki ei pruugi iga lahenduse modelleerimine selliselt end ära, siis tasub mõelda just olukordadele, kus on vajalik genereerida kiirelt erinevaid alternatiivseid lahendusi või on lahendus lihtsasti taaskasutatav ka edasistes projektides.





Joonis 5.11. Baasmooduli esitus ning vertikaalne loogika. Kiirliftid ning aatriumid määravad muuhulgas WC asukohad ning põhituumiku paigutuse. Erikorrused asuvad poodiumil ning lifti vahetuskorrustel (kasutaja poolt määratav). Lisaks on toodud saadav hoone ning selle n-ö südamik ühes fassaadi elementidega (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 246).

5.4.2. Objekti raamatukogud

Ainuüksi Põhja-Ameerika baasil võib lihtsasti kokku panna nimekirja 10'000-st erinevast hoonega seotud tootmisettevõttest. Iga tootja pakub mõnest kuni mõne tuhande tooteni, mis tähendab, et arhitektuurse mudeli esitamiseks on meil sadu tuhandeid võimalusi. Ehitise objekti mudelid (ingl *building object models* ehk BOM) võivad olla nii 2D kui 3D geomeetrilised esitused füüsilistest toodetest nagu ukSED, aknad, seadmed, mööbel ning seinte, katuste ning põrandate kooslused ühes erineva detailsusastmega. Ka ruumobjekte saab soovi korral parametrizeerida, mis siis on ennekõike kasutatavad sellistest standarditest lähtuvates ehitiste ruumiprogrammides nagu haiglad, hooldemajad jne. Aja jooksul saab neist objektidest strateegiline eelis, kuna neid täiendatakse, et need oleksid edaspidiselt taaskasutatavamad. Kasutades objekti raamatukogusid, väheneb ka risk vigade või puuduste olemasolu tähenduses (kuna objektide arendusse on kaasatud nii arhitektid, projekteerijad-insenerid kui ehitise valdajad), eriti olukorras, kus ettevõtte on saanud aru, et eelnevates projektides kasutatud komponente tasub edasi arendada, et neid seeläbi neid uutes projektides väikese vaevaga uuesti kaasata.

On selge, et igasuguste standardite loomisel tuleb samuti arvestada asjaoludega, kuidas neid oleks võimalikult lihtne erinevate osakondade vahel vahetada. Ja vahetada viisil, et vajalikku komponenti oleks võimalikult lihtne leida.

Objekti definitsioonid

Vaatame lähemalt, milline peab olema info vajadus, et objekte laiapõhjaliselt spetsifitseerida:

- 2D või 3D geomeetria (2D vaipkattena ning õhukesteks viimistluskihtideks) .
- Materjalide esitus, nimetus ning graafiline esitus (tekstuur).

- Parameetriline geomeetria, kui tegemist pole fikseeritud komponendiga.
- Ühenduspunktide asukohad ning nõuded/kooskõla teiste süsteemidega: elekter, KV, VK, nõrkvool, konstruktsioon.
- Suutlikkusega seotud spetsifikatsioonid, opereerimise eluiga, hooldusvälp, valguse läbilaskvus jm (sõltub osaliselt ka seadme tüübist).
- Intensiivsuse jaotuskõver (valgustite lõikes).
- Toote edasimüügikanalite lingid.

Need omadused võimaldavad objekti kaasata terviklikuna rakendustesse, mis loovad laiapõhjalisi BIM mudeleid, et omakorda hiljem valida sobiv või määratud toode. Hea näitematerjal on saadaval [BIMObject](#) veebilehel, mis mõtestab lahti, kuidas ehitises kasutatava toote tootjapoolne info on edastatud kogu tööstussektoris (nii toote leht, andmestik, kui ka siis objekti tasandil/formaadis lahti kirjutatuna).

Struktuur ning ligipääs

Erinevad BIM platvormid on isekeskis defineerinud erilaadi objekti tüüpe läbi oma enda objekti perekondade, milles osaliselt kaasatud ka eeldefineeritud atribuudid/parameetrid. Neid raamatukogulisi objekte peab aga integreerima projektidesse nii, et need oleksid standardselt defineeritud BIM platvormi lõikes, et neid saaks õigesti interpreteerida. Täielik integreerimine tähendab objekti klassifikatsiooni, nimetamise reegleid, atribuutide struktuuri ning ka võimalikke kirjeldusi (sh topoloogilisi) teiste objektidega olemasolevate reeglite tähenduses, millega parameetrilisi objekte defineeritakse. Seeläbi saab tagada, et need imporditud objektid toetavad koostoimivust erinevate töövahenditega nagu näiteks eelarvestus, erinevad analüüsi töövahendid aga ka ruumiprogrammi hindamise töövahendid. See võib tähendada, et objekte on vaja tõlkida mingi kindla struktuuri järgi või kindlasse struktuuri, milles on siis lähteparameetrid seotud/lingitud ühtse struktuuriga, võimaldades ühelt poolt töötada nende algses defineerimise režiimis aga ka n-õ tõlgitud või sünonüümi tähenduses.

Selleks, et defineerida ehitise komponentide mudelite sisu (ingl *building object model* või BOM), mis võib olla üha keerukam, peab toetuma konkreetse raamatukogu haldamise töövahenditele, et ühelt poolt hallata ning teiselt poolt jagada neid komponente, millesse on jäetud alles võimalus, et neid saab ümber konfiguratsioonide, ümber tõsta, või visualiseerida.

Klassifitseerimise süsteemid nagu *CSI MasterFormat*, *UniFormat* on vajalikud indekseerimise mehhanismid, et organiseerida ning grupeerida BOM komponente projekti mudelitesse. Näiteks, kui seome BOM komponentidega *CSI MasterFormat* klassifikatsiooni, siis saan neid kasutada projekti spetsifikatsiooni määramisel. Samas kui kasutame *UniFormat* süsteemi ning lisaks ka näiteks tööülesannete jagamise struktuure (ingl *work breakdown structures* ehk WBS) oma BOM komponentide juures, saame neid kasutada mahtude väljavõtteks, eelarvestamiseks ning ehituse planeerimiseks. Samas ei piisa klassifikatsiooni süsteemist (hierarhiast), et kirjeldada toote või kooste konfiguratsiooni või rakendust mingis kindlas projektis.

OmniClass on siinkohal täiendav klassifitseerimise süsteem, mis pakub ka spetsiifilisemat objekti põhist klassifitseerimist ning omaduste defineerimise võimekust/struktuure. *OmniClass* terminoloogiat on kaasatud ka IFD (*International framework for dictionaries*) projekti juures, et luua link *OmniClass* toote ning omaduste definitsioonide vahel, mis oleks kui töövahend, mille baasil saaks projektis olevaid BIM objekte valideerida. Läbi sedalaadi uute indekseerimise ning klassifitseerimise töövahendite, saame standardiseerida objekti nimetuste ning omaduste terminoloogiat ning lisaks saame organiseerida oma objekte rahvusvahelises tähenduses, mida siis projektis defineerida ning kasutada. Hästi defineeritud raamatukogu süsteem peaks toetama mitut erinevat klassifitseerimise

süsteemi, et objekti mudeleid leida; aga ka funktsionaalsust, et BOM raamatukogusid hallata sealhulgas läbi luua raamatukogu sees erinevaid objekti katalooge (vaateid), mida kasutada mingis konkreetses projektis või ehitise tüübi korral; ja lisaks ka funktsionaalsust, millega lahendada erisusi objekti nime ning omaduste grupi vahel üle terve objekti kataloogi.

5.4.3. BOM portaalid

BOM portaali tähenduses mõtleme veebipõhiseid keskkondi, kus jagatakse ehituskomponente (seda nii avalike kui privaatsete andmepankade tähenduses). Avalike portaale iseloomustavad ennekõike märksõnad nagu: objektide ligipääsetavus, üksteisega kommentaaride jagamine. Komponentide navigeerimise tähenduses on olemas võimalused hierarhiliseks filtreerimiseks, otsinguks ning alla laadimiseks. Mõnel juhul pakutakse ka võimalust BOM faile ise üles laadida, et sellest võidaks kogu kommuun. Mõnede portaalide näited on toodud tabelis 5.2. Privaatportaalide juures on tüüpiliselt võimalik komponente jagada ka ettevõtete vahel (saab sõlmida koostöölepingu) ja seda siis kasutamise või muutmise õigustega. Need osalised, kes on mõistnud BOM komponentide kasutamise eeliseid, võivad teha ka koostööd nende välja arendamise tähenduses. Privaatportaalide peamine eelis või erinevus avalike ees on see, et need võimaldavad sisu kaitsta, millesse on siis kaasatud konkurentsieelis jmt.

Tabel 5.2. Traditsiooniliste, arhitektuursete teenuste/staadiumite kirjeldused.

ArchiBASE Net	Ennekõike <i>ArchiCAD</i> tarkvarale mõeldud komponendid ja seda suuresti visualiseerimise tähenduses, ehk siis toote spetsiifika puudub või on ebastandardset lisatud.
BIMObject	<i>BIMObject</i> on üks laiema ulatusega portaalidest. See kaasab sisu väga erinevatelt partneritelt, kuid on ennekõike mõeldud avalikuks kasutamiseks. Komponendid on erinevas formaadis ning parameetrid on range hierarhilise struktuuriga (vt BIMObject Content Style Guide). Arhitektuursete, insenertehniliste komponentide alla laadimise portaal, milles tooted jagatud tootja järgi ning saadaval väga erinevates formaatides (*.rvt, *.3ds, <i>ArchiCAD</i> , *.skp, *.fbx, *.dwg jpt). Võimalus integreerida BIM tarkvarasse läbi äpi.
CADCells	<i>MicroStation</i> ning <i>AutoCAD</i> põhiste komponentide raamatukogud. Enamasti vaid geomeetrilised komponendid, millel pole küljes parameetreid. Tasuline teenus.
FormFonts	Tasuline teenus 3D komponentide jagamiseks. Näiteks kui soovid kellegi kvaliteetset mudelit alla laadida, pead samaväärsel kvaliteediga mudelit ka teistega jagama ehk selle eelnevalt üles laadima.
MagiCloud	Ennekõike MEP (tehnosüsteemidele) keskenduv portaal. <i>Põhja-Euroopas</i> on turueelis, sest paljud tootjad on just siit regioonist. Võimalus integreerida BIM tarkvarasse läbi äpi.
ProdLib	Arhitektuurset ning konstruktoritele mõeldud komponentide raamatukogu (toetatud nt <i>AutoCAD</i> , <i>Revit</i> , <i>ArchiCAD</i> formaadid).
RevitCity	Ennekõike <i>Autodesk Revit</i> sisu, mida on loonud erinevad <i>Revit</i> kasutajad. Kasutajalt kasutajale.
SmartBIM Technologies	Tootja põhine BIM sisu, vaba juurdepääsuga.

5.4.4. Installeeritavad või sisevõrgu raamatukogud

Privaatraamatukogud on tihtipeale tarkvara laiendused, mida saab lisaks installeerida järgides kasutajapoolset failisüsteemi. Neid on võimalik automaatselt laadida kasutatava tarkvara poolt (nt *Autodesk Revit*). Üldjuhul on neis olemas klassifitseerimise süsteem, et komponente oleks võimalik lihtsamini otsida ja/või kaasa haarata erinevaid omaduste gruppe (mis on eelnevalt sisestatud). Siin tuleb vahet teha rakendustel, mis lisatakse küll tarkvarale, kuid mis seejärel suhtlevad veebipõhiste kataloogidega (nt *BIMObject*, *MagiCloud*, jt). Sisevõrgu raamatukogu all mõtleme installaerimisega määratud ning fikseeritud ulatuses valitud komponentide valikut, mida küll on võimalik laiendada uuendamise käigus aga komponendid laaditakse ikkagi kasutaja arvutisse kindlasse alamstruktuuri, kust siis tarkvara on võimeline projekti laadima, milleks pole vaja internetiühendust.

5.5. Mõtteid rakendamaks igapäevasesse projekteerimispraktikasse

Nihutades ehitise põhimahu projekti esituse joonistelt, isegi olukorras kus need on digitaalse esitusena, ehitise mudelile, omab väga palju potentsiaalseid eeliseid: automaatselt koordineeritud joonised; ruumiliste probleemide lihtne määratlus ning elimineerimine; automaatne ja suuresti täpseks loetav mahtude väljavõte; parendatud tugi erinevateks analüüsideks, eelarvestamiseks ning spetsifikatsioonide loomise rakendustele; aga mitte ainult. 3D põhine modelleerimine läbi terve projekteerimise etapi pakub lihtsalt visualiseeritavat nägemust, koordineeritust ja projekti kontrollmehhanismi; ja see võimalus pakub ka täpsemaid projektjooniseid, kiiremat jooniste loomise viise ning parendatud projekti kvaliteeti.

5.5.1. BIMi õigustus

Kuna BIM pakub võimalust, et realiseerida uusi eeliseid, ei tule need kätte niisama. 3D mudeli arendamine, eriti selline, mis sisaldab endas infot ning ka tuge/väljundit erinevatesse analüüsi moodulitesse/rakendustesse ja omab ka väljundit eeltootmisega – see kõik eeldab ka rohkem ja mahukat otsuste vastuvõtmist ning pingutust võrreldes seda tänase või harjumuspärase jooniste keskse tootmisprotsessiga. Kaasates uue süsteemi või tarkvara soetamiseks vajalikku ja vältimatut kulu, koolituskulu ning protsesside muutmisega seotud kulu, võib jõuda punkti, kus tegelikult oleks ratsionaalne mõelda, et see kõik lihtsalt ei tasu ära. Samas, paljud ettevõtted, kes on selles suunas liikunud, on leidnud, et oluline lisakulu, mida on vajalik teha üleminekuks, tuleb tagasi just produktiivsuse kasvuga jooniste loomise faasis. Ainuüksi komponent, mis aitab mudelist luua kooskõlas olevaid jooniseid, on ülemineku väärtuspõhine tugev ja tasuv argument.

Ehitussektori senine äriskeem lähtus tihtipeale mudelist, kus projekteerijad said tasustatud teatud mahus projekti kogumaksumusest (ehitusmaksumusest). Projekti edukust on keerukas määrata: olgu selleks siis sujuvam kulg, vähem probleeme, parem projektlahendi kavatsuse esitus - ja sellest lähtuvalt ka kasumiprognossi. Üha kasvava teadmise, mida BIM tehnoloogia ning praktika suudab pakkuda, on ehitussektori tellijad ning ehitajad hakanud mõistma neid uusi võimalusi. Projekteerija on võimeline pakkuma rohkem teenuseid (sh uusi teenuseid), mida saab omakorda arvestada ka lepingumaksumuse juures. Neid teenuseid saab jagada kahte suurde rühma:

1. Eskiisi arendamine, rakendades suutlikkusel baseeruvat projekteerimist läbi analüüsi ja simulatsioone võimaldavate rakenduste, et leida vastused küsimustele:
 - a. Jätkusuutlikkus (keskkond) ning energia kasutuse efektiivsus.
 - b. Maksumuse ning väärtuse loomise hinnang projekteerimise käigus.

- c. Programmiline hinnang läbi opereerimiste simulatsioonide nagu terviseasutustes.
 2. Projekteerimise integreerimine ehitusega, seotuna projekti edastuse lepingulise vormiga:
 - a. Paranev koostöö üle terve projekti meeskonna: konstruktorid, tehnosüsteemide insenerid, eeltootmisega seotud ettevõtted. BIMi kasutamine parendab projekti tagasiside kvaliteeti, vähendab vigasid, vähendab ka ettenägematute asjaolude teket ning see kõik kokku aitab kaasa ehitise kiiremale valmimisele (välja ehitamisele).
 - b. Kiirem ehitusprotsess, kaasates ehitusplatsi välist komponentide eeltootmist, vähendades ühtlasi ka tööde mahtu ehitusplatsis ning seeläbi tõstes turvalisust.
 - c. Hangete, tootmise ning kokkumonteerimise automatiseeritum lähenemine ning varajasemad hankelepingud pikema tootmisajaga komponentidele.

Esialgsete kulude võrdlemine opereerimise kuludega on arusaadavalt keerukas, millesse on kaasatud erinevad arvestuskursid, muutuvad hooldusgraafikud ning lohakalt järgitavad kulud. Haiglate näitel ([U.S. Department of Veteran Affairs](#)) on leitud, et 18 kuu jooksul või siis opereerimise kulud on võrreldavad esialgse tehtud kulutusega. Mistõttu kokkuhoid opereerimiskulude pealt võib olla väga olulise tähtsusega ning kasumlik. Amortiseerunud ehitiste (hoonete) kulutused energiale võivad aga kogu selle eluea jooksul moodustada ca 1/8 ehitismaksumusest. Kulu ning maksumust mõjutavaid komponente on üksjagu aga nende näidete baasil saame välja tuua, et vähenev opereerimise kulu ning ehitise suutlikkuse kasv on argumendid, mida ehitise omanikud/haldajad on otsimas.

BIMis projekteerimise tootlikkuse eelised

Üks võimalus, kuidas kaudselt hinnata tehnoloogia (nagu *BIM*) rakendamisega saavat saavat kasu, on vigade vähenemine. Seda saab projektis lihtsalt järgida läbi *request for information* (RFI) ehk infonõuete ning *change orders* (CO) ehk muudatuste nõuete. Need kaasavad ka komponenti, mis baseerub tellija meelemuutusel või väliste tingimuste muutumisel. Samas muudatused, mis baseeruvad sisemisel kooskõlal ning õigsusel, on eristatavad ja seega saab teha projektipõhiseid kokkuvõtteid.

Projekteerimisega tegelevad ettevõtted pole tihtipeale kursis meetoditega, mis aitaks neil hinnata oma ettevõtte tootlikkust. Esmaseks sammuks on seetõttu panna paika võrdluse etalon. Mõned ettevõtted hoiavad silma peal ühikmaksumustel, mis seotud projekti arendamise ning tööjooniste loomisega, näiteks olgu selleks siis ehitise põrandapind, fassaadi pind või projekti tüüp. Need võivad olla just nimelt etaloniks, mille baasil siis arvutada kulu või eeliseid, kui võetakse kasutusele uus projekteerimismeetod (Thomas et al., 1999).

Järgmiseks sammuks oleks hinnata tootlikkuse kasvu uue tehnoloogia tähenduses (hetkel siis BIMi). Kui jätta välja mõne BIM tarkvara tootja hinnangud, on tegelikult väga vähe andmeid neist ettevõtetest, kes on BIMi kasutamas ja ka teadusartikleid selle kohta pole just palju. Tootlikkuse kasv konstruktsiooni jooniste loomises, milles kaasatud ka armatuuri täpsustused, on andnud kasvuks 21 – 59 %, sõltuvalt projekti suurusest, keerukusest ning korratavusest elementide juures (Sacks and Barak, 2007). Enne reaalse projektide tegemist on seda mõistagi raske hinnata. Hinnangud peaksid eristama aja kokkuhoidu, kaalutuna keskmise töötasuna, kes siis seda tööd läbi viiksid ning antuna kui protsent ettevõtte aastasest tööjõukulust. See esitab kaalutud produktiivsuse kasvu. Tulemuseks saadavat protsenti saab korrutada aastase otsese tööjõukuluga, mis kasutatav projekteerimis-tegevuste läbi viimiseks ja saada seeläbi aastane tulu.

Kolmandaks sammuks oleks hinnata äritegevuse kasvu, mis saadakse tänu reklaamile, et ettevõtte on BIM suutlikkusega. Mõistagi sõltub see turust, kuid võib olla oluline riigi mõnedes osades.

Viimaks oleks vaja arvutada ka investeeringu vajadus, et see kõik vajalik oskus omandada. Kõige suuremaid kulusid on kindlasti tööjõu koolitamisega seotud kulu, mis peaks kaasama nii otsesest kulu, mis seotud ajakuluga ning õpikõvera seotud kulu, mis väljendub produktiivsuse langusega, kuna õpitakse uusi töövahendeid. Riist- ning tarkvarakulusid saab hinnata läbi BIM töövahendite pakkuja. Produktiivsusest saadav tulu saavutab maksimaalse väärtuse aja jooksul. Seejärel saab arvutada juba aastase investeeringu tasuvuse (ingl *return on investment*), mis siis leitakse aastane tulu jagatuna kogukuluna ja sellest lähtuvalt ka vajamineva katte, et need kulud katta.

Üldiselt võib välja tuua, et BIM töövahendite tähenduses ei eksisteeri ühte ja ainsamat või teistest ideaalsemat. Seetõttu on paljud ettevõtted otsustanud mitte piirata ennast BIM töövahendite valikute juures ja pigem lähtuda sellest, et võimalik oleks kasutada erinevaid BIM tooteid, kuna mõned töövahendid eristuvad üksteisest just osaliste eeliste tähenduses ja pole seega üks-ühele kattuvad.

5.5.2. Koolitus ning kasutuselevõtt

BIM on kui uus IT keskkond, mis vajab koolitust, süsteemide konfigureerimist, erinevate raamatukogude ning dokumendi mallide ülesseadistamist ning projekti üle vaatamise ning kinnitamise protseduuride omaks võtmist, mida tihtipeale kombineeritakse ka uute ärisuundadega. Neid tuleb arendada järk-järgult, kõrvuti olemasolevate meetoditega nii, et õppimisega seotud probleemid ei ohustaks käimasolevate projektide lõpetamist.

Üldjuhul on alati soovitatav teha detailne rakendamiskava olukorras, kui soovitakse BIM-ile üle minna; üleminekut ei saa võtta kui ühekordset tegevust. Mida sidusam see kava on ettevõtte strateegiliste eesmärkidega, seda edukamaks võiks see omaks võtmine kujuneda. Vaatame rakendamiskavaga seotud probleeme veidi lähemalt.

Koolitus algab tavaliselt sellest (sõltub ettevõtte suurusest ja struktuurist), kus üks või väike grupp IT spetsialiste paneb paika süsteemide konfiguratsiooni ning tutvustavad koolituskava ülejäänud ettevõtte töötajatele. Süsteemi konfiguratsioon kaasab riistvara valikut (BIM töövahendid eeldavad võimekamaid tööjaamu), serveri seadistust, ka printimise seadistust, võrgu ligipääse, projekti haldussüsteemidega integratsioon, raamatukogude ülesseadistus ning muud ettevõttele iseloomulikud ning süsteemide seadistusega seotud tegevused.

Esmased projektid peaksid fokuseerima baasoskuste arendamisele, milles siis teostatakse ehitiste modelleerimist ning neist jooniste tegemist, kaasates samal ajal ka objekti perekondade defineerimist ning seeläbi panna paika põhitõed enne kui liigutakse mahukamate integratsioonide juurde. Kui projekti halduse põhitõed on paigas võib liikuda edasi, et saada kasu ka ülejäänud integratsioonidest ning koostöö eelistest, mida BIM-il pakkuda.

Üks oluline hoiatus BIMi omaks võtmise varajases staadiumis on vältida mudelisse liiga palju info või detailide koondamist. Kuna BIMis on kasutatavad projekti defineerimise meetodid ning detailsuse lisamised osaliselt automatiseeritud, siis on võimalik, et detailsuse liiga varajane kaasamine, võib projekti kavatsus kaduma minna. Detailsemad mudeleid saab mõistagi lihtsasti arusaadavaks muuta, kuniks veel eskiisi staadiumis, kuid võib samas ka viia vigadeni ning tellija poolsete lahkarvamusteni, kus tahtmatult tehakse kaugeleulatuvaid otsuseid, mida on keerukas ümber pöörata. BIMi kasutaja vaatepunktist on oluline seda mõista ning hallata detailsuse astet märksa nähtavamalt kui seda tehakse käsitsi. Konsultantidele ning kaasalööjatele edastatud detailsusastme üle vaatamine võib end samuti ära tasuda. Sõltuvalt nende rollist, võib neid kaasata aruteludesse kas siis varem või hiljem. Näiteks detailset tehnosüsteemide 3D esitust pole mõtet enne teha, kui ollakse protsessi lõpp-faasis, et vältida korduvaid ümber tegemisi. Samas need, kes on kaasatud fassaadide konsultantidena ning

tootjatena, neid tuleks jällegi kaasata võimalikult vara, et paremini planeerida konstruktsiooni sõlmi ning liitekohti.

Suuremate projektide juures esitab arhitekt vaid komponendid ühe esitusviisi. Koostöö eeldab aga inseneride ning konsultantide kaasamist. Kui esmane integratsioon võib veel baseeruda joonistel, siis edasised sammud tuleks kiiremas korras nihutada mudel-põhiste vahetusprotseduuridele. Mudelpõhised koordineerimised ning üle vaatamised ja vahetusmeetodid tuleb paika panna osalevate ettevõtete vaheliselt. Selleks võib olla ka veebipõhised lahendused.

5.5.3. Järk-järguline kasutamine

Lisaks eelnevalt kirjeldatud väliste teenuste arendamisele, tuleb mõelda ka alljärgnevale:

- Integratsioon eelarvestusega, et oleks võimalik teostada selle järgimist läbi terve projekti täiustumise.
- Integratsioon spetsifikatsioonidega, et võimaldada paremat info haldamist.
- Projektipõhine integratsioon ühes suutlikkuse analüüsiga nii energia, õhuvoolude, valgustuse tähenduses, mida varasemalt on pigem arvesse võetud intuitiivselt.
- Ettevõtte siseste detaili-raamatukogude arendamine, ruumobjektide konfiguratsioonid ning muu projekteerimisega seotud info loomine, et ettevõtte sisest ja isikutega seotud ekspertteadmist kanda üle ettevõtte kui korporatsiooni teadmiseks.

Iga eelnimetatud integratsioon eeldab omaette planeerimist ning tööprotsesside ja meetodite välja arendamist. Valides järk-järgulise lähenemisviisi, võimaldab see liikuda ka samm-sammulise koolitusplaani ning rakendamiskavaga erinevate teenuste välja kujundamisel ilma suuri riske võtmata, mis toob kaasa radikaalselt uue võimekuse kogu projektmeeskonna tähenduses.

5.6. Uus ning muutuv personal

Suuremaid väljakutseid uute projekteerimis-tehnoloogiate rakendamises on intellektuaalne muutus/üleminek, milles kogenud projektmeeskonna liikmed võtaks omaks uued tavad. See kogenud personal, väga tihti ka partnerid, omavad kümnetes aastates mõõdetavat kogemust tellijatega, projekti arendamise protseduuridega, projekti ning ehitamise planeerimisega ning ajagraafikuga ning projekti haldusega, mis esitab olulist osa intellektuaalsest omandist selles edumeelses ettevõttes. Väljakutseks ongi neid kaasa haarata viisil, mis ühelt poolt võimaldab neil jätkata oma kogemuse pakkumist, kuid ka saada osa BIMi poolt pakutavast võimekusest.

Mõned võimalikud, efektiivsemad viisid, kuidas seda väljakutset lahendada:

- Meeskond teeb koostööd nooremapoolsemate BIM-usku projektmeeskonnaga, kes siis suudavad integreerida partnerite teadmist uue tehnoloogiaga.
- Pakkuda individuaaltrainingut kord nädalas või muu regulaarse ajagraafiku põhimõttel.
- Nn sprindivõistluse korraldamine kogu projekti tiimile, mis kaasab ka partnerite koolitust vabamas õhkkonnas (väljasõit, koolitus jne).
- Ettevõtete külastus, kes on juba BIM-ile üle läinud, erinevatel seminaridel ja/või veebipõhistel seminaridel osalemine.

Sarnased üleminekuga seotud probleemid tuleb n-ö lahendada ka ülejäänud vanemapoolse personali juures nagu näiteks projektijuhid. Sarnased meetodid on rakendavad ka nende üleminekute saavutamiseks. Ükski meetod ei anna garantiid. Tihtipeale võib öelda, et projekteerimis-ettevõtte üleminek on suuresti kultuuriline. Läbi nende tegevuste, toe ning väärtushinnangute, edastavad kogenud töötajad oma vaateid uue tehnoloogia kasutuselevõtuks läbi ettevõtte uute ning nooremate töötajate.

Teiseks oluliseks väljakutseks mistahes projektmeeskonnas on muutuv personali oskustase. Kuna BIM võimendab kõige otsesemalt projektiga seotud dokumentatsiooni loomist, siis muutub ka mistahes projektiga seotud tundide arvestus ja seda siis viisil, kus konstruktsiooni dokumentatsioonile kulub oluliselt vähem aega. Võib eeldada, et BIM-kogemusega projekteerija suudab projekti kavatsust ning detailsust ette kujutada oluliselt väiksema jooniste või siis modelleerimise mahuga kui seda nõudis eelnev lähenemine. Detailid, materjalide valik ning esitusviisid tuleb defineerida vaid ühel korral ja seda saab seejärel kaasata kõikide jooniste juures, kus see detailsus peaks siis nähtaval olema. Selle tulemusel väheneb ka noortöötjate arv, kes ennekõike on töötanud konstruktsioonidokumentide loomisega. Ühe kokkuvõttena võib tuua arhitektuuriga tegeleva ettevõtte näite (tabel 5.3). See kokkuvõtte baseerub peaarhitekti tehtud kokkuvõtetel. Ehkki töötundide arv vähenes, siis maksumus sellest hoolimata ei vähenenud oluliselt, kuna tekkis vajadus suurema kogemusega tööjõu järele.

Tabel 5.3. Vajaduste nihe tüüpilises projektis projekteerimisostuste suunas.

Ametikoht	Projekti tunnid		Muutus
	Enne BIMi	Pärast BIMi	
Ettevõtte juht	32	32	0%
Projektijuht	128	192	33%
Peaarhitekt	192	320	40%
Arhitekt 1	320	192	-67%
Abitöötajad (arhitektuur)	320	96	-233%
Kokku	992	832	-19%

Ehkki vajadus arhitektuuri abitöötajate tähenduses väheneb, on jooniste puhastamine, mudelile detailsuse lisamine, osamudelitega integreerimine ning koordineerimine endiselt väga oluline ning väärtuslik tööülesanne.

BIM tehnoloogia toob kaasa uue üldkulu liigi, mis ei ole seotud tarkvara investeeringuga. Nii nagu ka paljud ettevõtted on aru saanud, süsteemi kui terviku haldus, mida väga tihti teostab ettevõtte vastutav IT-spetsialist, omab väga olulist rolli. IT-st sõltumine suureneb olukorras, kus see pakub tuge suuremaks produktiivsuseks nii nagu elektritarbimine või siis vajadus on kasvanud enamike tööülesannete täitmise juures. BIM paratamatult mängib oma osa selles sõltuvuses.

Kui projekteerimisettevõtte võtab BIMi omaks, peavad nad määrama vastutuse kahele väga olulisele rollile, millel rajaneb väga suur osa nende edust:

1. **Süsteemide integreerija** – siin omatakse vastutust, kuidas püstitada BIM andmete jagamise meetodid teiste konsultantidega, kes siis võivad olla ettevõtte sisesed või välised. Need on seega ettevõtte või selle harudega seotud vastutustasemed. See kaasab ettevõtte põhiste raamatukogude ning mallide ülesseadmist. Valitud rakendused võivad kuuluda n-ö ühte toote perekonda ja seeläbi leida kasutust projektist projekti või erinevat laadi, mis siis pannakse paika projekti iseloomust ning kaasatud partneritest lähtuvalt.
2. **Mudeli haldaja** – ehkki jooniste versiooni haldus ning nende väljalasked on väga hästi defineeritud ka joonistel baseeruvate protsesside kaasamisel (kas siis paberil või digitaalselt), võimaldab BIM seda vaadelda mõnevõrra avatumalt. Näiteks võib eksisteerida vaid üks tervik mudel või siis saaduna üksikute mudelite kombineerimise teel. Kuna mudelid ise on ligipäätavad 24/7, võivad väljalasked toimuda samuti mitu korda päevas. Seetõttu eksisteerib ka risk, et mudel võib muutuda kasutuskõlbmatuks või osaliselt rikutuks. Kuna aga projekti mudel omab ettevõttele väga suurt väärtust, peab ka andmete terviklikkus olema seotud selle hallatavusega. Mudeli haldaja määrab eeskirjad, mida peab järgima, et tagada

lugemise ning uuendamise õigused kaasamaks nii konsultantide panust, koordineeritud tööprotsesse ning mudeli terviklikkust läbi versioonihalduse.

Mudeli kontrollida ning väljalasetega tegelemine eeldab väga suurt tähelepanu kuniks teatud tavad muutuvad standardiks. Mudeli haldaja rolli tuleb seega võtta tõsiselt ning kasutada iga projekti juures.

5.7. Küsimused aruteluks

1. Mõeldes infovajaduse detailsusele, mida on vaja eelarvestamiseks, ajagraafikute ning tellimuste tegemiseks, palun reasta oma soovitused, mis seotud detailsusastmega, mida peab mudeli defineerimisel järgima projekti algstaadiumis. Kuidas see eristub eskiisi etapist? Arutle ning tee soovitusi, millised peavad olema projekteerija rollid, et neid tegevusi toetada.
2. Tutvu olemasolevate juhtumiuuringutega. Seejärel määratle ehitise, mis on projekteeritud läbi ulatusliku BIMi kasutuse ning valmista ette oma enda juhtumiuuring. Analüüsi ning raporteeri, kuidas projekteerimist läbi viidi, kuidas jagati infot projekteerijate vahel ning projekteerimise ja analüüsi rakenduste vahel ja mis info kanti üle tootmisesse ning ehitamisesse. Olemasolevaid näiteid leiad ka paljude BIM tarkvarade tootjate ning projektbüroode veebilehtedelt.
3. Mõttele mingile kindlale ehitise (hoone) süsteemile, nt ripplagi või karkassile toetuv fassaad. Selle süsteemi lõikes, määratle, kuidas saaks seda toetada läbi automatiseeritud töövahendite, et seda rakendada kindla projekti huvides. Kuidas oleks võimalik korraldada selle tootmist? Määratle, millised automatiseerimise viisid on otstarbekad tänasel päeval ja millised mitte.
4. Leia soovituslikud paigaldusandmed, mis on vajalikud tehases toodetud ukse, akna või katuseakna paigaldamiseks. Analüüsi, kasutades paberit ja pliiatsit, millised detailid võivad olla erinevad. Määra need eristused kui spetsifikatsioonid, mida automaatse detailsuse lisaja peaks tegema ning kujunda graafiline liides (dialoogi tähenduses), et seda konkreetset toodet saaks vastavalt konfigureerida.
5. Paku välja üks uus teenus olemasolevale projektbüroole, mis lähtub BIMi võimalustest. Too välja, mismoodi võiks see teenus olla omanikule kasulik. Samuti too välja hinnastamise põhimõtted (struktuur) ning selle taga peituv loogika.
6. Eskiis luuakse tihtipeale ebatraditsioonilise BIM töövahendiga nagu *form-z* või *Maya*. Esita alternatiivne kavandamise loomeprotsess, mis siis üht nimetatud toodet kaasaks ja võrrelduna mõne uue BIM töövahendiga. Hinda nii kulu- kui eeliste põhiselt mõlemat arendamise suunda.

6. BIM ehitajale

Kasutades BIM tehnoloogiat omab suurt eelist ka ehitussektoris nii aja kui raha kokkuhoiu tähenduses. Täpsest ehitise mudelist saavad kasu kõik projekti meeskonna liikmed. See aitab läbi viia sujuvamat ning paremini planeeritud ehitusprotsessi, mis hoiab kokku aega ning raha ja vähendab võimalikke vigasid ning puudujääke. Selles peatükis vaatame lähemalt, kuidas ehitaja võiks saada osa neist eelistest ning milliseid muudatusi ehitussektoris on selleks vaja ette võtta.

Ilmselt kõige olulisem nõuanne on, et ehitaja peab olema kaasatud projekti varajases staadiumis või otsida sellist tellijat, kes vajaks varajast kaasamist. Ehitajad ning tellijad peavad omakorda kaasama ka allhankijad ning tootjad, et BIMist täit kasu saada. Traditsiooniline *design-bid-build* tüüpi hange piirab ehitaja kaasamist ning seeläbi lõikab ära olulise osa teadmised projekti projekteerimise faasis, kus tegelikult saaksid nad anda väga suure panuse. *Integrated project delivery (IPD)*, milles koostööle suunatud lepinguvorm kaasab nii arhitekti, projekteerijaid, ehitajat ning oluliseid tarnijaid kohe projekti algusest peale, võimaldab BIMi kasutada selle parimast, koostööle suunatud vaatenurgast.

Ehkki osa võimalikust panusest, mida ehitaja on andnud, kaob ära peale projekteerimisetapi lõppu, saavad ehitaja ning projekti meeskond endiselt märkimisväärseid eeliseid läbi ehitusmudeli kasutamise, et seeläbi toetada ehitustegevustega seotud protsesse. Neid eeliseid saab ennekõike kogeda olukorras, kus mudel luuakse konsortsiumi sees ja millesse kaaspanustavad allhankijad, tootjad. Samas tuleb rõhutada, et välise konsultandi poolt loodud mudel on samuti võimalik.

Ehitusmudeli detailsusaste on seotud sellega, millisteks funktsioonideks (või eesmärgil) seda kasutatakse. Näiteks täpse eelarvestuse tegemiseks peab mudel sisaldama piisaval hulgas detailiseeringuid, seeläbi saada kätte materjalide mahud, millel eelarvestus põhineb. Samas 4D CAD ajagraafiku analüüsiks piisab ka väiksemast detailsusastmest, samas peab see sisaldama endas ka ajutisi tööülesandeid (tellingud, kaevemahud) ning ka esitama olukordi, mismoodi ehitus etapi viisilisel ellu viiakse (nt kuidas toimub korruse valamine, seinte järjestus jne).

Üks suuremaid eeliseid tuleneb vahetust ehitajaga koordineerimisest, mis on saavutatav kui kõik allhankijad kasutavad ning täiendavad ehitusmudelit oma töömahu piires. See võimaldab täpset vastuolude kontrolli ning vastuolude lahendamist enne kui neist saavad probleemid ehitusplatsil. Samaväärsed kontrollid lubavad ehitusega seotud probleeme määratleda ning lahenda kõige kiiremal viisil. Lisaks võimaldab see siis eeltootmist, mis vähendab ehitusplatsil tehtavaid kulutusi ning aega ning samas suurendades täpsust. Nendest stsenaariumitest tuleb lähemalt juttu.

Ehitaja, kes mõtiskleb BIMi kasutama hakkamist, peaks olema teadlik, et sellega kaasneb märkimisväärne õpikõver. Joonistelt üleminek ehitusinfo mudelile pole kergete killast, kuna see on seotud peaaegu kõikide teiste äriprotsessidega, mis peavad ühes BIMi kasutusele võtuga samuti vähemasti osaliselt muutuma. Selgemast selge, et neid muudatusi on vaja planeerida ning saada tuge konsultantidelt, kes aitaksid seda pingutust ellu viia. Sellest lähtuvalt tuleb esitada ka soovitusi ühes võimalike probleemidega, mida analoogne muutumine kaasa toob.

Juhul kui tellija või projekteerija poolt BIM-ile suunajat pole võtta, on iseenesest mõista ehitaja ise see, kes juhib oma BIMi protsesse eeldusel, et nad saavad seeläbi eeliseid oma ettevõtte piires ja ühes sellega tõstavad konkurentsivõimekust, milles BIM oma rolli varem või hiljem mängima hakkab (koostööpartnerite tähenduses/valikul).

6.1. Sissejuhatus

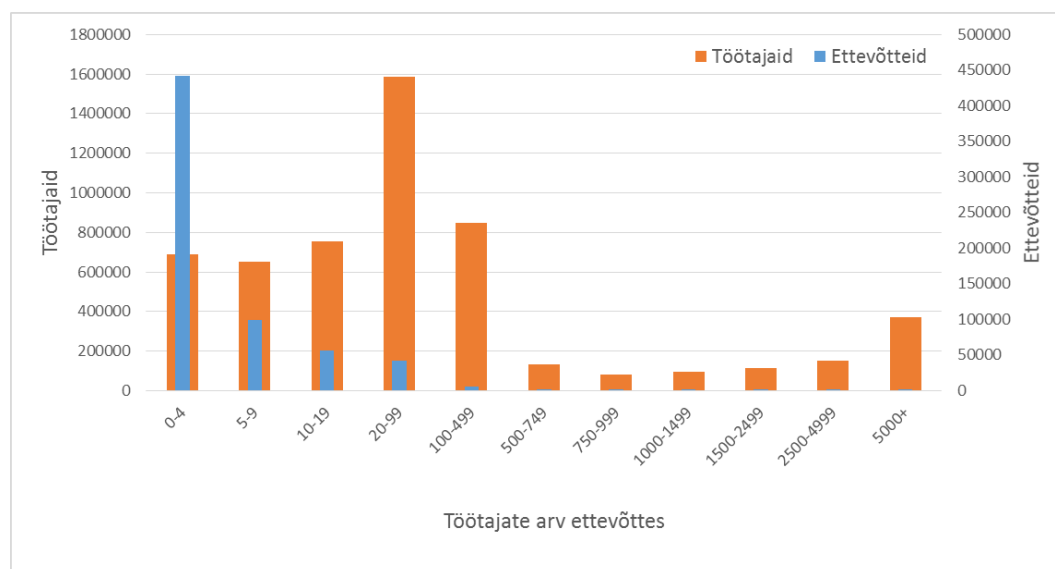
Teeme esmalt põgusa ülevaate erinevatest ehitusettevõtetest ning sellest, kuidas *BIM* võiks nende spetsiifilisi vajadusi katta või eeliseid luua. Seejärel vaatame lähemalt juba erinevaid rakendusvaldkondi, mis on üle kantavad enamikele ehitajatele. Nendeks on:

- Ehitatavuse analüüsid ning vastuolude kontroll.
- Mahtude väljavõtt ning eelarvestamine.
- Ehituse analüüsid ning planeerimine.
- Integratsioon maksumuse ning ajagraafikute kontrollimiseks ning teiste, haldusega seotud funktsioonide tähenduses.
- Eeltootmine.
- Ehitustegevuste kontroll, suunamine ning järgimine.
- Üleandmine ning vastuvõtmine.

Vaatame põgusalt ka vajalikke muudatusi lepinguvormide ning organisatsiooni kui terviku tähenduses selleks, et *BIM*ist saaks lõigata maksimaalset kasu.

6.2. Ehitusettevõtete tüübid

Ehitusettevõtete tähenduses eksisteerib väga palju erinevaid tüüpe, näiteks suuri kontserne, mis opereerivad mitmes riigis ja pakuvad erinevaid teenuseid väiksematele ettevõtetele, kellel on oma enda juhtkond/omanik, kes siis töötavad ühe projektiga korraga ning pakuvad seeläbi kõrgekvaliteedilist teenust. Statistiliselt saab välja tuua, et märksa rohkem on neid väiksemaid ettevõtteid, kes viivad läbi väga suure osa ehitusmahtudest. *Joonis 6.1* esitab väljavõtte 2013.ndast aastast, mis näitab, et väikeste ettevõtete poolt teostatavad mahud moodustavad väga suure osakaalu.

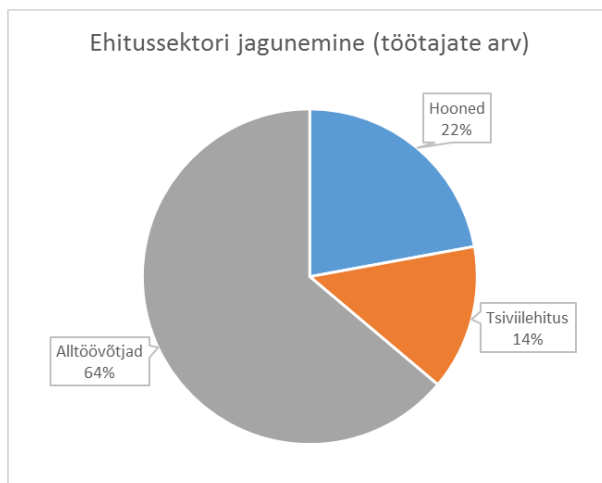


Joonis 6.1. Ehitusettevõtete jaotus lähtuvalt nende suuruselt (töötajate arv) (allikas: U.S. Small Business Administration, By 2-Digit and Detailed Firm Size).

Joonis 6.1 põhjal saab väita, et väga suur ettevõtete osakaal on just töötajate arvuga 1-19 (ca 92%). Samas kui suurem osa ehitusettevõtete töötajatest teenivad leiba ettevõtetes, kus on rohkem kui 19 töötajat (ca 62%). Vaid väga väike osa ettevõtteid (0.15 %) omas rohkem kui 500 töötajat, samas kui summaarse töötajate arvuna moodustasid nad 17 %. Keskmise ettevõtte omas 9 töötajat.

Kui vaatame lähemalt ehitiste valdkonda, siis on ka siin täheldatav väga lai ehitajate valik nende poolt pakutavate teenuste tähenduses. Suurem osa tööstusest koosneb ehitajatest, kes alustavad eduka pakkumisega või läbirääkimiste käigus saadud maksimum hinnaga/tasuga, viivad ellu osa tegevusi ning seejärel palkavad alltöövõtjad erialaste teenuste tegemiseks. Mõned ehitusettevõtted ongi turul vaid piiratud teenustega ja näiteks pakuvad projektijuhtimist (või ehitusprotsesside juhtimist). Nad palkavad kogu ehitustööde ulatuses alltöövõtjad. Hoopis teisest servast leiab me ka *design-build* tüüpi konsortsiumid, kes vastutavad nii projekteerimise kui ehitusprotsesside eest, kuid suurem osa ehitustöödest võtavad nad allhankimise korras. Enamike ehitajate töösuhe lõpeb ehitise valmimisega, kuid on ka neid, kes pakuvad järelteenust valminud ehitise käitamiseks, haldamiseks (*build-operate-maintain*). Joonis 6.2 toob välja ettevõtete jagunemise ehitusettevõtete valdkondade tähenduses (2017 detsember näitel). Paneme tähele, et enamus ettevõtteid langeb eriteenuste pakkumise kategooriasse, kelleks on omakorda enamjaolt väikeettevõtted, kes pakuvad alltöövõttu.

Majaehitajad erinevad teistest ehitusettevõtetest selle poolest, et nad käituvad kui arendajad; ostes kokku maad, teostades detailplaneeringud, planeerides ning ehitades välja toetava infrastruktuuri ning projekteerides ja ehitades vastavatele kruntidele majad, mis siis maha müüakse. Majaehitajaid on samuti nii suuri (kes võivad ehitada aastas tuhandeid hooneid) kui väikeseid, kes korraga tegelevad ühe hoone püstitamiselega.



Joonis 6.2. Ehitusettevõtete jagunemine valdkonna järgi (allikas: *Bureau of Labor Statistics*, 2017 dets).

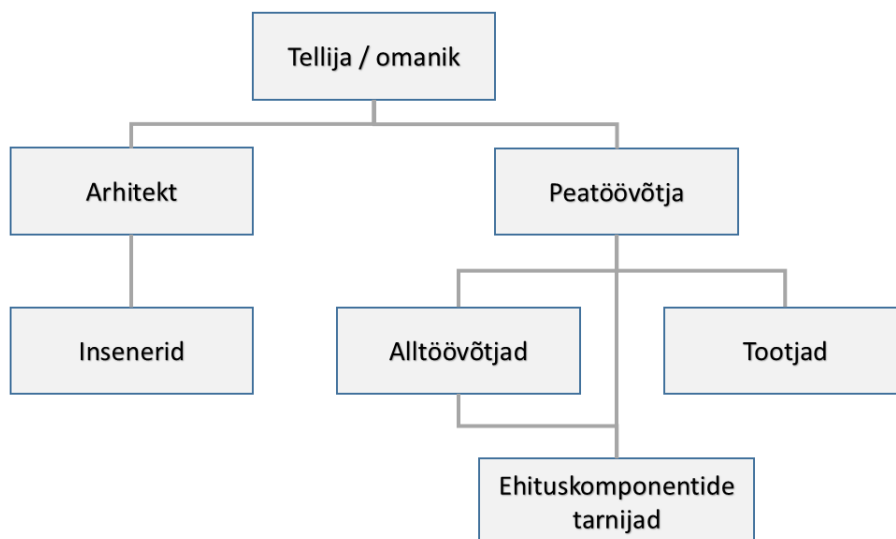
Komponentide tootjad, kelle tootmine on ehitusplatsilt eemal, on kui hübriid tootjate ja ehitajate kooslusest. Mõned tootjad, näiteks monteeritavate betoonelementide tootjad, toodavad erinevaid standardtooteid aga ka eritooteid, mis vajalikud spetsiifilisele projektile. Teraskomponentide tootjad langevad samasse kategooriasse. Lisaks on kolmas grupp, kes kuuluvad eritoodete tootjate hulka, kelle toodeteks on konstruktsioonilised või dekoratiivsed elemendid, mis võivad olla nii terasest, klaasist, puidust kui mistahes muust materjalist.

Mõistagi on palju erinevaid alltöövõtjaid, kes on spetsialiseerunud mingile kindlale alale või tööle. Näiteks elektrikud, torustike paigaldajad või kütte-ventilatsioonisüsteemide paigaldajad. Peatöövõtja valib need alltöövõtjad, kas siis läbi pakkumisvooru või on need juba eelvalitud eelneva kogemuse baasil, kuna sama ressursi või tööjõudu-kogemust kasutati ka mõnes varasemas projektis ja seega on efektiivne koostöö tagatud. Nende alltöövõtjate spetsialiseeritud ehitusalased teadmised võivad osutada väga väärtuslikuks just projekteerimise käigus ning paljud neist teostavad ka projekti kontrollimist (mida võib nimetada ka kui projekteerimise juhendamiseks) aga pakuvad ka

väljaehitamise teenust. Alltöövõtjate poolt läbiviidav tööhulk on varieeruv ja sõltub suuresti töö iseloomust ning lepingusuhetest.

Tüüpiline projekti meeskonna koostus on toodud *joonisel 6.3*. On selge, et projektimeeskonna saab kokku panna mitmeti. Üheks võimaluseks on viis, et omanik palkab ehitusjuhi (ingl *construction manager* ehk CM), kes siis annab nõu, kas omanikule või arhitektile projekti ehitamise käigus, kuid harva võtab endale kohustuse hinnata riske, mis võivad viia projekti ülekulule.

Design-build (DB) tüüpi projekt eristub *joonisel 6.3* toodud "tüüpilisest" organisatsioonist üksjagu. DB organisatsioon eeldab vastutust nii projekteerijale kui ehitajale. See pakub ühetaolist vastutuse vaatenurka pea kõikidele võimalikele probleemidele, mis projektis ette tulevad, peale projekti eesmärkide paika panemist, kogu eelarve kinnitamist ning ajagraafiku määramist. DB mudel vähendab riske ka tellijale, kuna see eemaldab olulise vaidlusmomendi, mis seotud ilmnunud probleemile vastutaja leidmisega, olgu selleks siis projekteerimise või ehitamisega seotud asjaolu. BIMi kasutamine DB-tüüpi projektides on väga kasulik, kuna võimaldab projektmeeskonda kaasata kohe projekti algusest ning seega on kogemuslik baas ehitusmudeli loomiseks terviklikult olemas ja ka ühiselt jagatav.



Joonis 6.3. Projekti meeskonna tüüpiline struktuur ehitisega seotud projektide juures.

Seda olulist eelist pole aga võimalik saavutada, kui DB ettevõtte töötab n-ö traditsioonilisi meetodeid kasutades nagu 2D või 3D CAD töövahenditega, mille väljundiks on joonised või muud dokumendid, mis lihtsalt jagatakse välja ehitusgruppidele peale projekteerimisetapi lõppemist. Sellisel juhul kaob enamus BIMi eelistest, mida see projekti võib tuua, kuna ehitusmudel tuleb luua peale projekteerimisetapi lõppu. Ehkki ka see võib luua mõningast väärtust, siis ignoreeritakse siin üht BIMi olulisemat eelist, mida see ehitajale anda võib – nimelt saada jagu projekteerimise ja ehitamise integreeritavuse puudulikkusest. Integratsiooni puudumine on paljude projektide *Achilleuse kannaks*.

6.3. Ehitajate infovajadus BIM-st

Arvestades eelnevalt toodud ehitajate jagunemisest, pole üllatav, antud valdkond kasutab väga erinevaid protsesse ning töövahendeid. Suuremad ettevõtted kasutavad oma põhitegevustes peaaegu alati tarkvaralisi lahendusi, sh: eelarvestamiseks, ehituse planeerimiseks ning ajagraafiku koostamiseks, maksumuse kontrolliks, arvepidamiseks, hangete korraldamiseks, tarnija ning pakkuja haldamiseks, turundamiseks jpm. Ülesanded, mis aga seotud projektiga nagu eelarvestamine, koordineerimine, ajagraafikute koostamine, - siis siin on lähtepunktiks paberil olevad joonised ning

spetsifikatsioonid ka olukorras, kus arhitekt on kasutanud mõnda 2D või 3D CAD süsteemi. See tähendab, et ehitaja peab mahtude väljavõtteid tegema käsitsi, et saada täpne eelarvestus ning ajagraafik, - mis on aga ajamahukas, tüütu, vigade rohke ning väga kulukas protsess. Sel põhjusel jäetakse eelarvestamine, jooniste koordineerimine ning täpsustatud ajagraafikud projekteerimise lõpp-faasi. Veelgi olulisem on ilmselt rõhutada, et ehitajat ei kaasata projekteerimise protsessi ning ta ei saa anda soovitusi, mis vähendaks tehtavaid kulutusi ilma, et peaks kvaliteedist on jätkusuutlikkuses järeleandmisi tegema.

Õnneks on see meetod muutumas, kuna ehitajad on aru saamas BIMi väärtust projektmeeskonna koostöö ning ehituse haldamise tähenduses. Kasutades *BIM* töövahendeid, suudavad arhitektid ilmselt mudeleid hankesse esitada mõnevõrra varem, mida seejärel ehitaja saab kasutada eelarvestamiseks, koordineerimiseks, ehituse planeerimiseks, eeltootmiseks, hangete koostamiseks ja muudeks tegevusteks. Miinimum, mida mudel ehitajale pakub on võimalus, et ta saab kiirelt lisada täpsustavat informatsiooni. Nende võimaluste kasutamiseks peab ehitise mudel kaasama vähemalt järgmist informatsiooni:

- **Detailset ehitise infot** kättesaadavama 3D mudelist, mis võimaldab graafiliselt vaadata ehitise komponente viisil nagu seda on varasemalt tehtud tüüpilistelt ehitusjoonistelt. Lisaks peab saama seda infot võtta mahtude tähenduses välja koos vajaliku komponentide põhiste infoga.
- **Ajutisi komponente**, mis esitavad varustust/seadmeid, raketist ja muid ajutisi komponente, mis on kriitilise tähtsusega projekti tegevuste järjestamiseks ning planeerimiseks.
- **Spetsifikatsioon igal ehituskomponendil**, mis lingib teksti põhise info iga komponendiga, mida ehitaja peab soetama või välja ehitama. See info on vajalik hanke läbiviimiseks, paigaldamiseks ning vastuvõtmiseks.
- **Analüüsi andmestik, mis seotud suutlikkuse näitajatega ning projekti nõuetega** nagu konstruktsioonilised koormused, ühenduspunktide (sidemete) reaktsioonid ning maksimaalsed momendid ja nihked aga ka soojust-ning jahutuskoormused HVAC süsteemi tonni kohta, valgustatuse näitajad jmt. Seda infot vajatakse hangete korraldamiseks, tootmiseks ning ka tehnosüsteemide täpsustamiseks.
- **Projekteerimise ning ehituse hetkeseis** mistahes komponendi kohta, et oleks võimalik jälgida ning kinnitada komponentide kulgu võrrelduna projektiga, hankega, installeerimisega ning testimiseks (kui see on asjakohane). Sedalaadi andmestik lisatakse mudelisse ehitaja poolt.

Ükski BIM töövahend või ehitaja ei ole täna pädev, et neid nimetatud nõudeid korruga täita, kuid see nimekiri esitab infovajaduse, mida BIM rakendamiseks on vaja. Tänaused BIM töövahendid saavad väga edukalt hakkama kahe esimese punktiga. Isegi kui projekti meeskonnad on loodud kohe projekti alguses, võib iga osaleja kasutada erinevat töövahendit, et luua oma enda ehitusinfo mudel või selle osa. Nende kokkutõstmise, mis ei tähenda lihtsalt graafilise osa kokkutõstmist, võib osutada üsna keerukaks. Seetõttu on kaheldav, kas tänaasel päeval on kõiki funktsioone kandvat mudelit võimalik luua? Selleks tuleb naasta koostalitluse peatüki juurde, et leida sobivaid meetodeid parima tulemuse saavutamiseks.

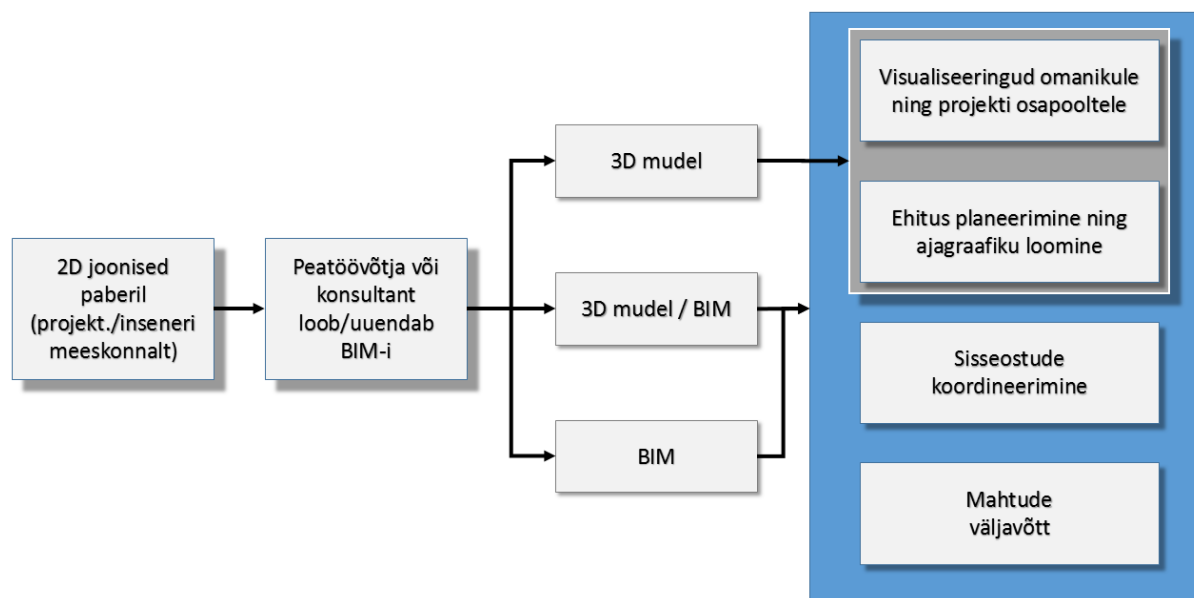
Täpne, arvutatavat ning võrdlemisi terviklikku ehitise mudelit, mis sisaldab eelnimetatud infot, on ehitajal vaja selleks, et toetada kriitilise tähtsusega protsesse nagu eelarvestamine, sisseostude ning tehnosüsteemide koordineerimine, eeltootmine ja ehituse planeerimine. On oluline rõhutada, et iga uus tööprotsess eeldab tihtipeale ehitaja poolset info lisamise suutlikkust mudelisse, kuna arhitekt või insener üldjuhul ei lisa vahendite ning meetoditega seotud infot nagu varustust või tööjõudlust, mis on aga kriitilised eelarvestamiseks, ajagraafikute tegemiseks ning hangete korraldamiseks. Ehitajad

kasutavad ehitise mudelit kui lähtepunkti, et sellest info välja võtta ning samas ka ehitusspetsiifilise info lisamiseks, mis siis toetab erinevaid ehitusega seotud tööprotsesse.

Kui ehitaja ülesandeks on ka hilisem ehitise (hoone) opereerimine, siis on oluline, et BIM komponendid oleksid seotud tellija poolsete haldussüsteemidega, kus siis projekti lõppedes märgitakse üleandmise protsessid omanikku silmas pidades. Ehitise mudel peab toetama kõikide sedalaadi protsesside info taasesitamist.

6.4. Ehitusinfo mudeli loomise protsess ehitajale

Kuna BIM tehnoloogia kasutamine pidevalt kasvab, siis paljudes valdkondades on see endiselt oma esmastes rakendamise faasides ning ehitajad kasutavad erinevaid viise, kuidas sellest uuest tehnoloogiast kasu saada. Väga tihti, kui projektmeeskond pole loonud projekti mudelit, siis on võtnud ehitaja modelleerimise protsessi rolli. Isegi siis kui arhitektuuris hakkab BIM olema iseenesest mõistetav, peavad ehitajad modelleerima lisakomponente ning kaasama ka ehitus-spetsiifilist informatsiooni, et muuta ehitise mudel nende jaoks kasulikuks. Järelikult loovad paljud innovaatilisemad ehitusettevõtted oma enda ehitise mudeleid täiesti nullist, et toetada koordineerimist, vastuolude kontrolli, eelarvestust, 4D funktsionaalsust, hankekorraldust jpm. *Joonis 6.4* esitab tüüpilise ehitaja spetsiifilise töövoolu, milles ehitusinfo mudel luuakse 2D jooniste baasil.

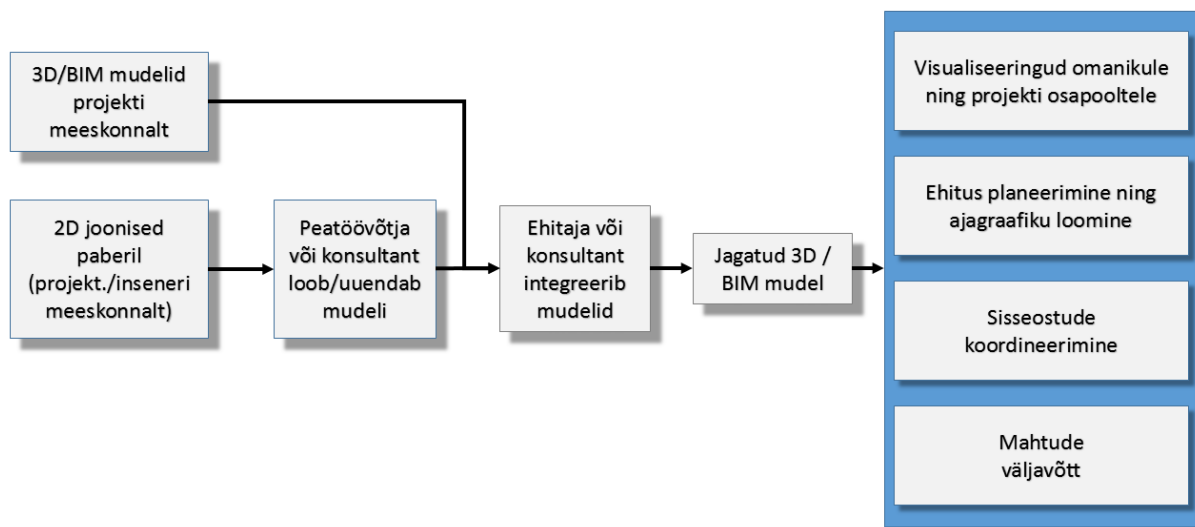


Joonis 6.4. BIM protsess projektile, milles ehitaja loob ehitusmudeli 2D jooniste baasil ja seejärel kasutab seda mahtude väljavõtteks, ehituse planeerimiseks ning vastuolude kontrolliks (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 271).

Pane tähele, et mõnel juhul loob ehitaja 3D mudeli vaid projekti visuaalseks esituseks. See ei sisalda parameetrilisi komponente või objektide vahelisi seoseid. Neil juhtudel on mudeli kasutus piiratud vastuolude kontrolliga, ehitatavuse analüüsidega, visualiseerimiseks ning visuaalseks planeerimiseks nagu 4D, kuna 3D mudel ei sisalda ükskuid, kokku loetavaid komponente, et selle baasil saaks teostada mahtude väljavõtet või tellimuste koordineerimist. Samas võib ehitaja luua ka hübriid 3D/parameetrilise mudeli, mis sisaldab BIM komponente osaliselt ja seeläbi on võimalik teostada osaliselt ka koordineerimist ning mahtude väljavõtet. Kui ehitaja loob tervikliku ehitise mudeli, siis saab seda kasutada väga erinevatel eesmärkidel.

Mõnevõrra erinev lähenemine BIM rakendamisest on toodud *joonisel 6.5*. Siin, kogu projekti meeskond panustab mudelisse – 3D, BIM või hübriid – keskkonnas, milles nad on harjunud töötama. Samas kui mõni osaline töötab 2D-s, siis ehitaja või konsultant konverteerib selle 2D info 3D/BIM-iks

nii, et seda saab kaasata jagatavasse mudelisse. Üldjuhul vastutab ehitaja või konsultant erinevate mudelite integreerimise eest, mis on siis loodud sõltumatult erinevate projekti meeskonna liikmete poolt aga liidetud seejärel ühte tervikmudelisse. Jagatavat mudelit saab kasutada projekti meeskonna poolt koordineerimiseks, planeerimiseks, mahtude väljavõteteks ning muudeks vajalikeks tegevusteks. Ehkki antud lähenemine ei võta viimast kõikide töövahendite eelistest, mida terviklik ehitise infomudel toetab, võimaldab antud lähenemine endiselt kokku hoida aega ning vähendada kulutusi kui võrrelda seda traditsiooniliste või harjutud praktikatega. Jagatav 3D mudel on kõikide ehitustegevuste aluseks ning võimaldab oluliselt täpsemat lähenemist kui seda pakuvad 2D joonised. Samas tuleb rõhutada, et antud lähenemine võib tähendada projekti meeskonnale olulist riski, kuna see jagatud mudel ei sisalda kõige värskemaid muudatusi/täiendusi, mis on tehtud mudelist väljapool (nt 2D-s või omaette 3D mudelis). Seda peab seetõttu väga hoolikalt järgima, et vältida vigade tekkimise ohtu, puuduseid või oluliselt suurenevat ümbertegemise vajadust.



Joonis 6.5. Projekti protsessi vaade, milles arhitekt ning teised projekteerijad ning allhankijad kasutavad 3D modelleerimise töövahendeid (või omavad konsultanti, kes siis loob 3D mudeli 2D joonistest) ning panustavad jagatavasse 3D mudelisse (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 271).

Kuna BIMi kasutamise harjumus on kasvutrendil, kaasnevad sellega ka uued protsessid. Näiteks *Integrated Project Delivery (IPD)* kui uus projektilepingu vorm, mis uuenenud äriprotsessi loogikaga omab selgeid eeliseid just BIMi kasutamise korral.

Hooneehitajad on hea näide, kuidas *Design-Build (DB)* korral saab BIM tehnoloogiast kasu lõigata. Ehitise mudeli loomisel võimaldab ehitusinfomudel kohest tagasisidet mahtude ning maksumuse mõjufaktorite tähenduses kui projekti muudetakse. Kui tellija nõuab projekti muudatust, saab seeläbi kiire visuaalse ning maksumuse muutuse tagasiside ja võimaldab võimalikul ostjal jõuda kiiremini tehinguni. Selline kiirreageerimine kliendi vajadustest lähtuvalt omab väga suurt väärtust, eriti neile ehitusettevõtetele, kes pakuvad ehitise (hoone) erilahendusi kindlaid ehitusmeetodeid kaasates.

6.5. Projektvigade vähendamine läbi vastuolude kontrolli

Mistahes ehitaja kriitilise tööprotsessi alla võib pidada sisseostu ning süsteemide koordineerimist. Läbi 2D jooniste saab vastuolude kontrolli läbi viia vaid käsitsi, kus siis üksikuid jooniseid paigutatakse üksteise peale (nt valguslaudadel), et leida võimalikke probleeme. Sarnaselt saab ka 2D CAD jooniseid laotada üksteise peale, et visuaalselt ning seega käsitsi leida võimalikke probleeme. Need manuaalsed lähenemised on aeganõudvad, kulukad, vigade rohked ning sõltutakse kõige värskemate jooniste kasutamisest. Nende probleemide vältimiseks kasutavad mõned organisatsioonid kasutajapõhiseid

rakendusi, et automaatselt analüüsida erinevatele kihtidele paigutatud objektide omavahelist kooskõla/kokkulangevust. Automaatne vastuolude leidmine on suurepärase meetod leidmaks projektiga seotud probleeme, kus objektid hõlmavad näiteks sama ala (füüsiline kokkulangevus või ingl *hard clash*) või on objektid üksteisele liiga lähedal (ingl *soft clash*), et neid oleks võimalik teenindada/paigaldada või lisada soojustust või hoopis vastuolu turvanõuetega jne. Erinevates rakendustes võidakse vastuolude kontrolli meetodeid erinevalt nimetada (nt ingl *soft clash* võib olla ka kui *clearance clash*).

BIM-põhine vastuolude kontroll pakub olulisi eeliseid traditsioonilise 2D koordineerimisega võrreldes. 2D jooniste põhine kontroll on ajamahukas, vigade rohke ning eeldab, et kõik joonised oleks kõige värskemad. Samas kui lihtne 3D geomeetriselise mudeli kontroll võib viia selleni, et kontrollitakse seotuid vastuolusid, mida pole võimalik mudeli ülesehitusloogikast lähtuvalt vältida. 3D geomeetriaal baseeruvad mudelid pole intelligentsed ning objektid ise pole jagatud gruppidesse (kategoriatesse), mis raskendab spetsiifilisi vastuolusid kontrollida või siis jäävad olulised vastuolud teiste varju. Kui need mudelid ei sisalda mahukomponente nagu nt *solid* komponendid, saavad vastuolud toimuda vaid pindade põhisel. Aga kõik pinnad, mis omavahel lõikuvad ei tähenda veel tähenduslikku vastuolu (nt seinatähkude lõikumised/kokkulangevused). Seetõttu peab ehitaja kontrollima kõiki neid üksikuid vastuolusid ja leidma üles need, mis on väärtuslikud.

BIM-põhises vastuolude kontrolli töövahendis saab vastuolusid automaatselt kontrollida gruppide või reeglite põhisel, et leitavad vastuolud klassifitseeruksid olulisteks. Gruppide tähenduses saab seega kontrollida vastuolusid näiteks KV-süsteemi ja konstruktsiooni elementide vahel, kuna iga mudeli element/komponent kuulub kindlasse süsteemi ja on seega filtreeritav. Vastuolude kontrolli saab läbi viia mistahes mudeli detailsusastme korral. BIM-põhist vastuolude kontrolli saab kasutada ka komponentide klassifikatsioonide põhisel, kus põhiorõhk võib hoopis olla vahekauguste kontrollil. Näiteks saab ehitaja teosta tingimuslikku otsingu, milles KV komponendi ning aluspõranda vaheline kaugus on väiksem kui 0.6 m. Sedalaadi vastuolude kontroll on võimalik vaid väga hästi defineeritud ning struktureeritud ehitise mudeli kasutamisel.

Sõltumata mudeli täpsusest peab ehitaja tagama, et ehitise modelleeritakse soovitud detailsusastmega. See peab kaasama piisavat täpsust torude, teraskomponentide, lisaseadmete ja muude komponentide paigutuse kohta, et vastuolusid saaks täpselt määrata. Alati tuleb ette olukordi, kus teatav modelleerimise ebatäpsus võib põhjustada küll vastuolu, kuid mis ei ole olulise tähtsusega ehituse juures. Neid saab lihtsasti määratleda ning eirata. Samas kui detailsusaste on ebatäpne, ei ole olulist osa probleeme võimalik määratleda enne kui läheb ehitamiseks, kus see siis on juba oluline aja- ja rahakulu, et see lahendada. Seetõttu on oluline, et mudelit täiustatakse ka allhankijate või teiste projekti meeskonna liikmete poolt, kes omavad vastutust sedalaadi projekteerimise läbiviimiseks. Nimetatud allhankijad peaksid mudeli arendamises osalema nii vara kui võimalik. Ideaalis toimub probleemide ühisvaatlus kas siis suurema ekraani taga või kaasates ka veebipõhiseid lahendusi, milles vastutav osaline saab koheselt panustada, et ilmnenud probleemile pakkuda välja lahendus. Need kokkulepitud muudatused sisestatakse seejärel vastavasse projektimudelisse enne järgmist vastuolude kontrolli. Kogemuste ja senise praktika näitel võib öelda, et ei eksisteeri sellist asja nagu "väike muudatus", mida pole vaja vastuolude tähenduses kontrollida. Ruumilised konfliktid moodustavad olulise osa ehituse käigus tekkivatest probleemidest ning neid saab enamjaolt lahendada kui eelnevalt on läbi viidud vastuolude kontroll, mis kaasab täpset ning detailiküllast mudelit. Ehitusplatsil on väga tüüpiliselt ehitussoojakud, milles toimuvad pidevad arutelud või leiab sealt seinte jagu jooniseid. Seda sama soojakut saab aga väga edukalt kasutada ka mudeli koordineerimiseks digiekraanilt (*joonis 6.6*).



Joonis 6.6. Ehitajate ning allhankijate ühisvarade, koordineerimisküsimuse lahendamise (allikas: [Colaboration at BIM Huddle](#)).

Vastuolude kontrolli tehnoloogiate tähenduses eksisteerib kaks olulist tooterühma: (1) vastuolude kontroll BIM töövahendites ning (2) eraldiseisev BIM-iga integreeruv töövahend, mida siis vastuolude kontrolliks kaasatakse ühe osamudelite kokkutõstmise võimekusega. Kõik suuremad BIM töövahendid sisaldavad endas teatud mahu ka vastuolude kontrolli töövahendeid, et projekterija saaks kontrollida projekti loomise käigus vastuolusid. Samas peab ehitaja tihtipeale erinevaid mudeleid integreerima ja see ei pruugi õnnestuda või pole otstarbekas BIM-projekti loonud tarkvara kasutades.

Vastuolude töövahendite teise gruppi kuuluvad BIM-iga integreeruvad töövahendid, milles on võimalik kokku tõsta erinevat liiki 3D infot/mudeleid, mis saadud siis erinevatest modelleerimise rakendustest. Seeläbi saab luua ka koondmudeli visualiseeringu (nt *Autodesk Navisworks*, *Solibri Model Checker*). Vastuolude kontrolli töövahendid neis toodetes/lahendustes on mõnevõrra keerukamad või siis laiemaid võimalusi pakkuvad. Näiteks on nende kaudu võimalik läbi viia füüsiliste või vahekauguse tagamisega seotud vastuolude kontrolli. Puuduseks on asjaolu, et neid leitud probleeme ei saa lahendada koheselt. Ehkki näiteks *Autodesk Navisworks* kasutab ka *SwitchBack* tehnoloogiat, milles on võimalik liikuda projekterimistarkvara vaatesse, kus leitud probleem eksisteerib ja seeläbi lihtsustada probleemi lahendamist, kuid tihtipeale ei pruugi siin olla piisavalt õiguseid, et seda teha – *BIM manager* vs kindla valdkonna projekterija ja nende õigused/pädevused. Samuti eeldab, et kõik failid oleksid originaalkujul kättesaadavad ning korrektselt lingitud. Seetõttu võib endiselt öelda, et sõltuvalt rollidest ning pädevustest võib olla tegemist ühepoolse info liikumisega ning mitte vastastikune. *Solibri Model Checker* omab sarnast loogikat *ArchiCAD* mudelitega. BIM rakenduste tootjad on seega väga huvitatud, et sellised vahetumad integratsioonid oleksid võimalikud.

6.6. Mahtude väljavõte ning eelarvestus

Projekti loomise käigus saab esitada väga erinevaid hinnangute tüüpe. Selleks võib olla esialgne hinnang projekti varajases staadiumis ning täpsem hinnang, kui projekt on lõpetatud. Selgemast selge on aga see, et eelarvestuse tegemiseks ei ole soovitatav oodata projekteerimisstaadiumi lõppemist. Kui projekt ületab peale projekteerimise lõppemist oma eelarvet, on vaid kaks valikut: tühistada projekt või rakendada väärtuspõhist lähenemist, et vähendada kulutusi ning seeläbi üsna tõenäoliselt ka kvaliteeti. Projekti edenedes võimaldavad vahehinnangud määrata probleeme nende tekkimise hetkel (või varajases staadiumis) ning seeläbi saab kaaluda alternatiivseid lahendusi. See võimaldab projekteerijal ning tellijal vastu võtta teadlikumaid otsuseid, pakkudes seeläbi ka kvaliteetsemat ehitamist, mis seotud eelarve piirangutega. BIM pakub suurepäraselt võimalust vahehinnangute tegemiseks.

Projekti varajases staadiumis saab mahtude tähenduses hinnata vaid pindalade ning ruumalaga seotud mahtusid nagu ruumi tüübid, perimeetrite pikkused jne. Need mahud võivad olla piisavad n-ö parameetrilise eelarvestuse tähenduses, mis arvutatakse lähtuvalt ehitise põhiparameetritest. Kasutatavad parameetrid sõltuvad ehitise tüübist, näites: parkimiskohtade arv, parkimiskorruste arv, ruumide numbrid ning pindalad, korruste arv, materjalide kvaliteediasemed, ehitise asukoht, liftšahtide arv, välisseinte pindala, katuse pindala jne. Samas tuleb rõhutada, et loetletud info pole üldjuhul projekti varajases staadiumis kättesaadav, kuna selles ei defineerita objektide tüüpe, mis luuakse BIM pakettis. Seega on oluline, et ka varajane projektmudel oleks kättesaadav BIM tarkvaras, et oleks võimalik teha mahtude väljavõtet ning seeläbi hinnata ka ligikaudseid kulutusi (tarkvara näide: *DESTINI Profiler*).

Kui projekt edeneb, saab ka jooksvalt teostada detailsemat ruumilist ning materjalide mahtude põhiseid väljavõtet otse ehitise mudelist. Kõik BIM töövahendid võimaldavad välja võtta komponentide arvu, ruumide pindalaid ning mahtu, materjalide mahtu ning esitada seda kõike erinevate spetsifikatsioonidena. Need mahud on rohkem kui küll esmase eelarvestamise läbiviimiseks. Täpsema eelarvestamise saamiseks, mis valmistatakse juba ette ehitaja poolt, võivad aga üles kerkida probleemid, mis seotud komponentide esitamise eripäradega (ennekõike komponentide koostud), kuna need pole korrektselt defineeritud ning seetõttu mahtude väljavõtet, mis vajalik eelarvestamiseks, pole võimalik teostada. Näiteks võib BIM tarkvara esitada küll vundamendi mahu väljendatuna pikkuseühikuga, kuid selles vajatav armatuur pole kaasatud; või teise näitena olemas on küll seinte sisekihtide pindalad, kuid mitte karkassi mahud. Seega need on võimalikud probleemid, kuid lahendus sõltub kasutatavast BIM töövahendist, mida eelarvestamiseks kasutatakse. Kui projekti meetodina kasutatakse IPD-d, milles osalevad ka tarnijad, saab projekti varajases staadiumis koostada ka täpseid eelarvestusi. Lisaks võib partneri teadmine olla oluline ehitatavuse tähenduses ning aidata seeläbi projekteerimisprotsessi paremini juhtida, et seeläbi vähendada paranduste arvu ja sellest lähtuvalt mõistagi ka aja- ning rahakulu.

On oluline tähele panna, et kuna ehitise mudelid pakuvad piisavalt mõõdetavaid andmeid mahtude väljavõtteks, ei asenda need eelarvestamist. Eelarvestajate roll pole vaid mahtude väljavõtt. Eelarvestamise protsess kaasab ka tingimuslikku arvestust, mis mõjutab projekti kulukust, näiteks ebatavalised seinte lahendused, unikaalsed koostud ning keerukad ligipääsu tingimused. Sedalaadi tingimuste automaatne kontroll pole BIM töövahendeid kasutades veel ratsionaalne. Seega peaksid eelarvestajad BIM tehnoloogiat kaasama ennekõike selleks, et hõlbustada ajamahukate tegevuste läbiviimist nagu mahtude väljavõtt ja seejärel keskendudes tingimuste kiirele visualiseerimisele, määratlemisele ning hinnangute andmisele. Seeläbi jääb rohkem aega ehitatavuse analüüside tegemiseks, mis tähendab ka allhankijate/tootjate poolt pakutava maksumuste/valikute optimeerimist. Detailne ehitise mudel on eelarvestajaid silmas pidades kui riskide hajutamise

töövahend, mille abil on oluliselt võimalik vähendada pakkumiste kulu, kuna materjalide väljavõtted ei ole enam ebamäärased.

Eelarvestajad saavad kasutada terve rida erinevaid valikuid, et kaasata BIMi mahtude väljavõtete tegemiseks ning seeläbi toetada oma eelarvestamise protsesse. Mitte ükski BIM töövahend ei paku tabelarvutus- või eelarvestusprogrammide omast suutlikkust, mistõttu peavad eelarvestajad määratlema meetodi, mis töötab nende eriliste eelarvestusprotsessidega kõige paremini. Need valikud võivad olla:

1. Ehitise objektipõhiste mahtude eksport eelarvestustarkvarasse.
2. BIM töövahendi linkimine eelarvestuspaketiga.
3. BIM põhise mahtude väljavõtte töövahendi kasutamine.

Vaatame neid võimalusi lähemalt.

6.6.1. Mahtude eksport eelarvestuse paketti

Nii nagu varasemalt sai välja tuua, enamuse *BIM* töövahendeid pakuvad võimalust, et teha *BIM* komponentidest väljavõtteid ühes nende erinevate parameetritega. Siia alla kuulub ka võimalus eksportida neid andmeid mõnda tabelisitusvormingusse või välisesse andmebaasi. Juba ainuüksi USA-s on üle 100 erineva eelarvestuse paketi ning paljud neist on spetsiifilised lähtuvalt hinnatavast töö tüübist. Teiselt poolt on uuringuid, mis ütlevad, et *MS Excel* on neist kõige enam levinud eelarvestamise töövahend. Paljude eelarvestajate jaoks on mahtude väljavõtte ning sedalaadi andmestiku sidumine kasutajapõhiste *MS Excel* tabelitega tihtipeale piisav. Samas võib selline lähenemine vajada märkimisväärset ülesseadistamiseks kuluvat aega ja seda kindlaid modelleerimise põhimõtteid järgides. Selleks, et *Exceli* võimekusest samm kõrgemale tõusta, on juba vaja kaasata ühte all olevatest valikutest.

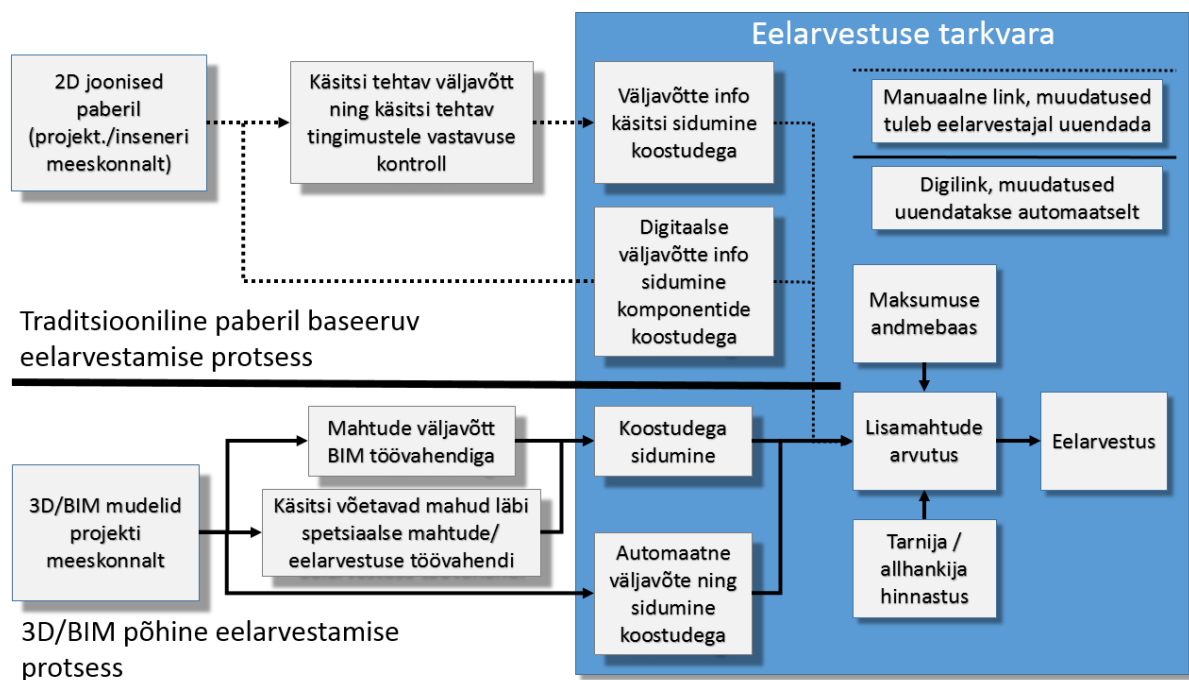
6.6.2. BIM komponentide linkimine eelarvestuse paketiga

Teiseks alternatiivseks valikuks on kasutada *BIM* töövahendit, mis on võimeline otse linkima eelarvestusprogrammiga läbi spetsiaalselt välja arendatud plugina või lisatöövahendi. Paljud suuremad eelarvestusprogrammide tootjad pakuvad integratsioone erinevate *BIM* töövahenditega (näiteks: *eTakeoff Bridge for Sage Estimating*, *RIB iTWO*, *Nomitech CostOS*, *Vico Office for Cost*, *Sigma Estimates*). Need töövahendid võimaldavad eelarvestajal siduda ehitise mudeli objektid eelarvestuspaketi kollektsioonide, artiklitega või väliste maksumuse andmebaasidega nagu *RSMean*s, *CostDataOnline*, *RICS BCIS*. Need kollektsioonid, reeglistikud defineerivad, milliseid samme või ressursse on vaja, et teatud komponent ehitusplatsil valmis ehitada või eelnevalt toodetud komponent korrektselt püstitada, installeerida. Kolleksiooni, reeglistikud sisaldavad endas viiteid ehitustegevustele, näiteks vormi paigutamine, armatuuri paigutamine, betooni paigutamine, betooni kõvenemine, vormide eemaldamine. Eelarvestaja saab kasutada reeglistikku, et leida eelnimetatud tegevuste mahud ja seda lähtuvalt komponentide parameetritest või siis käsitsi sisestades vastava lisainfo, mida ehitise infomudelist polnud võimalik välja võtta. Kolleksioon (koost) võib kaasata ka vajalikke ressursse nagu tööjõud, varustus, materjalid jne ning sellega seonduvalt ka aja ning maksumuse ulatust. Selle tulemusel, saab tervikliku eelarvestuse jaoks kogutud infot ning sellega seotud täpsustatud tegevuste nimekirja taaskasutada ehituse planeerimisel. Kui see info on seotud *BIM* komponentidega, saab seeläbi luua ka 4D mudeli. Graafilist mudelit saab seeläbi vastakuti kasutada mudeli komponendi ning sellega seotud eelarvestuse rea kuvamiseks. See on väga suureks abiks, kuna võimaldab kiirelt leida neid objekte, mis pole eelarvestusega seotud. Kirjeldatud lähenemisviis töötab suurepäraselt nende ehitajate juures, kes omavad standardiseeritud tööprotsesse eelarvestuspaketi ning *BIM* töövahendi vahel. Teiste allhankijate või tarnijate poolt tehtud *BIM* komponentide integreerimine võib aga osutuda raskendatuks olukorras, kus kasutatakse erinevaid *BIM* töövahendeid. Selles vägagi integreeritud lähenemisviisis on selged eelised, kuid üheks

võimalikuks puuduseks on asjaolu, et ehitaja peab looma eraldiseisva mudeli. Mõistagi, kui arhitekt ei taga BIM mudelit, siis on ehitajal vaja mudel nagunii luua. Samas kui projekteerijate poolt loodud mudel on kättesaadav, saab seda kasutada lähtepunktina, et panna paika komponentide defineerimiste tasemed. Juhul kui projekti meeskond kasutab ühe tarkvaratootja lahendusi, võib kirjeldatud meetod väga hästi töötada. See eeldab *Design-Build* või IPD põhist lähenemist, kus siis projekti põhipartnerid on projekti algusest peale kaasatud. Olgu veelkord rõhutatud, et BIM tehnoloogia efektiivse kasutamise märksõnad on integratsioon ning koostöö.

6.6.3. Mahtude väljavõtte töövahendi kasutamine

Kolmandaks alternatiiviks, mis üldjoontes esitatud ka *joonisel 6.7*, on kasutada spetsiaalset mahtude väljavõtete tegemise töövahendit, mis suudab importida andmeid erinevatest BIM töövahenditest. See võimaldab eelarvestajal kasutada just tema vajadusest lähtuvat mahtude väljavõtete töövahendit ilma, et peaks keskenduma mõne BIM töövahendi võimaluste/loogika õppimisele. Näidetena võib tuua: *Exactal CostX*, *Trimble GCEstimator™ Suite* (sisaldab endas näiteks ka *Trimble WinEst* ning *Trimble Vico Office* lahendusi). Need töövahendid omavad spetsiifilisi linke artiklite ning koostude omavaheliseks sidumiseks, mudeli n-õ tingimuste annoteerimist ning võimalust luua visuaalseid mahtude väljavõtete diagramme. Eelarvestajad peavad kasutama kombinatsioone nii manuaalsetest kui automaatsetest võimalustest, et toetada võimalikult laia väljavõtete valikut ning tingimuste kontrolle.



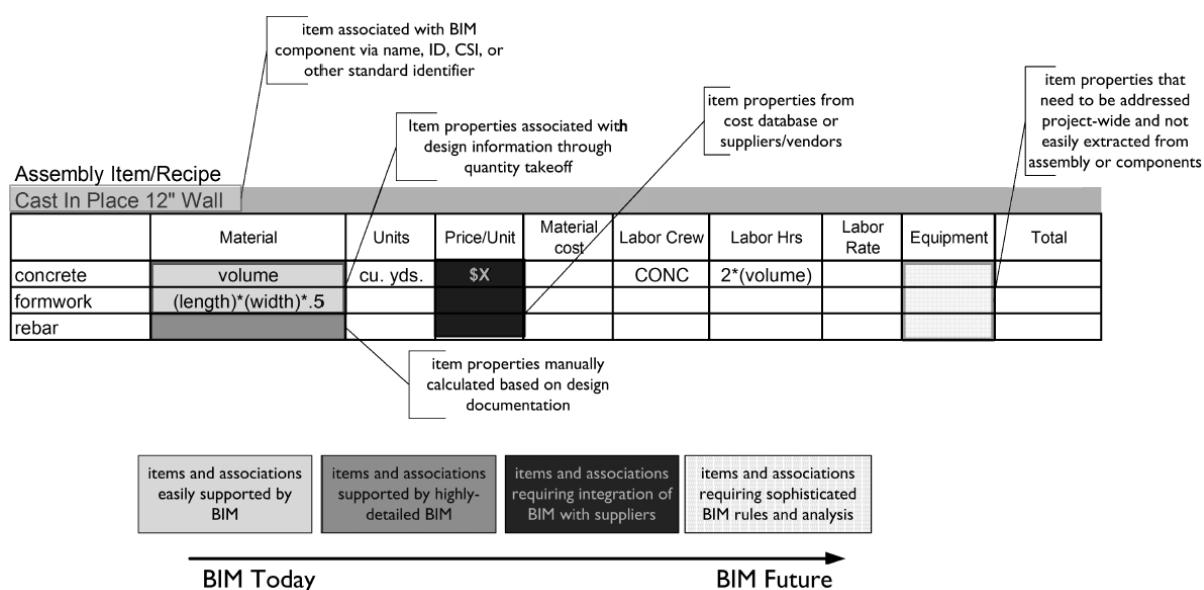
Joonis 6.7. Põhimõtteline diagramm, mis esitab BIM põhise mahtude väljavõtte ning eelarvestamise protsessi (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 279).

Muudatused ehitise mudelis tähendab, et mistahes uued komponendid oleksid lingitud õige eelarvestuse ülesandega nii, et ehitise mudelist oleks võimalik saada täpseid eelarvestusi, ja seda sõltuvalt juba modelleeritud täpsusest ning detailsuse astmest. Näiteks on osades tarkvarades võimaldatud visuaalne esitus eelarvestusvaates, kus komponendid, mida on peale eelarvestamist muudetud, värvitud teist tooni. Lisaks märgitakse ka komponendid, mida pole veel eelarvestamisesse võetud.

6.6.4. Juhtnööre ning BIMi rakendamise seotud probleeme, et toetada mahtude väljavõtet ning eelarvestamist

Eelarvestajad ning ehitajad peavad saama aru, kuidas BIM toetab kindlat eelarvestamisega seotud tegevust, et seeläbi vähendada vigade tekkimise ohtu ning parandada eelarvestuse täpsust ning usaldusväärsust. Veelgi enam, neil on eelis, suutes kriitilises projekti faasis anda muudatuste ilmnemisel oluliselt kiiremaid vastuseid, mis on olnud väljakutseks paljudele tänastele eelarvestajatele. Sellest hoolimata koetakse mitmeid takistusi, millega peab arvestama:

- **BIM on vaid lähtepunkt** eelarvestamiseks. Ükski töövahend ei suuda pakkuda täisautomaatset eelarvestust terve ehitise mudelist. *Joonis 6.8* toetab seda mõtet, mis näitab, et ehitise mudel suudab pakkuda vaid väikest osa informatsioonist, mis on vajalik eelarvestuseks (materjalide mahud ning koostude nimed). Ülejäänud info tuleb kas reeglistikust või käsitsi sisestavast infost, mida eelarvestaja lisab.



Joonis 6.8. Näide, mis esitab BIM komponentide definitsioonide seose eelarvestuse koostudega või reeglistikega. Oluline on rõhutada, et BIM pakub vaid ühe osa infost, mida on vaja eelarvestajal maksumuse hindamiseks. BIM komponendid pakuvad küll mahulist infot, kuid neis pole tihtipeale automaatset seost, et arvestada ka tööjõukulu, lisamaterjali ning varustuse kasutamise seotud kulu (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 280).

- **Alusta lihtsalt.** Kui sa teostad eelarvestust läbi traditsiooniliste, manuaalsete protsesside, siis esmalt tutvu digitaliseeritud lahendustega, mis võimaldavad joonise vaadetelt mahtusid võtta (nt [Bluebeam Revu](#)). Olles eelarvestajana saavutanud enesekindluse ning nägemuse, et läbi digitaalsete väljavõtete tegemise töövahenditega tõuseb ka töötamise mugavus, siis on paras aeg liikuda *BIM*-põhiste mahtude väljavõtete juurde.
- **Alusta loendamise**ga. Lihtsaim viis kaasamiseks BIMi mahtude väljavõttesse on seda rakendada loendamise väljavõtete tegemisel nagu uste, akende ning seadmete kokku arvestamine. Mitmed BIM töövahendid pakuvad spetsifikatsioonide loomise funktsionaalsust, milles loendatud kindla tüübiga komponente. Seda on ka lihtne kontrollida.
- **Alusta ühes töövahendis ning liigu seejärel integreeritud protsesside juurde.** Kõige lihtsam alustada väljavõtete tegemist BIM tarkvaras või siis spetsiifilised väljavõtete seotud rakenduses. Selline lähenemine vähendab ka vigade tekkimise ohtu, mis seotud andmete ülekandmisega ühest rakendusest teise. Kui eelarvestaja on saavutanud enesekindluse, et ühe

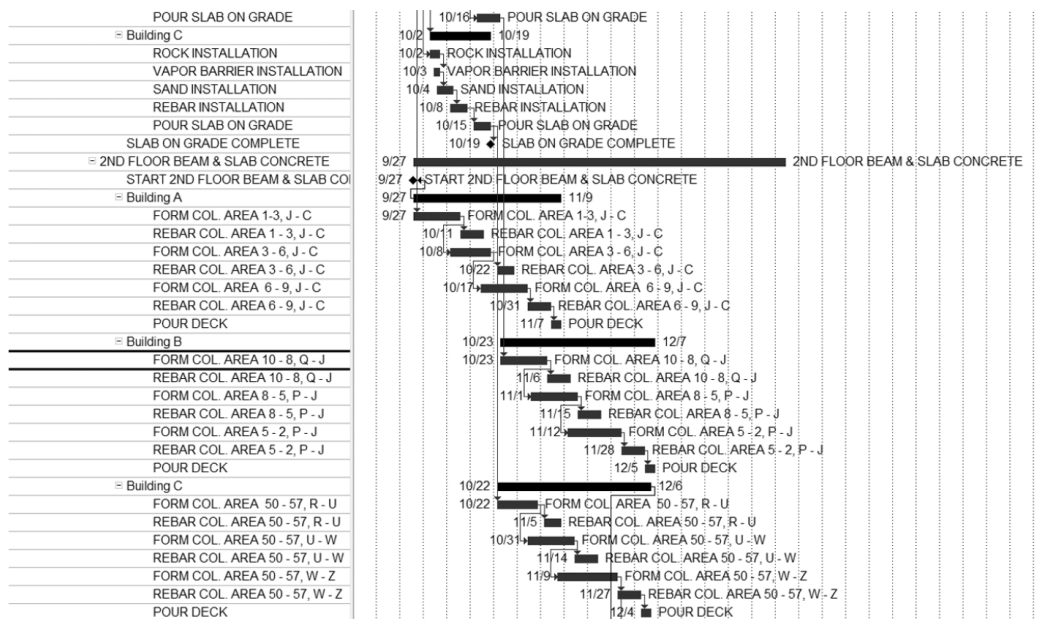
tarkvara poolt pakutav andmestik on täpne ning korrektne, siis saab mudelinfo edastada ka teise, spetsiifilisemasse väljavõtete tegemise paketti, et tulemust täpsustada või kontrollida.

- **Pane paika üksikasjalikud ootused detailsustasemele.** BIMi põhine väljavõtete detailsusaste on peegeldus mudeli detailsusastmest. Kui armatuur pole lisatud ehitise mudelisse, siis neid väärtuseid ei saa ka automaatselt arvesse võtta. Eelarvestaja peab aru saama mudelis oleva info ulatusest ning sellest, mida on sinna sisestatud/esitatud.
- **Alusta ühest tootegrupist või komponendi tüübist** ning püüa lihvida erinevad puudujäägid.
- **Automatiseerimine algab standardiseerimisega.** Selleks, et BIMi saaks täielikult rakendada, peavad projekterijad ning eelarvestajad välja töötama ning koordineerima meetodid, kuidas ehituskomponente standardselt esitada nii, et nende komponentidega seotud parameetrid on loetavad mahtude väljavõtte tähenduses. Lisaks on vaja välja töötada standardsed meetodid, kuidas leida alamkomponentide ning koostude mahtusid, nagu näiteks seinas olevat karkassi mahtu. Vajadusel tuleb redigeerida BIM süsteemis olevate objektide definitsioone, et eelarvestamiseks vajalike mahtude kättesaadavus oleks võimaldatud, näiteks komponent ei pruugi esitada teibi kasutamise jooksvate meetrite arvu, mis on vajalik kipsplaatide paigaldamiseks (veebipõhine töövahend: [Sheetrock® Wallboard Estimator](#)).

6.7. Ehitusega seotud analüüsid ning planeerimine

Ehituse planeerimine ning ajakava koostamine kaasab tegevuste järjestamist nii ruumis kui ajas, kaasates hanget, ressursse, ruumilisi piiranguid ning muid protsessis olevad muresid. Traditsiooniliselt on kasutatud tulpdiaگرامme, et planeerida projekte, kuid need ei suutnud esitada, kuidas ning miks mingid kindlad tegevused olid omavahel järjestatud/lingitud; samuti ei suutnud need arvutada pikimat (kriitilist) rada, et projekt lõpetada. Täna sel päeval kasutatakse enamjaolt *kriitilise tee meetodil* (ingl *critical path method* ehk CPM) baseeruvaid järjestamise tarkvarasid nagu *MS Project*, *Primavera Contractor* või *P6*, et luua, uuendada ning edastada ajagraafikut läbi erinevate raportite ning kuvade. Need süsteemid näitavad, kuidas tegevused on omavahel lingitud ning seeläbi saab arvutada ka kriitilist teekonda ning viivitusi (ingl *float value*), mis parandavad ajagraafikut projekti kestel. Eritarkvara, mis sobitub paremini ehitiste (hoonete) ehitusse, nagu näiteks *Vico Office's Schedule Planner*, aitab ajagraafikuid koostada asukoha põhised, mis aitab planeerida meeskonnda tööd, mida tehakse korduvalt erinevates asukohtades. Mõnes pakettis on planeerimismeetoditega veelgi keerukamaks mindud, kus arvestatakse ressurssidel baseeruvate analüüsides, sealhulgas ressursside balansseerimist ning määramatustega arvestatud planeerimist nagu näiteks *Monte Carlo* simulatsioon. Mõned tarkvarad võimaldavad aga teha detailsemaid ajagraafikuid mingiks lühemaks ajaperioodiks (nt 1 kuni 2 nädalat), mis siis võtavad arvesse ka üksikuid alltöövõttusid, materjalide kättesaadavust jmt.

Klassikalised meetodid samas ei suuda end otse linkida ruumiliste komponentidega ega ka projektmudeliga või siis ehitusmudeliga. Seetõttu on ajagraafikute koostamine ajamahukas käsitöö ning see jääb väga tihti projektiga sünkroniseerimata, mis omakorda ei võimalda projekti osalistel saada lihtsasti mõistetavat planeeringut ning selle mõju ehitusplatsi logistikale. *Joonis 6.9* esitab traditsioonilise *Gantti* diagrammi, mis üsna hästi illustreerib, kui keeruline on selle kaudu tegelikult hinnata ehitusega seotud mõjutegureid.



Joonis 6.9. Näidis Gantt diagrammi, mis esitab ehituse ajagraafiku projektile, milles kaasatud 3 erinevat hoonet, milles igaühes mitu korrust ning ala. Teostatavusega või kvaliteediga seotud aspekte on paljude osaliste jaoks läbi Gantt diagrammi üsna raske hinnata ning eeldab iga tegevuse käsitsi sidumist kindla ala või komponendiga, kuna puuduvad visuaalsed seosed viidatavate aladega nagu näiteks "Area 10" esitus joonisel või diagrammil (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 282).

Ainult inimesed, kes on läbi ja lõhki projektiga sina peal ja teavad, kuidas seda välja ehitatakse, saavad määrata, kas ajagraafik on teostatav. Selle probleemi lahendamiseks on saadaval kaks erinevat tehnoloogiat.

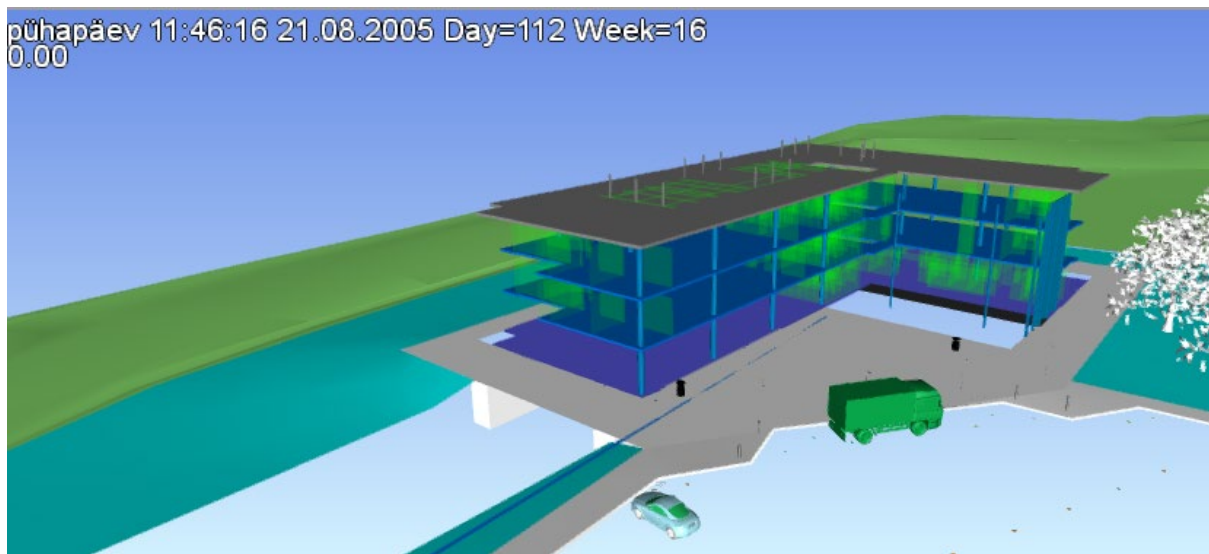
Esimene neist on 4D mudel, mis viitab 3D mudelitele, millesse on lisatud ka ajalised seosed. Ehitusgraafik on lingitud 3D mudeliga, võimaldades visualiseerida ehitise järjestikulist ehitamist. 4D töövahendid võimaldavad ajagraafikute koostajatel visuaalselt planeerida ning kommunikeerida tegevusi ühes ruumi ja aja seostega. 4D simulatsioonid võimaldavad luua virtuaalseid ajagraafikute animatsioone.

Teine lähenemine oleks kasutada analüüsi töövahendeid, mis kaasavad BIM komponente ning ehitusmeetodiga seotud infot, et optimeerida järjestusega seotud tegevusi. Need töövahendid kaasavad ruumilist, ressurssidega seonduvat ning tootlikkusega seotud infot. Vaatame lähemalt neid kahte meetodit alljärgnevatel alapeatükkidel.

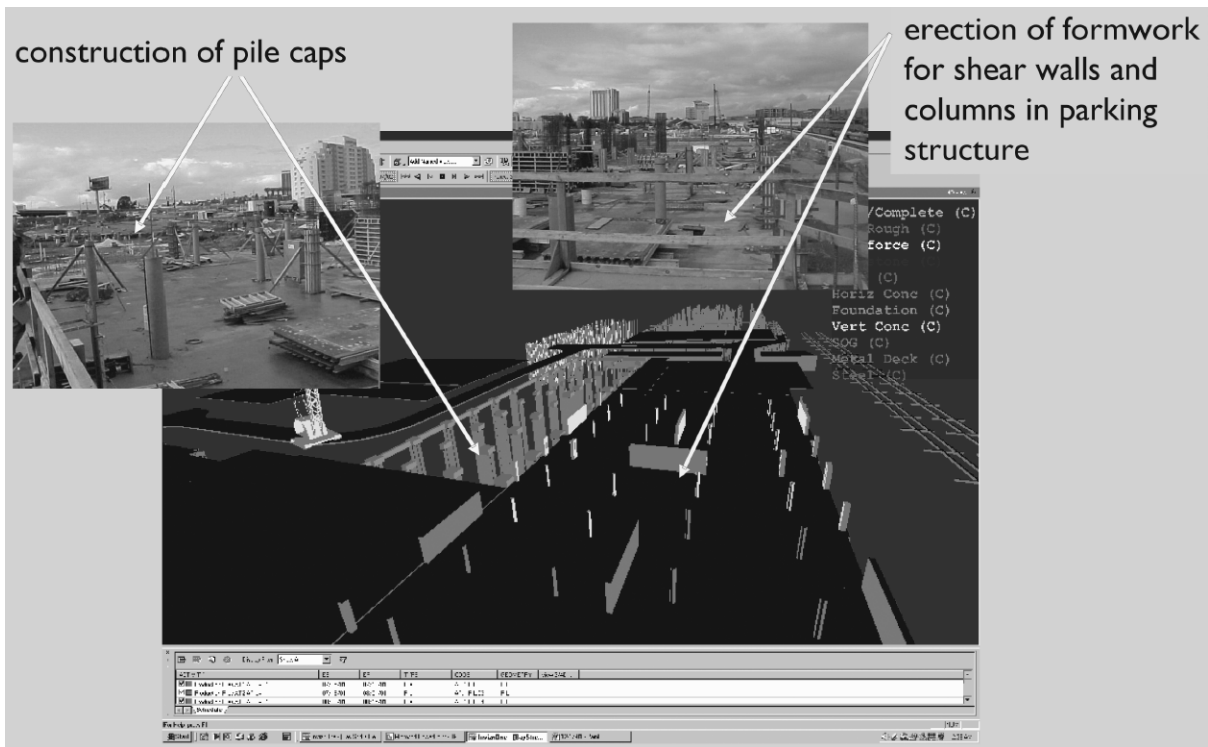
Kolmas lähenemine on aktiveerunud üsna laialdasema timmitud ehitamise praktikate kasutamisega (ingl *lean construction*). Seda võib vaadata ka kui vajaduspõhist (ingl *pull driven*) ajagraafikut ning selle põhimõtte on seotud lahendamist vajavate ülesannete ettevalmistamisega ning seejärel nende valimisega ja tööruhmale ülesandeks andmisega selleks, et see ära teha, kuid ainult siis kui neid on võimalik ellu viia. Praktikast tähendab see lihtsalt seda, et töömeeskonnad saavad eeldada ülesandeid vaid siis kui kõik eeldused on selleks täidetud ehk siis viivitada ülesannetega seni, kuniks neid on "kõige otstarbekam teha". See lähenemine detailsema ajagraafiku korral (järgnevad 1 kuni 3 nädalat) on sisuliselt võetav kui tootmiskontrollina ja seda meetodit kutsutakse seetõttu ka kui *Last Planner® System*. Seda saab läbi BIMi toetada väga mitmel moel, ennekõike aga läbi ehitusprotsesside visualiseerimise.

6.7.1. Ehituse planeerimise toetamine läbi 4D mudelite

4D mudelid ning töövahendid arendati esmakordselt välja 1980.ndatel suurettevõtete poolt, kes olid seotud keerukamate infrastruktuuri, energeetika valdkonna ning protsessidega seotud projektide elluviimisega, milles tekkinud ajalised nihked mõjutasid projekti kulu. Peale seda kui AEC (*ingl architecture, engineering, construction*) valdkond võttis omaks 3D mudelid, tegid ehitusettevõtted 4D mudeleid käsitsi ning kombineerisid omavahel iga staadiumi seisuga kindla ajahetkega. Erinevad töövahendid hakkasid laiemalt levima 1990.ndate algusest kuni selle lõpuni, milles tekkis võimalus luua 4D mudeleid käsitsi, kus siis kasutusel automaatsed lingid 3D geomeetria, komponentide ning komponentide gruppide ja ehitustegevuste vahel (vt *joonis 6.10 – 12*). BIM võimaldab planeerijatel luua, kontrollida ning redigeerida 4D mudeleid mistahes ajahetkel, mis on toonud ka kaasa paremate ning usaldusväärsemate ajagraafikute olemasolu. Vaatame järgnevalt 4D mudelite eeliseid ning erinevaid võimalusi, mida planeerijad saavad kasutada, et neid luua.



Joonis 6.10. 4D vaade hoonele selle ajagraafiku ajahetkes kui toimub teise korruse seinte valamine (ülal) ning hoone pärast valmimist (all) (allikas: Autodesk Navisworks näidismudel, Meadow Gate Ave, Farnborough, UK).



Joonis 6.11. Väljavõte 4D mudelist ning vastavad fotod ehitusplatsilt. Projekti meeskond kasutas mudelit, et paremini toetada tsoonide haldust ning planeerida konkureerivad vundamendi ning betoonivaluga seotud tegevusi. Ehkki 4D mudel toetab järjestamistega seotud tööde kommunikatsioon, siis see konkreetne mudel ei sisaldanud raketist ega teisi ajutisi komponente, mis võivad mõjutada töö teostatavust ehitusplatsil (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 284, DPR Construction).



Joonis 6.12. Väljavõte 4D mudelist, mis vaatleb ülikoolilinnaku projekti, milles erinevad ehitustööd leiavad aset üle terve linnaku ja erinevate tööde ülesannetena nagu maastiku planeerimine, teede- ning hoonete ehitus. Need väljavõtted aitavad tellijat ning linnaku kasutajaid informeerida, mismoodi on mõjutatud parkimine, sõiduteede kasutus ning ligipääs kindlate hoonete juurde (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 284, DPR Construction).

6.7.2. 4D mudelite eelised

4D mudelite loomise töövahendid võimaldavad ehitajal simuleerida ning hinnata planeeritud ehitustegevuste järjestust ning jagada seda infot projektimeeskonna teiste liikmetega. Ehitusmudelid on objektid peavad olema grupeeritud lähtuvalt ehitusetappidest ning lingitud projekti ajagraafikus olevate vastavate tegevustega. Näiteks, kui betoonplaati valatakse kolmes järgus, peab plaat olema detailina jagatud samamoodi kolmeks osaks nii, et seda järjestust saab planeerida ning illustreerida. See sama rakendub ka kõikidele teistele objektidele, mida on vaja, et see valu teostada:

betoon, teras, kinnitid jne. Lisaks peavad ka kaevemahud ning ajutised konstruktsioonid nagu tellingud ning maa-alad olema kaasatud mudelisse. Seeläbi ongi vaja just ehitaja teadmisi, et seda saaks mudelis defineerida. Kui mudel on loodud arhitekti või ehitaja poolt hetkel, kui see on veel projekteerimise staadiumis, saab ehitaja pakkuda kiiret tagasisidet nii ehitatavusega, järjestamisega ning eelarvestamisega seotud küsimustes. Varajane sedalaadi info kaasamine on väärtus omaette nii arhitektile kui tellijale.

4D simulatsioon töötab ennekõike kui kommunikatsioon, milles püütakse lahendada võimalikke kitsaskohti ning kui meetod, millega õhutada koostööd. Ehitajad saavad kontrollida 4D simulatsioone, et tagada planeeringu teostatavus ning seda nii efektiivselt kui võimalik. 4D mudelite eelised on:

- **Suhtlus:** Planeerijad saavad visuaalselt kommunikeerida planeeritavat ehitusprotsessi kõikidele projekti osalistele. 4D mudel kaasab nii ajutisi kui ruumilisi ajagraafiku aspekte ning edastab sedalaadi ajagraafiku oluliselt efektiivsemalt kui seda suuda traditsiooniline *Gantt* graafik.
- **Mitme osalise sisend:** 4D mudeleid saab kasutada ühisaruteludel, et esitleda lahkavumuse omajatele, kuidas projekt mõjutab liiklusvoolusid, ligipääsu haiglale ning teisi kriitilise tähtsusega ning kommuuni mõjutavaid murekohti.
- **Asukoha logistika:** Planeerijad saavad hallata maa-ala, sellele ja selles sees olevat ligipääsu, rasketehnika asukohta, haagised jne.
- **Sisseostu koordineerimine:** Planeerijad saavad koordineerida toodete eeldatavat tarneaega ning nende ruumilist paiknemist ehitusplatsil aga ka koordineerida töid piiratud aladel.
- **Ajagraafikute võrdlus ning ehitustegevuste järgimine:** Projektijuhid saavad võrrelda väga lihtsalt erinevaid ajagraafikuid ning seeläbi määrata, kas projekt püsib ajagraafikus või mitte.

Ennekõike vajab 4D mudel sobiva 3D mudeli olemasolu, mida saab linkida projekti ajagraafikuga, mis esitab nii algus kui lõpukuupäevad kui ka iga objekti nihked (ajalises tähenduses). Üksjagu erinevaid töövahendeid eksisteerib, et seda kõike oleks võimalik mugavalt teha.

Eelnimetatud eeldused teevad 4D mudelite kasutamise üsna kulukaks, et seda saaks kasutada projekti vältel. Esmalt on vajalik eelnev kogemus, et saada aimu vajalikust detailsusastmest, mis on vajalik lingitud ajagraafiku loomiseks ja saada täit kasu sedalaadi tehnoloogiast. Kui õigesti kasutada, siis on leitud, et sellega seotud aja ning maksumusega seotud eelised ületavad oluliselt investeeringu vajaduse.

6.7.3. 4D modelleerimise protsessid

Nii nagu ka eelarvestajatega, on planeerijatel valida samuti väga erinevate töövahendite ning protsesside vahel, et 4D mudeleid luua:

1. Manuaalne meetod läbi 3D või 2D töövahendite.
2. Sisseehitatud 4D funktsionaalsus 3D või BIM töövahendis.
3. 3D/BIM mudeli eksport 4D töövahendisse ning sellesse ajagraafiku importimine.

Manuaalsed, CAD-põhised meetodid

Ehituse planeerijad on 4D mudeleid loonud juba mitu aastakümnet aga seda siis pliiatsite ning paberilehtede vahendusel, kus erinevad värvitoonid esitavad erinevat järjestust, et esitada töö kulgu ajas. CAD tulekuga liikusid need tegevused CAD joonistele, milles sai lihtsamini kasutada värvitähte, varjutamist ning lülitada CAD komponente sisse või välja. Mõnel juhul, kui mudel sisaldas endas nimetamise reegleid või komponentide parameetreid lähtuvalt ehituse planeeringust, võis neid protsesse ka automatiseerida. Enamikel juhtudel töötasid planeerijad siiski nn kolmandate osalistega, et luua *Hollywoodi* stiilis lühifilme või siis renderdatud animatsioone, et seeläbi näidata ka ajagraafiku

visuaalset kulgemist. Need animatsioonid on mõistagi vägagi köitvad ning väga hea turunduse töövahend, kuid need ei ole sobivad planeerimise ning ajagraafikute loomise töövahendite tähenduses. Kuna seda kõike luuakse käsitsi, siis on väga keerukas teostada muudatusi, uuendusi või siis planeerida reaajas muutuvat ajagraafikut. Kui ajagraafiku detail muutub, peab planeerija sünkroniseerima ajagraafikut 4D esitusega käsitsi ning looma uued esituspunktid või animatsioonid. Just nende käsitsi tehtavate uuendamisvajaduste on sedalaadi töövahendite kasutamine piiratud projekteerimise algstaadiumiga, kus ehitusprotsesside visualiseerimine on vajalik tellija või välise agentuuri huvides.

4D võimekusega BIM töövahendid

Üks võimalus, kuidas luua 4D esitusi automaatselt on filtreerida objektide esitust läbi nende parameetrite või omaduste. Näiteks saab *Autodesk Revit* tarkvaras lisada igale objektile selle staadiumi kirjelduse teksti põhise väärtusena, näiteks “juuni 2018” või siis “olemasolev” ja järjestada seeläbi staadiumid nii nagu vaja. Seejärel saavad kasutajad rakendada filtreid, et kuvada kindla staadiumi kõiki objekte või hoopis sellele eelneva staadiumi komponente. Sellist tüüpi 4D funktsionaalsus on elementaarne lihtsama järjestamise loomiseks ning 4D ülesvõtete loomiseks, kuid see ei paku otsest integratsiooni ajagraafikutega. Lisaks pole võimalik interaktiivselt maha mängida 4D simulatsioone, mis on tüüpiline võimekus 4D töövahendites. Näiteks *Tekla Structures* kaasab endas integreeritud planeeringu kasutajaliidest, mille kaudu linkida mudeli füüsilised objektid ning tegevused. Üks kindel füüsikaline objekt võib olla lingitud ka mitme erineva tegevusega ning üks kindel tegevus võib jällegi olla lingitud mitme erineva füüsilise objektiga. Mudeleid saab kasutada 4D põhisteks kontrollideks, kus siis põhirõhk on ehitusjärjestustel ühes ajutiste komponentide kuvamise ning peitmisega. Mudeli komponente saab ka värvida vastavalt ajast sõltuvate määrangutega, parameetritega.

Enamik BIM töövahendid samas ei kaasa endas “kuupäeva” või siis “aja” mõõdet ning seetõttu vajavad spetsiifilisi 4D mooduleid või lisapluginaid, et luua otselink ajagraafikutega. Tabel 6.1 esitab mõnede enamlevinud BIM töövahendite võimekuse 4D tähenduses.

Kuna CAD/BIM põhistes tarkvarades on 4D võimekus siiski piiratud, on paljud tarkvaratootjad välja tulnud spetsiaalselt 4D mudelite loomise lahendustega, mis lähtuvad BIM tarkvaradest saadavatest (imporditavatest) 3D mudelitest. Need töövahendid võimaldavad 4D mudeleid lihtsamini luua ning redigeerida ning ka ajagraafikute tähenduses on laiemad võimalused ühes automatiseeritud tööprotsessidega. Tüüpiline töökulg algabki sellest, et esmalt imporditakse 3D mudeli mõnest olemasolevast CAD/BIM tarkvarast. Tihtipeale kandub sisu mõttes üle 3D geomeetria, mis on jagatud gruppidesse (nt kihi või komponendi põhisel). Impordi käigus tulevad üle ka teatud parameetrid. Parameetrite hulka ja vajadust saab nii mõneski tööprotsessis mõjutada (nt *Autodesk Navisworks* toetab *Property Sets* funktsionaalsust). Peale komponentide impordi on järgmiseks sammuks nende sidumine ehitustegevustega, millega pannakse paika ka komponentide visuaalne esitus. Joonis 6.13 esitab kahte võimalikku lähenemist, et luua 4D mudel. Ülemine osa esitab ehitusprotsesside põhiste väljavõtete loomist 2D jooniste baasil. Alumine osa aga viisi, kuidas 4D mudel luuakse 3D mudeli linkimisel ehitusgraafikuga läbi spetsiifilise 4D tarkvara. Joonis 6.14 esitab andmetüüpe, mida 4D tarkvara vajab, et luua 4D mudel.

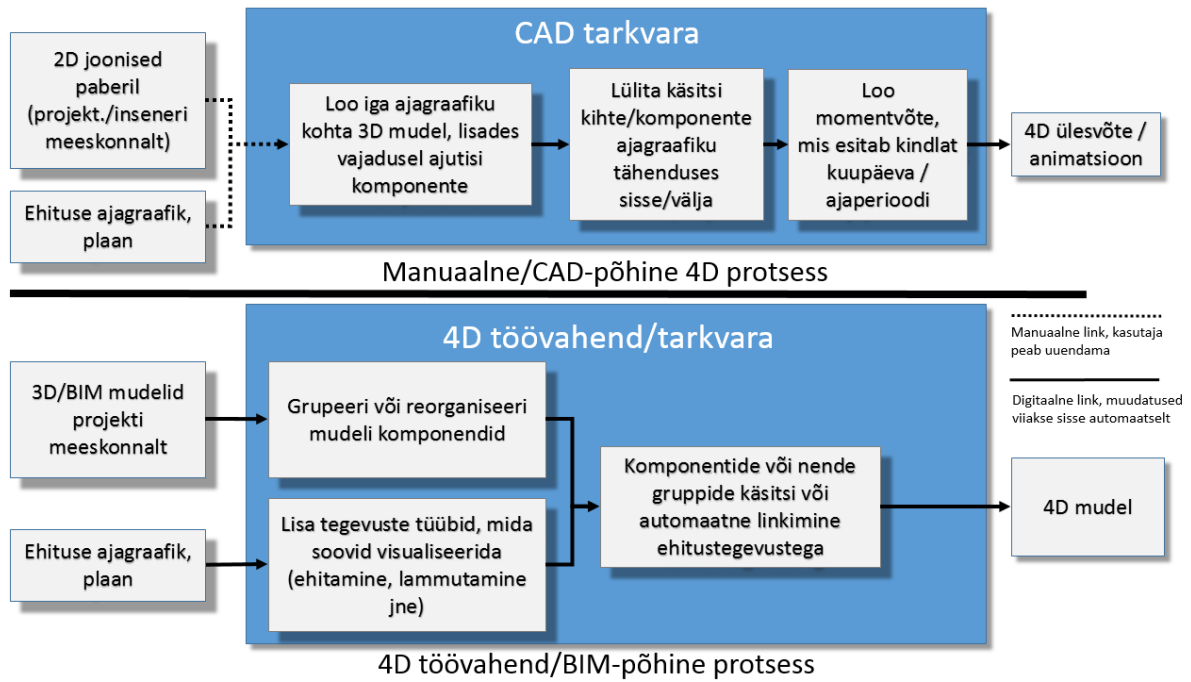
Tabel 6.1. Mõned enamlevinud BIM töövahendid, millel 4D võimekuse tugi.

Tarkvara/lahendus	Kommentaar
<i>Autodesk Revit</i>	Iga <i>Revit</i> komponent sisaldab parameetrit nimetusega <i>Phasing</i> , mis võimaldab kasutajal määrata selle komponendi n-ö ehitusstaadium ning kasutada seejärel <i>Revit</i> vaate omadusi, et kuvada erinevaid staadiume ja seeläbi koostada 4D vaadete grupp. Samas pole siin võimalik luua animatsiooni, kuid läbi API saavad

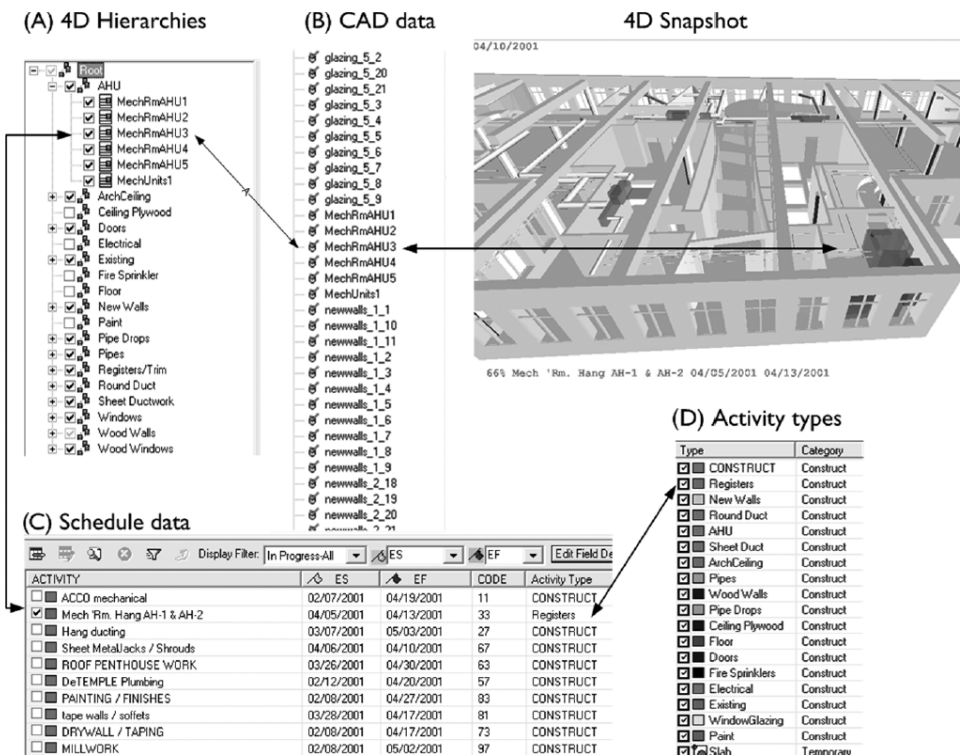
	kasutajad linkida oma mudeleid ajagraafiku pakettidega (nt <i>MS Project</i>) ning jagada infot ja luua seeläbi mõnevõrra automaatselt 4D esitusi.
<i>Tekla Structures</i>	Täieliku <i>Gantti</i> ajagraafiku loomise toega, milles saab defineerida ehitustegevused ning siduda need mudeli komponentidega (üks komponent võib olla seotud ka mitme tegevusega). Mudelit saab seejärel n-ö maha mängida lähtuvalt kuupäevadest ning objekte saab ajast sõltuvalt siduda erinevate värvikoodidega.
<i>Digital Project</i>	Kasutaja saab linkida oma 3D mudeli <i>Primavera</i> või <i>MS Project</i> paketi ja luua seeläbi 4D simulatsioon. Kahepoolse lingi tugi, ehk siis kui muudatusi tehakse näiteks <i>Primavera</i> või <i>MS Project</i> paketi, siis kanduvad need üle <i>Digital Project</i> mudelisse.
<i>Bentley Navigator</i>	<i>Standalone</i> või veebipõhine rakendus, mille põhifunktsionaalsus on üles ehitatud Bentley enda <i>i-model</i> projektfailile, kuid läbi projekteerimistarkvara saab konverteerida ka teisi alusfaile. Saab luua 4D simulatsioone.
<i>Autodesk Navisworks</i>	Väga lai faili formaatide tugi, et läbi importimise luua koondmudeleid ja sellest lähtuvalt panna paika 4D simulatsioon. Toetatud on nii automaatne kui käsitsi loodav 4D ajagraafik (automaatne baseerub reeglitel, reeglid omakorda mudeli komponentide standardsetel nimetustel/grupeerimistel jne). Käsitsi sidumine on kindlasti ajamahukas.
<i>Synchro Pro</i>	Üks laiemate võimalustega 4D töövahend. Selle kasutamine eeldab ka paremaid teadmisi ajagraafikutest ning projekti haldamisest kui ehk teised loetletud tarkvarad. Aga seeläbi saab ka kasutada näiteks riskiga või ressursside haldusega seotud aspekte. Kahepoolse lingi tugi.
<i>Vico Office</i>	Sisaldab erinevaid mooduleid eelarvestamise ning 4D/5D loomiseks. Võimalus importida teistes tarkvarades tehtud mudeleid või luua paketi siseselt. Ajagraafikuid saab defineerida ning planeerida läbi <i>line-of-balance (LOB)*</i> või <i>location-based (LB)</i> meetodil. <i>Primavera</i> ning <i>MS Project</i> tugi (kahepoolse toega).
	*LOB ja LB on laias laastus sünonüümid, mis siis arvestavad tegevusi nende läbimise kiiruse järgi (joongraafik) ja seda asukohast sõltuvalt (nt paralleeltegevused esimesel ja teisel korrusel jne). See on spetsiifilisemate 4D pakettide standardomadus.

Vaatame lähemalt mõnda olulisemat nüanssi, mis aitaks hinnata tabel 6.1 esitatud toodete sobivust:

- **BIM mudelite importimise suutlikkus:** Millist geomeetriat või BIM formaate saab kasutaja importida ning milliseid objekti tüübi andmestikku suudab see sisse lugeda, näiteks geomeetriat, nimetusi, unikaalseid ID väärtuseid? Mõnel juhul võivad töövahendid importida vaid geomeetriat, geomeetriaga seotud nimetusi ning hierarhia. Sellest võib lihtsama 4D mudeli koostamiseks piisata, kuid laiemat infot on vaja olukorras, kus kasutaja soovib vaadata objektide infot või filtreerida mudeli sisu teatud objekti parameetri järgi.
- **Ajagraafiku impordi suutlikkus:** Milliseid ajagraafikute formaate on võimalik importida ning kas need formaadid on lähtetarkvara originaalfailid või konverteeritud tekstifailid? Mõned tarkvarad töötavad andmebaasi põhiselt (nt *Primavera*). Juhul kui seda soovitakse, peab ka valitud töövahend toetama andmebaasidega linkimist ning sellest ajagraafikutega seotud info lugemist.



Joonis 6.13. Kaks erinevat 4D modelleerimise protsessi. Manuaalne protsess viiakse üldjuhul läbi olemasolevas CAD/BIM või visualiseerimise tarkvaras. Spetsiifiline 4D pakett võimaldab aga eemaldada mõned sammud ühes otselinkimise võimekusega ajagraafiku paketi ning mudeli komponentide vahel, mis teeb tulemuseni jõudmise kiiremaks ning usaldusväärsemaks (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 289).



Joonis 6.14. Diagramm esitab olulisemad andmekaadid (dialoogid, kasutajaliidese elemendid), mis kõik kokku ühe 4D mudeli loovad: (A) Komponentide grupeerimised; (B) CAD komponendid; (C) Ajagraafiku info ehitustegevustele, mis võib olla esitatud ka hierarhiliselt; (D) tegevuste alamliigid, mille kaudu saab defineerida visuaalse esituse 4D mudelis (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 289).

- **3D/BIM ehitise mudeli liitmine/uuendamine:** Kas kasutaja saab integreerida mitut mudeli faili ühte tervikuks ning seejärel hiljem ka uuendada osa neist või vaid tervikut? Juhul kui projekt kaasab mudeleid, mis tehtud erinevates BIM pakettides, siis peab 4D modelleerimine toetama osamudelite importi ning nende liitmist ehk koondmudeli loomise suutlikkust.
- **Ümberstruktureerimine:** Kas andmeid on peale nende importi võimalik ümberstruktureerida? Töövahendid, mis seda võimaldavad, aitavad tööprotsesse oluliselt lihtsustada.
- **Ajutised komponendid:** Kas kasutajad saavad lisada 4D mudelisse (ja hiljem eemaldada) ajutisi komponente nagu tellingud, kaevealad, ladustamistalad, kraanad või siis ehitusmasinad üldisemas plaanis jmt? Tihti peavad kasutajad need komponendid looma ning seejärel importima mudeli geomeetria tähenduses. Ideaalolukorras omaks 4D töövahend juba teatud raamatukogu sellistest komponentidest, mida saab vajadusel kiirelt lisada.
- **Animatsioon:** Kas kasutajal on võimalik simuleerida näiteks kraana tööd või muid installeerimisega/paigaldamisega seotud tegevusi? Mõned 4D töövahendid võimaldavad kasutajal nihutada komponente teatud ajaperioodi jooksul, et seeläbi visualiseerida varustuse/komponentide liikumist (liigutamist).
- **Analüüsid:** Kas töövahend toetab spetsiifilisi analüüse nagu ajas ning ruumis aset leidvaid konflikte (vastuolusid), mis siis tähendab, et kaks konkureerivat tegevust toimuvad samas kohas, mis oleks selge probleem?
- **Väljund:** Kas kasutaja saab lihtsalt luua erinevaid väljavõtteid mingist kindlast ajaperioodist või olulisematest pöördpunktidest või luua animatsioone kindla perioodi ulatuses? Kasutajapõhise väljundi võimekus (erinevad pildi/videofailide formaadid) võimaldavad mudelit või esitust jagada erinevate projektmeeskonna liikmetega.
- **Automaatne linkimine:** Kas kasutajad saavad automaatselt linkida ehituskomponenti ja ajagraafiku tegevust, mis baseerub mõnel parameetril või reeglil? See on väga kasulik omadus standardstruktuuriga projektide korral.

6.7.4. BIM-toega planeerimise ning ajagraafikute loomise probleemid ning juhised

Ehkki planeerimise ning ajagraafikute loomise protsess võib sõltuda kasutatavatest töövahenditest, võib ette tulla mitmeid erinevaid probleemsituatsioone, mis tuleb lahendada, et väärtust loov 4D mudel välja arendada.

Mudeli ulatus

Kui mudel on loodud vaid turundamise või mõne arhitektuurikonkursi eesmärgil, on selle eluiga suhteliselt lühike. Soovitud detailsusaste defineeritakse kooskõlas tellija soovidega. Kui meeskond soovib kasutada mudelit kogu projekti vältel, siis tuleb paika panna, millal liikuda 90-päevaselt või siis üldisemat järku ajagraafikult (mis sisaldab ehk 100 – 300 erinevat tegevust) täpsema, nädala kuni 3-nädala põhisele esitusel, milles siis ka täpsustatud tegevused. Võib alustada näiteks ehitise (hoone) kesta ehitamisprotsesside kirjeldamisega ja alles seejärel asendada see detailsema, siselahendusi kaasava ehitise mudeliga.

Detailsusaste

Detailsusaste on otseses sõltuvuses mudeli suurusega, selle ehitamiseks eraldatud ajast ning asjaoludest, millised kriitilised komponendid peavad olema välja toodud. Arhitekt võib luua vägagi detailse seinasüsteemi, et seeläbi toetada renderdamisprotsesse materjalide võrdluse eesmärgil. Ehitaja võib seda komponenti aga esitada ühe komponendina, kuna tema jaoks on kriitiline ennekõike põrandate või seinte sektsioonide järjestus ja mitte niivõrd seinte materjalide paigaldamise järjestus. Mõnel juhul on vaja kirjeldada ka keerukamate komponentide korrektne järjestamine. Ehitustegevusega seotud ülesanne võib lisaks vajada eelnevate tegevuste läbiviimist, näiteks

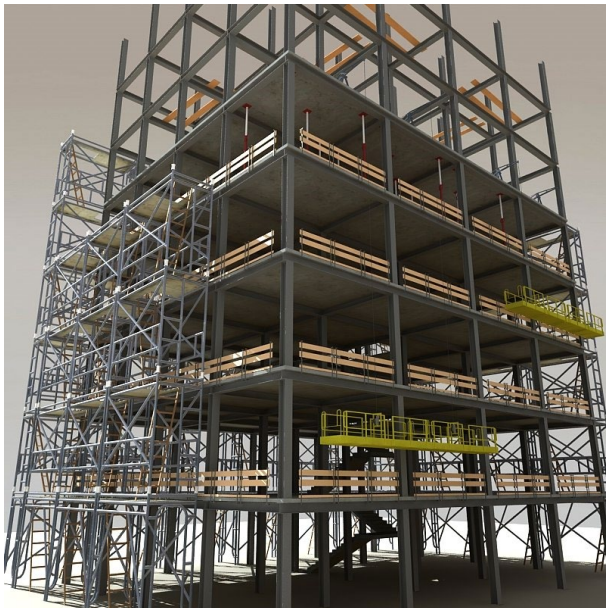
vundamendi rajamine eeldab esmalt kaevetöid, raketise loomist, armatuuri lisamist, betooni valamist, betooni kõvenemist ning raketise eemaldamist. Planeerijad saavad mitut erinevat tegevust esitada ka ühe komponendiga. Näiteks üks seina element võib esitada ka raketist, armatuuri paigutust, betooni valu, betoonpinna järelviimistlust ning seina lõppviimistlust. Seega saab ühe komponendi piires seada ka mitu erinevat tegevust või tegevuse tüüpi.

Ümberstruktureerimine

4D töövahendid võimaldavad üldjuhul planeerijal muuta geomeetria algseid grupeerimisi, struktuuri. See on oluline funktsionaalsus, kuna arhitekti või projekteerija-inseneri poolt loodud mudeli struktuur ei ole tavaliselt piisav, et komponente saaks siduda tegevustega. Näiteks arhitekt/projekteerija võib grupeerida samaliigilised komponendid ühte gruppi, et neid oleks lihtsam liigutada või dubleerida (postid, talad, vundamendi osad). Planeerija peab aga need ümber struktureerima erinevatesse plaatidega või taldmikega seotud tsoonidesse. *Joonis 6.14* esitab projekthierarhia ning 4D hierarhia ehk siis mudeli kaks erinevat struktureerimist. Selline võimekus on kriitilise tähtsusega, et saaks luua paindlikumat ning täpsemat 4D mudelit.

Ajutised komponendid

Ehitise mudel peab peegeldama ehitusprotsesse nii, et ka ajutised konstruktsioonid, kaevemahtudega seotud detailid ning muu seonduv, mida ehitamise käigus teostatakse, on esitatud ka 4D simulatsioonis. *Joonis 6.15* esitab 4D mudeli, milles on näha tellingud, et ehituse planeerijad saaksid hinnata ohutuse ning ehitatavusega seotud küsimusi. Tellingute lisamine on oluline, kuna see mõjutab ruumilist piirangut inimeste ning varustuse/masinate tähenduses.



Joonis 6.15. Renderdatud visuaal ehitusprotsessist, kus näha konkreetse ajahetke ajutiste komponentide (tellingud) kaasatus (allikas: TurboSquid).

Lahutamine ning koondamine

Objekte, mis on esitatud ühe komponendina nagu näiteks plaat, peab olema võimalik jagada selliselt, mis siis lähtub nende tegelikust välja ehitamisest. Üks probleemsituatsioon tekib aga olukorras, kus on vaja jagada osadeks komponente nagu seinad või katused, mis on arhitekti või konstruktori poolt modelleeritud ühe tükina, kuid mida planeerija vajab tsoonideks jaotatuna. Enamik siin märgitud töövahendeid seda teha ei võimalda ja seega peab see "tükeldamine" olema lahendatud juba 3D/BIM töövahendis.

Ajagraafiku parameetrid

Varasemat töö/tegevuse alguse ja lõppemise kirjeldust kasutatakse 4D simulatsioonis üsna sagedasti. Samas võib tulla ette olukordi, kus nende defineerimisel oodatakse rohkem paindlikkust, näiteks ka hilisem algus või lõpetamine või siis jällegi ühtlustatud algus või lõpetamine, et näha nende ajagraafikute mõju ehitusprotsesside simulatsioonis. Lisaks sellele ja sõltuvalt projekti tüübist võib vaja minna veel eriparameetrite sisestamise võimekust. Näiteks haigla näitel, kus renoveerimisprojekti käigus seotakse tegevused haigla voodite arvuga, mida saab kasutada, ja see peab alati vastama teatud miinimumväärtusele (ehk siis korraga võib olla eemaldatud mingi kindel arv voodeid). Tegevusi peaks saama siduda ka parameetriga "Asukoht" või siis "Vastutus", et seeläbi mudeli kaudu saada tagasisidet, kes on teatud tegevuste eest vastutatavad ning samas piirkonnas tehtavaid tegevusi paremini koordineerida.

6.8. Integratsioon eelarvestuse, planeerimisega ning teiste haldussüsteemidega

Ehitusprotsesside jooksul kasutavad ettevõtted erinevaid töövahendeid ning protsesse, et hallata ning raporteerida projekti kulgu. Nendeks võivad näiteks olla ajaplaneeringu, eelarvestuse, raamatupidamise, hanke-, palga-, tööohutusega seotud süsteemid. Paljud neist süsteemidest baseeruvad projektinfol ning ehituskomponentide informatsioonil, kuid tihtipeale pole need lingitud või seotud projektjoonistega ega ka BIM-iga. See tähendab, et teatud infot tuleb korduvalt käsitsi sisestada ning samas veenduda, et andmete sünkroniseerimisega ei läheks midagi kaduma või poleks samaväärne info kaheti mõistetav. BIM tarkvara on valmis neid protsesse toetama, kuna see sisaldab endas nii mahulist kui muud komponendiga seotud infot, mida saab linkida teiste rakendustega. Seeläbi saavad nii ehitajad kui projekti partnerid aimu läbi mudeli graafilise esituse, kuidas projekt edeneb ning välja tuua potentsiaalsed või juba tekkinud probleemid. Toome siinkohal mõned näited, kuidas ettevõtted saavad 3D/BIM töövahendeid selles tähenduses kasutada:

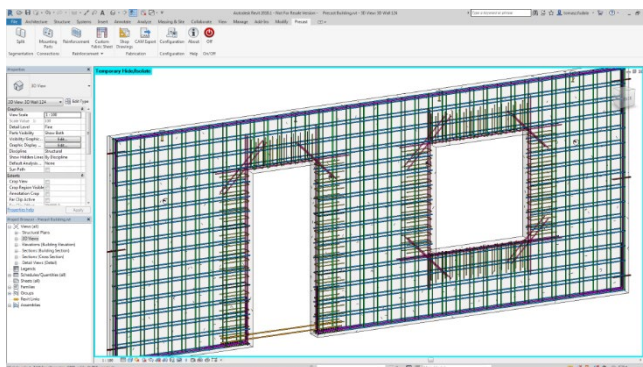
- **Eelarvelise ning tegelike kulutuste erinevuste järgimine:** Kasutades näiteks *Vico Office* tarkvara saab kasutaja importida tegelikud kulutused *Vico* mudelisse ning seejärel visualiseerida, kus eksisteerivad olulised erinevused maksumuse ning eelarvelise kulutuse vahel otse 3D mudelis. See annab parema ülevaate, kuidas projekt püsib eelarves ning kus asuvad peamised probleemid.
- **Projekti staatus:** Iga komponent saab omada välja "staatus" ning sõltuvalt projektist võivad nendeks välja väärtusteks olla: "projekteerimises", "ehitavuse kontrolliks valmis", "tootmises" jne. Neid välju saab seejärel siduda värvikoodiga, et meeskond saaks kiirelt määrata ehitise staatust ning leida kitsaskohad või töötsoonid, mis on ajagraafikust maas.
- **Ostutellimused:** Kuna BIM objektid määravad, mida tuleb tellida, siis on võimalik teostada sisseostu ka läbi BIM töövahendi. Näiteks mitmed BIM raamatukogud kaasavad konkreetsete tootjate sisu, millel on tootekood. Läbi selle saame luua spetsifikatsioone otse mudelist, mille baasil neid tellimustena vormistada.
- **Hanke järgimine:** Oluline on ka võimekus, et näha mõne hanke (teenuse või materjali tellimuse) hetke seis. Ajagraafikud sisaldavad endas üsna tihti suurel hulgal ehitustegevusi, mis teeb keerukaks nende sidumise hanke tegevustega. Samas kui selline võimekus on olemas, saavad planeerijad teha kokkuvõtteid, kus on hetkel hankest tingitud seisakud ning kuidas need mõjutavad edasist ehitustegevust. Linkides ajagraafiku ehitusinfo mudeliga, saab omakorda visualiseerida, mis mahus ja piirkonnas need hanke seisakud ehitust mõjutavad. Näiteks kui pika tellimisajaga komponent peab ajagraafiku järgi saama paika 2 kuu pärast ning hange ise pole veel lõpetatud, saab meeskond selle probleemi kiirelt fikseerida ning seeläbi vältida edasiste tegevuste nihkeid. Visuaalne link ehitusmudelile omab seega väga väärtuslikku väljundit paremate hinnangute ning mõju tähenduses.

- **Tööohutusega seonduv:** Ehitusettevõttele on tööohutuse tagamine alati kriitilise tähtsusega. Seetõttu mistahes töövahend, mis võimaldab läbi mängida tööohtlikke situatsioone ning markeerida võimalikud probleemid, omab väga olulist rolli ehitusmeeskonnale. Visuaalne mudel võimaldab visuaalselt määratleda ebatavalised alad, mida muidu ei pruugiks tähele panna enne kui ollakse juba ehitusplatsil. Näiteks kraana noole töötsooni või muude turvatsoonide mudelid, mida saab simuleerida ka lihtsate silindriliste objektidega ja veenduda, et mistahes ajahetkel ei toimuks nende vahel lõikumisi.

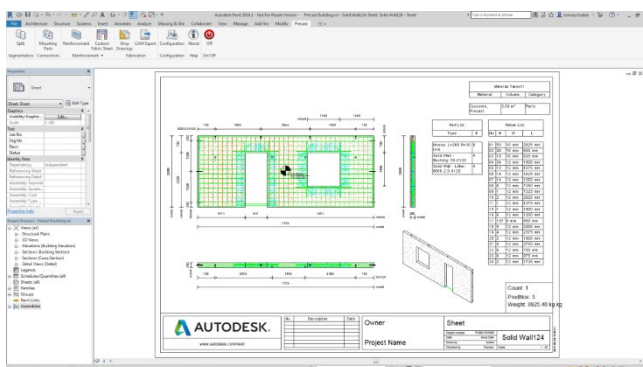
6.9. Kasutamine eeltootmises

Eeltootmine, mis siis toimub ehitusplatsilt eemal, eeldab samuti väga head planeerimist ning korrektset projektinfot. Üha rohkem ehitisi valmib viisil, kus suur osa komponente eeltodetakse, et seeläbi vähendada tööjõukulu ning erinevaid riskitegureid, mis võiksid ilmned a ehitusplatsil. BIM võimaldab ehitajatel sisestada BIM komponendi kohta käiv täpsustav info nagu 3D geomeetria, materjali spetsiifika, viimistlusega seonduv, tarnimise järjekord ning ajastus enne ning pärast tootmist. Alltöövõtu koordineerimisega seotud tegevused moodustavad väga suure osa ehitajate poolt loodavast väärtusest projekti kui tervikusse. Ehitajad, kes on võimelised vahetama täpset BIM infot tootmisettevõtetelega, saavad hoida kokku aega kui eelnevalt teostatakse mudeli kontroll ning kinnitamine. Seeläbi vähendatakse vigasid ning võimaldab tootjatel osaleda projektis nii planeerimise kui ehitamisprotsessi käigus.

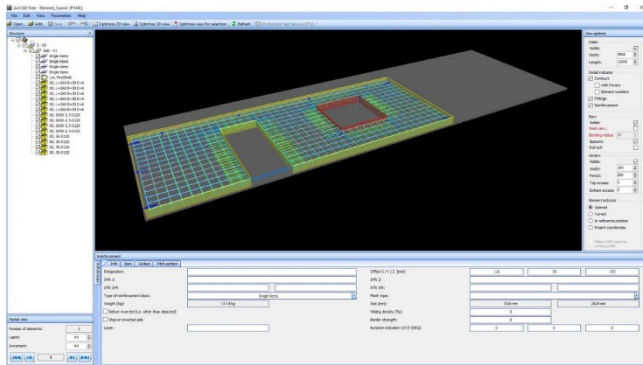
Selles vallas on heaks näiteks kindlasti ehitaja ning tootja omavaheline koostöö, mis puudutab terastoodete tellimist, tootmist ning tarnet. Kuna 3D tehnoloogiad võimaldavad selliseid komponente automatiseeritult ette valmistada, siis toimub ka infovahetus mudeli põhisel. Selleks võib kasutada standardset CIS/2 formaati. Monteeritava betoonelemendi juures saab aga kasutada formaate: *Unitechnik* (*.uni) või siis *PXML* (vt näidet *joonisel 6.16-18*). Tootmisega seonduvast BIMi kasutusest tuleb lähemalt juttu ka omaette peatükis BIM *alltöövõtjale*.



Joonis 6.16. Monteeritav seina element koos armatuuri ning montaažiks vajalike komponentidega (allikas: Autodesk Structural Precast Extension for Revit).



Joonis 6.17. Automaatne tootejoonis (allikas: Autodesk Structural Precast Extension for Revit).



Joonis 6.18. Monteeritav sein element kontrollituna *Progress Machinen & Automation AviCAD* tarkvaras.

6.10. BIMi kasutamine ehitusplatsil: ehitustegevuste kontroll, juhtimine ning järgimine

Ehitajad peavad ehitusplatsil kontrollima ehituskomponentide installeerimist, et tagada vastavus nii mõõduliselt kui suutlikkusega seotud spetsifikatsioonidega. Kui leitakse vead, peab ehitaja kulutama lisa-aega, et need parandada. Ehitusmudelit saab kasutada selleks, et kontrollida tegeliku ehitusega seotud vastavusi mudeliga. Tasub tähele panna, et isegi kui projekti meeskond loob täpse mudeli, siis inimlikku eksimuse tõttu võidakse viga teha installeerimise käigus ja nende vigade ülesleidmine nii ruttu kui võimalik omab suurt väärtust hilisemate tegevuste valguses. Seetõttu tuleks igapäevane ehitusplatsil läbiviidav kontroll ühildada mudelisse ja seeläbi veenduda, et kõik on tehtud plaanipäraselt. Tänapäeval on selleks kasutada mitmeid automatiseeritud lahendusi, mis siis aitavad läbi viia kontrolli ehitusplatsil, juhtida paigutust (ingl *guide layout*) ning järgida installeerimist. Mõned sellekohased näited on:

- **Laserskaneerimine:** Ehitaja saab kasutada lasertehnoloogiat, mille baasil n-ö raport kanda üle BIM töövahendisse (punkt pilve teisendus *mesh* objektiks või punkt pilve otse kasutamine ja seejärel võrdlus projektimudeliga), et kontrollida näiteks betooni valu paigutust või, et postid oleksid õigesti asukohtades. Laserskaneerimist saab väga edukalt kasutada ka teostusmudeli loomiseks või siis renoveerita objekti lähteolukorra mudeli saamiseks. Laserskaneerimine on tänapäeval väga laialt levinud ning väga suur n-ö areng toimub ka tarkvaralistes lahendustes, mis siis aitavad punkt pilvest luua 3D komponente (nt *ClearEdge3D*, mille 2018.ndal aastal omandas *Topcon Corporation*, kes on ennekõike tuntud riistvaraliste lahenduste poolest nii geodeesias kui masinjuhtimises).
- **Fotogramm-meetria:** Laserskaneerimise alternatiivina, eriti olukorras, kus on vaja mõõdistada suuremaid objekte, on üha laiemalt levinud ka droonidega kogutav fotogramm-meetiline info, mille baasil luuakse hetkeolukorra mudel või kasutatakse seda võimalike probleemide kindlaks tegemiseks (konstruktsioonilised vead, kulumised, amortisatsioon jne). See tehnoloogia on üha rohkem kasutusse tulemas just ehitusektoris (nt *SiteAware*, *3D Robotics*).
- **Masinjuhtimise tehnoloogiad:** Kaevetöödega tegelevad ehitusettevõtted saavad kasutada masinjuhtimise tehnoloogiat, et seeläbi juhtida ning kontrollida maapinna profileerimisega ning kaevetöödega seotud tegevusi, mis siis baseeruvad 3D/BIM mudelist saadud infol. Siin kaasatakse nii laser- kui GPS põhiseid tehnoloogiasid.
- **GPS (GNSS) tehnoloogiad:** GPS (*global positioning systems*) põhised lahendused leiavad üha enam kasutust ka ehitusettevõtete poolt. Selle kaudu saab mudeli linkida GPS süsteemiga, et kontrollida elementide paigutust või siis maha märkida oluliselt sõlmpunktid, kuhu elemente püstitada asutakse (vundamendi perimeeter, postide asukohad, sein nurk jne – nt *Autodesk Point Layout*). GPS on kasutusel ka AR/VR tehnoloogiates, et seeläbi saada parem ettekujutus,

mida hakatakse ehitaja või hoopis näha n-ö seinte taha. Siin tuleb tähele panna, et GPS seadme täpsus mängib siin väga suurt rolli ja seega tavakasutuse olevad nutiseadmed ei pruugi täna veel piisavat täpsust tagada.

- **RFID tähised:** *Radio Frequency Identification (RFID)* tähised võimaldavad järgida komponentide tarnet ning nende installeerimist ehitusplatsil. BIM komponendid, mis omavad RFID tähist, suudavad automaatselt uuendada enda staatust läbi ehitusplatsil kasutatavate skaneerimiseseadmete ning anda seeläbi ka kohest tagasisidet ehitusplatsil toimuvast (nt [Autodesk BIM 360](#)).

BIM kasutamine ehitusplatsil on viimastel aastatel muutunud oluliselt kättesaadavamaks. Kui nutiseadmete võimekus on olnud kohati isegi piisav juba aastaid, siis rakenduste tähenduses on toimunud hüpe just viimastel aastatel.

6.11. BIMi ning timmitud ehituse koostöö

Läbi timmitud ehituse (ingl *lean construction*) maksimeeritakse väärtust tellija vaatenurgast läbi protsesside pideva parandamise, mis siis omakorda optimeerivad töövoolu ja sellest lähtuvalt väheneb raiskamine. Need põhiprintsiibid pärinevad timmitud tootmisest (ingl *lean production*), ning üksjagu on õpitud just tänu *Toyota Production System (TPS)* kirjeldustele. On iseenesest mõistetav, et selle kasutamine eeldab TPS-i märkimisväärset kohandamist enne kui neid ideid ning töövahendeid saab kasutada ehitussektoris. Kohandamine on olnud nii praktiline kui ka teoreetiline ning sedalaadi protsessid on hoogustanud uute mõtteviiside kaasamist ehitussektori tootmisvaldkonda, nagu näiteks *Transformation-Flow-Value (TFV)* põhimõtte, mille defineeris *Koskela (1992, 2000)*.

Mõned timmitud ehituse töövahendid ning meetodid nagu näiteks *Last Planner System (Ballard, 2000)* eeldavad pühendumist ning head õppimisvõimet, kuid üldjuhul saab neid rakendada väga vähesel või siis lausa ilma tarkvaralise toeta. Sellest hoolimata on BIMi ning timmitud ehituse vahel väga hea sünergia ennekõike selles valguses, et BIM täidab mõningaid timmitud ehitamise põhimõtteid ning aitab suuresti kaasa teiste timmitud põhimõtete täitmisel. Üldjoontes eksisteerib ehitamise käigus väga erinevaid raiskamise allikaid, mis tihtipeale on põhjustatud asjaoludest, kuidas informatsiooni on loodud, hallatud ning kommenteeritud läbi jooniste. Paljud neist nagu ebakooskõlad projektdokumentides, piiratud projektinfo liigutamine suurtes andmemassiivides ning üldiselt pikale venivad informatsiooni päringute täitmisajad on varasemalt juba kirjeldatud. BIM-iga saab märkimisväärselt neid raiskamisi eemaldada, kuid see teeb palju enam – see parandab tööprotsesse paljude osaliste vahel ka siis kui kõik BIMi otseselt ei kasuta.

Selles valguses on *Sacks et al. (2010)* esitanud 24 timmitud põhimõtet (vt tabel 6.2) ning 18 BIM funktsionaalsust ning leidis 56 selget vastastikmõju, millest 52 olid positiivsed. Üks peamisi sünergiaid väljendub selles, et BIM vähendab kõrvalekaldeid. Võimalus visualiseerida mahtu ja selle funktsioneerimist, kiire alternatiivide genereerimise suutlikkus, informatsiooni haldussuutlikkus ning projektmudeli terviklikkus (sh ühe ainsama infoallikale toetumine ning vastuolude kontroll) ja raportite automaatne genereerimine – kõik see väljendub järjekindlamal ning usaldusväärsemal informatsioonil, mis suuresti vähendab ümbertegemise vajadust ning informatsiooni kättesaamise aega. See mõjutab ehitise meeskonna kõiki osalisi, kuid majanduslik mõju on suurem neile, kes osalevad ehituses.

Teine sünergia koht on see, et BIM vähendab töötamiseks kuluvat aega. Kõikides tootmissüsteemides on üks peamisi eesmärke vähendada aega, mis kulub toote valmistamise algusest selle lõpetamiseni. See aitab vähendada protsessile kuluvat töömahtu, vähendada varusid ning tagada süsteemi poolset võimekust reageerida erinevatele muudatustele väikseima võimaliku raiskamisega. Näiteks eelarvestuse jooksev uuendamine, mis on oluline eelarves püsivuse seisukohast (*target costing*

approach) ja seega peab selle uuendamiseks kasutama automatiseeritud tööprotsesse ja seega 4D töövahendeid (protsesside simuleerimine, vastuolude kontroll), kuna käsitsi või siis manuaalne tegemine võib tähendada, et uuendamine võtab aega kuid, mis pole piisav ja võib olla juba liiga hilja, et sisse viia muudatusi ning seega on probleemide ilmnmisel toimunud juba oluline raiskamine ressurssides või materjalide kasutamises või mitte kasutamises.

Kolmanda sünergia kohana võib tuua välja BIMi võimekuse teha nii ehituse toodete põhiskui selle protsesside visualiseerimist. Visualiseerimine võib tähendada ka tööde graafikute visualiseerimist, et vältida võimalikke kokkulangevusi või lahendada installeerimise keerukusi ja seeläbi tõsta oluliselt töö tegemise kiirust. Kui BIM süsteem on seotud allhanke andmebaasidega, saab luua võimeka mehhanismi toodete, nende tootmise ning tarnimisega seotud infovahetuseks. Näiteks võib siinkohal taas esitada visuaalseid 4D mudelid, kus komponendid on värvitud lähtuvalt nende seisundist.

Viimase sünergiana ja vast kõige ilmselgemana saab tuua asjaolu, et BIM toetab tervet rida erinevaid timmitud põhimõtteid ka juba projekteerimise faasis. Tellija saab projekti kavatsusest paremini aru, kui seda esitletakse mudelitena ning projekteerijad saavad läbi viia paremaid suotlikkusega seotud analüüse. Nõuete kogumise ning teabevoogude parandamine. Jooniste loomiseks kuluva aja oluline vähenemine ja seega eskiismudeli etappi saab pikendada, et seeläbi anda võimalus teha suuremaid muudatusi projekti varajases staadiumis, millel on tervikule ka oluline mõju – seega mängitakse läbi rohkem erinevaid alternatiive.

Tabel 6.2. Timmitud põhimõtted (Sacks et al. 2010).

Peamine mõjuala	Põhimõte
Tootmisprotsess	<ul style="list-style-type: none"> • Vähendada muutlikkust – Kvaliteedi tagamine esimesel korral (muutmiste arvu vähendamine). Järgnevate tegevuste muutmiste vähendamine (tootmisega seotud muutmiste vähendamine). • Ringlusaegade vähendamine – Vähenda tootmisega seotud ringlusaegasid. Vähendada varude koondumist. • Vähendada partiide suurust (ühekordsele protsessile keskendumine). • Paindlikkuse tõstmine – Vähenda ülemineku aegasid. Mitmekülgete oskustega meeskondade kasutamine. • Valida sobiv tootmise kontrolli lähenemisviis – Kasuta tõmbesüsteemi (ingl <i>pull systems</i>). Ühtlusta tootmist. • Standardiseerimine. • Asutuse pidev täiendamine. • Visuaalse halduse kasutamine – Tootmismeetodite visualiseerimine. Tootmisprotsesside visualiseerimine. • Tootmissüsteemi disain lähtuvalt töövoolust ning väärtusest – Lihtsusta. Kasuta paralleelseid protsesse. Kasuta vaid usaldusväärset tehnoloogiat. Veendu tootmissüsteemi võimekuses.
Väärtust loov protsess	<ul style="list-style-type: none"> • Kindlusta nõuete ulatus. • Keskendu põhimõtte valikule. • Veendu, et allhankijad on samaväärses lepingulises suhtes peatöövõtjaga kui tema oma tellijaga (ingl <i>flow down concept</i>). • Kontrolli ning valideeri.
Probleemi lahendamine	<ul style="list-style-type: none"> • Mine ja vaata probleemile/küsimusele otsa (ingl <i>go and see yourself</i>, jpn <i>genchi genbutsu</i>). • Otsusta konsensuse põhimõttel, kuid kaalu kõiki võimalusi.
Partnerlussuhted	<ul style="list-style-type: none"> • Partnerite võrgustiku laiendamine.

BIMi tugi aitab ka rohkem tegevusi suunata eeltootmisesse, mis omakorda tähendab taas timmitud protsesse. Eeltootmine tähendab üldjuhul vähem probleeme kvaliteediga ning väheneb ka

tootmisaeg, seega paranevad nii tootmiseks kuluv kui installeerimiseks kuluv aeg ning kasutada saab erinevaid järgimissüsteeme, et hetke protsessid muuta koheselt märgatavaks.

Lähtuvalt loetletud sünergiatest on ilmselge, miks *American Institute of Architects* pani kirja *Integrate Project Delivery* põhimõtte, mis sisuliselt on samuti timmitud lähenemine (Eckbad et al., 2007).

6.12. Mõju hankelepingutele ning organisatoorsetele muutustele

Eeltoodud BIMi kaasavate tööprotsesside kirjeldused ehitajate vaatevinklist toovad välja eelise, miks on varajane ja jätkuv koostöö projekti partnerite vahel oluline ning samas vajaduse, et projekti põhipartnerid osaleksid virtuaalse mudeli loomises. Mistahes valdkonna ehitajad, kes toetuvad BIM-ile, ja eemalduvad klassikalisest 2D CAD süsteemist, saavutavad kõige suuremaid eeliseid.

Projektid, mis kaasavad nii projekteerijaid kui ehitajat ja allhankijaid ning kes siis kaasavad ehitatavuse, maksumuse ning ehituse planeerimise alaseid teadmisi projekti varajases staadiumis, saavutavad projekti kui terviku tähenduses eeliseid kõikide partnerite tähenduses. Seetõttu on BIM oma integreeritusest, koostööle suunavast põhimõttest lähtuvalt eelistatud lähenemisviis nüüd ja tulevikus.

See organisatoorne lähenemine tähendab mõistagi uusi lepingutingimusi, mis siis toetavad tihedat koostööd ning info jagamist aga ka tehnoloogia kasutamisest tulenevaid eeliseid. Samuti on oluline läbi mõelda riskide haldus ja nende lahendamiseks saadava kasu jagamine projekti partnerite vahel, kuna varajane koostöö ja kõikide osaliste kaasamine tähendabki koostöös ja ühise kogemuse baasil saadavat paremat lahendust. Mõned innovaatilisemad tellijad on juba praktiseerimas *Integrated Project Delivery* meetodit, et testida, kuidas paremini integreerida ehitajat (sh allhankijaid) läbi BIMi põhiste protsesside.

On oluline mõista, et mistahes meediumit või infoedastamise viisi kasutatakse nüüd ja praegu või tulevikus, siis osalejate vastutus jääb samaks. Ehk siis info looja ja edastaja peab tagama info korrektsuse sõltumata sellest, kas see on 2D väljatrükk, 2D CAD või 3D/BIM mudel. Ehitajad ning ehitusjuhid peavad aru saama, et koordineerimine, kas siis *BIM* tehnoloogiaga või ilma (üksteise peale paigutatud vaadete läbivalgustus valgustuslaua), on põhiteenus ja mitte valikuline teenus. BIM töövahendid, mis täna on kättesaadavad, aitavad koordineerida ning kui neid kasutada sihipäraselt, saab oluliselt kulusid ning aega kokku hoida. Küsimus pole seega selles, kas BIMi kasutada, vaid pigem, millises ulatuses seda kasutada. On teada fakt, et BIM koordineerimine parandab kommunikatsiooni, mis vähendab ehituseks kuluvat aega ning vajaminevaid finantse ja ühtlasi väheneb ka risk. Ehitajad ning ehitusjuhid peavad määratud aja jooksul tagama vahetu ülevaate kulutuste muutumisest tellijale ning projektmeeskonnale. On oluline mõista, et BIM oma loomult tähendab avatud suhtlust ning jagamist, mistõttu peavad ka lepinguvormid kaasama BIM informatsiooni sujuvat üleandmist, jagamist originaal- ning mõnes avatud formaadis (nt IFC). Lepinguvorm peab tagama ühtlase kohtlemise kõikide partnerite vahel, eriti olukorras, kus kasutusel on nii väljatrükid, 2D või 3D esitused. Ehk siis kui projekteerijale edastatakse fail, milles tegelikult on mõõdulisi ebatäpsuseid, siis on ta kaitstud samas ulatuses, mille korral oleks need ebatäpsused väljatrükina "õigeks" loetud.

6.13. BIMi rakendamine

Ehitajad, kes töötavad koostöös projekteerijatega ja seda projekti varajases staadiumis kogevad üldjuhul vähem takistusi BIMi rakendamises kui seda saaks teha *Design-Bid-Build* olukorras. Viimasel juhul ei hakka koostöö enne kui on leitud sobiva (madalaima) hinnapakkumisega ehitaja. Täpselt sama kehtib ka hankijatele. Siin tulebki veelkord rõhutada IPD lepingu eeliseid.

Integreeritud projektide juures peab ehitaja aru saama, kuidas 3D/BIM tehnoloogia kasutamine (kui võrrelda 2D joonistega) toetab koordineerimist, eelarvestamist, ajagraafikute loomist ning projekti

haldust. Hea rakenduskava peab tagama, et kõik projekti juhtrollis olevad isikud saavad aru, kuidas BIMi kasutatakse mingi kindla tööprotsessi juures. Seda peaks tegema ettevõtte tasandil. Kui arhitektid ning teised projekteerijad kasutavad BIMi ebaühtlaselt, peab ehitaja ise looma sobiva mudeli, mis on tema poolt läbiviidavate tegevuste rakendamiseks oluline. See aga tähendab, et nad peavad süvenema mudeli ülesehituse protsessidesse, kus paljud komponendid lähtuvad kindlatest standarditest – värvikoodi, objektide esituse või ehitatavuse tähenduses. Vajadusel tuleb end koolitada, kas siis sisekoolituse, vastava BIM rakenduse edasimüüja või mõne konsultandi kaudu. Mudeli arendamiseks kuluv aeg tasandub kiirelt ühes selle tulemusel vähenevate vigade arvu, paremini juhitud tööprotsesside (sh vähenev tööaeg ning ajagraafik) ning saavutatava koostöö efektiivsuse toel.

6.14. Küsimused aruteluks

1. Ehitusettevõtete suurus ja tüüp varieerub väga suurtes piirides. Kui vaadata viimast statistikat, siis mis mahus ettevõtteid kaasas 1-9 töötajat? Mis sektorist oli enamik neist ettevõtetest?
2. Mis on peamine *Design-Build* eelis *Design-Bid-Build* lepinguvormi ees? Miks on BIMi kasutus paremini võimaldatud just *Design-Build* lepingute puhul? Miks on avalike projektide juures eelistatum *Design-Bid-Build* lepinguvorm?
3. Mis on põhilised eelised hankekorralduses kui kasutada IPD? Kuidas mõjutab see ehitusettevõtte ärihuve ehitusprojekti näitel? Millised BIMi võimekused on IPD kaudu kättesaadavad kui vastandada *Design-Bid-Build* või isegi *Design-Build* lepinguvormiga?
4. Ehitaja vaatenurgast, mis infot peab ehitise mudel sisaldama? Kui arhitekt kasutab BIMi, et luua ehitise mudel, siis mis infot, mida ehitaja vajab, tavaliselt sellest ei leia?
5. Millised, ehitajale kättesaadavad, lähenemisviisid on saadaval, et luua ehitise mudel. Mis on iga üksiku lähenemisviisi eelised ning puudused?
6. Mis detailsusastet on vaja tagada ehitise mudelis, et seda kasutada vastuolude kontrolliks? Mis eeliseid võiks omada vahekauguste tagamise kontroll vs füüsilise vastuolu kontroll? Mis rolli mängivad allhankijad vastuolude kontrolli tegemise juures?
7. Mis on peamised eelised ning piirangud BIMi kasutamises eelarvestamiseks? Kuidas saab eelarvestaja linkida ehitise mudeli eelarvestussüsteemiga? Mis muudatused võivad mudelis aset leida, et tagada täpset mahtude väljavõtet?
8. Mis on lihtsama, ehituse ajagraafikut kaasava 4D analüüsi tegemise eeldused? Mis on ehitaja valikud sedalaadi informatsiooni saamiseks, et analüüsi teha? Milliseid olulisi järeldusi võib sellistest analüüsides teha?
9. Kuidas saab BIMi linkida eelarvestuse ning ajagraafiku süsteemiga? Milliseid eeliseid see võiks anda?
10. Mis eeliseid võiks BIM anda hankekorraldusse? Miks on endiselt nii seda keerukas teha?
11. Mis on ehitise mudelile esitatavad nõuded, et seda saaks kasutada eeltootmises? Millised standardsed vahetusformaadid on saadaval, et vahetada teraskonstruktsioonide ning monteeritava betoonelemendi infot eeltootmisega?
12. Millised organisatoorseid ning lepinguvormide põhiseid muudatusi on vaja efektiivseks BIMi kaasamiseks.

7. BIM alltöövõtjale

Ehitised on muutunud üha keerukamaks. Nendest on saanud unikaalsed tooted, mis vajavad multidistsiplinaarset projekteerimise- ning tootmisega seotud oskuseid. Ehitusvaldkondade ning majanduse fokuseerimine eeltootmisele on viinud selleni, et üha rohkem ehitise komponente / süsteeme toodetakse ehitusplatsilt väljaspool. Võrreldes tootedisainiga ja seal toimuva n-ö masstoodanguga, eristub ehitussektor selle poolest, et komponendid on tihtipeale projekti põhised, kuhu alla kuuluvad nii teraskonstruktsioonid, monteeritavad konstruktsioonid, arhitektuursed fassaadid, klaasseinad, tehnosüsteemide komponendid ja puidust sarikad ning armeeritud betoonseinaelemendid.

Kasutatakse ka terminit tellimuspõhine tootmine (ingl *engineered to order*), mis eeldab väga head inseneride ning projekteerijate/arhitektide omavahelist suhtlust ning koostööd, et kõik komponendid asetuksid ehitusplatsil ideaalselt kokku ning ei sattu vastuollu teiste ehitise süsteemidega. Projekteerimine ning projekti koordineerimine läbi 2D CAD süsteemide on loomult vigade rohke, töömahukas ning baseerub pikale venivas protsessi ajas. BIM võimaldab neid probleeme lahendada, kuna eelnevalt toimub virtuaalne komponentide ehitamine, koordineerimine ning testimine iga komponendi põhiselt. Seega BIMi eelised alltöövõtjad silmas pidades on: parem turundamine ning renderdus läbi visuaalsete piltide ning automatiseeritud eelarvestus; vähenev ajakulu nii projekteerimise kui tootmise tähenduses; peaaegu kõikide projekti koordineerimisega seotud vigade eemaldamine; vähenev projekteerimisega ning selle täpsustustega seotud kulu; automaatsete tootmisprotsesside juhtimine läbi standardsete andmeformaate; paranenud eelkooste ning eeltootmise protsessid.

Täpne, usaldusväärne ning universaalne info on tootmises tervikuna kriitilise tähtsusega. Sel samal põhjusel võimaldab BIMi kasutamine timmitud ehitusmeetodite rakendust kui see on rakendatud üle terve organisatsiooni allüksuste või üle kogu tootmisahela. Nende protsesside ulatus ning sügavus käib käsikäes ehitise infomudelite ulatusega, mida kaasatud organisatsioonid integreerivad.

Tootmiseks vajaliku detailsuse saavutamiseks peavad BIM platvormid toetama vähemalt parameetrilisi ning kasutajapõhiseid komponente, nende seoseid, kaasama liidestusi haldamiseks infosüsteeme ning võimaldama importi projekteerijate poolt kasutatavatest BIM platvormidest. Lisaks peavad need pakkuma häid võimalusi mudeli visualiseerimiseks ning andmete eksporti automatiseerimist võimaldavatesse formaatidesse, et võimaldada automatiseeritud tootmist.

Selleks, et olla edukas BIM kaasamisega tootmisettevõttesse kaasates olemasolevat tööjõudu, peab alustama selgete ning saavutatavate eesmärkide seadmisega ühes mõõdetavate vahefinišitega. Inimressurssiga seotud kaalutlused on peamised mureallikad, mitte ainult seepärast, et sellega kaasnevad koolitus- ning tarkvara installeerimisega seotud kulud ületavad oluliselt tarkvara ning riistvara maksumuse, aga ka asjaolust, et BIMi kaasamine sõltub inimeste oskustest ning heatahtlikkusest, kes peavad uut tehnoloogiat kasutama hakkama.

7.1. Sissejuhatus

Professionaalne lõhe projekteerijate ning ehitajate vahel, mis Euroopa renessansi perioodil ilmnema hakkas, on laienenud aastasade jooksul olukorras, kus ehitise (hoone) süsteemid on muutunud üha keerukamateks ning tehnoloogiliselt võimekamateks. Aja jooksul muutusid ehitajad üha enam spetsialiseerunuks ning hakkasid ehitise komponente tootma ehitusplatsilt eemal, esmalt käsitöökauplustes ning seejärel juba tööstuslikult, millele järgnes siis kohapealne kokkupanek. Selle tulemusel jäi projekteerijatel üha vähem võimalusi kontrollida kogu projekti; ekspertteadmised

mistahes süsteemi kohta olid nihkunud erialaste tootmisettevõtete juurde. Tehnilisest joonisest ning spetsifikatsioonist oli saanud peamine suhtlusviis. Projekteerijad edastasid oma kavatsuse ehitajatele ning ehitajad täpsustasid seda omapoolt pakutavates toodetes/lahendustes. Ehitaja joonised, nimetatuna ka kui tööjoonised (ingl *shop drawings*), täidavad kahte peamist eesmärki: projekti edasiarendus ning täpsustamine tootmise tarvis; ning mitte vähem tähtsamana, kommunikeerida oma ehituslik kavand tagasi projekteerijatele nende poolseks koordineerimiseks ning kinnitamiseks.

See kahepoolne kommunikatsioon ei ole lihtsalt mõeldud ülevaatamiseks aga omab ehitise projekteerimises väga olulist tähendust. Veelgi enam, selle käigus mitmed erisüsteemid esmalt toodetakse ning nende projekti peab pidevalt integreerima ülejäänud lahendustega. Jooniseid kasutatakse selleks, et koordineerida erinevate ehitise (hoone) süsteemide asukohta ning funktsiooni. See kehtib täna ka kõige lihtsamate ehitiste puhul.

Tavapärasel praktikal omavad tootjate poolt ette valmistatud joonised ning spetsifikatsioonid veel järgmisi olulisi tähendusi: nende baasil sõlmitakse lepingud tootja toodete kaasamiseks/hankimiseks; neid kasutatakse installeerimiseks või ehitamise läbiviimiseks; ning seeläbi hoitakse alles ka informatsiooni, mida projekteerimise või ehitamise käigus rajati/teostati jne.

Alltöövõtjate ning tootjate tähenduses toetab BIM kogu terviklikku, koostööle suunatud protsesse nii projekti arendamise, täpsustamise kui integreerimise tähenduses. Väga paljud näited on tõestanud, et BIM võimaldab oluliselt rohkem kaasata eeltootmist kui seda suudetaks ilma ja seetõttu lüheneb tellimuse täitmisaeg ning paraneb projekti terviklikum integreerimine. Varasemalt on saanud märkida, et enne BIM platvormide teket, juba kasutati objekti-põhiseid projekteerimisplatvorme, mis toetasid paljusid erinevaid ehitustegevusi nagu teraskonstruktsioonide tootmine.

Lisaks neile lühiajalistele mõjudele nagu tootlikkus ja kvaliteet, võimaldab BIM fundamentaalset protsesside muutust, kuna selle kaudu on võimaldatud suuremahulise info haldus, mis omakorda aitab kaasa erilahenduste tekitamiseks ja see kõik mängib olulist rolli timmitud tootmises.

Kui timmitud tootmise meetodid muutusid laialdasemalt kasutatavateks, said alltöövõtjad ning tootjad üha enam aru, et turg nõuab neilt nüüd ehituskomponentide erilahendusi samas hinnastuses, millega varem pakuti masstoodanguga saadud standardseid komponente. Seetõttu nimetataksegi tootmises sellist protsessi masskohandamiseks (ingl *mass customization*).

7.2. Alltöövõtjate ning tootjate liigitus

Alltöövõtjad ning tootjad osalevad ehituses väga laias tegevuste amplituudas. Enamikku neist saab määratleda läbi selle, mis tüüpi tööd nad teevad või mis liiki komponente nad toodavad. Selleks, et diskuteerida, mismoodi saavad nemad BIMi rakendada, on nende töös vajalik kaasata insenerilikku projekti. Vaadates lähtematerjalidest kaugemale, saab ehituskomponente klassifitseerida järgmistesse kolme suuremasse gruppi:

1. **Turule suunatud komponendid**, nagu standardsed veevärgiseadmed, kipsplaadid, prussid, torud ja nende komponendid jne.
2. **Tellitavad komponendid**, nagu õõnespaneelid (tüüpiliselt küll eeltoodetud, kuid lõigatavad sobivasse mõõtu), kataloogidest leitavad aknad ning uksed.
3. **Insenerilahendusega komponendid**, nagu teraskonstruktsioonraamide komponendid, kandvad monteeritavad betoonelemendid, fassaadielemendid, köögi erilahendused ning muu sisustus ja mistahes muu komponent, mis mõeldud kindlasse asukohta ja peab täitma kindlaid ehitise funktsioone.

Kaks esimest klassifikatsiooni on mõeldud üldiseks kasutamiseks ja neid ei projekteerita erilahendusi järgides (kusjuures teist klassi toodetakse vaid vastavalt vajadusele). Need komponendid on defineeritud kataloogide põhisel. Enamik BIM süsteeme võimaldavad kaasata toodete digitaalseid katalooge viisil, kus projekteerijad saavad kaasata lisatavaid objekte ühes nendega seotud linkidega ehitusinfomudelid. Nende toodete tarnijad on väga harva seotud komponentide installeerimisega ehitusplatsil. Seetõttu võib öelda, et nad pole otseselt kaasatud projekteerimisse ega ka ehitusprotsessi. Sellest lähtuvalt keskendumegi kolmandale klassile, insenerlahendusega komponentidele (ingl *engineered-to-order components*).

7.2.1. Insenerlahendusega komponentide tootjad

Insenerlahendusega komponentide tootjad on tootmisettevõtted, kes toodavad komponente, mis esmalt tuleb projekteerida ning insertehniliselt lahendada ja alles seejärel on need valmis tootmiseks. Enamikel juhtudel teevad nad ehitajale kui peatöövõtjale allhanget või olukorras, kus projekt viiakse ellu läbi projektijuhtimisteenuse, siis ka otse omanikule. Alltöövõtja teostab täpsema projekti, insenerlahendused, tootmise ning ka toodete püstitamise.

Ehkki nii mõnedki ettevõtted omavad oma enda inseneritehnilist kompetentsi, on nende põhiliseks ärisuunaks ikkagi tootmine. Sellest lähtuvalt tellivadki mõned tootmisettevõtted inseneritehnilise lahenduse ettevalmistuse konsultantidelt (kes on just sedalaadi teenusele pühendunud). Nad võivad oma toodete püstitamise ning installeerimise samuti allhankena lasta teostada, kelleks siis üldjuhul on omaette ettevõtted (nn paigaldusettevõtted).

7.2.2. Projekteerimisteenuse pakkujad

Projekteerimisteenuse pakkujad pakuvad inseneritehnilist teenust tootjatele, et need saaksid toota tellitud komponente. Üldjuhul on nad kaasatud omaette lepinguga ning seetõttu ei osale tegelikult tootmises ega ka ehitusplatsil toimivas installeerimise protsessis. Teenuse pakujateks võivad siinkohal olla: teraskonstruksioonelementide projekteerijad, monteeritavate betoonelementide projekteerijad ning fassaadkomponentide erilahendustele keskendunud projekteerijad aga ka paljud teised.

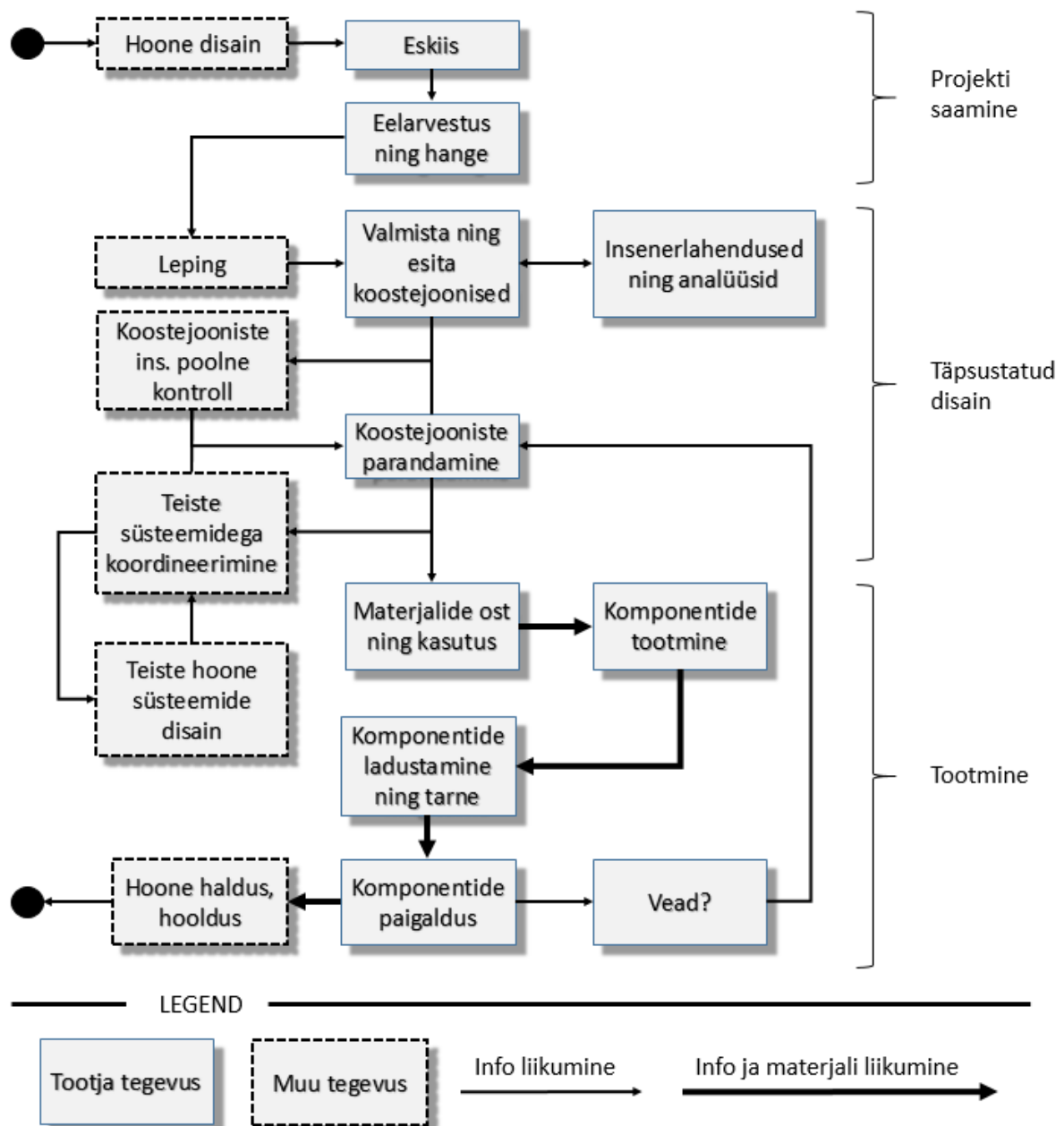
Betoonelementide projekteerijad on samuti heaks näiteks. Nende inseneritehnilise, projekteerimise- ja detailsete jooniste tegemise kogemus omab väga suurt tähendust ehitaja/tootja silmis, kus on vajalik kohapealne betoonseinaelementide horisontaalne valamine ning seejärel nende tõstmine, paigutamine vertikaalsesse konstruktsiooni (ingl *tilt-up concrete construction panel*).

7.2.3. Spetsialiseerunud koordineerijad

Spetsialiseerunud koordineerijad pakuvad teenuseahelat, mis siis koondab projekteerijad, materjalide tootjad ning tootmisettevõtte üheks "virtuaalseks" allhankijaks. Seeläbi suudetakse pakuda oma teenuse ulatuses suurimat võimalikku paindlikkust, kuna neil puudub oma enda fikseeritud tootmisahel. Sedalaadi teenust pakutakse näiteks fassaadseinte loomise tähenduses.

7.3. BIM protsessi eelised alltöövõtule

Joonis 7.1 esitab tüüpilise informatsiooni liikumise ning tooteprotsessi ehituslike insenerlahendusega komponentide loomises. Selles protsessis on kolm olulist osa: projekti saamine (eelnev projekteerimine ning pakkumine), täpsustatud projekteerimine (inseneritehniline ning koordineerimine), ja tootmine (sh tarne ning installeerimine). Protsess kaasab ka tsükli, kus projekti ettepanekut formuleeritakse ning parendatakse vastavalt vajadusel. Tihtipeale toimub see detailsemas projekti staadiumis, kus tootja peab saama ehitise projekteerijalt tagasisidet ning kinnituse mitte ainult nende poolt loodud komponentidele aga ka koordineerimisega seotud aspektidele, milles osalevad teised, arenduses olevad ehitise (hoone) süsteemid.



Joonis 7.1. Insenerlahendusega komponentide tüüpiline informatsiooni ning tootmisega seotud liikumisteedekonnad tootja vaatevinklist (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 311).

Tavapärasel protsessil on terve rida probleeme. See on tömahukas, milles suur osa ajast läheb dokumentide tootmisele ning nende uuendamisele. Jooniste grupid või ka muud dokumendid sisaldavad üsna suurt hulga ebatäpsusi ning vastuolusid, mida tihtipeale ei avastata enne kui toodet püstitatakse/paigaldatakse ehitusplatsil. Sama infot sisestatakse tarkvaralistesse lahendustesse korduvalt, iga kord eesmärgiga kasutada seda vaid mingiks konkreetseks ülesandeks. Tööprotsess kaasab terve rida vahepealseid kontrollpunkte, mille järgselt on vajalik ümber tegemine ning selleks kulub oluline lisa-aeg.

BIMi kaasamine aitab seda protsessi parendada mitmeti. Esmalt, BIM võimaldab parendada enamikku 2D CAD protsessi tegevusi ja seeläbi tõsta tootlikkust ning elimineerida käsitsi teostatava koordineerimise etapi vajadus tagamaks jooniste ühtlust. Põhjalikumas rakendamises tähendab BIMi kaasamine aga protsesside muutmist, milles avarandatakse eeltootmise võimekust, mida

olemasolevate süsteemidega ei suudetaks rakendada just koordineerimise maksumuse tähenduses. Kui seda rakendada tihedalt ehituse kontekstis, nagu *pull flow* meetod, millega kontrollitakse nii detailiseerimist, tootmist, kui installeerimist, saab BIMi läbi oluliselt vähendada tellimuse täitmisaegasid ja muuta ehitusprotsessid paindlikumaks ning vähem raiskavaks. *Pull flow* meetodis järjestatakse tööprotsessid nii, et iga järgnev tootmisprotsess algab siis, kui komponendi tellimus on saanud kinnituse sellele eelnevalt täidetud protsessi tähenduses. Vastandiks on *push flow*, kus tootmist juhitakse keskselt. Seega *pull flow* kaasab komponendi detailiseerimise ning tootmise alustamist vaid väikese aja võrra enne kui selle installeerimine sai võimalikuks. Vaatamegi esmalt just lühiajalisi eelseid, mis seotud *joonisega 7.1* ning lähtuvad nende ilmumise hetkest.

7.3.1. Turundus ning pakkumine

Enamikele, alltöövõtuga seotud tootmistele, on esmane projekt ning eelarvestus töö saamise elementaarseks tegevuseks. Selleks, et võita projektihange kasumiliku pakkumisega, peab tagama mahtude mõõtmise täpsuse, fookuse detailidele ning võimekuse olla valmis arendama konkurentsivõimelisi tehnilisi lahendusi – kõik see aga tähendab märkimisväärset panust ettevõtte parimatelt inseneridelt. Mitte kõik pakkumised pole edukad, mistõttu ettevõtted peavad tegema suuremal hulgal projektide eelarvestusi, kui neid tegelikult saab ellu viia ja seega moodustab pakkumise koostamine ettevõttele olulise osa üldkuludest.

BIM tehnoloogia toetab insenere kõigis neis järgnevates tegevustes: erinevate alternatiivide arendus, lahenduste detailiseerimine mõistlikus ulatuses ning mahtude mõõtmine.

Turundamise seisukohast pole ehitusinfo mudeli veenvus kliendile vaid selle 3D või fotorealistlik esitus, mis pigem on iseloomulik 3D geomeetrilisele mudelile. Selle võimekus seisneb asjaolus, et läbi projektlahendi parameetrisuse saab kaasata paremaid insenertehnilisi lahendusi ja viia kõike seda läbi senisest kiiremini, et täita kliendi vajadusi nii suures ulatuses kui vähegi võimalik. Näide ühest monteeritava betoonelemendi eelarvestaja kogemusest kasutada BIM töövahendit, et seeläbi luua ning maha müüa parkimismaja lahendus.

Projekt algas klassikalises Design-Build formaadis. Töötaja modelleeris terve parkimismaja (mahuna 72m x 176m x 5 korrust) täpsustamata detaile nagu ühenduspunktid või armeerimine. Tööaeg: 8 tundi. See koosnes 1250-st tükist. Lahendus saadeti välja PDF failidena nii tellijale, arhitektile kui insenerile.

Järgmisel hommikul toimus konverentskõne tellijaga, milles lepiti kokku terves reas muudatustes. Sama töötaja redigeeris mudelit ja see oli valmis pealelõunaks (13:30). Seejärel prinditi välja nii plaanilised kui vertikaali vaated ja loodi veebivaaturiga vaadatav mudel. Kogu see info läks tellijale kell 13:50 (e-kirja vahendusel). Kell 14:00 toimus uus konverentskõne ning 2 päeva hiljem oli projekt võidetud. Tellija oli üliõnnelik nägemaks oma parkimismaja mudelina.

Hinnanguna oleks seda kõike 2D-s tehes läinud 2 nädalat, et saada 3D-ga võrreldav tulemus. Ühiskohtumisel kasutati sama mudelit, et leppida kokku tööde ulatus.

Eelnev näide kirjeldab selgelt, kuidas lühenenud reageerimisajad, mida BIMi kasutamine võimaldab, aitas ettevõttel paremini sulanduda tellija otsustusprotsessidesse.

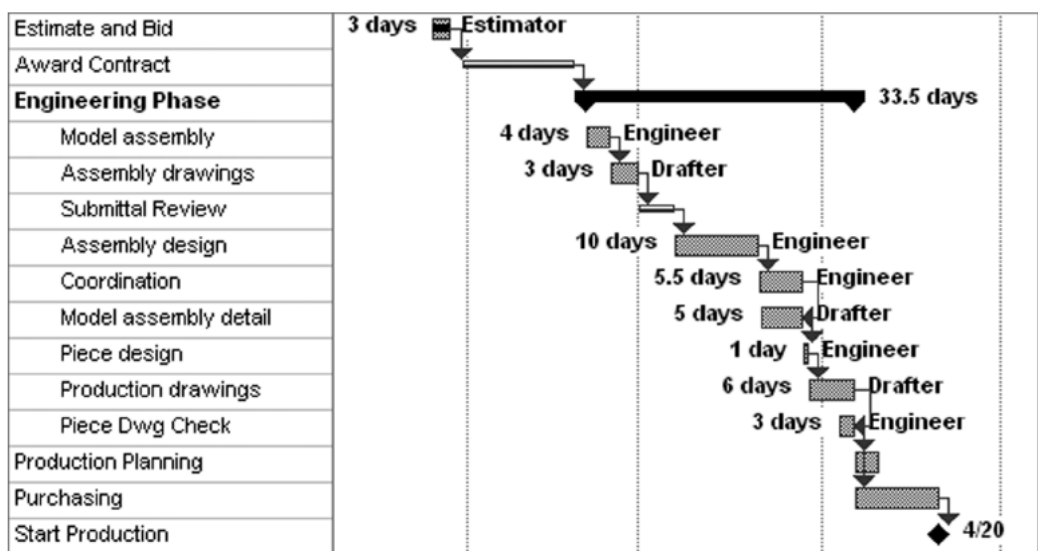
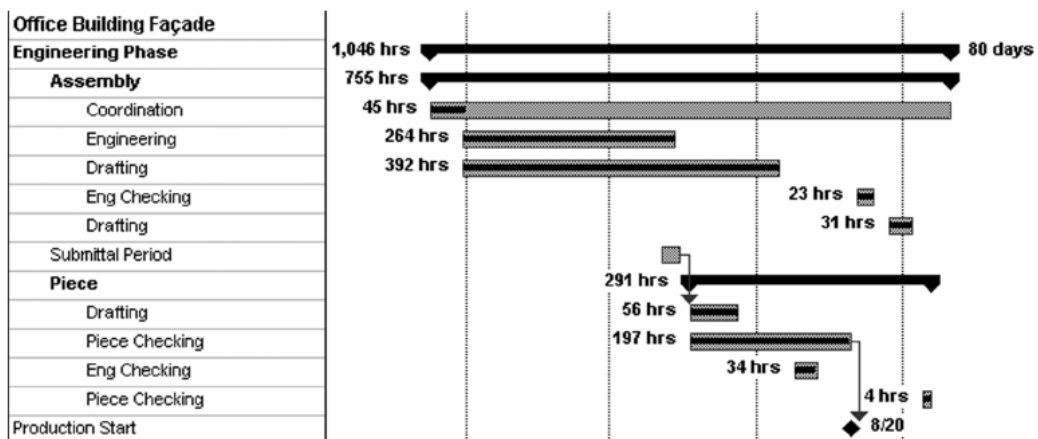
7.3.2. Tootmistsükli vähenevad ajad

BIMi kasutamine vähendab märkimisväärselt ajamahtu, mis vajalik koostejooniste ning materjalide väljavõtete tegemiseks. Seda saab võimendada kolmel viisil:

- Pakkudes suurepärasest teenuse kvaliteeti ehitise tellijale, kelle jaoks on hiljem tehtavate muudatuste tegemine tihtipeale tavapärase, ja võimaldades seega neid muudatusi ka hiljem ellu viia, kui seda võimaldaks tavapärase 2D CAD praktika. Muudatuste tegemine ehitise projektis, mis mõjutab toodetavaid komponente vahetult enne nende tootmist, on tavapärasest praktikast kasutades väga keerukas. Iga muudatus peab kajastuma kõikidel seotud joonistel ja võtma omakorda arvesse seotud komponentide muudatusvajadusi. Kui ehitise süsteemide loomises osalevad erinevad tootjad või alltöövõtjad, saab koordineerimisest peamine märksõna ja tavapärasest praktikast kasutades on seda väga keerukas ning ajamahukas teha. Läbi *BIM* platvormi, sisestatakse kõik muudatused mudelisse ning vajalikud koostejoonised luuakse peaaegu automaatselt. Aja ning pingutuse mõttes, mis vajalik muudatuse rakendamiseks, on saadav eelis tohutu.
- Võimaldamaks *pull production system* põhist lähenemist, kus koostejooniste ettevalmistust juhitakse tootmisjärjekorra põhiselt. Väiksemad ooteajad vähendavad projektinfo pidevat järgimist/koguseid, ja seeläbi tehes seda vähem haavatavaks muudatuste tähenduses. Koostejoonised luuakse siis kui olulised muudatused on tehtud. See vähendab ka edasiste muudatusvajaduste tõenäosust. Tegemist on n-ö timmitud süsteemiga, kus koostejoonised luuakse viimasel võimalikul hetkel.
- Selleks et muuta eeltootmisega seotud lahendused pädevateks olukordades, kus on piiratud täitmisajad (lepingu sõlmimisest kohapealseks paigaldusvalmiduseks), mis tavaolukorras välistaks nende kasutamise. Peatöövõtja on tihtipeale olukorras, kus ehituse alguskuupäev ühes täitmiseks kuluva ajaga on tegelikult lühem, kui seda võimaldaks täita tavapärase 2D CAD tootmistsükkel (seda ennekõike just 2D CAD ajamahukate tegevuste tõttu). Näiteks ehitise, mis projekteeritud kohapealse betoonivalu tööprotsesside kaasamiseks, eeldab 2-3 kuud puhtalt projekteerimisele, et seda saaks lahendada monteeritavate elementidega, mis oleksid tootmisprotsessiks valmis. BIMi kaasates, vähendatakse projekteerimisele kuluvat aega viisil, kus rohkem komponente läbi pikema täitmisaja saab eeltoota märksa varem.

Need loetletud eelised baseeruvad BIMi poolt võimaldatud automatiseeritud lahendustel, milles püütakse luua ning kommunikeerida detailset tootmisinfot koos vajaliku paigaldusega. Parameetriselised seosed ehituskomponentide vahel (mis lähtuvad põhilistest projekteerimise eeldustest/teadmistest) ning nende parameetrid (mis aitavad süsteemidel arvutada ning raporteerida tähenduslikku infot tootmisprotsesside tarvis) on kaks olulisemat BIM süsteemi omadust, mis eelnimetatud protsesse aitavad parendada.

Täitmisaegasid saab vähendada läbi koostejooniste automaatse loomise. Seda on käsitletud väga mitmes teaduslikus projektis. Teraskonstruksioonide tööstusvaldkond on välja toonud, et kuni 50% on võimalik kokku hoida just inseneritehnilise täpsustamise staadiumis. Osaliselt on kokkuhoid mõistagi mitte ühe tegevuse arvelt, vaid kombineeritud kujul – näiteks timmitusse ehitamise vaatenurk ning kokkuhoid või sääst, mis tuleneb väiksemast raiskamisest. Ühe näitena võib täitmisaja vähenemise tähenduses tuua arhitektuursete, eeltoodetud fassaadelementide tootmise (Sacks, 2004). *Joonisel 7.2* esitab esimene *Gantti* graafik fassaadi paneelide projekti läbi 2D CAD lähenduse, mis on antud juhul teoreetiline, kuid eeldades, et töö toimus pideva protsessi ning seisakuteta. Teine *Gantti* graafik esitab aga hinnangulise ajagraafiku samale projektile, mis oleks ellu viidud 3D parameetriselise modelleerimise süsteemi kasutades. Selles lähenduses väheneb täitmisaja algselt seotud eesmärgist, milleks oli 80 tööpäeva, vaid 34-le tööpäevale.



Joonis 7.2. Ülemine Gantt graafik esitab võrdlusaluse täitmisaaja tähenduses eeltoodetud arhitektuursete monteeritavate fassaadelementide projekteerimiseks, koostejooniste tegemiseks läbi 2D CAD-i. Alumine Gantt graafik esitab võrreldava täitmisaaja läbi 3D parameetrilise modelleerimise kasutuse (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 315).

7.3.3. Projekti koordineerimisega seotud vigade vähenemine

Selle teema sissejuhatuses mainisime, et tootjad peavad tegema koostööd projekteerijatega, et edastada neile ehitamisega seotud aspekte. Üheks põhjuseks on kasvõi asjaolu, et kogu info, mis saadud läbi esitamise/kinnitamise protsesside, on oluline kogu projektmeeskonnale. See võimaldab meeskonnal määratleda võimalikke konflikte, mis võivad projekteerimise käigus tekkida. Kõige tüüpilisemaks probleemiks on kahe komponendi omavaheline (füüsiline) vastuolu, milles need püüavad haarata sama (või osaliselt sama) ruumi osa. Vastuolud võivad tekkida ka olukorras, kus objektid pole üksteisest piisavalt eemal, ehk siis ei pruugi tähendada füüsilist kokkulangevust, vaid ebapiisava ruumi olemasolu nende kahe komponendi vahel (nt armatuur, mis ei tohi olla üksteisele liiga lähedal betoonivalu tähenduses või siis torud, mis vajavad ekstra ruumi olemasolu isolatsiooni lisamise olukorras). Lisaks eelnevale on omaette vastuolude rühmana vaadeldavad ka nn loogikaga seotud vastuolud, mis ennekõike kaasavad ehitatavusega seotud probleeme, kus teatud komponendid takistavad järgnevate komponentide paigutamist/installeerimist või pole tagatud piisav ligipääsuruum (sh opereerimine, teenindamine või siis pole komponenti võimalik deinstalleerida).

Kui projekti koordineerimine pole terviklik – ja seda mistahes situatsioonis – leitakse probleemid just teise komponendi paigutamise seonduvalt. Sõltumata sellest, kes on siinkohal lepinguliselt või juriidiliselt vastutav osaline, tähendab see ümber tegemist ning edasilükkumisi, ja mõistagi on kannatavaks osaliseks tootja. Ehitus tervikuna on timmitum, kui see on ennustatav ning seisakuteta.

BIM pakub terve rea erinevaid tehnilisi eeliseid, mis aitavad projekti paremini koordineerida mistahes staadiumis. Tootjate huvi on võimekus näha integreeritud mudelpõhiseid lahendusi, kus potentsiaalselt vastuollu sattuda võivad komponendid on lahendatud tootmistäpsusega. Selleks eksisteerib terve rida erinevaid tarkvaralisi lahendusi (nt *Autodesk Navisworks*), mis võimaldavad importida mudeleid erinevatest allikatest ühte koondmudelisse kokku, et seejärel leida võimalikke probleemseid kokkulangevusi. Vastavad vastuolud leitakse automaatseid tööprotsesse kaasates ning nendest teavitatakse erinevaid osalisi.

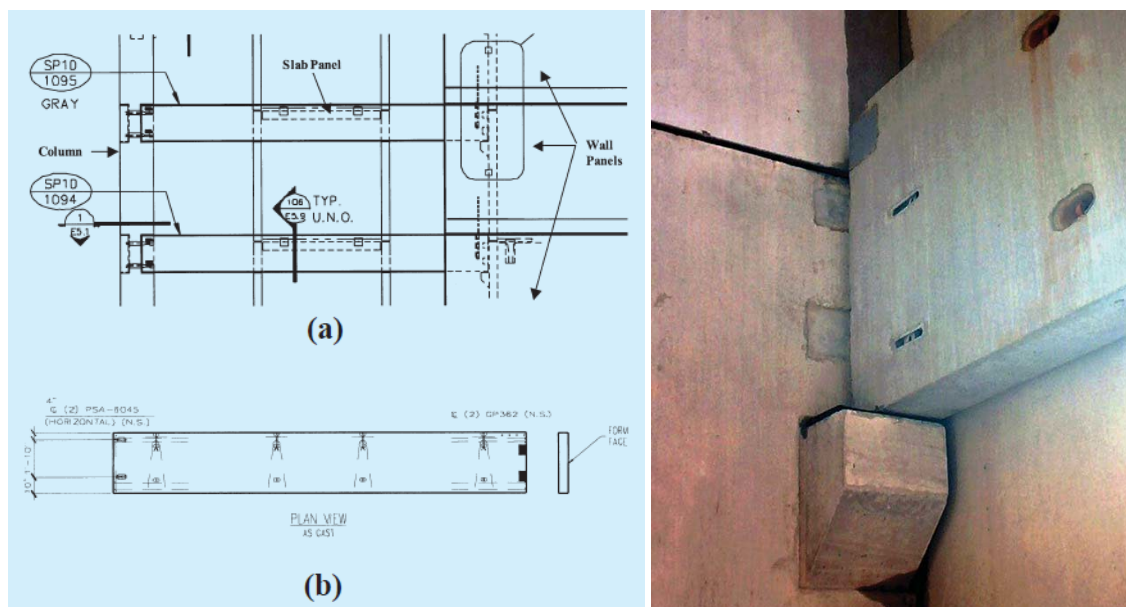
Täna ei ole võimalik, et vastuolud lahendatakse otse integreeritud keskkonnas ja tehtud täpsustused saadetakse seejärel algse mudeli koostamise tarkvarasse. Ehkki on võimaldatud integreeritud keskkonna ning algse tarkvara vaheline link (nt *Autodesk Navisworks <> Autodesk Revit*), siis tihti peale on osalejate vastutused erinevad ning koondmudeli vaataja ei oma pädevust teha muudatusi projektimudelis endas, kuna see eeldab tihti peale väga erinevate spetsiifiliste ning projekti valdkonnast sõltuvate pädevuste omamist. Sellest hoolimata saab seda protsessi kasutada objekti põhise info edastamiseks, mis konflikti põhjustab (läbi unikaalse objekti ID). Seega edastatakse konfliktne situatsioon projekti erinevatele vastutavatele partneritele, et need teeksid vajalikud muudatused oma enda BIM tarkvarades. Seejärel saab uuendada ka koondmudelit (uute, muudetud lahenduste tähenduses, mis siis kättesaadavaks on tehtud). Tervikuna võib seda siiski vaadata kui peaaegu reaalselt toimivaks protsessiks kui toote spetsiifika (detailsus) on samuti sellesse kaasatud.

Vältimaks projekti koordineerimisega seotud probleeme, on täpsema projekti loomine soovitatav läbi viia koostööplatvormidel, kuhu on kaasatud ka kõik tootmisega/tarnimisega seotud osalised. Seeläbi välditakse detailsema projekteerimisega seotud ümbertegemisi ka juhul, kui lõpetatud projekti mahus leitud probleemid on juba parandatud. Näitena võib tuua olukorra, kus kõik tehnosüsteemide täpsustused viiakse läbi ehitusplatsil olevas soojakus, kus siis parandused räägitakse omavahel läbi, seejuures kaasates tootmise- ning installeerimisvajadusi.

Üsna märkimisväärseks raiskamiseks saab pidada ka olukorda, mis tekib tootja enda jooniste produtseerimise staadiumis. Traditsiooniline meetod, mis siis kaasab CAD joonist, esitab mitu erinevat vaadet iga üksiku täpsustuse/komponendi kohta. Arhitektid/projekteerijad ning tehnilised joonestajad peavad tagama erinevate jooniste kooskõla ning ka nende järk-järgulise arenduse ühes pideva muudatuste koordineerimise. Ehkki väga erinevaid kvaliteedikontrolli meetodeid on aja jooksul rakendatud, on pea võimatu, et vastav jooniste grupp ei sisalda ühtegi viga. Täpsemad analüüsid on näidanud, et joonistega seotud vead monteeritavate betoonelementidega seotud tootmisprotsessides, kus kokku on olnud vaja lahendada ca 37 500 tükki ja seda erinevaid osalisi kaasates, on viinud jooniste koordineerimisest seotud vigade osakaalu ca 0.46%-ni projekti kogumaksumusest (Sacks, 2004).

Monteeritava betoontala jooniste kaks vaadet on esitatud *joonisel 7.3*. See võtab kokku, kuidas mittevastavused saavad tekkida. Nimelt *joonis 7.3* (vasakul) esitab betoontala ehitise (hoone) välisel vertikaalvaatel ning selle sama tala tootmiseks vajaliku koostejoonisena. Paigaldamisel selgus, et otse kinnitustüübid on vahetusse läinud koostööjoonise peegelpildi tõttu ning postist läbi minevaid polte ei olnud võimalik ankurdada ning ka seintega sidumiseks puudusid vastaval talal ühendusplaadid. Viga kandus üle 8-le, sarnase joonise järgi toodetud talale, mis tähendas, et plaanitud paigaldust ei saanud

kasutada, mis omakorda tähendas kulukat ümbertegemist, kvaliteedi langust ning ehitusgraafiku edasilükkumist.



Joonis 7.3. Vasakul, tala vertikaalvaade ning selle all detailvaade (peegelpildis tegelikule olukorrale, vajadusele). Paremal on näidatud talade paigutus ehitusplatsil, mille otste ühenduspunktid omavahel ei kattu (allikas: Sacks et al., 2003).

7.3.4. Vähenev inseneeriaga ning koostejooniste tegemisega seonduv kulu

BIM võimaldab inseneeriaga seotud kulusid kokku hoida kolmel viisil:

- Läbi automaatse projekteerimise- ning analüüsi tarkvarade suureneva kasutamise;
- Peaaegu täielikult automatiseeritud tootejooniste loomine ning mahtude väljavõtt;
- Vähenev ümbertegemise vajadus läbi paranenud kvaliteedi kontrolli ning projekti koordineerimise.

Üks olulisemaid erinevusi BIM ning CAD vahel on asjaolu, et ehitusinfo komponente saab programmeerida, et need esitaksid näiliselt *intelligentseid* käitumisi. See tähendab, et andmete eeltöötlus ja ettevalmistus erinevateks analüüsideks (sh kütte- ja ventilatsioonikoormuse arvutus ja dünaamiline konstruktsiooni arvutus) saab toimuda otse läbi BIM andmestiku või BIM platvormi siseselt. Näiteks, enamus BIM platvorme, mis leiavad kasutust konstruktsiooni süsteemide projekteerimise juures, võimaldavad defineerida koormuseid, koormuste kombinatsioone, ääre- ja toetingimusi, materjalide omadusi ja mistahes muud infot, mis on vajalik konstruktsiooni analüüsi läbi viimiseks nagu näiteks lõplikke elementide meetodit (ingl *finite element analysis*) kasutades.

See tähendab ka seda, et BIM süsteemid lubavad projektimeeskonnal kasutada *top-down* projekti arendamise viisi, kus tarkvara laiendab geomeetrilisi seoseid, mis pärinevad kõrgema taseme projekteerimisotsustest selle madalamale tasemele või seotud osadele. Näiteks üksteisega sobituvate detailide täpsemad juhised saavad võimalikus läbi automaatsete rutiinide, mis baseeruvad eelnevalt teostatud kasutajapõhistel komponentidel. Seetõttu saabki projekti detailiseerimine tootmiseks olla suuresti automatiseeritud. Lisaks muudele eelistele, vähendab automaatne detailiseerimine otseselt töötunde, mida peaks kulutama, et komponentide koostejooniseid valmistada.

Enamik BIM süsteeme loovad raporteid, sealhulgas jooniseid ning materjalide väljavõtteid suuresti automatiseeritud viisil. Mõned suudavad tagada mudeli ning jooniste grupi vahelise kooskõla ka ilma

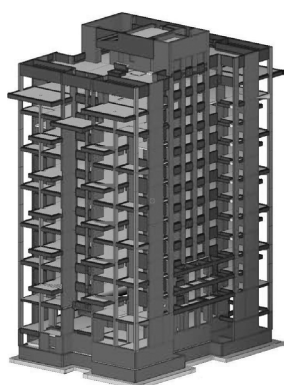
välise sekkumiseta. See tähendab, et detailiseerimiseks kuluv aeg väheneb, mis on tootja seisukohast väga oluline, kes varasemalt kulutasid väga suure osa ajast koostejooniste loomisele kui tüütu tegevuse läbiviimisele.

Palju erinevaid raporteid võib leida, mis käsitlevad just tootlikkuse kasvu jooniste loomise tähenduses kui kasutatakse *BIM* rakendusi (Autodesk, 2004; Sacks, 2004), samas kui mõõtmisi on tehtud üksikuid. Üks suuremaid n-ö eksperimente viidi läbi kohapealse armeeritud betoonivalu näitel, mis kaasas konstruktsiooni jooniste valmistamise ning armeerimist esitatavate jooniste ettevalmistust läbi *BIM* platvormi. See platvorm võimaldas nii parameetrilist modelleerimist, kasutajapõhiseid detailiseerimise juhiseid ning automaatset jooniste loomist (Sacks and Barak 2008). Ehitist oli eelnevalt detailiseeritud läbi 2D CAD süsteemi ning vastavad tunnid märgiti üles. Tabel 7.1 toob ilmeka näite, kus detailiseerimiseks kuluv aeg kolme juhtumi juures vähenes vahemikus 21-61%. Joonis 7.4 esitab aksonomeetriselised vaated juhtumi analüüsid vaadeldud betoonelemente kaasavatest projektidest ning joonis 7.5 armeerimise näidet.

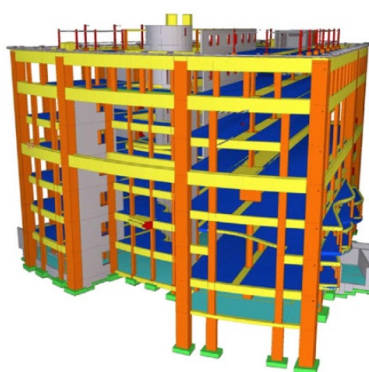
Tabel 7.1. Eksperimendi tulemusel saadud info kolmest betoonkonstruktsioonil baseeruvast hoone projektist.

Projekt	Projekt A	Projekt B	Projekt C
Eksperiment	Üks neljast hoonest, 4927 m ³ betooni, 57 joonist.	Kogu hoone, ilma jalakäia sillata ning välise liftišahtita, 88 joonist.	13000 m ² ; 9750 m ³ betooni; 870 t armatuuri; 13-korruseline hoone, üksikvundament, tasapinnalised plaadid.
Modelleerimine	131	191	140
Armatuuri detailiseerimine	444	440	333
Jooniste loomine	89	181	126
Kokku 3D-s	664	875	599
Võrreldav 2D tunnid	1704 ^a	1950 ^b	760 ^c
Vähennemine	61%	55%	21%

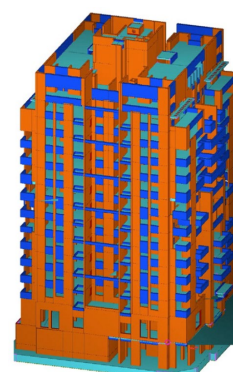
^a 72-st joonisest toodeti 57, esitatud jooniste täpsustuste loomise aeg; ^b 104-st joonisest toodeti 88, esitatud jooniste täpsustuste loomise aeg; ^c esitatud jooniste täpsustuste loomise aeg.



Projekt A

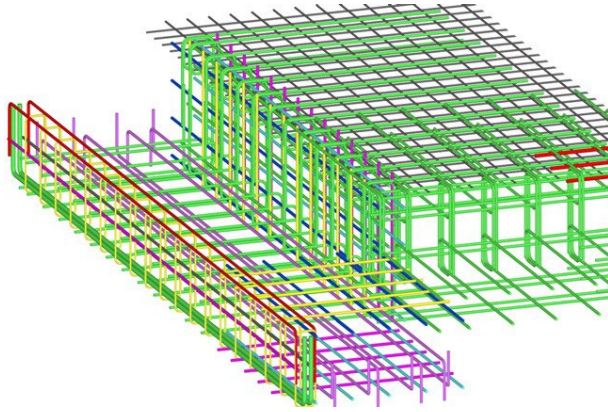


Projekt B



Projekt C

Joonis 7.4. Projektide aksonomeetriselised vaated. Mudelid valmistati eksperimendi tarvis 3D modelleerimise produktiivsuse uurimiseks, mis kaasasid terviklikku armeerimise lahendust (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 320; Sacks and Barak, 2008).



Joonis 7.5. Armeerimise detailsusastme isomeetriline vaade projekt C näitel (allikas: Sacks and Barak, 2008).

7.3.5. Automaatsete tootmistehnoloogiate suurem kasutus

Arvprogrammjuhtimisel (ingl *computer numerically controlled* – CNC) baseeruvad seadmed on erilaadsete komponentide loomiseks olnud saadaval juba aastakümneid. Sii hulka kuuluvad laselõikurid ning puurimismasinad, mida saab kasutada teraskonstruktsioonide tootmisel; painutus- ning lõikepingid betooniks tarviliku armatuuri tootmiseks; saed, puurid ning laserprojektorid puitsõrestike tootmiseks; veejoa- ning laserlõikurid lehtterase tootmiseks ventilatsioonisüsteemide tarvis; torude lõikemehhanismid ning keermestus KV torusüsteemide tarvis ja mitmed teisedki. Samas, inimtööjõu vajadus kodeerida arvuteid, mis siis juhivad eelnimetatud tootmisprotsesse, on olnud teatavas mõttes märkimisväärne majanduslik takistus, et seda tehnoloogiat saaks kasutada.

2D CAD tehnoloogia võimaldas teha suure hüppe, kuidas masinaid instrueerida. Nimelt vahetus eelnev numbrite kodeerimisjada sisestus nüüd jooniste tegemise vastu ja seda võimaldasid just nimelt kolmandate tootjate tarkvarad. Enamikel juhtudel leiti, et graafika peab lisaks sisaldama ka loetavat infot, mis siis ehituskomponenti terviklikult iseloomustas. Seejärel oli võimalik automaatselt luua osade ning materjalide väljavõtted, mille tulemusel tekkisidki n-ö *ehituskomponendi info modelleerimise* rakendused.

Osade modelleerimine jätkus aga eraldatult iga tootmisetapi lõikes. Kui ehitussüsteemis tehti muudatusi, pidi operaator käsitsi parandama või uuesti looma osamudeli komponendid, et tagada järjepidevus. Lisaks ajafaktorile võis käsitsi uuendamine tuua kaasa ka ebatäpsuseid. Mõnel juhul, nagu näiteks teraskonstruktsioonide tootmises, tulid tarkvara tootjad välja lahendustega, kus arendati välja ülevalt-alla (ingl *top-down*) modelleerimise süsteem, et tagada koostude sees toimuvad muudatused ja seeläbi kanda see üle kõikidele mõjutatud tükkidele. Need arengusuunad olid aga iseloomulikud kindlatele sektoritele nagu teraskonstruktsioonide tööstussektor. Just turu nõudlust ning majandusliku kasu saamise ulatust silmas pidades, võimaldas sedalaadi süsteemide kasutusele võtmine ühes tehnoloogilise arenguga tarkvarasse tehtava investeeringu majanduslikult tasuvaks teha. Need rakendused arenesid seejärel välja objekti-põhisteks, 3D parameetristeks modelleerimise süsteemideks.

BIM platvormid modelleerivad iga ehitise osa läbi tähendusliku ning arvatava objektina, tagades muuhulgas info olemasolu, mille baasil saab kasutada masinjuhtimist. Võrreldes nende 2D CAD eelkäijatega, pakuvad need veel lisaks ka logistilist informatsiooni, mis aitab hallata tootmisprotsesse, sealhulgas linke ehitamise ning tootmise ajagraafikutele, toote järgimissüsteemile jne.

7.3.6. Eelkooste- ning eeltootmise kasv

Eemaldades või siis oluliselt vähendades üldkulu tekitavat pingutust, mida koostejooniste loomine paratamatult on, võimaldavad BIM platvormid muuta ettevõtetele eeltootmine majanduslikult

otstarbekaks ja seda väga suures komponendide valimi ulatuses kogu ehitise projekti silmas pidades. Geomeetrilise terviklikkuse automaatne haldus tähendab seda, et tehes muudatuse standardse komponendi juures ning luues vastavad koostejoonised või siis CNC instruktsioonid, eeldab suhteliselt väikest pingutust. Mõne konstruktsioonilt mitmekesisema ehitise juures, näiteks *Walt Disney Concert Hall – Los Angeles* (joonis 7.6) ning *Dublin Aviva Stadium* (joonis 7.7) sai võimalikuks, ja seda mahult suurenevas tähenduses, et ehitise standardkomponendid oli võimalik majanduslikult tasuvalt ette toota.



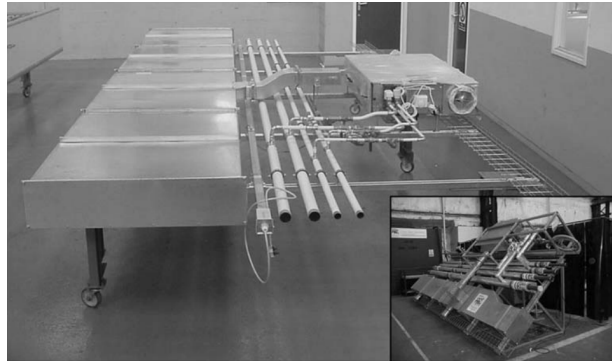
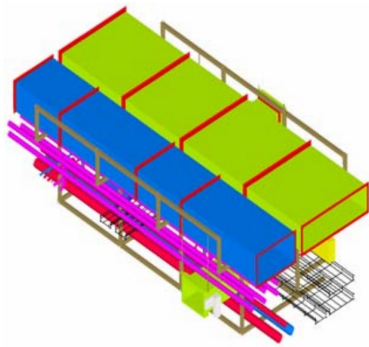
Joonis 7.6. Walt Disney Concert Hall, Los Angeles (allikas: [Google Maps](#)).



Joonis 7.7. Dublin Aviva Stadium (allikas: [Google Maps](#)).

Eeltootmise poole vaatav ning üha kasvav trend on saanud julgust juurde just väheneva riski tõttu, mis välistab olukordi, et komponent ei sobitu installeerimise käigus tervikusse. Riski tajumine või siis projekti kui terviku usaldusväärsus on suuresti mõjutatud teadmisest, et kõik teised süsteemid on sarnaselt ning terviklikult 3D modelleeritud ja seega tervikut kontrollitud. See ei kehti vaid eeltoodetud moodulpõhistele komponentidele aga ka lihtsamate, näiteks meetriga mõõdetavates ehitise süsteemide juures. Kuna detailiseerimise maksumus ning paljude süsteemide omavaheline koordineerimine (nt torud ja kaablikanalid) läbi 2D jooniste oli takistatud, siis teostatigi nende paigaldus ehitusplatsil. Iga järgnev ehitustegevus oli keerukam, kuna ruum uue süsteemi lisamiseks aina vähenes. Parameetriline 3D mudel ehitisest kui tervikust ühes koordineeritud vastuolude kontrolli ja lahendustega aitab igale süsteemile garanteerida ruumilise ligipääsetavuse.

Mõnel üksikul juhul ei võimaldanud 2D CAD pakkuda tuge uute tootmismeetodite tekkele (nt *BAMTEC* süsteemid ehk terasvõrgud, mis kindla jaotuse ning armatuuri ristlõikega saabuvad ehitusplatsile rullidena) ja seega oli sellest vähe, et logistiliselt tekitada eeltootmine ehitusplatsilt eemale. BIM on võimaldanud parendada juba enne seda toimunud eeltootmise protsesse aga ka aidanud viia uusi tööprotsesse (mida varasemalt tehti ehitusplatsil) ehk eeltootmisi ehitusplatsilt eemale. Kuna BIM toetab ehitise süsteemide ning sisseostude koordineerimist, on võimalik kasutada ka integreeritud eeltootmist ehitise moodulite tähenduses kasumlikult, mis siis kaasavad endas juba palju erinevaid süsteeme (nt elementmaja, valmis ruumikomponent). Joonis 7.8 esitab KV, VK, tugev- ning nõrkvoolu süsteemide moodulpõhist koostu, mille installeerimine ehitusplatsil on väga lihtne. Koordineerimaks omavahel füüsilisi ning logistilisi aspekte, mida antud protsess endas paratamatult kaasab, ja lisades selle terviklikkuse ning usaldusvääruse, poleks taoline lähenemine ilma BIM-ita võimalik.



Joonis 7.8. Eeltoodetud, laealune tehnosüsteemide moodul, mis kaasab nii KV-, VK- kui elektrisüsteemi ühe tervikliku 3D mudeli vaadena (vasak, allikas: Court et al., 2006) ning sama mooduli tootmistsükli (allikas: Pasquire et al., 2006).

7.3.7. Kvaliteedikontroll, tarneahela haldus ning elukaare põhine hooldus

Mitmeid erinevaid ehitussektori järgimise ning monitoorimise tehnoloogiate rakendamist on varasemalt uuritud, välja pakutud ning ka kasutust leidnud. Siia alla kuuluvad raadiosagedusel baseeruv ID (ingl *radio-frequency ID* ehk RFID) märgised logistikaks; teostusmudelit loomine läbi laserskaneeringu ja selle võrdlemine projektimudelig; kvaliteedi kontroll läbi pilditöötluste; ning lugedes komponentide n-ö *musta kasti*, et teada saada materjalide tarbimist. Erinevate tehnoloogiate kohta võib lisainfot leida ka *FIATECH* kodulehelt: <http://www.fiatech.org/construction/project-deliverables>.

RFID põhine komponentide järgimine on juba mõnda aega kasutusel praktikas. Näiteks *Skanska* projektis kasutati RFID tähistust 3200 monteeritava betoonelemendi järgimiseks tootmisel, tarnimisel, paigutamisel ning kvaliteedikontrollimisel. RFID tähis oli seotud virtuaalse komponendiga, mistõttu sai visualiseerida ning raporteerida komponentide staatust. Joonis 7.13 esitab mudeli vaadatuna veebivaatusis, milles komponentide värvikoodid esitatud läbi *Autodesk BIM 360* tarkvara (varasemalt tuntud kui *Vela Systems*). Peamine eelis seisneb selles, et igapäevaseid opereerimisega seotud otsuseid, millel võib olla kaugeleulatuv mõju kuludele, saab vastu võtta selge, täpse ning ajakohase teabe kaudu. Sarnaselt võib järgida ka ülejäänud komponentide staatuseid, sh KV, VK ning elektriseadmed aga ka uste/akende tähenduses.

Ehituskomponentide tootja jaoks võib välja tuua kolm olulist aspekti:

- Tootmise monitoorimine, ladustamine, tarnimine ehitusplatsile, installeerimise asukoht ning kvaliteedikontroll läbi GPS ning RFID süsteemide.
- Toetamaks komponentide installeerimist või paigutust ning kvaliteedikontrolli läbi *LADAR* (*LAser Detection And Ranging*) või muud mõõdistustehnoloogiat kaasates.
- Võimaldades kogu elukaare põhise infot komponentide ja nendega seotud suutlikkuse näitajate kohta läbi RFID tähistest ning sensoritest.

Nende ühiseks nimetajaks on aga ehitise mudel, mis endas seda infot hoiab ning millega monitooringut saab võrrelda. Ka andmete analüüsiks, mida monitoorimise käigus kogutakse, on vaja spetsiaalset tarkvara, mis võimaldaks seda analüüsida ning järeldusi teha. Seetõttu ongi vaja nii projekteeritud infomudelit kui ka teostusmudelit, mille omavahelisel võrdlusel saab eelnimetatud kasutada.

7.4. BIMi kasutusega protsesside muutmine

Varasemalt oleme märkinud, et BIMi peamine kasu ehitussektoris, sh alltöövõtjad ning tootmine, on virtuaalse ehitamise võimaldamine. Sõltumata sellest, kas ehitised (või selle komponendid) valmivad ehitusplatsil või ehitusplatsilt eemal, siis tegemist pole lihtsalt paraneva tööprotsessiga, vaid uut moodi töötamise viisiga. Ehituse haldajad saavad n-ö harjutada komponentide kokkupanekut enne kui pühendatakse töö- ja materjalide hankele. Nad saavad analüüsida toodete ning protsesside alternatiivseid lahendusi, teha muudatusi komponentide osas ning panna eelnevalt paika erinevaid ehitusega seotud protseduurid. Seda kõike saab teha tihedas koostöös, et lahendada võimalikke ettenägematud olukordi, mis võivad jooksvalt tekkida. Sarnaselt saab hallata ka tellija või projekteerija poolt tehtud muudatusi.

Ehkki BIM platvormide ja rakenduste kasutus ei ole veel paljude igapäevatöövahend, on hulganisti näiteid, kus paljud juhtivad ehitusettevõtted on kasu võitmas just nimelt protsesside muutmise läbi. Mõned ehitusettevõtted saavad tuua terve rea projekte, milles on kasutatud koordineerimist projektis osalevate tootjate ning paigaldusmeeskondadega. Mõistagi meetodid täpsustuvad projektist projekti. Peamine kasu tuleb ikkagi integreeritud BIM tehnoloogia kasutusest virtuaalse, koostööle suunatud mudeli loomisest ja mitte lihtsalt ühe tarkvara "ärakasutamisest".

7.4.1. Timmitud ehitus

Tootmisvaldkonnas on timmitud tootmise meetodid arenenud välja lähtuvalt kliendi vajadusest saada erilahendusega tooteid ilma raiskamisteta, mis on omane traditsioonilisele masstootmisele. Kokkuvõtvalt, välja töötatud põhimõtted rakenduvad mistahes tootmissüsteemile, kuid lähtudes erisusest tavatööstuse suunatud toodete ning ehitussektori vahel, tuli tootmises juurutatud kohandada ehitussektori tarvis.

Timmitud ehitus on ennekõike seotud protsessi täiustamisega nii, et ehitisi saaks ehitada lähtuvalt kliendi vajadustest aga teiselt poolt minimaalseid ressursse kaasates. See nõuab väga head töövoolude analüüsi ühes erinevate takistuste ning pudelikaelade määramise ning nende eemaldamise. Timmitud ehitus pöörab erilist tähelepanu töövoogude stabiilsusele. Üks tüüpilisemaid põhjuseid pikemas ehitusperioodis on pikale venivad puhverajad, mis põhjustatud alltöövõtjate poolt, et kaitsta oma enda tootlikkust, kus neile edastatud töömahud on ebastabiilsed ning ennustamatud. See on põhjustatud asjaolust, et alltöövõtjatele on vastumeelt riskida oma töötajate ajaga (või vähendades nende tootlikkust) olukorras, kus teised alltöövõtjad ei suuda lõpetada eelnevaid tegevusi õigeaegselt või ei suudeta tagada materjalide kättesaadavust kui neid on vaja või projektiga seotud info või otsus viibib jmt.

Üks peamisi võimalusi vähendada raiskamist ning parandada töövoole, on rakendada *pull flow control* meetodit, kui tööd tehakse vaid siis, kui selleks eelnev tegevus on täidetud ja sellest ka üheselt teavitatakse tellija poolt. Töövoolu saab mõõta tsükliaja tähenduses iga toote või ehitise sektsiooni põhiselt; tegevuste suhtega, mis on lõpetatud nii nagu planeeritud; või käimasoleva töö järgi/analüüsil (ingl *work in progress* ehk *WIP*). Raiskamine ei tähenda vaid materjali raiskamist aga ka protsessi raiskamist: aeg, mis kulub sisendi saamiseks, ümbertegemiseks jmt. Olgu siinkohal antud lisareferentsid, mis käsitlevad timmitud ehitust märksa põhjalikumalt: Womack and Jones (2003) ning <http://www.iglc.net/>.

BIM pakub timmitud ehitusprotsesside tuge järgmistes, alltöövõtjaid ning tootjaid mõjutavates tegevustes:

1. Suurem eeltootmise ning eelkooste juhtimine läbi saadaolevate, veavaba projektinfo, mis tuleneb virtuaalsest ehitamisest (nendest on olnud varasemalt juttu) teisendub väiksemale

ajakulule ehitusplatsil ning tähendab ka toote vähenevat tsükliaga kliendi vaatenurgast. Suurenev eeltootmine tähendab ka paremat ohutust, kuna paljud tegevused, mis eelnevalt viidi läbi kõrgustes, teostatakse nüüd tehase tingimustes.

2. Mudelite jagamine ei tähenda vaid füüsiliste ja muu projekteerimisega seotud konfliktide määratlust; jagatud mudelid, mis on lingitud planeeritud installeerimise ajagraafikutega läbi 4D mudelite, võimaldavad järgida ehitustegevusi ning nende üksteisest sõltumist. Tõmmitud ehituse juures on oluline, et tootmisega seotud tegevused on planeeritud nädala põhiselt. Seda saab rakendada läbi *Last Planner* süsteemi (Ballard 2000), mis filtreerib need tegevused, mida pole veel võimalik läbi viia terviklikult või tagada nende korrektsust. Seega, *a priori* ruumiliste, loogiliste ning organisatoorseste konfliktide määratlus läbi järkjärgulise virtuaalse ehitamise BIMi kasutamise läbi parandab töövoolude stabiilsust.
3. Paranev meeskonnatöö: võimekus koordineerida paigaldusega seotud tegevusi üksiku toote põhiselt tähendab, et tavapärase suhestumisega seotud probleemide arv – näiteks tööde/ruumide omavaheline üleandmine meeskonnalt meeskonnale – väheneb samuti. Kui ehitust viiakse läbi paremini integreeritud meeskondade vahel, ja mitte üksteisi n-ö vältivate, vajatakse ka väiksemaid puhvertsoone erinevate tegevuste vahel.
4. Kui tootmise ning tarnimisega seotud summaarne aeg väheneb – kuna koostejooniste tegemiseks kuluv aeg väheneb – suudavad ka tootjad vähendada oma tellimuse täitmisaegasid. Kui neid täitmisaegasid aga vähendada piisavalt palju, siis suudavad tootjad lihtsamini ümber mängida oma enda tarneid ehitusplatsile, et saada kasu parenevast *pull flow* meetodist. See nihkub õigeaegselt kohaletoimetamisest (ingl *just-in-time delivery*) hoopis õigeaegsele tootmisele (ingl *just-in-time production*), praktika, mis oluliselt vähendab komponentide ladustamist ning sellega kaasnevast lisakulust: hoiustamisega seotud kulu, mitmekordne käitlemine, kahjustatud saanud või kaduma läinud komponendi, tarnimise koordineerimine jne. Lisaks, kuna *BIM* süsteemid suudavad luua usaldusväärseid ning täpseid koostejooniseid viimasel (vastutustundlikul) hetkel, siis isegi hiliste muudatuste tegemisel, saavad kõik tootjad arvestada kliendi vajadustega, kuna komponente ei toodeta ette liiga ennetavalt.

7.4.2. Vähem paberit ehituses

CADi kasutusele võtuga sai digitaalne edastus osaliseks alternatiiviks paberjoonistele. Fundamentaalsem muudatus, mida BIM aga kaasa toob on, et jooniste tähendus nihkub info edastusest pigem kommunikeerumise tasemele ja seda nii paber- kui digitaalse esituse tähenduses. Olukorras, kus BIM esitab ainsat usaldusväärset ehitise info allikat, on paberväljavõtetel, spetsifikatsioonidel, mahtude väljavõtetel ning teistel raportitel täita lihtsama juurdepääsu tagamine infole.

Tootjate jaoks, kes on üle läinud automaatsetele tootmisprotsessidele, pole paberjoonis enam oluline ning seetõttu suuresti kaduv nähtus. Näiteks, puitsõrestike tootja, kes kasutab CNC pinke lõikamiseks ning puurimiseks, toodab komponente horisontaaltasapinnas, kus geomeetria projekteeritakse lasertehnoloogiaga ülevalt alla. Keerukamate monteeritava betoonkomponentide tootmise juures, kus on esmalt vaja paika panna mitmekihiline armatuur, saab kasutada värvikoodis esitatud 3D mudeleid, mida esitatakse siis kõrval olevatel ekraanidel, et seeläbi saada täpsustusi, kuidas armatuur peab olema paigutatud. Jooniste kasutamisel oleks see oluliselt komplitseeritum. Teraskonstruksiooni paigaldusjuhised 3D mudelitena tagavad ka ehitusplatsi töölistele võimaluse vaadata või saada täpsustavat infot jooksvalt läbi nutiseadme (tahvli) kuvatava 3D visuaali (Lipman, 2004).

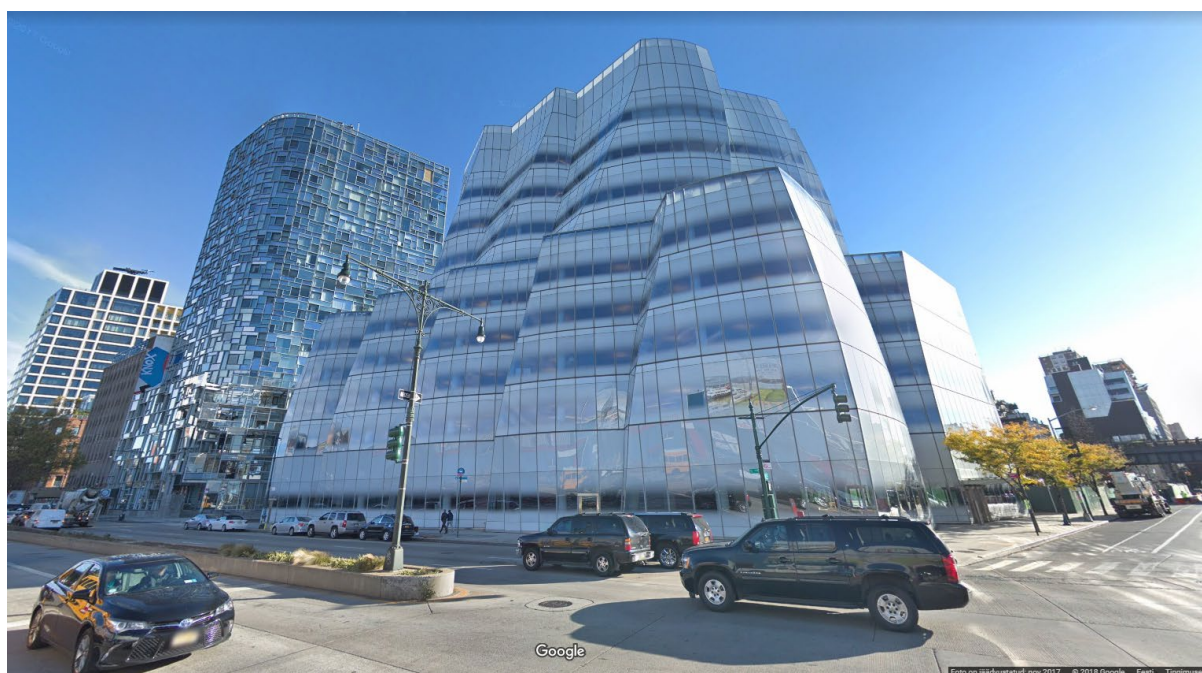
Vajadus paberraportite järele väheneb kui BIMi mudelist saadav info hakkab n-ö juhtima logistikat, arvestust ja mistahes muud ärihaldussüsteemi, milles on kaasatud automaatseid andmekogumise tehnoloogiaid. Seetõttu seisavad paljud siin märgitud uuenduslikud tehnoloogiad ka õiguslike ning seadusest tulenevate piirangute taga, mis kahjuks ei võimalda meil seda peatükki nimetada kui “Paberivaba ehitus”.

7.4.3. Töö parem jagatavus

Digitaalse ehitise mudeli kasutamine tähendab ka seda, et kommunikatsioonil pole enam vahemaaga seotud piiranguid. Selles tähenduses võimaldab BIM suuremat allhanget, milles ei osale mitte ainult kohalikud alltöövõtjad ning tootjad, vaid see võib olla globaalse ulatusega.

Esmalt saab projekteerimist, sellega seotud analüüsi ning insenertehnilise projekteerimise läbi viia riigist sõltumatult ja jagada omakorda välja erinevate harukontorite vahel. Teraskonstruktioonide tootmisvaldkonnas on saanud tavapäraseks, et ühemehefirmad, kes on endale hankinud võimekad 3D parameetrilise modelleerimise tarkvarad (ühes teostusjooniste suutlikkusega), teevad tootjatele allhanget, mis tootja silmis vähendab nende vajadust kohapealse inseneriosakonna alalhoiuks. 3D modelleerimise allhange riikidesse nagu India, on üsna tavapärane valdkondades, mis seotud lennundusega, autotööstusega ning tööstusmasinate tootmisega.

Teisalt, parem projekti koordineerimine ning suhtlus tähendab ka tootmisele enesele, et seda saab usaldusväärsemalt allhankida, kaasates sealhulgas ka komponentide tarnimist pikkade vahemaade tagant (tüüpiliselt laevakaubandusega). Näiteks, New York City hoone, mis asub 100 11th avenüül. Tänu täpsele BIMi kasutusele toodeti selle fassaadikomponendid Hiinas ja seejärel toodi installeerimiseks New York City-sse (joonis 7.9).



Joonis 7.9. Hoone aadressil 100 11th Avenue, New York City (allikas: [Google Maps](#)).

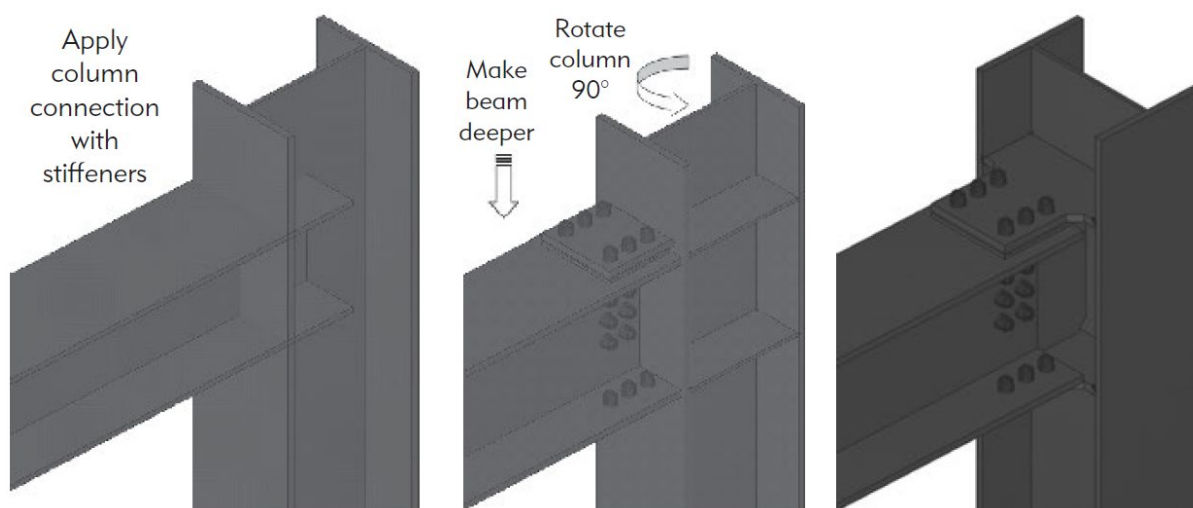
7.5. Üldised nõuded BIM süsteemile tootjate tähenduses

Vaatame lähemalt, millised on nõuded süsteemidele, mida saaksid edukalt kasutada nii komponentide tootjad, projekteerimisteenuse pakkujad kui ka konsultandid, kes siis protsessis kui tervikus osalevad. Tuleb tähele panna, et kõige põhilisemaid BIM platvormide nõudeid nagu *solid* modelleerimine, pole siin üle korratud, kuna need on ühesed mistahes BIMi kasutajale.

7.5.1. Parameetrilised ning kohandatavad komponendid ning seosed

Võimalus automatiseerida projekteerimisega ning detailiseerimisega seotud tegevusi ja seejuures tagades ehitise mudelite sidusus, semantiline korrektsus ja täpsus ka peale nende redigeerimist, - on BIMi kasutamise nurgakivideks, et tootjad saaks sellest kasu lõigata. Mudeli loomine igale komponendile ja sellele detailile eraldiseisvalt on ajamahukas ning operaatori silmis ebapraktiline. Seda enam, et tegemist oleks ka suhteliselt suure riskiga tagada veavaba esitus olukorras, kus alamkomponentide muudatus ei kajastu peakomponendi muutmisel (täheenduses: koostult alamkoostule).

Seetõttu peavad tootjad omama tarkvarasid, mis toetavad parameetrilise komponentide esitust, milles on tagatud omavaheliste seoste ajakohasus ja muudatuste ülekanne mistahes tasemel olevale objektile. Teraskonstruktsiooni liidestus on selle heaks näiteks (joonis 7.10). Tarkvara valib ning rakendab sobiva liidestuse lähtuvalt eeldefineeritud reeglitele. Algne seadistus ning reeglite valik võib projektis olla teostatud nii vastutava inseneri kui tootja poolt, lähtuvalt paika pandud tavadele ja need võivad kaasata reeglistikku, mis reageerivad muudatustele koormuste rakendumise tähenduses. Kui profiil või parameetrid muutuvad ükskõik kumba liidetud detaili lõikes, muutub ka liidestuse geomeetria ning selle loogika automaatselt.



Joonis 7.10. Teraskonstruktsiooni liidestus Tekla Structures tarkvaras (allikas: Eastman et al., 2011; lk. 329).

Oluline aspekt, mida hinnata on, kui suures mahus saab kohandatavaid komponente, detaile ning liidestusi süsteemi kaasata. Võimekas süsteem toetab: üksteise sees olevaid komponentide hierarhiaid; geomeetriliste piirangute modelleerimist nagu *paralleelne millelegi* või *kindlal kaugusel millestki*; ning generatiivse reeglistiku olemasolu, mis määrab, kas komponenti on vaja teatud kontekstis luua või mitte.

7.5.2. Komponentide raporteerimine tootmiseks

Tootjale on oluline, et iga üksiku komponendi kohta koostatakse automaatne tootmisraport. See raport võib sisaldada: koostejooniste loomist; CNC instruktsioonide kompileerimist; koostu kuuluvate komponentide ning materjalide nimekiri hanke korraldamiseks; pinna viimistluse tehnoloogia määratlemine ning sellega kaasnev materjali vajadus; ning riistvara vajadust installeerimaks ehitusplatsil ning muu taoline.

Mistahes komponendi eeltootmise juures on oluline nende grupeerimine erinevatel viisidel, et hallata nende tootmist (näiteks vajalike osade hange, vormide/töövahendite ettevalmistus, ladustamine, tarnimine ning paigaldus). Monteeritavate betoonelementide osad ning toodetud raketiste osad

ehitusplatsil oleva betoonivalu tegemiseks grupeeritakse lähtuvalt nende vormidest, et ühte ja sama vormi saaks kasutada mitme osa tegemiseks vaid väiksete muudatuste tegemisel nende tegemiste vahel. Armatuur tuleb toota ning grupeerida lähtuvalt nende kasutusest ehituselementide juures.

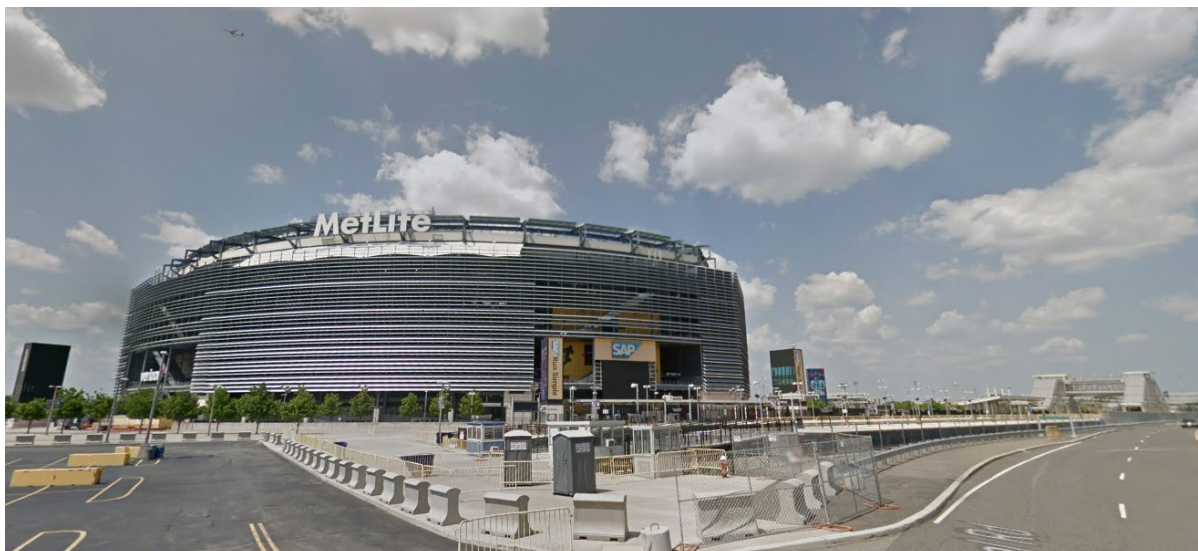
Nende vajaduste katmiseks peab BIM rakendus olema võimeline grupeerima komponente lähtuvalt kriteeriumist, mille seab operaator lähtuvalt nende geomeetrisest infost, koostu järjekorrast, varustajast ja muudest klassifikatsioonidest ning meta-andmestikust (andmete lähte- ning omanduse tähendus, staatus ning ID-d). Geomeetrisest kujust lähtuvalt peab tarkvara suutma vahet teha osadel, mis neid üksteisest eristab või sarnaseks loeb. Näiteks puitsõrestikele võidakse anda üldine ID grupeerimaks neid kuju/vormi või konfiguratsiooni põhisel, samas kui teist järku ID võib neid omakorda jagada alamgruppidesse, milles mõned alamsõrestikud üksteisest eristuvad peagrupi siseselt. Kui sõrestiku perekonna ID-ks lisati näiteks *101*, siis mõne sõrestiku alamgrupp selles põhiperekonnas, mis kaasab näiteks suuremat ristlõiget aga muus osas on täpselt sama nagu peagrupp *101*, saab alamperekonna tähise *101-A*.

Mõnes rakenduses peavad eeltoodetud komponendid olema ehitusplatsile tarnitud osadena, näiteks nagu keevisplaadid, mida kasutatakse armeeritud betoonelementide fikseerimiseks. Ka need peavad olema grupeeritud ning nummerdatud, et tagada nende õigeaegne ning asukohapõhine tarne. Juhul kui tegemist on komponentidega, mida tuleb kinnitada ehitise konstruktsiooni külge, peavad need mõnel juhul olema tarnitud teistele allhankijatele mõnevõrra varem või hoopis tarnitud teistele tootjatele. Kogu see info peab objektide lõikes olemas olema, soovitatavalt automaatselt läbi BIMi platvormi.

7.5.3. Liidestus juhtimisinfosüsteemile

Kahepoolne võimekus kommunikeerida hanget, tootmist, tarnet ning ärihaldussüsteeme omavahel on eelnevalt käsitletud eeliste saamise baasvajadusena. Nendeks võivad olla omaette rakendused või kuuluda ärihaldussüsteemi (ingl *enterprise resource planning* ehk ERP) alla. Ühilduvusprobleemide vältimiseks peab ehitise mudel olema osade nimekirjade ning tootmiseks vajalike detailide ainus allikas, et tagada terviklik opereerimine. Tootmist viiakse läbi aja jooksul, mille vältel võidakse ehitise projektis teha muudatusi. Ajakohane info kõikidest muudatustest mudelis peab olema kättesaadav ettevõtte kõikidele allüksustele mistahes ajahetkel, et vigasid oleks võimalik vältida. Ideaalolukorras ei tohiks see baseeruda lihtsal faili ekspordil/importil, vaid veebipõhisel andmebaasil ja selle lingil. Tarkvara peab minimaalselt suutma tagada liidestust, et teised ettevõtted, kellel on programmeerimiseks vajalikud oskused, saaks vajadusel integreerida andmeedastust lähtuvalt nende olemasolevast ärihaldussüsteemist.

Kui ehitise mudeleid integreeritakse teiste haldussüsteemidega, on mõistlik, et rakenduks ka komponentide automaatne järgimissüsteem lähtuvalt selle tootmise seisundist, ladustamisest, tarnest, paigaldusest ning opereerimisest. Tänapäeval on üsna tavapärane, et kasutatakse vöötcode'i sedalaadi järgimiseks, samas kui raadiosageduslik määratlus (ingl *radio-frequency identification* ehk RFID) on leidnud rakendust vaid mõne üksiku komponendi tüübi juures (Ergen et al., 2007). Seda tehnoloogiat on edukalt kasutatud mitme projekti juures, nagu näiteks *MetLife Stadium* (joonis 7.11).



Joonis 7.11. MetLife staadion, New Jersey (USA) (allikas: [Google Maps](#)).

7.5.4. Koostalitlusvõimekus

Definitsiooni järgi pakuvad alltöövõtjad ning tootjad vaid ühe osa ehitise süsteemidest. Võimalus kommunikeerida infot nende BIM platvormi ja projekteerijate, peatöövõtja ning teiste tootjate poolt kasutatavate vahel on elementaarne. Samas võib saada ka tervikliku ehitise mudeli ilma ühist andmebaasi omamata, mis siis koosneb mitmest erinevast BIM platvormi mudelist, looduna erinevate süsteemide tegijate poolt. Ükski tänane tootmisplatvorm pole võimeline arvesse võtma kõiki ehitise ehitusega seotud aspekte ja seda ootust otseselt ka ei ole.

Tehnilistest aspektidest koostalitlusvõimekuse juures on varasemalt juba juttu olnud ja seda nii eeliste kui piirangute tähenduses. Piisab kui öelda, et BIM platvormi valiku juures alltöövõtja ning tootjate vaatevinklist, peab sobivate tööstusstandardil baseeruvate vahetusformaadide import/eksport olema kindlasti toetatud. Seda, mis standardit täpselt, kirjutab juba ette tööstussektor ise: teraskonstruksioonide tähenduses näiteks CIS/2 formaat ning paljude teiste sektorite puhul on enamlevinud formaadiks IFC.

7.5.5. Informatsiooni visualiseerimine

3D mudeli vaade on väga efektiivselt platvormiks haldamiseks vajaliku info sisestamiseks ning visualiseerimiseks, ennekõike paigaldajatele ning peatöövõtjale, kes jäävad tootja organisatsioonist väljapoole. Kasutajapõhised funktsioonid/filtrid, mis võimaldavad luua mudeli erinevaid kuvasid ja seda lähtuvalt eristuvatest värvitoonidest, mis seotud tootmise staatusega, on vägagi kasulikud.

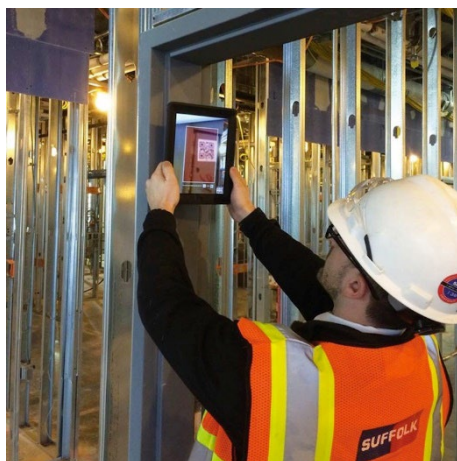
Kaks head näidet selles tähenduses oleksid 4D tehnoloogia ehitustegevuste täppisplaneerimiseks ning kasutada mudelpõhist esitust, et n-ö tõmmata eeltoodetud komponendid ehitusplatsile just siis kui neid on vaja. Esimese näite juures võib tuua ehitise mudeli, mis kaasas konstruktsioonelemente ning ressursse (kraanad) ja tegevusi, et panna paika üksikasjalik paigaldusjärjekorra planeering simulatsioonina ühe Londonis asuva metroojaama katuse monteeritavate betoonelementide ulatuses. Hoolikas planeering oli ülioluline, et projektmeeskond suudaks tagada ranget 48-tunnist paigalduseks antud ajaraami, mille jooksul oli rongiliiklus peatatud.

Teise näitena võib tuua ehitusplatsi meeskonna vajaduse konsulteerida läbi ehitise mudeli (joonis 7.12). Selle asemel, et ekselda jooniste ning muude paberpõhiste raportite vahel, mis tihtipeale võivad olla ka juba aegunud ja teostada selle baasil tootmiseks ning tarnimiseks vajalikke komponente, saavad projektijuhid planeerida töid äärmiselt kõrge usaldusväärsusega. Püüe koordineerida mitme

erineva joonise grupi vahel ning võimalikud inimlikud eksimused on seeläbi elimineeritud. Pealegi sedalaadi info visualiseerimine, mille objektijuht saab lihtsalt klikkida värvikodeeringuga mudelis, et koostada tarnimiseks vajalik nimekiri, nagu näidatud *joonisel 7.13*, võimaldab kasutada *pull flow* kontrollloogikat toetades timmitud ehituse mõtteviisi.



Joonis 7.12. Tudengid kasutamas Autodesk BIM 360 tarkvara (iPad platvormil), et kontrollida vundamenti talade (ingl grade beam) paigutust (allikas: Virginia Tech).



Joonis 7.13. Komponenti kohta lisainfo saamine läbi RFID tunnuse, mis hõlbustab samas ka mudelis visualiseerida värvikoodina komponentide staatust (allikas: Building Design & Construction ning Autodesk).

7.5.6. Tootmistegevuste automatiseerimine

BIM tarkvara valik peaks võimaldama tootmistegevusi automatiseerida. Need varieeruvad ehitise (hoone) süsteemide lõikes. Mõned ettevõtted seetõttu omavadki erinevaid CNC pinke, nagu näiteks armatuuri painutamiseks ning lõikamiseks; laserlõikurid terasprofiilidele või plaatidele ning keerukad konveier- ja betoonivalu süsteemid. Mõne tootja jaoks võivad need tehnoloogiad olla BIM-ile ülemineku suunajateks; teiste jaoks jällegi täiesti uued valikud ning BIM võimaldab neile seda tutvustada. Mõlemal juhul on oluline läbi mõelda info vajadus ning liidestused, mida siis BIM tarkvara toetab.

7.6. Peamiste tootjate liigitus ning nende erivajadused

Selles peatükis vaatame lähemalt tootja tüübist lähtuvaid erivajadusi. Lisaks toome ka näiteid tarkvaradest, mis neid vajadusi võiks katta (tabel 7.2).

7.6.1. Teraskonstruksioon

Teraskonstruksioonide puhul jagatakse kogu struktuur selgelt eristuvateks osadeks, mida saab lihtsasti toota, tarnida ehitusplatsile, paigaldada ning kokku liita ja seda minimaalse materjali- ning tööjõukuluga. Kõik koormuslikud piirangud on pandud paika konstruksiooniinseneri poolt.

Samas lihtsalt konstruksiooni modelleerimine 3D-s, koos kõikide mutrite, poltide, keevisliidete ning plaatidega jne pole aga piisav. Järgnevalt toomegi välja lisanõuded, mida üks teraskonstruksiooni tarkvara peaks täitma:

- **Automaatne ning kohandatavate detailsuste lisamine terase liidestuspunktide tähenduses.** See omadus peab tagama võimekuse luua kontrollreeglistik, mis määrab olukorrad, kuidas liidestustüüpe valitakse ning parameetriselt sobitatakse, et tagada konstruksiooni kindel asetus.
- **Integreeritud konstruksiooni analüüsi võimekus, sealhulgas lõplike elementide meetodil baseeruv analüüs.** Alternatiivina peaks tarkvara minimaalselt suutma kirjeldada ning eksportida konstruksiooni mudelit, sealhulgas koormuste defineerimine, formaadis, mis on loetav välise konstruksiooni analüüsipakettide poolt. Sellisel juhul peab see olema suuteline ka importima 3D mudelisse tagasi nii koormuseid, kui ka reaktsioone.
- **Väljund lõike-, keevituse ning puurimise instruksioonide tähenduses, et seda saaks üle kanda arvjuhtimismasinatesse (CNC seadmed).** Seda võimekust võib laiendada nii keevitusele kui ka koostele. Kooste loomine eeldab veelgi enam geomeetria ning protsesside infot.

Tarkvara näited on toodud tabelis 7.2 (*Tekla Structures, SDS/2*).

7.6.2. Monteeritav betoon

Monteeritava betooni infomudelid on märksa keerukamad kui teraskonstruksiooni omad, kuna monteeritav betoon kaasab sisemisi komponente (armatuur, eelpingestus, teraskinnitid), märksa suuremat hulka erinevaid kujusid ning väga laia valikut pinna viimistlusi. Need olid ka peamised põhjused, miks monteeritava betooni BIM tarkvarad jõudsid turule märksa hiljem, kui teraskonstruksiooni omad.

Kaks eelnevalt märgitud vajadust teraskonstruksiooni tähenduses – liidestuste automaatne ning kohandatav detailiseerimine ning integreeritud konstruksiooni analüüsi võimekus – rakenduvad ka monteeritavale betoonile. Lisaks kehtivad monteeritavale betoonile veel alljärgnevad nõuded:

- Ehitise mudeli osade modelleerimise võimekus läbi geomeetriliste kujundite, mis eristuvad nendest, mis on koostejoonistel. Kõik monteeritavad osad alluvad lühenemisele ning roomamisele, mis tähendab, et nende lõpp-kuju on erinev sellest, milline see oli toodetuna. Monteeritavad osad, mis on ekstsentriliselt eelpingestatud, kumerduvad kui eelpingestuse kaablid vabastatakse peale kõvenemist. Kõige keerukamad muudatused ilmnevad siis kui pikad monteeritavad tükid on tahtlikult väänatud või koolutatud. Seda tehakse tüüpiliselt *topelt-T* (ingl *double tee*) elementidega, mida kasutatakse parkimismajades ning teistes konstruksioonides, et tagada kalded äravoolude tarbeks, paigutades toed ühte otsa sama nurga all, mis ka teise otsa. Need tükid peavad arvutimudelis olema esitatud koolutatuna, kuid toota tuleb neid sirgetes, eelpingestatud vormides. Seega peavad ka koostejoonistel olema need sirgetena. See eeldab üsna keerukat geomeetria tõlgendamist kooste ning koostejooniste esituste vahel, mistahes tahtlikult deformeerunud komponentide ulatuses.

- Pinna viimistlust ning töötlust ei saa lihtsalt rakendada osade tahkudele, vaid selleks on vaja omaette geomeetriat, mis võib tähendada vajadust betoonelemendilt mahu lugemist/eraldamist. Kiviplaadid, kivimustrid, soojusisolatsiooni kihid on selle olukorra mõned näited. Eribetoonsegusid kaasatakse kohandatud värvitooni ning pinna efekti saavutamiseks, mis oleksid aga liiga kallid lahendused, et sellega teha kogu element. Seega võivad tükid olla tehtud ka mitmest erinevast betoonsegust, ning tarkvara peab toetama kõikide alamtüüpide mahtude väljavõtteid.
- Üksikute tükide spetsiaalsete struktuurianalüüside võimekus – kontrollimaks nende vastupanuvõimet jõududele, mis tekivad vormist eemaldamisel, tõstmisel, ladustamisel, transportimisel ning paigutamisel – mis on teistsugused nendest jõududest, mis rakenduvad elemendile siis kui see on ehitisse integreeritud. Siin tuleb tähelepanu pöörata ka väliste analüüsipakettidega integreeritavusele ning avatud ligipääs programmeerimisliidesele.
- Monteeritava elemendi alamosad peavad olema grupeeritud lähtuvalt nende kasutamise vajadusest: tootmisestadesse valamise hetk, valamise või keevitamise hetk ehitise vundamendile või struktuurile, lahtivõtt ehitusplatsil (tükiga seotud) selle paigaldamiseks.
- Armatuuri kujude väljastamine formaatides, mis toetab tootmises kasutatavaid tarkvarasid ning automaatseid painutamise ning lõikamise seadmeid.

Tarkvara näited on toodud tabelis 7.2 (*Tekla Structures, StructureWorks*).

7.6.3. Raudbetoonvalu

Raudbetoonvalu (ingl *cast-in-place reinforced concrete*) eristub teistest siin toodud näidetest selle poolest, et see teostatakse ehitusplatsil olevast materjalist. Samas kehtivad ka siin need samad eelised ning lähenemisviisid, mida loetletud teiste süsteemide juures. Nii nagu monteeritav betoon, sisaldab ka raudbetoonvalu sisemisi komponente, mis tuleb detailselt modelleerida. Struktuuri analüüsi tähenduses kehtivad samad nõuded, mis ka monteeritava betooni juures. Seega peab olema tagatud armatuuri kujude raport nii tootmiseks kui paigaldamiseks ja ka võimalus mõõta betooni mahtu.

Samas on raudbetoonvalu juures ka erisusi, mis ei kattu teraskonstruktsiooni ega ka monteeritava betooniga, kuna raudbetoonvalu elemendid on monoliitsed. Nende puhul puudub selge ning eristuv füüsiline joon, mis kaht komponenti eristaks (võrrelduna näiteks postide, talade ning plaatidega). Seega otsustakse kahe komponendi liitekohas olev betooni maht emba-kumba osaks lähtuvalt raporteerimise vajadusest. Näiteks *Autodesk Revit* omadus *join geometry* võimaldab seda just lahendada ning standardjuhtudel annavad parameetrid ühele elemendile eelisõiguse, et olla n-ö põhikomponent. Seejärel saab seda käitumist automatiseerida. Näiteks kui tala ristub postiga, siis vajadusel lühendatakse alati tala.

Samamoodi võivad ühed ja samad armatuurid täita ühe elemendi juures üht rolli ning liitekohas teist rolli. Võtame näiteks tala ülemine armatuuri osa, mis siis tala ulatuses tagab nihke- ning purunemiskindluse, kuid toetuspunktis ka vastupanu momendile.

Veel üks erisus raudbetoonvalu juures on asjaolu, et seda saab teha keerukate, kumerate geomeetriatena, milles kumerus võib olla ühe või kahe telje sihis ning ka muutuva paksusega. Ehkki ebaühtlased ning mitmikumerusega pinnad on pigem harukordsed, siis kuplid seda ei ole. Mistahes ettevõtte, kes siis oma projektis kohtab kumeraid betoonpindu, peab tagama, et seda kirjeldav, mistahes tarkvara geomeetiline algoritm suudab ka vastavaid pindasid modelleerida ning moodustada vastavaid mahulisi komponente.

Tabel 7.2. BIM tarkvara näiteid alltöövõtjatele ning tootjatele.

BIM tarkvara	Ehitise süsteem	Funktsionaalsus
--------------	-----------------	-----------------

<i>Tekla Structures</i>	Teraskonstruksioon, monteeritav betoon, CIP armeeritud betoon. KV, elekter-, torustikud, fassaadseinad.	Modelleerimine, analüüsiks ettevalmistus, tootmiseks detailiseerimine, koordineerimine.
<i>SDS/2</i>	Teraskonstruksioon.	Tootmiseks ettevalmistus.
<i>Revit</i>	Teraskonstruksioon, CIP armeeritud betoon, KV, elekter-, torustikud, fassaadseinad.	Modelleerimine, analüüsiks ettevalmistus.
<i>StructureWorks</i>	Monteeritav betoon	
<i>aSa Rebar Software</i>	CIP armeeritud betoon	Eelarvestus, detailiseerimine, tootmine, materjali järgimine, arvepidamine.
<i>Allplan Engineering</i>	Teraskonstruksioon, CIP armeeritud betoon, monteeritav betoon.	Modelleerimine, armeeringu detailiseerimine.
<i>Allplan Architecture</i>	Fassaadseinad.	Modelleerimine.
<i>Catia</i>	Fassaadseinad.	Modelleerimine, FEM analüüsid, CNC ettevalmistus.
<i>Graphisoft ArchiGlazing</i>	Fassaadseinad.	Modelleerimine.
<i>SPIRIT</i>	Fassaadseinad.	Modelleerimine, tootmiseks detailiseerimine.
<i>CADPIPE</i>	Torustikud, KV torud, kaablitorud, kaablikanalid.	Modelleerimine, detailiseerimine, tootmiseks detailiseerimine.
<i>Trimble PipeDesigner 3D</i>	Torustikud.	Modelleerimine, tootmiseks detailiseerimine.
<i>Trimble DuctDesigner 3D</i>	KV	Modelleerimine, tootmiseks detailiseerimine.
<i>Bentley AECOSim</i>	KV, torustikud.	Modelleerimine.
<i>Graphisoft MEP Modeler</i>	KV, torustikud, kaablikanalid.	Modelleerimine.
<i>Fabrication CADmep, CAMduct</i>	KV, torustikud.	Modelleerimine, tootmiseks detailiseerimine.
<i>SprinkCAD</i>	Sprinklersüsteemid.	Modelleerimine, detailiseerimine.

Kolmas erisus kui võrrelda teras- ning monteeritavate komponentidega seisneb selles, et raudbetoonvalu komponendid jagatakse analüüsi ja projekteerimise mõistes lahu tootmisest. Näiteks betoonivalu lõpp-punktid määratakse üldjuhul ehitusplatsil, ning need väga tihti ei vasta toote jagamistele nii nagu projekteerija seda ette nägi. Sellest hoolimata, kui komponente kasutatakse ehituse haldamiseks ning ka projekteerimiseks, peavad need olema modelleeritud mõlemat moodi.

Kõik eelkirjeldatud stsenaariumid eeldavad BIM tarkaralt veidi teistsugust lähenemist, kui need paljuski täna pakuvad, mistõttu ongi see pigem eristuv toode/lahendus, kui et täies mahus integreeritud mõne platvormi sisse, milles osaliselt on kindlasti raudbetoonvalu modelleerimine toetatud. Näitena võib tuua *Autodesk Revit* tarkvara, milles on eristuvad vaated 3D betoonelementide tähenduses ning selle analüütiline esitus, mis on oluline struktuuri arvutuse läbiviimiseks.

Raudbetoonvalu tegemiseks on mõistagi vaja ka raketist, mistõttu ka viimase maha märkimine ning detailiseerimine on oluline vajadus ja seda siis nii modulaarseid kui kohandatavaid süsteeme kasutades. Nii mõnedki modulaarsete raketiste tootjad pakuvad samas ka nende toodetega ühilduvat tarkvara, mille kaudu saab 3D-na rakendada standardseid raketise esituse raudbetoonvalule. Seejärel leiab tarkvara juba materjalide kokkuvõtted ning loob ka joonised, mis juhendavad töölisi, et see ehitusplatsil kokku panna. Näitena võib tuua *PERI*, kellel on ka plugin *Autodesk Revit* tarkvarale.

Tarkvara näited on toodud tabelis 7.2 (*Tekla Structures, Revit, aSa Rebar Software, Allplan Engineering*).

7.6.4. Fassaadisüsteemid

Fassaadisüsteemi alla lähevad mistahes seinad, mis ei ole struktuuri kandva iseloomuga, ehk siis ei kannu raskusjõude üle ehitise vundamendile. Nii kohandatavate kui standardlahenduste ulatuses on

kõige levinumad fassaadisüsteemid alumiiniumist ning klaasist. Neid võib jaotada alamgruppidesse nagu raamisüsteemid, elemendisüsteemid ning komposiitsüsteemid. Siia alla võivad kuuluda ka akende süsteemid, mis on üldjuhul kohandatud kindlat ehitist silmas pidades, kaasates nii erinevaid teras kui alumiiniumsüsteeme aga ka plastikut ning muid materjale.

Raamisüsteemid (ingl *stick systems*) ehitatakse üldjuhul ehitusplatsil kasutades mõnd metallprofiili (tüüpiliselt on selleks alumiinium), mis siis liidetakse ehitise enda raamiga. Need sarnanevad teraskonstruksioonidele, kuna koosnevad piki elementidest (nt vertikaalsed ning horisontaalsed elemendid), mis siis omavahel kokku liidetud. Nii nagu ka monteeritava fassaadi paneeli korral, peavad nende ühenduspunktid raamistikku olema üheselt detailiseeritud. Sellest lähtuvalt seab see ka erinevused modelleerimispaketile, kuna need elemendid võivad üsna mõjutatud olla temperatuurist, mis siis põhjustab paisumisi ning kokkutõmbumisi. Seega peavad ühenduspunktid seda kõike võimaldama, ilma et kannataksid soojuslikud omadused või esteetika. On tavapärane kasutada ühenduspunkte, mis siis võimaldavad teatud mahus vabaliikumist ja hülsse, mis võimaldavad piki liikumisi ühes nende peitmistega. Raamistikke on vaja modelleerida vaid kooste tasandil ning puudub vajadus, et nende juures lisataks tootmiseks vajalikku detailsust (profiilide lõikamine õiges pikkuses on siiski oluline tootmisjoonisena näidata). Väga oluline on aga paigaldusjärjekorra planeerimine, et tagada vajalikud tolerantsid.

Elemendisüsteemid (ingl *unit systems*) koostatakse üksikutest eeltoodetud komponentidest, mis integreeritakse ehitise põhiraamistikku. Modelleerimisvajadus peab tagama ehitustäpsuse, seetõttu peab ka ehitise konstruktsiooni raamistik olema üheselt modelleeritud.

Komposiitsüsteemid (ingl *composite systems*) kaasavad nii elemendi- kui raamisüsteeme, posti ümbrist, spandrel süsteeme ning tahvli süsteeme. Siin pole vajalik mitte ainult detailse kooste tegemine aga ka üksikute tükide tootmisspetsiifika peab samuti olema koordineeritud ehitise teiste süsteemidega.

Fassaadisüsteemid on ehitise (hoone) mudeli olulised osad, kuna need osalevad ehitise suutlikkuse arvutustes (energiasimulatsioon, akustika, valgustus) aga ka konstruktsiooni arvutustes. Mistahes kasutatav arvutustarkvara peab seega suutma lugeda lisaks fassaadisüsteemi geomeetria ka komponentide füüsikalisi parameetreid. Mudelid peavad samuti toetama tuulekoormuse ning omakaalu sisestamist kõikidele süsteemi komponentidele.

Enamus BIM tarkvarasid võimaldavad fassaadisüsteemide tähenduses teha ennekõike esmalt modelleerimist ning täpsem detailiseerimine ning tootmiseks ettevalmistamise funktsionaalsus on piiratud. Samas on fassaadisüsteemide tootjate poolt tehtud kättesaadavaks erinevad detailiseerimise ning eelarvestuse rakendused (nt [DeMichele Group](#)), mis küll keskenduvad siis ühe üksiku mooduli või nende süsteemi modelleerimisele. Kuna fassaadseinte modelleerimine kaasab teras- ning alumiiniumprofiilide kaasamist, siis nii mõnedki ettevõtted on leidnud parema alternatiivina just tootedisainis kasutatavate tarkvarade näol nagu *Solidworks* ning *Autodesk Inventor*.

Tarkvara näited on toodud tabelis 7.2 (*Catia, Tekla Structures, Revit, Allplan Architecture, Graphisoft ArchiGlazing, SPIRIT*).

7.6.5. KV, elekter ning torustikud

Siin grupis on kolm eristuvat alamrühma. Ventilatsioonitorud ning seadmed, torusüsteemid ning kaablikanalid ja juhtimiskarbid. Need kolm süsteemi on üksteisele väga sarnase iseloomuga ja seda ka rollist ehitise ruumi hõivamises, samas eeldavad need detailiseerimise- ning tootmistarkvaralt oma erinevusi.

Ventilatsioonitorud lõigatakse lehtmetailist, seejärel toodetakse tükkidena, mida saab mugavalt tarnida ehitusplatsile ja teostada nende paigaldus. Need ventilatsioonitorud on 3D komponendid ja tihti peale kaasavad keerukat geometriat. Jahutusseadmed, pumbad, difuusorid ja teised seadmed seavad ranged ruumilised piirangud ning ka ühendusvalmiduse elektri- ning torusüsteemidega – nende asukoht ning orientatsioon eeldab hoolikat koordineerimist.

Torustik, mis tagab vedelike ja gaaside transpordi/ringluse, luuakse profiilidest, mis kaasavad endas ka klappe, liitmike ning muid seadmeid. Ehkki mitte kõiki komponente ei tehta siin tellimuse põhised, siis teatud mahus osasid ristlõikeid või liitmisvalmidust saab ette toota/tellida. Lisaks saab torustike rulle samuti käsitleda kui eeltoodetud komponente, mis tervikuna tarnitakse ja seejärel installeerimisvalmiduses on, sõltumata sellest, kas ja kui suures mahus nende loomiseks standardkomponente kaasati.

Elektri- (nõrkvoolu-) kaablid on enamjaolt painduvast materjalist, samas kui kaabliredelid (ning kanalid) ei pruugi seda olla ja just seetõttu tuleb viimaste koordineerimine teiste komponentidega kindlasti läbi viia.

Üheks olulisemaks nõudeks, mida BIM peab siinjuures toetama, on eelloetletud komponentide asukoha, orientatsiooni ning liikumisteekondade määratlus ruumis ja seda koordineeritud kujul. Paigutus tähendab ennekõike lihtsasti järgitavat või värvikoodil baseeruvat visualiseerimist ning funktsioonide kirjeldamist, et muuhulgas oleks võimalik läbi viia vastuolude kontrolli nii füüsilise kontakti kui minimaalse vahekauguse tähenduses (joonis 7.14). Aga lisaks paigutusele on oluline, et neid komponente oleks võimalik läbi mudeli ka tootmiseks ette valmistada, saada installeerimiseks vajalikke juhiseid ning kontrollida nende planeeritud funktsioneerimist.



Joonis 7.14. Tehnosüsteemid vaadelduna hoones kui tervikus (allikas: Autodesk Navisworks mudel).

Lisaks paigaldusnõuetele peab olema tagatud ka komponendile ligipääs hilisemaks hoolduseks, selle deinstalleerimine ja võimalus süsteemist kui tervikust välja tõsta ilma, et teised komponendid seda segaksid. Sellest lähtuvalt peab tarkvaraline lahendus võimaldab üles seada erinevat reeglistikku, mis siis kontrollib paari kaupa tingimuste täidetust.

Teiseks olulisemaks nõudeks on objektide grupeerimine nii tootmise kui installeerimise logistika tähenduses. Nummerdamine või sildistus peab olema tagatud kolmel tasandil: esmalt unikaalse ID kasutamine iga komponendi lõikes; grupi ID installeerimise tähenduses; ning tootmiseks vajalik ID, mis baseerub ühesuguste või suuresti sarnaste komponentide gruppidel - tootmise või hanke

korraldamise tähenduses. Vähemolulisem pole ka logistikas lähtuv grupeerimine, kus samasse süsteemi/ringi kuuluvad komponendid tarnitakse ühe rühmana. Kui kasvõi üks osa/jupp on puudu või see ei sobitu süsteemi mõõduliste erisuste või ka tootmisvea tõttu, langeb tootlikkus ning üldine töövool kannatab/katkeb. Selle vältimiseks peavad BIM süsteemid pakkuma võimalust luua terviklikke materjalide väljavõtteid ning sujuvat integreeritavust logistika tarkvaradega, et korrektsed komponentide kollektioonid tarnitakse kohale täpselt õigel ajal. Üheks võimalikuks tehnoloogiliseks lahenduseks on vöotkoodide kasutamine, kuid üha rohkem leiab ka kasutamist raadiosagedusel põhinev märgistus/indentifitseerimine (RFID tehnoloogia).

Unikaalsed BIM-ile esitatava nõuded süsteemispetsiifiliselt on:

- Enamik ventilatsiooni torusid toodetakse lehtmestallist. Seega peab tarkvara võimaldama luua lõikemustreid – mis on 3D komponentide pinnalaotused – ning tõlkima selle lõiketehnoloogia eripäradest lähtuvalt (nt plasmaalõikus). Tarkvara peab ka võimaldama optimeeritud materjali laotust pinnalaotuste paigutamise tähenduses, et minimeerida materjali kadu.
- Torustikud on üldjuhul esitatud isomeetriliste joonistena. Tarkvara peab omama võimekust, et esitada sedalaadi infot nii 3D-s, ühe-joone mudelitena aga ka sümboolikat või skeemjooniseid kasutades. Lisaks peab see suutma luua 2D plaane, lõikeid. Torustike mahus peab olema võimalik teha materjalide väljavõtet ning liidestamisega seotud jooniseid.

Tehnosüsteemide tarkvaralised lahendused, mis võimaldavad komponente tootmiseks ette valmistada, jõudsid meieni teistest ehitise (hoone) süsteemidest märksa varem. Seda tänu asjaolule, et torustikud on tüüpiliselt kindlad, fikseeritud komponendid, millel on standardne geomeetria ja ei sõltu liitmisskeemide tähenduses kohalikest nõuetest. Puudus vajadus *solid* tüüpi modelleerimise või *Boolean* operatsioonide kaasamiseks ning iseseisvaid parameetrilisi komponente sai kaasata läbi sisseehitatud reeglistike. Seetõttu oli võimalik tagada tootmiseks vajalikul tasemel modelleerimine üldiste CAD pakettidega, milles puudusid keerukamad parameetrilised või piirangutel baseeruvad funktsionaalsused.

CAD pakettide peamine miinus, kui võrrelda BIMi põhiste rakendustega, on nende suutmatuse tagada loogiline terviklikkus peale muudatuste sisestamist. Näiteks, kõrvuti paiknevate torustike ristlõiked peavad muutuma kui ühes sektsioonis tehakse muudatus või rakendatakse see tervele süsteemile. Kui toru, mis läbib seinat või põrandat, nihutatakse, siis peab ka avat selles seinas/põrandas nihkuma või peab selle ära täitma, kui seda rohkem ei vajata. Mõned tehnosüsteemide rakendused ei toeta aga jällegi avatud standardeid nagu IFC import/eksport.

Nii alltöövõtjad kui ka tootjad kasutavad suure tõenäosusega veel pikema perioodi vältel CAD-põhiseid platvorme. Samas on tuua ka häid näiteid, kus üha rohkem integreeritakse BIM platvorm tootmiseks mõeldud CAD platvormiga (nt *Autodeks Revit > Fabrication CADmep™, Fabrication ESTmep™, and Fabrication CAMduct™, Trimble® SysQue®*). Võib eeldada, et sedalaadi kombineeritud kasutus leiab üha rohkem tähelepanu.

Tarkvara näited on toodud tabelis 7.2 (*Trimble PipeDesigner, DuctDesigner, CADPipe, Fabrication CADmep / CAMduct, SprinkCAD, Revit, Bentley AECOSim, Graphisoft MEP Modeler*).

7.7. BIMi kaasamine tootmistegevustesse

Vettpidav juhtimisstrateegia BIMi kaasamiseks peab ulatuma märksa kaugemale kui tarkvara-, riistvara- ning inimeste koolitamisega seotud küsimuste lahendamisega, kuna see mõjutab nii tööprotsesse kui inimesi.

BIM süsteemid on loomult keerukad tehnoloogiad, mis mõjutavad kõiki aspekte tootmise alltoövõtu opereerimises. Turundamisest kuni eelarvestamiseni, materjali hange, tootmine ja tarnimine, installeerimine ning hooldus. BIM lihtsalt ei muuda olemasolevaid opereerimisi, mida varem tehti käsitsi, kergemaks ega võimalda kasutada lihtsamaid tarkvaralisi lahendusi, vaid see aitab kaasata erinevaid töö- ning tootmisprotsesse.

BIM süsteemid aitavad oluliselt parendada insenertehnilist ning koostamisega seotud tootlikkust. Kui ettevõtte ei saavuta püsivat müüginahku kasvu kasutuselevõtu faasis, peab ta vähendama nende tegevuste läbiviimiseks vajalike inimeste arvu. Vähendamine on töötajate silmis mõistagi ähvardava iseloomuga, eriti olukorras, kus nende energia ning entusiasm on ülioluline tööprotsesside edukas muutumises. Läbimõeldud plaan peab seda kõike arvesse võtma ja kaaludes kogu meeskonna panust kui tervikut. Osalt neid koolitades ning teisalt teiste tööülesannete andmises. Kohe alguses peab olema selgelt paigas nende kaasatus ning pühendumus.

7.7.1. Asjakohaste eesmärkide seadmine

Järgnevad juhtnöörid läbi küsimuste esitamise vormi võivad olla ehk abiks efektiivse kasutuselevõtu plaani koostamiseks, et seeläbi panna paika eesmärgid ning määratleda ettevõtte sisesed ning välised rollid. Need sobivad nii tootmisettevõtetele, kellel on detailiseerimise võimekus kohapeal olemas või siis ettevõtetele, kes on spetsialiseerunud just detailiseerimisteenuse pakkumisele (nt *3D Steel Ltd*).

- Kuidas saavad tellijad (ehitise omanikud, arhitektid, insenerid-konsultandid ning peatöövõtjad) kasu tootja laiemast asjatundlikkusest BIM platvormide kasutamisel? Milliseid uusi teenuseid suudetakse seeläbi lisaks pakkuda? Milliseid teenuseid saab muuta produktiivsemateks ning kuidas saab täitmisaegasid lühendada?
- Mis tasemel saab ehitise mudeli andmestikku importida arhitekti või teiste projekteerijate tehtud BIM mudelitest?
- Mis protsessi etapil luuakse mudelid, ning millised peavad olema nende detailsusaste? Mõne tootja saab kaasata juba pakkumise tegemiseks, milles esitletakse väiksema detailsustasemega mudelit ja seeläbi saab esile tõsta ettevõtte unikaalset lähenemist. Mõned pakkumised baseeruvad aga vaid projekteerijate poolt loodud mudelitel ja seega liigutakse detailiseerimise juurde alles siis kui leping on sõlmitud.
- Kui mudel loodi pakkumise tarvis, siis mis mahus on see info kasutatav detailiseerimiseks juhul kui hange võidetakse?
- Kuidas ning kelle poolt kaasatakse ettevõtte standardsed detailid/komponendid ning jooniste mallid tarkvara kasutajapõhistesse raamatukogudesse? Kas seda tehakse korraga (rakendamise käigus) või järk-järgult lähtuvalt projekti vajadustest?
- Kas BIM võimaldab ettevõtte siseselt paremat kommunikatsiooni? See eeldab, et erinevate osalistega arutletakse läbi, mis on nende vajadused. Näiteks kui küsida tootmisüksuse juhi käest: "Millised peavad koostejoonised välja nägema?" võib tegelik BIMi rakendamise *point* minna kaduma, kuna tegelikult eksisteerib mitu erinevat ja sobivat võimalust. Mudelite vaatamine, muutmine ning selle baasil küsimuste esitamine suurelt ekraanilt on kindlasti oluline täiendus paberjoonistele. Inimesi peab seega teavitama uutest võimalustest.
- Kuidas edastatakse info projekteerijatele ning konsultantidele selle edastamise etapis? BIM-võimekusega arhitektid ning insenerid eelistavad kindlasti saada mudeleid ja mitte jooniseid. Kuidas esitatud kommentaarid jõuavad tagasi ettevõttesse?
- Mis mahus peaksid ehitise mudelid olema kasutatavad või endas sisaldama haldusega seotud infot? Mida on vaja (tarkvara, riistvara, programmeerimine), et BIM süsteem integreerida olemasolevate ärihaldussüsteemidega või plaanitakse ka need välja vahetada? Paljud *BIM*

tarkvarad omavad n-ö lihtsustatud funktsionaalsusega versioone, millest piisab tootmis- või logistikaga tegelevatele osakondadele.

- Mis oleks sobiv rakendamise aeg? See sõltub ennekõike inimressursi olemasolu tekitamisest (teistest töökohustustest osaline vabastamine), kes siis BIMi rakendamise enda südameasjaks võtavad.
- Kuidas ning millises mahus peab olemasolevast CAD tarkvarast loobuma? Kui suur peab olema puhvertsoon, võimekuse tagamine rakendamise faasis? Kas jäävad alles need tellijad, tarnijad, kes ei plaani BIMi kasutusele võtta ja seetõttu on vaja alles jätta teatud mahus CAD-i kasutatav ressurs?
- Mis on allhankesse mineva osaliste vajadused ning suutlikkus? Kas ka nemad plaanivad üle minna? Kas ettevõtte plaanib neid BIM-ile ülemineku protsessis toetada või asendatakse BIMi lembeliste partneritega?

7.7.2. Tegevused omaks võtmisel

Kui tarkvara ning riistvara konfiguratsioonid on valitud, peab ette valmistama tervikliku omaks võtmise plaani, milles defineeritakse eesmärgid, mille poole püüeldakse ning pannakse ka paika meeskond, kes seda protsessi juhib – seda nii juhtkonna kui õppijate/kasutajate tasandil. Ideaalis peaks sellest osa võtma kõik osalised või siis olema juhitud liidrigrupi poolt, kes on pidevas suhtluses nii tootmis- kui logistika üksustega. Plaan peab kaasama nii ajalist määratlust kui inimressursside kaasatust järgmistes tegevustes:

- **Tarkvara koolitus töötajatele.** Siin on kindlasti üks hoiatus vägagi paslik. Nimelt on 3D objekti-põhine modelleerimispakett kontseptsioonilt täiesti erinev CAD paketist ja seega peab justkui CAD põhised tööprotsessid ära unustama, et koolitus ja sellele järgnev *BIM* tarkvara kasutus oleks võimalikult efektiivne. Nii nagu paljude teiste keerukate tarkvarade süsteemidega, kogemus tuleb praktikaga ja aja jooksul; töötajaid ei tohiks enne koolitada kui pole veendunud, et nad suudavad koolituse järgselt koheselt panustada tarkvara kasutusele võtuks.
- **Kohandatud komponentide raamatukogude ettevalmistus, standardsed ühendused, disaini reeglistik jmt.** Enamike süsteemide ning ettevõtete tähenduses on see üks peamisi ülesandeid, kuid seeläbi saab hinnata ka võimalikku produktiivsust, mida tervikuna oleks võimalik saavutada. Siin saab kasutada erinevaid strateegiaid. Kohandatud komponente võib luua lähtuvalt projekti vajadustest ja seeläbi kasvatada neid pikema aja jooksul. Samas võib teatud mahus need ka ette teha või siis kasutada ühe ja teise vahepealset varianti. Suuremad ettevõtted võivad panustada sellele, et leiavad vastutava töötaja, kes need raamatukogud ette valmistab, mida seejärel kõik teised saavad kasutada, kuna üldjuhul saab parameetriliste komponentide raamatukogusid pidada märksa keerukamateks kui seda on 2D CAD juures kasutatud.
- **Tarkvara lokaliseering, et tagada ettevõtte vajadustest lähtuvad jooniste ning raportite mallid.**
- Kohe peale koolitust peaksid esimesed õppinud töötajad võtma suuna olemasoleva projekti paralleelseks modelleerimiseks BIM-s, et leida erisused CAD-is tehtuga. See peaks toimuma kindlasti paralleelselt ning pakub selget nägemust, kuidas reaalse projektiga toime tulla, ehkki siin ei järgita veel tegelikke tootmisgraafikuid. Seeläbi hinnatakse ka lisakoolitusvajadust ning kohandatud raamatukogude kättesaadavust/ulatust.
- Seminarid ja/või töötoad neile, kes pole otsesed kasutajad – teised osakonnad, toormaterjalide tarnijad, allhanget tegevad osalised ning ka kliendid/tellijad – ka neid peab teavitama uuest võimekusest ning võimalustest, saamaks nende toetus ning jagamaks võimalikke töövoolude parendamise näiteid. Näiteks selle asemel, et luua erinevaid vaateid,

milles märgitud komponentide läbimõõdud/ristlõiked, võib hoopis kokku leppida värvitoonides, mis esitavad kindlaid läbimõõtusid 3D vaates ja saada seeläbi ülevaade lahendusest oluliselt väiksema ajakuluga kui teha seda läbi 2D jooniste.

7.7.3. Üleminekutempo planeerimine

BIM tööjaamadele üleminek peaks olema jagatud etappideks. Töötaja, kes alles õpib uusi lahendusi kasutama ei ole võimeline kohe olema produktiivne ja üsna tõenäoliselt jääb see alla sellele, mida ta saavutas CAD platvormiga töötades. Aga aja jooksul see tasakaal kindlasti muutub. Neid, keda koolitatakse esmases järjekorras, on n-ö ebaefektiivsemad pikema aja vältel kui teised töötajad, kuna nemad peavad tegelema ka tarkvara seadistamisega, et see alluks ettevõtte tooteportfooliole, ning tootmispraktikatele. Seetõttu võib eeldada, et lühiajaliselt on vaja kaasata rohkem tööjõudu, millele üsna suure tõenäosusega järgneb jällegi oluline vähenemine. Seda võib täheldada ka erinevate rakendamisploani näidete juures (*tabel 7.3*, iga omaksvõtmise viimane rida).

Tabel 7.3. Omaksvõtmise etapiviisiline lähenemine BIM tööjaamade tähenduses ühe tootja inseneriosakonna näitel.

Omaksvõtmise periood	Algus	P1	P2	P3	P4
Plaan eirates töömahu suurenemist					
Võrdväärne CAD tööjaamade vajadus	18	18	18	18	18
Töös olevad CAD tööjaamad	18	18	13	3	
Alles jäävad CAD tööjaamad			5	15	18
Lisanduvad BIM tööjaamad		3	6	2	
Töös olevad BIM tööjaamad		3	9	11	11
Kokku tööjaamasid	18	21	22	14	11
Plaan kaalumaks töömahu suurenemist					
Võrdväärne CAD tööjaamade vajadus	18	18	19	20	21
Töös olevad CAD tööjaamad	18	18	14	5	
Alles jäävad CAD tööjaamad			5	15	21
Lisanduvad BIM tööjaamad		3	6	3	1
Töös olevad BIM tööjaamad		3	9	12	13
Kokku tööjaamasid	18	21	23	17	13

Tabel 7.3 esitab teostatava järk-järgulise plaani ettevõtte 18-ne CAD tööjaama väljavahetamiseks 13 BIM tööjaama vastu. See esitab CAD/BIM tööjaamade arvu, mida planeeritakse kasutusele võtta lähtuvalt BIM tarkvara juurutamisest jagatuna neljaks perioodiks. See baseerub kahel võimalikul hinnataval parameetril: tootlikkuse kasv ning äritegevuse kasv. Mahu kasvu saab vaadelda CAD tööjaamade arvu tähenduses, et selle mahuga toime tulemiseks lähtuvalt kahest erinevast vaatevinklist: kas eirata töömahu suurenemist või siis kaaluda töömahu suurenemist. Tootlikkuse kasv on võetud kui 40%, ja see põhineb tundide arvul, mida on vaja panustada, et saada BIM tarkvaraga CAD tarkvaraga võrdväärne väljund. Kui see panna aga jooniste loomise konteksti, siis BIMi kasutamisega vajatakse 60% CAD-i kasutamiseks vajaminevast tundide arvust (see baseerub uuringutel, millest oli juba juttu eelnevas, alapeatükis 4.4).

Tabel 7.3 esitab ka viisi, kuidas koolitusest tingitud tootlikkuse vähenemist arvesse võtta just õppimise algperioodil. Lihtne eeldus, mida siinjuures kasutatakse, et BIM tööjaamade kasutuselevõtt kindlal perioodil rakendub täies mahus sellele järgneval perioodil. Seetõttu ei vähene CAD tööjaamade arv koheselt, ehkki lisandusid 3 BIM tööjaama. Järgneval, ehk teisel perioodil väheneb CAD tööjaamade arv 5 võrra, kuna see on võrdväärne lisanduvate, produktiivsete BIM tööjaamadega (kolm, mis lisandub eelmisest perioodist) jagatuna tootlikkuse kasvuga ($3/60\% = 5$).

Tööjõu kasv, mida vaadatakse esimesel omaksvõtmise perioodil võib olla n-ö korrigeeritud allhankena või ületunnitööga, kuid seda tuleks vaadata kui üht põhikulu BIM rakendamise rahavoo faasis, mis on märksa suurem kui investering tarkvarale, riistvarale või koolituskulu tervikuna. Seega võivad ettevõtted selle rakendamise jagada ära pikemale perioodile, et just eelnimetatud mõju vähendada, pealegi võib planeeritud ajavahemikke ka hiljem vähendada (uute operaatorite kaasamine aja edenedes peaks minema sujuvamalt, kuna paljud on juba BIMi kasutamas ning seega loonud eeldused, et see on juba olemasolevatesse süsteemidesse paremini integreeritud). Mistahes olukorras on aga oluline, et juhtkonna silmis oleks muutmiseks vajalik ressursi olemasolu vaadeldava perioodi jooksul toetatud ning tagatud.

7.7.4. Inimressurssidega seotud kaalutlused

Pikemas perspektiivis toob BIMi rakendamine tootmisega tegelevates ettevõtetes kaasa kaugeleulatuvaid muutusi nii äriprotsessides kui tööjõu kaasatuses. Selleks, et BIMist saaks täit kasu lõigata, peavad eelarvestajad, kes on tootmisettevõtte tähenduses kõige kogenumad insenerid, looma mistahes uue projekti tarvis mudeli, kuna seeläbi tehakse otsuseid nii kontseptsiooni- kui tootmismeetodite valikuks. Seda tööülesannet ei saa delegeerida detailiseerijale. Kui projekt liigub detailiseerimise ning tootmise faasi, tulevad taas mängu insenerid, kes suudavad mudelite baasil läbi viia vajalikke analüüse ning lisaks on siis kaasatud ka insener-tehnikud, kes määravad täpsemad detailsusastmed. Tehnosüsteemide hangetes tuleb teha koostööd peatöövõtjaga ning teiste, nt toomaterjalide tarnijatega, et oleks tagatud tööde ehitatavus ning koordineeritus, mis jällegi eeldab väga head teadmist ning valdkonna tundmist.

Nii nagu sai märgitud ka BIM projekteerijale sektsioonis, väheneb ka tootmises jooniste vormistajate roll. Seetõttu peavad ettevõtted seda väga kaalukalt arvesse võtma ja seda mitte ainult kaasatud inimeste tähenduses, aga ka asjaolul, et BIMi kasutusele võtmine võib pidurduda kui kaasata valesid inimesi.

7.8. Küsimused aruteluks

1. Esita kolm näidet insener-tehniliste komponentide tähenduses, mida kaasatakse ehitises (hoones). Miks teevad tootjad nendest komponentidest koostejooniseid?
2. Mis on peamised erisused turunõudlusel (ingl *made-to-stock*) ning tellimusel (ingl *made-to-order*) baseeruvate komponentide vahel? Too ehitise kontekstis näiteid mõlema kohta kontekstis.
3. Kuidas võimaldab BIM vähendada turundamiseks, detailse projekteerimise läbiviimiseks, tootmiseks ning paigaldamiseks kuluvat täitmisaega insener-tehniliste komponentide näitel ehituses? Vali üks komponendi tüüp ning kirjelda selle protsessi, et illustreerida oma vastust.
4. Miks on eelnevalt kokkupandud, integreeritud süsteemi mooduleid väga keerukas lahendada klassikalise CAD süsteemiga? Kuidas BIM aitab neid probleeme lahendada?
5. Mil viisil suudab BIM kaasata timmitud ehituse põhimõtteid?
6. Mis on BIM süsteemide omadused, mis võimaldavad n-ö ühe nupuvajutusega teostuvaid muutusi detailides (vaata alapeatükki 7)?
7. Kujuta ette, et sa oled vastutav BIMi kasutusele võtmiseks ühes tootmisettevõttes, mis toodab ventilatsioonitorusid nii äri- kui avalike ehitiste (hoonete) lõikes. Ettevõttes on 6 detailiseerijat, kes kasutavad 2D CAD lahendusi. Selgita oma põhilisi seisukohti, kuidas kasutuselevõtu plaan peaks toimuma, esitades olulised eesmärgid ning verstepostid.
8. Mis on ehitise (hoone) mudelite omadused, ning milliseid protsessidega seotud eeliseid need pakuvad, kui võrrelda 2D joonistel baseeruvate praktikatega, mis ühtlasi võimaldab insener-tehnilisi komponente kuluefektiivselt kaasata?

Kasutatud kirjandus

- AIA (1994). *The Architect's Handbook of Professional Practice*, Washington, D.C., AIA Document B162, American Institute of Architects.
- AIA (2007). <https://www.aiacontracts.org/resources/64146-integrated-project-delivery-a-guide>.
- AISC (2007). *AISC Design Guide*, 20 vols. 2007 Edition, AISC Chicago, IL.
- Autodesk (2004). "Return on Investment with Autodesk Revit." March 30, 2018. Autodesk Web site. Autodesk, Inc.
http://images.autodesk.com/adsk/files/4301694_revit_roi_calculator.zip
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner™ System of Production Control*, Ph.D. Dissertation, University of Birmingham, Birmingham, U.K.
- Beard, J., M. Loulakis, and E. Wundram (2005). *Design-Build: Planning Through Development*, McGraw-Hill Professional.
- BuildLACCD (2017). LACCD building information modeling standards. <http://www.build-laccd.org/contractors-bidders/standards-guidelines>.
- Court, P., C. Pasquire, A. Gibb, and D. Bower (2006). "Design of a Lean and Agile Construction System for a Large and Complex Mechanical and Electrical Project," *Understanding and Managing the Construction Process: Theory and Practice*, Proceedings of the 14th Conference of the International Group for Lean Construction, R. Sacks and S. Bertelsen, eds., Catholic University of Chile, School of Engineering, Santiago, Chile, 243–254.
- DBIA (2007). Design Build Institute of America, www.dbia.org/.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K. (2011). *BIM handbook. A guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. John Wiley and Sons, Inc.
- Eckblad, S., Ashcraft, H., Audsley, P., Blieman, D., Bedrick, J. and Brewia, C. (2007). *Integrated project delivery—A working definition*. AIA California Council, Sacramento, Calif.
- Ergen, E., B. Akinci, and R. Sacks (2007). "Tracking and Locating Components in a Precast Storage Yard Utilizing Radio Frequency Identification Technology and GPS." *Automation in Construction* 16: 354–367.
- Hendrickson, C. (2003). *Project management for construction: fundamental concepts for owners, engineers, architects and builders*. Version 2.1. June 27, 2007.
- Koskela, L. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*, Technical Report #72, Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineering, Stanford University.
- Koskela, L. and Vrijhoef, R. (2000). *The Prevalent Theory of Construction is a Hindrance for Innovation*. IGLS 8, Brighton, UK, 2000.
- Kunz, J., and M. Fischer (2007). *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions*, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University.
- Lorenzo, R. (2005). "Leaning on Lean Solutions," *Aerospace America*, June 2005: 32–36.
- Lipman, R. R. (2004). "Mobile 3D Visualization for Steel Structures." *Automation in Construction* 13(1): 119–125.
- NIBS (2008). *United States National Building Information Modeling Standard, version 1—Part 1: Overview, principles, and methodologies*. <http://nbimsdoc.opengeospatial.org/> Oct. 30, 2009.
- McKinsey&Company (2017). *Reinventing construction: a route to higher productivity*. February 2017.

- Pasquire, C., R. Soar, and A. Gibb (2006). "Beyond Pre-Fabrication — The Potential of Next Generation Technologies to Make a Step Change in Construction Manufacturing," *Understanding and Managing the Construction Process: Theory and Practice*, Proceedings of the 14th Conference of the International Group for Lean Construction R. Sacks and S. Bertelsen, eds., Catholic University of Chile, School of Engineering, Santiago, Chile, 243–254.
- PCI (2004). *Design Handbook of Precast and Prestressed Concrete*. Skokie, IL, *Precast/Prestressed Concrete Institute*.
- Ramsey, G. and H. Sleeper (2000). *Architectural Graphic Standards*. New York, *John Wiley & Sons*.
- Robbins, E. (1994). *Why Architects Draw*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Sacks, R. (2004). "Evaluation of the Economic Impact of Computer-Integration in Precast Concrete Construction." *Journal of Computing in Civil Engineering* 18(4): 301–312.
- Sacks, R., and R. Barak (2007). "Impact of Three-Dimensional Parametric Modeling of Buildings on Productivity in Structural Engineering Practice." *Automation in Construction* (2007), doi:10.1016/j.autcon.2007.08.003.
- Sacks, R., and R. Barak (2008). "Impact of Three-Dimensional Parametric Modeling of Buildings on Productivity in Structural Engineering Practice." *Automation in Construction*, 17: 439-449.
- Sacks, R., C. M. Eastman, and G. Lee (2003). "Process improvements in precast concrete construction using top-down parametric 3-D computer-modeling." *Journal of the Precast/Prestressed Concrete Institute* 48(3): 46–55.
- Sacks, R., M. Radosavljevic, and R. Barak (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, Vol. 19, No. 5, pp. 641–655.
- Thomas, H. R., C. Korte, V. E. Sanvido, and M. K. Parfi tt (1999). "Conceptual Model for Measuring Productivity of Design and Engineering." *Journal of Architectural Engineering* 5(1): 1–7.
- Womack, J. P., and D. T. Jones (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York, *Simon & Schuster*.