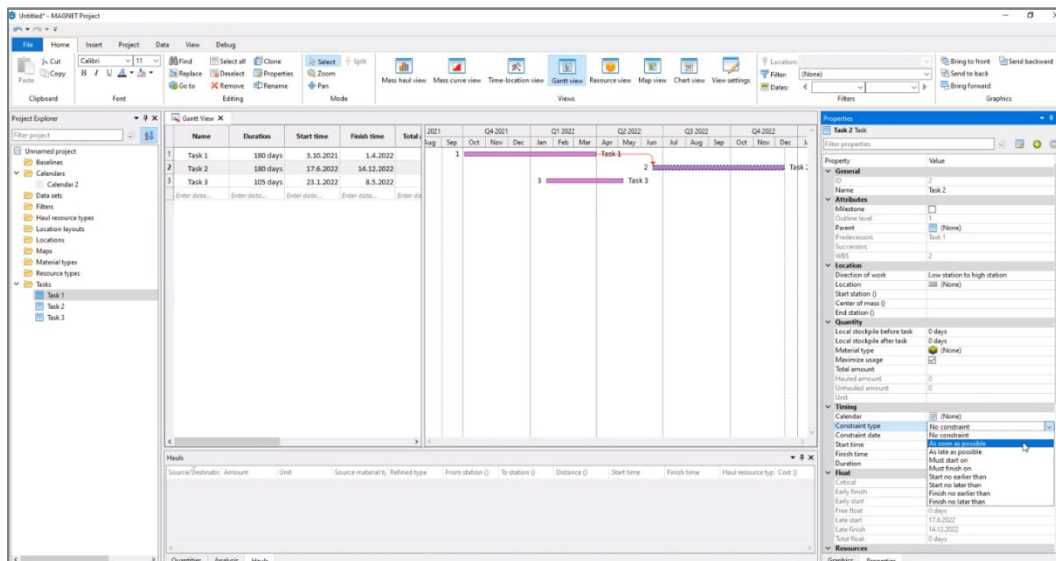


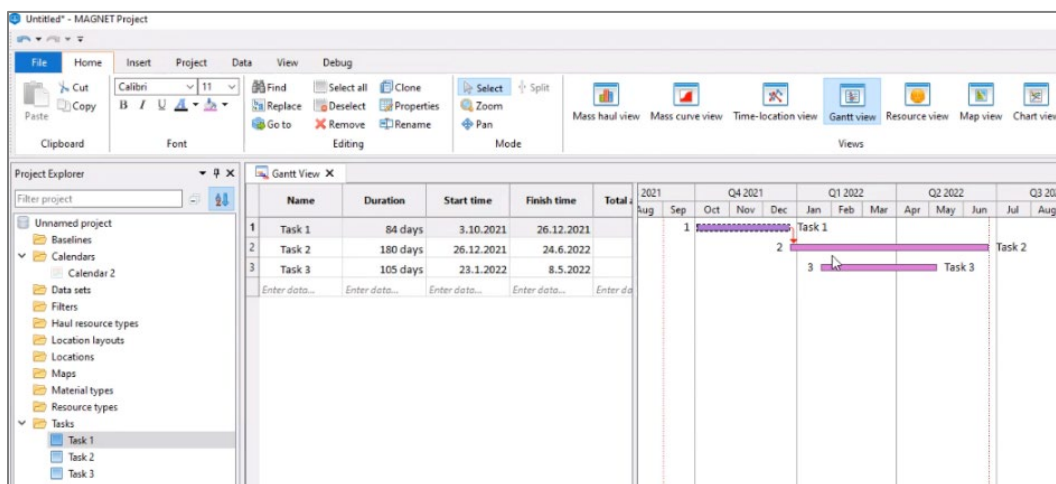
BIM vs projekti ajagraafik

Klassikaline vaade projekti ajagraafiku koostamisele

Projekti ajagraafiku koostamine mistahes ehitusprojektile on väga tavapärase tegevus. Tihtipeale kasutatakse selleks eritarkvarasid nagu *MS Project*, *Oracle Primavera* aga lihtsamatel juhtudel ka *MS Excel* (või analoog). Kõige tüüpilisem ajagraafik esitatakse nn *Gantt* graafikuna, kus erinevad tegevused jooksevad n-ö ülevalt alla, nendel on ajaline kestvus ja järjestatus, kusjuures see järjestatus võib olla dünaamiline, mis lihtsustatult tähendab, et kui üks tegevus, millest järgmine sõltub, saab varem valmis, siis saab ka järgmine tegevus varem alata (ja muidugi ka vastupidi).

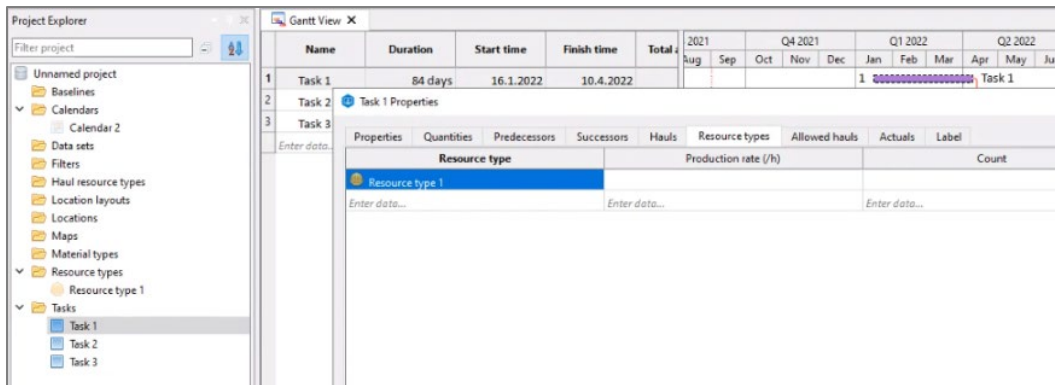


Joonis. Klassikaline vaade ajagraafiku koostamise rakendusele. Tegevused "Task 1", "Task 2", "Task 3" kui erinevad tegevused. "Task 2" saab seade "As soon as possible", mis tähendab, et kohe kui "Task 1" lõpetatakse, saab alustada "Task 2" täitmisega (*Topcon Project*).



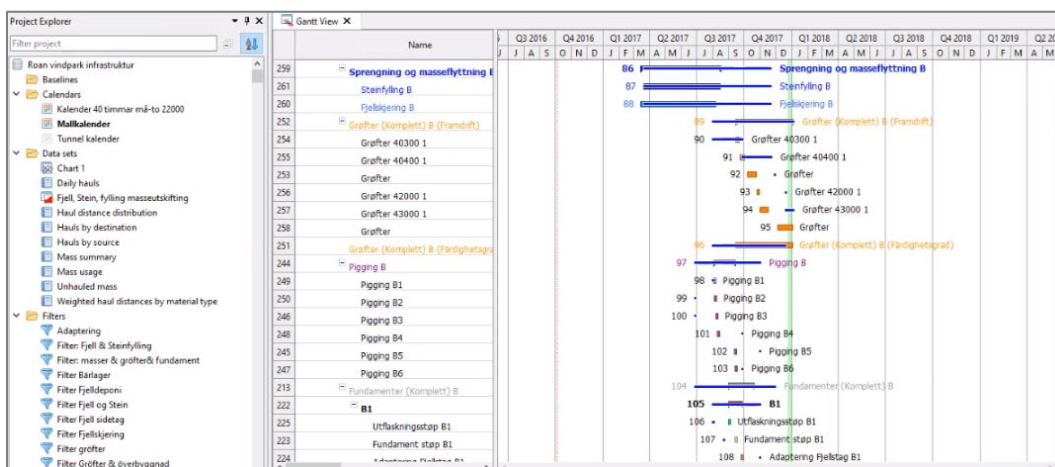
Joonis. Lühendades "Task 1" tegevust, liigub "Task 2" automaatselt ettepoole (*Topcon Project*).

Tüüpilistes ajagraafiku tarkvarades (sh *MS Project*) leiab ka ressurside planeerimise osa, milles saab mistahes tegevusega siduda eelnevalt defineeritud ressurside tüübid ja seeläbi leida tegevuse ajaline kestvus lähtuvalt tagatud ressursist (nt m^3/h , m^2/h jne).



Joonis. Ressursside defineerimine ning sidumine tegevusega (Topcon Project).

Suurematel projektidel võib seega tegevuste arv liikuda tuhandetesse aga see kõik aitab projekti kulgu paremini prognoosida ning vajadusel teha muudatusi enne kui selleks on liiga hilja.



Joonis. Projekti ajagraafiku näide (Topcon Project).

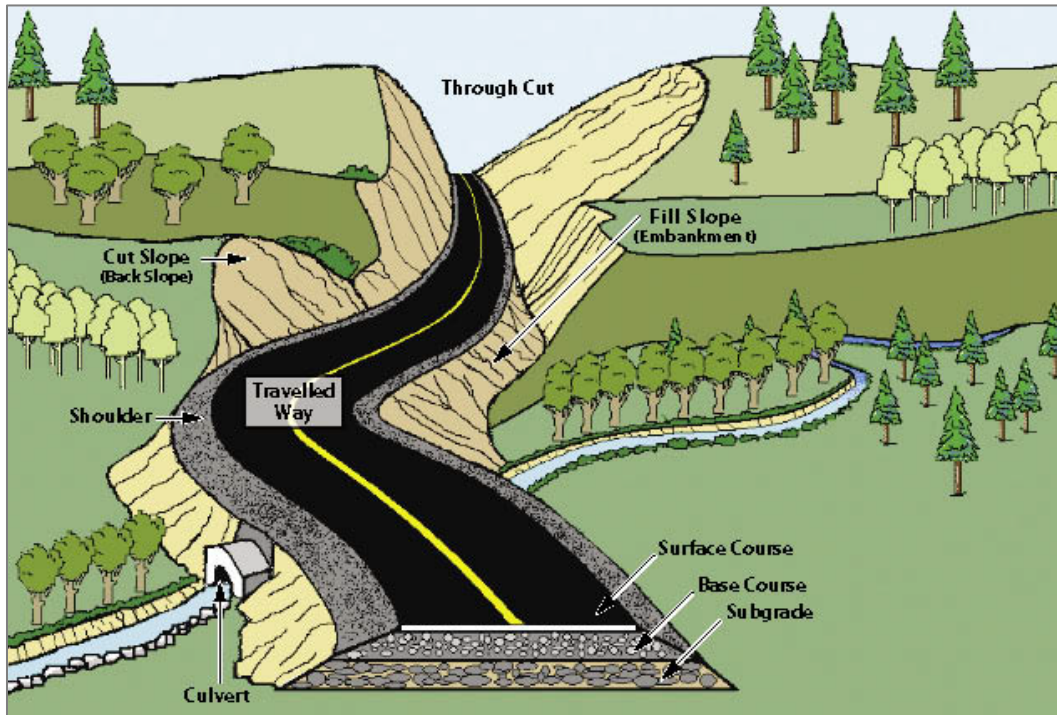
Muidugi võib seejärel projekti kulgu analüüsida läbi erinevate filtrite. See kõik kuulub justkui tavapärase projektijuhtimise alla, milles koostakse projekti ajagraafik lähtuvalt tegevustest, nende omavahelisest sõltuvusest, kalendritest (tööajagraafikud, nt millal mingid ressursid on saadaval), ressursside tüüpidest jne.

Kuidas aga see kõik seostub BIMiga?

Tee-ehitusprojektid on nõ pikad, lineaarsed "ehitusplatsid", kus üksteisest eemal võidakse toimetada erinevate tegevustega aga seejuures informatsiooni kui ka ehitusmaterjale (sh ehitusmahtusid) omavahel "vahetades". Seetõttu tulebki projekti ajagraafikutesse justkui mängu nii ehituse käigus kasutatav ehitusmaterjal (kaeve- ja täitemahud), asukoha info, põhi- ja kõrvalteed kui "ehitusplatsid", olemasolevate kaevemahtude ladustamine (sh ootele jätmine), materjalide ümbertöötusalad (sh sõelumine, tükeldamine, purustamine - nt täiteks kasutamise eesmärgil samal objektil). Selle võib kokku võtta mõistega - mahuveo optimeerimine (ingl *mass haul optimization*) ja selle saab siduda esimeses otsas kirjeldatud projekti ajagraafikuga. Kui nüüd mahuveo optimeerimine toimub lisatud 1:1-le projektijoonise kaasamisega, saame projekti ajagraafiku viia nõ teisele tasemele, kus projekti aeg hakkab ühelt poolt sõltuma palju rohkematest parameetritest, kuid teiselt poolt võimaldab meil efektiivsemalt analüüsida tegelikku projekti kulgu.

Mida tähendab mahuveo optimeerimine?

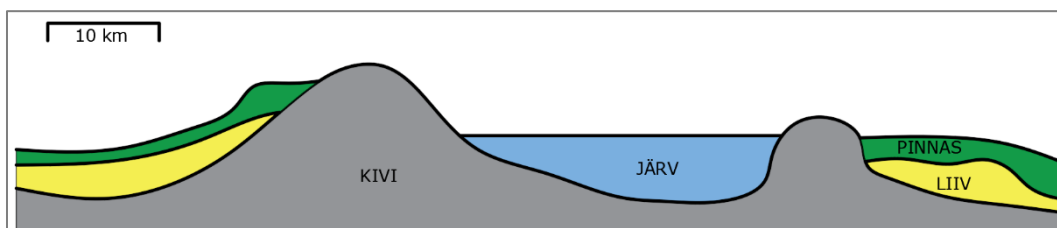
Võtame väga lihtsa näite, milles sõidutee rajatakse asukohta, kus ühelt poolt on vaja nii mahtu eemaldada (kaevemaht, mis kaasab endas erinevaid pinnasekihte) kui seda täiteks juurde tuua (täitemaht). Seejuures tuleb arvesse võtta nii liikumisteedkonda (sh selle pikkust) kui ka seda, kas ehituse kestel saab mahuvedu läbi viia ühtmoodi või takistab seda mõni lisategur (nt pole valminud veel sild/viadukt/tunnel, mis seda võimaldaks teha).



Joonis. Sõidutee nõ komponendid. Allikas: [Keller and Sherar](#) (2003), Low-volume roads engineering, Best management practices field guide, USAID, Virginia Tech.

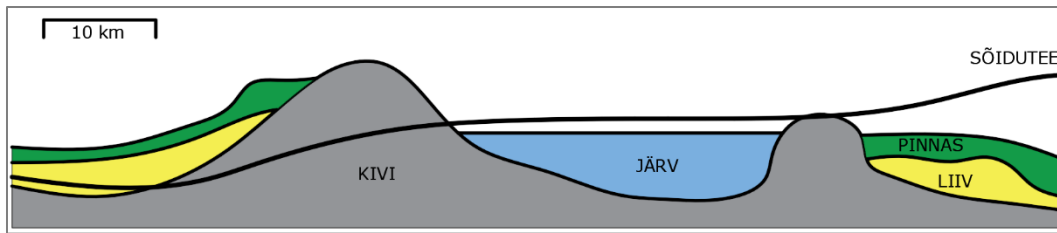
Lisaks tasub tähele panna, et teiselt poolt räägime ka tee-ehitusmaterjalidest, mis üldjuhul tuleb nagunii juurde tuua (konstruktsioonikihid) ja seda ei saa ehitusplatsilt, vaid tuuakse mõnest karjäärist, tehasest jne.

Lihtsustame tee-ehituse näite ning mahuveo optimeerimise ülesande alloleva pildi järgi.



Joonis. Olemasolev maapind, pinnasekihid (lihtsalt näide, nendeks võib olla ka muud pinnasetüübid, kihid, nende järjestus jne).

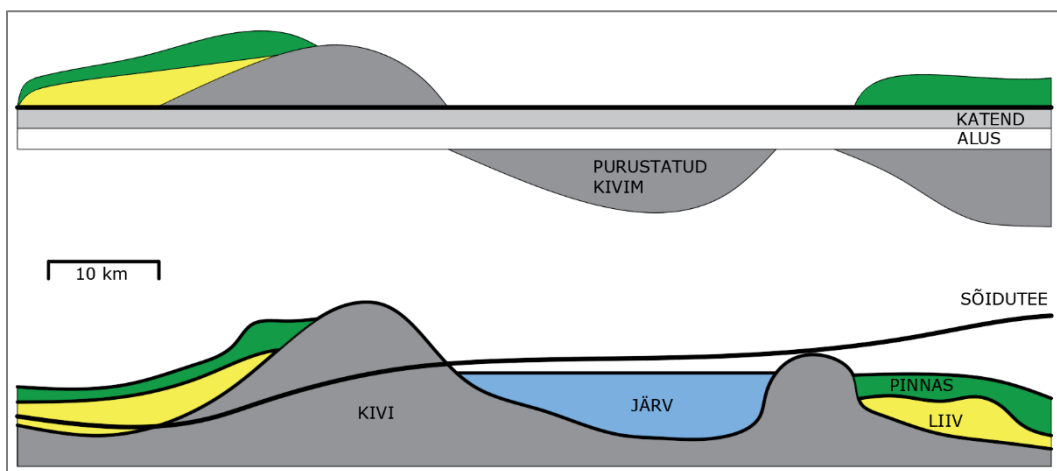
Lisame seejärel planeeritava sõidutee profiili.



Joonis. Olemasolev maapind + planeeritud sõidutee profiil.

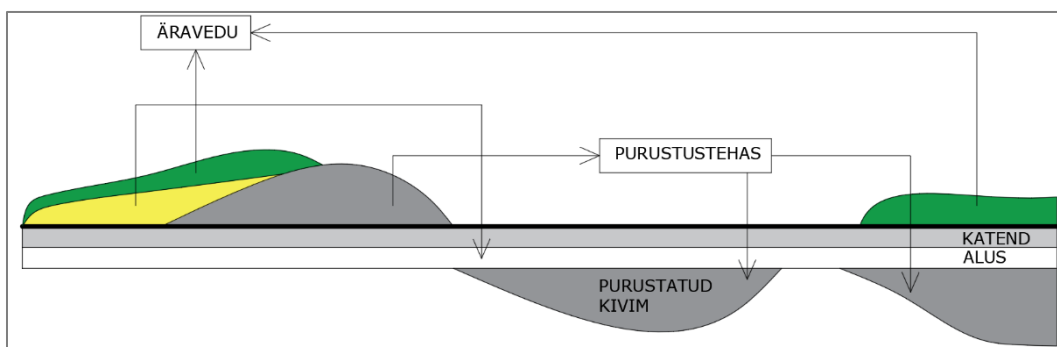
Seega selleks, et antud sõiduteed ehitada, peame osalt eemaldama kivimit, aga ka pinnast, liiva ning teiselt poolt täitma näiteks järve mahu ja paremal pool oleva sõidutee alla jääva osa peale ülemise pinnasekihi eemaldamist, kuna pinnas (antud juhul märgitud roheline värvitooniga) ei ole üldjuhul taaskasutatav. Seda aga saab projekti lähteparameetrina arvesse võtta, mis on selle mittekasutatava pinnasekihi paksus.

Mahuveo diagrammi (ingl *mass haul diagram*) saame kui sisuliselt loome sõidutee suhtes peegelpildi, mis esitab äraveotava mahu, täitemahu aga ka sõidutee konstruktsioonikihid, mille materjal tuuakse väljastpoolt ehitusplatsi (karjäär, asfalditehas jne).



Joonis. Mahuveo diagramm koos sõidutee konstruktsioonikihtidega. Sõiduteetasapinnast üleval pool olevad mahud tuleb ära vedada (sh täitmiseks), ning allpool olevad mahud on esitatud kui täitemahud. Näiteks kivi on kasutusel purustatud kivimina täitematerjalina.

Tasub tähele panna, et sõidutee tasapind joonestatakse mahuveo diagrammil alati sirgjoonena. Järgmine küsimus mis tõstatub, kuidas teostatakse mahtude vedu? Toome lihtsa näite, milles on esitatud ka kivimi purustamiseks vajalik ehitusplats.



Joonis. Mahuveo diagramm. Pealmist pinnasekihti kasutada ei saa, mistõttu see on märgitud kui "äravedu". Samas kivim ning liiv on näiteks taaskasutatav täitena, ehkki kivim tuleb eelnevalt purustada ehitusplatsi läheduses.

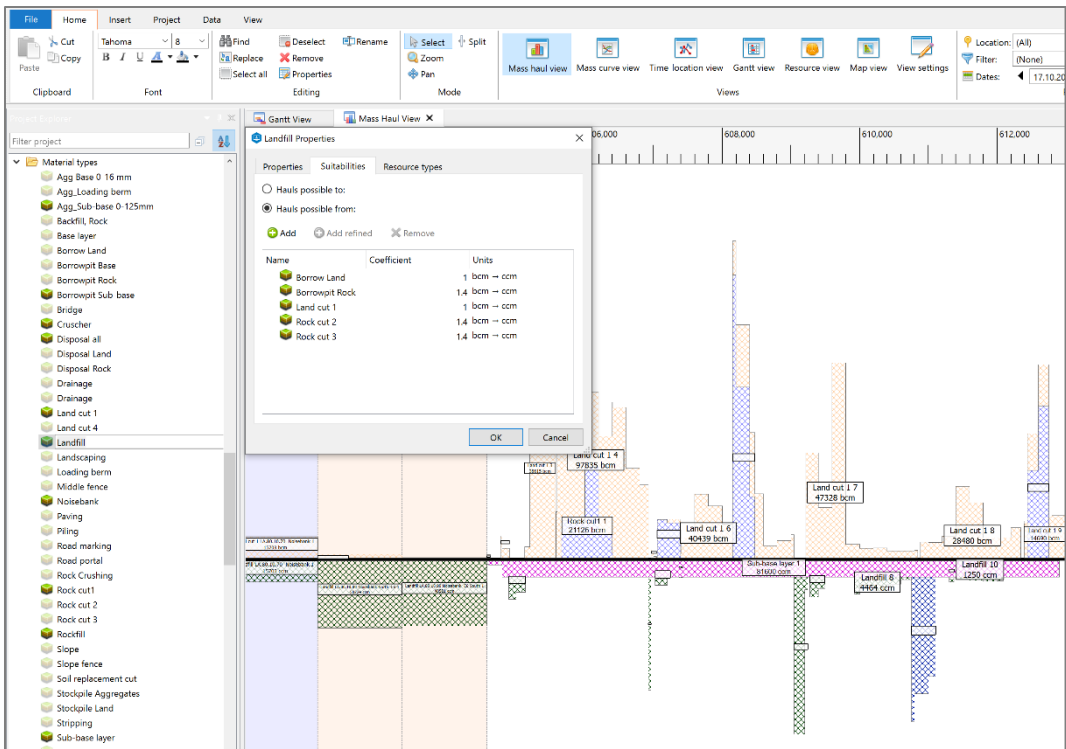
Mahuveo diagrammi juurde võib kuuluda ka ajagraafik, ehkki seda saab luua ka ilma ajagraafikuta. Sellest hoolimata on ülemine näide väga lihtsustatud ning tegelikkuses tuleb meil mahuveo diagrammi koostamisel arvestada veel järgmiste asjaoludega:

- erinevate materjali tüüpide taaskasutus;
- materjalide "paisumise" ja tihendamise faktorid (lähtuvalt kaevest, täitest);
- ajagraafikuga seotud piirangud (nt olemasolevat materjali ei saa enne taaskasutada kui see pole välja kaevatud või ka veel purustatud, sõelutud);
- võimalikud seisakud (nt sillaehitus takistab materjali taaskasutust teises asukohas või näiteks ajutise sõidutee rajamise ootuses);
- ressurssidega seotud piirangud;
- materjalide ladustamine (teisisõnu, materjali ei pruugi kohe saada taaskasutada ja see tuleb ladustada);
- materjalide purustamine.

Kõik selle saab taandada sisuliselt kuluefektiivsusele. Mistahes mahuvedu moodustab väga suure osa tee-ehitusprojekti eelarvest ja seega on asjatu mahtude liigutamine või ebaratsionaalne mahtude liigutamine väga kulukas (aga ka ajamahukas). Seega tasub teha väga hea mahuveo plaan, kuidas seda kõike läbi viia. Vastasel juhul võime väga lihtsasti tekitada ettenägematuid kulusid, mis võivad mängu tulla topelt, kuna algselt on otsustatud, et näiteks materjali pole võimalik kuskil ladustada ja lastakse see ära vedada (nt kogukuluga 300 000 eurot). Seejärel, projekti edenedes on vaja aga täitematerjali juurde, samas seda pole objektilt kuskilt võtta (sest seda ei ladustatud piisavalt). Seega tuleb sisuliselt äraveetud materjal objektile justkui tagasi tuua (oletame taas, et samadel tingimustel on see 300 000 eurot). Seega kokku on projekti lisakulu 600 000 eurot. Omades aga korrektset mahuveo plaani, saab selliseid ülekulusid minimeerida. Projektide kogukulu tähenduses võib üldjuhul hea mahuveo plaan tähendada ca 5% kokkuhoidu (Põhjamaade projektide näitel). Samas kui vastava tarkvara soetamise/koolituse kulu võib ulatuda 10 000 euronit (sõltuvalt litsentside arvust, rendiperioodist ehk projekti pikkusest jne).

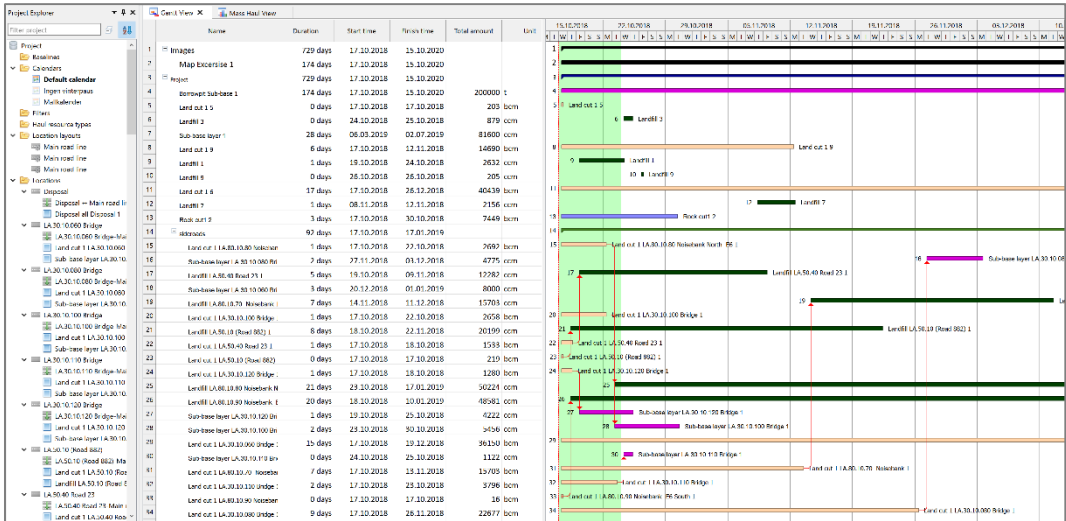
Seega mahuveo optimeerimise tarkvarad töötavad viisil, milles kasutaja sisestab lähteinfo koos kõigi vajalike piirangutega ning tarkvara arvutab seejärel optimaalse mahuveo graafiku/plaani. Optimaalne omab siinkohal kahte mõõdet: (1) minimeeritakse veomahtude kogudistsantsi/kulu (mis on ka üks suuremaid CO2 jalajälje komponente teedehituses) ning (2) äraveetava mahu vajadust.

Vaatame [Topcon Project](#) näitel eelnevalt märgitud mahuveo diagrammi loomise aspekte. Esmalt kuvame lähtuvalt valitud sõiduteest selle erinevad täite- ning kaevemahud vastavalt piketaažile. Neid sõiduteid võib korruga ühes projektis olla mitmeid, sest materjale saab nende vahel vahetada - ühe sõiduteega seotud kaevemahtu saab näiteks taaskasutada teise, ristuva sõidutee täitemahuna.



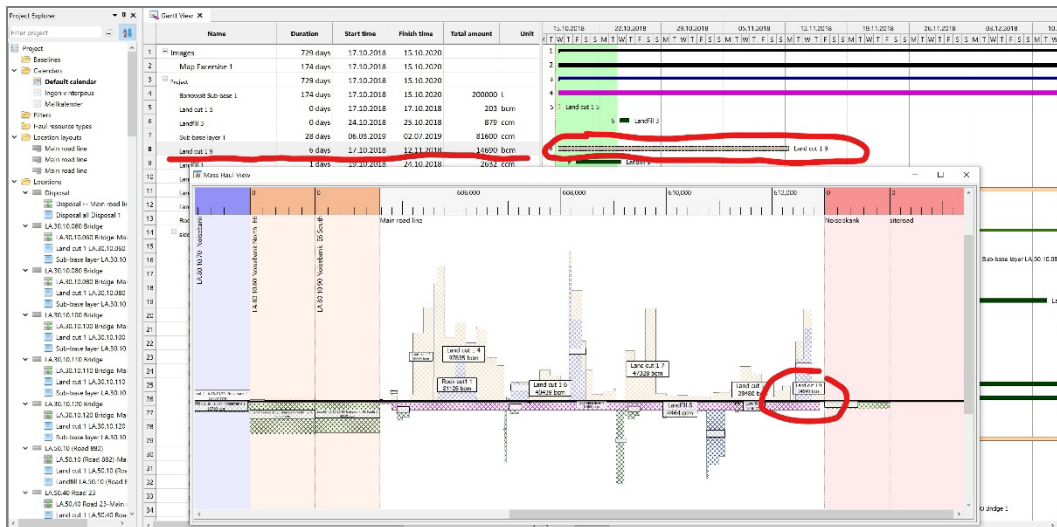
Joonis. Vasakul: erinevad materjalid, mida projektis nõ kaevatakse või kaasatakse täiteks ja nende mahutegurid (kaevel ning täitmisel). Taustal on toodud mahuveo diagramm, milles esitatud kaeve- ja täitemahud vastavalt sõidutee piketaažile (Topcon Project).

Mõistagi saame kuvada ka klassikalise Gantt diagrammi.



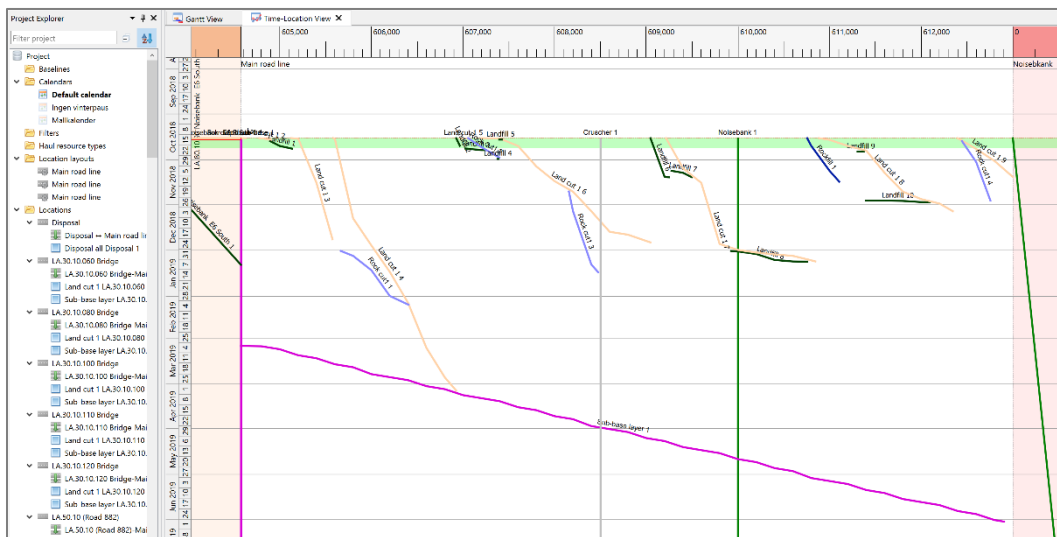
Joonis. Gantt diagramm (Topcon Project).

Kusjuures Gantt diagrammi tegevused on seotud mahuveo diagrammiga.



Joonis. Gantt diagramm vs mahuveo diagramm (Topcon Project).

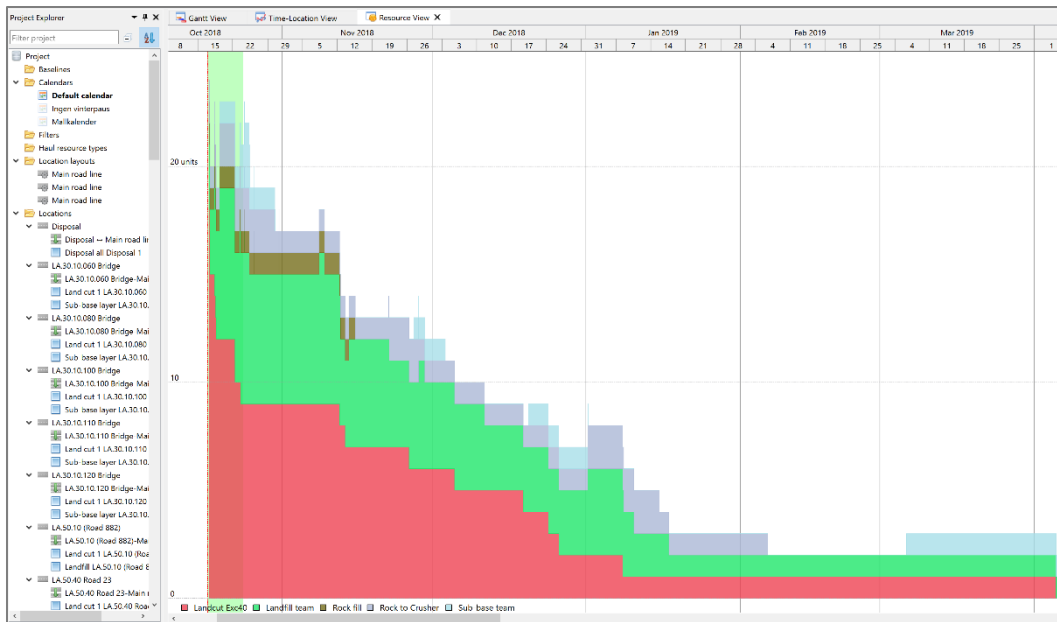
Lisaks saab esitada ka asukohast sõltuvate tegevuste ajagraafiku (ingl *time-location view*).



Joonis. Asukohast sõltuv tegevuste ajagraafik (Topcon Project).

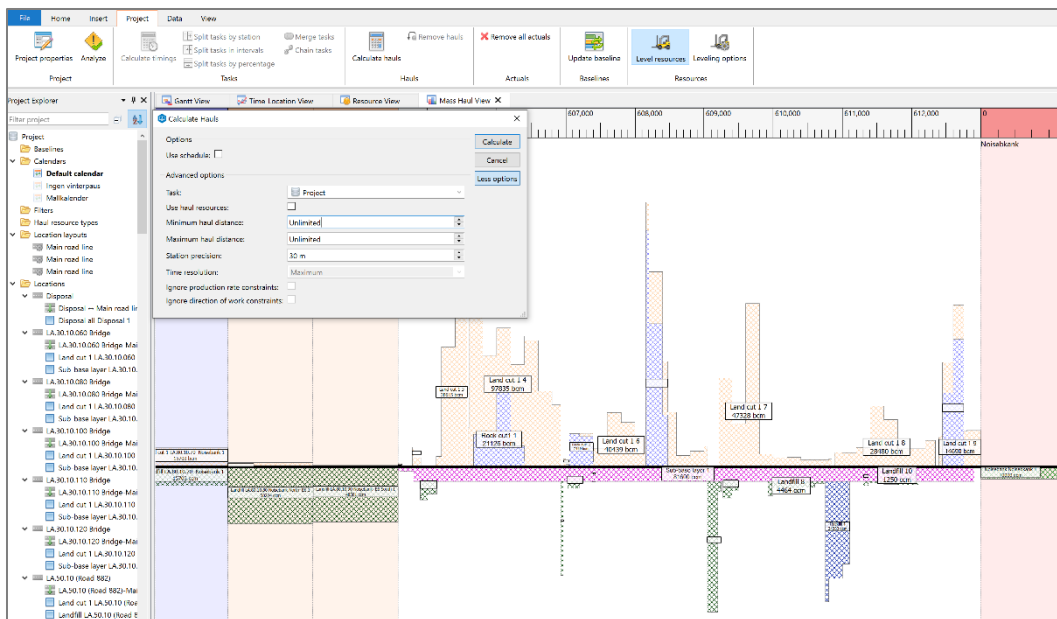
Asukohast sõltuv tegevuste ajagraafik aitab efektiivsemalt planeerida ressursside kasutust ning planeerida tööde järjekorda just nimelt asukohast lähtuvalt, sest tee-ehitusobjektide juures toimuvad erinevad tegevused samaaegselt, kuid erinevates asukohtades. Lisaks saab seeläbi arvesse võtta, kas näiteks mingi seisaku korral on otstarbekas teatud ressursse (teeehitusmasinad) ümber paigutada ja kuidas nende ressursside teisaldamine mõjutab projekti ajagraafikut.

Summaarne ressursside kasutuse vaade võib anda meile aga aimu kui palju ja mis ajaperioodidel teatud ressursse kõige rohkem kasutatakse.



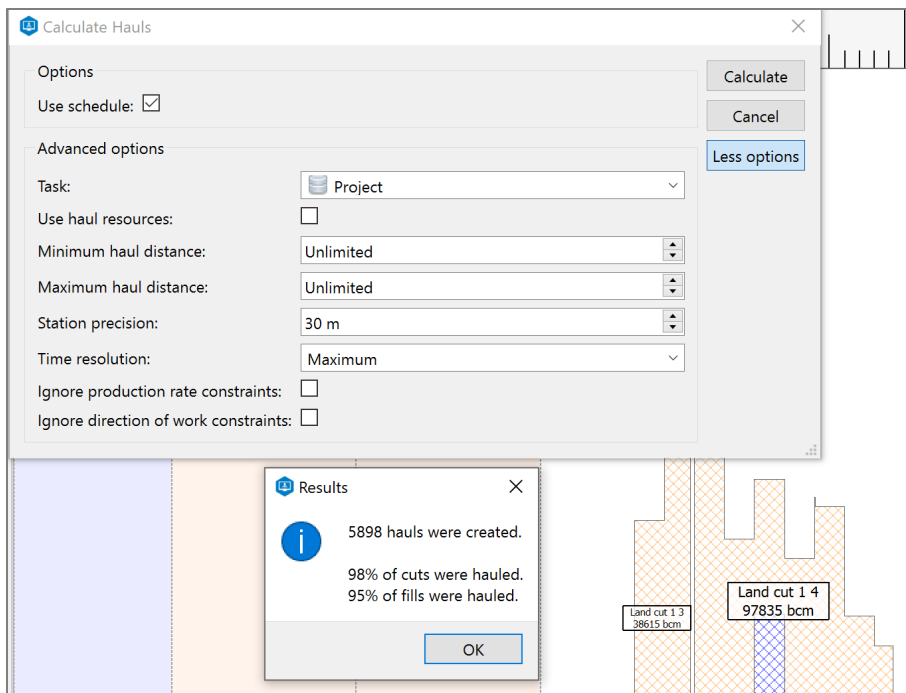
Joonis. Ressursside kasutus (Topcon Project).

Peale kõikide sisendandmete sisestamist saamegi optimeerida mahuveo graafikut.



Joonis. Mahuveo optimeerimise lisaparaameetrid (Topcon Project).

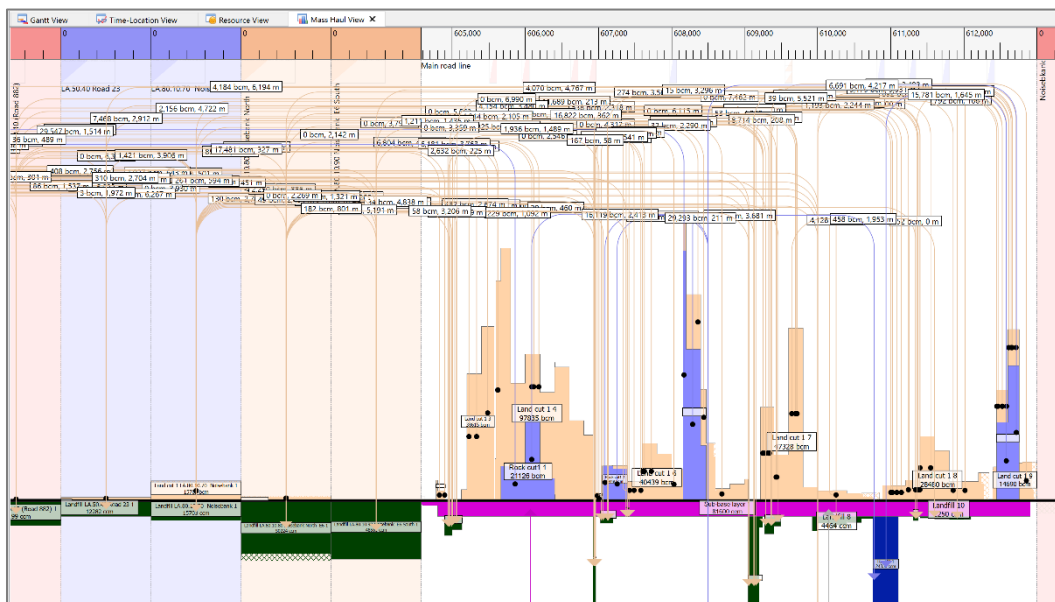
Arvutuse tulemusel kuvatakse, mis mahus on õnnestunud mahuveo diagrammi optimeerida (teisisõnu, mis ulatuses tuleb näiteks teostada täielikku äravedu või siis muuta sisendparaameetreid, et täpsemat tulemust saada - aga samas võib näiteks teatud puhkudel olla otstarbekam naasta ka projekteerimise etapi juurde ja muuta sõidutee profiili, mis mõjutab ka materjalide koguseid).



Joonis. Arvutuse tulemusel on näha, et kokku on leitud ca 6000 erinevat mahuvedu, millest 98% kaevemahtudest on optimeeritud ning 95% täitemahtudest on optimeeritud (*Topcon Project*).

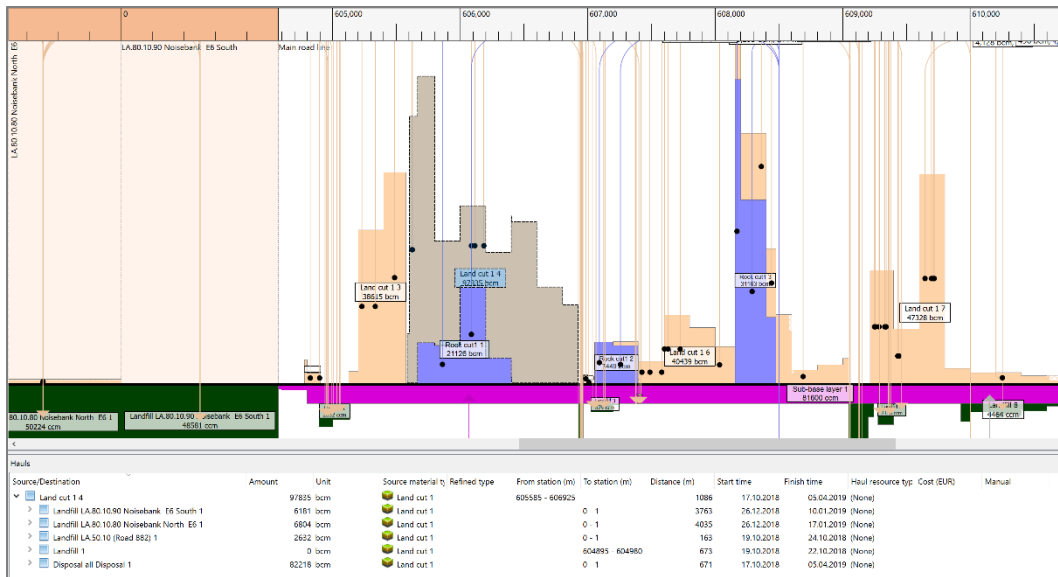
Põhjus, miks need numbrid ei ole 100%, võib olla tingitud erinevatest teguritest, nt arvutussammust, ajagraafiku eripäradest (piirangutest). Seega saame lähteandmete muutmisel teostada uue arvutuse ja leidagi optimaalse lahendi.

Allpool on kuvatud ka kõikide mahuvedude diagramm (kust kuhu on vaja mingi maht viia, et oleks minimeeritud sõiduteekond).



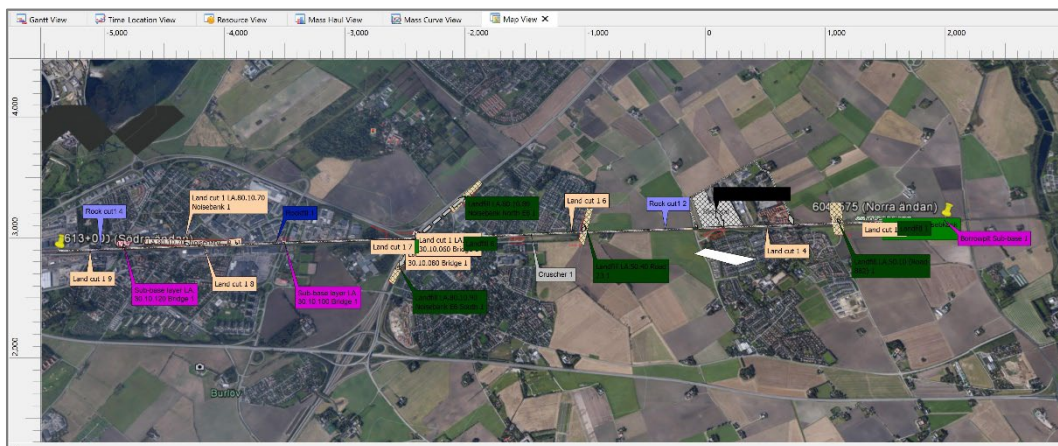
Joonis. Mahuveo optimeeritud graafik. Kui mingi maht on nõ täisvärvitud, siis kogu see maht leiab kasutust (*Topcon Project*).

Olles valinud ühe mahtudest, näeme, mis on selle teekond (kui suur osa ühes asukohas täiteks ja kui suur osa teises asukohas täiteks või taaskasutuseks).



Joonis. Konkreetse mahu valimisel saame kuvada selle kasutuse asukohad koos ajagraafikust tulenevate vahemikega (Topcon Project).

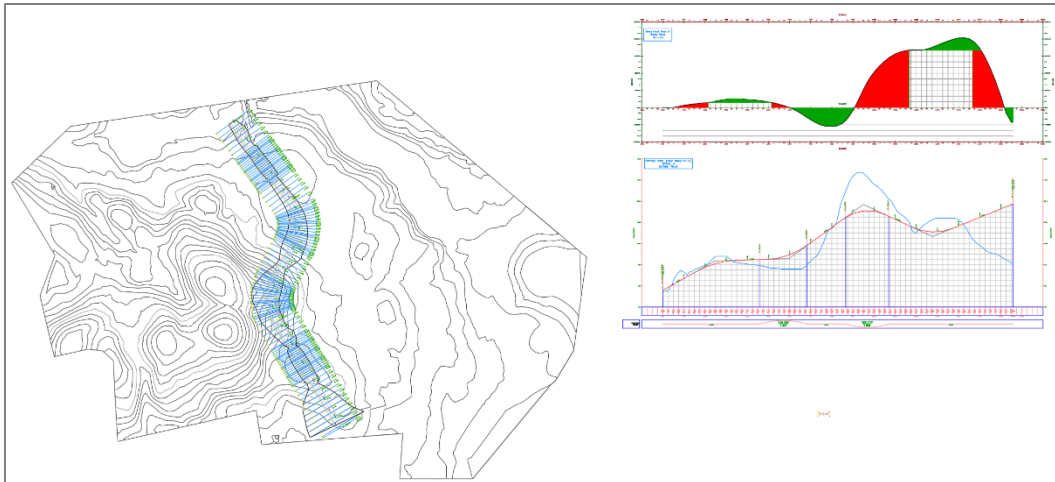
Kaardivaates saame kuvada tööde asukoha nende kontekstis.



Joonis. Kaardi vaade (Topcon Project).

Kokkuvõtvalt

Mahuveo graafiku koostamine algab projektjoonisest ja selle poolt genereeritavast mahuveo graafikust, milles siis materjalide põhine eristus vastavalt sõidutee ristlõike asukohast (piketaažist).



Joonis. Autodesk Civil 3D näidisprojekti (Tutorial) mahuveo graafik.

Mahuveo graafiku teisendus tabelisituseks, mille saab importida mahuveo optimeerimise tarkvaradesse (nt Topcon Project).

Bill of Quantity										
TOTAL	0	0	256086.35	62729.80	29415.04446		0	77600	0	0
Section	Stripping	Land cut	Rock cut	Landfill	Rock fill	Base layer	Sub-base layer	Slope	Landscaping	
m	bcm	bcm	bcm	ccm	ccm	ccm	ccm	ccm	ccm	
604575		100								100
604675										100
604775				0						100
604780		119.92		0.00						100
604790		120.27		0.00						100
604800		115.45		0.00						100
604810		114.02		0.00						100
604820		107.20		0.00						100
604830		94.82		0.00						100
604840		81.93		0.00						100
604850		64.52		0.00						100
604860		39.35		0.00						100
604870		22.51		0.00						100
604880		10.29		0.00						100
604890		2.56		0.00						100
604900		3.16		36.66						100
604910		0.00		75.33						100
604920		0.00		101.31						100
604930		0.00		124.16						100
604940		0.00		142.54						100

Joonis. Mahuveo graafik tabelisitusena.

Sõltuvalt kasutatavatest tarkvaradest võib mahuveo graafikut saada üle kanda ka integreeritult või pistikprogramme kasutades.

Klassikalist ajagraafiku optimeerimist saab infrastruktuuri projektide tähenduses väga palju laiendada. Olgu selleks siis ressursside parem kasutus, asukohast sõltuv optimeerimine või piirangute arvesse võtmine ning bilanssi põhine optimeerimine, et minimeerida mahuvedu ennast. Siin käsitletud mõisted (nt *time-location view*) on kasutusel paljudes teisteski ajagraafiku loomist võimaldavates pakettides (nt *Trimble Tilos*, *Bentley SYNCHRO* jt), mistõttu huvi korral tuleb testida nii nende võimalusi kui ka integreeritavust olemasolevate projekteerimise tarkvaradega.