

Hüdraulilise löögi arvutus ringvõrgus (Bentley HAMMER)

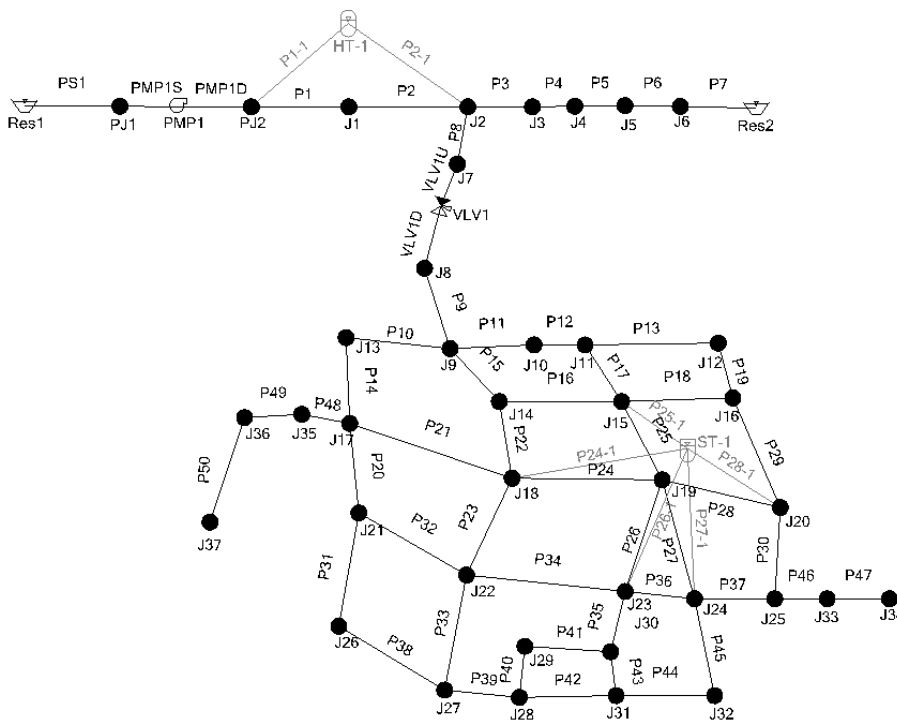
Eelnevalt oled õppinud, kuidas luua ning arvutada üht lihtsat toru mudelit. Samuti peaksid oskama kirjeldada põhikarakteristikuid läbi tarkvara graafilise liideste. Järgnevalt vaatame mudelit, mis on eelnevalt loodud *WaterGEMS* tarkvaras. *HAMMER* võimaldab importida ka *EPANET* mudeleid. Ka seekord viid läbi hüdraulilise löögi arvutused kolmes etapis:

- 1) Impordid statsionaarse *WaterGEMS* mudeli *Bentley HAMMER* tarkvarasse ning kontrollid selle paikapidavust.
- 2) Valid löögi arvutuse skeemi. Viid läbi arvutuse.
- 3) Annoteerid tulemuste kaarti ning profiile ja löögi ajaloo graafikuid tarkvara visualiseerimise töövahendeid kasutades.

Statsionaarse mudeli import ning kontroll

Ava *WaterGEMS* mudel alljärgnevat protseduuri järgides:

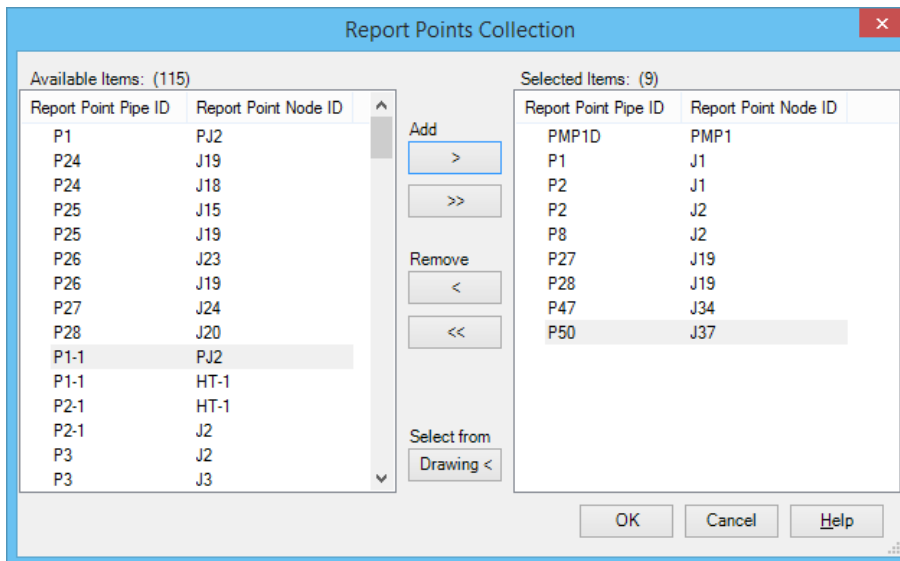
- 1) Riba pealt: *File > Open*. Mine asukohta: *Program Files (x86)/Bentley/HAMMER/Lessons* kataloogi ning ava fail *Lesson2_WaterGEMS.wtg*.
- 2) Kliki *Compute Initial Conditions* nupul. Sulge *User Notifications* dialoog.



Vaadates statsionaarset mudeli arvutuslike väärtusi, näeme, et peaveetoru kannab ligikaudu 210 l/s vett reservuaari *Res2* (kõrgusmärgil 456 m) ning alumisse võrguossa (hargnemine ligikaudu 400 m pumbajaamast) ligikaudu 265 l/s. Pumbajaama läheduses olev lõik on madalamal kõrgusmärgil. Samas lõpuots on jällegi kõrgemal. Eesmärk on leida löögi võimalikud olukorrad ning soovitada kaitseseadmete valik.

- 3) Enne kui käivitada arvutuse, pead määrama profiilid ning huvipakkuvad punktid.

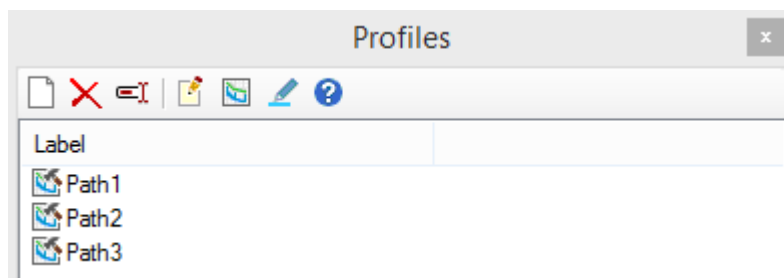
- 4) Vali: *Analysis > Calculation Options*. Tee topelt klikk *Transient Solver > Base Calculation Options* real. Kliki rea *Report Points Collection* lõpus oleval (...) ikoonil. Lisa sõlmed **PMP1D:PMP1**, **P1:J1**, **P2:J1**, **P2:J2**, **P8:J2**, **P27:J19**, **P28:J19**, **P47:J34** ning **P50:J37** nimekirja *Selected Items* (seda õppisid sa tegema ka eelmises harjutustunnis).



Kliki OK.

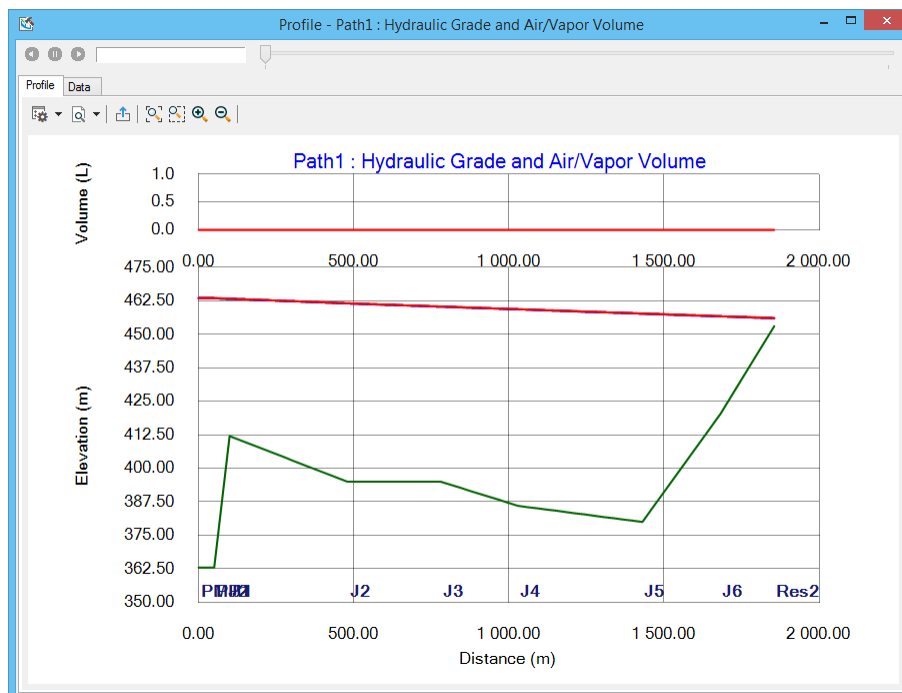
Märkus: Bentley HAMMER teeb löögi ajaloo graafikud toru otsa punktides, mis on määratud kõige lähemal oleva toru otspunktiga ning tähistatakse kui *Toru_Ots_Punkt:Sõlm*. Selleks, et saaksid täieliku ülevaate, mis valitud sõlmes toimub, pead uurima igat ühenduspunkti, mis sellest sõlmest lähtub (näiteks selle näite juures *P1:J1* ning *P2:J1* sõlme *J1* jaoks).

- 5) Muuda parameeter *Run Duration* = **160** sekundit. Sulge aken *Calculation Options*.
- 6) Riba pealt: *View > Profiles*.
- 7) Loo kolm uut profiili:
 1. Loo profiil nimega *Path1* ning lisa torud: **PMP1D**, **P1**, **P2**, **P3**, **P4**, **P5**, **P6** ning **P7**.
 2. Loo profiil nimega *Path2* ning lisa torud: **PMP1D**, **P1**, **P2**, **P8**, **VLV1U**, **VLV1D**, **P9**, **P10**, **P14**, **P48**, **P49** ning **P50**.
 3. Loo profiil nimega *Path3* ning lisa torud: **PMP1D**, **P1**, **P2**, **P8**, **VLV1U**, **VLV1D**, **P9**, **P15**, **P22**, **P24**, **P28**, **P30**, **P46** ning **P47**.



- 8) Sulge *Profiles* aken.
- 9) Kliki *Compute Initial Conditions* nupul. Sulge *Calculation Summary*.
- 10) Kliki nupul *Compute*. Sulge *Transient Calculation Summary* aken.

- 11) Kliki riba pealt: *Analysis > Transient Results Viewer*. Prindi graafikud maksimaalsete/minimaalsete löögilainete väärtuste kohta kõikide radade *Path1*, *Path2* ning *Path3* kohta. Raja *Path1* omad peaksid välja nägema alljärgneva pildi kohaselt:



- 12) Kliki paanil *Time Histories* ning vali *Time History > PMP1D:PMP1*, vali *Graph Type > Hydraulic Grade and Flow* ning kliki nupul *Plot*, et genereerida hüdraulilise löögi ajalugu kirjeldav graafik pumbajaama juures. Statsionaarses režiimis ei tohiks olla märgatavaid muutusi ajas.

Tulemused, mida *Bentley HAMMER* esitab, ei näita statsionaarses režiimis erinevusi rõhus ega ka vooluhulgas aja möödudes. Sellest võib järeldada, et algsed ääretingimused on kehtivad. Võid nüüd edasi minna ning jätkata hüdraulilise löögi analüüse võrgus.

Juhul kui tulemus statsionaarses režiimis on väga hüplev, võib tarkvara tulemuste failis (*.out) esitada lööki ajahetkel null. Selles saab tavaliselt üle, kui statsionaarne mudel käivitada uuesti ning kasutada väiksemaid veapiire.

Hüdraulilise löögi sündmuse valik mudelisse

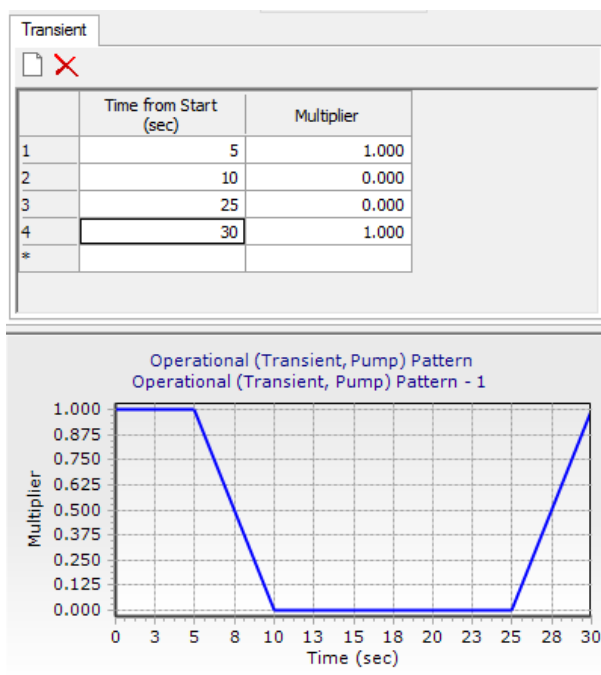
Eelmises harjutustunnis käsitleti lööki, mis tekkis äkilise elektrikatkestuse tagajärjel. Selles tunnis õpid sa simuleerima lööki, mis tuleneb pumba seiskumisest ning taaskäivitumisest. Ehkki elektrikatkestus on tavaliselt kõige hullem stsenaarium võib ette tulla olukordi, kus enneaegne pumba käivitamine (löögienergia pole toru hõõrde tagajärjel sumbunud) võib põhjustada suuremaid surveid, kui esialgne elektrikatkestus.

Hüdraulilise löögi analüüs

Selleks, et genereerida löögi sündmust pumba kiire seiskumise ning käivitamise tagajärjel, pead sa määrama vajalikud pumba karakteristikud, mis määravad pumba kiirused, millal see seiskub ning taaskäivitub. Üheks võimaluseks on seda teha läbi pöörete-arvu reguleerimist võimaldava pumba.

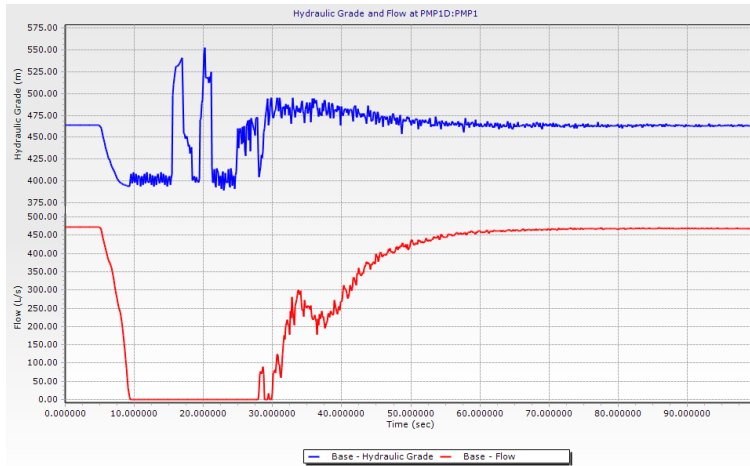
Analüüs kaitsesüsteemideta

- 1) Tee topelt-klikk elemendil *PMP1*. Aknas *Properties Editor*, seksioon *Transient (Operational)*, muuda parameetrit *Pump Type (Transient) = Variable Speed/Torque*.
- 2) Sa saad kasutada kas parameetrit *Speed* (pöörete arv) või *Torque* (võimsus), et määrata pumba töögraafik. Selles õppetunnis vaatame pumba seadistust *Speed* parameetri näitel.
- 3) Sektsioonis *Transient (Operational)*, kliki *Operating Rule* hüpikmenüül ning vali *<Edit...>*. Avatakse dialoog *Patterns*.
- 4) Vali kataloog *Operational (Transient, Pump)* ning kliki *New* nupul. Paanil *Pattern* (dialoogi paremas osas), kliki *New* nupul ning lisa uus rida graafiku tabelisse. Sisesta väärtus *Multiplier = 1* ning *Time from Start = 5.0*. Lisa ka teised tabeli read järgneva joonise kohaselt ning võid seejärel klõpsata nupul *Close*, et dialoog sulgeda.

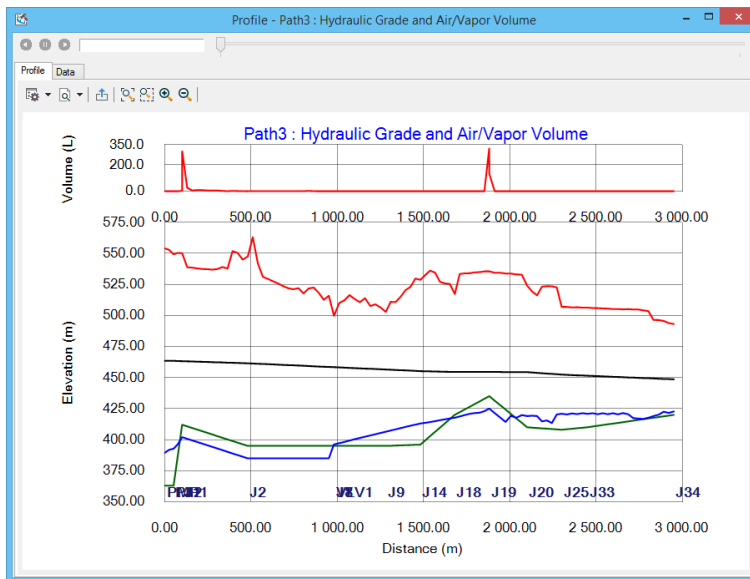


- 5) Sektsioonis *Transient (Operational)* kliki nimekirjal *Operating Rule* ning vali *Operational (Transient, Pump) – Pattern 1*.
- 6) Riba pealt: *Analysis > Options*. Muuda tabeli väärtust *Generate Animation Data = True*. Sul läheb hiljem vaja animatsioonis andmestikku, kui soovid tulemusi ekraanil animeerida. Sulge *Calculation Options* aken.
- 7) Kliki nupul *Compute*. Sulge dialoogid *Transient Calculation Summary* ning *User Notifications*.
- 8) Kliki riba pealt: *Analysis > Transient Results Viewer*.
- 9) Vali punkt *PMP1D:PMP1* ning *Graph Type > Hydraulic Grade and Flow* (see on pumba survepoolne punkt). See peaks välja tulema alljärgneva pildi kohaselt ning sellest võib järeldada järgmist:
 - Peal pumba äkilist seiskumist, kukuvad rõhk ning voluhulk järsult, sellele järgneb kiire rõhu kasv (umbes 15 s), peale voluhulga naasmist pumbajaama, mille tõttu õhukotid trassi kõrgpunktides varisevad kokku. Pumba ees olev tagasilöögi klapp hoiab pumba survepoolel voluhulga nullina nii esimese kui kõigi järgnevate rõhu kõikumiste jooksul (kuniks pumba taaskäivitumiseni).

- Maksimaalne löögi surve, mis tekib pumba taaskäivitamisel, ei ületa maksimaalset survet, mis tekib umbes 10 sekundit peale esialgset elektrikatkestust. Seda seetõttu, et pumba poolt antav vooluhulk ei lase õhukottidel taastekkida, mis saaksid seejärel kokku variseda.
- Süsteem jõuab uue stabiilse olekuni peale 50 sekundit ning on enam-vähem täielikult stabiliseerunud uuele stabiilsele olekule 90 sekundi pärast.
- Nii nagu eeldatud, lõplik stabiilne režiim on sarnane algsele stabiilsele režiimile.



10) Loo ka maksimaalsete ning minimaalsete survejoonte graafikud kõikide radade (*Path1*, *Path2*, *Path3*) jaoks. Raja *Path3* juures peaks see välja nägema alloleva pildi kohane:



Neilt pildidelt saame teha järgmised tähelepanekud:

- Pea poole toru pikkuse osas ilmnevad rõhud, mis jäävad allapoole õhurõhust. Täielik vaakumi rõhk (-10 m) ilmneb torustiku põlvel (pumbajaama läheduses) ning võrgu kohalikus kõrgemas punktis.
- Maksimaalsed löögi surved on ligikaudu 100% stabiilse režiimis olevatest suuremad (pea kogu raja *Path3* ulatuses). Tegemist on üsna märkimisväärse tulemusega, kui arvestada torude survetugevusklassi piirväärtust, eriti kui tegemist on vanemate torudega. Mõistlik oleks

graafikul näidata torustiku töö- ning tugevusklassi piirkonda, mille põhjal on lihtne teha kokkuvõtteid, kas toru kannatab need kõrged rõhud välja.

11) Eksperimenteeri süsteemi tundlikkusega, võttes arvesse pumba automaatset töökatkestust ning taaskäivitumist:

- Vali pumbale erinevad töögraafikud. Näiteks proovi 10 sekundilist töögraafikut. Kui kiiresti vooluhulk kahaneb nulli? Miks?
- Vali erinevad ajavahemikke pumba seiskumisele ning taaskäivitumisele. Mis juhtub, kui sa üritad käivitada pumba hetkel, kui rõhk on minimaalne, kasvav või kõrgeim?

12) Määra kõige kiirem pumba töögraafik ning väikseim seisakuaeg, mis ei põhjusta liiga suuri löögist tingitud rõhkusid mistahes süsteemi punktis. Kuna maksimaalsed löögi jooned sõltuvad neist kahest väärtusest, võib esineda ka mitmeid lahendeid. Sa võid dokumenteerida oma lahendi tööeeskirja näol, mis talletatakse pumba jaamas ning kontrollid selle täpsust jooksvalt.

Märkus: Auru või õhu maht, mis esitatakse sõlme kohta, on summaarne väärtus, mis kogutakse kokku igast sõlme ühenduspunktist. Kuna toru võib omada mahtusid ka mujal, kui selle otspunktides, ei pruugi toru mahud ühtida sõlme omadega. Juhul, kui sõlmega on ühendatud kahest torust enam torusid, siis ei pruugi maht, mis esitatakse rajajoonel kattuda mahuga, mida näidatakse sõlme ajaloos või *Drawing Pane* aknas, kuna üks rada saab omada vaid kahte toru, mis on ühendatud vastava sõlmega.

13) Tulemused näitavad, et süsteemis ilmnevad märgatavad rõhud. Peale animatsioonide läbivaatamist, selgub et:

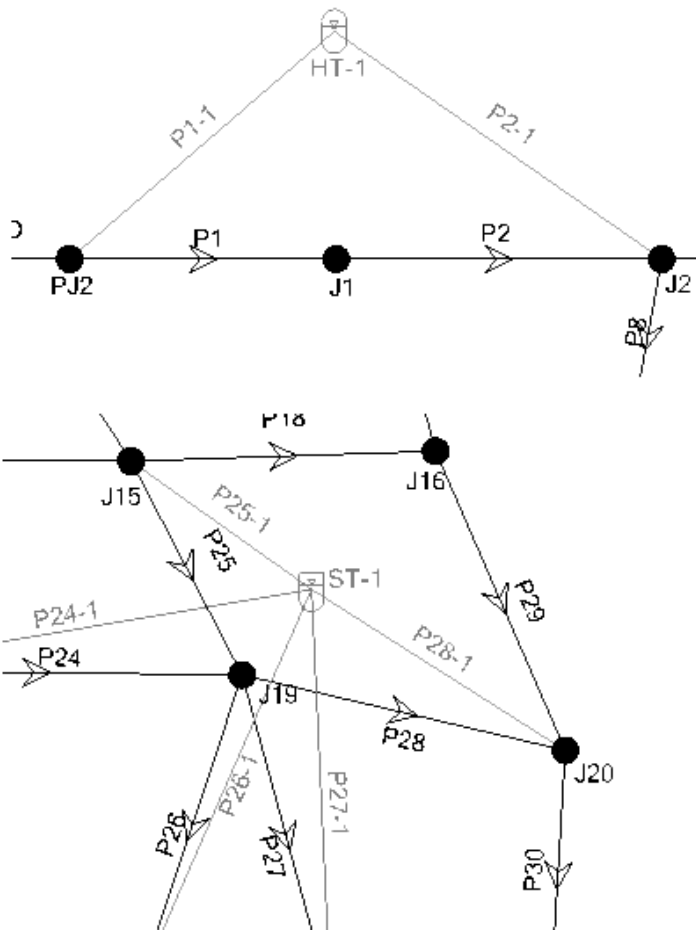
- Kõrged rõhud tekivad märgatavate aurukotikeste kokku varisemisel lokaalsetes torustiku kõrgemates punktides. Vaadates punktide *P2:J1* ning *P27:J19* ajalugu, leiab kinnitust tõsiasi, et aurukotikesed varisevad kokku just neil hetkedel.
- Pump taaskäivitub 25 või 20 sekundit peale seiskumise algust ning samal hetkel jõuab ka suurem rõhulaine õhukotikese kokku varisemise tõttu sõlmest *J1* pumbajaama. See rõhulaine sulgeb pumba tagasilöögi klapi mõneks ajaks, kuniks see jõuab oma koguvõimsuseni ja täispööreteni umbes 30ndal sekundil.
- Löögi rõhulained liiguvad üle terve süsteemi, peegeldudes reservuaaridest, tupikutest ning mahutitest. Tulemuseks on keerukas, kui põhimõtteliselt perioodiline häiritus pumbale, kui viimane üritab saavutada statsionaarset režiimi.
- Nii nagu ka eeldatud, lõplik statsionaarne survekõrgus ning vooluhulk on sarnased esialgsele statsionaarsele režiimile.

Analüüs surve kaitseadmetega

Sul on võimalik valida terve rea kaitseadmete vahel, mis kontrollivad kõrgeid ja madalaid löögist tingitud rõhkusid peamagistraalil (*Path1*) ning jaotusvõrgus (*Path2* ja *Path3*). Bentley HAMMER võimaldab efektiivselt valida alternatiivseid kaitseadmeid, et vaadata, kuidas mingi seade mõjutab torustikus olevaid rõhkusid. Selles näites püüad sa kaitsta tervet süsteemi kahe surve-kontrolli seadeldisega:

- *Hydropneumatic Tank* sõlmes *J1*, mis on sarnane sellele, mida kasutasid eelmises harjutustunnis.
- Lihtne vooluhulka läbi laskev surve mahuti või väljalasketoru sõlmes *J19*. Kombineeritud õhuväljalaske klapp võiks samuti tulla kõne alla, kui külmumine või maaomanduse maksumus pole probleemiks.

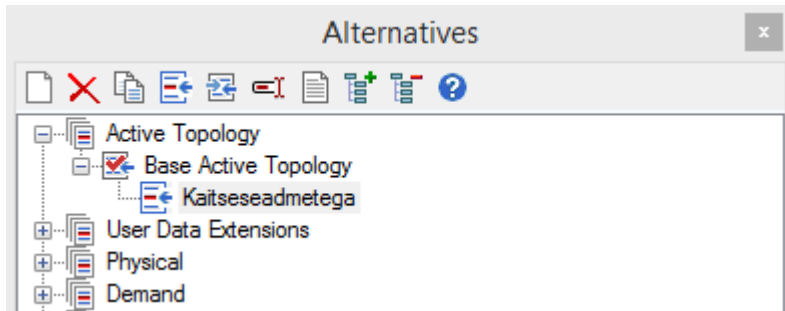
Mudel on juba eelnevalt seadistatud, kus kaitseadmed on lisatud läbi *Active Topology* alternatiivi. Joonisel, pane tähele halle torusid ning sõlmesid, mis külgnevad sõlmede *J1* ning *J19* piirkondadega.



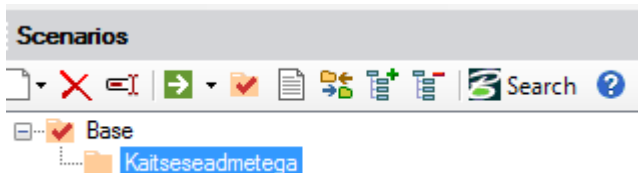
Active Topology on viis modelleerida mitu erinevat võrgu skeemi ühes ja samas mudelis. Sa saad markeerida elemente mitte aktiivseteks teatud stsenaariumite jaoks aga teiste stsenaariumite jaoks aktiivseteks.

Me loome uue *Active Topology* alternatiivi, milles on uus *Hydropneumatic Tank* ning *Surge Tank* (ning nendega külgnevad torud) aktiivsed ning elemendid, mis neid asendavad (*J1* ning *J19* ja nendega külgnevad torud) mitte aktiivsed.

- 1) Kliki riba pealt: *Analysis > Alternatives*.
- 2) *Alternatives* aknas, laienda *Active Topology* rida, tee parem klikk *Base Active Topology* peal ning vali *New > Child Alternative*. Nimeta see uus alternatiiv ümber kui **Kaitseseadmetega**.



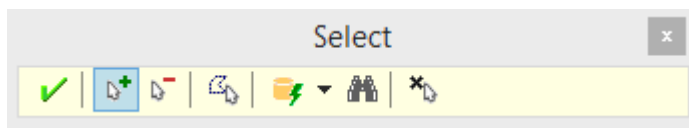
- 3) Sulge dialog *Alternatives*. Kliki: *Analysis*, vali *Scenarios*. Kliki nupul *New* ning vali *Child Scenario*. Nimeta see ümber kui **Kaitseseadmetega**.



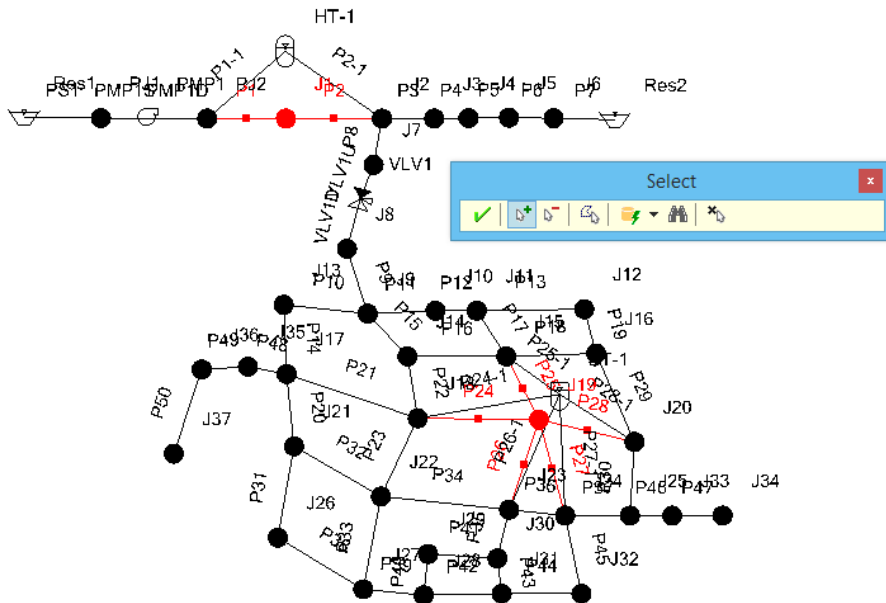
- 4) Tee topelt klikk stsenaariumil ning *Properties* aknas muuda ära *Active Topology Alternative > Kaitseseadmetega*. Dialogis *Scenarios*, veendu, et *Kaitseseadmetega* rida oleks valitud ning kliki nupul *Make Current*.

Nüüd, kus stsenaarium on endiselt aktiivne, teostatakse mistahes *active topology* seadete muudatused just stsenaariumi *Kaitseseadmetega* all (ja vastava alternatiivi all).

- 5) Riba pealt: *Tools > Active Topology Selection*. Kuvatakse nupupaan *Active Topology Selection*.



- 6) Nupp *Add* teeb elemendi mitte aktiivseks.
- 7) Nupp *Remove* teeb elemendid aktiivseteks.
- 8) Vali nupp *Add* ning kliki järgmistel elementidel, et teha need mitteaktiivseteks: *J1* ja *J19*.
- 9) Kliki nupul *Remove* ning kliki järgmistel elementidel, et teha need aktiivseteks: *P1-1*, *HT-1*, *P2-1*, *ST-1*, *P25-1*, *P24-1*, *P26-1*, *P27-1* ja *P28-1*.
- 10) Võrk peaks nüüd välja nägema alljärgnev:



11) Kliki nupul *Done* (nupuribal *Active Topology Selection*).

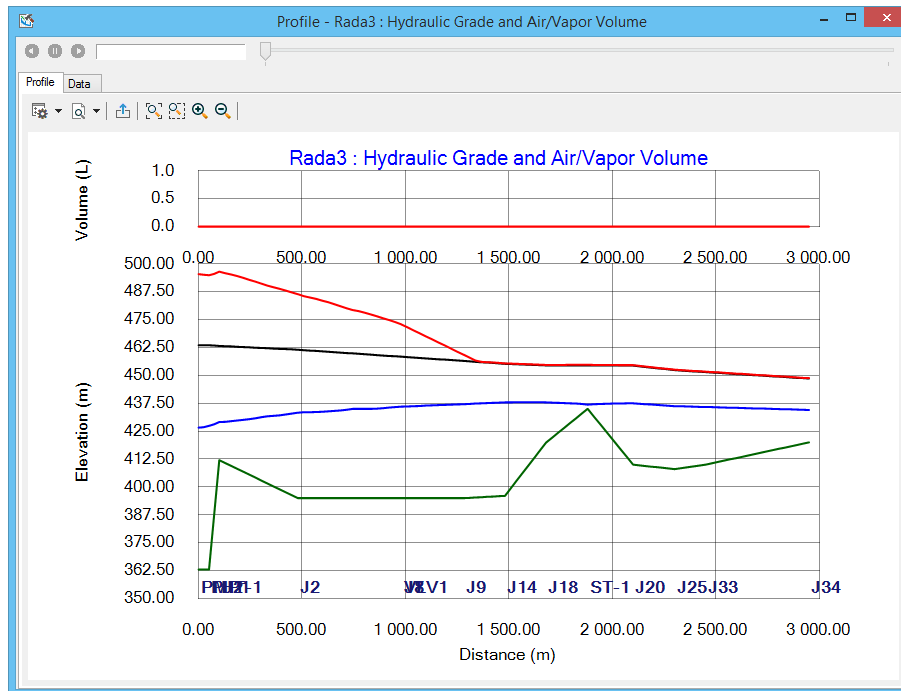
12) Kuna me kasutame erinevaid elemente, peame uuendama ka punktide nimekirja ning rajajooni (profile).

- *Real Report Points Collection* , eemalda punktid *P1:J1* ning *P2:J1* nimekirjast *Selected Items*. Lisa punktid *P1-1:HT-1* ja *P2-1:HT-1*.
- Kustuta kõik kolm profiili. Loo uued profiilid:
 - Loo profiil nimetusega *Rada1* ning lisa torud: *PMP1D*, *P1*, *P2-1*, *P3*, *P4*, *P5*, *P6* ja *P7*.
 - Loo profiil nimetusega *Rada2* ning lisa torud: *PMP1D*, *P1-1*, *P2-1*, *P8*, *VLV1U*, *VLV1D*, *P9*, *P10*, *P14*, *P48*, *P49* ning *P50*.
 - Loo profiil nimetusega *Rada3* ning lisa torud: *PMP1D*, *P1-1*, *P2-1*, *P8*, *VLV1U*, *VLV1D*, *P9*, *P15*, *P22*, *P24-1*, *P28-1*, *P30*, *P46* ning *P47*.
 - Sulge *Profiles* dialoog.

13) Kliki nupul *Compute Initial Conditions*. Sulge dialoog *Calculations Summary*.

14) Kliki nupul *Compute*. Sulge dialoogid *Transient Calculation Summary* ning *User Notifications*.

15) Peale analüüsi lõppu vali: *Analysis > Transient Results Viewer*. Kasuta *Profile* nuppu, et luua graafikud löögi surve joontele radadel *Rada1*, *Rada2* ja *Rada3*. Vastav graafik peaks *Rada3* juures välja nägema alljärgneva pildi kohane:



- Mitte üheski torustiku punktis ei esine õhurõhust madalamaid rõhkusid (piki *Rada3*).
- Maksimaalsed löögi rõhud on torustiku teises pooles enam vähem võrdväärset statsionaarses olekus olevatega (*Rada3*). Hoides löögist tingitud rõhkusid väiksemates vahemikes vähendatakse kaebuste hulka ning see võib olla väga oluline teatavatele tööstustele.

16) Võrdle surve graafikuid erinevate parameetrite korral (ühes kaitseseadmetega ning ilma):

- Võimalik, et võid vähendada mahuti (*Hydropneumatic Tank* ning *Surge Tank*) suurust ning ühes sellega ka selle maksumust, kuniks oled leidnud sobivate parameetritega kaitseseadme, mis hoiab löögi rõhkusid lubatavas vahemikus.
- Võid proovida *Hydropneumatic Tank* ning *Surge Tank* asemel kasutada ka kahe-süsteemset või kombineeritud *Air Valve* (õhuväljalaske klapp) sõlmedes *J1* ning *J19*.

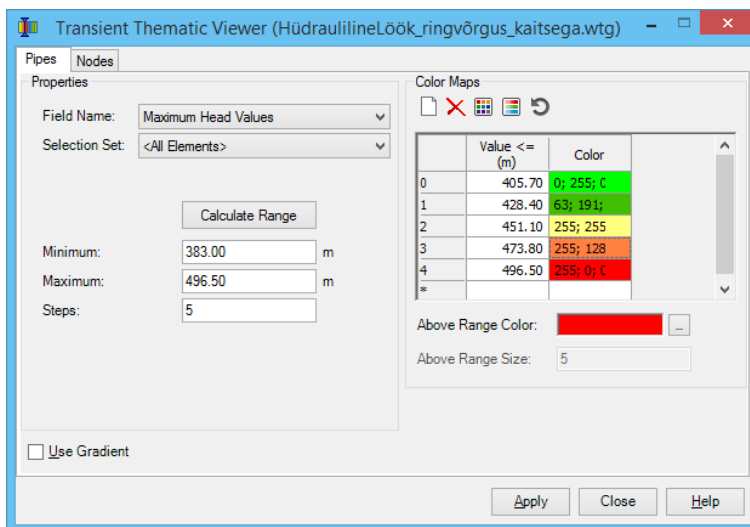
17) Enne kaitseseadmete lõpliku soovitamist peaksid sa teostama ka teiste võimalike löögi põhjuste analüüsi.

Värvi-kaardid, profiilid ning punktide ajalood

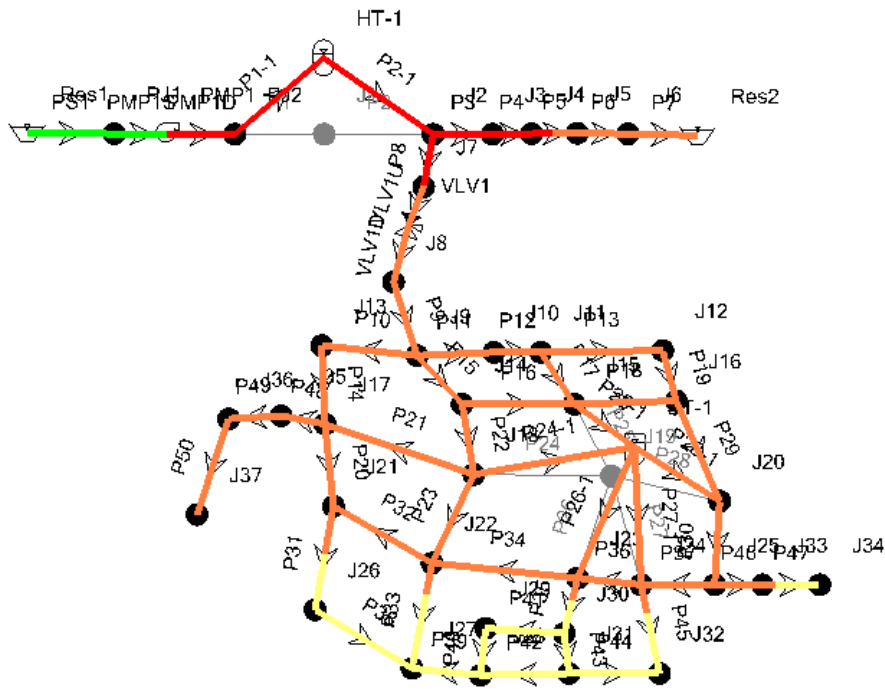
Löögi-kontrolli strateegia väljatöötamisel on kõige huvipakkuvad maksimaalsed olukorrad. *Bentley HAMMER* omab sisseehitatud visualiseerimismoodulit, mis suudab esitada maksimaalseid ning minimaalseid simuleeritud vooluhulkasid, surveid, rõhkusid ning mahtusid (aur või õhk) terve torusüsteemi kohta. Sa saad värvikoodis esitada sõlmi ning torusid.

Selles osas vaatamegi lähemalt värvikoodi seadistamist, mis võimaldab luua väga head ülevaadet andva presentatsiooni.

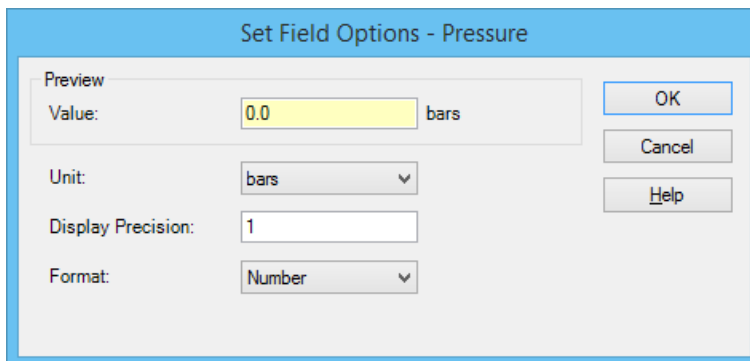
- 1) Jätka samast failist, kus on teostatud kaitsesüsteemiga arvutus.
- 2) Juhul, kui oled mingit parameetrit vahepeale muutnud, kliki uuesti *Compute Initial Conditions*. Sulge dialoog *Calculation Summary*.
- 3) Kliki seejärel ka nupul *Compute*. Sulge dialoogid *Transient Calculation Summary* ning *User Notifications*.
- 4) Riba pealt: *Analysis* vali *Transient Thematic Viewer*. Vaikimisi kasutab tarkvara parameetrit *Maximum Head* ning torude kui sõlmede värvimisel.
- 5) Paanil *Pipes* kliki nupul *Calculate Range* ning vali *Full Range*. See seab automaatsed piirid maksimaalsele ning minimaalsele väärtusele hetkel aktiivse parameetri *Field Name*: osas.
- 6) Dialoogi paremal pool kliki nupul *Initialize* . See jaotab automaatselt parameetrite vahemiku etteantud arvu (*Steps*) järgi osadeks ning seab igale neist ka värvitooni.
- 7) Kliki nupul *Ramp* . Nupp *Ramp* valib värvid nii, et esimese ja teise värvitooni vahel moodustuks sujuv üleminek (*gradient*). Kliki kolmandal värvikastil ning vali sinna kollane värv. Kliki neljandal värvikastil ning vali sinna oranž. Sinu paan *Pipe* peaks nüüd nägema välja alloleva pildi kohane.



- 8) Kliki nupul *Apply*. Sinu võrk peaks nüüd nägema välja alljärgnev:

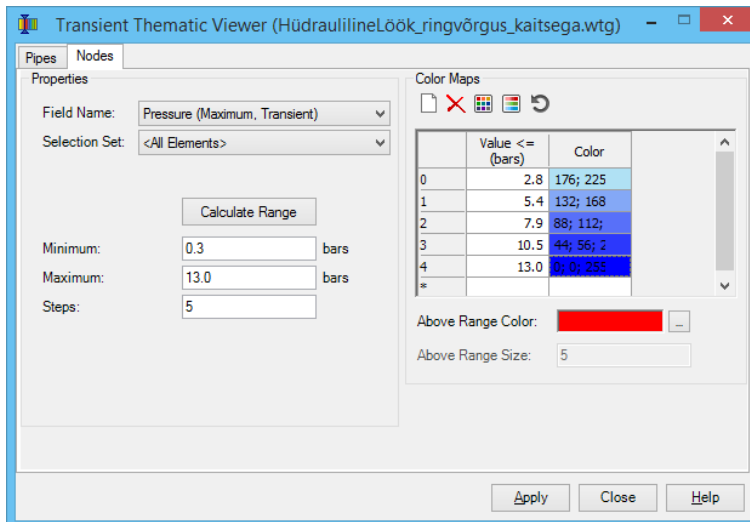


- 9) Dialogis *Transient Thematic Viewer* aknas kliki paanil *Nodes Muuda Field Name > Pressure (Maximum Transient)*.
- 10) Tee parem klikk ühikul *kPa* nimel (rea *Minimum* kõrval) ning vali *Units and Formatting*.
- 11) Dialogis *Set Field Options* vali *Unit = bars*.

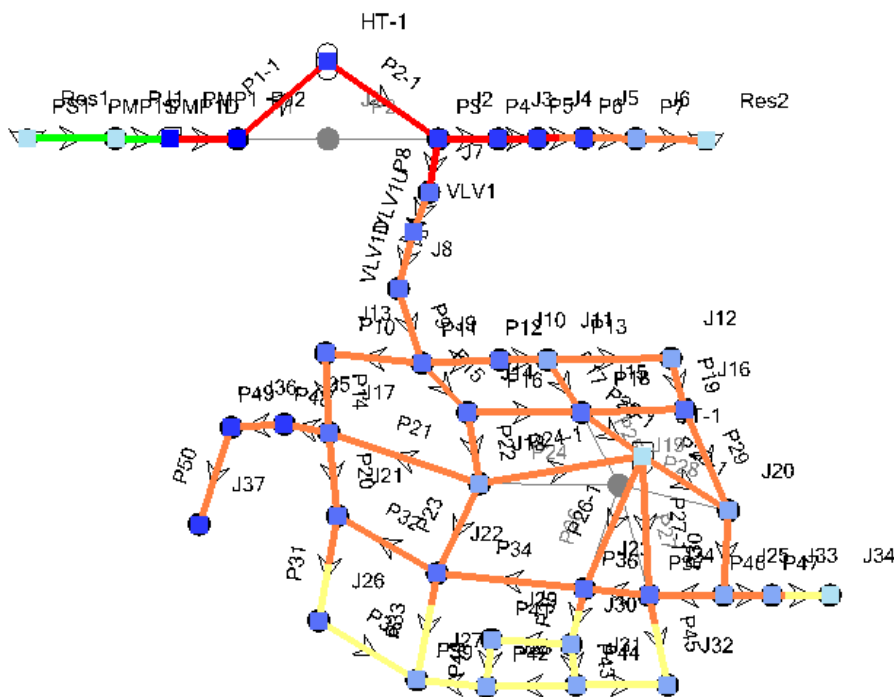


Kliki OK.

- 12) Kliki *Calculate Range* nupul ning vali *Full Range*.
- 13) Kliki nupul *Initilize*. Kliki esimese rea värvikastil ning vali helesinine. Kliki viimase rea värvikastil ning vali tume sinine. Kliki nupul *Ramp*. Dialog peaks nüüd välja nägema alljärgnev.



14) Kliki nupul *Apply*. Sa saad vähendada *Transient Thematic Viewer* akent, kuid ära sulge seda; see peab jääma avatuks nii kaua, kuni soovid, et elemendid oleksid selle järgid värvitud. Sinu mudel peaks nüüd välja nägema alljärgnev:



15) Proovi erinevaid väärtusi torude ja sõlmede esitamiseks, et värvikood annaks parema ülevaate. Näiteks võid proovida teha veel alljärgnevat:

- Sa võid muuta iga vahemiku väärtust. Kui teha näiteks esimesed kaks vahemikku oluliselt suuremad, siis on ka rohkem torusid rohelist värvi, esitades surved süsteemist, mis langevad tavaolukorra ja kõrgete vahemiku.
- Torude osas võid värvida tumesinisega need kohad, kus on alarõhu ohud, misjärel saad graafiliselt kätte kohad, kus on võimalikud ohud reostuse sisenemiseks torustikku.

- Sõlmede osas võid eksperimenteerida protsentidega, mis esitatakse kollase ning oranži värviga, kus on normaalne töö rõhk või löögi piirliimit.
- Värvikoodis kaartide esitamine annab ülevaatlikku pildi äärmuslike olukordade hindamiseks. Seda kaarti saab võrrelda nüüd profiilidega ja ajalooa (või vastavate animatsioonidega).

Mõned alamlõigud kannatavad samuti kõrgete survete all. Näiteks vaadates sõlmede tabelit, näeme, et sõlm *J34* on kõige kõrgemal süsteemis asetsev punkt ning seal on kõige väiksem löögist tingitud rõhk; samas süsteemi madalaimas punktis, sõlm *J37*, on löögist tingitud rõhk maksimaalne.