



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**EHITUSINFO MUDELI LOD NÕUETE  
ETTEPANEKUD TEE-EHITUSPROJEKTI  
PÕHIELEMENTIDELE**

**PROPOSALS FOR BUILDING INFRASTRUCTURE MODEL  
LOD REQUIREMENTS FOR KEY ELEMENTS OF A ROAD  
CONSTRUCTION PROJECT**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Patrik Virkus

Üliõpilaskood: 177494EATI

Juhendaja: Inna Romandi

Tallinn 2022

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

30.05.2022

Autor: Patrik Virkus

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

30.05.2022

Juhendaja: Inna Romandi

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, **Patrik Virkus**

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „**Ehitusinfo mudeli LOD nõuete ettepanekud tee-ehitusprojekti põhielementidele**“,

mille juhendaja on **Inna Romandi**,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

30.05.2022

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loominguulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

# Ehituse ja arhitektuuri instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Patrik Virkus, 177494EATI

Õppekava, peeriala: EATI02/17, teede- ja sillaehitus

**Juhendaja(d):** Inna Romandi; Tallinna Tehnikaülikooli lektor, AS Eesti Raudtee projektijuht; 53008181

### Lõputöö teema:

Ehitusinfo mudeli LOD nõuete ettepanekud tee-ehitusprojekti põhielementidele  
Proposals for building infrastructure model LOD requirements for key elements of a road construction project

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Selgitada, mis on LOD ning milleks on vajalikud üheselt mõistetavad LOD nõuded tee-ehitusprojektide BIM mudelite koostamiseks.
2. Koostada eri LOD tasemega tee-ehitusprojekti BIM mudelid, teostada lõikumiste- ning mahuarvestuse analüüsid
3. Teha ettepanekud LOD nõuete kehtestamiseks tee-ehitusprojekti põhielementidele.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Uurida LOD nõudeid ja nende rakendamise praktikat taristu projektides	28.02.2022
2.	Tänase olukorra kaardistamine - küsimustiku koostamine, laialisaatmine ning tulemuste analüüs.	15.03.2022
3.	Modelleerimine. Mudelipõhine analüüs ja ettepanekute tegemine	05.05.2022

**Töö keel:** eesti      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 23.05.2022

**Üliõpilane:** Patrik Virkus      /allkirjastatud digitaalselt/      31. mai 2022 a

**Juhendaja:** Inna Romandi      /allkirjastatud digitaalselt/      31. mai 2022 a

**Programmijuht:** Sander Sein      ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

1.	SISSEJUHATUS .....	7
2.	METOODIKA .....	9
2.1	Küsitlus .....	9
2.2	Modelleerimisel kasutatav tarkvara .....	9
2.3	Juhendmaterjalid, millest modelleerimisel on lähtunud .....	9
3.	KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	10
3.1	BiM-i mõiste .....	10
3.2	BiM-i nõuded tee-ehitusprojektides .....	13
3.2.1	Transpordiamet.....	13
3.2.1.1	Avaliku sektori tellijate (AST) ühiste BIM nõuete juhend ..	14
3.2.1.1.1	Üldnõuded modelleerimisel .....	15
3.2.1.1.2	BIM nõuded teedele .....	17
3.2.1.2	BIM nõuded senistes tee-ehitusprojektides .....	19
3.2.2	Kohalikud omavalitsused .....	21
3.2.3	Rail Baltica .....	21
3.2.4	Tallinna lennujaam .....	22
3.3	LOD .....	22
3.3.1	LOD mõiste .....	22
3.3.2	LOD kasutamine projektlahenduse planeerimisel .....	25
3.3.3	LOD rakendamine ehitise kasutusea kulude hindamisel .....	27
3.3.6	BiM mudeli elementide lõikumised .....	29
4.	TÄNASE OLUKORRA ÜLEVAADE.....	32
4.1	Küsitlus projekteerijatele .....	32
4.1.1	Tulemused .....	32
4.2	BiM-i rakendamise praktika tee-ehitusprojektides .....	36
4.3	LOD rakendamise praktika tee-ehitusprojektides.....	39
5.	ERI LOD TASEMETEGA BIM MUDELITE KOOSTAMINE NÄIDISPROJEKTILE.....	40
5.1	Projekti lühikirjeldus.....	40
5.2	Kasutatavad sisendid BiM mudeli koostamisel .....	40

5.3 Osamudeliteks jaotamine .....	41
5.4 Eri LOD tasemega mudeldatud elementide võrdlus .....	41
5.4.1 Pinnasetööd .....	41
5.4.1.1 Kaevetööd .....	41
5.4.1.2 Muldkeha ehitus .....	43
5.4.2 Katendikihid .....	44
5.4.2 Truubid ja veeristed.....	47
5.4.2 Liikluskorraldusvahendid .....	49
5.5 BiM mudeli elementide vahelised lõikumised ( <i>clashid</i> ).....	52
5.6 BiM mudeli põhine mahuaruandlus .....	53
5.6.1 Lõikumiste mõju koondmahtudele .....	54
KOKKUVÕTE .....	57
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	62
LISAD .....	64

# 1. SISSEJUHATUS

Iga vähegi mahukam ehitustegevus eeldab varasemalt koostatud projekti. Projekteerimise eri staadiumites luuakse projektlahenduse graafiline osa, teostatakse vajalikud arvutused ning pannakse kokku projektdokumentatsioon, mis on vajalik kavandatava lahenduse realiseerimiseks. Hästi koostatud projekt võimaldab saavutada parima hinna ja kvaliteedi suhte nii planeerimisel, ehitamisel kui ka valminud ehitise kasutamisel. Kui enne digiajastut toimus projekteerimine peamiselt paberil, siis koos tehnoloogilise võimekuse arenguga on muutunud ka projekteerimise protsess. Arvutiprogrammide ja tarkvaraliste lahendustega on võimalik luua hulga vähema ajaga oluliselt detailsemaid, täpsemaid ja sisukamaid projekte sh mudeleid.

Projektdokumentatsiooni sisuline maht ja detailsus kasvavad koos projekti staadiumi või selle etappidega. Näiteks ei ole mõistlik eskiisi etapis kulutada aega väga detailsete lahenduste loomise peale, sest selle staadiumi eesmärk on pigem lahenduse või mitme alternatiivse lahenduse üldise kontspetsiooni loomine ning detailsemaks minnakse järkjärgult alles järgmistes etappides. Sama põhimõtte kehtib ka BIM ehk ehitusinfo modelleerimise protsessis, kus mudelite detailsus peaks jääma mõistliku töömahu piiridesse. Kuna BIM meetodit on teedehituses üha enam nõutud ja soositud, kuid veel vähe praktiseeritud, on selle raames mudelite loomises palju küsimusi ja probleeme, mille puhul ei ole täna veel loodud standardeid või nõudeid, millest projekteerijad või modelleerijad võiksid lähtuda.

Autor tegeleb tööalaselt igapäevaselt projektidega, mille osa on erineva detailsusega ehitusinfo mudelite loomine ja nende põhjal loodavate aruannete koostamine ning vormistamine. Kuna teedehituses on infomudelite nõudlus ja sellekohased nõuded laiemalt levima hakanud vaid viimaste aastatega, võib sektoris tajuda teatavat segadust modelleerimist nõudvate tööde osas. Üheks levinuimaks probleemiks, millega teede projekteerimisel BIM protsessis kokku puututakse, on mudelite detailsuse tase ehk LOD. On tavaline, et projekti lähteandmetes on tehnilistes tingimustes nõutud 3D või BIM mudeli koostamine, kuid detailsuse tase on defineeritud hoonete ehituseks mõeldud standardi põhjal, ebapiisava täpsusega või on jäetud üldse defineerimata. See tekitab töövõtja jaoks aga olukorra, kus on keeruline hinnata tehtava töö mahtu ja sellega kaasnevaid kulusid, sest mudelit on võimalik luua lihtsa ja vähedetailsena, kuid ka väga detailse- ja põhjalikuna. Ühtlasi võib seeläbi kannatada mudelist saadava info täpsus, eeskätt mudelielementide mahud.

Käesolev töö käsitleb:

- ülevaadet mõnede viimaste aastate projektide hankedokumentides kirjeldatud BIM nõuete ja nendes esinevate puuduste osas;
- tellija ning töövõtjate arusaamu, kogemusi ja ootuseid seoses BIM-i ja mudelite detailsuse taseme temaatikaga;
- näidisprojekti põhjal LOD nõuete ettepanekuid tee-ehitusprojekti mudelite põhielementidele ning LOD mõju mudelipõhisele mahuarvutusele, mille põhjal oleks tellijatel ning modelleerijatel võimalik lähtuda BIM mudelite koostamist nõudvate projektidega töötamisel.



## **2. METOODIKA**

### **2.1 Küsitlus**

Töö raames viidi läbi küsitlus teede- ning rajatiste projekteerijate seas keskkonnas Google Forms. Selle eesmärgiks seati projekteerijate senise BIM ja LOD praktika, taseme ning nägemuse väljaselgitamine ning analüüs.

Lisaks korraldati vestlusring Transpordiameti ida teehoiu osakonna juhataja Anti Palmi ning taristu korraldamise osakonna projektijuhi Erko Puusaagiga, kes on vedanud projekteerimis- ja ehitustegevuse digiteerimist Transpordiametis ning loonud ka vastavaid strateegiaid, mida sellealases tegevuses järgida. Kaasatud olid ka käesoleva töö juhendaja ning Skepast&Puhkim OÜ BIM üksuse juht Eno Lints. Vestluse eesmärgiks oli saada sisend analüüsiks, milles võrrelda tellija ja töövõtja arusaamasid, nägemusi ning ootusi BIM-temaatikaga seoses teedehituses, ning kasutada seda ka sisendina tee-ehituselementide LOD tasemete nõuete ettepanekute loomiseks. Käesoleva töö peatükid 4.2 ja 4.3 kajastavad selle vestluse kokkuvõtet.

### **2.2 Modelleerimisel kasutatav tarkvara**

Modelleerimine ja töövõtted mudelitega teostati tarkvaras Autodesk Civil 3D ning Autodesk Navisworks Manage.

### **2.3 Juhendmaterjalid, millest modelleerimisel on lähtutud**

Modelleerimise aluseks võeti osaliselt, kuid mitte täielikult RB Rail AS-i tellimusel välja töötatud „Full BIM Guidelines Package“ paketi esitatud juhendid.

## 3. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

### 3.1 BIM-i mõiste

BIM on teabe haldamine kogu ehitatud vara elutsükli jooksul, alates kavandamisest kuni ehitamise, hoolduse ja lõpuks kasutusest kõrvaldamiseni, kasutades selleks digitaalset modelleerimist. See puudutab koostööd inseneride, omanike, arhitektide ja töövõtjate vahel kolmemõõtmelises virtuaalses ehituskeskkonnas (ühine andmekeskond), mille abil jagatakse teavet eri valdkondade vahel.

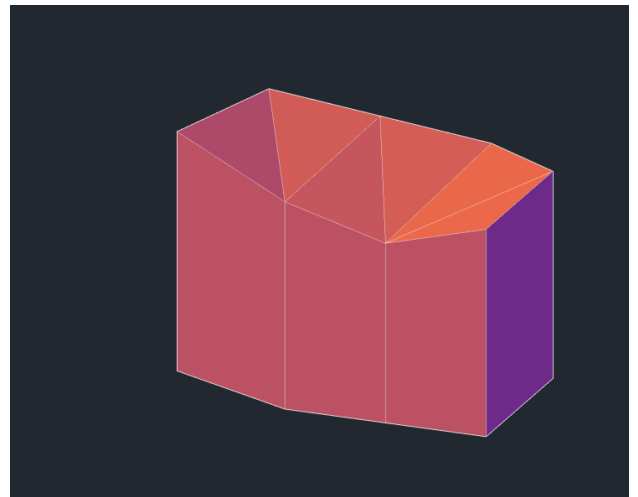
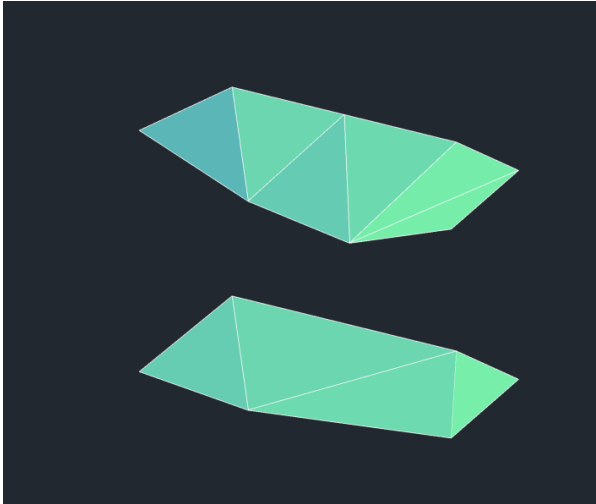
Ehitusteabe modelleerimine võimaldab projekteerimis- ja ehitusmeeskondadel vahetada projekti infot ja koordineerida teavet senisest praktikast efektiivsemal moel. Kogu projekti puudutav graafiline info ning andmesisu on leitav ühest "kesksest mudelist" ehk koondmudelist, mille kaudu käib suhtlus erinevate projektiga seotud osapoolte vahel. Lisaks aitab projekti käigus loodavate osamudelite koondamine ning graafiline kolmemõõtmeline detailsus senisest efektiivsemal moel tuvastada vigu, mille eemaldamine projekti hilisemas faasis oleks oluliselt ajamahukam ning seetõttu ka kulukam.

Loodav infomudel ehk BIM mudel on kombinatsioon graafilistest andmetest ja mittegraafilistest andmetest ehk andmesisust. Andmesisu manustatakse mudelielementidele olenevalt projektist ja tellija soovist andmesisu atribuutide komplektiga ehk *property set*-iga, mis sisaldab igale elemendile asjakohaseid üldiseid ja detailseid infovälju ning parameetreid, mis käivad mudeliga alati kaasas. Atribuutide komplektist on ühtlasi võimalik luua automaatseid mudelipõhiseid mahuarvutusi ning raporteid. Vastavalt vajadusele saab luua iga ehitise moodustava komponendi, toote, materjali, süsteemi jmt jaoks graafilisi ning mittegraafilisi andmeid ning need mudelis siduda toetavate dokumentidega. [1]

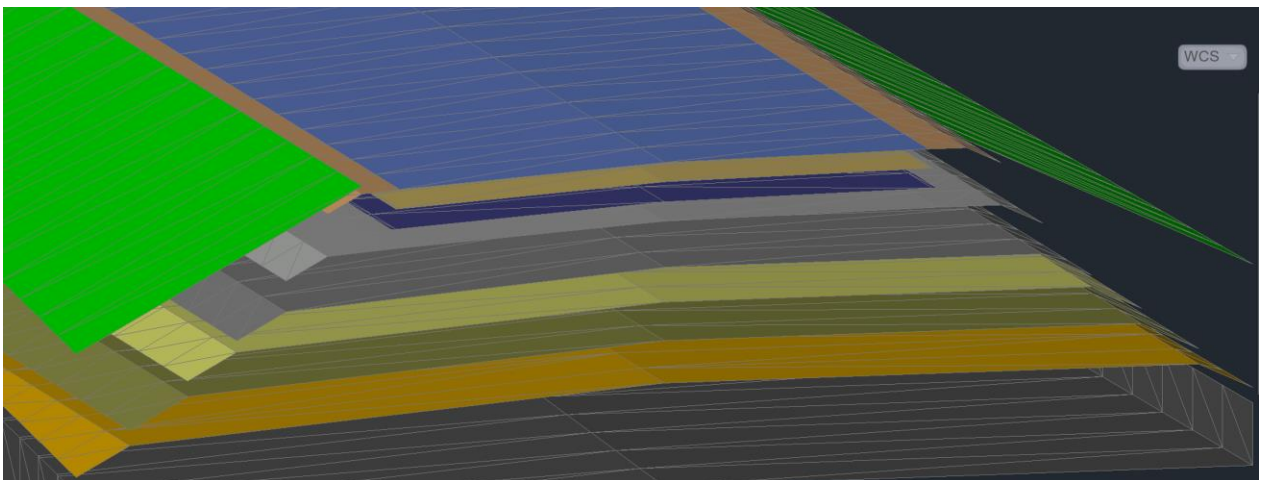
Graafilised andmed võivad olla olenevalt detailsuse tasemest kas kahe- või kolmemõõtmelised. 3D-objekti eeliseks virtuaalses ehitusinfomudelis on see, et see annab visuaalse viite, asukoha ja konteksti, luues sidemeid ruumilise asukoha ja muude virtuaalse ehitise mudeli komponentidega. Objekti füüsiline suurus ja mõõde on vajalik arvutipõhiseks 3D-koordineerimiseks ning ühenduspunktid hakkavad looma suhteid projektis kaasuvate süsteemidega. [2]

Mudeli graafilise osa põhielemente saab peamiselt esitada pindadena ja/või 3D *solid*-itena (Joonis 1). Pind omab vaid pindala mõõdet (Joonis 2). Vähemalt kahe pinna vahele saab luua pindadevahelist ruumala kajastava 3D *solid*-i, mis omab ka ruumala mõõdet (Joonis 3). Mõlema põhjal saab teostada vajaliku mahuarvutuse, kuid pindade puhul on

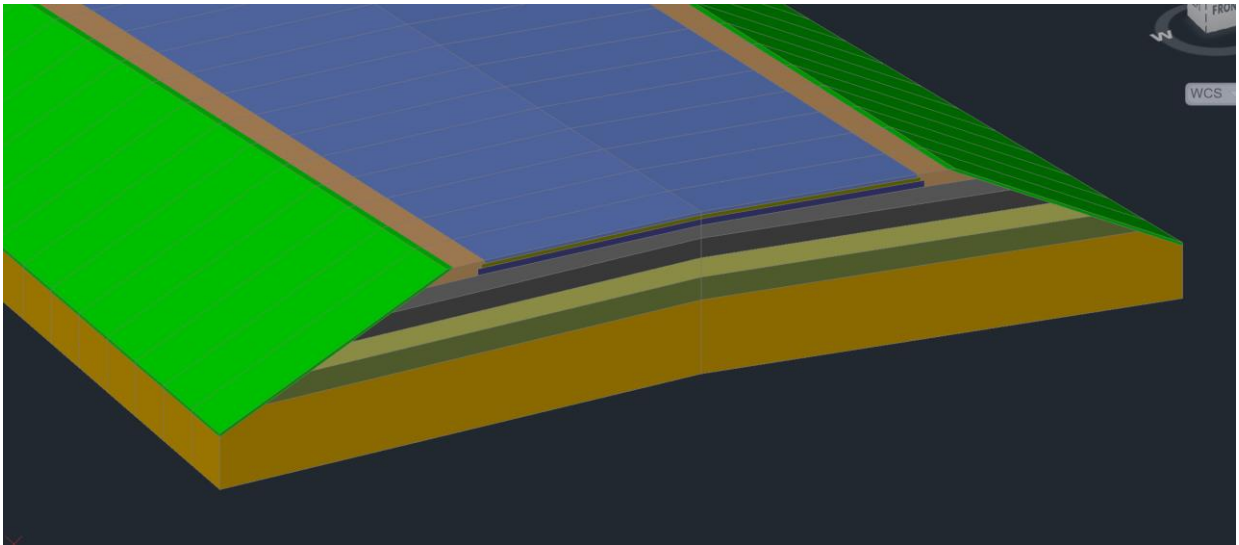
koondmahtude täpsus üldjuhul oluliselt väiksem. *Solid*-ile saab ühtlasi lisada ka vajalikku andmesisu, mida pinnale ei ole võimalik lisada. Pindadena (aga ka 3D *solid*-itena) on võimalik graafiliselt esitada modelleeritava tee pinnakatteid ja konstruktiivseid kihte. Kujuditest koosnevaid üksikuid elemente, mille mahuühikuks ei ole pind- või ruumala, nagu tähispostid, liiklusmärgid, truubid jms esitatakse reeglina vaid 3D *solid*-ina.



Joonis 1. Pinnad (vasakpoolne) ning 3D *solid* (parempoolne).



Joonis 2. Tee konstruktsioonikihid pindadena.



Joonis 3. Tee konstruktsioonikihid 3D *solid*-itena.

Ehitised (eelkõige hooned) koosnevad tuhandetest üksustest, süsteemidest, komponentidest, materjalidest või toodetest, millest igaühes on sadu teavet omavaid elemente. Tuhandete dokumentide käsitsi otsimine, iga ühekaupa avamine ja nende nõ manuaalselt silmadega läbi lugemine, et leida teavet, ei ole alati teostatav ega kasulik. Objektipõhiste virtuaalsete ehitusinfomudelite abil saab lisada vajalikku teavet digitaalsete atribuutidena mudelis objekti enda külge, mida on lihtne otsida, päringuid teha ja välja võtta, et aidata inseneridel palju lihtsamalt teabele paremini juurde pääseda. Suundumus on selle poole, et esitatakse rohkem andmeid ja vähem dokumente ehk teisisõnu on kasulikum mudelile omastada masinloetavat teavet, mille kohta on võimalik luua vähese vaevaga või automaatselt erinevaid aruandeid. Efektiivsuse seisukohast peaks kõik, mida analüüsiks, jälgimiseks, aruandluseks või otsimiseks tuleb kasutada digitaalselt või arvutuslikult, olema digitaalne atribuut. [1]

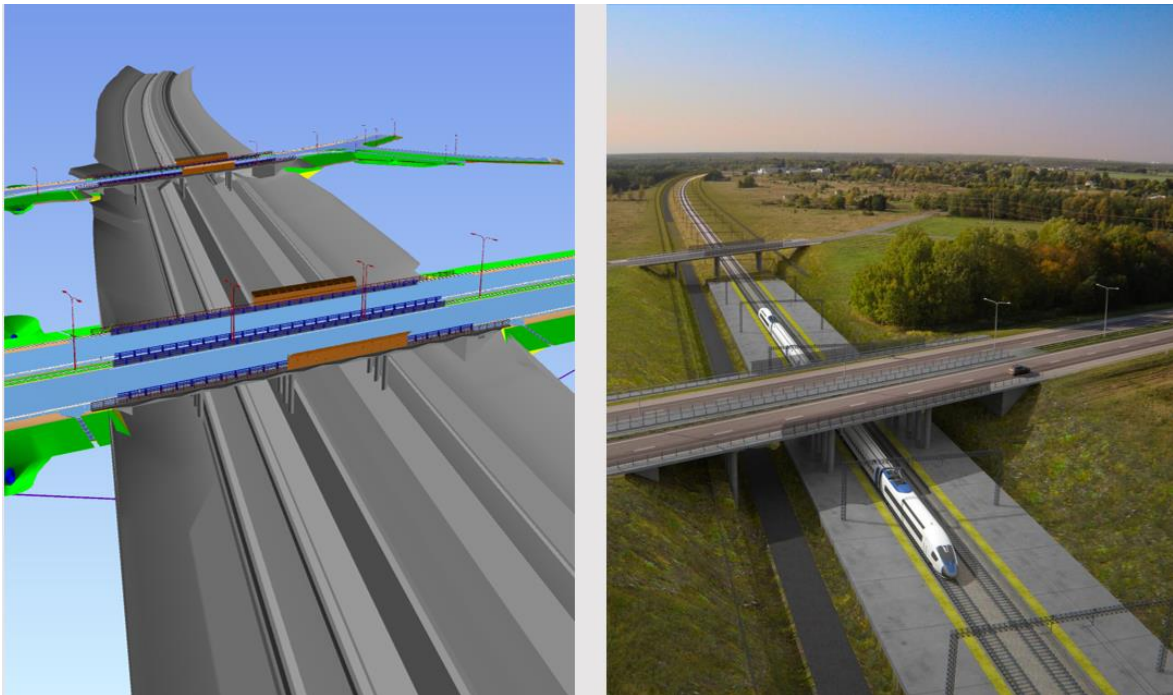
Loodav teave võib käia projektiga kaasas kogu selle eluea jooksul alates ehitise kavandamisest kuni lammutamiseni. Samuti aitab see analüüsida võimalikke mõjusid keskkonnale, ehitise maksumusele, ehitusprotsessidele jms.

Ehitusteabe modelleerimise kaudu on võimalik saada järgmisi olulisi eeliseid:

- Kiiremad ja tõhusamad protsessid tänu info koondamisele ühtsesse mudelisse ning võimaldades mudelipõhist suhtlust osapoolte vahel;
- Varasem vigade avastamine tänu 3D mudeldamisele ning andmete kõrgem täpsus tagab suurema tootlikkuse ja kiirema tarnimise;
- Graafilise ning andmesisu teabe koondamine ja selle lihtsustatud kättesaadavus vähendab ebakindlust;

- Ehitise kontrollitud kogu eluea kulud ja keskkonnaandmed ehk 4D mudeldamine;
- Ümbertöötlemise kulude vältimine tänu vigade varasemale tuvastamisele. Vähendatud tõenäosus, et viga tuvastatakse alles ehitusel;
- Kolmemõõtmeline mudel ning suurem täpsus võrreldes kahemõõtmeliste projektidega võimaldab simuleerimis abil tagada taristu parema ohutuse;
- Täpsem mahuarvutus ning mudelipõhine tööde planeerimine võimaldab vähendada kohapealseid ehitusjäätmekuid ja ülekulu.

Kokkuvõtvalt on BIM 3D digitaalse modelleerimise protsess ehitusprojekti modelleerimiseks ja juhtimiseks. Iga projekteametajate meeskonna liige loob ja haldab oma BIM-mudelit osana koondmudelist. BIM-mudelitel peab olema ka võimalus keskses mudelis kokkupõrkeid ehk lõikumisi tuvastada erinevate osapoolte poolt. [2]



Joonis 4. BIM mudeli graafiline ning visualiseeritud osa. [3]

## 3.2 BIM-i nõuded tee-ehitusprojektides

### 3.2.1 Transpordiamet

Tänaseks on Transpordiamet, kes on tee-ehitusprojektide suurim tellija Eestis, alustanud Transpordiameti ida teehoiu osakonna juhataja A. Palmi sõnul projekteametajate meeskonnas teatud BIM-i nõuete rakendamist. Kuigi esimesi 3D

visualiseerimist sisaldavaid projekteerimishankeid korraldati juba 2008/2009, siis reaalne koordineeritud BIM alane tegevus algas 2018. aasta pilootprojektidega: tugimaantee 22 Rakvere–Väike-Maarja–Vägeva km 3,1-10,4 taastusremont ja liiklusohutuse parandamine; põhimaantee 6 Valga – Uulu km 27,7-27,9 asuva ristmiku ümberehitus Tõrva linnas.

Selle protsessi ja hankedokumentides määratud BIM-i rakendamise aluseks on Avaliku sektori tellijate (AST) ühiste BIM nõuete juhend.

### **3.2.1.1 Avaliku sektori tellijate (AST) ühiste BIM nõuete juhend**

Avaliku sektori tellijate BIM nõuete juhend valmis 2019. aastal Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi tellimisel mitme erineva ettevõtte ning asutuse koostöös. Juhendis märgitud BIM nõuete sätestamise eesmärk on kirjeldada raamistikku, mis võimaldaks tellijal tõhusamalt juurutada BIM tehnoloogiat ja parimaid tavasid oma lühi- ja pikaajaliste eesmärkide saavutamiseks. Nõuded on koostatud eesmärgiga ühtlustada mudelprojekteerimise protsessi ja selle väljundeid. Juhendis olevad peatükid kirjeldavad nõudeid, millest tuleb lähtuda projekteerimise ja ehitamise käigus.

Osapooli rahuldava tulemuse saavutamiseks on möödapääsmatu dokument ja sisuline toiming tellija väljastatud projekti lähteülesanne. See peaks sisaldama modelleerimisega seonduvaid punkte, mida hanke korraldamisel ja projekti eesmärgi seadmisel arvestatakse. Tellija lähteülesandes otsustatakse, kuidas jagunevad modelleerimise ülesanded ja kohustused erinevate valdkondade projekteerijate vahel. AST juhend on abivahend lähteülesande elluviimisel. Modelleerimise peamiseks väljundiks on tellija lähteülesandes seatud eesmärkide saavutamine.

Enne projekteerimistöödega alustamist peab projekteerija koos alltöövõtjatega / partneritega koostama mudelprojekteerimise rakenduskava. See kirjeldab erinevate osapoolte rolle, vastutusi ning detailset informatsiooni ja selle mahtu, mida projekti jooksul jagatakse, tähtsamaid protsesse ning kirjeldab vajaminevaid tarkvarasid, mida tööks kasutada. Rakenduskavale võib lisada vajadusel erinevaid kontrollvorme. Selles määratakse projekti BIM osa üldised kokkulepped ning kirjeldatakse loodava projektlahenduse üksikasju, mida töös arvestada:

- projekti info (asukoht, lühikirjeldus, ajakava);

- projektijuhtimise struktuur skeemina (projekti meeskonna kirjeldus, hierarhia, mehitatus, rollid ja vastutusala, seosed jne);
- projekti meeskonna info (ettevõtted ja vastutavad isikud koos kontaktandmetega);
- kasutatavad BIM tarkvarad koos versioonide ja edastatavate failiformaatidega;
- projekti ja osamudeliteks jagamise põhimõtted;
- mudelifailide nimetamise põhimõtted ja ühtse stiili määratlemine;
- erisused osamudelite jaotuste vahel, kooskõlastamise põhimõtted;
- kasutatav koordinaat- ja kõrgussüsteem (sh kokkulepitud reeperid, nullpunkt, teised referentspunktid);
- modelleeritavate elementide, pindade nimetus- ja tähistuspõhimõtted (tähistus ja kategooriad);
- valitud tarkvarade spetsiifilised juhendid nõuete täitmiseks (koos illustatsioonidega);
- kvaliteeditagamise plaan (automaat- ja manuaalkontrollid, nende ulatus ja detailsus, geomeetria ja infokontrollid, raportid jne);
- koostööreeglid projekti osapoolte vahel (koosolekute toimumine, koostöökeskkonna kasutamise põhimõtted, koondmudeli koostamine, mudelite uuendussagedused jne);
- BCF (BIM Collaboration Format – avatud failivorming, mis võimaldab osapoolte suhtluse hõlbustamiseks lisada lokaliseeritud otse mudelisse tekstilisi kommentaare, kuvatõmmiseid jm) failide koostamise ja vahetamise kord (väljade täitmine ning teavituste haldamine);
- infoturbe plaan (kasutatavate keskkondade töökindlus, kontrollitud ligipääs andmetele, varundamine, kaitse viiruste ja pahavarade eest jne);
- kaaskirjade koostamine (sisu, vorm, mallid, uuendussagedused jne);
- muud korralduslikud küsimused.

### **3.2.1.1.1 Üldnõuded modelleerimisel**

BIM mõiste alla loetakse rohkem kui ainult 3D geomeetria. Modelleeritud peavad olema kõik elemendid, mis kuuluvad projekti koosseisu ja on vastavas projekti staadiumis nõutud. Mudeli elemendid peavad vastama konkreetsetes projekteerimise etapis esitatud

geomeetria ja andmesisu taseme nõuetele, st nendele peab olema omistatud nõutud parameetiline ja atribuudi info. Üldiselt ei ole lubatud mudeli elementide vahelised lõikumised ega vastuolud. Mudeli geomeetria kõik kolm mõõdet (X, Y, Z) on võrdse tähtsuse ning nõutava täpsusega. Mudeli geomeetiline ja mitte-geomeetiline info on võrdse tähtsusega. Mitte-geomeetilise info osas tolerantsid puuduvad ehk kõik nõutud väljad peavad olema täidetud korrektselt ning sisaldama tõest informatsiooni, millel on nõutud koosõla projekti seletuskirjaga. Mudeli elemendid tuleb nimetada süsteemselt. Mudelid peavad üleandmise hetkel olema vajalikus ulatuses tõesed ja edasi arendatavad, moodustades ühtse terviku ning mudeli elemendid peavad olema modelleeritud sidusaks ja pidevaks süsteemiks. On nõutud, et mudel vastab olemasolevale ja loodavale reaalsusele, sisaldab ehitatavaid lahendusi ning on puhastatud ebavajalikest ja liigsetest elementidest (müra, „hüljatud“ projektlahendused vms) ning projekti laetud üleliigsetest mudeli elementide tüüpidest.

Mudeli elemendid peavad sisaldama piisavalt mitte-geomeetrist infot, et sisustada materjalide koguste kokkuvõtted ja spetsifikatsioonide tabelite infoväljad. Informatsioon, mis on esitatud mudeli elementide kohta tabelites (materjalide koguste kokkuvõtted, spetsifikatsioonid), peab pärinema mudeli elementidelt. Tabelid ei tohi olla rikastatud mudeliga mitteseotud andmetega. Manuaalsed andmete ülekirjutamised pole lubatud. Kui siiski esineb eelmainitud olukordasid, lisatakse need koos põhjendustega mudeli kaaskirja.

Olenevalt tellija püstitatud lähteülesandest võib rakenduskavas olla kokku lepitud projektipõhiseid erisusi.

BIM rakenduskavas lepatakse kokku, millise loogika alusel toimub osamudelite jaotus. Üldjuhul on üheks osamudeliks valdkonna mudel. Eri valdkondade projekteerijad vastutavad oma objekti või objektikompleksi eest. Koondmudel moodustatakse erinevate valdkondade osamudelitest.

Dokumendis ei ole mainitud BIM-koordinaatori rolli, vaid mudelite koondamise ja haldamise pool on jäetud kokku leppida vastavalt rakenduskavale.

BIM-koordinaatori töö algab projekti BIM-töövoo eesmärkide püstitamisest: millised mudelid on olemas, miks neid luuakse ja kuidas need omavahel kokku sobivad. Koordinaator haldab hoolikalt erinevatest allikatest pärit mudelite kogu ning hoolitseb selle eest, et teave oleks koostalitlusvõimeline ja ajakohane. BIM-koordinaator võimaldab projekti käigus pakkuda palju lisandväärtusega teenuseid, nagu nõuete haldamine, kvaliteedikontrollid, kogused ja andmete teisendamine. [4] Arvestades projekti ja sellega kaasnevate mudelite valmimise käigus tekkivat andmerohkust ning



kaasnevat halduskoormust, on selguse ja efektiivsuse tagamiseks kindla koordinaatori määramine kasutoov. See võimaldab tagada mudelite ja teabe kooskõla, sobivuse, halduse ning parema kontrolli, vähendades projekteerimisprotsessis ja ehitusel hilisemaid potentsiaalseid ootamatuid kulusid.

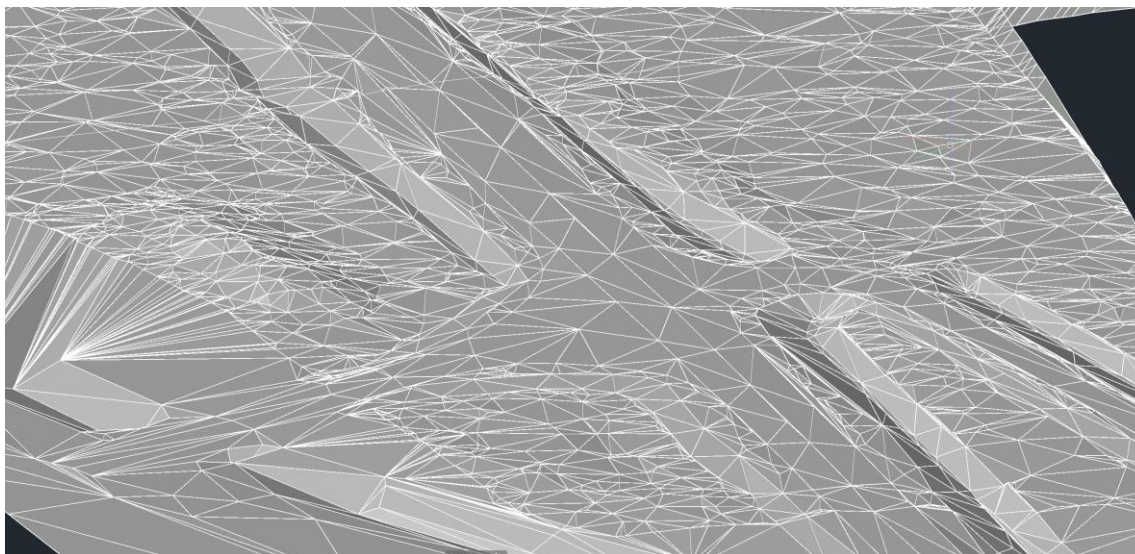
Mudelite detailsuse nõudeid dokument ei kajasta, vaid on märgitud, et see lepitakse kokku BIM rakenduskavas või lähtuvalt projekti vajadustest. See võib olla probleemne, kui töövõtjal puudub alus, millest töömahtu hinnata ning tegelik maht selgub töö käigus. Näiliselt sarnastes projektides võivad töö käigus kokku lepitud detailsuse nõuded arvestatavalt erineda, mis võib tekitada ebaõiglase olukorra pakkujale, kellelt lõpphinda eeldatakse.

### **3.2.1.1.2 BIM nõuded teedele**

Eelprojekti staadiumis on teemudel oma sisu poolest lihtsustatud. Selle abil esitatakse geomeetriat, tee ruumivaru, sobitamist keskkonda ning üldjoones ka materjalivajadust. Eelprojekti staadiumis koostatakse mudel nii, et selle abil on võimalik esitada ülemine koondpind, alumine koondpind, katend, raudteerööpad, oluliste maastikuvormide pinnad, kraavide pinnad jms. Konstruksioonikihtide pindasid ei ole selles staadiumis vaja mudeldada. Eelprojekti puhul on piisav esitada elemendid vaid pindadega, sest mahtude kõrgem täpsus ei ole selles projekti staadiumis oluline. Lisaks pinnamudelitele sisaldab teemudeli geomeetiline osa ka infot tee telgede horisontaal- ja vertikaalgeomeetria kohta, sõidutee ning äärekivide paiknemisjooni ja valgalade piire. Eelprojekti jaoks loodud telgede geomeetriainfo on võimalik üheselt üle kanda järgmistesse projektietappidesse ja selle tarbeks loodavatesse mudelitesse.

Põhiprojekti staadiumis modelleeritakse tee asukoht ning vertikaal- ja horisontaalgeomeetria niisuguse täpsusega, et teeala on võimalik määratleda. Põhiline erinevus võrreldes eelprojekti staadiumiga seisneb mudelielementide rohkuses ja täpsuses, nt tee konstruktsiooni kihtides. Modelleerimise täpsusele esitatakse täisehitatud keskkonnas rangemaid nõudeid kui nn lagedal maastikul. Tähelepanu tuleb pöörata kolmnurkmudeli tihedusele. „Kolmnurkmudel – kõrgusmudeli esituskuju, milles mudel koosneb ebakorrapäraselt paiknevatest kõrguspunktidest mis on ühendatud sirgjoontega nii, et need jooned moodustavad kolmnurgad (Triangulated Irregular Network, TIN)” (Maa-amet, 2002) [5]. Näide kolmnurkmudeli pinnast on toodud pildil 3. Pind peab olema optimaalne ehk kirjeldama piisavalt täpselt tee geomeetriat, samas ei tohi olla liiga koormav (pidades silmas mudeli mahtu). Põhiprojekti staadiumis tehakse mudel sellise täpsusega, et oleks võimalik koostada usaldusväärne mahutabel ning sellel põhinev kulukalkulatsioon. Eelprojekti kolmnurkmudeli loomisel sellest lähtuma ei pea,

vaid eesmärgiks on põhilahenduse või võimalike variantide paika panemine, mistõttu ei ole vajalik ka kõrge mudeli täpsus.



Joonis 5. Maapinna kolmnurkmudel.

Põhiprojekti staadiumi teemudeli sisu on tee pind, katendikihid, kraavinõlvad ja maastikukujundus, pinnase läbilõiked ning teeperved, müravallid ja maastikukujundus. Lisaks mudeldatakse veeviimarid, teepiirded, äärekivid ja rööpad. AST-i nõuete kohaselt tuleb kõik teemudeli elemendid esitada pindadena ning piirded 3D elementidena. Samas tähendab ka kõrgete geomeetriliste täpsusnõuete puhul kolmnurkpindade kasutamine mahuarvutusel arvestatavat täpsuse erinevust võrreldes 3D *solid*-itega, kuna pindadega arvutades ei ole eemaldatud lõikumised – ristuvatel elementidel arvutatakse mahtu samadel koordinaatidel topelt. Skepast&Puhkim OÜ loodud testmudelitel põhjal on arvutuslikud mahud pindade põhjal arvutades ligikaudu 7%-8% suuremad, mis suuremate projektide puhul tähendab ka olulist mõju maksumusele. Näiteks 2020. a sügisel avatud Pärnu mnt Kernu ümbersõidu hinnangulise maksumuse 14 miljoni euro [6] puhul oleks ligikaudne maksumuse erinevus 980 000 kuni 1 120 000 eurot. Töö kirjutamise hetkel ehitatava Tartu mnt Võõbu-Mäo 2+2 lõigu hinnangulise 51,5 miljoni euro ehitusmaksumuse [7] puhul oleks erinevus 3,605 miljonit kuni 4,120 miljonit eurot.

Tööprojekti staadiumis modelleeritakse kõik objekti ehitamiseks vajalikud teosad. Tööprojekti staadiumi teemudelit kasutatakse töövõtu lähtekohana ning ehitusdokumendina. Eri hangete puhul võidakse eraldi kokku leppida, et tee teatud osi (pindu) ei modelleerita. Tööprojekti teemudeli alusel koostab töövõtja vajadusel teekonstruktsiooni ehitusmudeli, kasutades seda muutmatul kujul või kohandades selle

oma tehnikale sobivaks. NB! Oluliseks väljundiks tööprojekti staadiumi mudelitele on masinloetava info loomise võimalus.

Tööprojekti staadiumis koostatakse mudel nii, et selle abil on võimalik esitada täpselt:

- tee pind (pinnamudel);
- katendikihid (pinnamudel);
- kraavinõlvad ja maastikukujundus (pinnamudelid);
- pinnase läbilõiked ning teeperved (pinnamudelid);
- müravallid ja maastikukujundus (pinnamudelid).

Lisaks modelleeritakse:

- voolusängide asukohtade muutused;
- pinnakuivendus: külkkraavid, äravoolukraavid, piirdekraavid, setitus- ja rahustusbasseinid, imbalad;
- pinnasevee kaitserajatised (pinnad teemudelid). [8]

### 3.2.1.2 BIM nõuded senistes tee-ehitusprojektides

Kui hoonete ehituses on suuremates projekteerimishangetes ehitusinfo mudeleid nõutud juba ligikaudu 10 aastat, siis teedeehituses on areng olnud aeglasem. Järgnevas tabelis 1 on toodud näited suurematest projektidest, mille hanketingimustes on nõutud BIM modelleerimist või sellega seotud elemente ning töid.

Tabel 1. Maantee projektid ja nende hankes esitatud nõuded teemudelile.

PP-põhiprojekt, EP-eelprojekt.

Projekt	Projekti etapp	Aasta	Hankes esitatud nõuded
Põltsamaa – Tartu 2+1	PP	2015	Koostada kogu projekti kohta 3D mudel
Soohara – Karisilla	PP	2015	Koostada kogu projekti kohta 3D mudel
Mnt 2 Kose – Võõbu 2+2	PP	2015	Koostada kogu projekti kohta 3D mudel
Mnt 2 Võõbu – Mäo 2+2	PP	2015	Koostada kogu projekti kohta 3D mudel

Mnt 62 Kauksi – Leevaku	PP	2016	Koostada kogu projekti kohta 3D mudel
Mnt 2 Tatra – Kambja	PP	2016	Koostada kogu projekti kohta 3D mudel, 3D visualiseerimine
Kernu ümbersõit	PP	2016	3D jooned, pinnamudelid, 3D visualiseerimine
Mnt 4 Libatse – Nurme	PP	2017	3D jooned, pinnamudelid
Mnt 4 Pärnu – Uulu	PP	2017	3D jooned, pinnamudelid
Otepää – Vidrike	PP	2018	Koostada kogu projekti kohta 3D mudel, 3D jooned
Suure-Jaani – Olustvere	PP	2021	3D jooned, pinnamudelid
Mnt 11 Luige – Saku	PP	2019	Infomudel, Rail Balticu BIM nõuded
Mnt 2 Adavere – Põltsamaa	EP	2020	3D jooned, pinnamudelid
Mnt 2 Mäo – Imavere	EP	2021	Projekteerida BIM mudelina, AST
Konuvvere – Pärnu-Jaagupi	EP	2021	Projekteerida BIM mudelina, AST
Mnt 4 Topi – Ääsmäe	EP	2021	Projekteerida BIM mudelina, AST
Mnt 8 Tähetorni – Harku	PP	2021	Projekteerida BIM mudelina

Hankedokumentide BIM-i ja kolmemõõtmelisi mudeleid puudutavate punktide osad on aasta-aastalt läinud detailsemaks ja sisukamaks. Nt ei kohta 2015. a riigitee 2 Põltsamaa – Tartu 2+1 lõigu projekteerimisnõuetes kordagi lühendit „BIM“, vaid ainult 3D jooned, 3D pinnad, 3D mudel jms, mis ideeliselt vastavad madala detailsusastmega BIM mudelile, kuid seejuures ei mainita ega viidata ühelegi modelleerimist puudutavale dokumendile. Aina enam on modelleerimise rakendamist nõutud ka muudeks tarveteks kui visualiseerimiseks, milles seisnebki BIM-i kasutamise olemus. Pärast AST-i valmimist, on enamikes hangetes nõutud selle järgimist. Vähe ja/või puudulikult on mainitud või seletatud nõutavat BIM mudeli elementide detailsuse tasemeid. Viidatakse ka BIM standarditele, mis käsitlevad eelkõige hoonete ehitust ja sellega seotud detaile. Riigitee 11 Luige – Saku 2+2 lõigul järgiti BIM mudeli loomisel Rail Balticu juhiseid, kus LOD tasemed on suhteliselt põhjalikult nõutud ja seletatud (vt ptk 3.2.3).

### **3.2.2 Kohalikud omavalitsused**

Sarnaselt Transpordiametile on Tallinna Kommunaalamet ühe riigi suurima infrastruktuuriprojektide tellijana hakanud korraldama hankeid, kus on projekti tehnilises kirjelduses välja toodud ka BIM nõudeid. Infomudeli koostamise nõudeid on märgitud nt 2017. aastal Suur - Sõjamäe tn (Kesk-Sõjamäe tn - J. Smuuli tee) ja Suur-Sõjamäe põik tn rekonstrueerimise põhiprojekti kirjelduses, kus infomudeli koostamise nõuded on esitatud eraldi dokumentides eraldi lisana. Nõutud on nii graafiline kui ka andmesisu osa. On mainitud, et mudelid koostatakse eel- ja põhiprojekti staadiumi detailsuse ning andmesisuga, kuid seejuures on märgitud, et mudeli täpsusklass, sisu ning geomeetiline esitus määratakse teistes juhendmaterjalides, millele täpsemalt viidatud ega täpsustatud ei ole. Seega ei ole projekterijal ning modelleerijal nende dokumentide põhjal millestki lähtuda.

### **3.2.3 Rail Baltica**

RB Rail AS on oma veebilehel avaldanud 2019. aastal koostatud dokumendi "Full BIM Guidelines Package". Nimetatud dokument ja seda toetav dokumentide, vormide ja mallide ökosüsteem kirjeldavad ja pakuvad BIM-i strateegilisi protsesse ja töövooge, mida nii Rail Baltic kui ka tarneahel peavad järgima projektide elutsükli jooksul. See ökosüsteem on reaajas dokumentatsioon, mis areneb projekti käigus. On märgitud, et selle juhendmaterjali dokumentatsiooni tuleb kasutada kõigi projektietappide jaoks ning see on mõeldud BIM-i rakendamise raamistiku määratlemiseks igas konkreetse projektifaasis. Dokumendi üldised eesmärgid on seatud kasutamaks maksimaalselt BIM meetodi kasutamisega kaasnevaid eeliseid ja kõrgemat efektiivsust projekti haldamiseks kogu projekti jooksul, sh ka pärast ehituse lõppu.

Modelleerimise aluseks on RB Rail AS samuti loonud dokumente, manuaale ja juhiseid, mida töövõtjad projekteerimisel ja BIM modelleerimisel aluseks võtma peavad. BIM Manual kirjeldab üksikasjalikult iga projekti etapi ülesandeid, nii geomeetrilise kui ka andmesisu (LOG, LOD) nõutavaid detailsusi etapi ja taseme kaupa, andmesisu seletusi, tarkvaralisi nõudeid, töövoos nõudeid, dokumentatsiooni jms. Lisaks on dokumendi kohaselt osapoolte vaheliseks suhtluseks ja märkuste esitamiseks soovituslik (ptk 18.4) kasutada BCF formaati selle tõhususe ja ajaressurssi säästvate võimaluste tõttu, mis aitab oluliselt lihtsustada osapoolte vahelist kommunikatsiooni.

Kuna see dokument on väga mahukas (170 lk), on lisaks loodud ka lühemaid ning konkreetsemad juhiseid lihtsustamaks projekterijate ja modelleerijate orienteerumist töö jaoks vajamineva info leidmiseks. Rail Balticu projekteerimis- ja ehitusinformatsiooni haldamise juhendis on suhteliselt detailselt välja toodud

modelleerimisel kasutatavate geomeetriliste täpsuste LOG 200 – LOG 500 kirjeldused, millele kõik projektis loodavad ja kasutatavad mudelid vastama peavad. Samas käsitleb dokument vaid mudelit tervikuna, jättes selgitamata osamudelite ning elementide täpsemaid detailsuste kirjeldusi, mis võib modelleerijale ja töövõtjale siiski segadust tekitada. [9]

### **3.2.4 Tallinna lennujaam**

Tallinna Lennujaama lennuliiklusala arendusprojektis olid BIM mudeli nõuded esitatud nii eelprojektile kui ka tööprojektile. Töövõtja ülesandeks määrati täiendada eelprojekti BIM koondmudelit tööprojektide tegemise käigus. Eraldi mudeli detailsusele suunatud nõudeid dokumendis määratud ei ole, kuid BIM mudelite loomist nõuti paralleelselt tööprojektidega selliselt, et:

1. Erinevad projekteeritavad objektid (hoone, tehnovõrgud, aed, jne) koondatakse ühte koondmudelisse, kus viiakse läbi konfliktide kontrollid (*clash control*);
2. BIM mudelis on kajastatud ka ajutised ehitised, seadmed ja tehnovõrgud;
3. BIM mudelis on võimalik läbi mängida vastava vaheetapi põhitööde kulgemine paralleelselt toimiva lennuliiklusega (mudelit kasutatakse tööde planeerimise abivahendina) ning kontrollida, et vajalikud tehnovõrgud on õigeaegselt rajatud.

Valminud mudel peab võimaldama saada mudelist infot kõigi ehitatud elementide kohta (materjalid, läbimõõdud, kõrgused jms). Mudeli loomise eest vastutaval ettevõttel ja inseneril oleks sellisel juhul kasulik, kui oleks määratud konkreetne nõutav detailsuse tase ning juhend, kus sellised tasemed defineeritud on.

## **3.3 LOD – *level of development***

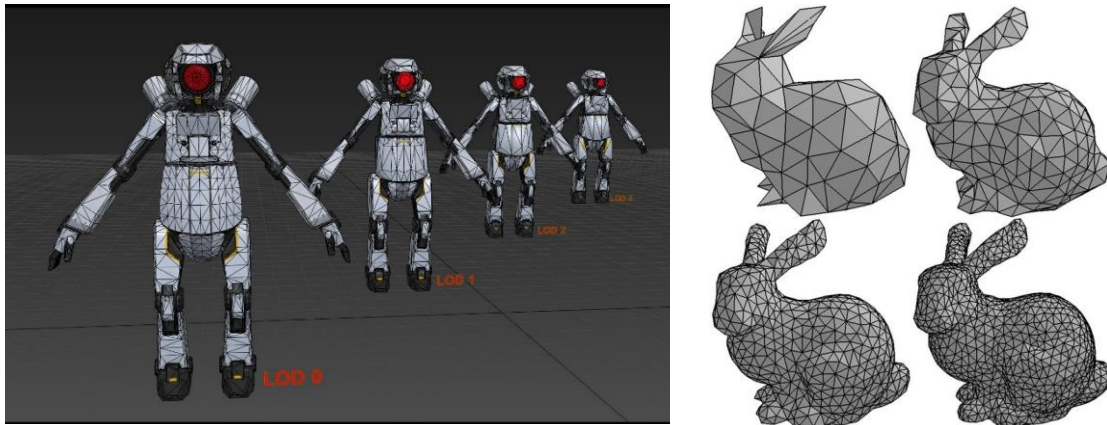
### **3.3.1 LOD mõiste**

BIM-i struktuuri loovad mitmed põhikomponendid, mida tähistatakse ehituselementidena. Olulised küsimused, millele tuleb vastata enne BIM-projektide algust on: milliseid ehituselemente, millistest valdkondadest (tee, drenaaž, valgustus jms) millisel ajal arendada ja mis tasemel? [10]

LOD-tasemed kirjeldavad BIM-mudeli elementide arendusprotsessi alates ebamäärasest kontseptsioonist kuni täieliku täpsuseni. Esialgne BIM-mudel on välja töötatud projekteerimisparameetritega, et väljendada professionaalide projekteerimiskavatsusi alates joonduse määramisest kuni konstruktsiooni- ja mehaaniliste projekteerimisinstituutideni. Projekti kasvades esitatakse konstruktsiooniobjektid

täpsemate geomeetria ja vajaliku teabega, et toetada täpsemaid analüüse ja projekte. [11]

Sarnase sisuga mõistet kasutatakse ka arvutigraafikas näiteks animatsioonide ja videomängude loomisel. Detailsuse tase (LOD) viitab nendes protsessides samuti 3D-mudeli esituse keerukusele. Detailsuse taset saab vähendada, kui mudel liigub vaatajast eemale või vastavalt muudele mõõdikutele muutub vaatepunkti suhteline kiirus või asukoht. LOD-tehnikad suurendavad arvutite renderdamise tõhusust, vähendades graafikakaartide töökoormust (Pilt 1). Mudeli halvenenud visuaalne kvaliteet jääb vaatajale sageli märkamatuks, kuna sellel on väike mõju objekti välimusele, kui see on kaugel või liigub kiiresti. [12]



Joonis 6, LOD elemendi tasemed arvutifgraafikas. (Arm Developer, 2021)

Ameerika Arhitektide Instituudi andmetel kirjeldab LOD igas etapis projekteerimisnõudeid. LOD 100 juures, mis on projekteerimiseelne etapp, koosneb mudel kahemõõtmelistest sümbolitest ja massidest, mis tähistavad elemendi olemasolu. LOD 200 juures on elemendid osaliselt määratletud, kirjeldades nende ligikaudset kogust, suurust, kuju ja asukohta. LOD 300 järgi on elemendid määratletud täpsete mõõtmetega ja nende suhtelise asukohaga, mis suurendab täpsust. LOD 350 kirjeldab täpselt teavet elemendi kohta ning kirjeldab elemendi seost ja seost teiste komponentidega. LOD 400 tase toob välja põhiteabe erinevate elementide ehituse kohta. LOD 500 järgi hakkab mudel esindama elementide tegelikke funktsioone reaalses ehitusobjektis. Järgnevalt on seletatud kõik LOD tasemed detailsemalt:

- LOD 100 – kontseptuaalne

Mudelitelementi võib mudelis graafiliselt kujutada sümboli või muu üldise kujutisega. Mudelitelementiga seotud teavet saab tuletada teistest

mudelitelementidest. Kõiki LOD 100 elementidest tuletatud teavet tuleb pidada ligikaudseks.

- LOD 200 – ligikaudne geomeetria

Mudelitelement on mudelis graafiliselt kujutatud üldise süsteemi, objekti või komplektina koos ligikaudsete koguste, suuruse, kuju, asukoha ja orientatsiooniga. Kõiki LOD 200 elementidest tuletatud teavet tuleb pidada ligikaudseks.

- LOD 300 – täpne geomeetria

Mudelitelement on mudelis graafiliselt kujutatud konkreetse süsteemi, objekti või komplektina koguse, suuruse, kuju, asukoha ja orientatsiooni poolest. Mudelitelemendile võib lisada ka mittegraafilist teavet. Projekti asukoht on määratletud ja element paikneb täpselt projekti lähtekoha suhtes.

- LOD 350 – täpne geomeetria koos seostega

Mudelitelement on mudelis graafiliselt kujutatud konkreetse süsteemi, objekti või komplektina koguse, suuruse, kuju, asukoha, orientatsiooni ja liideste osas teiste hoonesüsteemidega. Mudelitelemendile võib lisada ka mittegraafilist teavet ehk andmesisu. (Taset kasutatakse teedeehitusel minimaalselt ja käesolevas töös seda ei käsitleta.)

- LOD 400 – tootmisvalmis geomeetria

Mudelitelement on mudelis graafiliselt kujutatud konkreetse süsteemi, objekti või komplektina suuruse, kuju, asukoha, koguse ja orientatsiooni poolest koos detailide, valmistamise, kokkupaneku ja paigaldusteabega. Mudelitelemendile võib lisada ka mittegraafilist teavet.

- LOD 500 – kasutuses/*as-built* mudelid

Mudelitelement on välikontrollitud representatsioon suuruse, kuju, asukoha, koguse ja orientatsiooni osas. Mudelitelementidele võib lisada ka mittegraafilist teavet. [13]

Taani ettevõtte BIMinfra on otsustanud LOD (*Level of Development*) LOD-DK jaoks kasutada Taani standardit. See spetsifikatsioon on BIM Forumi välja töötatud Taani adaptatsioon, mis põhineb Ameerika LOD standardil. Dokument käsitleb põhjalikult infraehituses tehtava modelleerimise detailsuseastmed koos asjakohaste näidetega.




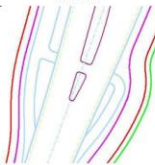
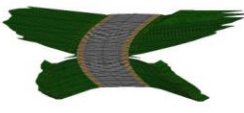

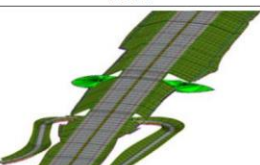
BIMinfra on otsustanud kaasata Ameerika LOD-standardi teatud aspektid, mida LOD-DK-s ei ole. Standard koosneb kolmest osast:

- Usaldusväärsuse tase (LOR – *Level of Reliability*), mudeli õigsus ning LOG ja LOI usaldusväärsus
- Geomeetria tase (LOG – *Level of Geometry*), mudeli graafilise geomeetria detail
- Teabe tase (LOI – *Level of Information*), mudelis sisalduv teave.

Lühend LOD sisaldab endas nii geomeetria kui ka mittegraafilise teabe sisu. [14]

$$\text{LOG} + \text{LOI} = \text{LOD}$$



LOG 100	LOG 200	LOG 300	LOG 325	LOG 400
 <p>2D model of the corridor. All necessary road elements to be provided as 2D lines.</p>	 <p>3D model of the standard layout for the road corridor without greater adjustments.</p>	 <p>3D model of the road corridor including signatures, curbs, paving, all layers of substructure and connections to exiting terrain. The corridor must be designed with superelevation and detailed design for ditches. Intersecting roads must be modelled in the same detail as the designed road. At intersections it must be cut, so that the designed road and the intersecting road fits together in terms of both lines and surfaces.</p>	 <p>3D model of the road corridor including slope signatures, curbs, paving, all layers of substructure and connections to exiting terrain, interfacing structures and transitions in leveling. The corridor must be designed with superelevation and detailed design for ditches. Intersecting roads must be modelled in the same detail as the designed road. At intersections it must be cut, so that the designed road and the intersecting road fits together in terms of both lines and surfaces.</p>	Not relevant
LOI 100	LOI 200	LOI 300	LOI 325	LOI 400
DDA Layers Geometrical parameters.	DDA Layers Geometrical parameters.	Pending	Pending	Pending

Joonis 7. BIMinfra.dk teemudeli detailsusastmed. [14]

### 3.3.2 LOD kasutamine projektlahenduse planeerimisel

Norra Teaduse ja Tehnoloogia Ülikooli ning Norra Avaliku Ehituse ja Kinnisvara Direktoraadi koostöös valmis 2017. aastal analüüs, kuidas LOD tasemeid saaks kasutada projektiga seotud otsustuste planeerimisel. Kuna Norras on võrreldes Eestiga ehitusinfo modelleerimine ja sellega seotud tavad mõnevõrra kiiremini arenenud, võib eeldada, et uurimuses käsitletud probleemid on Eestis aktuaalsed ka täna.

Uurimisrühm võttis aluseks 4 erineva loomuga projekti: Oslo lennujaama liiklussõlm, 20 luksuskorterit, 1300 korterit ja Bergeni Kaunite Kunstide ja Muusika Kool (BKMK).

Uuringus võeti eesmärgiks vastata kolmele uurimisküsimusele:

### 1) Kuidas kavandatakse täna projektialaseid otsuseid?

Praegune praktika ei sisalda projekteerimisprotsessi iteratsioonide plaane enne mudeli loomise kava osas otsuste tegemist. Projektimeeskond võib loomeprotsessis jätta vahele iteratsioonid, mis võiksid anda lisaväärtust.

Tulemused näitasid, et enamikul uuritud juhtudel puudub eraldi otsustuskava, kuid otsuseid kontrollitakse kasutades muid plaane, nagu põhigraafik, kavandamise ajakava ja tegevuskava. Otsustusplaan on protsessi jaoks ülioluline ja ehitusprotsessi tulemust võib näha kõigi ehitusprotsessi jooksul tehtud otsuste lõpliku tulemusena. Seetõttu võib oletada, et otsustusplaan on projekti edu saavutamise tõenäosuse suurendamiseks hädavajalik.

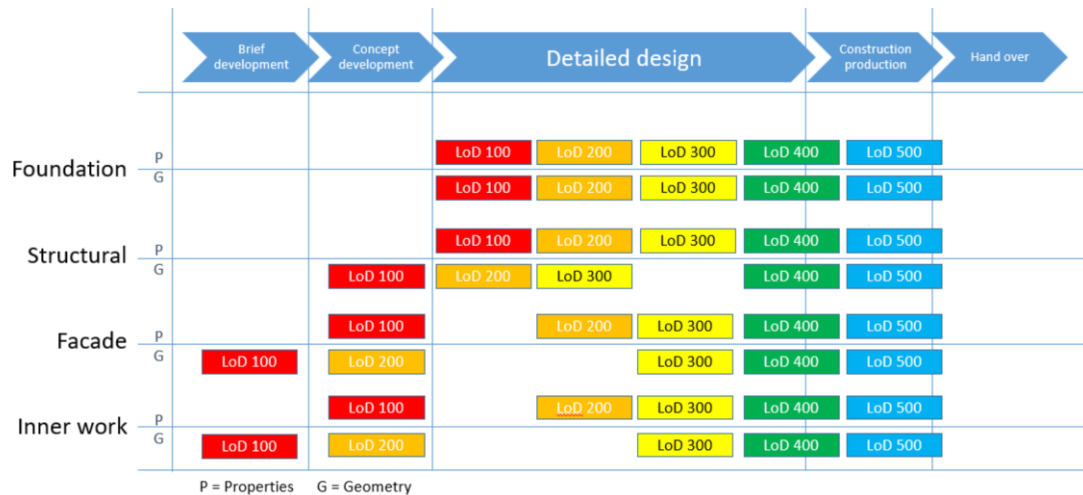
### 2) Millised on peamised väljakutsed projekteerimisprotsessis otsuste planeerimisel?

Artiklis esitatud uuringud näitavad, et otsustusvõime ja selle lihtsustamiseks loodud süsteemi puudumine on projekti kulgemise protsessi peamine väljakutse. Selle põhjuseks võib olla konkreetse otsustusplaanide puudumine. Jättes kavandamata mudeliarendust puudutavaid otsuseid, jäävad ettevõtted projekti edu saavutamiseks sõltuma headest projektijuhtidest. See võib olla ka üks põhjuseid, miks ehitussektoril on raske tagada kõrget tootlikkust.

### 3) Milliseid algatusi saab teha, et parandada otsuste planeerimist projekteerimisprotsessis?

BIM-töövoog loob võimaluse uutele tööviisidele. Õppimine teistelt BIM-i kasutavalt tööstustelt, näiteks avamereehitus, võib potentsiaalselt parandada ehitussektori tootlikkust. BIM-i põhise otsustusplaanide kasutamine võib aidata osapooltel otsustusprotsessi kontrollida, parandada arusaamist kavandatavast ehitisest ja teha otsuseid väiksema riskiga muutusteks.

LOD-taseme arengu teoreetiline kontseptsioon võib aidata kaasa otsuste struktureerimisele. Varem kirjanduses esitatud tarnemaatriksid on üksikasjalikud ja mitte väga visuaalsed. Seetõttu on pilootuuringu põhjal välja pakutud otsustusplaanide esialgne kontseptuaalne mudel:



Joonis 8. Uurimisgrupi välja töötatud LOD planeerimise mudel. [10]

Projekteerimistegevus teostatakse vastavalt pakutud protsessimudeli etappidele. Varajases etapis, milleks võib olla nt eskiis, kasutatakse madalaid detailsuse tasemeid vaid etapi jaoks vajalike elementide ja kontseptsiooni loomiseks, mis teede puhul oleks võrreldav nt tee pealispinna (katendi) ja nõlvadega ja nende visualiseerimisega. Iga järgneva etapiga lisatakse üha detailsemaid elemente rohkematele ehituselementidele (teede puhul nt täitematerjalid ja liikluskorraldus), mis lõpuks moodustavad koondmudelina detailse projektlahenduse koos kõigi vajalike elementidega ja vastava informatsiooniga.

Projekteerimistegevus teostatakse esitamistähtaegadega lõppevate kastide ajavahemikus. Iga kasti värv illustreerib iga elemendi LOD-taset. Ühises BIM-koondmudel is peaks see olema tähistatud sama värviga, toimides illustreeriva planeerimisvahendina. Plaan on kontseptuaalne mudel ja illustreerib, kuidas protsessi saab LOD-ga struktureerida. Selle projektis kasutamiseks peavad projektijuhid kohandama plaani vastavalt konkreetsetele esitamistele ja projekti etappidele. LOD otsustusplaani kavandatav mudel võib aidata lahendada probleemi, mis on seotud sobiva projekteerimise struktuuri puudumisega. [10]

### 3.3.3 LOD rakendamine ehitise kasutusea kulude hindamisel

Quebeci ülikooli tehnoloogiainstituudi ja Montreali polütehnikumi koostöös 2017. aastal valminud uuringus loodi ning tutvustati meetodit ehitise kasutusea jooksul tekkivate kulude hindamise automatiseerimiseks ja tõhustamiseks. Kuigi dokument käsitleb eelkõige hoonete projekteerimist ja ehitust, saab mitmeid välja toodud murekohti ja lahendusi rakendada ka infraehituse valdkonnas.

Selle asemel, et keskenduda ainult esialgsele ehitusmaksumusele, tähtsustavad projekti sidusrühmad üha enam rajatise jooksvat väärtust ja kulu ka peale ehitustegevuse lõppu. See loob vajaduse hinnata tulevase projekti keskkonnamõjusid, kuid praeguse elutsükli hindamise tulemuste väljendamise viisiga võib olla seda mitteeksperdil raske mõista. Lisaks nõuab sellise hindamise läbiviimine palju ressursi. Seetõttu kasutatakse elutsükli hindamise tööriistu harva. Meetod tutvustab uut andmekihti ja vormingut, mis võimaldab paremini automatiseerida kasutusea kulude hindamise protsessi ja hõlbustada asjakohase mudeli muutmisega seotud tegevusi kogu hoone projekteerimisprotsessi vältel.

Ehitise võimalike keskkonnamõjude hindamiseks kasutatakse ehitustööstuses kasutusea jooksul tekkivate kulude hinnanguid. Neid kasutatakse tänapäeval harva terve rajatise keskkonnamõjude hindamiseks. Seda peamiselt seetõttu, et see nõuab palju üksikasjalikku teavet käsitsi sisestamiseks, mis võib olla väga aeganõudev. Prognoosi läbiviimiseks nõutav minimaalne andmete tase on iga olulise materjali kogused, mis on hoone jaoks vajalikud, samuti hoone käitamiseks kuluv energia. Selle arvutuse teostamiseks võiks peamise teabeallikana kasutada üksikasjalikku BIM-mudelit. Seda seetõttu, et 3D-mudel on teaberohke ja vajalikke andmeid on suhteliselt lihtne numbrilisel kujul eksportida. Kuigi infomudelist on andmeid lihtne vajalikul kujul koondada, on väljakutseks see, et kasutuseaga seotud kulude arvutused nõuavad andmete tõlgendamiseks sageli eksperti ja tulemuste võrdlemine sarnaste projektidega võib osutuda keeruliseks.

Pakutud meetodi üldeesmärk on teostada automaatselt kasutusea jooksul tekkivate kulude arvutused varakult, st BIM-mudeli arendamise esimesel tasemel (LOD 100), et võimaldada arvutusi lihtsamalt värskendada kogu BIM-mudeli arengu jooksul. Selle eesmärgi saavutamiseks nõuab pakutud lahendus mitmete väljakutsetega arvestamist, millega projekteerijad täna kogu ehitise ehitusjärgsete kulude arvutuste läbiviimisel silmitsi seisavad. Esiteks peaks ideaalne meetod minimeerima käsitsi sisestamise. Samuti peaks arvutamisel kasutatud mudelit olema hoone projekteerijal lihtne mõista, muuta ja uurida. Järgmisena tuleks see arvutuseks kasutatav mudel siduda BIM-mudeliga, kuid ei tohiks tehtavate muutuste korral BIM-mudelit automaatselt muuta. See omadus võimaldaks projekteerijal katsetada paljusid lahendusi, ilma et see mõjutaks tema esialgset lahendust. Nende kasutusomaduste saavutamiseks on pakutud lähenemisviisiks jaotada kasutusea kulude arvutuseks rakendatav mudelmeetod kaheks osaks: 1) genereerida protsessipuu struktuur ehk andmetabel, mida nõuab kulude arvutus; ja 2) täita andmelünk, et sooritada arvutus projekteerimisetapile vastavas mudeli staadiumis (nt LOD100).

Pakutav meetod seob kasutusea kulude arvutamise BIM mudeli ja kasutatava LOD tasemega, võimaldades prognoose läbi viia varajases projektistaadiumis neid täiendades kogu mudeli arengu jooksul. Meetod puudutab eelkõige mudeli andmesisu puudutatavat poolt, mis lisaks elementide kirjeldustele, kogustele ning nende põhjal ehituseks tehtavale mahuarvutusele kasutab sarnast protsessi ka kogu kasutusea jooksul tekkivate kulude arvutamiseks vastavalt mudelielemendile. Kuna elementide hulk üldjuhul kasvab oluliselt koos LOD tasemega, kasutab mudel arvutuseks vastava LOD taseme raames loodud väliseid lähteandmeid, seega võimaldades hõlpsalt värskendada ka mudelipõhist kasutusea kulude arvutust jooksvalt detailsemaks ning täpsemaks. [15]

### **3.3.6 BIM mudeli elementide lõikumised**

Projekteeritud elementidevaheline lõikumine tekib, kui kaks või enam projekti elementi asuvad samadel kolmemõõtmelistel koordinaatidel. Ehitusinfo modelleerimises on lõikumiste tuvastamine tehnika, mille abil tehakse kindlaks, kas, millisel määral, kus või kuidas kaks mudelielementi (nt äärekivi, asfalt jne) üksteisega lõikuvad. [16]

Traditsiooniliselt kasutavad projekteerijad ülekattega jooniseid, tuvastades lõikumisi käsitsi. Selle meetodi kasutamine toob kaasa palju lõikumisi erinevate elementide vahel projektide elluviimisel, mis nõuavad nende lõikumiste ja vigade lahendamiseks palju aja- ja ressursikulu. See nn traditsiooniline meetod ei võimalda kokkupõrkeid varakult avastada, eriti 2D CAD-jooniste kasutamisel. [17] On olemas kolme tüüpi lõikumisi:

#### **1. Hard clash**

*Hard clash* ehk tugev lõikumine tekib siis, kui kaks või enam komponenti hõivavad sama ruumi või segavad üksteist. Näiteks truubi paigaldamisel tee muldesse, läbib truup eelnevalt modelleeritud muldematerjali ning nende vahel tekib tugev lõikumine.

Tugevate lõigete tuvastamine toimub geomeetriapõhiste ja reeglipõhiste algoritmide alusel, mis on manustatud BIM-elementidele.

#### **2. Soft clash**

*Soft clash* ehk pehme lõikumine näitab, et objektile ei ole projekteerimisetapis antud piisavaid geomeetrilisi tolerantse või selle puhvertsooni ehk kuja ei ole tagatud. Näiteks, kui viaduktialuse tee ja viadukti alumise tekiplaadi vaheline gabariit on liiga väike, on tegu pehme lõikumisega.

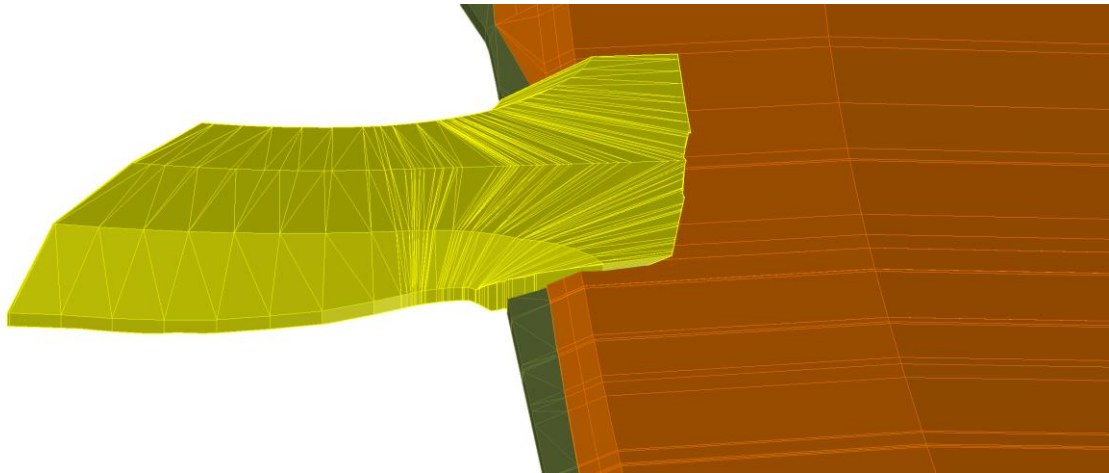
Pehmete lõikumiste tuvastamiseks tuleb BIM-objektile esitada asjakohaseid objektiga seotud gabariidi ja kujade nõudeid lähtuvalt kehtivatest ehitusstandarditest ja nõuetest.

### **3. Duplicate**

*Duplicate clash* tekib, kui kaks identset samade koordinaatide ning ühe mahuga mudeli elementi paiknevad korraga mudelis. Näiteks on liiklusmärgi post dubleeritud ja seda esineb mudelis topelt. Duplikaatlõikumist võib olla visuaalselt raske tuvastada ning seda üldjuhul ei tuvastata ka tugevate lõikumiste kontrollis, mistõttu tuleks selliste lõikumiste tarbeks läbi viia eraldi parameetritega kontroll.

Võimalik on kategoriseerida ka 4D *clash*-e. Need hõlmavad lõikumisi töövõtja ajakava, seadmete ja materjalide tarnimise ning töövoogu üldiste ajakava konfliktidega. Erinevalt tugevatest ja pehmetest lõikumistest tulenevad 4D-kokkupõrked interdistsiplinaarsete tegevuste ajakavade kokkupõrgetest, mis lõpuks vähendavad kogu ehitusettevõtte efektiivsust. Sellised lõikumised eeldavad ka aja dimensiooni mudeldamist, mida käesolev töö ei käsitle. [18]

Lõikumiste tuvastamine 3D mudelitel võimaldab täpsemaid mahuarvutusi ning vältida võimalikku ülekulu. Infraehitusel on üldjuhul suurimad elementide vahelised lõikumised põhitee ja ristuvate teede täitematerjalide vahel (joonis 6). Igas BIM nõudeid sisaldavas projektis tuleb enne modelleerimise algust määrata lõikumiste tolerantsid igale osamudelile ja osamudelite vahelistele lõikumistele. St kui palju on lubatud kahel kattuvatel mudelielemendil lõikuda. Nt ei ole mõistlik kaevemahtude tolerants määrata väga väikeseks, sest see maht on üldjuhul maapinna ja selle kihtide ebakorrapärasuse tõttu niigi ebatäpne. Seejuures rajatise ja seda ühendatavate teede puhul saab eeldada väikest tolerantsi, sest projekteerimisel ja ehitamisel arvestatakse täpsete mõõtmetega, mis võimaldab luua ka täpsemaid mudeleid ja nende alusel mahte. Samas iga lõikumist ei ole mõistlik eemaldada, näiteks liiklusmärgi või pörkepiirde posti ja katendikonstruktsiooni vaheline lõikumine ei vaja eemaldamist, sest post paigaldatakse alles pärast tee valmimist. Samas lõikumine posti ja äärekivi vahel võib näidata, et üks element on projekteeritud valesse asukohta.



Joonis 9. Lõikuvad tee (oranž, hall) ja mahaõidu (kollane) täitemudeli elemendid. Mahaõidu elemendist tuleks täpsemaks mahuarvutuseks lahutada tee elemendid.

## **4. TÄNASE OLUKORRA ÜLEVAADE**

### **4.1 Küsitlus projekteerijatele**

Küsitluse eesmärgiks seati projekteerijate senise praktika, taseme ja nägemuse väljaselgitamine ning saadud andmete põhjal analüüsi teostamine. See viidi läbi perioodil november 2021 kuni jaanuar 2022. Kokku oli esitatud 10 valikvastustega või avatud vormis küsimust, millest 3 vajasis olenevalt vastusest lisaküsimusi või -selgitusi. Küsitlus on täies mahus esitatud Lisas 1.

Et lisaks luua võrdlus erinevate ettevõtete tasemete vahel ning vajadusel küsida täiendavaid seletusi, paluti vastanutel sisestada tööalane e-posti aadress.

#### **4.1.1 Tulemused**

Kokku vastas 36 inseneri-projekteerijat 14 erinevast ettevõttest. Mitmes vastanud ettevõttes on spetsialiseeritud kas linnakeskkonnas või maanteede projekteerimisse, mis loob lisaks ka ülevaate erinevas keskkonnas tegutsevate ja erinevate tellijate (nt Transpordiamet vs KOV) projektidega tegutsevate inseneride praktika erinevuse osas.

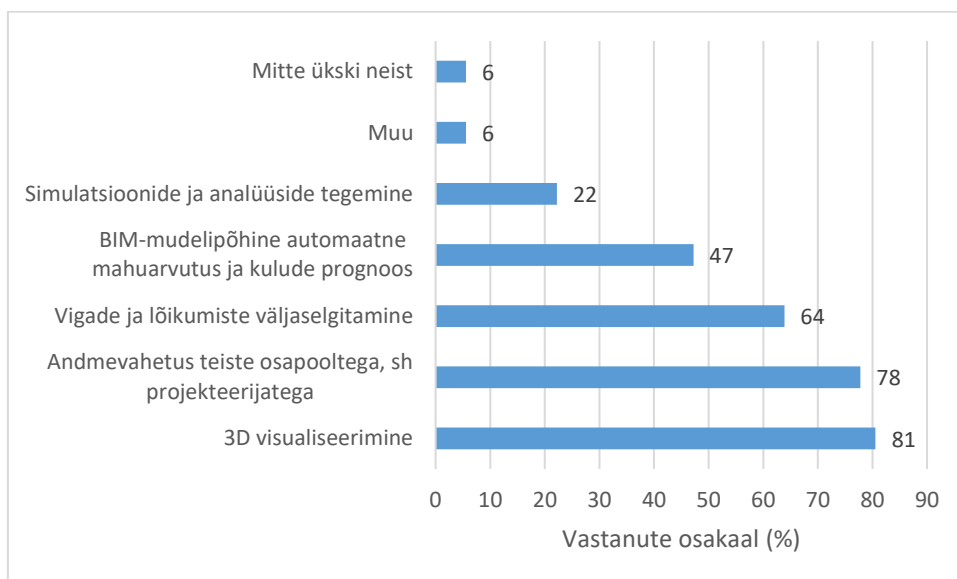
Konkurentsilt kasutatuim tarkvara, mida projekteerimisel kasutatakse, on Autodesk Civil 3D, mida kasutab igapäevatöös 89% vastanutest. Rohkem kui 2 vastanut kasutas ka Autodesk Navisworks ning Autodesk Infraworks tarkvara.

Kaks kolmandikku vastanutest on osalenud projektides, kus on olnud sees BIM mudeli koostamise nõue. Nendest levinuim projekt oli Rail Baltic ning sellega seotud teed, hooned, terminalid, rajatised jms, mille tellijaks on RB Estonia OÜ. Lisaks märgiti korduvalt Transpordiameti poolt tellitud projekte. Need on olnud ka viimaste aastate suurimate projektide tellijad ja infrastruktuuri projekteerimisel ning ehitamisel BIM-i arendamise, populariseerimise ja kasutamise eestvedajad.

Tavapärasel töös kasutavad BIM-i vaid 50% vastanutest, nendest 89% kasutavad seda tellija nõuete tõttu ning 56% töövoos automatiseerimiseks. Sellest tulemusest saab selgelt järeldada, et enamikul projekteerijatel puudub oskus BIM-i efektiivselt ning tulemuslikult rakendada töö lihtsustamiseks – eelkõige tehakse seda vaid seetõttu, et see on märgitud tellija nõuetes. Seda näitab ka tulemus, et ligi kolmandiku projekteerijate jaoks on vähese kogemuse ja puudulike tööriistade tõttu BIM-i rakendamine pigem lisanduv kohustus kui reaalne kasu. Võimekus erinevaid BIM-iga seonduvaid tegevusi teha jagunes järgnevalt:



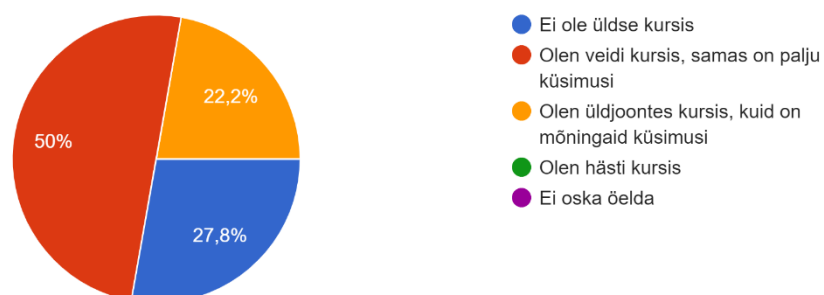
Tabel 2. Milliseid BIM-iga seotud tegevusi on teie ettevõtte tänasel päeval võimeline teostama?



Vastanutest 43% kasutab BIM standardeid või juhendeid. Peamisteks on Rail Balticu projektis kasutatavad juhised ja AST ehk tellija esitatavad juhendid.

LOD mõistega ei ole üldse kursis 28% vastanutest. 50% olid veidi kursis, kuid on palju küsimusi. 22% olid üldjoontes kursis, kuid oli mõningaid küsimusi. Vastust „olen hästi kursis“ ei valitud kordagi.

7. Millisel määral olete tuttav LOD ehk "level of detail" või "level of development" mõistega?  
36 vastust



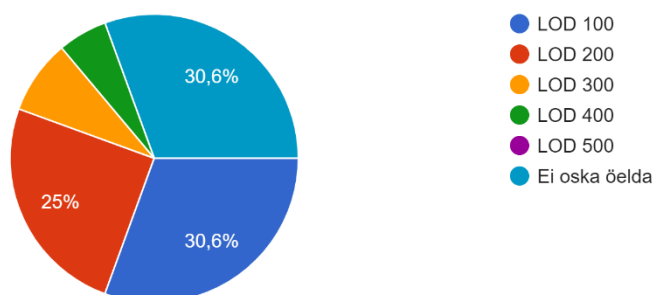
Joonis 10. Millisel määral olete tuttav LOD ehk „level of development“ mõistega?

Paluti määrata ka erinevate tee-ehituselementide LOD tasemeid: liiklusmärk, põrkepiire, tähispost, truubitoru, tee konstruktsioonikihid. Vastused olid pigem kaootilised ja selget mustrit välja ei joonistunud. Iga elemendi juures oli enim valitud vastus „ei oska öelda“. Täpsemad vastuste jaotused on toodud joonistel 10-15.

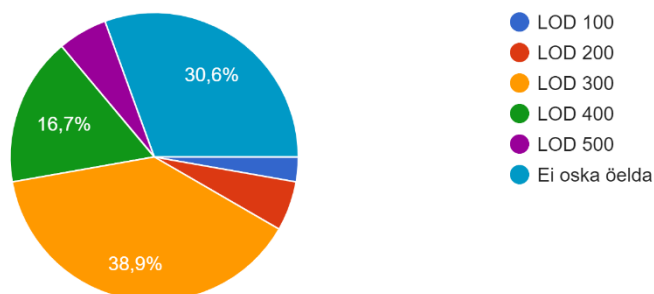
Tulemused näitavad, et enamikul on olnud kokkupuuteid nii BIM-i kui ka LOD tasemetega, kuid selle tegeliku sisu mõistmine on jäänud poolikuks või ebapiisavaks. Küsitluses esitatud elementide konkreetseid LOD tasemeid on täpselt raske hinnata, sest iga tellija ja töövõtja võib hetkel seda hinnata erinevalt ning täpsed üheselt mõistetavad tasemete omadused on reglementeerimata.

8. Järgnevalt on esitatud mõned teedeprojekti BIM-is mudeldatavad elemendid. Millisele LOD tasemele vastavad pildidel olevad osamudelid teie hinnangul?

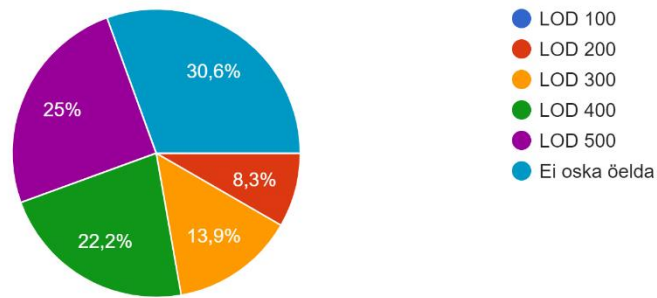
36 vastust



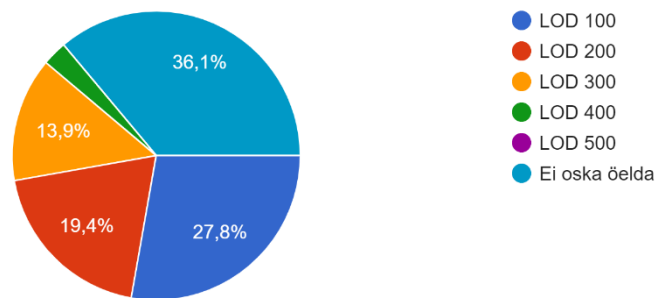
Joonis 11. Vähedetailse liiklusemärgi LOD taseme küsimuse vastuste jaotus.



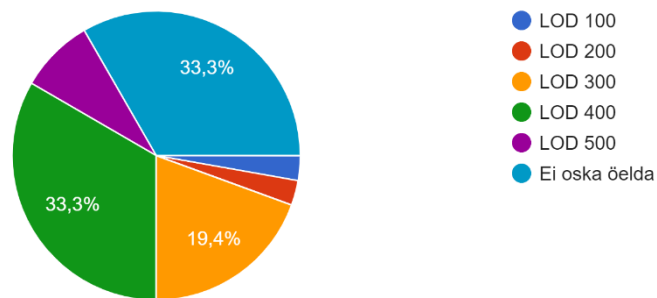
Joonis 12. Põrkepiirde LOD taseme küsimuse vastuste jaotus.



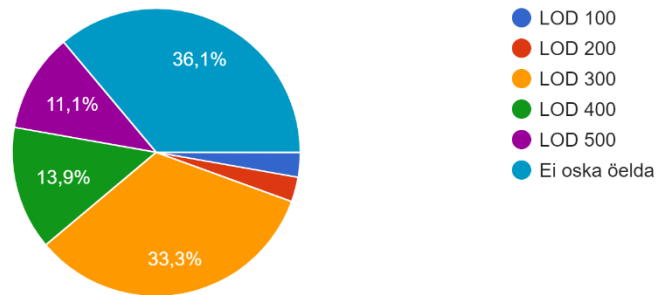
Joonis 13. Tähisposti LOD taseme küsimuse vastuste jaotus.



Joonis 14. Vähedetailse truubi LOD taseme küsimuse vastuste jaotus.



Joonis 15. Detailsema liiklusemärgi LOD taseme küsimuse vastuste jaotus.



Joonis 16. Detailsema truubi LOD taseme küsimuse vastuste jaotus.

Vastanutest 67% tunneb vajadust riigisiseste infrastruktuuri BIM standardite järele. Ülejäänud kolmandik ei oska öelda. Põhilised vajadust pooldavad selgitused mainisid, et tarvis on üheselt mõistetavaid aluseid ja standardit, mida modelleerimisel kasutada. See võimaldaks säästa aega ja ressursi vigade parandamisel, mis on tingitud osapoolte erinevast arusaamast. See kergendaks projektide-mudelite loetavust, tõstaks kvaliteeti ja kiirendaks taristuehitusel BIM-i arengut.

Põhjuseks, miks Eestis on BIM-i kasutamine taristuehitusel arenenud pigem aeglaselt võrreldes hooneteehitusega, toodi vähest varasemat nõudlust, mitteoskuslikku rakendamist, mistõttu on see lisatöö, vähe spetsialiste, ühtse juhendi puudumine, vähene motivatsioon areneda, kui tegeletakse projektidega, kus BIM-i ei ole nõutud või ei osata kasutada seda täie potentsiaaliga ära. Toodi ka välja, et kuna taristuehituse valdkond koosneb paljuski väikestest ettevõtetest, pole neil ressursi ega ka teadmisi kõiki vajalikke meetodeid ja tööriistu välja arendada. On vähe koolitajaid, kes pakuksid edasijõudnutele teadmisi ja praktilisi kogemusi, millega reaalselt tööalaselt edasi minna.

## 4.2 BIM-i rakendamise praktika tee-ehitusprojektides

### BIM Transpordiametis

BIM-i olemust võib defineerida erinevalt, kuid Transpordiameti jaoks on BIM graafiliselt kolmemõõtmeline mudelprojekteerimise protsess, kus mudel koosneb elementidest, millele on lisatud andmesisu. Sellega kaasneb haldamise suurenenud efektiivsus ja lihtsustatud suhtlus projektiga seotud osapoolte vahel. Selle tagamiseks on oluline, et mõisted ja tööprotsessid oleks üheselt defineeritud, vältimaks arusaamatusi, mis võivad osapoolte vahel tekkida.

## BIM-i võimekus

Kõikides projektides, mida Transpordiamet tänasel päeval tellib, alates rekonstrueerimistest ja taastusremontidest kuni ehitusteni, on nõutud rohkemal või vähemal määral BIM mudel. Erandiks on väiksemad projektid, nt bussipeatuste laiendused, teeületuskohad jms. Kuigi ehitusinfomudel on nõutud pea igas projektis, siis BIM-i asutusesisene rakendamine ei hõlma kõiki protsesse, mida see teoorias võimaldaks. See on konkreetsest projektijuhist, riist- ja tarkvaralistest võimalustest jms. Eraldi struktuuriüksust BIM-iga seotud ülesannetega ja arendustega tegelemiseks loodud ei ole. Ehituses on praegu BIM Transpordiameti jaoks teadmata määral rakenduses, sest see sõltub töövõtja (ehitaja) enda võimalustest ja initsiatiivist. Seejuures on koostöös ehitajatega ja teehoiu nõuandekogu digitaliseerimise komisjoniga loodud BIM mudelipõhiseid pilootprojekte rakendamaks BIM-i ka ehitusel, mille eesmärk on protsessi kokkuleppimine kõigi osapooltega, piloteerimine ning tulemuste põhjal suuremas osas üle minna BIMi-põhisele ehitusprotsessile.

Hetkel on arenduses ka Transpordiameti enda loodav mudelivaatur TEET (Teede Elukaare Infosüsteem), mis võimaldaks kõikidel projektiga seotud töötajatel teha vajalikud kontrollid, arvutused, märkused, analüüsid jms. Praegu käib asutusesisene mudelite kontroll manuaalselt, mida inimene teeb nõ oma silmaga visuaalselt, kuid automaatsed tööriistad on arenduses ning loodetakse vähemalt osa tööprotsesse automatiseerida. Vaatur võimaldab ka mudelipõhist BCF suhtlust, mille abil saab mudelisse lisada kommentaare, märkusi, fotosid, tehtud muudatusi jms, kuid hetkel seda praktikas väga ei kasutata. Põhjuseks toodi, et tarkvara on lõpuni välja arendamata, töötajaskond vajab koolitamist ja täielik üleminek on alles ees.

## Kasutatavad BIM standardid ja juhendid

Peamine dokument, mida BIM-i juures kasutatakse, on „Avaliku sektori tellijate ühiste BIM nõuete juhend“, kuid ka see on saajaprotsendiliselt rakendamata ning üleminek juhendipõhisele tööle on veel pooleli. Põhiline eesmärk on liikuda täienenud nõuete suunas, kuid kuna partnerite ja seotud isikute ring on suhteliselt lai ning teema on küllaltki uus, siis võtab see protsess aega. Hetkel ei ole Transpordiamet ise tellinud ega kasuta kõikehõlmavat või ühtset BIM juhendit, kuid ühel hetkel on tulevikus taoline juhend vajalik ning plaanis ka luua. Leitakse, et riigisisised BIM juhendid/standardid on riigi ja turu väiksust arvestades lausa hädavajalikud, kuid kuna turuosalisel (sadamad, omavalitsused jne) ja Transpordiamet ise on kõikuvate tasemetega, oleks mõistlik standardite arendust alustada üldistest põhimõtetest ning seejärel minna alles detailsemaks, vältimaks osapoolte tasemete erinevustest tingitud probleeme.

### Asutusesisene mudelipõhine töökorraldus ja ülevaatus

Projektide ja mudelite ülevaatus on korraldatud selliselt, et kui töö teostaja / projekterija on edastanud töö tulemi, vaatab tellija esindaja ehk projektijuht teostatud töö läbi, kasutades kas Transpordiameti TEET vaaturit või mingit muud asjakohast tarkvara ning kaasates vastavalt vajadusele ka teisi spetsialiste. Protsessis automatiseeritud lahendusi ei kasutata. Hetkel esitatakse harva ülevaatauseks pooleliolevaid või vähese detailsusega mudeleid, vaid pigem juba lõpetatud mudelid, mida siis hiljem vajadusel korrigeeritakse, kuid on plaan tööde dubleerimise vältimiseks kasutada TEET vaaturit, kus tellija esindaja saab võimalikult vara asjakohast tagasisidet anda.

### Väljakutsed ning probleemid BIM-i rakendamisel

Kõige suuremad probleemid on olnud seotud kommunikatsiooni ning tõlgendustega nõuete ja lepingutingimuste osas. Vastuolusid tellija ja töövõtja vahel on tekkinud nõutavate mudelielementide osas, peamiselt teatud olemasolevate ja loodavate elementide modelleerimise vajadus, aga ka nende detailsusastme vajadus. Tavapärased, kuid mitte nii põletavad, on ka tehnilised takistused, nt kui kasutatud mudeliformaat ei ole kuvatav mingis tarkvaras. Lisaks toodi murekohana välja ka tagasiside saamine ja selle sisukus. Palju antakse üldist tagasisidet, kus tuuakse üldiselt välja negatiivseid kogemusi, kuid harva laskutakse tagasiside puhul konkreetsetesse detailidesse, mis töö käigus probleeme valmistasid või mida ebavajalikuks peeti. Nt on esitatud küsimusi erinevate teatud nõuete vajalikkuse osas, mida on tehnilistes tingimustes esitatud juba aastaid. Toodi välja, et selline tagasiside jõuab tihti Transpordiameti töörühmani ringiga, väga üldisena või hilja, kuid praktika käigus tekkiv sisukas tagasisidestamine oleks arenduste edukaks loomiseks vajalik võimalikult vara.

### Kasud ja edulood BIM-i rakendamisel

Seni üheks suurimaks kasuks on olnud projektijuhtide tagasiside põhjal graafiline pool, projekti loetavus, presentatsiooni lihtsustumine, projekti ja selle mudelite haldus ning loetavus. Automatiseeritud tööprotsesside puudumise tõttu ei ole andmesisu puudutavad kasud hetkel kuigi märkimisväärsed. Projektijuhid, kes on olnud aktiivselt kaasatud ning kellel on olnud ka isiklik huvi loodavate arenduste vastu, on arenenud märkimisväärse kiirusega, suurendades nii omakorda panust projektide ja ehituste kvaliteeti. Kuigi võiks eeldada, et praeguse üldise BIM-i taseme juures on loodavad mudelid lisatöö ja täiendav ressursikulu, siis on olnud ootamatult vähe tagasisidet, kus seda murekohana välja on toodud. Pigem ollakse entusiastlikud ning nähakse potentsiaali edasises efektiivsuse tõusus.

Enne Transpordiameti loomist oli Maanteeameti 2021-2024 strateegias BIM-i arengus seatud iga aasta kohta teatud eesmärgid: 2021 on kõik projektid BIM-is ilma andmesisuta, 2022 on saavutatud suutlikkus ehitus- ja teostusmudelit koos andmesisuga saada ja kasutada, 2023 on kogu projekteerimine BIM-is koos andmesisuga, 2024 on teatud hooldetegevused BIM-i põhiselt. Uue asutuse loomise tõttu BIM-i-alased ambitsioonid hetkel sellisel määral puuduvad, kuna puudub juhtkonna tasandil motivatsioon strateegiat ellu viia. Entusiasmi pealt on strateegiat edasi täidetud, kuid hetkel on progress kavast ligi aasta maha jäänud.

### **4.3 LOD rakendamise praktika tee-ehitusprojektides**

2022. a alguses võttis Transpordiamet prioriteediks tee-ehituselementide LOD graafilised nõuded defineerida. Selleks on loodud eraldi meeskond, kelle ülesandeks on komplekteerida vastavasisulised nõuded. Kavas on ka koostööd teha Rail Balticuga, kes on oma nõuded juba osaliselt defineerinud ning neid kasutab. Töös olevates projektides ja nende lepingutes ei ole LOG tasemeid defineeritud, vaid need on kokku lepitud projektimeeskondade sees. Seni ei ole üldjuhul erimeelsusi või konflikte see tekitanud, kuid on nenditud, et nende defineerimine oleks vajalik.

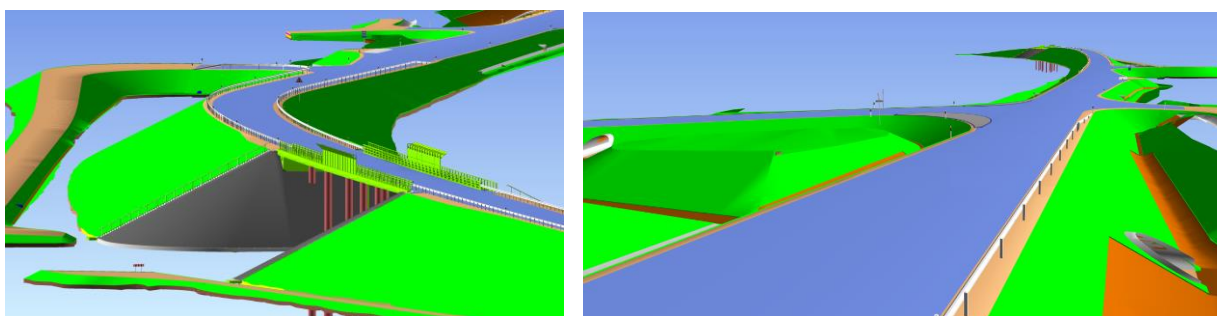
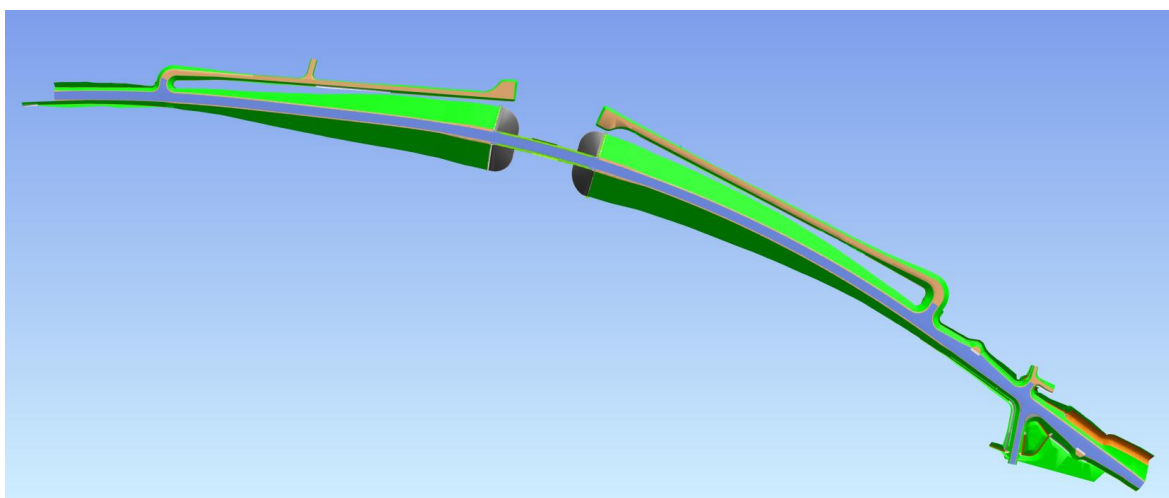
Andmesisu ehk LOI poolelt lähtutakse põhimõttest, et kogutakse andmeid, mida on tarvis. Täna hangetes esitatud esialgne *property set* ehk andmesisu atribuutide komplekt, millest on tekkinud ka uuem versioon. Käimas on ka asutusesisene andmesisu nõuete TOTT (Tee Olemi Tüübi Teegid) välja töötamine, mille raames käiakse üle varade struktuurid ja defineeritakse atribuudid, mida kasutatakse elukaare jooksul erinevate elementide puhul. Kasutusele loodetakse need nõuded esialgse versioonina võtta 2023. aasta jooksul.

Käesolevat tööd võib kasutada suunisenähtisena nende LOD nõuete defineerimisel ja sätestamisel.

## 5. ERI LOD TASEMETEGA BIM MUDELITE KOOSTAMINE NÄIDISPROJEKTILE

### 5.1 Projekti lühikirjeldus

Näidisprojektiks valiti Raplamaal projekteeritud V klassi kaherealise Rapla-Varbola kõrvalmaantee nr 20141 ja projekteeritava raudtee riste, kus sõidutee ületab raudteed viaduktiga. Teeregistri andmetel oli lõigul 2021. aasta AKÖL 994 a/ööp, millest sõidu- ja pakiautode osakaal oli 97%, veoautode ja busside osakaal 1% ning autorongide oma 2%. Prognoositav liiklus aastal 2043 on 1 118 a/ööp. Kuna projektlahendus sisaldab lisaks asfaltkattega põhiteele ka mitmeid mahasõite, kruuskatendiga teid, ristmikku, veeristeid, liikluskorraldusvahendeid, kahepaiksetele mõeldud takistusi jms, siis on võimalik sellel põhineva BIM-mudeliga näitlikustada mitmeid modelleerimisel kasutatavaid elemente.



Joonis 17. Näidisprojekti BIM mudeli graafiline osa.

### 5.2 Kasutatavad sisendid BIM mudeli koostamisel

Modelleerimiseks kasutati riste nii eskiisi kui ka põhiprojekti etapi Civil 3D tarkvara *corridor*-mudelit, mille oli varasemalt loonud projekteerija ning mida saab kasutada



sisendina BIM mudeli loomisel. Mudelipõhine mahuarvutus ja selleks vajalikud mahuraportid teostati Civil 3D laienduse Dynamo ning MS Exceli koostöös.

### **5.3 Osamudeliteks jaotamine**

Osamudeliteks jagamise loogika põhineb koondmahtude kategooriate ja ehituslike etappide jagunemisel. Selle põhjal jaotatakse eri mudelitesse kaevetööd, muldkeha ehitus, katendi ehitus, liikluskorraldusvahendid, truubid jms. Vastavalt projektlahenduse keerukusele, nõuetele ja kasutatavatele elementidele, mis eelnevalt nimetatud kategooriatesse ei sobi, on erilahenduse, suure failimahuga või spetsiifilise andmesisu atribuudi formaadiga, võib olla otstarbekas luua ka täiendavaid osamudeleid.

### **5.4 Eri LOD tasemega mudeldatud elementide võrdlus**

Alljärgnevalt tehtud ettepanekud LOD nõuetele on mõeldud iga taseme minimaalseks täitmiseks. Lähtutud on põhimõttest „nii vähe kui võimalik ja nii palju kui vajalik“, arvestades projekti staadiumite detailsuse astmeid. St, et madalamate tasemete nõuded kehtivad nt eskiisile, kõrgemad nt põhiprojektile. Mudeldatav element peaks võimaldama asjakohast mahuarvutust ehk ühikuna loetav element ei tohiks koosneda mitmest erinevast mudeliosast. Madalamate LOD tasemete korral tuleb valik 3D *solid*-i ja pinna vahel tuleb langetada tellija ja/või modelleerija koostöös vastavalt töökorralduslikele vajadustele. Ühtlasi võib olenevalt vajadusest määrata ka ühe projekti erinevatele osamudelitele erinevad LOD tasemed. Väljapakutud tasemete näited ja kirjeldused kehtivad ka teistele elementidele, mida töös näiteks toodud ei ole.

#### **5.4.1 Pinnasetööd**

##### **5.4.1.1 Kaevetööd**

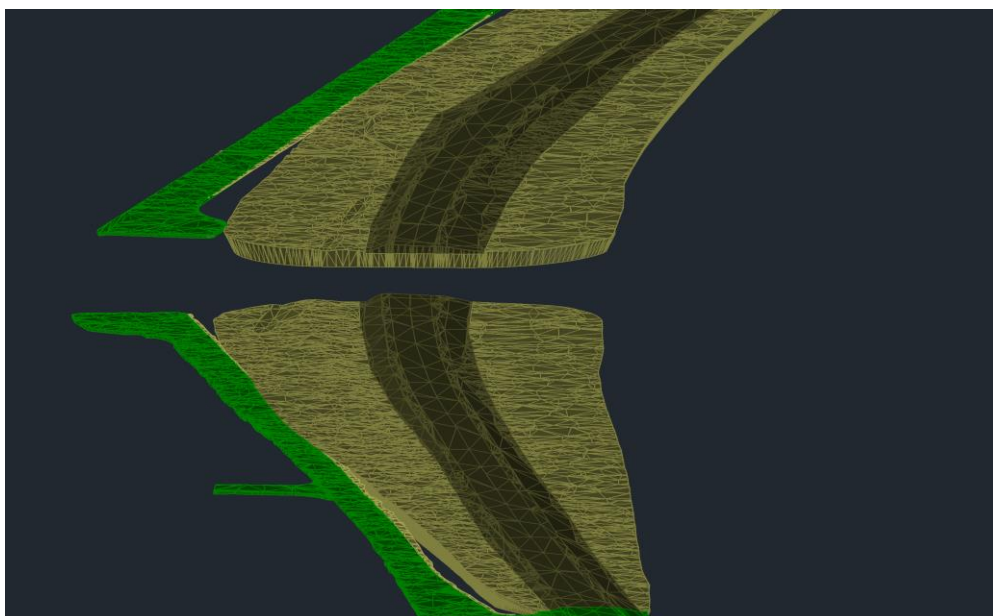
Kaevetööde mahtu on pinnase kihtide, kasvupinnase ebatasasuse ja olemasoleva maapinna mudeli ning geoloogia ja puuraukude võimaliku ebatäpsuse tõttu keeruline täpselt arvutada võrreldes näiteks katendis kasutatavate materjalide mahtudega. Puuraukudega määratud keskmine kasvupinna sügavus võib oluliselt erineda projektala lühikese lõigu ulatuses. Seetõttu ei ole mõistlik üldjuhul määrata kaevetööde LOD tasemetes kõrgeid geomeetrilisi täpsusnõudeid. Küll aga oleks tarvis määratleda eri LOD

tasemete mõistlikke lõikumiste tolerantse ning ruumilist klappivust teiste osamudelitega.

**LOD 100** – kaevetöid ei mudeldata.

**LOD 200** – kaevemudeli elemendid võivad olla nii kolmnurkpinnad kui ka 3D *solid*-id. Olenevalt nõuetest võib jätta ka mudeldamata. Muldes olevate teede puhul piisab kasvupinnase koorimise mudeldamisest määratud kaevepõhja sügavuseni. Süvendis olevate teede puhul peab olema võimalik määrata konstruktsiooni alumise pinna kaudu vajalik minimaalne kaevesügavus. Kaeve mahuarvutus teostatakse kas kasvupinnase kaevepõhja ja maapinna vahel või konstruktsiooni alumise pinna ja maapinna vahel. Mudeldatud kaeveelemendid peavad järgima üldisi tee geomeetrilisi piire. Elementidele ei ole lisatud andmesisu. Taset kasutatakse nt eskiisi visualiseerimisel.

**LOD 300** – kaevemudeli elemendid esitatakse 3D *solid*-itena. Mudeldatakse lisaks kasvupinnase koorimisele ka kõik muud täiendavad vajalikud kaeved selliselt, et mudeli põhjal on võimalik arvutada kogu kaevetöödeks vajalikku mahtu. Kaeveelementide asukoht paikneb täpselt projekti lähtekohta suhtes. Elementidele võib lisada ka andmesisu.



Joonis 18. LOD 300 taseme kaevemudel. Tumepruuniga on mudeldatud vana muldkeha kaeve ja planeerimine.

**LOD 400** – kaevemudeli elemendid esitatakse 3D *solid*-itena. Mudeli graafiline osa vastab LOD 300 tasemele, kuid lisaks peab mudel sisaldama kogu ehituseks vajalikku informatsiooni, mis esitatakse lisatud andmesisu atribuutidega.

**LOD 500** – kaevemudeli elemendid esitatakse teostatud kaevetööde põhjal 3D *solid*-itena, mille maht vastab realselt toimunud tööde mahtudele. Lisatud andmesisu kirjeldab tehtud töid ning sisaldab asjakohast informatsiooni, teostatud tööde, tööde tegija jms teavet.

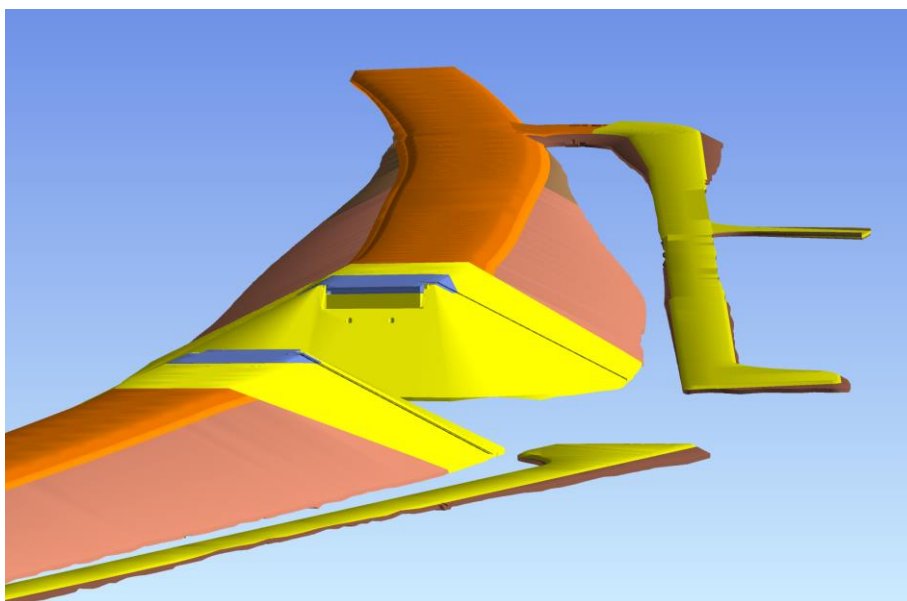
#### 5.4.1.2 Muldkeha ehitus

Sarnaselt kaevetöödele on geoloogia ebatäpsuste ja maapinna ebakorrapärasuste tõttu täitematerjalide kogumahtude kõrget täpsust keeruline saavutada. Küll aga on geomeetriliselt suhteliselt täpselt võimalik saavutada täiteelementide ulatus katendikonstruktsioonini ning nõlvadel.

**LOD 100** – täitematerjale ei mudeldata.

**LOD 200** – täitematerjalide elemendid võib mudeldada nii kolmnurkpindade kui 3D *solid*-itena. Olenevalt nõuetest võib jätta ka mudeldamata või mudeldatakse täitekihid vaid minimaalse nõutud paksusega. Kõrgemate mullete puhul piisab, kui mudel sisaldab vaid maapinna kohale jäävat täitematerjalide osa, st et maapinnast allapoole jäävat täidet ei mudeldata.

**LOD 300** – täitematerjalide elemendid esitatakse 3D *solid*-itena. Mudel saavutab geomeetriliselt kõrgeima täpsuse ning klappib graafiliselt kaevemudelis esitatud kaevemahtude dimensioonidega ehk kui kaevemudelis on näidatud kaeve, siis täitemudel peab sisaldama vastavat täidet, kui see ehituslikult on vajalik, nt sobiva materjali tagasitäide. Vastasel juhul tekib koondmudelisse nõ tühimik, mis ehituslikult ei ole võimalik. Elementidele võib olla lisatud ka andmesisu.



Joonis 19. LOD 300 taseme täitemudel. Kõrge muldega lõik enne ja pärast projekteeritud rajatist.

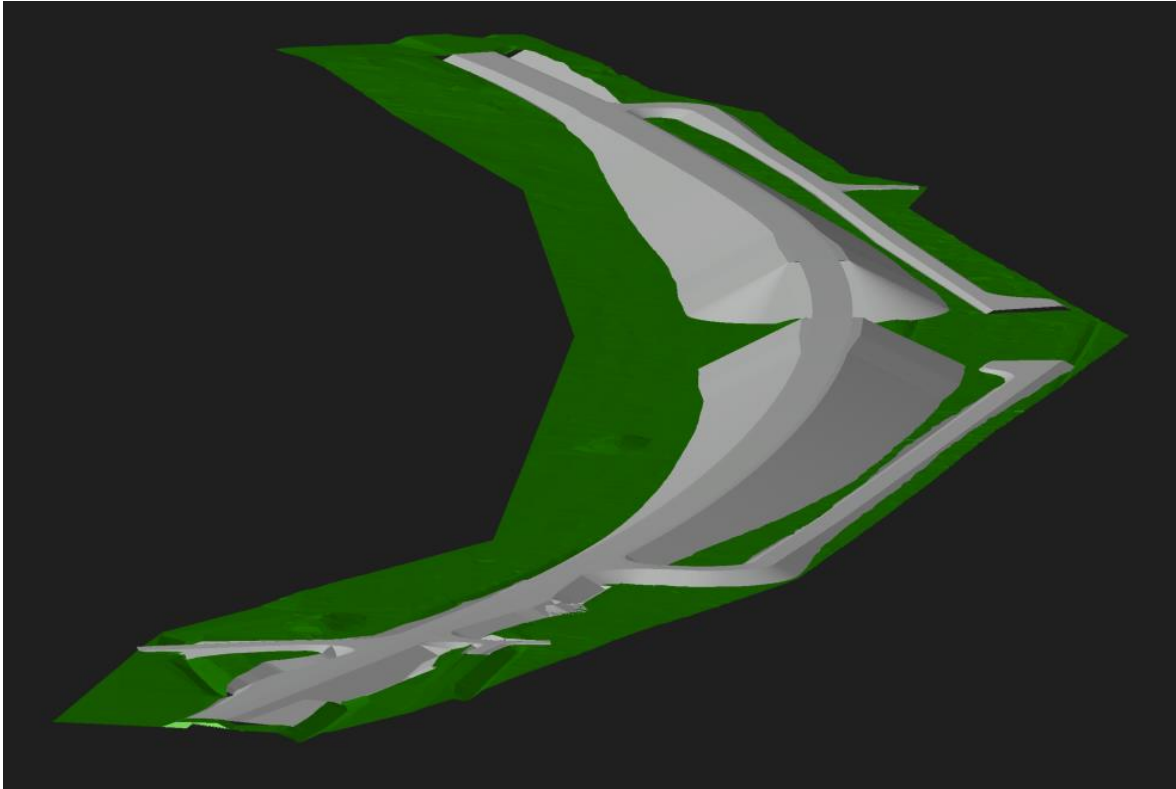
**LOD 400** – mudelid esitatakse 3D *solid*-itena. Graafiliselt vastab mudel LOD 300 tasemele, kuid lisaks peab sisaldama kogu ehituseks vajalikku informatsiooni, materjalide täpseid kirjeldusi ning asjakohaseid nõudeid/standardeid, mis esitatakse lisatud andmesisu atribuutidega.

**LOD 500** – mudel vastab graafiliselt LOD 300 tasemele, kuid on välikontrollitud graafiline representatsioon geomeetria ja asukoha osas ehitatud objektist. Lisatud andmesisu kirjeldab ehitatud objekti ja sisaldab asjakohast informatsiooni, teostatud tööde, tööde tegija jms teavet.

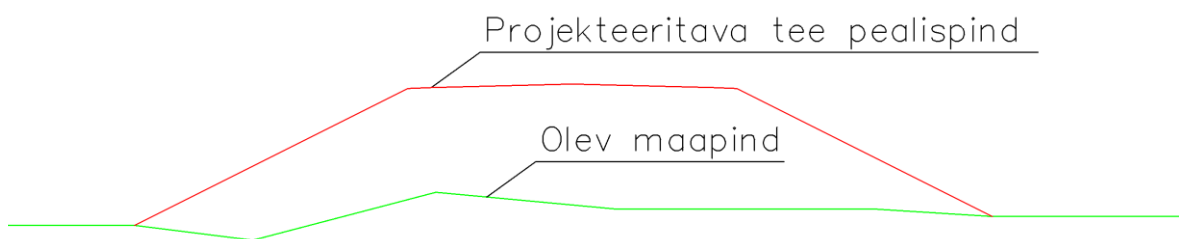
## **5.4.2 Katendikihid**

Katendikihid on teeprojekti BIM mudelis nii geomeetriselt kui mahuliselt kõige täpsemalt mudeldatavad tee-elementid, seetõttu on ka LOD tasemete vahelised erinevused suuremad.

**LOD 100** – teed kujutatakse mudelis projekteeritud tee pealispinnaga (nõlv, peenar, katend) või selle pinna põhjal loodud 3D *solid*-ina (joonis 10, 11). Muid konstruktsioonikihte ega veeviimareid graafiliselt ei esitata. Võimalik on hinnanguliselt arvutada katendi ja muldkeha pindala või kogu muldkeha ruumala.

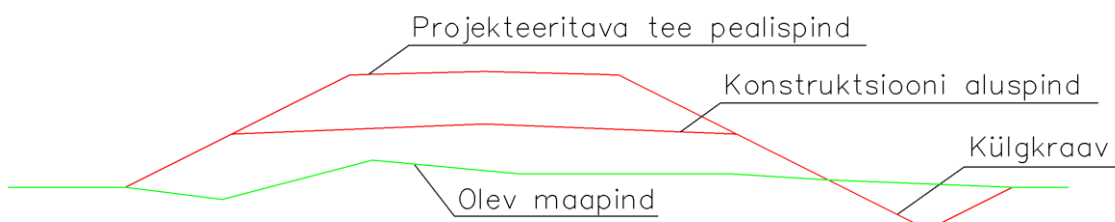


Joonis 20. LOD 100 tee katendimudel, kus olev maapind on mudeldatud rohelisena. Sellise tasemega on võimalik luua lihtsaid vähedetailseid visuaale projekteeritavast teest. Vajadusel saab anda igale elemendile ka värvi, mis lihtsustab mudeli loetavust, nt nõlvad roheliseks, asfalt halliks jne.



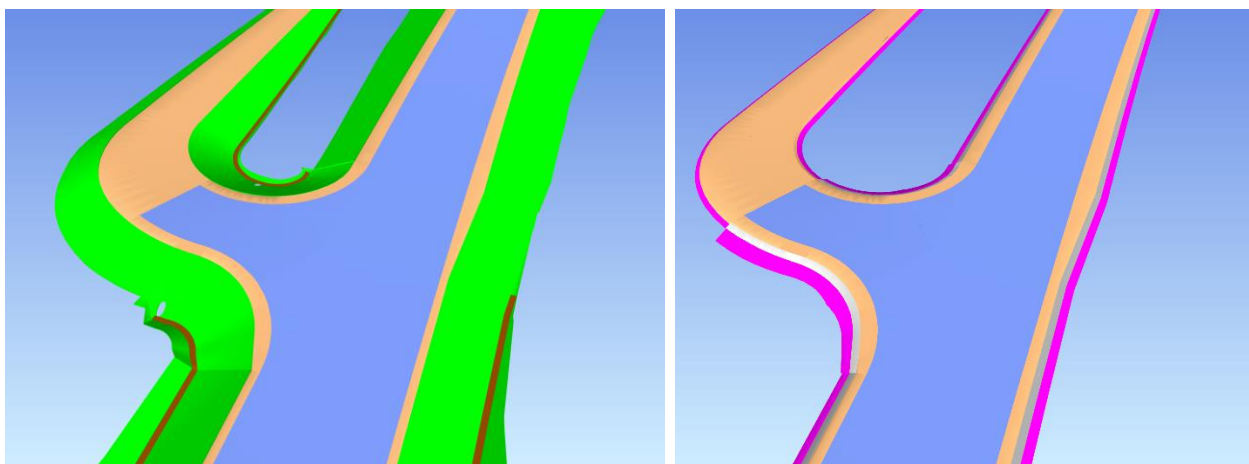
Joonis 21. LOD 100 taseme teemudeli ristlõige.

**LOD 200** – teed kujutatakse mudelis pindadena või nende põhjal loodud 3D *solid*-itena, kuid mudel sisaldab lisaks tee pealmisele pinnale ka minimaalselt konstruktsiooni alumise kihi pinda. Mudel sisaldab ka veeviimareid (joonis 12). Mudeli põhjal on võimalik arvutada katendikonstruktsiooni ruumala ja pindala ning hinnanguline täitematerjali ruumala.

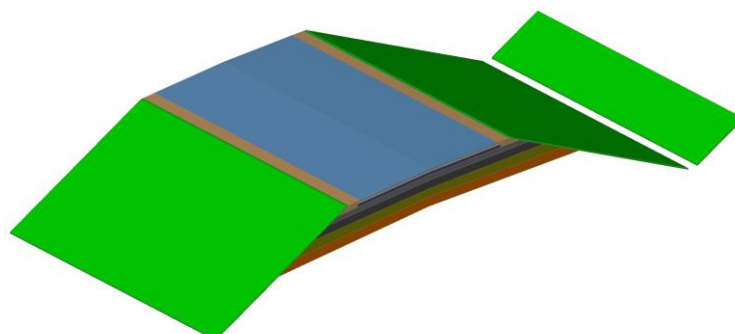


Joonis 22. LOD 200 taseme teemudeli ristlõige.

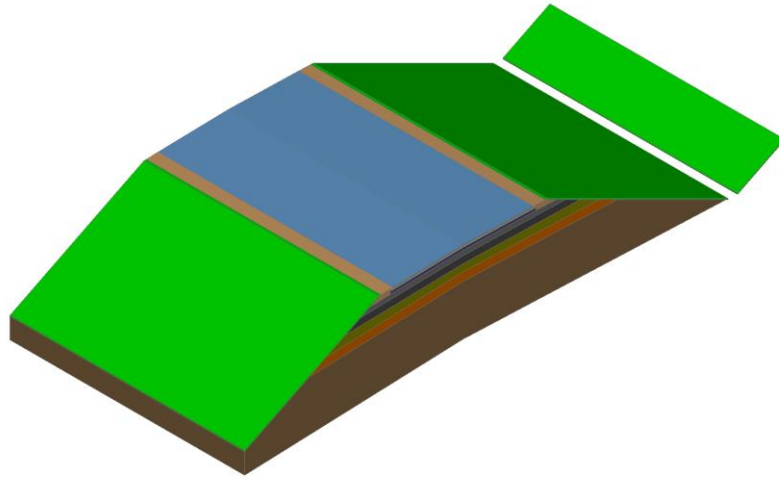
**LOD 300** – mudeldatud tee on asukoha poolest ja graafiliselt täpne ning koosneb 3D *solid*-itest. Mudeldatud on kõik konstruktsioonikihid ja muud kasutatavad materjalid, nt murukülv ja kraavikindlustus, kuid kokkuleppeliselt võib jätta elemente mudeldamata. Mudeli täpsus peab võimaldama korrektseid mahuarvutusi. Võib sisaldada ka andmesisu.



Joonis 23. LOD 300 tee murukülvi ja kraavidega (vasakul) ja ilma (paremal).



Joonis 24. 3D ristlõige LOD300 taseme katendimudelist koos külgkraaviga.



Joonis 25. 3D ristlõige külgkraaviga koos lisatud täitematerjali elemendiga.

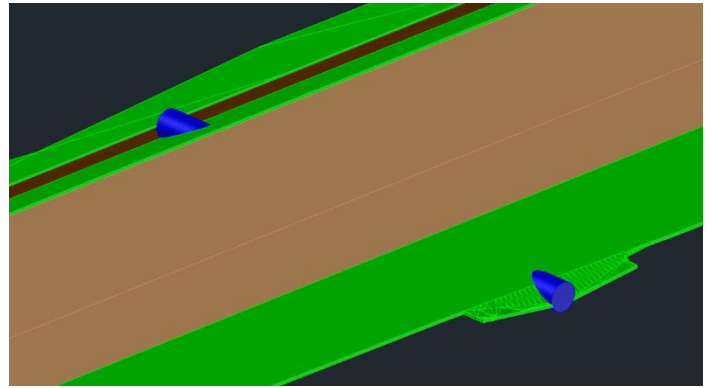
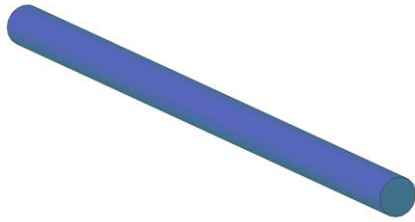
**LOD 400** – graafiliselt ei erine mudel LOD 300 tasemest. Mudelist peab olema leitav kogu ehituseks vajalik info, mis esitatakse lisatud andmesisu atribuutidega.

**LOD 500** – mudel vastab graafiliselt LOD 300 tasemele, kuid on välikontrollitud graafiline representatsioon geomeetria ja asukoha osas ehitatud objektist. Lisatud andmesisu kirjeldab ehitatud objekti ja sisaldab asjakohast informatsiooni, teostatud tööde, tööde tegija jms teavet.

## 5.4.2 Truubid ja veeristed

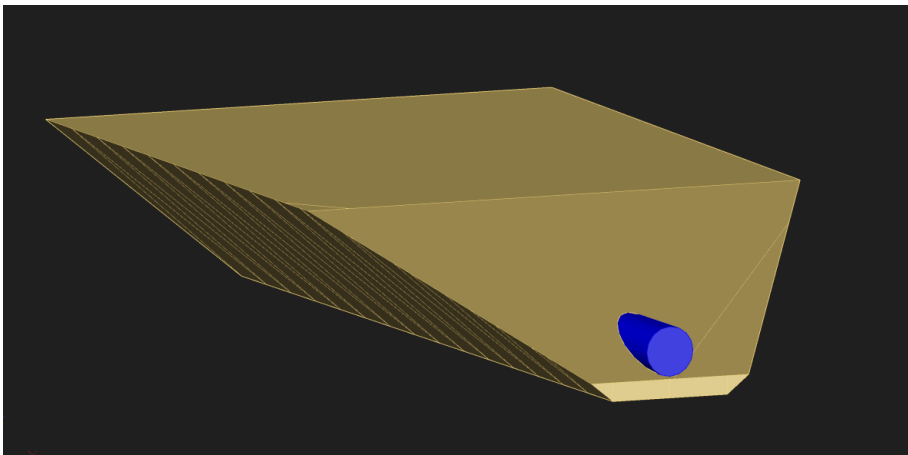
**LOD 100** – elemente ei mudeldata või mudeldatakse need lihtsate joontena või sümbolitena, et näidata ligikaudset geomeetriat ning asukohta.

**LOD 200** – veeriste element on mudelis graafiliselt kujutatud üldise objektina, millega saab määrata selle ligikaudset suurust, kuju, asukohta jms. Vajalikke pinnasetöid võib jätta mudeldamata.



Joonis 26. Truup tasemel LOD 200

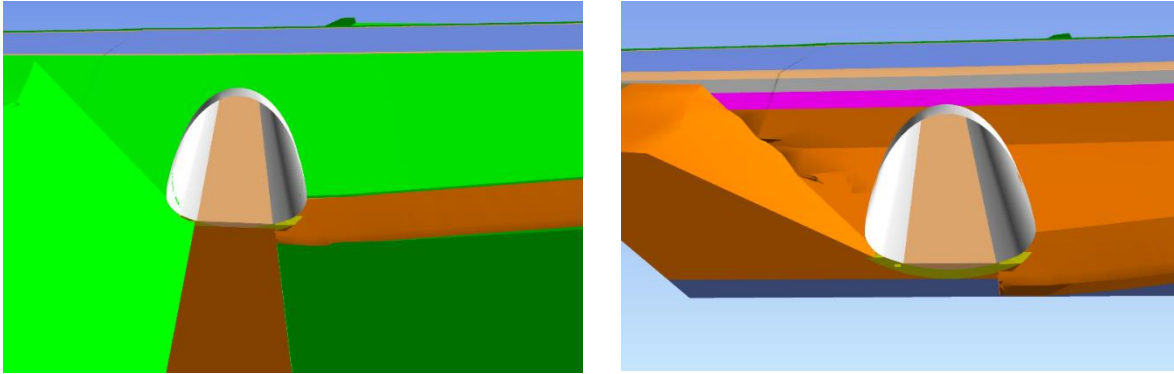
**LOD 300** – veeriste elemendi asukoht ja projekteeritud geomeetria on määratletud ja paikneb õigetel koordinaatidel. Õõnsad elemendid võivad jääda seest täidetuks. Mudeldatakse ka elemendi ehituseks vastavate pinnasetööde üldised mahud. Elementidele võib lisada ka andmesisu.



Joonis 27. Truup tasemel LOD 300

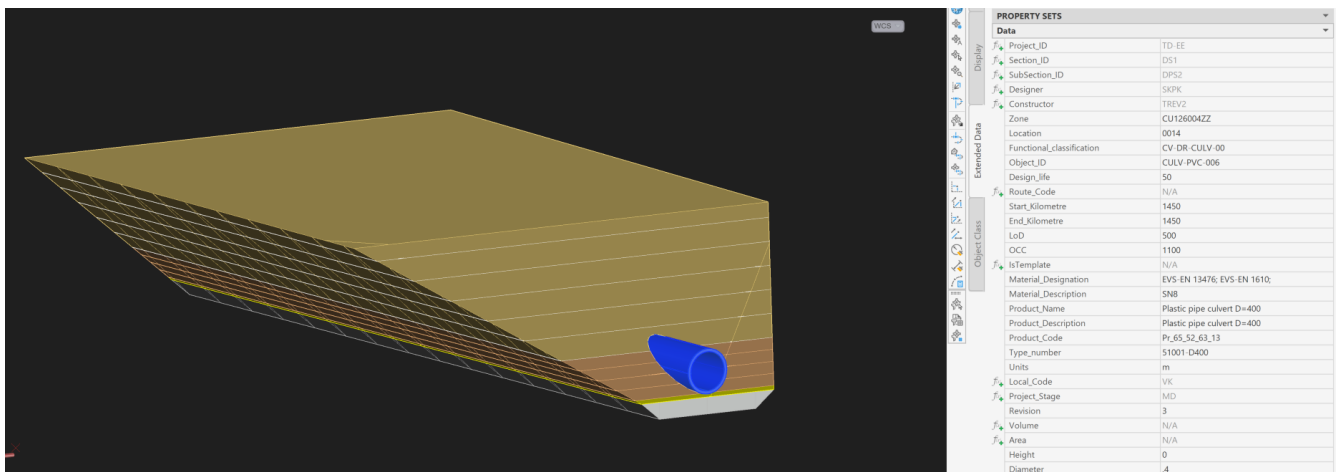
**LOD 400** – veeriste element on mudelis graafiliselt täpselt kujutatud, mis peab sobituma ümbritseva mudeliga ning mille põhjal peab olema võimalik ehitada. Lisatud on visuaalselt eristatavad ehitusmaterjalid ja ehituseks vajalik teave, mis esitatakse lisatud andmesisu atribuutidega.





Joonis 28. Põhjast täidetud terastorusild ja seda ümbritsevad materjalid tasemel LOD 400.

**LOD 500** – modelleeritud veeriste elemendi detailsus vastab LOD 400 tasemele, kuid on ehitatud objekti välikontrollitud representatsioon geometria ja asukoha osas. Lisatud mittegraafiline teave vastab ehitatud objektile ja kirjeldab seda, teostatud töid ja tööde tegijat.

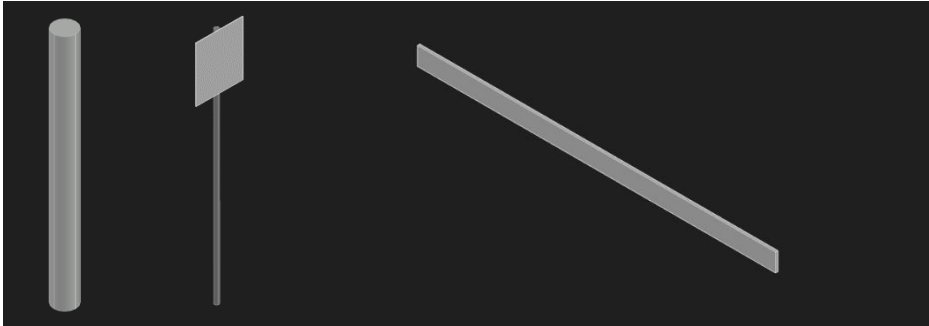


Joonis 29. LOD 500 truu ja sellega kaasaskäiv andmesisu.

## 5.4.2 Liikluskorraldusvahendid

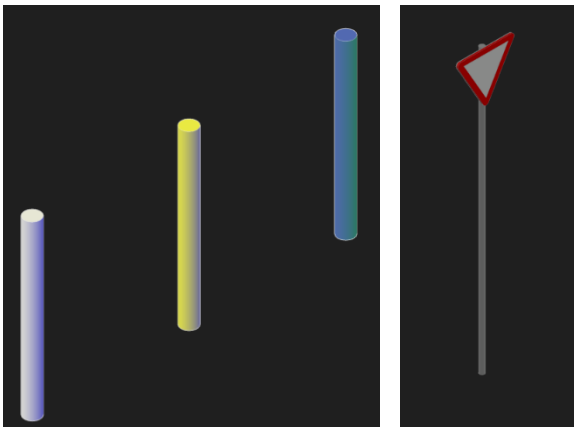
**LOD 100** – elemente ei mudeldata või mudeldatakse need lihtsate sümbolitena, et näidata ligikaudset asukohta ja liikluskorraldusvahendi tüüpi.

**LOD 200** – element mudeldatakse lihtsa geomeetrilise kujundina, mis võimaldab määrata selle ligikaudset asukohta, suurust, kuju, orientatsiooni ning liikluskorraldusvahendi tüüpi.

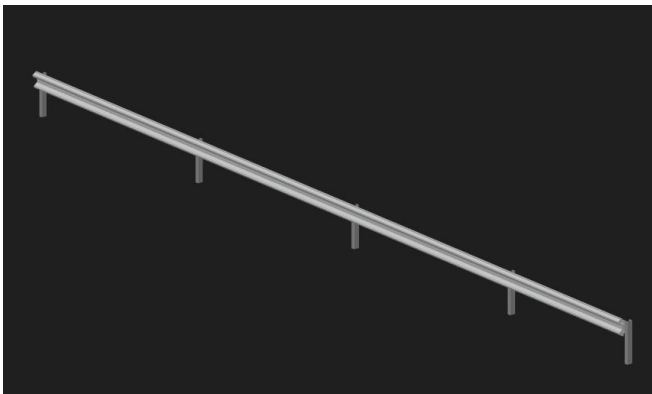


Joonis 30. LOD 200 tähispost, postiga liiklusmärk ja piire.

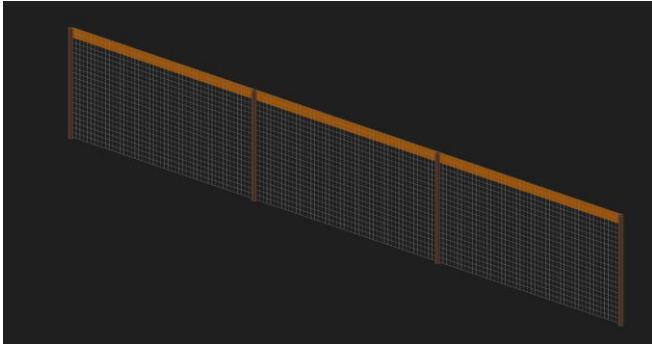
**LOD 300** – mudeldatud element peab üldjoontes kujutama reaalselt objekti ning andma edasi infot selle tüübi kohta, nt tähisposti värv, liiklusmärgi või piirde tüüp jms. Mittekriitilised elemendi osad nagu märgi postide vundamendid võib jätta mudeldamata.



Joonis 31. LOD 300 eri värvi tähispostid ja liiklusmärk.

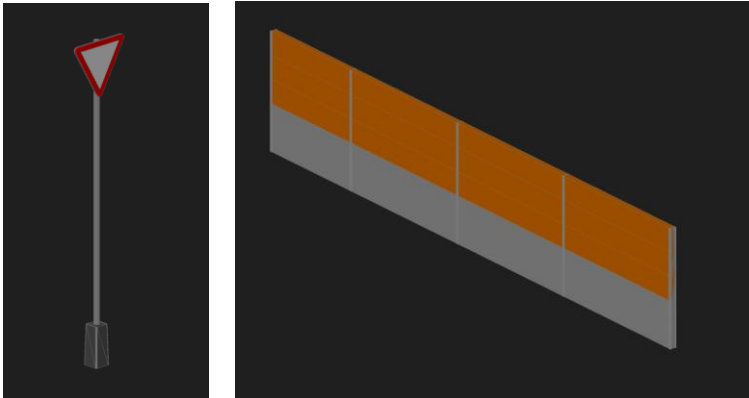


Joonis 32. LOD 300 pörkepiire.

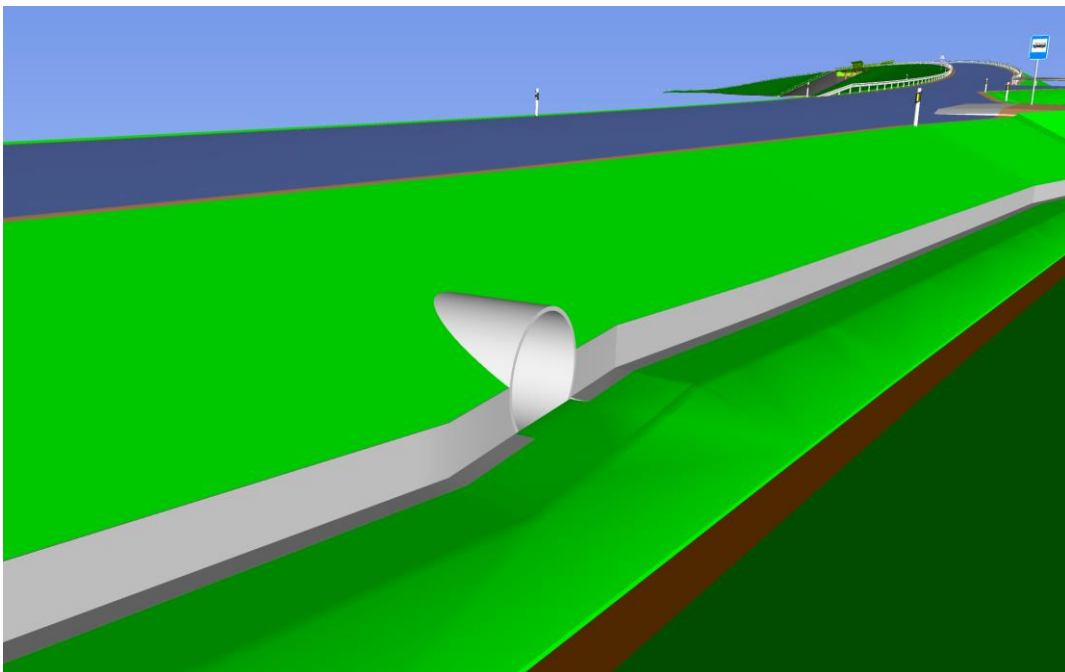


Joonis 33. LOD 300 võrkaed.

**LOD 400** – liikluskorralduselement on mudelis graafiliselt täpselt kujutatud, sh ka maapinna all olevad osad. Element peab sobituma ümbritseva mudeliga ning selle põhjal peab olema võimalik ehitada ja tooteid paigaldada. Lisatud on ehituseks vajalik andmesisu, mis esitatakse lisatud andmesisu atribuutidega.



Joonis 34. Vundamendiga modelleeritud LOD 400 liiklusmärk ja müratõkkesein.



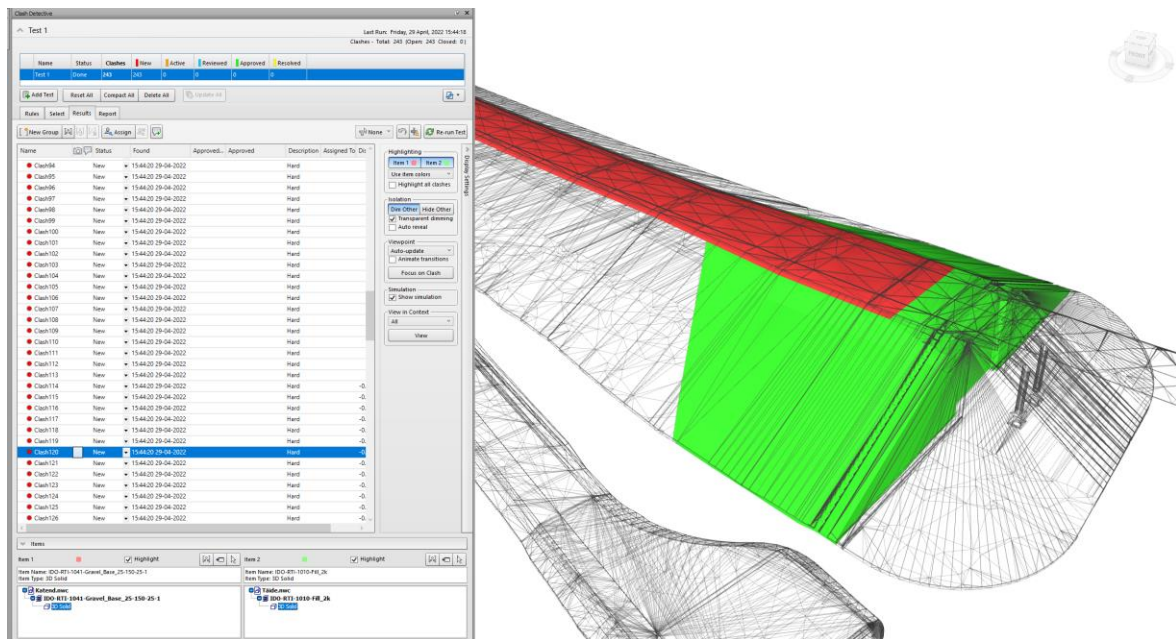
Joonis 35. Kahepaiksete suunamiseks mõeldud tõke ja truup.

**LOD 500** – modelleeritud elemendi detailsus vastab LOD 400 tasemele, kuid on välikontrollitud representatsioon ehitatud geomeetria ja asukoha osas. Lisatud mittegraafiline teave vastab ehitatud objektile ja kirjeldab seda, teostatud töid ja tööde tegijat.

## **5.5 BIM mudeli elementide vahelised lõikumised (*clashid*)**

Elementide lõikumine on mudelist tarvis eemaldada peamiselt võimalikult täpse mahuarvutuse tagamise vajaduse tõttu eeldusel, et mahuarvutused teostatakse mudelipõhiselt. Harvematel juhtudel ka visuaalselt kaunima pildi saavutamiseks. Lõikumine on oluline eemaldada osamudelite puhul, mille mahuarvutusel kasutatakse mudelist tuletatavaid ruum- ja pindala andmeid ehk kaeve, täide katend jmt. Neid on võimalik eemaldada vaid 3D *solid*-itest koosnevatest mudelitest, mis ühtlasi tagab *solid*-eid kasutavatele mudelitele kõrgema täpsuse võrreldes pindu kasutavate mudelitega. Kuna mudeldatava mahu täpsus on osamudeliti erinev, on mõistlik määrata erinevatele osamudelitele erinevad lõikumiste tolerantsid. Mida täpsem on osamudel, seda väiksem peaks olema selle lubatud tolerants. Ühtlasi mida kõrgem on kasutatav LOD tase, seda väiksem võib olla lõikumise suurus. Seejuures ei ole otstarbekas määrata tolerantsiks 0 mm, sest sellisel juhul nõuaks kõikide lõikumiste eemaldamine palju ajaressurssi, samas kui enamiku väiksemate eemaldamine mahule olulist mõju ei avalda. Nt käesolevas töös käsitletava näidismudeli puhul näitab tarkvara, et 0 mm tolerantsi puhul tuvastati ligi 600 lõikumist. Ajaliselt võib võtta nii mitme lõikumise eemaldamine päevi, kuna see on manuaalne töö. Lisaks võib nulltolerantsi või ka väga väikese tolerantsi puhul tekkida olukord, kus kahe elemendi vaheline lõikumine on justkui eemaldatud, kuid tarkvara tuvastab sellegipoolest lõikumise. See olukord esineb sagedamini, kui kasutatakse modelleerimiseks erinevaid tarkvarasid. Seega tuleb määrata vastavalt osamudelitele ühikuline tolerantsi suurus, mille puhul on lõikumiste eemaldamine ajaliselt mõistlik ning mille puhul väiksemad lõikumised mahule arvestatavat või olulist mõju enam ei avalda. Visuaalselt on otstarbekas eemaldada ka lõikumised, mis on lubatud tolerantsi piirides, kuid mis rikuvad mudeli visuaalse tervikpildi.

Näidismudeli puhul kasutatakse lõikumiste tuvastamiseks tarkvara Autodesk Navisworks Manage 2020.



Joonis 36. Näidismudeli lõikuvate muldkeha ja katendikonstruktsiooni elementide tuvastamine tarkvaras Autodesk Navisworks.

## 5.6 BIM mudeli põhine mahuaruandlus

Mudelitelementidele on võimalik lisada atribuutidena vajalikku andmesisu. See võib sisaldada vajaliku informatsiooni projekteeritava elemendi kohta, nt killustiku fraktsioon, kihi paksus, toote artikli number ja nimetus, vastav standard jms, mis alati käib mudeliga kaasas ja on lihtsasti loetav. Ühtlasi on võimalik atribuudina loetleda mudelelemendi ruumala, mille tarkvara automaatselt arvutab. See tähendab, et kui elemendi geometriat ja ruumala muudetakse, muutub see atribuutinfona automaatselt. Kasutades valemsisendeid, on võimalik koos kihi paksusega ära teha ka automaatne teisendus pindalaks katendimudeli elementidega. Olenevalt teehituselemendist võib mõõdetavaks ühikuks määrata ka meeter või tükk. See võimaldab mahulist informatsiooni lisada ka liikluskorralduse ja veeristete osamudelitele, kus mahuarvutuses ruumala- või pindalaühikuid üldjuhul ei kasutata. Kuna BIM mudel võimaldab parandusi-muudatusi projektlahenduses kiiremini läbi viia ning saavutada varasematest meetoditest paremaid täpsusi eelkõige elementide ruumala arvutamisel, on sellisel kujul mahuarvutus oluliselt efektiivsem ja tulemuslikum.

Kui mudeli igale elemendile on lisatud sellele vastav mahuatribuut, saab koostada automaatse mudelipõhise mahuarvutuse. Selleks on võimalik luua vastav skript, mis koondab vajalikud mahud mudelist tabelisse minutitega soovitud kujul ja vormingus. See tähendab, et vastava skriptiga on võimalik saada kas kogu projekti koondmahud või mahud üksikute modelleeritud elementide kaupa. Käesolevas töös on

mahuarvutused teostatud visuaalse programmeerimistarkvara Autodesk Dynamoga. Arvutuste ühikhinnad põhinevad prof O. Koppeli 2013 avaldatud teadustöö „Teetööde ühikhinnad ja nende prognoos aastani 2022“ põhjal.

### 5.6.1 Lõikumiste mõju koondmahtudele

Lõikumiste arvestamise ja nende mõju näitlikustamiseks mahtude arvutamisel kasutati LOD 300 taseme BIM näidisprojekti 3 erinevat versiooni, mis loodi sama töömudeli (Civil 3D *corridor*-mudeli) põhjal. Ainukeseks erinevuseks mudelite vahel on lõikumiste eemaldamise määr. Ühel juhul eemaldati need väga väikese tolerantsi piires (1 cm), teisel juhul neid ei eemaldata ning mahud esitatakse puhtalt töömudeli põhjal saadud elementidega, mis on võrreldavad pindade abil koostatud mahuarvutusega. Kolmandana esitatakse mahud teatud tolerantsi piires, mille juures ei ole lõikumiste eemaldamiseks kuluv aeg liialt suur. Mahuarvutusel ei arvestatud liikluskorralduse ega truupeide mudeleid, sest nende mahtu lõikumised ei mõjuta. Lisaks jäeti arvestamata murukülvi lõikumised kraavikindlustuse ja kahepaiksete piirde elementidega, sest nende mõju kogumaksumusele on minimaalne ning neid eemaldatakse eeskätt ilusama visuaalse tulemuse saavutamiseks.

- Eemaldamata lõikumistega mudel

Põhiline mahuerinevus ilmneb ristuvate tee-elementide lõikumistest. Vähemal määral ka elementidest, mis mudeldatakse teise elemendi kohale, kuid mis ulatuvad alumise elemendi sisse, nt täringukiviga tugevdatud peenrad. Mudelipõhise mahuarvutuse tulemusel on projekti hinnanguline maksumus 6 312 736 € (vt lisa 2), kus mullatööde maksumus on 4,43 mln €, katendi maksumus 430 tuh €, konstruktsioonide maksumus 364 tuh €.

- 1 cm tolerantsiga lõikumistega mudel

Kuna nullväärtusega tolerantsi puhul tuvastas tarkvara lõikumisi ligi 600 ja nende eemaldamine oleks väga ajamahukas, valiti tolerantsiks 1 cm, mille puhul tuvastati ligi 70 lõikumist, mis mudelist eemaldati. Sellisel juhul on mudelipõhise mahuarvutuse tulemusel projekti hinnanguline maksumus 6 181 878 € (vt lisa 3), kus mullatööde maksumus on 4,42 mln €, katendi maksumus 423 tuh €, konstruktsioonide maksumus 274 tuh €.

Mahuarvutuste erinevus, mis kajastub projekti maksumuses, on seega käesoleva projektimudeli puhul ligi 2,1%. See number võib tunduda marginaalne, kuid tasub silmas

pidada konkreetse projekti olemust ja projekteerimise printsiipi, kus suurem osa mahust sõltub kõrge mulde ehituseks vajalikest töödest ja materjalidest, kus ristuvaid elemente on minimaalselt. Varasemate muude projektide testmudelite põhjal, kus mahuarvutustes on kajastatud lisaks tehnovõrkude, valgustuse, erinevate rajatiste jms mudelite lõikumistest tekkivaid mahte, võib erinevus kujuneda ka 7-8%-ni. Selleks, et näitlikustada lõikumiste mõju, tehti lisaks mahuarvutused, kus arvestati vaid ristuvate mudeliosade mahte, st mahasõite ja ristmikke ja nende tarbeks mudeldatud mudelielemente. Sellisel juhul saadi maksumuseks vastavalt 48,3 tuh € ja 39 tuh €, mis tähendab ligi 20% erinevust (vt lisa 5 ja 6). Erinevus võib sõltuvalt projekti olemusest olla märkimisväärselt suurem, olenevalt nt mulde kõrgusest või väljakaeve sügavusest. Mudelites, kus ristuvad elemendid puuduvad või on neid vähe, võib erinevus olla ka oluliselt väiksem.

Kuna eemaldamata lõikumistega mudeli arvutuslikud mahud on ebatäpsed ning väga väikese tolerantsiga lõikumiste eemaldamine on ajakulukas, kuid täpsust vähesel määral mõjutav, on mõistlik määrata kindla tolerantsiga nõuded vastavalt LOD tasemele ja osamudelile. Kui määrata katendi- ja täitemudelile tolerantsiks 5 cm ning kaevemudelile 10 cm, on mahuarvutusel põhinev maksumus 6 183 982 € (vt lisa 4), mis on peaaegu võrdne nulltolerantsiga mudeliga, kuid mille puhul tuvastati ligi 50 lõikumist, mille eemaldamine vajas oluliselt vähem aega.

Taoline lõikumiste tuvastamine ning eemaldamine on eelkõige oluline kõrgemate LOD tasemete puhul, kus võib juba eeldada suhteliselt täpseid mudeleid. Madalamate tasemete puhul võib jätta lõikumised eemaldamata või eemaldada need vastavalt tellija soovitud täpsusnõuetele. Teatud olukordades võib olla lõikumiste eemaldamine tarvilik visuaalselt ilusama pildi saavutamiseks isegi, kui see jääb lubatud tolerantsi piiridesse. Lõikumiste tolerantsi suuruse saab samuti siduda LOD tasemega, kuna see mõjutab otseselt mudeli geomeetrilist täpsust. Ettepanek lubatud lõikumiste suurused vastavalt LOD tasemetele:

**LOD 100** – lõikumisi ei eemaldata.

**LOD 200** – kaeve- ja täitemudelist eemaldatakse alates 1 m suurused lõikumised. Katendi puhul võivad lõikumised jääda 0,5 m tolerantsi sisse. Lõikumised rajatiste mudelitega eemaldatakse samuti alates 0,5 m lõikumisest. Eeldus, et mudel on koostatud 3D *solid*-itest.

**LOD 300** – kaevemudeli lõikumistolerants on 0,5 m. Täitemudeli puhul eemaldatakse alates 0,1 m suurused lõikumised, kuid täite- ja katendimudeli puhul on lõikumiste tolerantsiks 0,05 m. Täite- ja katendimudeli lõikumised rajatise mudeliga eemaldatakse

alates 0,02 m suurustest lõikumistest. Kui üldjuhul liikluskorralduse mudeli elementidega tekkivaid lõikumisi ei eemaldata, siis tuleb silmas pidada nt äärekivide ja erinevate tugiprusside jms kategoriseerimist – kui need on lisatud liikluskorralduse mahtudesse, tuleb erandina eemaldada nende elementide võimalikud lõikumised tolerantsiga 0,05 m.

**LOD 400** – lõikumistolerantsid ei erine LOD 300 tasemest.

**LOD 500** – lõikumistolerantsid ei erine LOD 300 tasemest, kuid kuna tase on välikontrollitud representatsioon ehitatud objektist ja mudeldatud elementide mahud peavad vastama reaalsusele, ei pruugi olla otstarbekas määrata konkreetseid lõikumiste tolerantse, vaid iga element peab juba mudelis vastama ehitatud objekti mahtudele ja parameetritele.



## KOKKUVÕTE

Projekteerimisprotsessi on ehitusinfo modelleerimine tulnud selleks, et jääda. Kui hooneteehituses on seda meetodit praktiseeritud juba pikalt, mis on taganud ka laia valiku standardeid ja kokkulepitud töövõtteid, siis teedehituses alles harjutakse uue normaalsusega. See tähendab, et viimaste aastate Eesti teedeprojekteerimise hangete tehnilistes tingimustes ning nõuetes on esitatava paketi koosseisus vastavad mudellahendused väiksemal või suuremal määral nõutud, kuid puuduvad täiemahulised ja kompleksed alusmaterjalid, millest modelleerimisel saaks lähtuda. See seab ebasoodsasse olukorda töövõtja ning modelleerija, kellel võib olla raske hinnata projekti tingimustes töömahtu ja töö teostamisele kuluvat ressursi.

BIM mudeli koostamisel kulub peamine osa modelleerimiseks kuluvast ajast mudeli graafilisele osale. Igas teeprojekti osamudelis on hulga erinevaid mudelielemente, mille loomisel on tarvis rakendada erinevaid meetodeid. Detailsuse tasemete süstematiseerimiseks, on BIM valdkonda võetud üle arvutigraafikast pärit termin ja meetod *Level of Development* ehk LOD, mis kategoriseerib mudeldatava elemendi detailsuse tasemed vastavalt konkreetse töö vajadustele ja loomule.

Tänase olukorra ülevaate raames korraldatud küsitlusest projekteerimisettevõtete seas selgus, et BIM-i rakendavates projektides on modelleerimisel detailsuse tasemetega seotud probleemid laialdased. Tulemused näitavad, et enamikul on olnud kokkupuuteid nii BIM-i, modelleerimise kui ka LOD tasemetega, kuid selle tegeliku sisu mõistmine on jäänud poolikuks, ebapiisavaks või on arusaamad killustunud erinevate ettevõtete vahel. Lisaks selgus, et tuntakse vajadust riigisiseste BIM standardite järele, et oleksid üldised alused/nõuded, millest tööd tehes lähtuda ning millega töövõtja poolsete pakkumuste koostamisel ja hinnangulise tööressursi kulu prognoosimisel arvestada, et vältida asjatuid konflikte tellijaga.

Teedehituses Eesti suurima töödema huga tellijal Transpordiametil on parasjagu ka käsil mitmed arendused eelkõige tarkvaraliselt, mis peaksid looma paremad tingimused teedehituses BIM-i rakendamise hõlbustamises. Seejuures rakendatakse BIM-i nõuete osas täna peamiselt Avaliku sektori tellijate ühiste BIM nõuete juhendit, kuid ka seal esineb mudelite detailsuse kirjelduses mitmeid puudusi ning juhend on osaliselt rakendamata. Vestlusel asutuse esindajatega toodi murekohana välja osapoolte vaheline kommunikatsioon ning tõlgendused nõuete ja lepingutingimuste osas. Vastuolusid tellija ja töövõtja vahel on tekkinud nõutavate mudelielementide osas, peamiselt teatud olemasolevate ja loodavate elementide modelleerimise vajadus, aga

ka nende detailsusastme vajadus. Käesoleva aasta algul võttis Transpordiamet prioriteediks ka tee-ehituselementide LOD tasemed defineerida, mille jaoks on loodud eraldi töörühm.

Põhiliste tee-ehituselementide LOD tasemete ja kasutatavate elementitüüpide ettepanekuks loodi näidismudel, mille raames modelleeriti põhielemendid osamudelite kaupa eri LOD tasemetele. Nende põhjal esitati graafilise detailsuse osas nõuete ettepanekud, millest saaksid edaspidi BIM modelleerijad lähtuda töömahu prognoosimisel ja tellijad modelleerimist puudutavaid nõudeid luues vastavalt projekti etapile (eskiis, eelprojekt jne). Elementide loomisel lähtuti, et iga tase peab vastama selle definitsioonile ning oleks kergesti loetav, kuid selle tarbeks tehtav töö järgiks põhimõtet „nii vähe kui võimalik, nii palju kui vajalik“. Detailsuse tasemega seoti ka mudelielementide omavaheliste lõikumiste tolerantside suurus, mis avaldavad mudelipõhisele mahuarvutusele olulist mõju. Kuna osamudelite täpsused on mitmest tegurist olenevalt erinevad ja iga osamudeli kõrget täpsust ei ole võimalik ühtemoodi tagada, ei ole samuti mõistlik määrata väga väikeseid tolerantsse ebatäpsete mudelite puhul. Kui mudeli loomiseks kasutatavad lähteandmed ei ole kõrge täpsusega, ei saa ka eeldada mudeldatavate elementide täpseid mahte, mistõttu ei ole mõistlik määrata selliste mudelite puhul lõikumistolerantsiks üksikuid millimeetreid. Mida täpsem on osamudel, seda väiksemaid lõikumistolerantsse on otstarbekas rakendada. Mahuarvutuse käigus selgus, et näidisprojekti puhul erines muldkeha ehitusmaksumus eemaldamata lõikumiste ning max 1 cm tolerantsiga lõikumiste puhul 2,1%. Võrreldes aga ainult mudelis olevaid ristuvaid tee-elemente (mahasõidud-ristmikud), oli erinevus 20% kanti. Olenevalt projektala situatsioonist ja projekti lahendusest, võib lõikumiste mõju koondmahtudele ning esialgsele eelarvele olla ka oluliselt suurem. Saadud tulemuste põhjal pakuti välja ka igale detailsuse tasemele vastav lubatud lõikumistolerantsi suurus, mille puhul püüti leida tasakaal mahuarvutuste täpsuse ja lõikumiste eemaldamiseks kuluva aja vahel.

Käesolevat tööd saab kasutada sisendina LOD tasemete ühtsete aluste loomiseks. Kuna ehitusinfo mudelid on märkimisväärse potentsiaaliga projekteerimise-ehitamise otstarbekamaks ja efektiivsemaks muutmisel, on nende koostamise nõuded nii suuremates kui väiksemates hangetes muutumas aina tavapärasemaks. Ühtselt sätestatud modelleerimisnõuded ja -juhised võimaldavad vältida segadusi ning võimalikke konflikte projektiga seotud osapoolte vahel, võimaldades lisaks parandada mudeli loetavust ja modelleerimisega seotud inseneridel täpsemalt prognoosida töö jaoks kuluvat aega.

## **SUMMARY**

In the design process, building information modeling has come to stay. While this method has been practiced for a long time in building design and construction, which has also ensured a wide range of standards and agreed working methods, the new norm is still being practiced in road construction. This means that in the technical conditions and requirements of Estonian road design procurements of recent years, the corresponding model solutions are more or less required as part of the submitted package, but there are no complete and comprehensive base materials on which to model. This puts the contractor and the modeler at a disadvantage, who thus may have difficulty estimating the volume of work and the resources required to carry out the work in the context of the project.

When compiling a BIM model, most of the time spent on modeling is spent on the graphical part of the model. Each sub-model of a road project has several different model elements that require the use of different methods. In order to systematize the levels of detail, the term and method of level of development (LOD), which is derived from computer graphics, has been taken over in the field of BIM, which categorizes the levels of detail of the modeled element according to the needs and nature of a specific work.

A survey was carried out among different road design companies, which revealed that the problems related to the levels of detail in modeling in projects implementing BIM are common. The results show that most designers have been exposed to levels of BIM, modeling, and LOD, but understanding of its actual content has been incomplete, insufficient, or perceptions are fragmented across companies. In addition, it was found that there is a general demand for national BIM standards to have common bases and requirements on which to base work when preparing tenders and predicting the estimated cost of manpower in order to avoid unnecessary conflicts with the contract partner.

The Estonian Transport Board, which has the largest workload in road construction in the Republic of Estonia, is currently working on several developments, primarily in software, which should create better conditions for facilitating the implementation of BIM in road construction. At the same time, the guidelines for common BIM requirements for public sector customers are mainly applied today regarding BIM requirements, but there are also several shortcomings in the description of the details of the models, and the guidelines have not been fully implemented. During the interview

with the representatives of the institution, the communication between the parties and interpretations regarding the requirements and the terms of the contract were raised as one of the most common concerns. Conflicts between the client and the contractor have arisen regarding the required model elements, mainly the need to model certain existing and future elements, as well as the need for their level of detail. At the beginning of this year, the Transportation Board also made it a priority to define the LOD levels of road construction elements, for which a separate working group has been established.

To propose the LOD levels of the main road construction elements and the types of elements used, a demonstration model was created, in which the main elements were modeled for different LOD levels by sub-models. On the basis of these, proposals for requirements were presented in terms of graphic detail, which BIM modelers could use in the future when forecasting the workload and when creating requirements for modeling according to the project stage (sketch, preliminary design, etc.). The elements were created on the basis that each level must meet its definition and be easy to read, but that the work done for it should follow the principle of "as little as possible, as much as necessary". The level of detail was also related to the size of clash tolerances of the model elements, which have a significant effect on the model-based volume calculation. As the accuracies of the sub-models vary depending on several factors and the high accuracy of each sub-model cannot be guaranteed in the same way, it is also not reasonable to set very small tolerances for inaccurate models. If the source data used to create the model is not highly accurate, the precision of volumes of the modeled elements cannot be assumed to be precise, thus it is not reasonable to set the clash tolerance for such models to be measured in millimetres. The more accurate the sub-model, the smaller the clash tolerances can be set. During the volume calculation, it became clear that in the case of the demonstration model, the construction cost of the embankment differed by 2.1% in the case of non-removed clashes and clashes with a maximum tolerance of 1 cm. However, comparing only the intersecting road elements in the model (exits & intersections), the difference was around 20%. Depending on the situation of the exact project area and the project solution, the impact of the cuts on the aggregate volumes and the initial budget may be significantly higher. Based on the results obtained, the value of the allowable clash tolerance for each level of detail was also proposed, in which an attempt was made to find a balance between the accuracy of the volume calculations and the time required to remove the clash.

This thesis can be used as an input to create a common basis for LOD levels. As building information models have significant potential to make design and construction more efficient and effective, the requirements for compiling them in both large and small

procurements are becoming increasingly common. Uniformly set modeling requirements and guidelines avoid confusion and potential conflicts between the parties involved in the project, while also improving the readability of the model and allowing modeling engineers to more accurately predict the time required for the work.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „Building Information Modelling: What information is in the model?“, NBS, 10.10.2016.

<https://www.thenbs.com/knowledge/building-information-modelling-what-information-is-in-the-model>

- [2] „What is BIM?“, BSI group, 20.11.2021.

<https://www.bsigroup.com/en-GB/Building-Information-Modelling-BIM/>

- [3] „Assakule kerkib Rail Baltica maanteeviadukt,“ 21.12.2021.

<https://transpordiamet.ee/uudised/assakule-kerkib-rail-baltica-maanteeviadukt>

- [4] „Does Your Project Need a BIM Coordinator?“, 26.02.2013.

<https://aec-business.com/does-your-project-need-a-bim-coordinator/>

- [5] „Küsimustik Eesti maapinna kõrgusmudeli spetsifikatsioonide selgitamiseks,“ Maaamet 04.06.2002.

[https://www.maaamet.ee/docs/eesti\\_kõrgusmudel\\_kysimustik.pdf](https://www.maaamet.ee/docs/eesti_kõrgusmudel_kysimustik.pdf)

- [6] „Kernu ümbersõit valmib septembris,“ ERR, 12.08.2020.

<https://www.err.ee/1123111/kernu-umbersoit-valmib-septembris>

- [7] „Vööbu-Mäo teelõigu ehitus,“ Transpordiamet, 2020.

<https://www.mnt.ee/et/ehitus/voobu-mao-teeloigu-ehitus>

- [8] „Avaliku sektori tellijate (AST) ühiste BIM nõuete juhend,“ Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 20.12.2019.

<https://eehitus.ee/wp-content/uploads/2020/02/Avaliku-sektori-tellijate-AST-%C3%BChiste-BIM-n%C3%B5uete-juhend.pdf>

- [9] „Full BIM Guidelines Package,“ RB Rail, 16.12.2019.

<https://www.railbaltica.org/rb-rail-as-bim-documentation/>

- [10] „Use of LoD decision plan in BIM-projects,” Norwegian University of Science and Technology, 19.07.2017.
- [11] „Development and application of a specification-compliant highway tunnel facility management system based on BIM,” Soochow University School of Rail Transportation, 2019.
- [12] „Geometry Best Practices for Artists – Level of Detail – LOD,” Arm Developer, 2021.
- [13] „BIM Level of Development,” United-BIM, 2021.
- [14] „Discipline Model Specification, LOD requirements for BIMinfra infrastructure models,” BIMinfra.dk, 2020, lk 2.
- [15] „Method to enable LCA analysis through each level of development of a BIM model,” a École de Technologie Supérieure, 19.07.2017.
- [16] „Clash detection in BIM,” NBS, 21.09.2016.
- <https://www.thenbs.com/knowledge/clash-detection-in-bim>
- [17] „Using BIM as a lean management tool in construction processes – A case study,” Ahmed.M.Eldeep, Moataz.A.M.Farag, L.M.Abd El-hafez, 14.08.2021.
- [18] „Types of 3D BIM Clash Detection,” Hitech CADD Services, 9.10.2014.
- <https://www.hitechcaddservices.com/news/3-types-of-3d-clash-detection-have-their-own-importance/>

## **LISAD**

Lisa 1 LOD-teemaline küsitlus projekteerijatele.

Lisa 2 Eemaldamata lõikumistega mudeli mahuarvutus.

Lisa 3 1 cm lõikumiste tolerantsiga mudeli mahuarvutus.

Lisa 4 5 ja 10 cm lõikumistega mudelite mahuarvutus.

Lisa 5 Eemaldamata lõikumistega ristuvate elementide mahuarvutus.

Lisa 6 Eemaldatud lõikumistega ristuvate elementide mahuarvutus.



Lisa 1. LOD-teemaline küsitlus projekteerijatele.

1. Milliseid tarkvarasid peamiselt töös kasutate? \*

Teie vastus

---

2. Kas olete osalenud projektides, kus on olnud sees BIM-i koostamise nõue koos seotud BIM-i nõuetega? \*

Ei ole

Jah

---

2. Kas olete osalenud projektides, kus on olnud sees BIM-i koostamise nõue koos seotud BIM-i nõuetega? ✕ ⋮

Kirjeldus (valikuline)

Mis projekt? \*

Pikk vastuse tekst

---

Kes oli tellija? \*

Pikk vastuse tekst

---

3. Kas rakendate BIM-i projekteerimisel? \*

Ei

Jah

### 3. Kas rakendate BIM-i projekteerimisel?



Kirjeldus (valikuline)

Mis põhjusel?

- Tellija nõuete tõttu
- Töövoo automatiseerimiseks
- Muu...

4. Kas teie hinnangul on BIM-i rakendamine projekteerimisel olnud projekteerijale kasuks või lisanduvaks kohustuseks? Miks?

Pikk vastuse tekst

5. Milliseid BIM-iga seotud tegevusi on teie ettevõtte tänasel päeval võimeline teostama?

- 3D visualiseerimine
- Andmevahetus teiste osapooltega, sh projekteerijatega
- BIM-mudelipõhine automaatne mahuarvutus ja kulude prognoos
- Vigade ja lõikumiste väljaselgitamine
- Simulatsioonide ja analüüside tegemine
- Mitte ükski neist
- Muu...

6. Kas kasutate BIM standardeid või juhendeid?

- Ei
- Jah

## 6. Kas kasutate BIM standardeid või juhendeid?

Kirjeldus (valikuline)

Milliseid? \*

Pikk vastuse tekst

7. Millisel määral olete tuttav LOD ehk "level of detail" või "level of development" mõistega?

- Ei ole üldse kursis
- Olen veidi kursis, samas on palju küsimusi
- Olen üldjoontes kursis, kuid on mõningaid küsimusi
- Olen hästi kursis
- Ei oska öelda

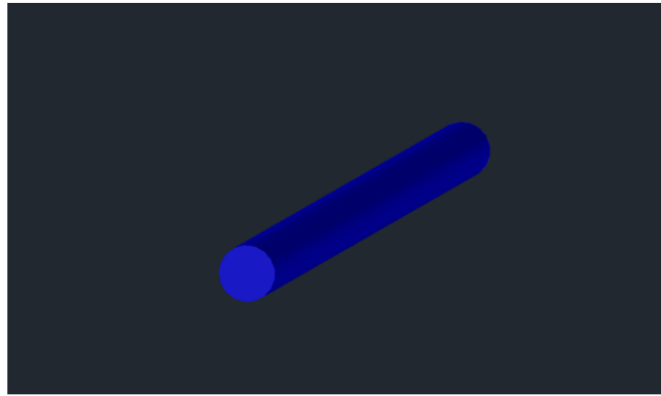
8. Järgnevalt on esitatud mõned teedeprojekti BIM-is mudeldatavad elemendid. Millisele LOD tasemele vastavad piltidel olevad osamudelid teie hinnangul?

BIM-i LOD (Level of Development) e arendustase on tööstusstandard, mis määratleb, kuidas ehitise mudeli 3D-geomeetria ning andmesisu võib saavutada erinevaid viimistlemise tasemeid, mida kasutatakse nõutava projektistaadiumi mõõdikuna.



- LOD 100
- LOD 200
- LOD 300
- LOD 400
- LOD 500
- Ei oska öelda

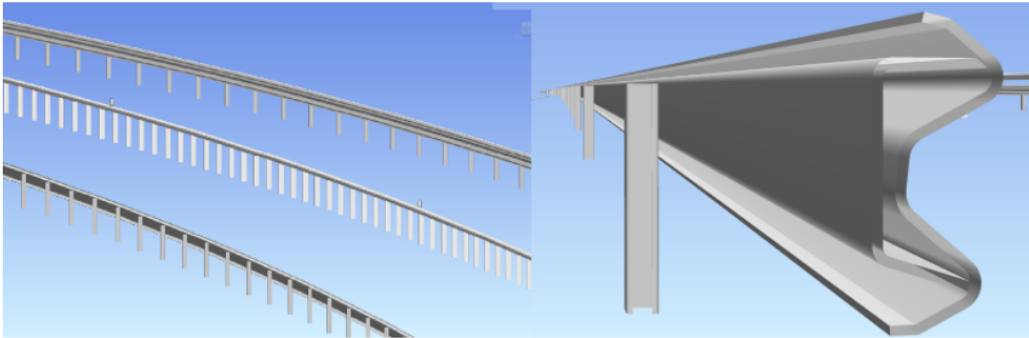
Küsimus



- LOD 100
- LOD 200
- LOD 300
- LOD 400
- LOD 500
- Ei oska öelda

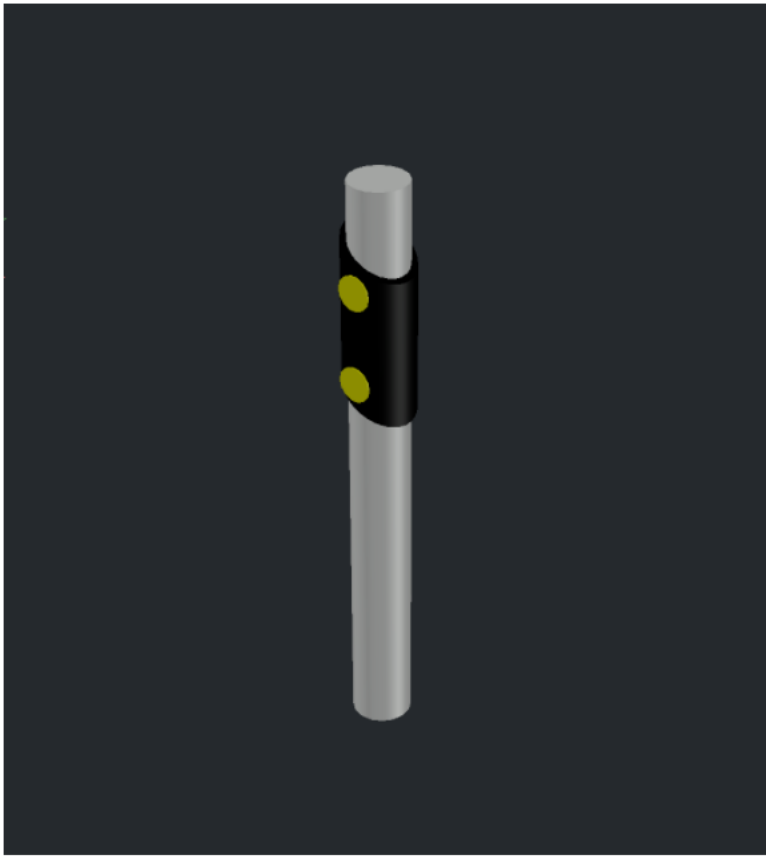


Küsimus



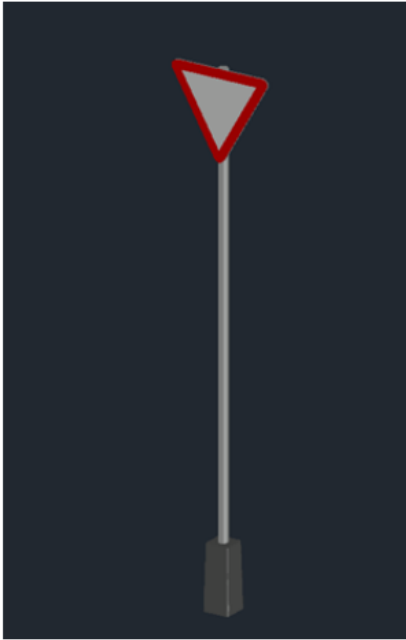
- LOD 100
- LOD 200
- LOD 300
- LOD 400
- LOD 500
- Ei oska öelda

Küsimus



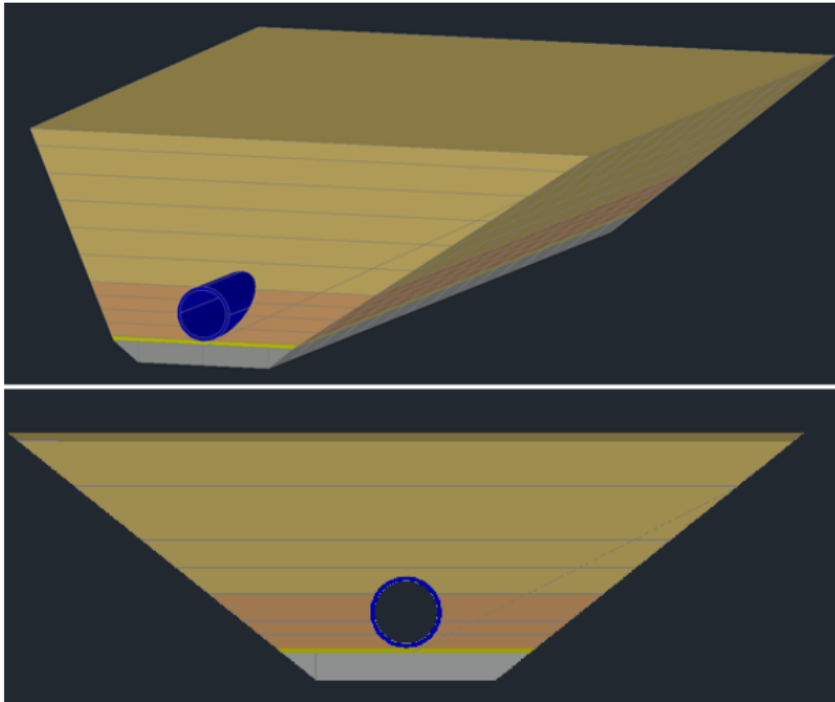
- LOD 100
- LOD 200
- LOD 300
- LOD 400
- LOD 500
- Ei oska öelda

Küsimus



- LOD 100
- LOD 200
- LOD 300
- LOD 400
- LOD 500
- Ei oska öelda

Küsimus



- LOD 100
- LOD 200
- LOD 300
- LOD 400
- LOD 500
- Ei oska öelda



9. Kas tunnete vajadust riigisiseste infrastruktuuri BIM standardite järele?

- Ei ole üldse vajadust
- On vajadus
- Ei oska öelda

Palun põhjendage.

Pikk vastuse tekst

---

10. Miks on teie hinnangul Eestis BIM-i kasutamine taristuehitusel arenenud pigem aeglaselt?

Pikk vastuse tekst

---

Kui teil on veel tähelepanekuid või kommentaare küsitluses läbi käinud teemade kohta, siis palun lisage need siia.

Pikk vastuse tekst

---

Lisa 2. Emaldamata lõikumistega mudeli mahuarvutus.

KULUDE LOEND NR 3: MULLATÖÖD/ BILL OF QUANTITIES NO 3: EARTH WORKS												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/ Parameters	Mõõtühik/ Unit	Mahu/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
30101	Kasvipinnase eemaldamine / Excavation of topsoil	-	m3	13 528,00	4,2	9 928,00	-	80,00	-	2 143,00	1 377,00	56 141,20
30102	Ehitusks sobiva täitepinna kaevandamine / Excavation of Acceptable material	-	m3	17 264,00	2,9	17 264,00	-	-	-	-	-	49 892,96
30103	Ehitusks sobimatu pinna kaevandamine / Excavation of Unsuitable material	-	m3	6 116,00	3,8	4 557,00	1 155,00	21,00	358,00	10,00	15,00	22 996,16
30107	Uute kraavide kaevamine / Excavation of new ditches	-	m3	3 460,00	3,8	2 259,00	1 042,00	-	-	72,00	87,00	13 009,60
30401	Muldkeha chitamine kohalikest pinnasest / Acceptable Fill	-	m3	636,00	6,2	631,00	2,00	2,00	1,00	-	-	3 917,76
30607	Lubjakivi killustik / Crushed limestone	h=15cm	m2	237,87	5,3	24,53	66,87	-	31,07	-	115,40	1 248,82
30608	Lubjakivikillustik-geotekstiil / Crushed limestone on geotextile	h=15cm	m2	89,47	5,5	55,07	34,40	-	-	-	-	492,09
30610	Munakivid geotekstiil / Cobblestones on geotextile	h=15cm	m2	122,93	49,9	72,20	34,80	-	15,93	-	-	6 139,12
30402a	Täitepinna Tm_105 k>0,5 / Imported Fill Tm_105 k>0,5	-	m3	1 921,00	16,0	9,00	5,00	31,00	59,00	1 062,00	755,00	30 716,79
30402b	Täitepinna Tm_90 k>0,2 / Imported Fill Tm_90 k>0,2	-	m3	8 483,00	15,0	7 954,00	529,00	-	-	-	-	127 160,17
30402c	Täitepinna Tm_65 / Imported Fill Tm_65	-	m3	13 284,00	12	13 284,00	0,00	-	-	-	-	159 408,00
30402d	Täitepinna ilma Kfnõudeta / Imported Fill No Kf	-	m3	6 648,00	8	65,00	39,00	30,00	27,00	4 595,00	1 892,00	53 184,00
30402f	Täitepinna Tm_90 k>0,5 / Imported Fill Tm_90 k>0,5	-	m3	7 740,00	15,0	7 277,00	261,00	-	118,00	57,00	27,00	116 022,60
30402h	Granitkiltustikalus fr 16/32 / Crushed base course fr 16/32	-	m3	96 288,00	35	96 288,00	-	-	-	-	-	3 370 080,00
30402k	Täitepinna K>2 / Imported Fill K>2	-	m3	24 800,00	17,0	24 800,00	-	-	-	-	-	421 352,00
30402n	Parustatud kruus, segu nr 4 / Crushed gravel, mix No 4	-	m3	98,00	18,5	98,00	-	-	-	-	-	1 813,00
Summa kantud kokkuvõttesse / Sum transferred to Total											4 433 574,27	

KULUDE LOEND NR 4: KATEND/ BILL OF QUANTITIES NO 4: PAVEMENT												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/ Parameters	Mõõtühik/ Unit	Mahu/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
45007	Looduskivist sillutuskate (tärngukivi) / Natural stone blocks (broken stones)	-	m2	96,07	20	-	96,07	-	-	-	-	1 921,40
40501-21-6	Kiltustikalus fr 32/63 h=21cm / Crushed base course fr 32/63 h=21cm	h=21cm	m2	11 538,10	6,3	11 058,48	479,62	-	-	-	-	72 932,33
40501-25-7	Kiltustikalus fr 32/63 h=25cm / Crushed base course fr 32/63 h=25cm	h=25cm	m2	504,08	7,5	-	-	137,84	245,36	120,88	-	3 793,20
40507-150-20-4	Kruuspinnaest alus, Tm_150 h=20cm / Gravel base Tm_150 h=20cm	h=20cm	m2	5 405,75	6,5	-	-	185,75	308,85	2 840,05	2 071,10	34 921,15
40507-150-25-1	Kruuspinnaest alus, Tm_150 h=25cm / Gravel base Tm_150 h=25cm	h=25cm	m2	12 459,88	8,1	11 933,68	526,20	-	-	-	-	100 613,53
40511-12-4	Sidumata segust kate (Parustatud kruus, segu nr 6) h=12cm / Gravel surface, (crushed gravel, mix No 6) h=12cm	h=12cm	m2	4 316,75	4,5	64,92	-	131,33	134,00	2 335,33	1 651,17	19 468,54
43002-ac4-2	Tihedast asfaltbetoonist kiht, AC 16 Surf h=4cm / Dense asphalt concrete layer, AC 16 Surf h=4cm	h=4cm	m2	9 788,75	9,5	9 401,50	387,25	-	-	-	-	92 993,13
43002-ac5-1	Tihedast asfaltbetoonist kiht, AC 16 Surf h=5cm / Dense asphalt concrete layer, AC 16 Surf h=5cm	h=5cm	m2	364,80	11,9	-	-	-	93,20	174,20	97,40	4 330,18
43003-a5-2	Poorsest asfaltbetoonist kiht, AC 20 Base h=5cm / Porous asphalt concrete layer, AC 20 Base h=5cm	h=5cm	m2	9 848,40	8,2	9 463,20	385,20	-	-	-	-	80 264,46
44501-5-4	Peenarde kindlustamine (parustatud kruus, segu nr 5) h=5cm / Granular fill of shoulders (crushed gravel, mix No 5) h=5cm	h=5cm	m2	115,20	5,6	-	-	-	33,80	58,00	23,40	649,73
44501b-9-4	Peenarde kindlustamine (parustatud kruus, segu nr 5) h=9cm / Granular fill of shoulders (crushed gravel, mix No 5) h=9cm	h=9cm	m2	1 954,32	9	1 889,77	64,55	-	-	-	-	17 588,88
Summa kantud kokkuvõttesse / Sum transferred to Total											429 476,52	

KULUDE LOEND NR 6: KONSTRUKTSIOONID/ BILL OF QUANTITIES NO 6: STRUCTURES												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/ Parameters	Mõõtühik/ Unit	Mahu/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
60202	Süvendi kaevamine / Excavation of Cavity	-		793,00	7,9	793,00	-	-	-	-	-	6 288,49
61202	Nõlvade kindlustamine (eraldav geotekstiil, kuiv-segu, tehiskivist sillutis) / Slope protection (separating geotextile, dry mix, concrete paving)	-		3 725,17	49,9	3 725,17	-	-	-	-	-	186 034,99
60205a	Kiltustikalus fr 16/32 / Crushed base course fr 16/32	-		253,00	30,1	253,00	-	-	-	-	-	7 615,30
60206f	Tagasitide K>2 / Backfill K>2	-		9 662,00	17,0	9 662,00	-	-	-	-	-	164 157,38
Summa kantud kokkuvõttesse / Sum transferred to Total											364 096,16	

KULUDE LOEND NR 9: MAASTIKUKUJUNDUSTÖÖD/ BILL OF QUANTITIES NO 9: LANDSCAPING												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/ Parameters	Mõõtühik/ Unit	Mahu/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
90201-10	Muru kasvualse rajamine ja kivilv h=10cm / Setting out of planting bed and seeding h=10cm	Muruklass III, 20-25 g/m2	m2	18 618,00	1,4	18 618,00	-	-	-	-	-	26 065,20
90201-5	Muru kasvualse rajamine ja kivilv h=5-7cm / Setting out of planting bed and seeding h=5-7cm	Muruklass III, 20-25 g/m2	m2	10 573,00	0,7	6 449,20	542,60	32,00	241,60	2 050,20	1 257,40	7 401,10
Summa kantud kokkuvõttesse / Sum transferred to Total											33 466,30	

KULUDE LOEND: KOKKUVÕTE/ BILL OF QUANTITIES: SUMMARY											
KULUDE LOEND Nr 3: MULLATÖÖD											4 433 574 €
KULUDE LOEND Nr 4: KATEND											429 477 €
KULUDE LOEND Nr 6: KONSTRUKTSIOONID											364 096 €
KULUDE LOEND Nr 9: MAASTIKUKUJUNDUSTÖÖD											33 466 €
KANTUD KOGUSUMMASSE											5 260 613 €
käibemaks 20%											1 052 123 €
KOKKU käibemaksuga 20%											6 312 736 €

Lisa 3. 1 cm lõikumiste tolerantsiga mudeli mahuarvutus.

KULUDE LOEND NR 3: MULLATÖÖD/ BILL OF QUANTITIES NO 3: EARTH WORKS												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Mõõtühik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
30101	Kasvupinnase eemaldamine / Excavation of topsoil	-	m <sup>3</sup>	13 342,00	4,15	9 915,00	-	54,00	-	2 027,00	1 346,00	55 369,30
30102	Õhitusks sobiva täitepinnae kaevandamine / Excavation of Acceptable material	-	m <sup>3</sup>	17 264,00	2,89	17 264,00	-	-	-	-	-	49 892,96
30103	Õhitusks sobimatu pinnae kaevandamine / Excavation of Unsuitable material	-	m <sup>3</sup>	5 889,00	3,76	4 552,00	1 006,00	19,00	287,00	10,00	15,00	22 142,64
30107	Uute kraavide kaevamine / Excavation of new ditches	-	m <sup>3</sup>	3 193,00	3,76	2 251,00	783,00	-	-	72,00	87,00	12 005,68
30401	Muldkeha chitamine kohalikes pinnases / Acceptable Fill	-	m <sup>3</sup>	635,00	6,16	631,00	2,00	2,00	0,00	-	-	3 911,60
30607	Lubjakivi killustik / Crushed limestone	h=15cm	m <sup>2</sup>	237,87	5,25	24,53	66,87	-	31,07	-	115,40	1 248,82
30608	Lubjakivi killustik geotekstiilil / Crushed limestone on geotextile	h=15cm	m <sup>2</sup>	89,47	5,5	55,07	34,40	-	-	-	-	492,09
30610	Munakivid geotekstiilil / Cobblestones on geotextile	h=15cm	m <sup>2</sup>	122,93	49,94	72,20	34,80	-	15,93	-	-	6 139,12
30402a	Täitepinnae Tm_105 k>0,5/ Imported Fill Tm_105 k>0,5	-	m <sup>3</sup>	1 929,00	15,99	9,00	5,00	40,00	89,00	1 061,00	755,00	30 844,71
30402b	Täitepinnae Tm_90 k>0,2/ Imported Fill Tm_90 k>0,2	-	m <sup>3</sup>	8 258,00	14,99	7 833,00	425,00	-	-	-	-	123 787,42
30402c	Täitepinnae Tm_65/ Imported Fill Tm_65	-	m <sup>3</sup>	13 161,00	12	13 161,00	0,00	-	-	-	-	157 932,00
30402d	Täitepinnae ilma Kf nõudeta/ Imported Fill No Kf	-	m <sup>3</sup>	6 273,00	8	65,00	39,00	19,00	27,00	4 302,00	1 821,00	50 184,00
30402f	Täitepinnae Tm_90 k>05/ Imported Fill Tm_90 k>05	-	m <sup>3</sup>	7 675,00	14,99	7 265,00	233,00	-	104,00	46,00	27,00	115 048,25
30402h	Graanitõlusalus fr 16/32 / Crushed base course fr 16/32	-	m <sup>3</sup>	96 288,00	35	96 288,00	-	-	-	-	-	3 370 080,00
30402k	Täitepinnae K>2/ Imported Fill K>2	-	m <sup>3</sup>	24 775,00	16,99	24 775,00	-	-	-	-	-	420 927,25
30402n	Purustatud kruus, segu nr 4/ Crushed gravel, mix No 4	-	m <sup>3</sup>	98,00	18,5	98,00	-	-	-	-	-	1 813,00
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												4 421 818,84
KULUDE LOEND NR 4: KATEND/ BILL OF QUANTITIES NO 4: PAVEMENT												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Mõõtühik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
45007	Looduskivist sillutuskate (täringukivi) / Natural stone blocks (broken stones)	-	m <sup>2</sup>	96,07	20	-	96,07	-	-	-	-	1 921,40
40501-21-6	Killustikalus fr 32/63 h=21cm / Crushed base course fr 32/63 h=21cm	h=21cm	m <sup>2</sup>	11 452,95	6,3	11 036,57	416,38	-	-	-	-	72 394,10
40501-25-7	Killustikalus fr 32/63 h=25cm / Crushed base course fr 32/63 h=25cm	h=25cm	m <sup>2</sup>	451,88	7,5	-	-	-	111,16	219,84	120,88	3 400,40
40507-150-20-4	Kruuspinnaesest alus_Tm_150 h=20cm / Gravel base Tm_150 h=20cm	h=20cm	m <sup>2</sup>	5 248,10	6,5	-	-	116,05	264,20	2 797,10	2 070,75	33 902,73
40507-150-25-1	Kruuspinnaesest alus_Tm_150 h=25cm / Gravel base Tm_150 h=25cm	h=25cm	m <sup>2</sup>	12 413,56	8,1	11 933,68	479,88	-	-	-	-	100 239,50
40511-12-4	Sidumada segust kate (Purustatud kruus, segu nr 6) h=12cm / Gravel surface, (crushed gravel, mix No 6) h=12cm	h=12cm	m <sup>2</sup>	4 291,76	4,5	64,92	-	106,67	133,67	2 335,33	1 651,17	19 355,84
43002-ac4-2	Tihedast asfaltbetoonist kiht AC 16 Surf h=4cm / Dense asphalt concrete layer, AC 16 Surf h=4cm	h=4cm	m <sup>2</sup>	9 667,50	9,5	9 340,50	327,00	-	-	-	-	91 841,25
43002-ac5-1	Tihedast asfaltbetoonist kiht, AC 16 Surf h=5cm / Dense asphalt concrete layer, AC 16 Surf h=5cm	h=5cm	m <sup>2</sup>	364,80	11,9	-	-	-	93,20	174,20	97,40	4 330,18
43003-a5-2	Poorsest asfaltbetoonist kiht, AC 20 Base h=5cm / Porous asphalt concrete layer, AC 20 Base h=5cm	h=5cm	m <sup>2</sup>	9 733,40	8,2	9 409,60	323,80	-	-	-	-	79 327,21
44501-5-4	Peenarde kindlustamine (purustatud kruus, segu nr 5) h=5cm / Granular fill of shoulders (crushed gravel, mix No 5) h=5cm	h=5cm	m <sup>2</sup>	115,00	5,6	-	-	-	33,80	57,80	23,40	648,60
44501b-9-4	Peenarde kindlustamine (purustatud kruus, segu nr 5) h=9cm / Granular fill of shoulders (crushed gravel, mix No 5) h=9cm	h=9cm	m <sup>2</sup>	1 724,79	9	1 666,34	58,45	-	-	-	-	15 523,11
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												422 884,30
KULUDE LOEND NR 6: KONSTRUKTSIOONID/ BILL OF QUANTITIES NO 6: STRUCTURES												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Mõõtühik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
60202	Sivendi kaevamine / Excavation of Cavity	-	-	793,00	7,9	793,00	-	-	-	-	-	6 288,49
61202	Noivade kindlustamine (eraldav geotekst, kivi-segu, tehiskivist sillutis) / Slope protection (separating geotextile, for stone concrete blocks)	-	-	1 934,67	49,9	1 934,67	-	-	-	-	-	96 617,42
60206f	Tagasääde K>2 / Backfill K>2	-	-	9 602,00	17,0	9 602,00	-	-	-	-	-	163 137,98
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												273 629,09
KULUDE LOEND NR 9: MAASTIKUKUUNDUSTÖÖD/ BILL OF QUANTITIES NO 9: LANDSCAPING												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Mõõtühik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
90201-10	Muru kasvualse rajamine ja külv h=10cm / Setting out of planting bed and seeding h=10cm	Muruklass III, 20-25 g/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	18 499,80	1,4	18 499,80	-	-	-	-	-	25 899,72
90201-5	Muru kasvualse rajamine ja külv h=5-7cm / Setting out of planting bed and seeding h=5-7cm	Muruklass III, 20-25 g/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	10 475,60	0,7	6 393,60	526,60	31,80	241,00	2 026,00	1 256,60	7 332,92
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												33 232,64
KULUDE LOEND: KOKKUVÕTE/ BILL OF QUANTITIES: SUMMARY												
KULUDE LOEND Nr 3: MULLATÖÖD												4 421 819 €
KULUDE LOEND Nr 4: KATEND												422 884 €
KULUDE LOEND Nr 9: MAASTIKUKUUNDUSTÖÖD												33 233 €
KANTUD KOGUSUMMASSE												5 151 565 €
kaibemaks 20%												1 030 313 €
KOKKU kaibemaksuga 20%												6 181 878 €

Lisa 4. 5 ja 10 cm lõikumistega mudelite mahuarvutus.

KULUDE LOEND NR 3: MULLATÖÖD/ BILL OF QUANTITIES NO 3: EARTH WORKS													
Artikli nr/ Article No	Pr_Code	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Möötmik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
30101	Pr_15_31 26_90	Kasvupinnase eemaldamine / Excavation of topsoil	-	m3	13 355,00	4,2	9 928,00	-	54,00	-	2 027,00	1 346,00	55 423,25
30102	Pr_15_31 26_26	Ehitusks sobiva täitepinna kaevandamine / Excavation of Acceptable material	-	m3	17 264,00	2,9	17 264,00	-	-	-	-	-	49 892,96
30103	Pr_15_31 26_26	Ehitusks sobimatu pinna kaevandamine / Excavation of Unsuitable material	-	m3	5 896,00	3,8	4 557,00	1 006,00	19,00	289,00	10,00	15,00	22 168,96
30107	Pr_15_31 26_26	Uute kraavide kaevamine / Excavation of new ditches	-	m3	3 201,00	3,8	2 259,00	783,00	-	-	72,00	87,00	12 035,76
30401	Pr_15_31 26_34	Muldkeha ehitamine kohalikest pinnasest / Acceptable Fill	-	m3	635,00	6,2	631,00	2,00	2,00	0,00	-	-	3 911,60
30607	Pr_20_31 04_20	Lubjakivi killustik / Crushed limestone	h=15cm	m2	237,87	5,3	24,53	66,87	-	31,07	-	115,40	1 248,82
30608	Pr_20_31 04_20	Lubjakivikillustik geotekstiilil / Crushed limestone on geotextile	h=15cm	m2	89,47	5,5	55,07	34,40	-	-	-	-	492,09
30610	Pr_25_93 60_54	Munakivid geotekstiilil / Cobblestones on geotextile	h=15cm	m2	122,93	49,9	72,20	34,80	-	15,93	-	-	6 139,12
30402a	Pr_15_31 26_34	Täitepinna Tm_105 k>0,5 / Imported Fill Tm_105 k>0,5	-	m3	1 929,00	16,0	9,00	5,00	40,00	59,00	1 061,00	755,00	30 844,71
30402b	Pr_15_31 26_34	Täitepinna Tm_90 k>0,2 / Imported Fill Tm_90 k>0,2	-	m3	8 259,00	15,0	7 833,00	426,00	-	-	-	-	123 802,41
30402c	Pr_15_31 26_34	Täitepinna Tm_65 / Imported Fill Tm_65	-	m3	13 268,00	12	13 268,00	0,00	-	-	-	-	159 216,00
30402d	Pr_15_31 26_34	Täitepinna ilma Kf nõudeta / Imported Fill No Kf	-	m3	6 273,00	8	65,00	39,00	19,00	27,00	4 302,00	1 821,00	50 184,00
30402f	Pr_15_31 26_34	Täitepinna Tm_90 k>0,5 / Imported Fill Tm_90 k>0,5	-	m3	7 683,00	15,0	7 273,00	233,00	-	104,00	46,00	27,00	115 168,17
30402h	Pr_15_31 26_34	Granitkillustikalus fr 16/32 / Crushed base course fr 16/32	-	m3	96 288,00	35	96 288,00	-	-	-	-	-	3 370 080,00
30402k	Pr_15_31 26_34	Täitepinna K>2 / Imported Fill K>2	-	m3	24 775,00	17,0	24 775,00	-	-	-	-	-	420 927,25
30402n	Pr_15_31 26_34	Purustatud kruus, segu nr 4 / Crushed gravel, mix No 4	-	m3	98,00	18,5	98,00	-	-	-	-	-	1 813,00
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												4 423 348,10	

KULUDE LOEND NR 4: KATEND/ BILL OF QUANTITIES NO 4: PAVEMENT													
Artikli nr/ Article No	Pr_Code	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Möötmik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
45007	Pr_25_93 60_58	Looduskivist sillustuskate (täringukivi) / Natural stone blocks (broken stones)	-	m2	96,07	20	-	96,07	-	-	-	-	1 921,40
40501-21-6	Pr_20_31 04_20	Killustikalus fr 32/63 h=21cm / Crushed base course fr 32/63 h=21cm	h=21cm	m2	11 474,86	6,3	11 058,48	416,38	-	-	-	-	72 532,59
40501-25-7	Pr_20_31 04_20	Killustikalus fr 32/63 h=25cm / Crushed base course fr 32/63 h=25cm	h=25cm	m2	451,92	7,5	-	-	111,16	219,88	120,88	-	3 400,70
40507-150-20-4	Pr_15_31 26_34	Kruuspinnaalust Tm_150 h=20cm / Gravel base Tm_150 h=20cm	h=20cm	m2	5 248,50	6,5	-	-	116,05	264,20	2 797,15	2 071,10	33 905,31
40507-150-25-1	Pr_15_31 26_34	Kruuspinnaalust Tm_150 h=25cm / Gravel base Tm_150 h=25cm	h=25cm	m2	12 413,56	8,1	11 933,68	479,88	-	-	-	-	100 239,50
40511-12-4	Pr_15_31 26_34	Sidumata segust kate (purustatud kruus, segu nr 6) h=12cm / Gravel surface, (crushed gravel, mix No 6) h=12cm	h=12cm	m2	4 291,84	4,5	64,92	-	106,67	133,75	2 335,33	1 651,17	19 356,20
43002-ac4-2	Pr_35_31 05_05	Tihedast asfaltbetoonist kiht AC 16 Surf h=4cm / Dense asphalt concrete layer, AC 16 Surf h=4cm	h=4cm	m2	9 667,50	9,5	9 340,50	327,00	-	-	-	-	91 841,25
43002-ac5-1	Pr_35_31 05_05	Tihedast asfaltbetoonist kiht, AC 16 Surf h=5cm / Dense asphalt concrete layer, AC 16 Surf h=5cm	h=5cm	m2	364,80	11,9	-	-	-	93,20	174,20	97,40	4 330,18
43003-as-2	Pr_35_31 05_03	Poorsast asfaltbetoonist kiht, AC 20 Base h=5cm / Porous asphalt concrete layer, AC 20 Base h=5cm	h=5cm	m2	9 735,20	8,2	9 409,60	325,60	-	-	-	-	79 341,88
44501-5-4	Pr_15_31 26_34	Peenarde kindlustamine (purustatud kruus, segu nr 5) h=5cm / Granular fill of shoulders (crushed gravel, mix No 5) h=5cm	h=5cm	m2	115,20	5,6	-	-	-	33,80	58,00	23,40	649,73
44501b-9-4	Pr_15_31 26_34	Peenarde kindlustamine (purustatud kruus, segu nr 5) h=9cm / Granular fill of shoulders (crushed gravel, mix No 5) h=9cm	h=9cm	m2	1 727,01	9	1 668,23	58,78	-	-	-	-	15 543,09
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												423 061,82	

KULUDE LOEND NR 6: KONSTRUKTSIOONID/ BILL OF QUANTITIES NO 6: STRUCTURES													
Artikli nr/ Article No	Pr_Code	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Möötmik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
60202	Pr_26_26 60202	Sivendi kaevamine / Excavation of Cavity	-	m3	793,00	7,9	793,00	-	-	-	-	-	6 288,49
61202	Ss_25_25 85_55	Notvade eraldamine (eraldav geotekstiil, kuivsegu, tihenduskivisillustis) / Slope protection (separating geotextile, dry mix, concrete blocks)	-	m2	1 934,67	49,9	1 934,67	-	-	-	-	-	96 617,42
60205a	Pr_15_31 26_34	Killustikalus fr 16/32 / Crushed base course fr 16/32	-	m2	253,00	30,1	253,00	-	-	-	-	-	7 615,30
60206f	Pr_15_31 26_34	Tagasitiide K>2 / Backfill K>2	-	m2	9 602,00	17,0	9 602,00	-	-	-	-	-	163 137,98
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												273 659,19	

KULUDE LOEND NR 9: MAASTIKUKUJUNDUSTÖÖD/ BILL OF QUANTITIES NO 9: LANDSCAPING													
Artikli nr/ Article No	Pr_Code	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Möötmik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Põhitee	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Maksumus/ Cost
90201-10	Ss_45_35 30	Muru kasvatuse rajamine ja külv h=10cm / Setting out of planting bed and seeding h=10cm	Muruklass III, 20-25 g/m2	m2	18 502,20	1,4	18 502,20	-	-	-	-	-	25 903,08
90201-5	Ss_45_35 30	Muru kasvatuse rajamine ja külv h=5-7cm / Setting out of planting bed and seeding h=5-7cm	Muruklass III, 20-25 g/m2	m2	10 494,60	0,7	6 410,00	528,20	32,00	241,60	2 026,00	1 256,80	7 346,22
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												33 249,30	

KULUDE LOEND: KOKKUVÕTE/ BILL OF QUANTITIES: SUMMARY												
KULUDE LOEND Nr 3: MULLATÖÖD												4 423 348 €
KULUDE LOEND Nr 4: KATEND												423 062 €
KULUDE LOEND Nr 6: KONSTRUKTSIOONID												273 659 €
KULUDE LOEND Nr 9: MAASTIKUKUJUNDUSTÖÖD												33 249 €
KANTUD KOGU SUMMASSE												5 153 318 €
käibemaks 20%												1 030 664 €
KOKKU käibemaksuga 20%												6 183 982 €

Lisa 5. Eemaldamata lõikumistega ristuvate elementide mahuarvutus.

KULUDE LOEND NR 3: MULLATÖÖD/ BILL OF QUANTITIES NO 3: EARTH WORKS												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Möötuühik/ Unit	Mahu/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Põhitee	Maksumus/ Cost
30103	Ehituseks sobimatu pinnase kaevandamine / Excavation of Unsuitable material	-	m3	1 543,88	3,8	1 149,48	21,09	358,07	8,30	6,94	-	5 804,99
30101	Kasvupinnase eemaldamine / Excavation of topsoil	-	m3	432,39	4,2	-	80,01	-	233,84	118,54	-	1 794,42
30107	Uute kraavide kaevandamine / Excavation of new ditches	-	m3	1 607,63	3,8	1 042,30	-	-	-	0,84	564,49	6 044,69
30402a	Täitepinnas Tm_105 k>0,5 / Imported Fill Tm_105 k>0,5	-	m3	31,17	16,0	-	31,17	-	-	-	-	498,41
30402b	Täitepinnas Tm_90 k> 0,2 / Imported Fill Tm_90 k> 0,2	-	m3	335,17	15,0	335,17	-	-	-	-	-	5 024,20
30402f	Täitepinnas Tm_90 k>05 / Imported Fill Tm_90 k>05	-	m3	463,75	15,0	261,21	-	118,37	57,13	27,04	-	6 951,61
30402d	Täitepinnas ilma Kf nõudeta / Imported Fill No Kf	-	m3	1 194,02	8,0	-	29,86	-	910,24	253,92	-	9 552,16
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												35 670,48
KULUDE LOEND NR 4: KATEND/ BILL OF QUANTITIES NO 4: PAVEMENT												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Möötuühik/ Unit	Mahu/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Põhitee	Maksumus/ Cost
43002-ac4-2	Tihedast asfaltbetoonist kiht AC 16 Surf h=4cm / Dense asphalt concrete layer, AC 16 Surf h=4cm	h=4cm	m2	15,49	9,5	15,49	-	-	-	-	-	147,16
43003-as-2	Poorselt asfaltbetoonist kiht, AC 20 Base h=5cm / Porous asphalt concrete layer, AC 20 Base h=5cm	h=5cm	m2	19,26	8,2	19,26	-	-	-	-	-	156,97
40501-21-6	Killustikalus fr 32/63 h=21cm / Crushed base course fr 32/63 h=21cm	h=21cm	m2	100,72	6,3	100,72	-	-	-	-	-	636,65
40507-150-25-1	Kruuspinnasest alus, Tm_150 h=25cm / Gravel base Tm_150 h=25cm	h=25cm	m2	131,55	8,1	131,55	-	-	-	-	-	1 062,27
40511-12-4	Sidumada segust kate (Purustatud kruus, segu nr 6) h=12cm / Gravel surface, (crushed gravel, mix No 6) h=12cm	h=12cm	m2	15,76	4,5	-	15,76	-	-	-	-	71,08
40507-150-20-4	Kruuspinnasest alus, Tm_150 h=20cm / Gravel base Tm_150 h=20cm	h=20cm	m2	203,33	6,5	-	37,15	61,77	53,38	51,03	-	1 313,51
43002-ac5-1	Tihedast asfaltbetoonist kiht, AC 16 Surf h=5cm / Dense asphalt concrete layer, AC 16 Surf h=5cm	h=5cm	m2	18,24	11,9	-	-	4,66	8,71	4,87	-	216,51
40501-25-7	Killustikalus fr 32/63 h=25cm / Crushed base course fr 32/63 h=25cm	h=25cm	m2	130,97	7,5	-	-	34,46	61,34	35,17	-	985,55
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												4 589,69
KULUDE LOEND NR 9: MAASTIKUKUJUNDUSTÖÖD/ BILL OF QUANTITIES NO 9: LANDSCAPING												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Möötuühik/ Unit	Mahu/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Ristmik1	MS2	MS4	MS3	MS1	Põhitee	Maksumus/ Cost
90201-5	Muru kasvualse rajamine ja külv h=5-7cm / Setting out of planting bed and seeding h=5-7cm	Muruklass III, 20-25 g/m2	m2	37,00	0,7	17,40	-	2,34	12,05	5,21	-	25,90
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												25,90
KULUDE LOEND: KOKKUVÕTE/ BILL OF QUANTITIES: SUMMARY												
KULUDE LOEND Nr 3: MULLATÖÖD												35 670 €
KULUDE LOEND Nr 4: KATEND												4 590 €
KULUDE LOEND Nr 9: MAASTIKUKUJUNDUSTÖÖD												26 €
KANTUD KOGU SUMMASSE												40 286 €
käibemaks 20%												8 057 €
KOKKU käibemaksuga 20%												48 343 €

Lisa 6. Eemaldatud lõikumistega ristuvate elementide mahuarvutus.

KULUDE LOEND NR 3: MULLATÖÖD/ BILL OF QUANTITIES NO 3: EARTH WORKS												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Mööbühik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Ristmik1	MS2	MS4	MS1	MS3	Põhitee	Maksumus/ Cost
30103	Ehituseks sobimatu pinnase kaevandamine / Excavation of Unsuitable material	-	m3	1 312,46	3,8	1 000,18	18,57	286,77	6,94	-	-	4 934,85
30101	Kasvupinnase eemaldamine / Excavation of topsoil	-	m3	260,23	4,2	-	54,26	-	88,18	117,79	-	1 079,95
30107	Uute kraavide kaevamine / Excavation of new ditches	-	m3	1 348,54	3,8	783,21	-	-	0,84	-	564,49	5 070,51
30402a	Täitepinnas Tm_105 k>0,5 / Imported Fill Tm_105 k>0,5	-	m3	40,01	16,0	-	40,01	-	-	-	-	639,76
30402b	Täitepinnas Tm_90 k> 0,2 / Imported Fill Tm_90 k> 0,2	-	m3	280,44	15,0	280,44	-	-	-	-	-	4 203,80
30402f	Täitepinnas Tm_90 k>05 / Imported Fill Tm_90 k>05	-	m3	409,78	15,0	233,00	-	103,70	27,04	46,04	-	6 142,60
30402d	Täitepinnas ilma Kf nõudeta / Imported Fill No Kf	-	m3	819,68	8,0	-	18,62	-	182,86	618,20	-	6 557,44
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												28 628,91
KULUDE LOEND NR 4: KATEND/ BILL OF QUANTITIES NO 4: PAVEMENT												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Mööbühik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Ristmik1	MS2	MS4	MS1	MS3	Põhitee	Maksumus/ Cost
43002-ac4-2	Tihedast asfaltbetoonist kiht AC 16 Surf h=4cm / Dense asphalt concrete layer, AC 16 Surf h=4cm	h=4cm	m2	13,08	9,5	13,08	-	-	-	-	-	124,26
43003-as-2	Poorsest asfaltbetoonist kiht, AC 20 Base h=5cm / Porous asphalt concrete layer, AC 20 Base h=5cm	h=5cm	m2	16,19	8,2	16,19	-	-	-	-	-	131,95
40501-21-6	Killustikalus fr 32/63 h=21cm / Crushed base course fr 32/63 h=21cm	h=21cm	m2	87,44	6,3	87,44	-	-	-	-	-	552,71
40507-150-25-1	Kruuspinnasest alus, Tm_150 h=25cm / Gravel base Tm_150 h=25cm	h=25cm	m2	119,97	8,1	119,97	-	-	-	-	-	968,76
40511-12-4	Sidumada segust kate (Purustatud kruus, segu nr 6) h=12cm / Gravel surface, (crushed gravel, mix No 6) h=12cm	h=12cm	m2	12,80	4,5	-	12,80	-	-	-	-	57,73
40507-150-20-4	Kruuspinnasest alus, Tm_150 h=20cm / Gravel base Tm_150 h=20cm	h=20cm	m2	162,35	6,5	-	23,21	52,84	41,51	44,79	-	1 048,78
43002-ac5-1	Tihedast asfaltbetoonist kiht, AC 16 Surf h=5cm / Dense asphalt concrete layer, AC 16 Surf h=5cm	h=5cm	m2	18,24	11,9	-	-	4,66	4,87	8,71	-	216,51
40501-25-7	Killustikalus fr 32/63 h=25cm / Crushed base course fr 32/63 h=25cm	h=25cm	m2	112,97	7,5	-	-	27,79	30,22	54,96	-	850,10
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												3 950,79
KULUDE LOEND NR 9: MAASTIKUKUJUNDUSTÖÖD/ BILL OF QUANTITIES NO 9: LANDSCAPING												
Artikli nr/ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid/Parameters	Mööbühik/ Unit	Maht/ Volume	Ühikhind/ Unit price	Ristmik1	MS2	MS4	MS1	MS3	Põhitee	Maksumus/ Cost
90201-5	Muru kasvatuse rajamine ja külv h=5-7cm / Setting out of planting bed and seeding h=5-7cm	Muruklass III, 20-25 g/m2	m2	35,00	0,7	16,61	-	2,34	5,17	10,88	-	24,50
Summa kantud kokkuvõttesse/ Sum transferred to Total												24,50
KULUDE LOEND: KOKKUVÕTE/ BILL OF QUANTITIES: SUMMARY												
KULUDE LOEND Nr 3: MULLATÖÖD												28 629 €
KULUDE LOEND Nr 4: KATEND												3 951 €
KULUDE LOEND Nr 9: MAASTIKUKUJUNDUSTÖÖD												25 €
<b>KANTUD KOGU SUMMASSE</b>												<b>32 604 €</b>
käibemaks 20%												6 521 €
<b>KOKKU käibemaksuga 20%</b>												<b>39 125 €</b>