

Kristi Rahu

**3D MUDELLEERIMISE EELIS
TEEEHITUSES VALDEKU TÄNAVA
JA VILJANDI MAANTEE
KERGLIIKLUSTEE NÄITEL**

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond

Teedehituse eriala

Tallinn 2014

Tõendan, et lõputöö on minu, Kristi Rahu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja loome- ja teadustööde seisukohad on viidatud.

Lõputöö koostamine, kaitsmine ja selles sisalduv informatsioon on *prima facie* õppeotstarbeline ja töö on kaitstud autoriõiguse seadusega, mille kohaselt on autoril töö suhtes mittevaralised õigused.

Juhul, kui seda lõputööd kasutatakse muudel põhjustel kui reprodutseerimine õppe- ja teaduslikel eesmärkidel, mis ei ole ajendatud ärilistest huvidest, siis laienevad lõputöö autorile lisaks mittevaralistele õigustele ka varalised õigused.

Lõputöö autor: Kristi Rahu
(allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood 100820095

Õpperühm KTEI 71/81

Lõputöö vastab ülesandele ja kehtivatele nõuetele.

Juhendajad: Rene Pruunsild
(allkiri ja kuupäev)

Konsultant: Tarmo Saar
(allkiri ja kuupäev)

Kaitmisele lubatud “.....” 20....a

Ehitusteaduskonna dekaan

Martti Kiisa
(allkiri)

SISUKORD

SISUKORD	3
MÕISTED JA LÜHENDID	5
SISSEJUHATUS.....	7
1. VALDEKU TÄNAVA JA VILJANDI MAANTEE KERGLIIKLUSTEE	8
1.1 Objekti tutvustus.....	8
2 PROJEKTI KOOSTAMINE	9
2.1 Projekteerimise tarkvara	10
2.2 2D projekt	12
2.3 3D projekt	13
2.3.1 Trassivalik	13
2.3.2 Pikiprofiil	14
2.3.3 Koridori loomine	15
2.3.4 Mahtude leidmine.....	16
2.3.5 Töölõigete koostamine	17
2.3.6 Visualiseerimine.....	18
2.4 2D ja 3D projekti koostamise võrdlus	19
3 ETTEVALMISTUSED E HITUSTÖÖDEKS	21
3.1 2D projekti järgi.....	21
3.1.1 Projektkõrguste määramine.....	21
3.2 3D projekti järgi.....	22
3.2.1 Mahamärkimine 3D joontena.....	22
3.2.2 Tervikmudelist kõrguspunktide mahamärkimine.....	23
3.2.3 3D masinjuhtimine	24
3.3 Ettevalmistööde võrdlus	25
4 TÖÖD EHITUSOBJEKTIL	27

4.1	Ehitus traditsioonilisel meetodil	27
4.1.1	Objektil projektkõrguste väljamärkimine.....	27
4.1.2	Väljamärkimiste võrdlus	29
4.1.3	Ehitusmasinate tootlikus traditsioonilisel ehitusel	29
4.2	Ehitus 3D masinjuhtimisel.....	30
4.2.1	3D masinjuhtimise võrdlus.....	30
4.3	Teostusmöödistused.....	31
4.3.1	Mahtude arvutamine.....	32
4.4	Ehituse käigus ilmnenu probleimid.....	32
4.5	Järeldus	35
5	2D JA 3D PROJEKTIDE VÕRDLUS	36
	KOKKUVÕTE.....	40
	SUMMARY	41
	VIIDATUD ALLIKAD.....	42
	Lisa 1. Valdeku tn (Männiku tee – Viljandi mnt) ja Viljandi mnt (Valdeku tn – linna piir) kergliiklustee tööprojekti „Asukoha skeem“	44
	Lisa 2. Valdeku tn (Männiku tee – Viljandi mnt) ja Viljandi mnt (Valdeku tn – linna piir) kergliiklustee tööprojekti „Tehnovõrkude koondplaan ja vertikaalplaneerimine“	46
	Lisa 3. Valdeku tn (Männiku tee – Viljandi mnt) ja Viljandi mnt (Valdeku tn – linna piir) kergliiklustee tööprojekti „Konstruktiivsed lõiked“	48

MÕISTED JA LÜHENDID

Järgnevalt on välja toodud töös kasutusel olevad mõisted.

3D masinjuhtimine - mehhanismile paigaldatud automaatika, mis kontrollib ja juhib tööorganit operaatorist sõltumata, vastavalt etteantud pinnamudelile

Ehitusgeodeetiline uurimistöö – projekteerimise ja planeeringu teostamiseks vajalike geodeetiliste tööde kogum

GNSS (Global Navigation Satellite System) – rahvusvaheline sateliitnavikatsiooni süsteem

GPS (Global Positioning System) – ülemaailmne positsioneerimissüsteem

Kameraaltööd – välitööl kogutud materjali läbiuurimine tööruumis

Kergliiklus – jalgsi, jalgrattal, rulluiskudel ja mopeedil liiklemise üldnimetus

Kergliiklustee – jalakäijate ja jalgratturite liikluseks ette nähtud eraldi tee või tänavaosa. Käesolevaks ajaks on normis terminit muudetud – jalg- ja jalgrattatee

Konstruktiivne kiht – katendi kiht, mida on arvestatud kandevõime arvutamisel

Maapinna mudel – maapinna kuju ja elemente kujutav digitaalne kolmemõõtmeline (X, Y, H) mudel;

MKM – Majandus ja Kommunikatsiooniministeerium

Pikikalle – projektjoone kõrvalekalle horisontaalist pikisuunas (tõus või lang).

Pikiprofiil – piki tee telge tehtav maapinna püstlõige vähendatud kujutis, kus kallete esiletoomiseks on üldjuhul püstmõõtkava horisontaalmõõtkavast 10 korda suurem.

Pinnamudel – projekteeritud katte, aluste või mulde pinda kujutav digitaalne kolmemõõtmeline (X, Y,Z) mudel

Ristlõige – vertikaalne läbilõige maastikust ja projekteeritud rajatisest risti teetrassiga.

SISSEJUHATUS

Teedehitus on läbi aegade olnud suuresti sõltuv kahemõõtmelistest (2D) joonistest – asendiplaanid, vertikaalplaneeringud, pikiprofiilid, ristlõiked jne. 3D mudelite loomine on olnud pigem eritellimusel.

Kuna teedehituses on viimastel aastatel aina rohkem kasutusele võetud ehituste teostamisel 3D masinjuhtimisega ehitusmasinaid, hakkab tekkima ka nõudlus 3D projektide järgi. Enamasti on ehitajad saanud ehitusprojektid 2D-s. Nende töötlemine 3D masinjuhtimisele vajalikku formaati on aega nõudev.

Kogu ehitusprotsessi juures on määravaks ka hinna ja aja kulu ning loomulikult ka kvaliteet. 2D projekti järgi ehitamisel võib tuua töös ette projekti loetavus, mis 3D mudelleerimisega on viidud väiksemaks. 3D mudelleerimise eeliseks võiks tuua just tõetruu pildi loomine objektist.

Antud töös käsitleb autor Tallinna linnas Nõmme linnaosas 2011 aastal ehitatud Valdeku tänava ja Viljandi maantee kergliiklustee järgi erinevusi 2D ja 3D projekti koostamise ja ehitamise vahel.

Vaadeldava objektiga seoses ei soovi ehitaja avalikustada kõiki läbiviidud ehitustööde hindu, vihjates et mõningad hinnad on firmasaladus. Seega käesolevas töös vaadeldakse peamiselt seotust geodeesia ja projekteerimisega.

Töös võrreldakse 2D ja 3D projektide koostamise etappe ja aja kulu. Samuti millise projekti järgi on parem planeerida ning millist tehnoloogiat kasutada geodeetiliste- ja ehitustööde kvaliteetsema ja kiirema tulemuse saamiseks.

1. VALDEKU TÄNAVA JA VILJANDI MAANTEE

KERGLIIKLUSTEE

Käesoleva töö aluseks on võetud Tallinna linnas Nõmme linnaosas asuv valmisehitatud kergliiklustee – Valdeku tn ja Viljandi mnt kergliiklustee (4km).

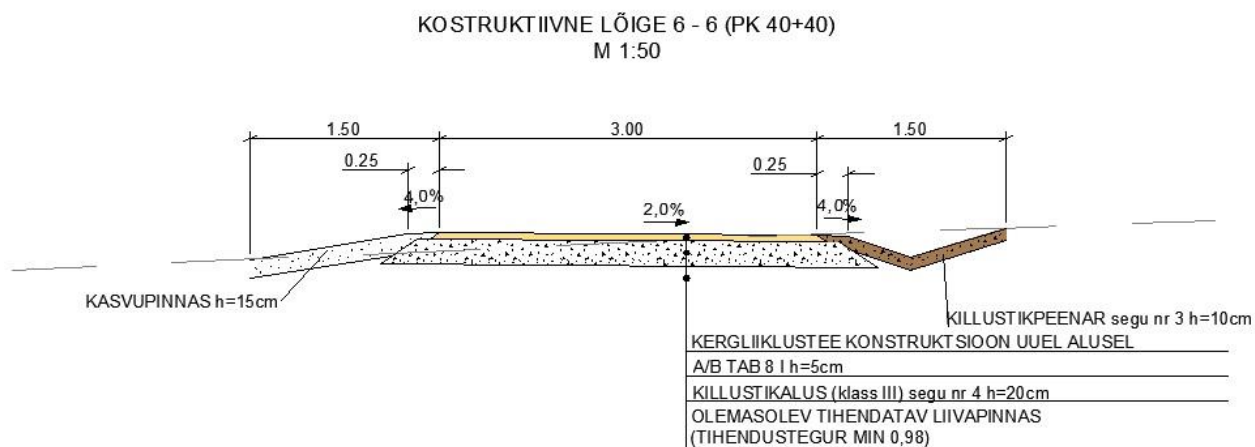
1.1 Objekti tutvustus

Objekt: Valdeku tn (Männiku tee – Viljandi mnt) ja Viljandi mnt (Valdeku tn – linna piir) (Lisa 1). Tellijaks oli Tallinna Kommunaalamet, projekteerijaks oli G.EO Grupp OÜ. [1]

Kergliiklustee on ehitatud Teede REV-2 AS poolt 2011 aastal.

Kergliiklustee projekteeriti 4km ulatuses, laiusena 3,0m. Enamalt jaolt kulgeb kergliiklustee sõiduteest eraldi (Lisa 2). Kohtades, kus eraldi kulgemine ei olnud võimalik, tuli kergliiklustee eraldada sõiduteest äärekividega.

Katte põikkaldeks on projektiga määratud 2,0% ning peenardele 4,0% (joonis 1). Sõidutee ja kergliiklustee vahelisele ribale (killustik või haljastus) on kalded määratud 10 – 4% sõiduteesuunas. Kergliiklustee pikikalded on vahemikus 0 – 5,0%. [1]



Joonis 1. Kergliiklustee katte konstruktiivne lõige [1]

2 Projekti koostamine

Projekti koostamiseks on vajalik nõuete kohaselt koostatud ja vormistatud geodeetiline alusplaan. Geodeetiline alusplaan peab vastama „Ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise kord“ [7] MKM poolt kinnitatud määrusele ja Maantee-ameti „Täiendavad nõuded topo-geodeetilistele uurimistöödele teede projekteerimisel“ [8] esitatud nõuetele.

Ehitusgeodeetilise uurimistöö tegemise eesmärgiks on saada vajalikke lähteandmeid maa-alade planeerimiseks, ehitusprojekti koostamiseks ja ehitamiseks. [7]

Teedeprojekteerimise otstarbel koostatud geodeetiliste alusplaanide tellijateks on peamiselt projekteerimisfirmad. Nemad määravad ka ära, mis otstarbel on uuringuid vaja teostada (eel-, ehitus-, freesprojekt jne). Määratakse kindlaks uuringute ala ulatus, vajalike jooniste koostamise (ka sobivad jooniste mõõtkavad), jooniste failiformaadid, 3D-pinnamudeli formaat.

3D mudelleerimiseks on vajalik ehitusgeodeetiliste uuringute käigus pöörata tähelepanu kõrguste täpsele määramisele.

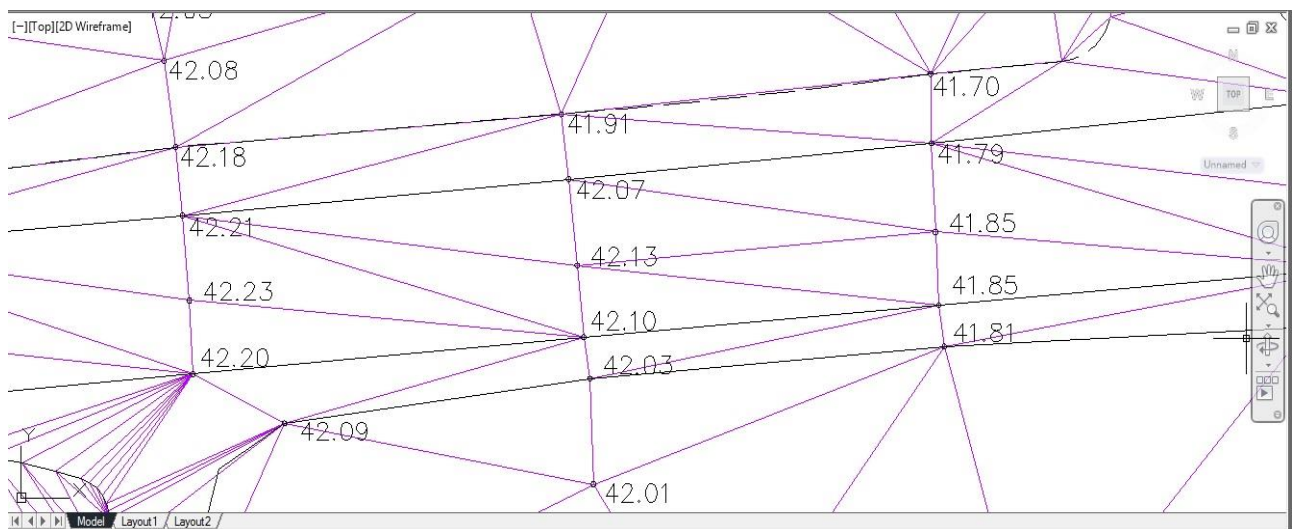
Teejoonte, äärekiivide, nõlvade servad, kaevukaante jne mõõdistamispunktid peavad olema kõrgustega. Kui joonise paremaks loetavuseks on vaja kõrgusarvude asukohti muuta, ei tohi kõrgusarvude asukohti muuta. Võib neid keerata nii, et kõrguse mõõdupunkt jääb samasse punkti.

MKM määruse järgi peab „maapinnamudel või selle genereerimiseks vajalikud andmefailid koostatakse tellija erinõudel.“ [7] Nimetatud määrus on kinnitatud 2007 aastal. Käesolevaks ajaks on see erinõue muutunud kinnitamata reegliks. S.t., et nüüd tehakse teede projekteerimiseks koostatud geodeetilistest uuringutest maastikumudel.

Mudeli täpsuse määrab maastikul mõõdetud punktide hulk ja asukoht. Mudeli täpsuse tagab mõõdistuse läbiviinud geodeet. See oleneb ka geodeedi vilumusest. Kameraaltöid võib teostada teine töötaja (tehnik), kuid viimase kontrolli peaks tegema siiski objektile viibinud mõõtja.

Maapinnamudeli esitamiseks võib kasutada järgmisi meetodeid[7]:

- kokkulepitud formaadis fail(id), mille lähteandmeteks on joonobjektide (sh maastikul esinevad reljeefi murdejooned) ja tööpiiri murdepunktidesse kinnitatud kõrgused ja hajuskõrgused;
- plaani koostamisel on loodud maastikumudel kihil «MAAMUDEL», mudel koosneb sirglõikudega kolmnurkvõrgust, mis ei kajastu plaani väljatrukis (joonist 2);
- kolmemõõtmelised punktid koos reljeefi murdejoontega kihil «MAAMUDEL».



Joonis 2. Maastikumudel kolmnurkvõrgustik [erakogu]

2.1 Projekteerimise tarkvara

Projektide koostamiseks on turul mitmeid joonestamis- ja projekteerimistarkvarasid. Neist kaks levinumat on Bentley (MicroStation) ja Autodesk (AutoCad). Nimetatud programmide baasversioonid võimaldavad koostada vaid 2D projekte. Et koostada 3D mudellerimist on nimetatud programmidele vaja juurde soetada programmi lisad või eraldi programmid enamate funktsioonidega. Bentley on loodud teede 3D mudellerimiseks InRoads ning Autodesk AutoCad Civil 3D. Hinnavõrdlusest (diagramm 1) on näha, et kuigi AutoCad ja AutoCad Civil 3D on levinumad projekteerimistarkvara programmid, on need siiski natuke kallimad, kui MicroStation ja InRoads.

3D programmidega saab koostada mitme tasandilisi ristmike, sõidutee- ja kergliiklustunneleid, loomatunneleid jne.

Täpsemad tarkvarade ja koolituste hinnad on väljatoodud peatükis 3 „2D ja 3D projektide võrdlus“.

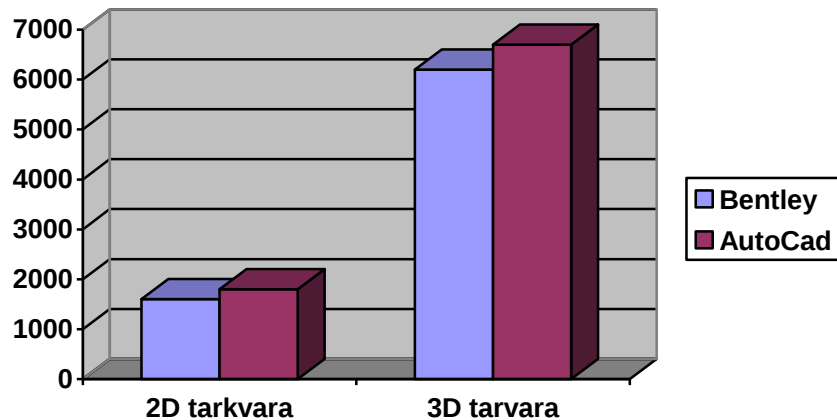


Diagramm 1. Projekteerimistarkvara hinnad eurodes [erakogu]

Kuid programmide koolitushindade võrdlusest (diagramm 2) saab järeldada, et koolituste hinnad on AutoCad ja AutoCad Civil 3D odavamad, kui MicroStation ja InRoads. Koolitushinnad pärinevad Arucad Süsteemid OÜ [2] ja CAD-süsteemide OÜ [3] pakutavate koolituste pakumistelt.

AutoCadi programmi turustab Eestis neli Autodeski ametliku edasimüüjat: Arucad Süsteemid OÜ, Vianova Systems Estonia OÜ, CADi Eesti OÜ ja Commuun OÜ.

Bentley tarkvara edasimüüja Eestis on CAD-süsteemide OÜ.

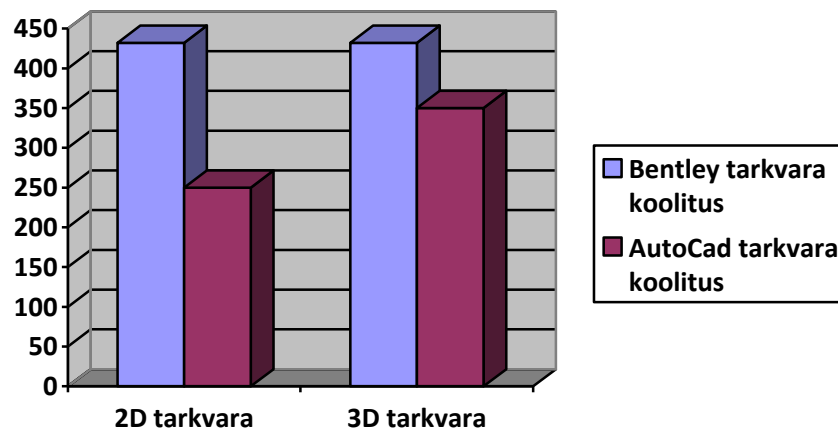


Diagramm 2 Tarkvara koolitushindade võrdlus [erakogu]

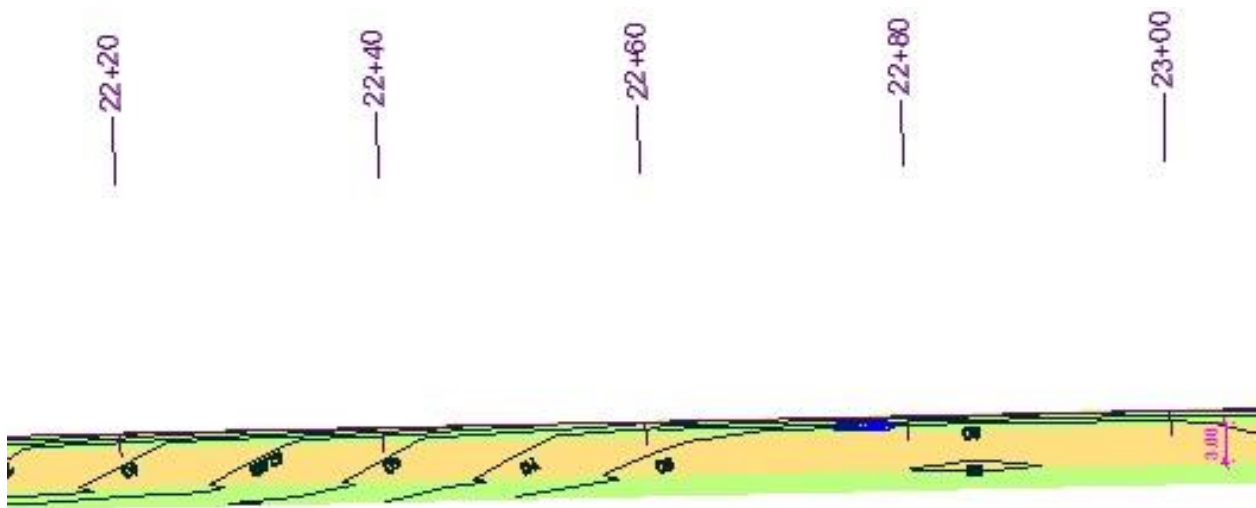
Paljudes ehitusfirmades on kasutusel AutoCadi tarkvara põhised pealisehitised (programmiliisid). Kuna AutoCad on üldlevinud tarkvara, siis tänu sellele toimub ka andmete vahetus osapoolte vahel sujuvalt.

Valdeku tänava ja Viljandi maantee projekti koostamisel on kasutatud levinumat projekteerimistarkvara – 2D projekti koostamisel kasutatud on AutoCadi baasversiooni ning 3D mudellerimiseks AutoCad Civil 3D.

2.2 2D projekt

2D projekti koostamisel joonestatakse geodeetilisele alusplaanile kergliiklustee sobivaim asukoht vastavalt projekteerimistingimustele.

Kergliiklustee teljele, milleks võib olla kokkuleppeliselt serv pannakse 25m vahedega väikesed jooned piketaaži tähiseks (joonis 3.). Koostatakse katendiarvutus, mille kohta joonestatakse konstruktiivsed tüüplõiked. Järgmiseks joonestatakse pikiprofiil, kus sisestatakse punktide kõrgused käsitsi profiili jalusesse. Järgmiseks pannakse pikiprofiilile sobilik projektpind ning mõõdetakse pikiprofiililt uued projektpinna kõrgused. Siis arvutatakse või mõõdetakse pikiprofiilil olemasoleva maapinna ja projektpinna vahe. Koostatud pikiprofiil on abiks vertikaalplaneeringu joonestamiseks.



Joonis 3. 2D projekti vertikaalplaneering [1]

Mahtude arvutuseks võetakse aluseks konstruktiivsed lõiked ning kõnnitee mõõdud (laius, pikkus). Kergliiklustee ehitusel kasutatavate materjalide (asfalt, killustik, liiv) mahtu arvutatakse katendikonstruktiivsetes lõigetes (joonis 1) näidatud kihtide paksuse ja nõlvakalde järgi. Pealmise kihi järgi arvutatakse järgmise kihi laius, arvestades lõike nõlvuse kallet. Järgnevalt on toodud näide, kuidas arvutada killustiku maht 150m lõigul.

Näiteks

Asfaltkatte laius 3m ning kergliiklustee ühe lõigu pikkus on 150m, siis asfaltkatte pindala on 450m^2 .

Killustikukihi maht:

- Killustiku kihi pealmise osa laius on asfaltkatte laiusest mõlemast servast 0,15m laiem, seega tuleb killustiku kihi pealmiseks laiuseks 3,30m.
- Killustikukihi nõlvus on 1:1,5 ja kihi paksus 0,20m, siis siit saab arvutada kihi alumise laiuse: $0,20 / 1:1,5 = 0,30\text{m}$.
- Alumise kihi laiuseks on $3,30 + 2 \times (0,30) = 3,90\text{m}$
- Killustiku kihi mahu arvutamiseks leitakse kihi keskmine paksus ning see korrutatakse lõigu pikkusega ja kihi paksusega: $(3,90 + 3,30) / 2 = 3,60 \times 150 \times 0,20 = 108\text{m}^3$.

Killustiku maht 150m lõigul on 108m^3 .

Samuti arvutati ka väljakaeve ja mulde ehituse mahud. Nende määramiseks tuli käsitsi joonistada tööloikeid.

Arvutati mahud kogu projekti kohta, nii killustiku kui ka liivakihi mahud.

2.3 3D projekt

AutoCad Civil 3D abil on võimalik koostada tee 3D mudel, koos kattekonstruktsioonidega ristlõigete, pikiprofiilide, vertikaallahendustega. Koridori mudelleerimisel arvutab programm katendi materjalide mahud ise.

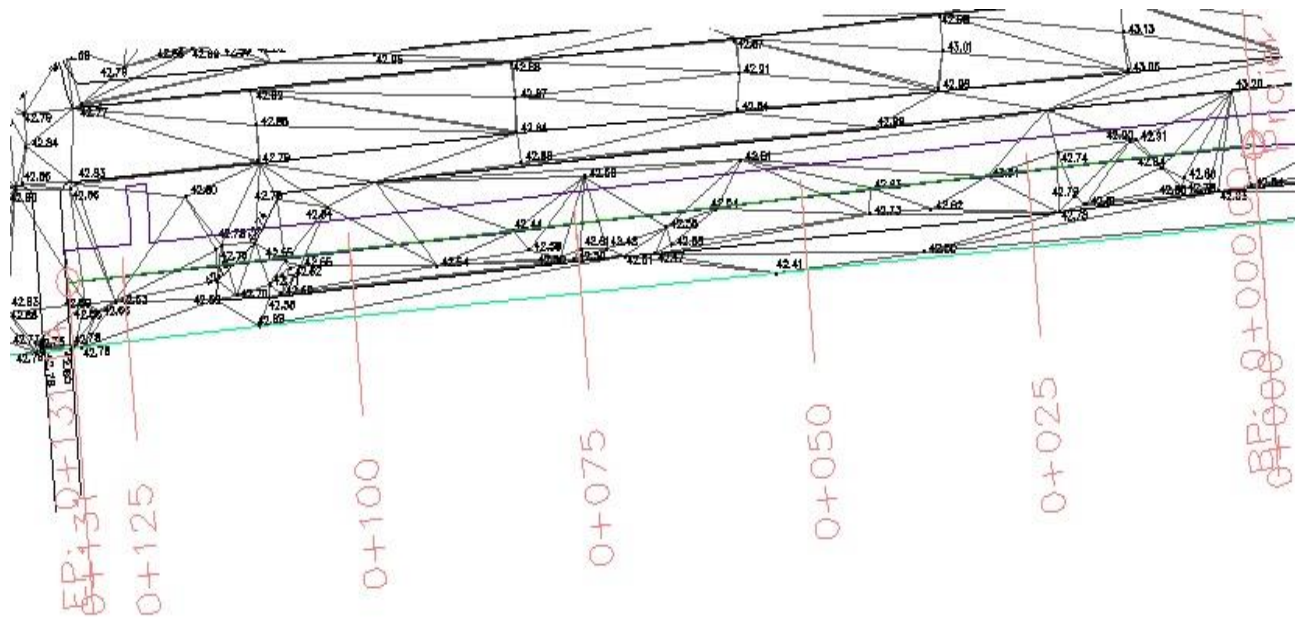
Tee kohta tehtud 3D koridorimudeli abil on võimalik teha visualiseeritud mudel. Mudeli eeliseks on reaalse visuaalse situatsiooni loomine.

2.3.1 Trassivalik

Alusmõõdistuse andmetest koostatud mudelile luuakse kergliiklustee aluseks telg. Kergliiklustee puhul valitakse teljeks üks asfaltkatte servadest, nt sõidutee poolne serv. See hõlbustab just sõidutee küljes kulgeva kergliiklustee paigutuse valikut.

Telje joonestamiseks valitakse käsklus Alignmet...Create Alignment (joonis 4). Kui valida joonestamistüübiks Tangent – Tangent (with Curves), siis programmi sisestatud õigete parameetrite

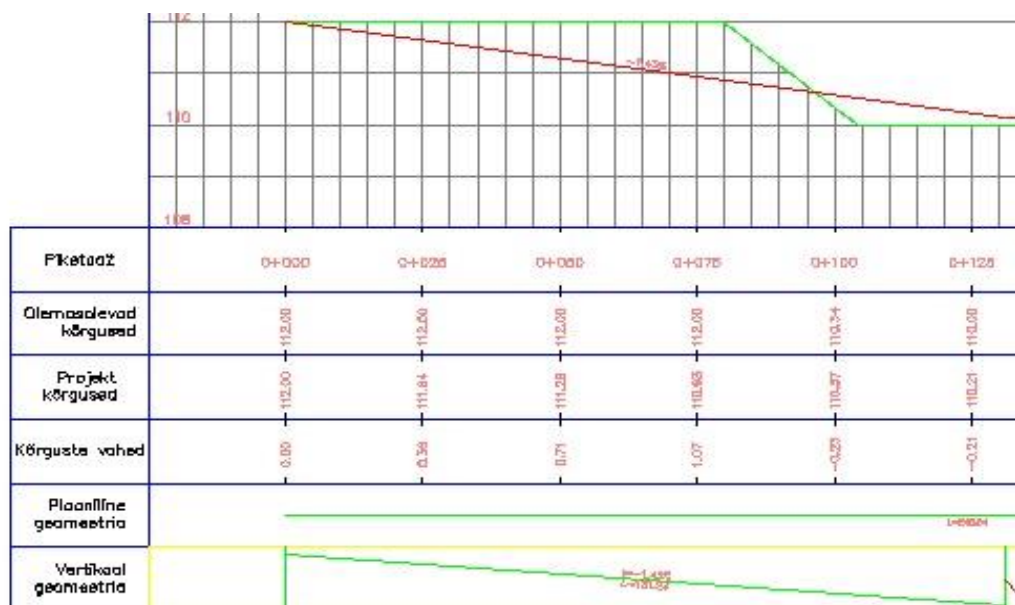
järgi arvutab programm ise sobivad raadiused (nt kergliiklustee puhul – raadius 30m) ning lisab teljele soovitud vahega piketaaži (25m).



Joonis 4. Teetelg koos piketaažiga [erakogu]

2.3.2 Pikiprofiil

Joonestatud telje abil saab koostada olemasoleva maapinna kohta pikiprofiili. Profiili loomiseks näidatakse programmile tehtud teetelg ning olemasoleva maapinna mudel, mille sidumisel saadakse pikiprofiil (joonis 5) olemasoleva maapinna kohta valitud teetrassi asukohal – Profile...Create Profile from Surface... valida telg ja maapind...Add...Draw in profile view...Create Profile view.



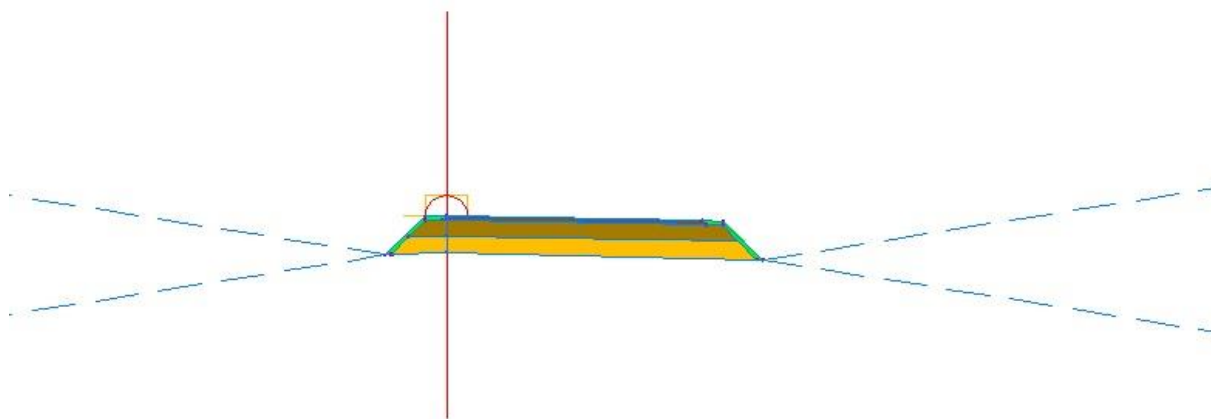
Joonis 5. Pikiprofiil [erakogu]

Saadud profiilile lisatakse uus projektpind Profile... Profile Creation Tools. Mille abil saab koostada projekteeritud vertikaalplaneeringu.

Pikiprofiili jaluses toodud informatsioon peab sisaldama piketaaži, olemasolevaid ja projekteeritud kõrgusi, kõrguste vahesid (täide, süvend), horisontaal- ja vertikaalgeomeetriat.

2.3.3 Koridori loomine

Kõnnitee koridori loomiseks on vaja koostada tee konstruktiivsed lõiked – Assembly...Create Assembly. Lõigetel (joonis 6) määratakse järgmised parameetrid: katete ja peenarde laiused ja kihtide paksused koos põikkalletega ning lisatakse juurde nõlvus. Nõlvusele lisatakse juurde tingimus, mille abil saab siduda uuele teele tekkinud nõlvuse tasapinna kokkuviiamise olemasoleva maapinnaga.



Joonis 6. Teeristlõige koos tee katendiga [erakogu]

Peale tee telje, pikiprofiili ja lõigete koostamist koostatakse kergliiklustee kohta teekoridori mudel (joonis 7).



Joonis 7. Teekoridori mudel [erakogu]

2.3.4 Mahtude leidmine

Mahtude leidmiseks jagatakse koridor piki telge lõikudeks, arvestades teegeomeetriat. Vaikimisi jagab programm tee 25m lõikudeks. Lõikude vahemaid saab programmi abil ise määrata. Kurvides jagatakse lõigud lühema vahega kui sirgetel.

Enne koridori katendimahtude arvutamist, fikseeritakse materjalide nimetused. Mahtude arvutamise aluseks võetakse katendikihtide ristlõigete pindala korrutis vahekaugusega.

Tabelis 1 on toodud näide AutoCad Civil 3D poolt saadava katendikihtide mahtude koond.

Tabel 1

Katendi mahud [erakogu]
Material Report

Project:

Alignment: Alignment - 25

Sample Line Group: SL Collection25

Start Sta: 0+000.000

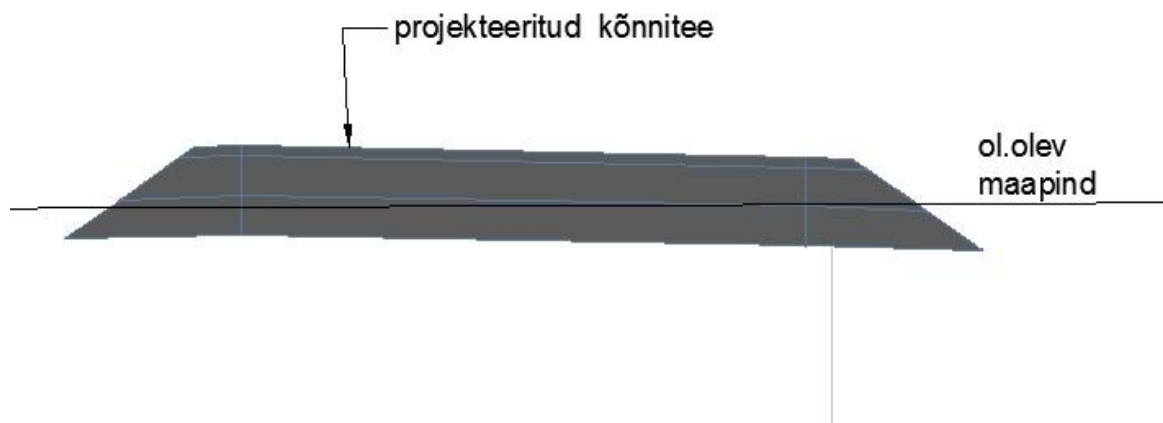
End Sta: 0+086.348

	Area Type	Area	Inc.Vol.	Cum.Vol.
		Sq.m.	Cu.m.	Cu.m.
Station: 0+000.000				
	ac surf	0.15	0.00	0.00
	killustik	0.68	0.00	0.00
	liiv	0.89	0.00	0.00
Station: 0+000.686				
	ac surf	0.15	0.10	0.10
	killustik	0.68	0.47	0.47
	liiv	0.89	0.61	0.61
Station: 0+000.693				
	ac surf	0.15	0.00	0.10
	killustik	0.68	0.00	0.47
	liiv	0.89	0.00	0.62

Mahtude tabelis tuuakse välja mahud iga vahekauguse järel ning eelnevale liidetakse juurde lisanduva kauguse mahud. Nii saadakse tabeli lõpuks koond mahud kogu teekoridori kohta.

2.3.5 Töölõigete koostamine

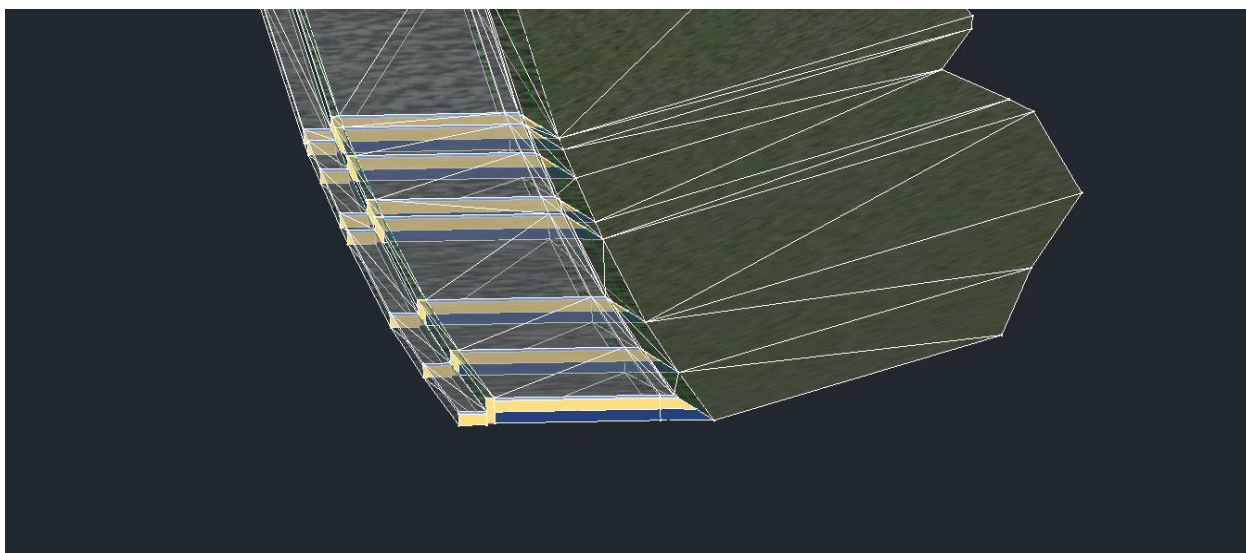
Programmiga on võimalik koostada kogu teekoridori või üksiku kindla piketi kohapealt tööristlõige. Lõikel on kajastatud olemasoleva maapinna kulgemine ja valitud kohale vastav ristlõige. Töölõikelt on näha projekteeritud tee asetsemine olemasoleva maapinna suhtes, kas tee on süvendis või olemasolevast maapinnast kõrgemal (joonist 8). Ristlõike laiuse saab määrata vastavalt projekteeritud tee laiusele.



Joonis 8. Kergliiklustee tööristlõige [erakogu]

2.3.6 Visualiseerimine

Loodud 3D mudelist saab luua reaalsust kujutava digitaalse keskkonna. See lihtsustab erinevatele osapooltele info edasi andmist ning vähendab projekti väärsti tõlgendamist. Lisaks sellele saab omavahel kiiresti võrrelda erinevaid projektilahendusi. Võimalik on vaadata, kuidas loodav rajatis sobituks keskkonda ning teostada erinevaid analüüse (sadevee analüüs, liiklussagedus, päikse varjundid jne.).



Joonis 9. 3D mudel kergliiklusteest [erakogu]

Joonisel 9 on näidatud kergliiklustee kulgemine sõidutee servas. 3D mudelina näidatud kergliiklustee situatsioon aitab vältida joonise vale tõlgendamist.

2.4 2D ja 3D projekti koostamise võrdlus

Tabelis 2 on võrdlusena toodud 4 km pikkuse kergliiklustee 2D ja 3D projekti koostamise etapid koos ajakuluga graafilises osas.

Tabel 2

Projekti osad	Projekti koostamise võrdlus			
	2D projekt		3D projekt	
	Tegevus	Aeg	Tegevus	Aeg
Tee telg	Käsitsi telje joonestamine ja üks haaval pikettide lisamine	5h	Telje joonestamine, millel programm ise piketid lisab	2h
Konstruktiivsed lõiked	Iga kihi eraldi joonestamine	2h	Kogu lõige programmis olemas, aja muuta ainult lõike parameetreid	2h
Pikiprofiil	Olemasoleva ja projektpinna kõrguste lisada profiili päisesse	16h	Paari käsklusega kogu tee pikiprofiil koos projektpinnaga	3h
Vertikaalplaneering	Kõrgusjoonte lisamine joonisele	8h	Mõne käsklusega kogu tee kohta 3D mudel koos kõrgusjoontega	4h
Mahtude arvutamine	Iga kihi eraldi arvutamine	8h	Paari käsklusega kogu projekti katendi mahud ühes tabelis	3h
Kokku		42h		15h

Projekti maksumus on 2D ja 3D projekti koostamisel sama, kuid koostamise aeg erinev. Nagu tabelist 2 on näha kulub 2D projekti graafilise osa koostamisele 27h rohkem aega kui 3D projektile.

3D mudeli joonestamisel ja mahtude arvutamisel on eeliseks see, et kui peaks tekkima vajadus näiteks pikiprofiilil teha muudatus ühes kohas, siis ei ole vaja eraldi teisi komponente muuta. Muudatus toimub projekti teistes osades (asendiplaanil, koridorimudelis, mahtudes, tööloigetel) automaatselt. Kogu projekt on kompaktne.

Kui 2D projektis on vaja teha muudatusi, siis peab projekteerija täpselt meeles pidama, mis selle muudatusega veel muutub ning parandused projekti teistes osades sisse viima. 2D projekti puhul võib juhtuda, et viga jääb mingis projekti osas tegemata ning see kajastub alles ehitusplatsil.

Kui projekti graafilise osa maksumus on 840 €, siis 2D projekti koostamise töötunni hinnaks tuleb $840 / 42 = 20\text{€}$, aga 3D projekti koostamisel 56€. Hinnavõit oleks $56 - 20 = 36\text{€/h}$. Ajaline võit kogu graafilise osa koostamiselt oleks 27h ehk 3 tööpäeva.

3 Ettevalmistused ehitustöödeks

Ettevalmistustööd saab jagada ehituses kasutavate masinate käsitlese järgi:

- ehitust tehakse lihtmeetodiga;
- ehitatakse masinaautomaatikaga.

Traditsioonilisel ehitamisel valitakse esitatud 2D ja 3D projektist vajalikud punktid ja määratakse neile kõrgused. Punktid märgitakse objektile välja tähistades keppide või varrastega, millele märgitakse vajalik kõrgus.

Masinaautomaatikaga ehitamisel on vajalik koostada 2D projektist tee kohta mudel ning siis selle jagamine ehitusetappideks. 3D mudelleerimisega tehtud projekti puhul saab koheselt hakata jagama mudelit ehitusetappide järgi sobilikeks osadeks.

3.1 2D projekti järgi

3.1.1 Projektkõrguste määramine

Punktid, millele kõrgused määratati olid tee raadiuste algus- ja lõpp-punktid, mahasõitude servad jne. Sirgetel lõikudel märgiti kõrgusi iga 20m vahemaa tagant ning lisa punktid märgiti seal, kus muutus kergliiklustee pikikalle. Igale punktile määratakse eraldi kõrgused.

Kõrguste määramiseks võetakse projektis näidatud asfaltkatte serv ja määratakse vertikaalplaneeringu järgi interpoleerides teel valitud punktidele projektkõrgused.

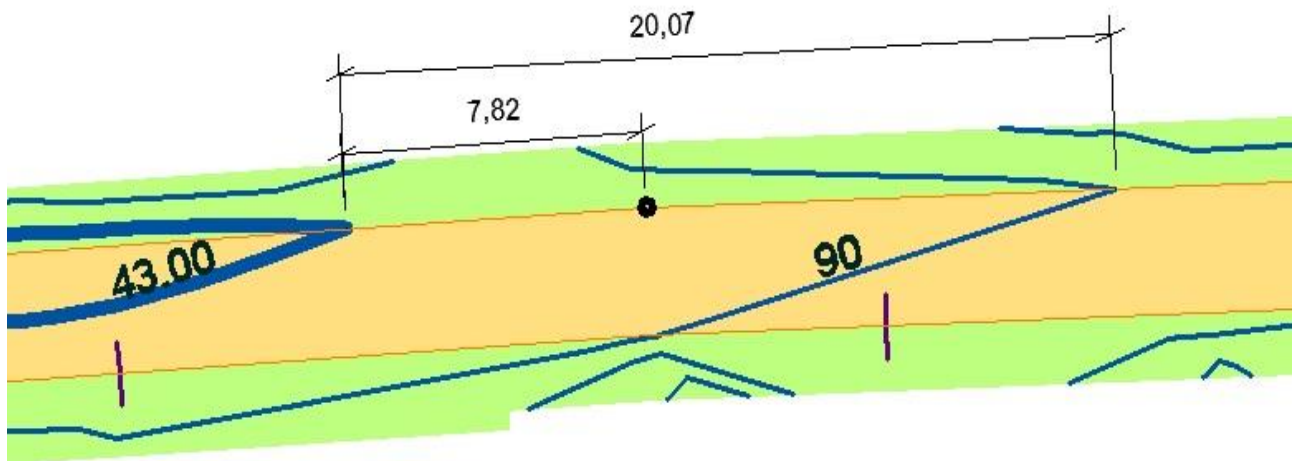
Kõrgusjoonte vahe jagati mõõdetud kahe kõrgusjoone vahelise kaugusega. Nii saadi valitud kohas olemasolev projekteeritud pikikalle. Kõrguskasvu saamiseks korrutatakse leitud pikikaldega ühe kõrgusjoone ja valitud punkti vahelise kaugusega. Korrutise tulemus liideti või lahutati valitud kõrgusjoonest ning tulemuseks saadi punkti kõrgusarv.

Näiteks

Kõrgusjoonte 43,00 ja 42,90 vahe on 20,07m (joonis 10). Kõrgusjoonte vahe on 0,10m.

Otsitava punkti kõrguslik väärtuse leidmine:

- valitud lõigu pikikalle $\Rightarrow 0,10 / 20,07 = 0,005$ (%);
- Kõrguskasv $\Rightarrow 0,005 \times 7,82 = 0,039$ (m);
- Valitud punkti kõrgus $\Rightarrow 43,00 - 0,039 = 42,961$ (m).



Joonis 10. 2D projekti järgi kõrguste määramine [erakogu]

Alumiste katendikihtide laiused ja kõrgusarvud arvutati konstruktiivsetel lõigetel näidatud katte paksusest ja nõlvuse kaldest. Kaeviku laiuse ja sügavuse kõrgused arvutati kõigi kihtide laiuste ja paksuste abil. Rehkendatud kõrgustest koostati märkimistöödeks vajalik tekstifailid. Selline töömetoodika oli väga aeganõudev.

3.2 3D projekti järgi

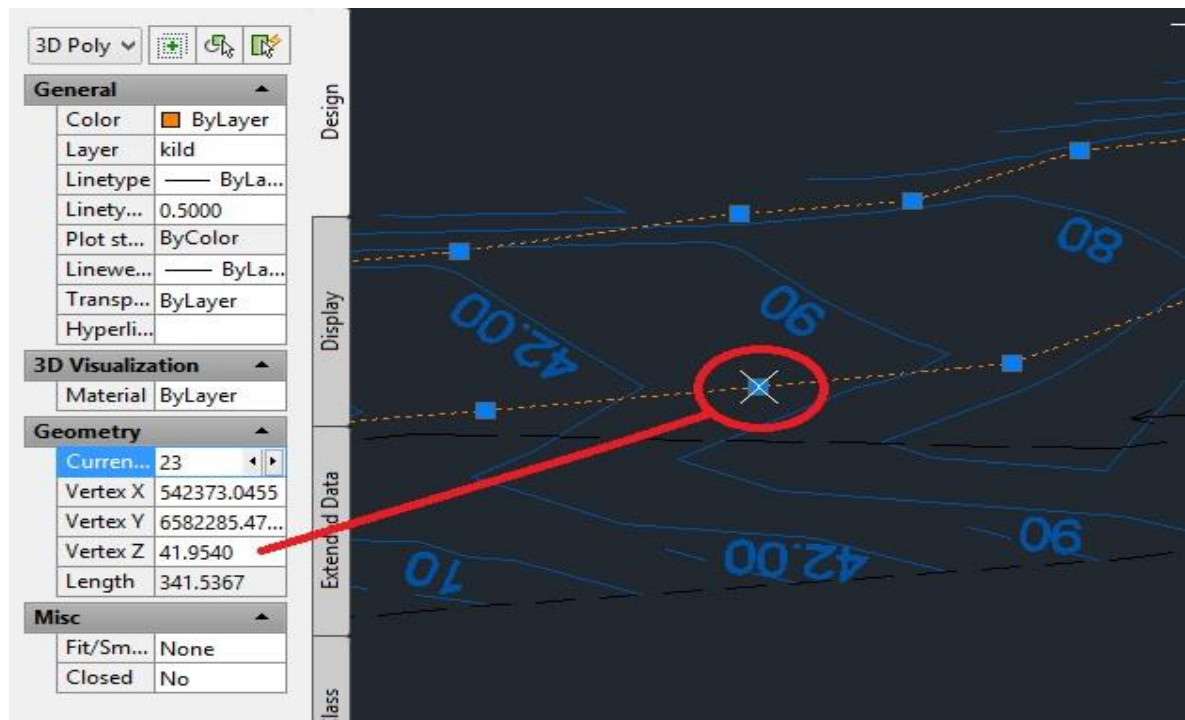
3D mudeli järgi on võimalik tahhümeetriga teha kahte tüüpi mahamärkimistöid:

- erinevate punktide ja joonte mahamärkimine;
- terve tee ulatuses teostada märkimistöid kõrgusmudeli abil.

3.2.1 Mahamärkimine 3D joontena

Koostatud 3D mudeli järgi jääb kameraaltöid vähemaks. Mudeli puhul ei pea enam eraldi kihtide kohta tegema arvutusi.

Vastavalt kihile tuleb võtta mudelist õiged 3D jooned ning minna neid objektile maha märkima.



Joonis 11. 3D jooned kõrgustega [erakogu]

3.2.2 Tervikmudelist kõrguspunktide mahamärkimine

Tervikmudeli puhul on mahamärkimine veelgi lihtsam, kui 3D joonega mahamärkimine. Sisetöödeks on ainult mudeli sisestamine tahhümeetrise. Väljas valitakse tahhümeetri ekraanilt soovitud punkt ning masin teeb arvutustööd sinu eest, nagu näidatud all oleval joonisel 12.



Joonis 12. Punkti kõrgusarvu saamine 3D mudelist [erakogu]

3.2.3 3D masinjuhtimine

Tehnoloogia edasiarengud on jõudnud juba sinnamaale, kus otseselt puudub vajadus geodeedi poolt mahamärgitavatest punktidest. Nimelt suudavad GPS seadmega varustatud masinad juba ise arvestada õigeid ehituskõrgusi, kaldeid ja raadiusi.

3D masinjuhtimises on Eesti turul peamiselt kolm tootjat:

- Leica;
- Topcon;
- Trimble.

Need on levinuimaid brändid, sest nende tooted on silmapaistnud oma töökindluse ja kasutajasõbralikkuse poolest.

Erinevate programmidega koostatud 3D mudelid konverteeritakse vastavalt ehitusmasinas kasutatavate programmidele sobivasse failitüüpi.



Joonis 13. 3D masinjuhtimine [4]

Selle protsessi eelduseks on 3D mudeli ning masinjuhtimisseadme olemasolu teetöö masinal. Mudel laaditakse masinjuhtimisseadme sissearvutisse, mis on omakorda seotud masinal olevate anduritega.



Joonis 14. Tahhümeeter tugijaam [5]

Ideaal tingimustes piisab masina õigel sihil hoidmiseks GPS vastuvõtjast. Keerulisemates olukordades näiteks metsas, tiheasustustes, tunnelis ja suuremat kõrguslikku täpsust nõudvate tööde puhul, kus mõõdetakse kõrgusi mm täpsusega. Asfalteerimine ja tasandusfreesimine jms, tuleb lisaks appi võtta tahhümeeter või pöördlaser.



Joonis 15. Andmete jagamine ehitusplatsil [5]

3.3 Ettevalmistööde võrdlus

Valdeku tänava ja Viljandi maantee kergliiklustee projekt oli esitatud ehitajale 2D joonistena ning ehitus viidi läbi traditsioonilisel ehitusel (ei kasutatud masinatel 3D juhtimissüsteeme).

2D projektijärgi ehitustööde ettevalmistus kulus 250h kameraaltöid. Antud mahus tehtud tööde kameraaltööde hind oli 25€/h. Seega tuleb ettevalmistuse kameraaltööde hinnaks 6250€.

3D mudeli puhul oleks vaja läinud 20h mudeli koostamiseks ja 20h mudelite osadeks jagamisel. Seega oleks kameraaltöödele kulunud 40h ning ettevalmistustööde hinnaks oleks tulnud 1000€.

Tulemuseks saab väita, et ettevalmistustööde puhul oleks kameraaltööde ajaline kokkuhoid tulnud kameraaltöödelt 160h ning rahaliselt 4000€.

Tabel 3

Geodeetiliste ettevalmistustööde hindade ja ajakulu võrdlus [erakogu]

	Ajakulu tundides (h)	Maksumus eurodes (€)
2D projekt	250 h	6250 €
3D projekt	40 h	1000 €
Kokkuhoid	210 h	5250 €

4 Tööd ehitusobjektil

Valdeku tn ja Viljandi mnt kergliiklusteel oli olemas projekt, kus joonised olid ainult 2D vormis. Ehitusel tuli geodeedil teha mahukaid mahamärkimistöid, millele eelnesid rohked kameraaltööde tunnid.

4.1 Ehitus traditsioonilisel meetodil

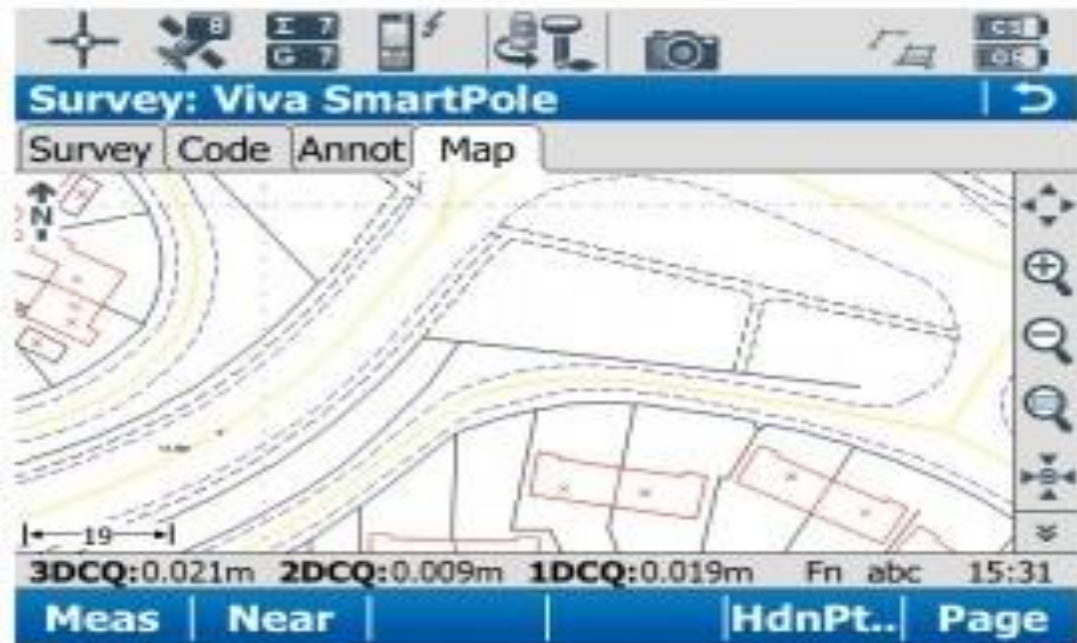
4.1.1 Objektile projektkõrguste väljamärkimine

Objektile märgitakse maha kameraaltööde käigus saadud tekstifailides olevate punktide väärtused (X-, Y- ja Z-koordinaadid). Nende järgi märkis geodeet tahhümeetriga objektile märkevaid ja nende vastava piketi juures õiged kõrgusarvud. Kurvide või pöörangute juurde lisati lisa märkimisvaid. Nende järgi said ehitusmasinajuhid teostada kaeve- ja täitematerjalidega ehitustöid.



Joonis 16. robottahhümeeter koos väliarvuti ja 360° prismaga.[6]

Kõrguste väljamärgimisi teostati ühemehe aparaadiga. Selleks asetati geodeet robotahhümeeteri statiivile ning ise sai ta ehitusplatsil punkte väljamärgida. väliarvuti kinnitati sau külge ja ringiprisma hoidis ühendust robotahhümeetriga. Sellise varustusega saab punkte mahamärgida nii 2D projekti kui ka 3D mudeli järgi.



Joonis 17. Robotahhümeetri ekraanipilt [erakogu]

Joonisel 17 on näidatud robotahhümeetri ekraan, kust on võimalik 3D mudeli olemasolul märgida plaanilt vabalt valitud punkti X-, Y- ja Z-koordinaadid.



Joonis 18. Märkimisvai [erakogu]

Joonisel 18 on näidatud märkimisvõi, millele on peale tõmmatud must joon. Markeriga tõmmatud joon tähistab killustikukihi ülemist serva.

Kohtades, kus sai kaevatud küna liiga sügav, täideti õige aluse põhjakõrguse saamiseks süvend liivaga. Sellist meetodit kasutati just nendes kohtades, kus geoloogia näitas, et välja tuli kaevata rohkem kui katendi mahutamiseks vajalik (ehituseks mitte kõlbulik materjal – nt muld). Nendes kohtades, kus kaevati liiga vähe, tehti täiendavad kaevetööd.

4.1.2 Väljamärkimiste võrdlus

2D projekti järgi ehitustööde teostamiseks vajalike märkimistööde ettevalmistuseks kulus aega 166h. Antud mahus tehtud välitööde hind oli 30€/h. Seega kogu summaks tuleb 4980€.

3D mudeli puhul oleks välitöödele kulunud 85h. Seega välitööde hinnaks oleks tulnud 2550€.

Tulemuseks saab väita, et ettevalmistustööde puhul oleks ajaline kokkuhoid tulnud välitöödelt 21h ning rahaliselt 2430€ (tabel 3).

Tabel 4

Geodeetiliste märkimistööde hindade ja ajakulu võrdlus [erakogu]

	Ajakulu tundides (h)	Maksumus eurodes (€)
2D projekt	166 h	4980 €
3D projekt	85 h	2550 €
Kokkuhoid	21 h	2430 €

4.1.3 Ehitusmasinate tootlikus traditsioonilisel ehitusel

Liivakihi ehitus buldooseriga tootlikkuseks $48\text{m}^3/\text{h}$ ja killustiku korral $43\text{m}^3/\text{h}$.

Tabel 5

2D masinate tootlikus [erakogu]

	Liiv	Killustik	Tööks kuluv aeg
Buldooser	$48\text{m}^3/\text{h}$	$43\text{m}^3/\text{h}$	68h
Greider	$87\text{m}^3/\text{h}$	$80\text{m}^3/\text{h}$	43h

Buldooseri tootlikus liivaluse ehitamisel on $48\text{ m}^3/\text{h}$ ja killustikul $43\text{ m}^3/\text{h}$, maksumus on

Maksumus = kogu tööaeg $\times$ tunnihind

$$68h \times 60 \text{ €/h} = 4080 \text{ €}$$

Greideri tootlikus liivaluse korral on $87 \text{ m}^3/\text{h}$ ja killustikul $80 \text{ m}^3/\text{h}$, maksumus on

$$43h \times 90 \text{ €/h} = 3870 \text{ €}$$

4.2 Ehitus 3D masinjuhtimisel

Kui ehitustöid oleks teostatud 3D masinjuhtimisega, siis oleks geodeedil märkimistöödeks aega vähem kulunud. Geodeedil oleks vaja olnud märkida kergliiklustee orienteeruv asukoht. Edasi oleksid ehitusmasinad saanud töid teostada oma GPS süsteemi juhtimisel. See seob masina sisearvutis oleva 3D mudeli GPS vastuvõtjalt saadavate andmetega, mille tulemusena kuvatakse ekraanil, kui sügavale on vaja kaevata ning millist trajektoori hoida õige kaeve laiuse saavutamiseks

Enamasti kasutatakse objektil baasjaama, kuna sealt saadud parandite signaal on stabiilsem. Selleks on vaja GPS võrguteenust kasutada ainult baasjaama loomisel. GPS võrguteenust ühekuu kasutamise maksumus koos liitumisega on 100 EUR/kuu vastavalt Hades-Invest OÜ GNSS püsijaamade võrgu kasutamise teenuse hinnakirjale [9].

Maksimum kasutusmaksumus 80 EUR/kuus.

3D masinjuhtimisel oleks objektil pidanud GPS võrguteenust kasutama ainult baasjaama loomisel. Kuna antud objekti asub tiheda metsa serval, ei oleks seal saanud ka GPS süsteemil pidevalt ehitusel kasutada.

Kihtide ehituse käigus ei oleks olnud geodeedil vajadust mahamärkimistöid teostada. Masinjuhtimise süsteem oleks töötanud kameraaltööde käigus koostatud 3D mudeli järgi.

4.2.1 3D masinjuhtimise võrdlus

3D masinjuhtimisega oleks geodeedil välitööde peale kulunud 24h märkimistöid ja välitööde hinnaks oleks tulnud 720€.

Kokkuhoid võrreldes lihtmeetodil ehitusega ja 3D masinjuhtimisega võrreldes on geodeesia osas 1230€.

Tabel 6

3D masinjuhtimisega geodeesia välitööde hindade ja ajakulu võrdlus [erakogu]

	Ajakulu tundides (h)	Maksumus eurodes (€)
2D projekt	166 h	4980 €
3D projekt	24 h	720 €
Kokkuhoid	82 h	2460 €

Lisandunud oleks olnud GPS/GNSS võrgu teenuse kasutamise hind kogu ehituseajal 80€. Kokkuhoid oleks olnud 2400€.

Tabel 7

3D masinjuhtimisega ehitusmasinate tootlikus [erakogu]

	Liiv	Killustik	Tööks kuluv aeg
Buldooser	69m ³ /h	58m ³ /h	54h
Greider	93m ³ /h	87m ³ /h	40h

4.3 Teostusmõõdistused

Teostusmõõdistamise eesmärk on ehitise või selle osa asendi ja tehniliste karakteristikute fikseerimine ning dokumenteerimine. [7]

Teostusmõõdistusi teostatakse 2D ja 3D projektidele ühiste reeglite järgi: mõõdistusi tuleb teha iga ehitatud katendikihi kohta.

Peale kaevetööde ja kaeviku põhja planeerimistööde lõppu mõõtis geodeet kaeviku sügavused ja laiused ning saadud andmete järgi tehti teostusjoonised. Teostusjoonistest arvutati väljakaeve mahud, mida tuli võrrelda projektis antud mahtudega.

Teostusjoonistel on aluseks projektlahendus ning eraldi tuuakse välja ehitatud kattekihi servajoon koos mõõdistus-, projektsekõrgusega ning nende vahega nagu on Lisas 2 toodud joonisel.

3D mudel võimaldab saada projekti ning reaalse situatsiooni vahelise hälbe sõltumata kontrollitava punkti asukohast.

Kui objekti tööde läbi viimiseks on koostatud ajagraafik, siis seda on võimalik siduda 3D mudeliga. Mudel jagatakse etapiliselt tükideks, ehk näha on objektist just nii palju, kui peaks sellel ajahetkel parasjagu valmis olema.

4.3.1 Mahtude arvutamine

Teostusmöödistusest saadud kõrguste järgi arvutatakse ehitusel kasutatavate materjalide maht.

Näiteks

- Kaeviku maht (m^3) = olemasoleva maapind – kaeviku põhjakõrgus;
- Liiva maht (m^3) = kaeviku põhjakõrgus – liiva tihendatud pinnakõrgus.

Saadud kõrgusi võrreldakse projekteeritud kõrgustega ning seejärel teostatakse mahuarvutused uuesti. Sarnased arvutused tehakse ka killustiku ja asfaldi kihiga. Lõplikule teostusjoonisele ka vertikaalplaneering.

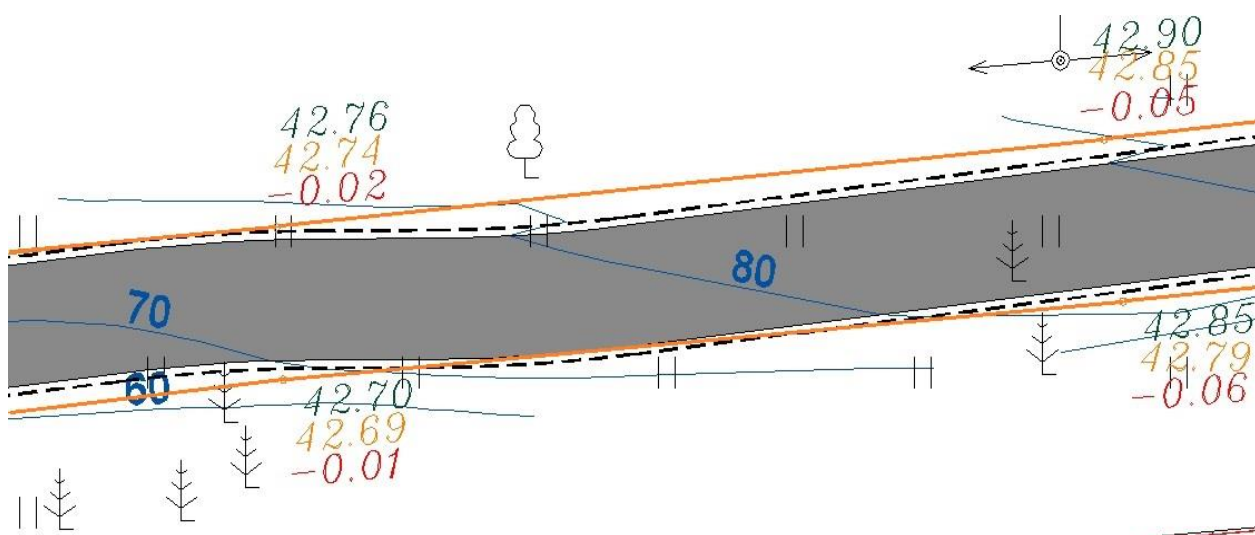
Programmi abil saab mahte arvutada kahel peamisel viisil:

- katendi ristlõike pindala ja teepikkuse korrutisega
- iga katendi kihi kohta koostatud eraldi mudeli võrdlemist projektpinna mudeliga.

4.4 Ehituse käigus ilmnenu probleemid

Kuna ehitustööd käisid 2D projekti järgi tehti ehitustööde teostamiseks tähistusmärkide väljamärgimisi teede asukohtade ja kõrguste osas. Seoses sellega oli üheks peamiseks probleemiks tähistusvaiade kadumine (vandalitsemine). Objektile oli küll öövalve, aga kuna objekt oli 4km pikkune ja tiheda liiklusega tänav, siis ei suutnud valve alati kõik jälgida. Oli ka olukordi, kus tähistusvaiad olid osaliselt puudu, mahasõidetud või mujale tõstetud. Sellest oli tingitud ka kaevetööde vale maht: kaevati liiga laialt, kitsamalt kui vaja, sügavamalt või liiga vähe. See tingis lisa möödistus-, kaevetöid.

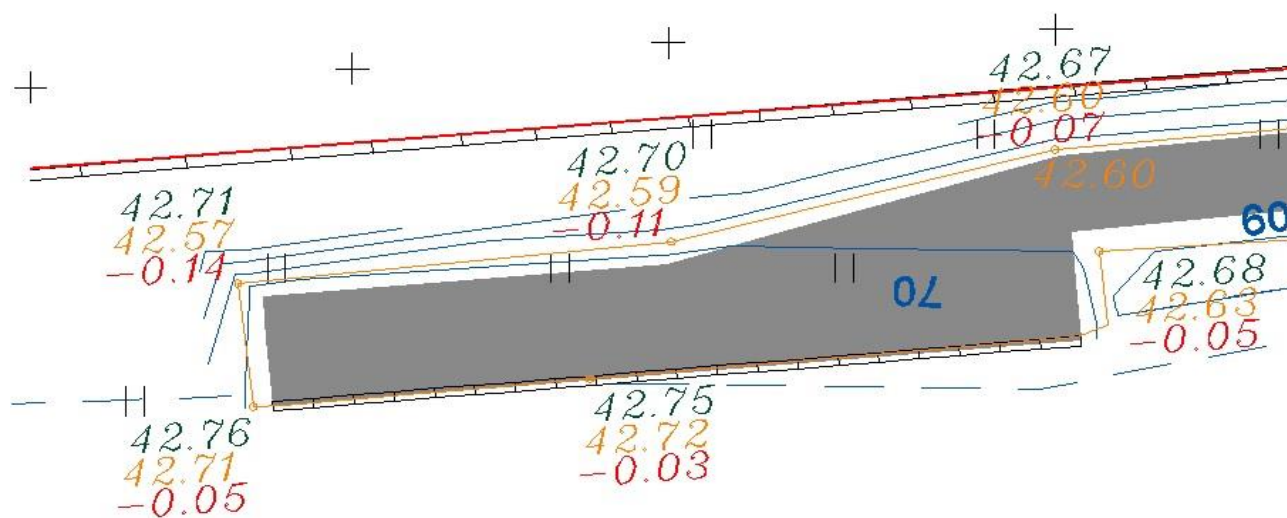
Seoses sellega tuli geodeedil teha lisa märkimistöid, millega kaasnes ajakulu. Kogu objekti kohta võib öelda, et just kadunud või mahasõidetud märkimisvaiade pärast tuli teostada lisa märkimistöid, mistõttu lisandus geodeesiale ajakulu 24 tundi ja rahaliselt 720 eurot.



Joonis 19. Kaeviku liiga lai kaeve ulatus [erakogu]

Joonisel 19 on välja toodud projektne asfalt kate halli värviga. Must katkendlik joonega näidatakse, kus peaks projekti järgi olema killustik kate serv. Tüüplõike järgi on killustiku servanõlvust 1:1,5. Oranži värviga on näidatud teostusmöödistusega mõõdetud killustiku serv.

Teiseks peamiseks tööde venimise põhjuseks oli katendikihi liiga paks või liiga õhuke ehitus. Sellest tulenevalt viibisid ka teised tööd ning juhtus ka olukordi, kus mõnes kohas jäid katendi kihtide teostusmöödistused tegemata ning joonisele kanti andmed sisse ehitaja ütluste järgi.



Joonis 20. Katte kihi paksuse viga [erakogu]

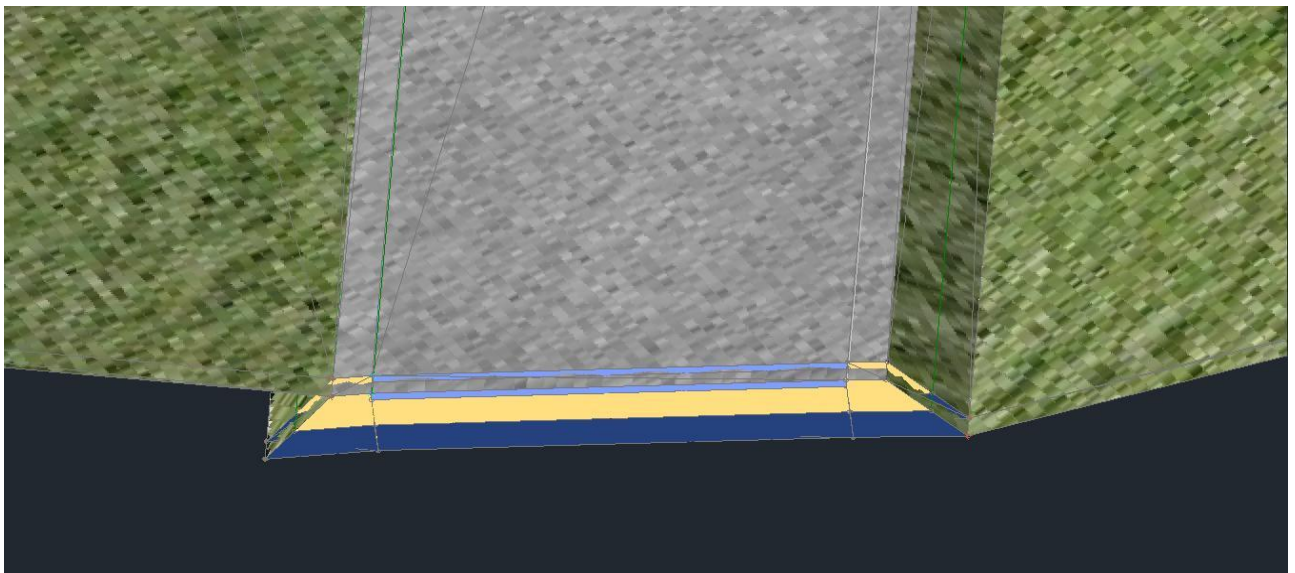
Joonisel 17 on toodud üks osa vale paksusega killustiku kihipaksusest. Killustiku kate tihendatud kate kõrgus võis erineda projekteeritud asfaldi pinnast 3 kuni 7cm. Nagu jooniselt 5.3 on näha, et kõnnitee vasakul üleval servas on projekteeritud kate kõrguse ja tihendatud killustikaluse kõrguste vahe 14cm. Seega viga on kuni 7cm.

Selliste juhtumite puhul teostati killustikaluse mahakraapimist, et saada projektis nõutud kõrgus. Seejärel teostati uus teostusmõõdistus.

Materjalimahtudes suuri kaotsi ei esinenud. Lisandus ainult nii geodeedi lisa tööaeg kui ka greideri tööaeg, ning ka kütuse kulu.

Kogu projekti ehituse kestel lisandus geodeedile tööaega vale sügavusega ehitatud katendikihtide kontrolliks 25 töötundi.

Tihti juhtus ka nii, et projektijuhi ütlusete järgi tehti vajalikud parandused teostusjoonistel pärast asfaltkatte ehitust. Sellise töövõttega saavutati mõningane ajavõit.



Joonis 21. 3D mudel probleemsel kohal [erakogu]

Esines ka viga, kus projektjoonised olid halvasti loetavad ning tekkis „tõlgendamise“ probleeme. Joonisel 21 on koostatud 3D mudellerimisega esitatud projekti läbiv viga. Kergliiklustee sõidutee poolsele puudub nõlv, mis hoiaks kinni sõiduteelt tuleva sademevee. Just Viljandi mnt kergliiklustee osal esineb vihmaste ilmadega olukord, kus sõiduteelt tulev sademevesi toob endaga kaasa vaheribal oleva liiva (joonis 22). Selline olukord kurvastab rulluisutajaid ja suusatajaid, kes peavad harrastussporid tegemiseks valima kodust kaugema kergliiklustee.



Joonis 22. Viljandi mnt kergliiklustee [erakogu]

4.5 Järeldus

Eelmises alapeatükis toodud põhiprobleemidest tulenevalt muutus ka tööde valmimistähtaeg. Ehitaja väitel oli neil plaan tööd lõpetada ja kergliiklustee üle anda juuni algus 2011 (vt pilti), kuid tööd said valmis alles juulis 2011. Enne lõpliku valmis kergliiklustee üleandmist tellijale tehti veel kogu ehitusala kohta teostusmöödistus koos haljastuse ja liikluskorraldusega (liiklusmärgid ja teekattemärgistus). Ning lõplik üleandmine Tallinna Kommunaalametile toimus alles augusti kuu alguses. Seega oli vaja taotleda ehitustööde kulgemiseks pikendust.

Tabel 8

Ehitusel lisa tööde aeg ja hind [erakogu]

Ehitusel ilmnenud probleem	ajakulu (h) objekti kohta	Hind €
Materjali vale kihipaksus	25	750€
Märkimisvaidade kadumine (lisa märkimistöö)	17	510€
Greideri lisa tasandamine	14	1260€
Kokku	76	2520€

Tabelist 7 on näha, et lisa töödega on kulunud 9,5 tööpäeva (76h).

3D masinjuhtimisega oleks saanud seda vältida. Masinsüsteem jälgib kindlalt sisestatud 3D mudelit.

5 2D ja 3D PROJEKTIDE VÕRDLUS

Eelmistest peatükkidest saab järeldada, et 3D projekti koostamisel oleks saanud paljusid probleeme ära hoida – tähistusvaiade kadumised, kihtide vale paksuste ehitamine jne. Kui 2D projekti puhul tuli kõik raadiuste algused ja lõpud tähistada tähistusvaiadega. Suurematel raadiustel veel raadiuse keskkohad, siis 3D mudeli puhul ei ole sellist tööd vaja enam ehitus platsidel teostada. Vajalikud on suurema tähtsusega tähistusvaiadel, nt. objektil orienteerumiseks piketaaži tähised jms. Lisaks tähistatakse 3D masinatele kõrgusreeper, kus käiakse masina sahkade kontrollmõõtmist tegemas (kalibreerimine).

Tabel 9

Programmihindade ja koolitushindade võrdlus

	Tarkvara hind	Koolitus	Projekti joonestamise aeg
AutoCAD 2D	1400€	250€	176h
MicroStation 2D	1200	432€	
AutoCAD Civil 3D	6500€	350€	80h
MicroStation InRoads	6400	432€	

Lähtudes projekteerijast on 2D projekte odavam teha ning selleks ei pea oskama keerulisi programme. Tabeli 8 põhjal on näha, et 2D programmid on odavamad ning AutoCadi tarkvaral on ka koolitus odavam, kui 3D tarkvaral.

2D projekte saab koostada väga lihtsate joonestustarkvara programmidega. Kuid see töö on tülikam ja aeganõudvam.

3D joonestustarkvarad on kallimad ja keerukamad ning nende valdamiseks on vaja spetsiaalset programmikoolitust. Kuid hiljem on projektide koostamine mugavam ja kiirem.

Lisaks sellele on võimalik 3D projekteerimise tarkvaraga luua valmis erinevaid aluspõhjasid juba eelnevalt koostatud reglementide, stiilide ja katenditega. Need kiirendavad tunduvalt järgmiste objektide projekteerimist. Neid aluspõhjasid saab alati kasutada järgmistes projektides uuesti. Muuta on vaja ainult tee parameetreid (tee laiust, katendi kihte jne).

Siin kohal on ehitajad mõne sammukese juba projekteerijatest ette astunud, sest järjest enam ja enam kasutatakse ehitusplatsidel masinjuhtimises 3D tehnoloogiat. Kuna paljud projekteerijad teevad veel projekte 2D-s, siis antud hetkel peavad ehitajad ise mudeli 2D projekti andmetest looma. Siin võib probleemiks tulla just projekti loetavus. Kui projektiloetavus on puudulik, siis tekivad ka ehituseks tehtavate mudelitele vead sisse. Mis omakorda nõuab ehitajalt lisa tööaega.

Tabel 10

2D ja 3D projekti eelistuste ja puuduste võrdlus [erakogu]

Omadused	2D projekteeritud projektid	3D mudelleeritud projektid
Mahud	Mahtude arvutus on tehtud väga jämedate arvutuste järgi	Tekitatud mudeli abil on võimalik saada konkreetsed mahud
Dünaamilisus	Projektis tehtavad muudatused tuleb käsitsi kõikides osades eraldi sisestada	Kogu seotud info uueneb muutuse korral automaatselt.
Loetavus	Projekti loetavus võib tekitada kõrguste arvutamisel vigu, just keerukamates kohtades	On võimalik teha elutruu pilti/ situatsiooni ning uurida seda igast võimalikust küljest
Kuluarvestus	Materjalide kulu ja vajalike detailide arv tuleb kokku lugeda projektjooniselt ja materjalide kulu välja arvutada	Materjalide ja muude projekti lisatud detailide kogused on kajastatud mudeliga seotud tabelites
Hind	Projekti koostamine odavama ja lihtsa programmiga	Projekti koostamine nõuab võimsamaid arvuteid, kallimaid programme ning koolitust
Aeg	Korraliku projekti koostamine on aega nõudev	Korraliku eelseadistuse puhul sujuv ja kiire
Ristumiste kontroll	Trasside ristumiste kontrollimiseks on uurimist vajavate dokumentide hulk suur	Eeldusel, et objektile paiknevad trassid on mudeli kujul olemas, on võimalik programmi abil kiiresti leida konfliktseid kohad

Eeltoodud tabelis 9 on välja toodud peamised eelistused ja puudused 2D ja 3D projektide osas. 3D mudeli olemasolul oleks saanud vigu tublisti minimaliseerida. Kindlasti oleks saanud ära hoida joonise „tõlgendamise“ vigu.

Tabel 11

Geodeetiliste tööde võrdlus 2D ja 3D ehitusel [erakogu]

Töö	2D		3D		Kokkuhoid	
	Ajakulu (h)	Hind (€)	Ajakulu (h)	Hind (€)	Ajakulu (h)	Hind (€)
Ettevalmistustööd	250	6250	40	1000	210	5250
Märkimistööd	166	4980	85	2550	81	2430
Lisa märkimistööd	42	1260	-	-	42	1260
Teostusmöödistus	290	8700	250	7500	40	1200
Teostusjooniste koostamine ja mahtude arvutus	220	5500	250	6250	70	1750
Kokku	968	26690	625	17300	343	9390

Tabelist 10 on näha, et kogu objektil kulus geodeedil ehituse juures 968h. Sellel objektiga oli seotud kaks geodeeti: välitöödel üks ja teine tegi kameraaltöid. Seega kameraaltöödele kulus 470h ehk 52 päeva ja välitöödele kulus 498h ehk 9tunnise tööpäeva juures 55 tööpäeva.

Tabel 12

Masinatootlikkuse võrdlus 2D ja 3D liiva ja killustikaluse ehitusel [erakogu]

	2D		3D		Kokkuhoid	
	Ajakulu (h)	Hind (€)	Ajakulu (h)	Hind (€)	Ajakulu (h)	Hind (€)
Buldooser	68	4080	54	4050	14	30
Greider	43	3870	40	4000	3	-130
Greideri lisa tasandus	14	1260	-	-	14	1260
Kokku	125	9210	94	8050	31	1160

Ainult liiva ja killustikaluse ehitusest oleks olnud 3D masinjuhtimisega kokkuhoid 4km kergliiklustee ehituses 31h ja 1160€ (tabel 11).

3D mudellerimisega koostatud projekti puhul oleks saanud geodeesia osas kokku hoida 343h ehk 38 päeva. Kuna kergliiklustee ehitustööde tähtaeg ületas kaks kuud, siis 3D süsteemi kasutamisel oleks

ajavõit olnud juba üks kuu. Ning finantsiliselt oleks rahaline kokkuvõtte juba üksnes geodeesia osas 35%.

Kui võtta kokku nii geodeesia ja aluseehituse kokkuvõtte, siis saab järeldada, et 3D süsteemis ehitamisega oleks aja kokkuvõtte olnud märkimisväärne

$31h + 343h = 374 h$ (töötundi) ehk 42 päeva (1,9 kuud). Seega oleks saanud kergliiklustee valmis ehitada esitatud tähtajaks.

KOKKUVÕTE

Koostatud töö tulemuseks saab öelda, et korraliku ehitustöö tulemuseks on projektide koostamine 3D mudelleerimisega ning kogu ehitus protsessi koondumine 3D masinjuhtimisele. 3D süsteemide kasutamisega saab vältida projekteerimis- ja ehitusvigu.

Uurimisel selgus, et 3D mudelleerimisega on ajaline võit märkimisväärne võrreldes traditsioonilise ehituse ja 2D projekteerimisega. Ajaline võit kajastub nii projekteerimisel, ehitustöödeks ettevalmistumisel, kui ka ehitusel.

Tänapäevaks on arvutite tarkvarad teinud suure „tiigrihüppe“ ning nüüd on võimalik väiksema vaevaga koostada ka kõige keerukamaid lahendusi. Näiteks kahe- või enama tasandilisi ristumisi, kergliiklustunneleid, loomatunneleid jne.

Üheks peamiseks takistuseks mudelite koostamisel on 3D mudelleerimise tarkvara maksumus. Ja kuna tellijad veel ei ole projekteerijalt otseselt nõudnud 3D mudeleid, ei näe projekteerijad sundlust üle minna 3D mudelleerimise tarkvara kasutamisele.

Kokkuvõtteks võib öelda, et 3D mudelleerimissüsteemile üleminek nõuab nii projekteerijalt kui ka ehitajatelt suuri investeeringuid, kuid tulemuseks on kvaliteetsem, kiirem ja odavam töö.

SUMMARY

The conclusion based on this paper is that proper construction work entails project compilation via 3D modelling and the convergence of the whole construction process into 3D machine control. Implementation of 3D systems facilitates the prevention of project design and construction errors.

The research indicated that 3D modelling ensures a remarkable reduction of time consumption compared to traditional construction practices and 2D project work. Time is saved at all stages: project design, preparation for construction and building work.

Computer software has made a great leap forward, and users can now create even the most complicated solutions with much less effort, for instance double- or multi-level crossings, light traffic tunnels, animal passages and so on.

One of the main factors hindering the proliferation of 3D modelling is the cost of such software. As customers are not yet directly demanding from project designers the use of 3D models, project designers do not feel compelled to adopt 3D modelling software.

The findings can be summed up by stating that implementing a 3D modelling system requires that both project designers and builders make substantial investments, but they should understand that this expenditure will result in higher-quality, faster and cheaper work.

VIIDATUD ALLIKAD

- Dokument

- [1] G.E.O Grupp OÜ, „Valdeku tn (Männiku tee – Viljandi mnt) ja Viljandi mnt (Valdeku tn – linna piir) kergliiklustee tööprojekt“ Tallinn märts 2010

- Veebisait

- [2] „www.arucad.ee,“ Arucad Süsteemid OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.arucad.ee/koolitused/koolituskalender>. [Kastuatud 14. Mai, 2014]

- [3] „www.cadsys.ee,“ CAD-süsteemide OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: http://cadsys.ee/index.php?id=574&course_id=2. [Kastuatud 14. Mai, 2014]

- [4] „www.leica-geosystems.us,“ Leica Geosystems, [Võrgumaterjal]. Available: http://portal.leicaus.com/e-Marketing/MachineControl/leica_powergrade3d.cfm [Kasutatud 15. märts, 2014]

- [5] „www.topconpositioning.com“, Topcon Positioning Systems, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.topconpositioning.com/products/machine-control/3d/millimeter-gps-paving> [Kasutatud 09. märts, 2014]

- [6] „www.leicaestonia.ee,“ Leica Geosystems, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.leicaestonia.ee/leica-viva-ts15> [Kasutatud 15.mai, 2014]

- Veebisaidilt pärinev dokument

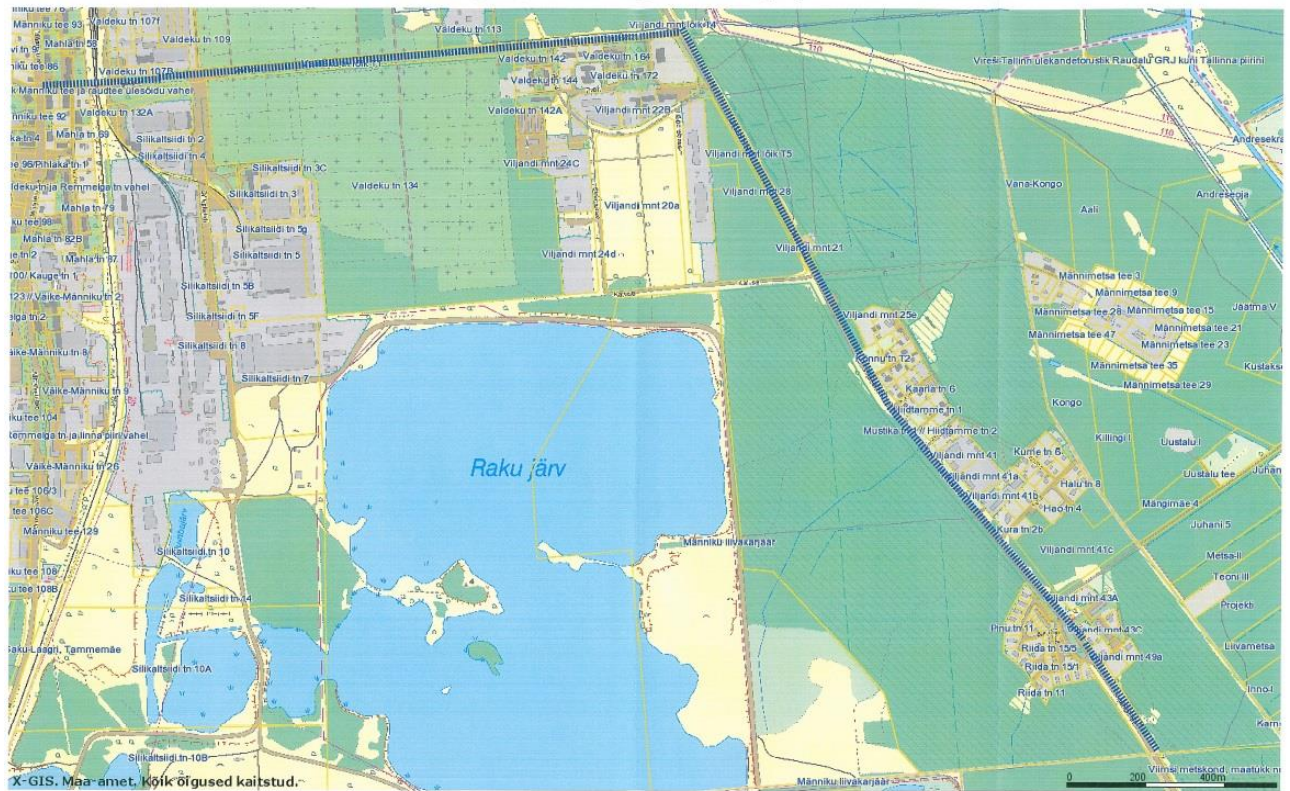
- [7] „Ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise kord“ 2007. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 10.aprill, 2014]

- [8] „Täiendavad nõuded topo-geodeetilistele uurimistöödele teede projekteerimisel,“ 2008. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 18.aprill, 2014].

- [9] „Hades-Invest OÜ GNSS püsijaamade võrgu kasutamise teenuse hinnakiri ja arveldamise reeglid,“ 2012. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 15.mai, 2014]

Lisa 1. Valdeku tn (Männiku tee – Viljandi mnt) ja Viljandi mnt (Valdeku tn – linna piir) kergliiklustee tööprojekti „Asukoha skeem“

**Harju maakond, Tallinna linn, Nõmme linnaosa
Valdeku tn ja Viljandi mnt kergliiklustee tööprojekt**

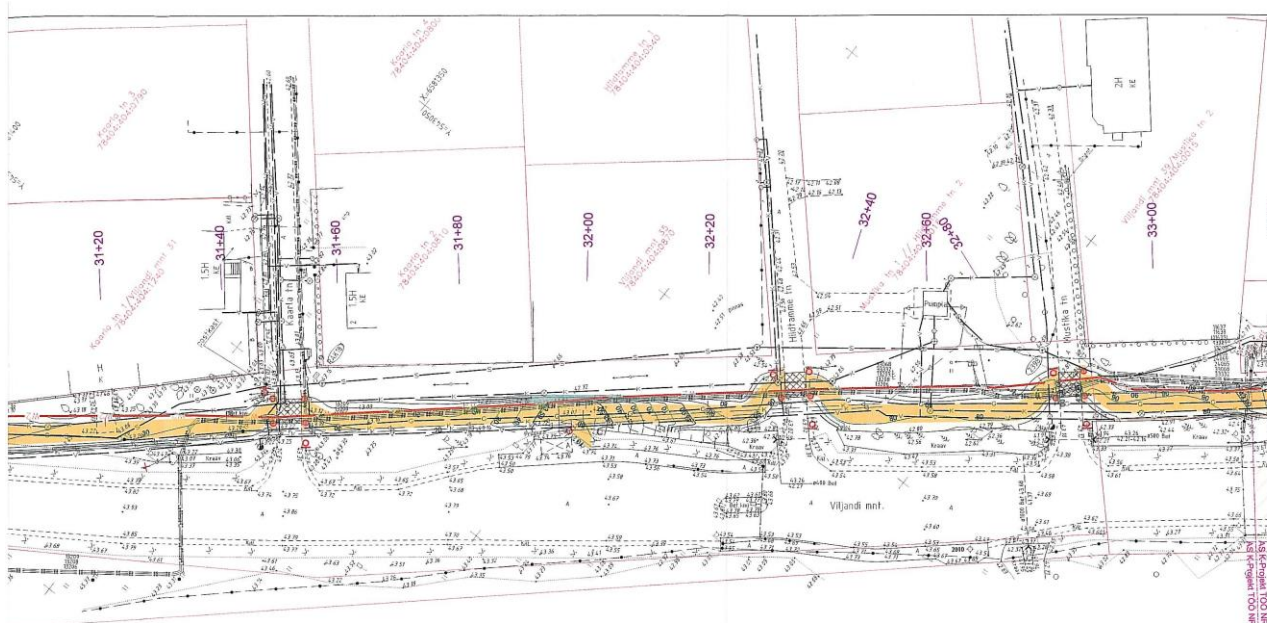


Projekteeritud kergliiklustee asukoht



Koostas: A. Gornev
oktoober 2009
Gornev

Lisa 2. Valdeku tn (Männiku tee – Viljandi mnt) ja Viljandi mnt (Valdeku tn – linna piir) kergliiklustee tööprojekti „Tehnovõrkude koondplaan ja vertikaalplaneerimine“



UDE RÜHM

UDE RÜHM

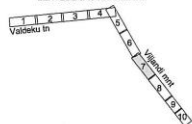
UDE RÜHM

UDE RÜHM

UDE RÜHM

- Projekteeritud välisvalgustuse lülituskülp
- Projekteeritud välisvalgustuse liitumiskülp
- 42.80 Projekteeritud kõrgus
- Projekteeritud istutatav puu (harilik mänd)

LEHTEDE JAOTUSKEEM:



geograpp

G.E.O. Grupp OÜ (reg. kood 10864463)
Pärnu mnt. 453, 10916, Tallinn
tel 600 1114, faks 600 1115, GSM 513 2885
e-post: geograpp@geograpp.ee

PROJEKT A. GORNEV
KONTROLL A. VEEBEL
DENDROLO. P. KÜMMEL
KoopRev: 12.03.2010

Disain Valdeku tn (lõigus Männiku tee - Viljandi mnt) ja Viljandi mnt (lõigus Valdeku tn - linna piir) kergliiklustee lüüsi projekt

Asukoht Harju maakond, Tallinna linn, Nõmme linnaosa

Tehtavõrkude koondplaan ja vertikaalplaneerimine PK 28+60 ... PK 33+00

Teehooldustegevuskava nr N03106/06130/09182 v.a. 16.11.2009. a.

Sheet nr P06020

Leht 7

7 30

STAB: REV

TP 0

1:500

p06020.dgn

Lisa 3. Valdeku tn (Männiku tee – Viljandi mnt) ja Viljandi mnt (Valdeku tn – linna piir) kergliiklustee tööprojekti „Konstruktiivsed lõiked“

