



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

**IRU KERGLIIKLUSTEE SILLA RAJAMISE PROJEKT  
ENDISE PEETER SUURE MEREKINDLUSE  
RAUDTEE IRU SILLA SAMMASTEL**

**IRU FOOTBRIDGE PROJECT ON PETER THE GREAT  
FORTIFICATION RAILWAY IRU BRIDGE ABUTMENT**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Nik Paat

Üliõpilaskood 191997

Juhendaja: Juhan Idnurm, Professor

Tallinn 2023

## 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.

"....." ..... 202.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 202.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

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

Mina \_\_\_\_\_ (*autori nimi*) (sünnikuupäev: ..... )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on

\_\_\_\_\_

(*juhendaja nimi*)

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.

---

<sup>1</sup>Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

\_\_\_\_\_ (*allkiri*)

\_\_\_\_\_ (*kuupäev*)

# Ehituse ja arhitektuuri instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Nik Paat, 191997EAXM (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: EAXM15/15 Hooned ja rajatised, sillaehitus (kood ja nimetus)  
Juhendaja(d): Professor, Juhan Idnurm, +372 5279398 (amet, nimi, telefon)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) IRU KERGLIIKLUSTEE SILLA RAJAMISE PROJEKT ENDISE PEETER SUURE MEREKINDLUSE RAUDTEE IRU SILLA SAMMASTEL

(inglise keeles) IRU FOOTBRIDGE PROJECT ON PETER THE GREAT FORTIFICATION RAILWAY IRU BRIDGE ABUTMENT.

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tutvuda ning uurida endise Iru silla konstruktsiooni lahenduse ning valida silla konstruktsiooni tüüp
2. Rakendada projekteerivale sillale kergliiklustee koormused vastavalt eurokoodeksile
3. Silla konstruktsiooni sisejõudude leidmine ning kandevõime arvutuste tegemine

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülessandega tutvumine, materjali kogumine, konstruktsiooni valik	25.02.2023
2.	Arvutusmudeli koostamine ning koormusarvutused	30.04.2023
3.	Tugevusarvutused, seletuskirja ja jooniste koostamine	22.05.2023

**Töö keel:** Eesti keel      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....202....a

**Üliõpilane:** Nik Paat ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Juhan Idnurm ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

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

## SISUKORD

EESSÕNA .....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1. Lähteandmed .....	10
1.1 Ajalooline ülevaade .....	10
1.2 Olemasolev olukord ja hinnang .....	12
1.2.1 Vertikaalplaneerimine .....	13
1.2.2 Vundament ja seinad .....	13
1.2.3 Sillakandurite astmed .....	13
1.2.4 Äärekivid .....	13
1.2.5 Avad .....	14
1.3 Kavandatava otstarbe hinnang .....	15
1.4 Muinsuskaitseenõuded ja projekteerimispiirangud .....	16
1.5 Arvutusmudeli sillaparameetrid .....	17
2 Koormused .....	20
2.1 Rakendatud koormused .....	20
2.1.1 Kergliiklustee normatiivne koormus .....	20
2.1.2 Teenindusveok .....	21
2.1.3 Tuulekoormus .....	22
2.2 Koormuskombinatsioonid .....	23
3 Konstruktsioonide osad .....	24

3.1 Tekiplaat .....	24
3.2 Sõrestik.....	24
3.2.1 Puidu keskkonnakaitse.....	26
3.3 Terasliited.....	26
4 Arvutused .....	27
4.1 Tekiplaat .....	27
4.1.1 Sisejõud.....	27
4.1.2 Raudbetooni kandevõime paindele.....	28
4.1.3 Tekiplaadi põikjõu kontroll.....	29
4.2 Tekiplaadi ja sõrestikku nihkeliide.....	30
4.3 Sõrestiku kandepiirseisund.....	32
4.3.1 Alumise vöö tala LT-2 .....	33
4.3.2 Ülemise vöö tala LT-1 .....	34
4.3.3 Vertikaalne post LP-1.....	37
4.3.4 Diagonaal post LD-1 .....	39
4.3.5 Jäikussidemete kandepiirseisund tõmbele ja survele .....	42
4.4 Terasliited.....	44
4.4.1 Polt ühenduste kaugused .....	47
4.5 Tugiosad.....	48
4.5.1 Tugiosade võimalik lahendus .....	49
4.6 Deformatsiooni vuuk .....	50
4.7 Kasutuspiirseisundi kontroll.....	50
5 Sammaste rekonstruktsioon .....	51
6 Arhitektuurne 3D mudel .....	52
KOKKUVÕTE .....	53

SUMMARY .....	54
LISAD .....	57
Lisa 1. Varraste sisejõu tabel .....	58
Lisa 2. Staad pro talade skeem .....	61
GRAAFILINE OSA.....	62

## **EESSÕNA**

Antud magistritöö eesmärgiks on projekteerida kergliiklustee sild Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru sillasammastele vastavalt Muinsuskaitseameti lähteandmetele. Antud lõputöö teema on valitud autori poolt kuna autor väärtustab ajalugu ning tahaks säilitada antud rajatist ning anda võimalust sellel täita oma vana funktsiooni, eriti just tema kodu küla elanikke heaks.



## SISSEJUHATUS

Magistritöö põhiülesandeks on tutvuda mälestisega nr 8786, „Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla sambad, 1916-1917“ ajalooa, hinnata selle seisundit visuaalsel analüüsil ning vastavalt lähteandmetele koostada silla rajamis projekt pealisehitisele. Antud mälestis asub Harjumaal, Pirita jõe mõlemal kaldal. Üks sillasammas asub Tallinna piiril, Iru Hooldekodu juures ning teine asub Iru külas Jõelähtme vallas. Antud sillast on alles jäänud ainult kaks silla jõesammast.

Antud sild on ainult üks väike osa kunagisest Peeter Suure merekindluse süsteemist, mis täitis logistika ülesannet ühendades seda kogu kaitserajatise osi. Kahjuks selle rajatise kasutamine jäi üpris lühikeseks. 1913 a valmis detail planeering kaitsepositsioonidele koos muude rajatistega. Täpsemat silla valmimise aastat pole teada, aga arvatavasti on see 1916 – 1917 aastad. Peale Eesti iseseisvumist müüdi silla osad ehitumaterjalina maha, plaanis oli ka sillasamba paekivi kivilaotis samuti lahti võtta, aga arvatavasti jäi töö liiga mahukaks ning ei tasunud ennast ära. Väidetavalt viidi Iru raudteesild 1927. aastal Lelle-Papiniidu raudtee ehitusele. Antud silla taaselustamine võimaldaks ühendada Lasnamäe lõpu ning Loo aleviku viivad kergliiklusteed ning luua ka puhkeala Pirita jõeorus.

Projekteeritav kergliiklustee sild peab rahuldama standardi EVS-EN 1991-2:2007 kergliiklustee koormusmudeleid ning ka teenindusveoki koormuseid. Antud töö mahus on projekteeritud silla sõrestikku osad, tekiplaat sildeavale kuni 35 m. Silla sõrestik on lahendatud toe punktidega sammaste turviku osadel ning sõrestiku ülemine vöö seob tekiplaati sõrestikuga ning ühendab sillasammaste ülemise osaga.

# 1. Lähteandmed

Antud ajalooline ülevaade on koostatud vastavalt Tallinna Kultuuriväärtuste ameti (nüüdseks Muinsuskaitseamet) tellitud Muinsuskaitse eritingimuste uuringule „Imperaator Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla kaldasammaste ennistamine ja kohandamine“. Antud eritingimusi on kasutatud antud töö lähteandmetena.

## 1.1 Ajalooline ülevaade

Pärast Vene-Jaapani sõda, mis Venemaale suurte kaotustega lõppes, asuti impeeriumi pealinna Peterburi kaitset uuesti korraldama. Pealinna eelkaitse perspektiivplaan valmis 1907. aastal, detailne plaan aga alles 1913. aasta alguses. Peterburi merekaitse peaposition nimetati Imperaator Peeter suure merekindluseks. Kindluse lõunasektori (Eesti -poolse osa) maarinde projekt oli siis juba kinnitatud. Maarinde kolmanda sektori moodustas lõik Ülemiste järve läänekaldalt Muuga laheni ehk siis Tallinna ümbruse kagu- ja idakülge. Maarinde idapoolsem tugipunkt, 12. position, paiknes Irus. Siinsed maad anti linna poolt riigile üle 15. aprillil 1914. aastal. Valmis jõuti ehitada kolm patareid, kaheosaline linnak, laskemoonaladu ja hulk tulevaste kindluseehitistekaponiiride ja blindaažide ühendusteid ja tunnelid. Position ühendati kindluse raudteevõrguga Lasnamäe (Dvigateli) kitsarööpmeliste raudteejaamast. See tööstusraudtee ühines Veski-Postis (umbkaudu sadama ja kitsarööpmelise peajaama vahelise raudtee Härjapea jõe ületamisel) kitsarööpmelise tsiviilraudteega, mis oli integreeritud kindlusraudtee võrguga. Lasnamäe jaamast läks 12. positionini viiv raudtee kirdesse, hilisemast sõjaväelennuväljast põhja poolt mööda ning Vana-Narva maanteega rööbiti ida poole. Väo mõisa juures läks üks haru loodesse, Kose haubitsapatarei juurde. Peaharu läks läbi ühe sõjaväelinnaku (praeguse Iru hooldekodu kohal) üle Pirita Jõe ehitati sild. Seni on seda teatud raudteesillana, kuid sillasammaste ehitusviis lubab oletada, et peale raudtee pidid sealt ka jalg- või maantee läbi minema (või oli kavandatud läbi minema). Jõe vasakule kaldale ehitati sillast ülesvoolu kerge suurtükipatarei. [1]

Sild ehitati klombitud paekivist, mulle tehti kruusast ja killustikust. Sammaste vahet sildas tõenäoliselt kaks teraselementidest koostatud rööbiti vöödega turvikut, mis olid põikjäikuse saavutamiseks ühendatud kaldristidega. Raudtee läks turviku pealt. Raudtee turviksõrestiku kõrval allavoolu paiknes tõenäoliselt väiksema koormusega sillatarind. Pealinnast tuli aga 1915. aasta lõpul korraldus, et maarinne tuleb kaitsvatest objektidest kaugemale nihutada. Maarindel oli selleks ajaks valmis ehitatud umbes pooled kindlustused. Millal valmisid 12. positioni ehitised, pole täpselt teada. Position kavandati laiendada nii ida kui ka kagu suunas. Idapoolne piir nihkus ümber

Kroodi oja joonele tänapäeva Maardu linnas. Raudtee pidi minema läbi Nehatu küla üle Loo kuni Lagedini, uute patareide juurde. Tee jäi pikendamata. Saksa väed tungisid 1917. aasta lõpul ja 1918. aasta alguses edukalt ida poole. Kindluse osad jäeti venelaste poolt peaaegu ilma võitluseta ja väheste purustustega maha. Iru positsiooni õhkima tulnud Vene sõdurid olevat ära ostetud vallakassas leidunud 4000 rubla eest. Saksa vägede tagalateenistus võttis kogu kindlusraudtee juba 01.03.1918 arvele. [1]

Iru positsioon, mis vene vägedel oli mõeldud eelkõige tagala kaitsmiseks, oli Saksa vägede jaoks oluliselt tähtsam – vastupealetungi oli ju ida poolt oodata. Saksa väed ehtasid mitmel pool Eestis omi kindlusraudtee võrke (Saare- ja Järvamaal), kuid Iru Nehatu-Lagedi raudtee jäi neil tõenäoliselt lõpuni ehitamata. [1]

Eesti Vabariigile ei pakkunud Iru positsioon ja selle varustus enam huvi. Tõenäoliselt oldi huvitatud raudteest, sest Tallinnast itta jäi mitu olulist raudteeühendusega asulat. Kõige olulisem ühendus oleks olnud Loksa tellisetehase asulaga, kuhu läbi Tapa oli ühendus kavandatud juba Vene keisririigi aegu. Teadmata ajal moodustatud AS Eesti Raudteed (mitte segi ajada riigiraudteega) kavandas 1920. aastate algul Iru raudtee pikendamist 750 mm-se raudteena läbi Kuusalu Loksani. Tõenäoliselt oleks olemasolev kindlusraudteeharu riigi käest ära ostetud. Üritus ebaõnnestus, raudtee pikendamist loobuti ning Lasnamäe jaamast Iruni kulgev lõik müüdi 1924. aastal ehitusmaterjaliks. Rööpad tarvitati tõenäoliselt peamiselt uute raudteede – Sonda-Mustvee ja Riisselja-Heinaste liini ehitamisel. [1]

Väidetavalt viidi Iru raudteesild 1927. aastal Lelle-Papiniidu raudtee ehitusele, kus see olevat Reiu jõe II maailmasõja-eelne sillatarind ei vasta algsetel piltidel kujutule. Tõenäoliselt püüti ka sillasambaid müüa, kuid arvatavasti pääsesid need järgmistel asjaoludel: ehitusel kasutatud tugev mört ja sellest tulenevad lammutusraskused, kivi jäme töötlus ja sellest tulenev odavam hind, halvad äraveo olud ja lõpuks ka sobiva ehituskivi rohked varud ümbruskonnas. Teadaolevalt pole Iru raudteesilla jäänuseid rohkem kavatsetud ära kasutada. Tõenäoliselt kavatseti nende taaskasutust 1930. aastate lõpul, kui Ülgasele rajati fosforiidikaevandused ja -rikastamistehased ning oli vaja teed sadamasse. Esialgu veeti sealne toodang välja oma väikese sadama kaudu. Kui 1950. aastate algul kavandati Maardu-Loksa sõjaväeraudteed, ei sobinud olemasolev mulle ja sillasambad laiarööpmelisele raudteele ning uus trass märgiti maha ja sild ehitati ca 0,8 km Iru raudteesillast ülesvoolu. Laiarööpmeline raudtee oli kasutuses 1980. aastate alguseni ning tammi jäänused ja sild on tänapäevalgi näha. [1]

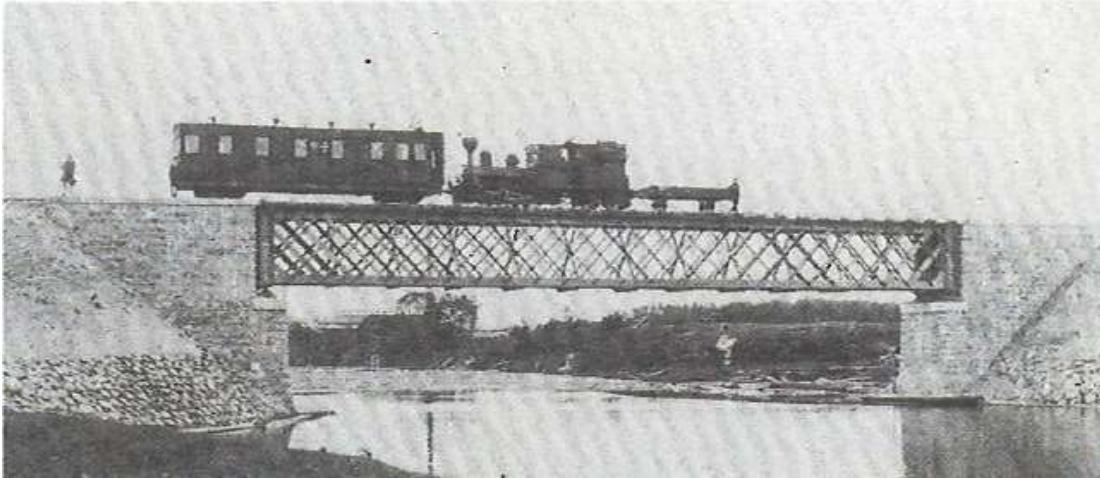


Foto 1 Reiu raudteesild 1920. aastate lõpp

Pirita jõeoru maastikukaitseala asutati 1957. aastal. Teemaplaneeringuga püüti 2005. aastal lahendada ka Iru kandi jõekallaste kasutusevõtt puhkealadena. Jõe vähete ülepääsemisvõimaluste parandamiseks kavandati vanadele sillasammastele uus kergliiklussilla asukoht. Käesolevad eritingimused tellitigi selle töö jaoks. Kavandatu lubab loota, et kunagi kaunilt üle Pirita jõe kõrgunud sild võib uuesti oma algset otstarvet täita ja jõe mõlema kalda vahelist ülekäiku hõlbustada. [1]

## 1.2 Olemasolev olukord ja hinnang

Imperaator Peeter Suure Merekindluse raudteesild Iru üle Pirita jõe on rajatud pärast 1914. aastat. Sillasambad on laotatud küllaltki hea mõrdiga ja klombitud paest. Mulle on täidetud kohaliku kruusa ja killustikuga. [1]

Jõge sildas teraselementidest turviksõrestik. Sillasammaste ebasümmeetriline kuju lubab oletada, et ka teine sillatarind oli vähemalt kavandatud. Sillaturvikud on 1924-27. aastal oma kohalt ära viidud ning nende edasine saatus pole täpselt teada. Teadaolevalt pole sillasambaid pärast seda algsel otstarbel enam kasutatud. Nende rajamise aegu pidi teostatama mingeid aluspinna kandevõime uuringuid, kuid neist pole midagi teada. Teadaolevalt pole sillasambaid uuritud. [1]

Teadaolevalt pole sillasambaid pärast turvikute minemaviimist algsel otstarbel enam kasutatud ega ole sillasambaid uuritud. [1]

Väärtuslikud rajatiseosad [1]:

1. Algsed säilinud raudteetammi kehandid kahel pool jõge;

2. Algsete kaldasammaste paekivikehand;
3. Algsete sillatarindite toetuspindade süvendid;
4. Kaldasammaste algsed äärekivid;
5. Sammaste algsed otsaavad.

### **1.2.1 Vertikaalplaneerimine**

Maapind on vertikaalselt planeerimata, teetammilt jookseb sadevesi sillasammaste sisse. Sadevee ärajuhtimine sillasammaste pealt on teostamata ning vajab kindlasti ümberplaneerimist ja sadeveetõkete paigaldamist. Võimalik, et sammaste otsaseinas olevad avad on kuidagi kavandatud sissepääsevat sadevett ära viima. [1]

### **1.2.2 Vundament ja seinad**

Rajatised on tõenäoliselt paekivist vundamendil, kuid selle ehitusviisi ja sügavuse kohta puuduvad teated. Seinad on laotud klombitud paekivimüüritisena ja täisvuugitud. Seinad on liigendamata. Otsaseintes on sillakandurite paigutamiseks tagasiasted ja teadmata otstarbega avad, mis on hiljem paega täis laotud. Seinte ülaosa on osaliselt kaetud äärekividega. [1]

Pole vajunud ega pragunenud ning kividevahelised vuugid on üldiselt algse täitega. Taastavate seinte jaoks on vaja teha olemasolevate kivide ja vuugitäite uuringud. Seinad on laotud klombitud paekivimüüritisena ja täisvuugitud. Vasaku kaldasamba ots ja kirdekülg on osaliselt lagunenenud, kuid parema samba seisukord võimaldab vasakut sammast täielikult taastada. [1]

### **1.2.3 Sillakandurite astmed**

Algne toetuspind on kadunud ning pinnaprofiil on muutunud. Tõenäoliselt on selle põhjus mitte looduse hävitav tegevus, vaid sillaturvikute eemaldamisel on toed ja liigendid koos alustega kaasa viidud. Tuleb kavandada toepindade tugevusuringud, et vältida liigse ehituskehandi tagasitegemist. Tõenäoliselt piisab pingejagamisplaadi tegemisest, sest toetuspinnast allpool on seinte olukord hea. [1]

### **1.2.4 Äärekivid**

Hästiproportsioonitud ja ülakülgedelt faasitud paest äärekivid on suuremas osas säilinud. Kivid puuduvad vasaku samba kirdeküljel. Olemasolevate kivide seisukord ja paigutus võimaldab algse äärekivipaigaldise täielikku taastamist. [1]



Foto 2 Parema sillasamba säilinud ääreivi [2]

### **1.2.5 Avad**

Avad on otsaseina suhtes sümmeetrilised. Avade äärte viimistlus pole praegu erinev ülejäänud seinapinnast. Täidiseist on välja pressinud vett (tõenäoliselt sadet) ja sealt on veidi välja nõrgunud lubjakivi. Ühe avatäite eemaldamisega on võimalik kavandada uuring, mis seisukorras on avapõskede viimistlus, mis võis olla avade otstarve ja kas neid kõiki on edaspidi avada. [1]



Foto 3 Parema sillasamba otsasein ja selles olevad kinni müüritud avad [1]

### **1.3 Kavandatava otstarbe hinnang**

Imperaator Peeter Suure Merekindluse Iru raudteesilla kaldasambad on kasutamata seisnud viimased kaheksakümmend aastat, ent on säilitanud oma kuju ja püsivuse. Hästisäilinud ja huvitava müürilaoga ehitis on võimeline oma algset ülesannet uuesti täitma. Äärekivide ja turvikupatjade seni rahuldav olukord näitab, et on viimane aeg sillasammaste päästmiseks midagi ette võtta. Sillasammastel on kaks valdajat – vasakpoolsel Tallinna linn ja parempoolsel Jõelähtme vald. Mõlemat soovitakse korrastada, et neid edaspidi kasutada uue kergliiklussilla kaldasammastena. Sammaste korrastamine aitaks säilitada rajatist, mida on pidevalt kasutatud küll pea sada aastat tagasi, ent on tänaseni säilinud rahuldavas seisukorras ning on ainult osaliselt oma algset välimust ja tarindeid kaotanud. [1]

Rajatiste kehandi edasise hävinemise vältimiseks kavatakse esmajärjekorras korrastada sadeveega kokkupuutuvaid pindu – rööpmepindu ja turviku toepindu, äärekive ning muid läbisadamiste kahjustuskohti ja avatäiteid. Need on vajalikud tööd, et rajatised üldse säiliks ja tulevane Iru kergliiklussild vääristuks nii maastikuelemendi kui ka puhkeala olulise jõeületuskohana. [1]

Iru raudteesild oli merekindluse raudteesilla ainuke ehituskunstilise väärtusega ja hästiteostatud esindaja. Tulevane sild on ära teeninud väärika koha Pirita jõeoru kavandatava puhke maastiku südames. [1]

#### **1.4 Muinsuskaitseenõuded ja projekteerimispiirangud**

Muinsuskaitse eritingimused [1]:

1. säilitada kõik inventeeritud väärtuslikud rajatiseosad. Säilitada kõik edasiste tööde käigus väljatulevad ja inventeeritavad rajatiseosad;
2. säilitada olemasoleva rajatise terviklik välisilme ja algsed tarandid;
3. Kavandada ümbruse vertikaalplaneerimine ja sadevee ärajuhtimine rajatisest vähemalt 2 m kaugusele;
4. Kõrvaldada rajatisel, selle vahetus läheduses ja endisel raudteetammil kasvavad puud ja põõsad;
5. Taastada hävinenud seinaosad, kuid pisut erineva müürilaoga, et tähistada vana ja uue ehituskehandi vahelist piiri;
6. Kivi ja mördi valikul lähtuda algsetest materjalidest. Vajadusel kavandada algsete materjalide uuringud;
7. Taastada kaldasammaste äärekivid olemasolevate kivide eeskujul;
8. Kavandada turviku toepinna aluse ehituskehandi tugevusuurimused;
9. Kavandada uus sillaturvik, lähtudes algsest Reiu raudteesilla turvikust;
10. Uus turvik võib olla ka puidust, kui on lahendatud võimalik nõutav tarindi tuletõkestus;
11. Kavandada rajatisele sobivad trepid ja – käsipuud, valgustid ning istepingid, aga ka muud vaegliikumismeetmed vastavalt vajadusele;
12. Silla trepid, piirded jm väikevormid ei pea olema kavandatud endise Reiu raudteesillal olevate eeskujude järgi;
13. Kavandada sillal, sillasammastel ja raudteetammil olnud rööpme tähistamine eri materjalidega, eri värvidega vms säärasel viisil;
14. Kavandada jõe mõlemale kaldale teabetahvid 12. positsiooni/ silla ajaloo kohta. Perspektiivselt tähistada vasakul kaldal sillast edelas olnud kerge patarei ning kavandada sinna teabetahvel 12 positsiooni/ patarei ajaloo kohta;
15. Avada sillasammaste otsaseinas olev üks suvaline ava, et uurida avapõskede olukorda ja sealt sadevee äravoolu;
16. Kavandada kõikide avade avamine ja korrastamine, kui avapõskede ladu on identne sillasammaste kivilao pinnaga;
17. Kavandada kõikide avade tähistamine vuukidega, kui avatud ava osutub tehnoloogiliseks ning on mõeldud olema orvana;



18. Puhastada sillasambad *graffiti*'st;
19. Pärast käesolevate eritingimuste kooskõlastamist Tallinna Linna Kultuuriväärtuste Ametis tuleb nende eritingimuste alusel tellida projekt vastavat tegevusluba omavalt ettevõttelt või ettevõtjalt. Projekt tuleb kooskõlastada Tallinna Linna Kultuuriväärtuste Ametis;
20. Projektijärgsete ehitustööde ajaks tuleb tellida muinsuskaitsealine järelevalve vastavat tegevusluba omavalt ettevõttelt või ettevõtjalt. Järelevalve aruanne tuleb kooskõlastada Tallinna Linna Kultuuriväärtuste Ametis;
21. Üldjärelevalvet nii projekteerimise, ehituse ja muinsuskaitse järelevalve üle teostab Tallinna Linna Kultuuriväärtuste Amet ja Muinsuskaitseamet;
22. Käesolevaid muinsuskaitse eritingimusi võib alates kooskõlastamise kuupäevast kahe aasta möödumisel pikendada Tallinna linna Kultuuriväärtuste Ametis, kui eritingimuste koostamiseaegne olukord mälestisel ja tellija poolt kavandatud otstarve pole muutunud.

## 1.5 Arvutusmudeli sillaparaameetrid

Silla arvutusmudeli koostamiseks on kasutatud Maaameti X-gis 2 kaardirakendust koos Maaameti 3D kaardirakendusega, et luua täpsemat mudelit. Tööprojekti koostamisel tuleb tellida eraldi geodeetilised mõõdistused, et kaardistada antud olemasolevad konstruktsioonid.



Foto 4. Maa-ameti 3D rakenduse sillasamba mõõdud

Sillaparaameetrid vastavalt Maa-ameti kaardirakendustest saadud infole:

- Puhas silde ava – 34,76 m;
- Turvikute pikkus – 3,45 m;

- Turvikute laius – 1,76 m;
- Tallinna poolse samba abs kõrgus +29,44 m;
- Iru küla poolse sillasamba abs kõrgus 28,90 m.

Antud mõõtude järgi on projekteeritud ning dimensioneeritud silla tarindid.



Foto 5 Vasak silla sammas [2]

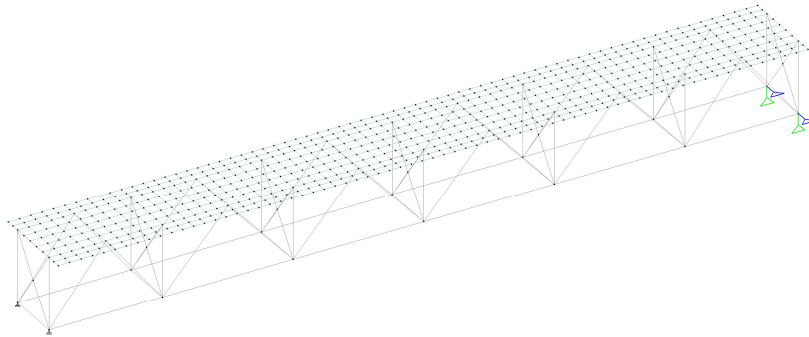


Foto 6 Parem sillasammas [2]

Lähtudes Muinsuskaitseameti eritingimustest, siis on valitud silla konstruktsiooniks sõrestik sild. Peakandurid toetuvad turvikule ning tekiplaat on sillasammaste äärekiviga samal tasapinnal.

## 2 Koormused

Sillaarvutusmudel on koostatud tarkvaras Bentley Staad.Pro Connect Edition V22 update 5.



Joonis 1 Silla arvutusmudel

Antud Silla mudel on koostatud sõrestik sillana koos betoonist tekiplaadiga. Silla kandurid on tehtud liimpuitdetailidest ning sõlmedes on kahe terasplaadiga polt ühendused kahelõikelise pinnaga. Silla vasak poolne tugi on lahendatud jäiga sõlmena. Parem poolne sillatugi võimaldab vastu võtta silla siirdeid x ja z telgede suhtes.

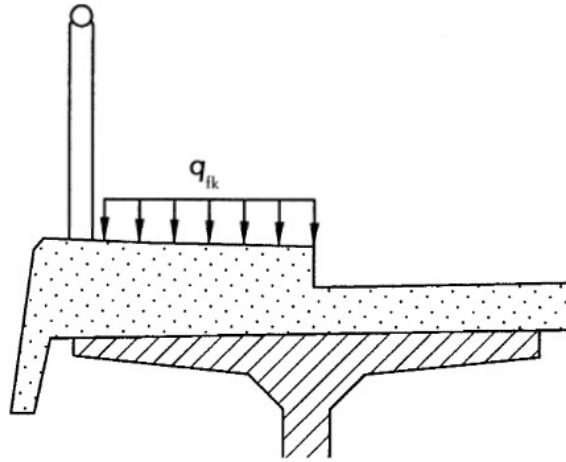
### 2.1 Rakendatud koormused

Sillale on rakendatud järgmised koormused vastavalt Eurokoodeks 1 standardile EVS-EN 1991-2:2004+NA:2007 [3]:

#### 2.1.1 Kergliiklustee normatiivne koormus

Hajukoormus normväärtuse  $q_{fk}$  võib määratleda rahvuslikus lisas või konkreetse eriprojekti jaoks. Soovituslikuks väärtuseks on  $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$ . [3]

Kui jalgteesillas arvutustes kasutatakse jaotises 2.1.2 kirjeldatud teenindusveokit, siis ei rakendata koondatud koormust. [3]

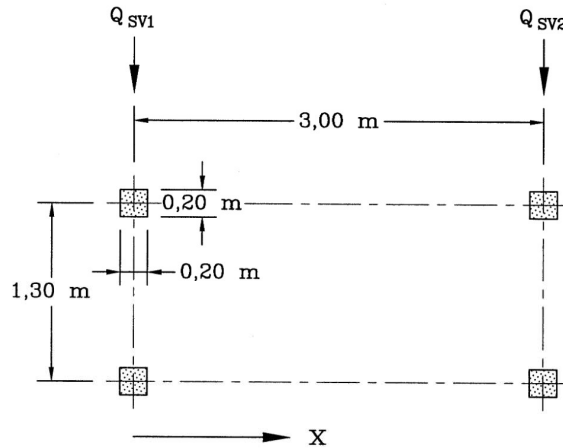


Joonis 2 Jalgte (või jalgrattate) normkoormus [3]

### 2.1.2 Teenindusveok

Juhul, kui puuduvad alalised tõkked, mis välistavad sõidukitega sillatekile sõitmise, tuleb arvesse võtta ka sõidukite erakordset olemasolu sillal. Tegemist võib olla hooldustöödeks mõeldud sõidukiga, erisõidukiga (nt kiirabi, tuletõrje) või muud liiki teenindussõidukiga. Niisuguste sõidukite parameetrid (teljekoormus ja -vahe, ratastekontakt pind), dünaamikategur ja muud asjakohased koormuseeskirjad võivad olla määratletud konkreetse eriprojekti jaoks või rahvuslikus lisas. Juhul, kui niisugune informatsioon puudub ning puuduvad sõidukiga sillatekile sõitmist välistavad alalised tõkked, soovitatakse kasutada teenindusveokina määratletud sõidukit. [3]

Niisugustes Olukordades kasutatakse järgmist koormusmudelit, mis koosneb kaheteljelisest koormusgrupist 80 kN ja 40 kN, mida lahutab üksteisest 3-meetriline teljevahe, kus rataste vahe (ratta keskkohast teise ratta keskkohani) on 1,3 m ning kontaktpinna külje pikkuseks katte pinnal on 0,2 m. Koormusmudeliga kaasnev pidurdusjõud peaks moodustama 60 % vertikaalkoormusest. [3]



Selgitus

X: Silla teljesuund

$Q_{sv1} = 80 \text{ kN}$

$Q_{sv2} = 40 \text{ kN}$

Joonis 3 Erakorraline koormus

Vajaduse korral võib rahvuslikus lisas või konkreetse eriprojekti jaoks määratleda täiendavaid parameetreid. Käesolevas punktis määratletud mudeli kasutamine on soovituslik. [3]

Koos punktis 2.1.2 määratletud koormusmudeliga ei tuleks üheaegselt arvestada mingit muud muutuvat koormust. [3]

Antud mudeli lihtsustamiseks ei ole arvestatud pidurdusjõuga. [3]

### 2.1.3 Tuulekoormus

Tuulekoormust esitatakse mudelis kui jõudu, mis rakendub ainult sõlmedes ning mõjub punktkoormusena. Tuulekoormuse rõhk mõjub kogu sõrestikku pinnale ning mõju ühele sõlmele arvutatakse sõrestiku vertikaalsele pinnale mõjuva rõhuna.

Tuulekoormuse leidmiseks on kasutatud standart EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. [4]

Tuule keskmine baaskiirusrõhk (1) [4]:

$$F_{w,x} = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C = 1 \text{ kN/m}^2, \quad (1)$$

kus  $\rho$  - õhu tihedus,  $1,25 \text{ kg/m}^3$ ;

- $v_b$  - tuule põhiline baaskiiruse väärtus Eestis, 21 m/s;
- $C$  - rajatise kõrguse ning maastikutüübile III vastav tuulekoormusetegur,  $C=C_e * C_{fx} = 3,74$ .

Maastikutüübiks on III tüüp. Piirkond, mis on kaetud ühtalase taimestiku või hoonestusega või eraldiseisvate takistustega, mille vahekaugus ei ületa 20-kordset takistuse kõrgust [4].

## 2.2 Koormuskombinatsioonid

Kandepiirseisundi (ULS) koormuskombinatsioonid on kasutatud, et teha konstruktsiooni tugevuskontrolli ning teostada valitud materjalide ristlõigete dimensioneerimist.

Alaliste või ajutiste arvutusolukordade koormuskombinatsioonide üldkuju (2) [5]:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (2)$$

- kus  $\gamma_{Gj}$  - alaliskoormuse osavarutegur 1,35;  
 $G_{kj}$  - alaliskoormuse normväärtus;  
 $\gamma_{Q,1}$  - domineeriva muutuvkoormuse osavarutegur 1,35;  
 $Q_{k,1}$  - domineeriva muutuvkoormuse normväärtus;  
 $\gamma_{Q,i}$  - mittedomineeriva muutuvkoormuse osavarutegur 1;  
 $\Psi_{0,i}$  - mittedomineeriva muutuvkoormuse kombinatsioonitegur;  
 $Q_{k,i}$  - mittedomineeriva muutuvkoormuse normväärtus.

Kasutuspiirseisundi normatiivne koormuskombinatsioon üldkujul (SLS) (3) [5]:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (3)$$

- kus  $G_{kj}$  - alaliskoormuse normväärtus;  
 $Q_{k,1}$  - domineeriva muutuvkoormuse normväärtus;  
 $\Psi_{0,i}$  - mittedomineeriva muutuvkoormuse kombinatsioonitegur;  
 $Q_{k,i}$  - mittedomineeriva muutuvkoormuse normväärtus.

### **3 Konstruksioonide osad**

Materjalide ja konstruksioonide valikus on lähtetud Muinsuskaitseameti poolt väljastatud eritingimustele

#### **3.1 Tekiplaat**

Dekiplaadiks on valitud raudbetoon plaat C35/45 XC3 XF3 KK3. Armatuuri kaitsekihiks on 40 mm, aga alumise armatuuri võrgu kaitsekiht on vähendatud kuna dekiplaadi alla kloriidide sattumise oht on minimaalne. Tekiplaat on arvutatud lihttalana, kuna konsoolide painde moment on väiksem ning tugeudel olev negatiivne paindemoment ei ole arvesse võetud. Sama armatuuri võrk on paigaldatud ka ülemisse kihti ning võtab ka ülemist paindemomenti, mis tekib tugede osas.

#### **3.2 Sõrestik**

Antud sillasõrestikku konstruksioon ning visuaalne lahendus peab vastama Muinsuskaitseameti poolt väljastatud eritingimustele ehk meenutama Reiu silla lahendust (Foto 1). Silla konstruksioon peab olema terasest või puidust ning kogu sõrestik konstruksioon peab toetuma turvikule. [2]

Iru kergliiklustee silla rajamise projektis on valitud silla sõrestiku konstruksiooniks liimpuit materjal. Liimpuidu omadused ning standart mõõdud on valitud Eesti tootja poolt valmistavate liimpuit detailide kataloogi järgi, kelleks on Peetri Puit OÜ.

Liimpuit (liimpuitkonstruksioonid) valmistatakse tehniliselt kuivatatud, enamasti 12% niiskusesisaldusega puidust. Omavahelise kihilise liimimise teel on võimalik toota liimpuitkonstruksioone täpselt sellise kõrgusega, nagu seda ehitusel vajatakse. Liimpuitkonstruksioonid on vajadusel kergesti töödeldavad. Töötlused (puurimised, freesimised, pilud) tehakse CNC-töötlemiskeskusega, millega tagatakse tippkvaliteet ja täpsus. [6]

Tehase poolt toodetavad ristlõiked on leitavad tabelist (Tabel 1). [6] Peetri Puit OÜ liimpuit vastab standardile EVS-EN 14080:2013. Ristlõigete kandevõime arvutusteks on kasutatud EVS-EN 14080:2013 liimpuidu tugevusklassidele vastavad väärtused. [7]



✓ – Standard ristlõiked

✓ – Eritellimusel

kõrgus (mm)	120	140	160	180	200	220	240	260	280	320	360	400	440	jne tõus +40mm
laius (mm)														
60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
80	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
100	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
120	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
140		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
160			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
180				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
200					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
220						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
240							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Tabel 1. Peetri Puidu tehase poolt valmistavad ristlõiked [6]

Tugevusklass		GL24h	GL28h	GL32h
Tugevusomadused N/mm <sup>2</sup>				
Paindetugevus	$f_{m,g,k}$	24	28	32
Tõmbetugevus	$f_{t,0,g,k}$	19.2	22.3	25.6
	$f_{t,90,g,k}$	0.5	0.5	0.5
Survetugevus	$f_{c,0,g,k}$	24	28	32
	$f_{c,90,g,k}$	2.5	2.5	2.5
Nihke(lõike)-tugevus	$f_{v,g,k}$	3.5	3.5	3.5
Jäikusomadused N/mm <sup>2</sup>				
Elastsusmoodul	$E_{0,g,mean}$	11500	12600	14200
	$E_{0,g,05}$	9600	10500	11800
	$E_{90,g,mean}$	300	300	300
Nihkemoodul	$G_{g,mean}$	650	650	650
Tihedus kg/m <sup>3</sup>	$r_{g,k}$	420	460	490

Tabel 2. Homogeense liimpuidu tugevusklassid, normtugevuse, -jäikuse ja -tiheduse väärtused [7] [6]

jrk	pos	tugevusklass	ristlõige (mm)	L (mm)	kogus (tk)
1	LT-1	GL-28h	320x240	34662	2
2	LT-2	GL-32h	360x240	34662	2

jrk	pos	tugevusklass	ristlõige (mm)	L (mm)	kogus (tk)
3	LT-3	GL-24h	160x120	2260	14
4	LP-1	GL-24h	240x240	2984	14
5	LD-1	GL-24h	240x240	3873	4
6	LD-2	GL-24h	240x240	3893	4
7	LD-3	GL-24h	240x240	4135	8
8	LD-4	GL-24h	240x240	4155	8
9	LD-5	GL-24h	160x120	1975	14
10	LD-6	GL-24h	160x120	4058	7

Tabel 3. Liimpuitdetailide spetsifikatsioon

### 3.2.1 Puidu keskkonnakaitse

Liimpuit detailid immutatakse, et kaitsta niiskuse eest ning vältida muu puidukahjustuste tekest. Liimpuit on kaitstud vihmaveest tekiplaadiga, mis on tehtud raudbetoonist. Tekiplaat ulatub 70 cm sõrestiku teljest väljapoole ning annab lisakaitset ka külgedelt. Puidu immutusklass peab vastama standarditele EVS-EN 335 ning EVS-EN 351-1. Immutus klass AB, EN 351 imbumissügavus NP5 /EN 335 kasutusklass UC3 [8] [9]. Eelistatavalt on pruun immutus värv, mis imiteeriks kui roostetava metalli värvi.

### 3.3 Terasliited

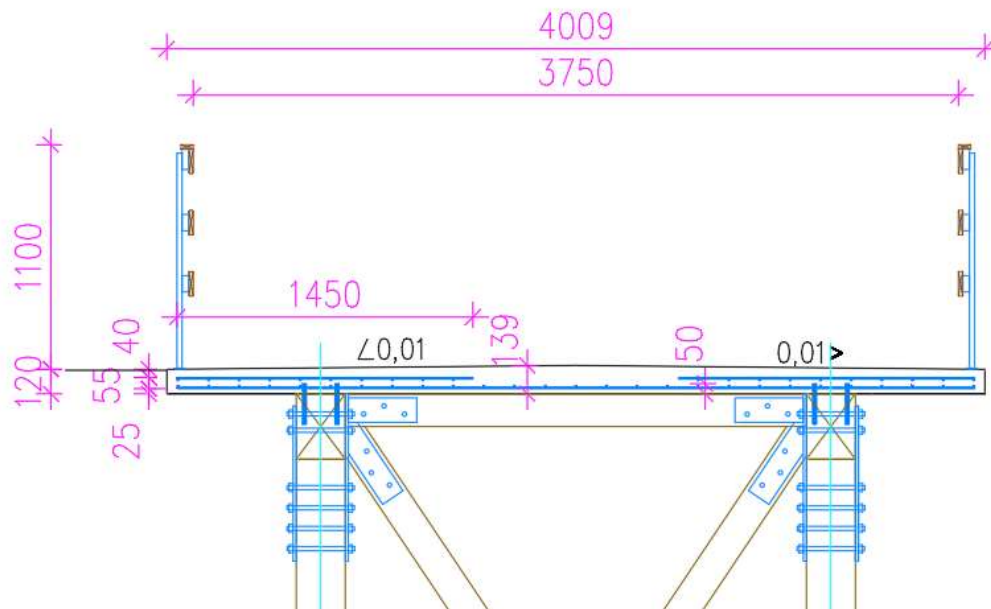
Kogu sõrestikku sõlmede kinnitused on lahendatud kahelõikelisena terasplaadiga polt ühendusega. Terasplaadi paksus on 15 mm ning mark S355, mille tõmbetugevus on 500 N/mm<sup>2</sup>. Poltide tugevusklass on 10.9 ning diameeter 20 mm. Poldid kinnitatakse ettepuuritud aukudesse. Terasplaat ning poltühendused on dimensioneeritud tüüpsõlmedele, kus on arvestatud maksimaalsed sisejõud. Mis esinevad sõrestiku osades. Terasliidete keskkonnaklassiks on määratud C3.

## 4 Arvutused

Erinevad koormusmudelid on rakendatud programmi Staad.Pro-ga, et leida sõrestikku elementide sisepinged. Kui on leitud suurimad sisepinged elementides, siis teostatakse ristlõigete kontroll. Tekiplaadile on tehtud lokaalne arvutus, et leida vajalikku armatuuri vajaduse.

### 4.1 Tekiplaat

Tekiplaadis olev paindemoment ning maksimaalne põikjõud on arvestatud Kogu arvestuslikule silla laiuses mõjuvale alalisele koormusele, milleks on tunglemiskoormus. Tekiplaadiks on raudbetoon konstruktsioon, mis toetub sõrestikku ülemisele vööle.



Joonis 4. silla tekiplaat

#### 4.1.1 Sisejõud

Tekiplaadi mõõtmed:

- $h = 130$  mm - tekiplaadi keskmine kõrgus;
- $c = 25$  mm - armatuuri alumine kaitsekiht;
- $b = 1000$  mm - tekiplaadi arvutuslik pikkus;

- $L = 4000 \text{ mm}$  – tekiplaadi laius

Armatuurvõrgu B500B parameetrid:

- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$  – terase arvutuslik voolavuspiir;
- $E_s = 200000 \text{ MPa}$  – terase elastsusmoodul;
- $d_s = 10 \text{ mm}$  – armatuuri läbimõõt;
- $n = 9 \text{ tk}$  – armatuurvarraste kogus 1m vaadeldava lõigu kohta sammuga 100 mm;
- $A_1 = 78,5 \text{ mm}^2$ , ühe armatuur varda pindala;
- $A_s = 9 * 0,000078,5 = 0,0007065 \text{ m}^2$  – Kogu armatuuri pindala 1 jm kohta;
- $\gamma_s = 1,15$  -armatuuri osavarutegur;

Tekiplaadi betooni parameetrid:

- $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$  – betooni arvutuslik survetugevus;
- $\tau_{Rd} = 0,37$  – vastab betooni  $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$  kohta;
- $E_s = 200000 \text{ MPa}$  – terase elastsusmoodul;
- $K_{bal} = 0,197$ ;
- $\alpha_c = 1$ ;
- $\xi_{bal} = 0,45$ ;
- $\gamma_c = 1,5$  -betooni osavarutegur;

Tekiplaadile mõjuvad koormused:

- $q_k = 5 \text{ kN/m}$  – tunglemiskoormus sillale;
- $g_k = 3,25 \text{ kN/m}$  – omakaalukoormus, mis mõjub tekilplaadile;
- $\gamma_M = 1,35$  – sillale mõjuva koormuse osavarutegur;

Tekiplaadil mõjuv arvutuslik paindemoment (4) [10]:

$$M_{ed} = \sum(q_k + g_k) * \gamma_M * 1,35 * L^2/8 = 22,28 \text{ kN/m}, \quad (4)$$

Tekiplaadil mõjuv arvutuslik põikõud (5) [10]:

$$V_{ed} = \sum(q_k + g_k) * \gamma_M * 1,35 * L/2 = 22,28 \text{ kN/m}, \quad (5)$$

#### 4.1.2 Raudbetooni kandevõime paindele

Esmalt leian kas piisab ainult tõmbearmatuurist. Vaatamata arvutus käigust, siis on arvestatud survetsoonis armatuuri paigaldus, et ära hoida pindmiste pragude teket [11] [12].

Terasarmatuuri kasuskõrgus (6) [11]:

$$d = h - c - d_s/2 = 0,1\text{m}, \quad (6)$$

Terasarmatuuri K (7) [11]:

$$K = \frac{M_{ed}}{f_{ck}bd^2} = 0,065, \quad (7)$$

Kui  $K_{bal} \geq K$ , siis piisab tõmbearmatuurist. Kuna K on väiksem kui  $K_{bal}$ , siis järeldan, et tõmbearmatuur töötab ning on piisav.

Leian survetsooni kõrguse järgneva valemiga (8) [11]:

$$s = \frac{A_s * f_{yk} * \gamma_c}{\alpha_c f_{ck} b \gamma_s} = 0,013 \text{ m}, \quad (8)$$

Samuti teostan kontrolli, et tõmbearmatuur töötab ning asub tõmbetsoonis. Peab olema täidetud järgmine tingimus  $x \leq x_c$ .

Leian x kõrguse järgneva valemiga (9) [11]:

$$x = \frac{s}{0,8} = 0,0165 \text{ m}, \quad (9)$$

Leian  $x_c$  kõrguse järgneva valemiga (10) [11]:

$$x_c = \frac{0,0035d}{0,0035 + \frac{f_{yk}}{E_s \gamma_s}} = 0,062 \text{ m}, \quad (10)$$

Kuna tingimus on täidetud, saab leida antud ristlõike paindekandevõime  $M_{Rd}$  (11) [10]:

$$M_{Rd} = \frac{f_{yk} A_s}{\gamma_s} (d - 0,5s) = 28,7 \text{ kNm}, \quad (11)$$

Piisab tõmbearmatuurist kuna tingimus on täidetud (12) [10]:

$$M_{Rd} = 28,7 \geq M_{Ed} = 22,28, \quad (12)$$

#### 4.1.3 Tekiplaadi põikjõu kontroll

Põikjõu  $V_{Rd}$  kandevõime leian valemiga (13) [10]:

$$V_{Rd} = (\tau_{Rd} * k(1,2 + 40\rho_1) * b * d) = 66,72 \text{ kNm}, \quad (13)$$

kus  $k$  -  $1,6 - d = 1,5 \text{ m}$ ;

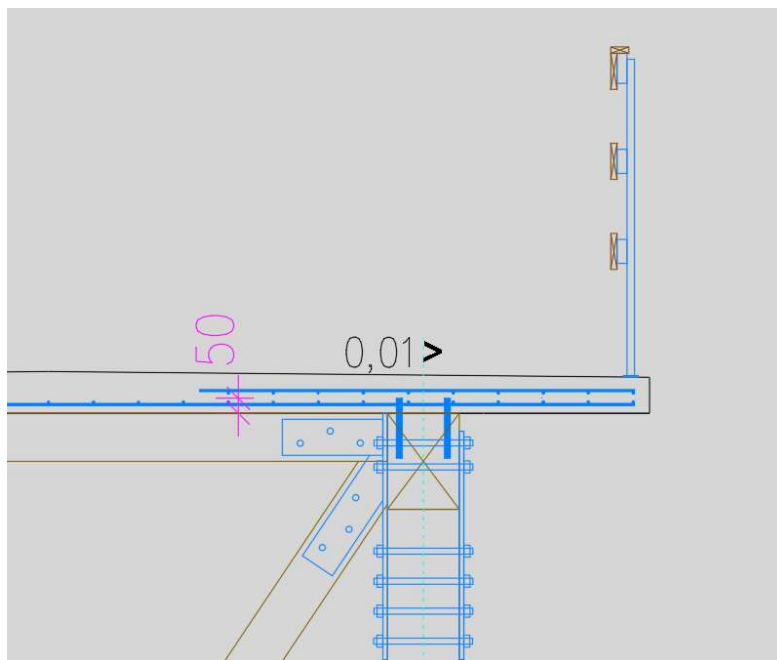
$\rho_1$  -  $A_s / b * d = 0,0071$ ;

Põikjõu kandevõime on tagatud (14) [10]:

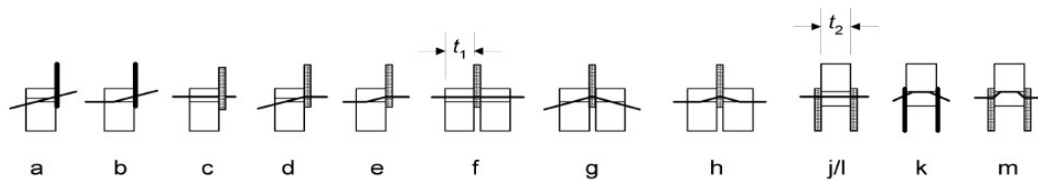
$$V_{Rd} = 66,7 \geq V_{Ed} = 22,28, \quad (14)$$

## 4.2 Tekiplaadi ja sõrestikku nihkeliide

Vältimaks tekiplaadi ja liimpuit sõrestiku ülemisetala nihkumist, kasutatakse nihketüübleid. Nihketüüblik valitakse armatuuri, mida süvistatakse liimpuidu sisse ettepuuritud aukudesse. Samuti ka kasutatakse nihketüübleid armatuurvõrgu fikseerimiseks ning sidumiseks tekiplaati sõrestikuga.



Joonis 5. Nihketüübli sõlm



Joonis 6. Plaat-puiduga liidete purunemisviisid [13]

Nihkele töötava armatuuri B500B parameetrid:

- $f_u = 500$  MPa – terase arvutuslik voolavuspiir;
- $E_s = 200000$  MPa – terase elastsusmoodul;
- $d_s = 12$  mm – armatuuri läbimõõt;
- $t_1 = 80$  mm – armatuurvarda süvistamissügavus liimpuitalasse;

Normkandevõime naelte, poltide, naaglite ja kruvide ühe kinnituselemendi ühe nihkepinna kohta tuleks võtta kõige väiksema väärtusena, mille annavad alljärgnevad valemid ühelõikeliste paksude plaatide korral (15) [13]:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} f} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. , = \min 14822,9 \text{ N} \quad (15)$$

- kus  $F_{v,Rk}$  - kinnituselemendi ühe nihkepinna normkandevõime;  
 $f_{h,k}$  - puitelemendi norm-muljumistugevus ;  
 $t_1$  - äärmise puitelemendi vähim paksus või süvistussügavus;  
 $t_2$  - tekiplaadi paksus või süvistussügavus;  
 $d$  - kinnituselemendi paksus;  
 $M_{y,Rk}$  - kinnituselemendi voolavuspiirile vastav momendi normväärtus;  
 $F_{ax,Rk}$  - kinnituselemendi teljesuunaline väljatõmbe normtugevus, kui ei ole ette antud, võib väärtuseks võtta 0;

Kinnituselemendile vastav paindemomendi normväärtus ümarnaelale (16) [13]:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_u d^{2,6} = 95931,8 \text{ Nmm} , \quad (16)$$

Liimpuidu muljumistugevuse normväärtus mis tahes nurga all kiu suunas (18) [13]:

$$f_{h,k} = 0,11(1 - 0,01d) \rho_k = 48,4 \text{ N/mm}^2 , \quad (17)$$

Arvutuslik kandevõime  $F_{v,Rd}$  kinnituselemendi ühe nihkepinna kohta leitakse seosega (18) [13]:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot \min F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 8,3 \text{ kN} \quad (18)$$

- kus  $\min F_{v,Rk}$  - kinnituselemendi ühe nihkepinna normkandevõime;  
 $k_{mod}$  - 0,7, kasutusklassile ja koormuse kestusele vastav tegur liimpuidule;  
 $\gamma_M$  - 1,3 liite osavarutegur;

Leian vajalikku koguse nihketüüblite jaoks arvestades Staad.Pro programmiga leitud ülemise vööle mõjuva normaaljõuga  $F_{v,Ed}$ , mis on vertikaalne koormus tekiplaadilt (19) [13]:

$$n_{ef} = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 70 \text{ tk} , \quad (19)$$

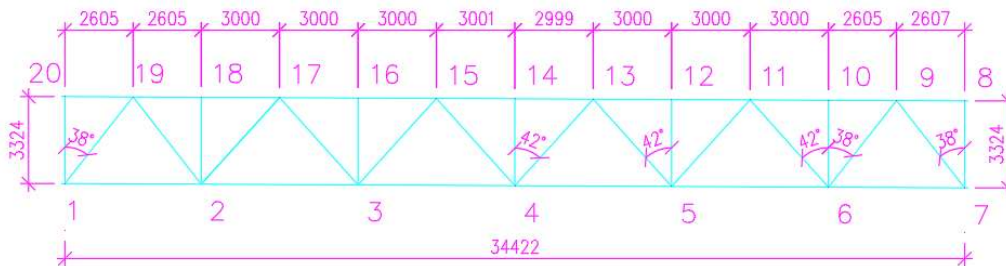
kus  $F_{v,Ed}$  - 560 kN arvutuslik maksimaalne nihkejõud liite kummastki küljest, 60 % kogu vertikaalsest koormusest tekiplaadile;

$n_{ef}$  - efektiivne nihketüüblite kogus;

Ühe ülemise vöö kohta on vajalik paigaldada 70 nihketüüblit. Nihketüüblid paigaldaks 2 reas ning sammuga 1 m.

### 4.3 Sõrestiku kandepiirseisund

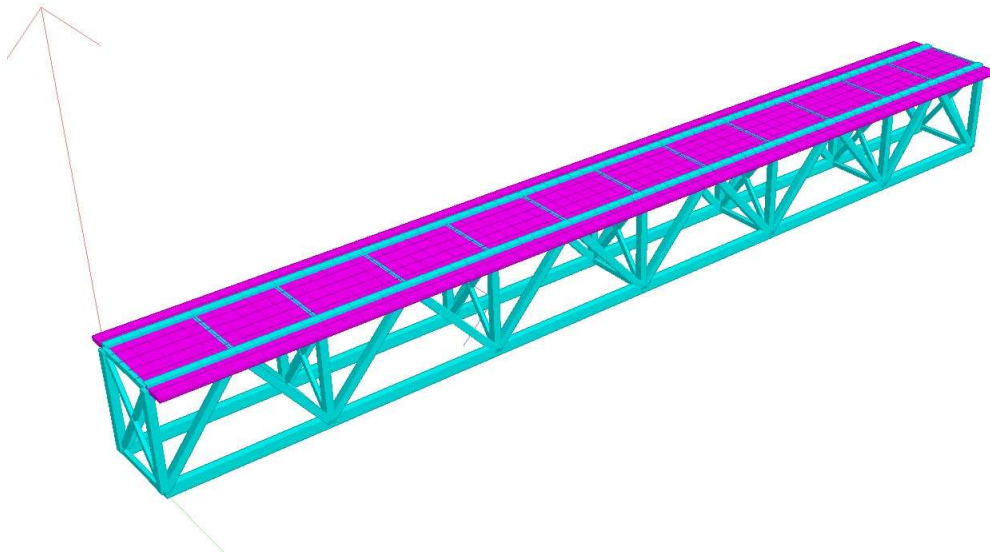
Sõrestiku mudel on loodud Staad.pro programmiga, kus rakendati sillale koormuskombinatsioonid, et leida suurimad sisejõud. Tulemused on kantud tabelisse Lisa 1. Varraste sisejõu tabel.



Joonis 7. sõrestikku parameetrid

Vastavalt koostatud mudelile on valitud ristlõiked kontrollimiseks vastavalt nendele kõige suurema mõjuva sisejõuga võrreldes erinevate koormuskombinatsioonidega.





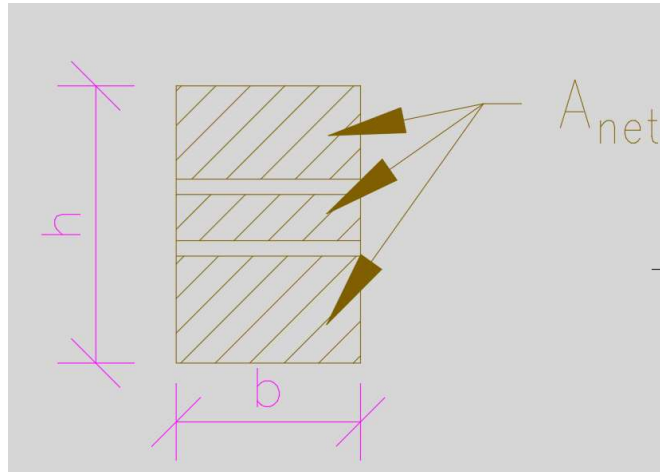
Joonis 8. Staad.Pro 3D mudel

#### 4.3.1 Alumise vöö tala LT-2

Alumise vöö varraste kõige suurem sisejõud on tõmme, mis tekitab tunglemiskoormuse domineeriva koormuskombinatsiooniga. Suurim tõmme on talas nr 41 vardas 4-5, mille suuruseks on 1060 kN.

Tala LT-2 parameetrid [6] [13]:

- $h = 360 \text{ mm}$  - tala kõrgus;
- $b = 240 \text{ mm}$  - tala laius;
- $A_{\text{net}} = 79680 \text{ mm}^2$  - tala neto ristlõige, kaks polt kinnitust välja arvatud;
- GL32h - tugevusklass;
- $f_{m,g,k} = 32 \text{ N/mm}^2$  - paindetugevus;
- $f_{t,0,g,k} = 25,6 \text{ N/mm}^2$  - tõmbetugevus;
- $f_{c,0,g,k} = 32 \text{ N/mm}^2$  - survetugevus;
- $\rho_{g,k} = 500 \text{ kg/m}^3$  - tihedus;
- $E_{0,g,\text{mean}} = 14200 \text{ N/mm}^2$  - elastsusmoodul;
- $\gamma_M = 1,25$  - lammeliimpuidu osavarutegur;
- $k_{\text{mod}} = 0,7$  - vastavalt 3. kasutusklassile modifikatsiooni tegur lühiajalise koormusega;
- $F_{t,d} = 1060 \text{ kN}$  - arvutuslik tõmbejõud.



Joonis 9. Tala netoristlõikepindala

Tõmbel pikikiudu peab olema täidetud tingimus (20) [13]:

$$\frac{F_{t,d}}{A_{net}} \leq f_{t,0,d} \Rightarrow 13,30 \text{ N/mm}^2 \leq 14,34 \text{ N/mm}^2 \quad (20)$$

- kus  $F_{t,d}$  - arvutuslik tõmbejõud;  
 $A_{net}$  - neto ristlõikepindala;  
 $f_{t,0,d}$  - arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu.

Arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu leitakse valemiga (21) [13]:

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} f_{t,0,g,k}}{\gamma_M} = 14,34 \text{ N/mm}^2, \quad (21)$$

Tala LT-2 vastab nõuetele ning nõutud tingimused on netoristlõikepindalale täidetud.

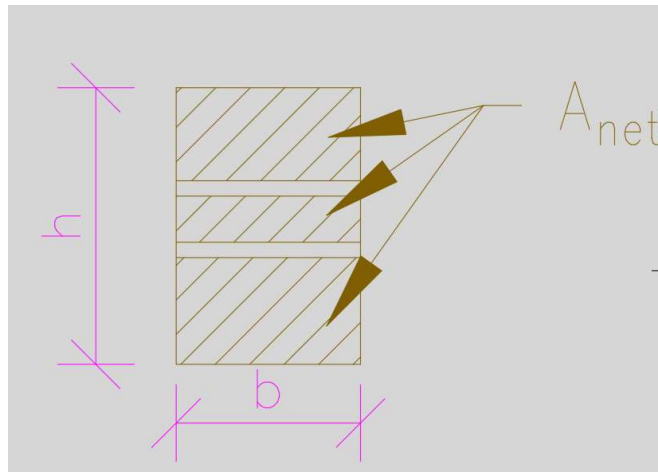
#### 4.3.2 Ülemise vöö tala LT-1

Ülemise vöö varraste kõige suurem sisejõud on surve, mis tekitab tunglemiskoormuse domineeriva koormuskombinatsiooniga. Suurim surve on talas nr 166-162,51 vardas 15-14, mille suuruseks on 1082 kN.

Tala LT-1 parameetrid [6] [13]:

- $h = 320 \text{ mm}$  - tala kõrgus;
- $b = 240 \text{ mm}$  - tala laius;
- $A_{net} = 76800 \text{ mm}^2$  - tala neto ristlõige, ei ole arvestatud kinnitusvahendeid kuna osaliselt tagavaraks võtab vastu ka tekiplaat koos selle sees oleva armatuuriga;
- GL28h - tugevusklass;

- $f_{m,g,k} = 28 \text{ N/mm}^2$  – paindetugevus;
- $f_{t,0,g,k} = 22,3 \text{ N/mm}^2$  – tõmbetugevus;
- $f_{c,0,g,k} = 28 \text{ N/mm}^2$  – survetugevus;
- $\rho_{g,k} = 500 \text{ kg/m}^3$  – tihedus;
- $E_{0,g,\text{mean}} = 12600 \text{ N/mm}^2$  – elastsusmoodul;
- $\gamma_M = 1,25$  – lamme-liimpuidu osavarutegur;
- $k_{\text{mod}} = 0,7$  – vastavalt 3. kasutusklassile modifikatsiooni tegur lühiajalise koormusega;
- $F_{c,d} = 1082 \text{ kN}$  - arvutuslik survejõud.



Joonis 10. Tala netoristlõikepindala

Survel pikikiudu peab olema täidetud tingimus (22) [13]:

$$\frac{F_{c,d}}{A_{\text{net}}} = 14,06 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,0,d} = 15,68 \text{ N/mm}^2 \quad (22)$$

- kus  $F_{c,d}$  - arvutuslik survejõud;  
 $A_{\text{net}}$  - neto ristlõikepindala;  
 $f_{c,0,d}$  - arvutuslik survetugevus pikikiudu.

Arvutuslik survetugevus pikikiudu leitakse valemiga (23) [13]:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 14,06 \text{ N/mm}^2, \quad (23)$$

Tala LT-2 vastab nõuetele ning nõutud tingimused on netoristlõikepindalale täidetud.

#### 4.3.2.1 Nõtkekontroll LT-1 talale

Kuna LT-1 liimpuittala on surutud varras sõrestikku ülemises vöös, siis tuleb teostada ka nõtkekontroll. Nõtkekontrolliks vajalikud suurused on leitud Eurokoodeksi 5 järgi [13] [14]:

- $h = 320$  mm - tala kõrgus;
- $b = 240$  mm - tala laius;
- $A_{net} = 76800$  mm<sup>2</sup> - tala neto ristlõige, ei ole arvestatud kinnitusvahendeid kuna osaliselt tagavaraks võtab vastu ka tekiplaat koos selle sees oleva armatuuriga;
- $l_{ef} = l = 3$  m - Varda arvutus pikkus sõltuvalt kinnitusest, varras on kinnitatud kahest otsast ning see võimaldab tal nõtkuda kogu pikkuse ulatuses;
- $i_y = 70$  mm - y-telje suhteline inertsiraadius;
- $i_z = 92$  mm - z-telje inertsiraadius;
- $\lambda_y = 43,3$  - y-tele saledus;
- $\lambda_z = 32,5$  - z-telje saledus;
- $E_{0,05} = 10500$  N/mm<sup>2</sup> - 5% elastsusmoodul pikikiudu;
- $\beta_c = 0,1$  - tegur, mis arvestab surutud elemendi sirgust spoonliimpuidu puhul.

Saleda varda puhul ( $\lambda_{rel} > 0,3$ ) peavad olema täidetud tingimused(1) (24) [13]:

$$\frac{F_{c,d}}{A_{net}} = 14,06 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,y} f_{c,0,d} = 14,38 \text{ N/mm}^2 \quad (24)$$

$$\frac{F_{c,d}}{A_{net}} = 14,06 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,z} f_{c,0,d} = 15,12 \text{ N/mm}^2$$

- kus  $F_{c,d}$  - arvutuslik survejõud;  
 $A_{net}$  - neto ristlõikepindala;  
 $k_c$  - nõtketegur vastavalt y või z telje suhtes;  
 $f_{c,0,d}$  - arvutuslik survetugevus pikikiudu.

Tingimused on täidetud ning varda stabiilsus on kontrollitud.

Suhtelist saledust leitakse valemiga (25) [13]:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0,74, \quad (25)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0,56,$$

Kuna  $\lambda_{rel} > 0,3$ , siis tegu on saleda vardaga.

Nõtketegur k leitakse valemiga (26) [13]:

$$k_y = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,8, \quad (26)$$

$$k_z = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,67,$$

Nõtketegur  $k_c$  leitakse valemiga (27) [13]:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,91, \quad (27)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,96,$$

#### 4.3.3 Vertikaalne post LP-1

Vertikaalsete postide kõige suurem sisejõud on surve, mis tekitab teenindusveoki domineeriva koormuskombinatsiooniga toel. Suurim surve on postis nr 2 vardas 1-20, mille suuruseks on 112 kN.

Posti LP-1 parameetrid [6] [13]:

- $h = 240$  mm - tala kõrgus;
- $b = 240$  mm - tala laius;
- $A_{net} = 57600$  mm<sup>2</sup> - tala neto ristlõikepindala;
- GL24h - tugevusklass;
- $f_{m,g,k} = 24$  N/mm<sup>2</sup> - paindetugevus;
- $f_{t,0,g,k} = 19,2$  N/mm<sup>2</sup> - tõmbetugevus;
- $f_{c,0,g,k} = 24$  N/mm<sup>2</sup> - survetugevus;
- $\rho_{g,k} = 500$  kg/m<sup>3</sup> - tihedus;
- $E_{0,g,mean} = 11500$  N/mm<sup>2</sup> - elastsusmoodul;
- $\gamma_M = 1,25$  - lammeliimpuidu osavarutegur;
- $k_{mod} = 0,7$  - vastavalt 3. kasutusklassile modifikatsiooni tegur lühiajalise koormusega;
- $F_{c,d} = 112$  kN - arvutuslik survejõud.

Survel pikikiudu peab olema täidetud tingimus (28) [13]:

$$\frac{F_{c,d}}{A_{net}} = 2 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,0,d} = 13,4 \text{ N/mm}^2 \quad (28)$$

kus  $F_{c,d}$  - arvutuslik survejõud;  
 $A_{net}$  - neto ristlõikepindala;

$f_{c,0,d}$  - arvutuslik survetugevus pikikiudu.

Arvutuslik survetugevus pikikiudu leitakse valemiga (29)(1) [13]:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 13,4 \text{ N/mm}^2, \quad (29)$$

Post LP-1 vastab nõuetele ning nõutud tingimused on netoristlõikepindalale täidetud.

#### 4.3.3.1 Nõtkekontroll LP-1 postile

Kuna LP-1 liimpuittala on surutud varras, siis tuleb teostada ka nõtkekontroll. Nõtkekontrolliks vajalikud suurused on leitud Eurokoodeksi 5 järgi [13] [14]:

- $h = 240 \text{ mm}$  - tala kõrgus;
- $b = 240 \text{ mm}$  - tala laius;
- $A_{net} = 57600 \text{ mm}^2$  - tala neto ristlõige, ei ole arvestatud kinnitusvahendeid kuna osaliselt tagavaraks võtab vastu ka tekiplaat koos selle sees oleva armatuuriga;
- $l_{ef} = l = 3,32 \text{ m}$  - Varda arvutus pikkus sõltuvalt kinnitusest, varras on kinnitatud kahest otsast ning see võimaldab tal nõtkuda kogu pikkuse ulatuses;
- $i_y = 69 \text{ mm}$  - y-telje suhteline inertsiraadius;
- $i_z = 69 \text{ mm}$  - z-telje inertsiraadius;
- $\lambda_y = 43,3$  - y-tele saledus;
- $\lambda_z = 43,3$  - z-telje saledus;
- $E_{0,05} = 9600 \text{ N/mm}^2$  - 5% elastsusmoodul pikikiudu;
- $\beta_c = 0,1$  - tegur, mis arvestab surutud elemendi sirgust spoonliimpuidu puhul.

Saleda varda puhul ( $\lambda_{rel} > 0,3$ ) peavad olema täidetud tingimused (30)(1) [13]:

$$\frac{F_{c,d}}{A_{net}} = 1,94 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,y,z} f_{c,0,d} = 12,3 \text{ N/mm}^2 \quad (30)$$

kus  $F_{c,d}$  - arvutuslik survejõud;  
 $A_{net}$  - neto ristlõikepindala;  
 $k_c$  - nõtketegur vastavalt y või z telje suhtes;  
 $f_{c,0,d}$  - arvutuslik survetugevus pikikiudu.

Tingimused on täidetud ning varda stabiilsus on kontrollitud.

Suhtelist saledust leitakse valemiga (31) [13]:

$$\lambda_{rel,y,z} = \frac{\lambda_{y,z}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0,74, \quad (31)$$

Kuna  $\lambda_{rel} > 0,3$ , siis tegu on saleda vardaga.

Nõtketegur  $k$  leitakse valemiga (32) [13]:

$$k_{y,z} = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y,z} - 0,3) + \lambda_{rel,y,z}^2] = 0,8, \quad (32)$$

Nõtketegur  $k_c$  leitakse valemiga (33) [13]:

$$k_{c,y,z} = \frac{1}{k_{y,z} + \sqrt{k_{y,z}^2 - \lambda_{rel,y,z}^2}} = 0,91, \quad (33)$$

#### 4.3.4 Diagonaal post LD-1

Diagonaalsete postide kõige suurem sisejõud on surve, mis tekitab tunglemiskoormuse domineeriva koormuskombinatsiooniga. Suurim surve on postis nr 58 vardas 1-19, mille suuruseks on 494 kN.

Posti LD-1 parameetrid [6] [13]:

- $h = 240$  mm - tala kõrgus;
- $b = 240$  mm - tala laius;
- $A_{net} = 57600$  mm<sup>2</sup> - tala neto ristlõikepindala;
- GL24h - tugevusklass;
- $f_{m,g,k} = 24$  N/mm<sup>2</sup> - paindetugevus;
- $f_{t,0,g,k} = 19,2$  N/mm<sup>2</sup> - tõmbetugevus;
- $f_{c,0,g,k} = 24$  N/mm<sup>2</sup> - survetugevus;
- $\rho_{g,k} = 500$  kg/m<sup>3</sup> - tihedus;
- $E_{0,g,mean} = 11500$  N/mm<sup>2</sup> - elastsusmoodul;
- $\gamma_M = 1,25$  - lammeliimpuidu osavarutegur;
- $k_{mod} = 0,7$  - vastavalt 3. kasutusklassile modifikatsiooni tegur lühiajalise koormusega;
- $F_{c,d} = 494$  kN - arvutuslik survejõud.

Survel pikikiudu peab olema täidetud tingimus (34) [13]:

$$\frac{F_{c,d}}{A_{net}} = 8,58 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,0,d} = 13,4 \text{ N/mm}^2 \quad (34)$$

- kus  $F_{c,d}$  - arvutuslik survejõud;  
 $A_{net}$  - neto ristlõikepindala;  
 $f_{c,0,d}$  - arvutuslik survetugevus pikikiudu.

Arvutuslik survetugevus pikikiudu leitakse valemiga (35) [13]:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 13,4 \text{ N/mm}^2, \quad (35)$$

Post LP-1 vastab nõuetele ning nõutud tingimused on netoristlõikepindalale täidetud.

#### 4.3.4.1 Nõtkekontroll LD-1 postile

Kuna LD-1 liimpuittala on surutud varras, siis tuleb teostada ka nõtkekontroll. Nõtkekontrolliks vajalikud suurused on leitud Eurokoodeksi 5 järgi [13] [14]:

- $h = 240 \text{ mm}$  - tala kõrgus;
- $b = 240 \text{ mm}$  - tala laius;
- $A_{net} = 57600 \text{ mm}^2$  - tala neto ristlõige, ei ole arvestatud kinnitusvahendeid kuna osaliselt tagavaraks võtab vastu ka tekiplaat koos selle sees oleva armatuuriga;
- $l_{ef} = l = 3,32 \text{ m}$  - Varda arvutus pikkus sõltuvalt kinnitusest, varras on kinnitatud kahest otsast ning see võimaldab tal nõtkuda kogu pikkuse ulatuses;
- $i_y = 69 \text{ mm}$  - y-telje suhteline inertsiraadius;
- $i_z = 69 \text{ mm}$  - z-telje inertsiraadius;
- $\lambda_y = 43,3$  - y-tele saledus;
- $\lambda_z = 43,3$  - z-telje saledus;
- $E_{0,05} = 9600 \text{ N/mm}^2$  - 5% elastsusmoodul pikikiudu;
- $\beta_c = 0,1$  - tegur, mis arvestab surutud elemendi sirgust spoonliimpuidu puhul.

Saleda varda puhul ( $\lambda_{rel} > 0,3$ ) peavad olema täidetud tingimused (36) [13]:

$$\frac{F_{c,d}}{A_{net}} = 8,58 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,y,z} f_{c,0,d} = 12,3 \text{ N/mm}^2 \quad (36)$$

- kus  $F_{c,d}$  - arvutuslik survejõud;  
 $A_{net}$  - neto ristlõikepindala;  
 $k_c$  - nõtketegur vastavalt y või z telje suhtes;  
 $f_{c,0,d}$  - arvutuslik survetugevus pikikiudu.

Tingimused on täidetud ning varda stabiilsus on kontrollitud.

Suhtelist saledust leitakse valemiga (37)(1) [13]:

$$\lambda_{rel,y,z} = \frac{\lambda_{y,z}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0,74, \quad (37)$$

Kuna  $\lambda_{rel} > 0,3$ , siis tegu on saleda vardaga.

Nõtketegur k leitakse valemiga (38)(1) [13]:



$$k_{y,z} = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y,z} - 0,3) + \lambda_{rel,y,z}^2] = 0,8, \quad (38)$$

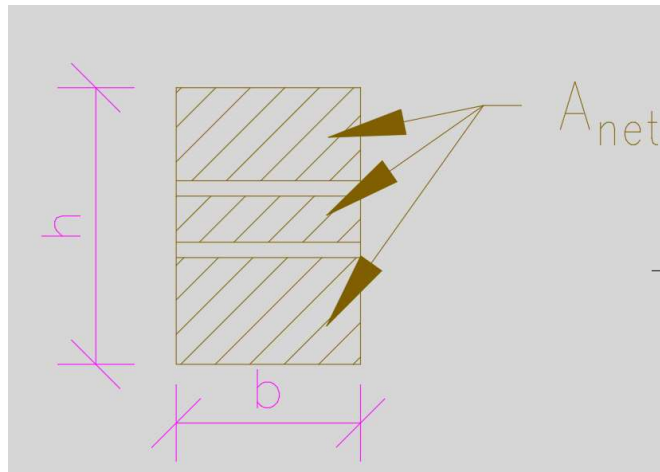
Nõtketegur  $k_c$  leitakse valemiga (39) [13]:

$$k_{c,y,z} = \frac{1}{k_{y,z} + \sqrt{k_{y,z}^2 - \lambda_{rel,y,z}^2}} = 0,91, \quad (39)$$

#### 4.3.4.2 Diagonaali kontroll tõmbele

Diagonaali LD-2 parameetrid [6] [13]:

- $h = 240 \text{ mm}$  - tala kõrgus;
- $b = 240 \text{ mm}$  - tala laius;
- $A_{net} = 4800 \text{ mm}^2$  - tala neto ristlõige, kaks polt kinnitust välja arvatud;
- GL24h - tugevusklass;
- $f_{m,g,k} = 24 \text{ N/mm}^2$  - paindetugevus;
- $f_{t,0,g,k} = 19,2 \text{ N/mm}^2$  - tõmbetugevus;
- $f_{c,0,g,k} = 24 \text{ N/mm}^2$  - survetugevus;
- $\rho_{g,k} = 500 \text{ kg/m}^3$  - tihedus;
- $E_{0,g,mean} = 11500 \text{ N/mm}^2$  - elastsusmoodul;
- $\gamma_M = 1,25$  - lammeliimpuidu osavarutegur;
- $k_{mod} = 0,7$  - vastavalt 3. kasutusklassile modifikatsiooni tegur lühiajalise koormusega;
- $F_{t,d} = 417 \text{ kN}$  - arvutuslik tõmbejõud.



Joonis 11. Tala netoristlõikepindala

Tõmbel pikikiudu peab olema täidetud tingimus (40) [13]:

$$\frac{F_{t,d}}{A_{net}} = 8,67 \frac{N}{mm^2} \leq f_{t,0,d} = 10,752 N/mm^2 \quad (40)$$

- kus  $F_{t,d}$  - arvutuslik tõmbejõud;  
 $A_{net}$  - neto ristlõikepindala;  
 $f_{t,0,d}$  - arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu.

Arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu leitakse valemiga (41) [13]:

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} f_{t,0,g,k}}{\gamma_M} = 10,752 N/mm^2, \quad (41)$$

Tala LD-2 vastab nõuetele ning nõutud tingimused on netoristlõikepindalale täidetud.

#### 4.3.5 Jäikussidemete kandepiiriseisund tõmbele ja survele

Jäikussidemeteks on kasutatud GL24h liimpuitu ristlõikega 160x120 mm.

Diagonaali LD-5,6, LT-3 parameetrid [6] [13]:

- $h = 160$  mm - tala kõrgus;
- $b = 120$  mm - tala laius;
- $A_{net} = 4800$  mm<sup>2</sup> - tala neto ristlõige, kaks polt kinnitust välja arvatud;
- GL24h - tugevusklass;
- $f_{m,g,k} = 24$  N/mm<sup>2</sup> - paindetugevus;
- $f_{t,0,g,k} = 19,2$  N/mm<sup>2</sup> - tõmbetugevus;
- $f_{c,0,g,k} = 24$  N/mm<sup>2</sup> - survetugevus;
- $\rho_{g,k} = 500$  kg/m<sup>3</sup> - tihedus;
- $E_{0,g,mean} = 11500$  N/mm<sup>2</sup> - elastsusmoodul;
- $\gamma_M = 1,25$  - lammeliimpuidu osavarutegur;
- $k_{mod} = 0,7$  - vastavalt 3. kasutusklassile modifikatsiooni tegur lühiajalise koormusega;
- $F_{t,d} = 48$  kN - arvutuslik tõmbejõud;
- $F_{c,d} = 55$  kN - arvutuslik survejõud;
- $l_{ef} = l = 2$  m - Varda arvutus pikkus sõltuvalt kinnitusest, varras on kinnitatud kahest otsast ning see võimaldab tal nõtkuda kogu pikkuse ulatuses;
- $i_y = 43$  mm - y-telje suhteline inertsiraadius;
- $i_z = 46$  mm - z-telje inertsiraadius;
- $\lambda_y = 69$  - y-tele saledus;
- $\lambda_z = 64$  - z-telje saledus;
- $E_{0,05} = 9600$  N/mm<sup>2</sup> - 5% elastsusmoodul pikikiudu;
- $\beta_c = 0,1$  - tegur, mis arvestab surutud elemendi sirgust spoonliimpuidu puhul.

Tõmbel pikikiudu peab olema täidetud tingimus vardas 800 (42) [13]:

$$\frac{F_{t,d}}{A_{net}} = 4 \frac{N}{mm^2} \leq f_{t,0,d} = 10,752 N/mm^2 \quad (42)$$

- kus  $F_{t,d}$  - arvutuslik tõmbejõud;  
 $A_{net}$  - neto ristlõikepindala;  
 $f_{t,0,d}$  - arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu.

Arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu leitakse valemiga (43)(1) [13]:

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} f_{t,0,g,k}}{\gamma_M} = 10,752 N/mm^2, \quad (43)$$

Jäikussidemed vastavad nõuetele ning nõutud tingimused on netoristlõikepindalale täidetud.

Jäikussidemete kontroll survele, saleda varda puhul ( $\lambda_{rel} > 0,3$ ) peavad olema täidetud tingimused (44) [13]:

$$\frac{F_{c,d}}{A_{net}} = 2,86 \frac{N}{mm^2} \leq k_{c,y} f_{c,0,d} = 9,15 N/mm^2 \quad (44)$$

$$\frac{F_{c,d}}{A_{net}} = 2,86 N/mm^2 \leq k_{c,z} f_{c,0,d} = 9 N/mm^2$$

- kus  $F_{c,d}$  - arvutuslik survejõud;  
 $A_{net}$  - neto ristlõikepindala;  
 $k_c$  - nõtketegur vastavalt y või z telje suhtes;  
 $f_{c,0,d}$  - arvutuslik survetugevus pikikiudu.

Tingimused on täidetud ning varda stabiilsus on kontrollitud.

Suhtelist saledust leitakse valemiga (45) [13]:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,1, \quad (45)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,12,$$

Kuna  $\lambda_{rel} > 0,3$ , siis tegu on saleda vardaga.

Nõtketegur k leitakse valemiga (46) [13]:

$$k_y = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,14, \quad (46)$$

$$k_z = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,64,$$

Nõtketegur  $k_c$  leitakse valemiga (47) [13]:

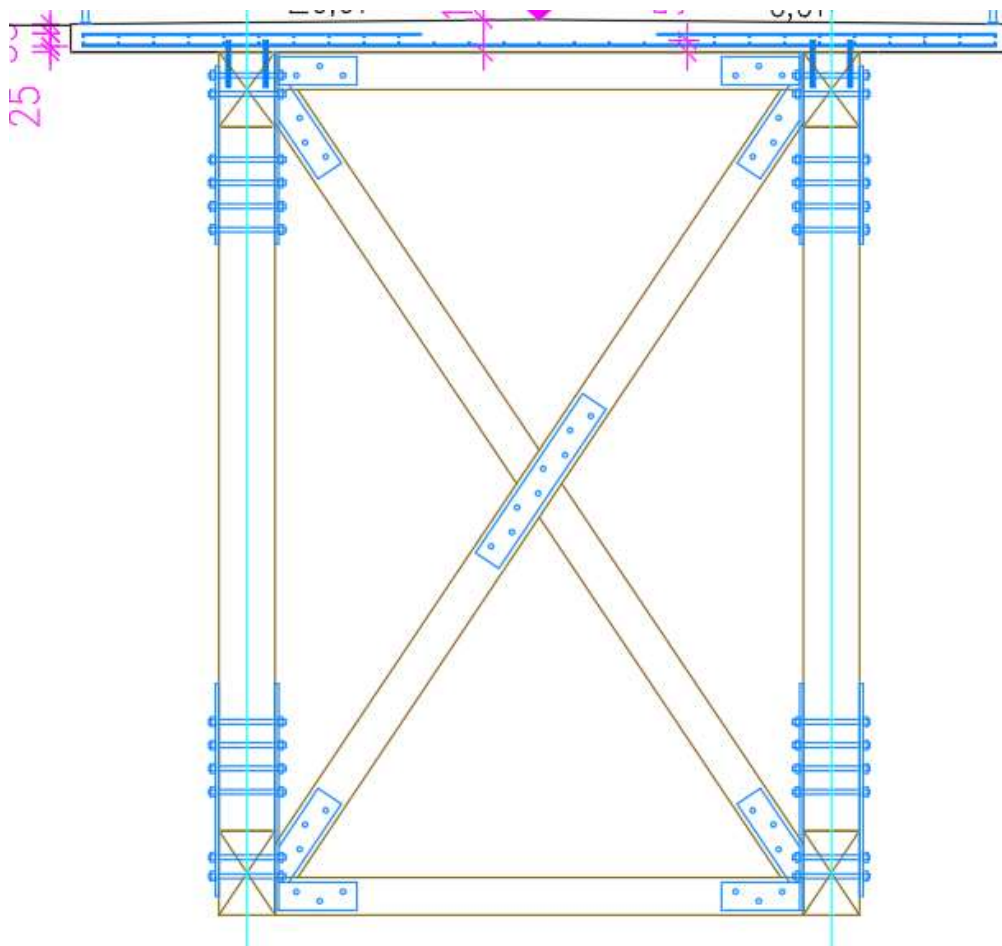
$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,68, \quad (47)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,67,$$

Jäikussidemed on sobilikud ning kandepiir seisund on kontrollitud.

#### 4.4 Terasliited

Antud sõrestikku sõlmed on lahendatud kahelõikelistena terasplaadiga liitena.



Joonis 12. sõrestiku lõige koos terasplaat liitega

Polt ja terasplaatide parameetrid :

- Polditugevusklass 10,9;
- $d = 20$  mm - poldi läbimõõt;
- $f_u = 1000$  N/mm<sup>2</sup> – poldi tõmbetugevus;
- $E_s = 200000$  MPa – terase elastsusmoodul;
- $t_1 = 15$  mm – terasplaadi paksus;
- $t_2 = 240$  mm – keskmise puitelemendi paksus.

Normkandevõime naelte, poltide, naaglite ja kruvide ühe kinnituselemendi nihkepinna kohta tuleks võtta kõige väiksema väärtusena, mille annavad alljärgnevad valemid kahelõikeliste paksude plaatide korral (48) [13]:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,5f_{h,2,k}t_2d}{2,3\sqrt{M_{y,Rk}f_{h,2,k}f} + \frac{F_{ax,Rk}f}{4}} = \min 50127,9 \text{ N} \right. \quad (48)$$

- kus  $F_{v,Rk}$  - kinnituselemendi ühe nihkepinna normkandevõime;
- $f_{h,2,k}$  - puitelemendi norm-muljumistugevus ;
- $t_1$  - terasplaadi paksus;
- $t_2$  - keskmise puitelemendi paksus;
- $d$  - kinnituselemendi paksus;
- $M_{y,Rk}$  - kinnituselemendi voolavuspiirile vastav momendi normväärtus;
- $F_{ax,Rk}$  - kinnituselemendi teljesuunaline väljatõmbe normtugevus, kui ei ole ette antud, võib väärtuseks võtta 0;

Kinnituselemendile vastav paindemomendi normväärtus poldile (49):

$$M_{y,Rk} = 0,3f_u d^{2,6} = 724101,2 \text{ Nmm} , \quad (49)$$

Liimpuidu muljumistugevuse normväärtus mis tahes nurga all kiu suunas (50):

$$f_{h,2,k} = 0,11(1 - 0,01d)\rho_k = 44 \text{ N/mm}^2 , \quad (50)$$

Arvutuslik kandevõime  $F_{v,Rd}$  kinnituselemendi kahe nihkepinna kohta leitakse seosega (51)(1) [13]:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot \min F_{v,Rk}}{\gamma_M} * 2 = 54 \text{ kN}, \quad (51)$$

- kus  $\min F_{v,Rk}$  - kinnituselemendi ühe nihkepinna normkandevõime;
- $k_{mod}$  - 0,7, kasutusklassile ja koormuse kestusele vastav tegur liimpuidule;

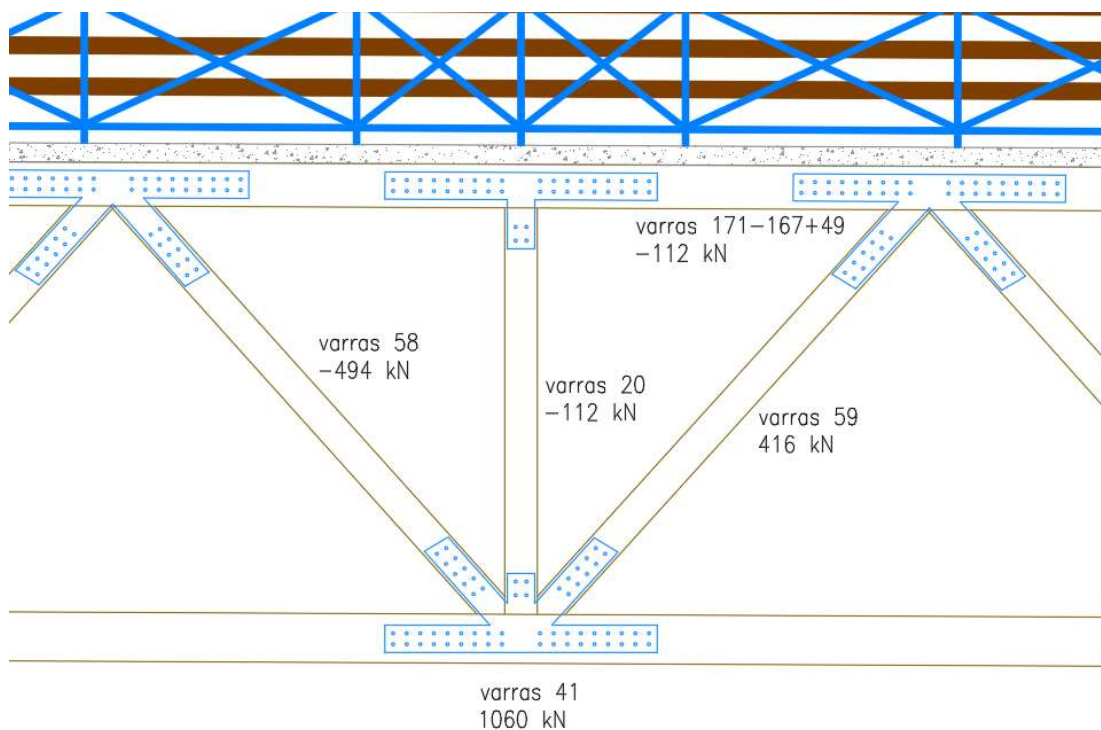
$\gamma_M$  - 1,3 liite osavarutegur;

Leian vajalikku koguse vastava sisejõu vastuvõtmiseks, arvestades Staad.Pro programmiga leitud erinevate tüüp varraste maksimaalsete arvutuslike sisejõududele  $F_{v,Ed}$ , mis on nii tõmbe- (52) [13]:

$$n_{ef} = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}, \quad (52)$$

kus  $F_{v,Ed}$  - arvutuslik maksimaalne nihkejõud liite kummastki küljest;

$n_{ef}$  - efektiivne poltide kogus;



Joonis 13. kinnituselemendid varrastel

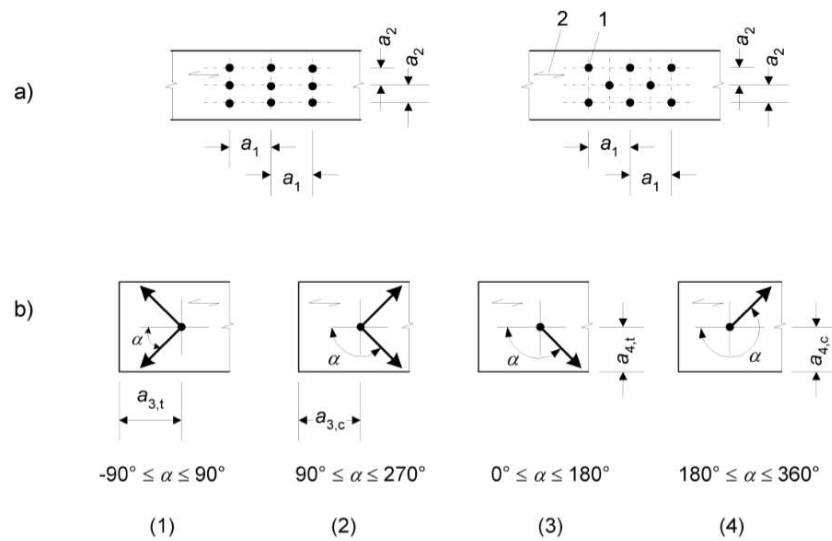
Vajalikud poltide kogused erinevatel varrastel mõlemale poole sõlme kohast:

- varras 171-167+49 -  $n_{ef} = 20$  tk;
- varras 58 -  $n_{ef} = 10$  tk;
- varras 20 -  $n_{ef} = 4$  tk;
- varras 59 -  $n_{ef} = 10$  tk;
- varras 59 -  $n_{ef} = 20$  tk.

#### 4.4.1 Polt ühenduste kaugused

Poldid on paigaldatud kahes reas vastavalt Eurokoodeks 5 nõuetele. Antud vahekaugused on kasutatud kõikides sõlmedes. Minimaalsed nõuded [13]:

- $a_1 = 100 \text{ mm}$ ;
- $a_2 = 80 \text{ mm}$ ;
- $a_{3,t} = 140 \text{ mm}$ ;
- $a_{3,c} = 80 \text{ mm}$ ;
- $a_{4,t} = 60 \text{ mm}$ ;
- $a_{4,c} = 60 \text{ mm}$ ;



Tähised:

- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| (1) koormatud ots   | 1 kinnituselemendid |
| (2) koormamata ots  | 2 kiudude suund     |
| (3) koormatud serv  |                     |
| (4) koormamata serv |                     |

Joonis 14. Minimaalsed vahekaugused ja kaugused elemendi servast ning otsast [13]

Tabel 4. minimaalsed vahekaugused ja kaugused elemendi servast ning otsast [13]

Vahekaugus või kaugus (vt joonis 8.7)	Nurk $\alpha$	Minimaalsed vahekaugused või kaugused otsast või servast		
		Ette puurimata aukudega		Ette puuritud aukudega
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Vahekaugus $a_1$ (pikikiudu)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+5  \cos \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+7  \cos \alpha ) d$	$(7+8  \cos \alpha ) d$	$(4+  \cos \alpha ) d$
Vahekaugus $a_2$ (ristikiudu)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3+  \sin \alpha ) d$
Kaugus $a_{3,t}$ (koormatud ots)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+ 5 \cos \alpha) d$	$(15+ 5 \cos \alpha) d$	$(7+ 5 \cos \alpha) d$
Kaugus $a_{3,c}$ (koormamata ots)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
Kaugus $a_{4,t}$ (koormatud serv)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+ 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(7+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(7+ 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(3+ 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(3+ 4 \sin \alpha) d$
Kaugus $a_{4,c}$ (koormamata serv)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

## 4.5 Tugiosad

Sõrestikku tugiosad ei ole projekteeritud antud tööstaadiumis. Et projekteerida tugiosasid on vaja teha täiendavad uuringud, et hinnata turviku seisundit. Vajadusel tuleb paigaldada mikroviad, et paigaldada sillakandekonstruktsioon sõltumata sillasammastest. Sillaturvikule on igal juhul vajalik valada rostvärk ning tagada sellele põikkalle sillasammaste horisontaalsete pindade veeäravooluks.

Määravaks koormuskombinatsiooniks tugiosadele on KM-4, tunglemiskoormus, mille suurimad reaktsioonid on järgmised:

- $F_x = 34,0 \text{ kN};$
- $F_y = 362,0 \text{ kN};$
- $F_z = 29,0 \text{ kN}.$

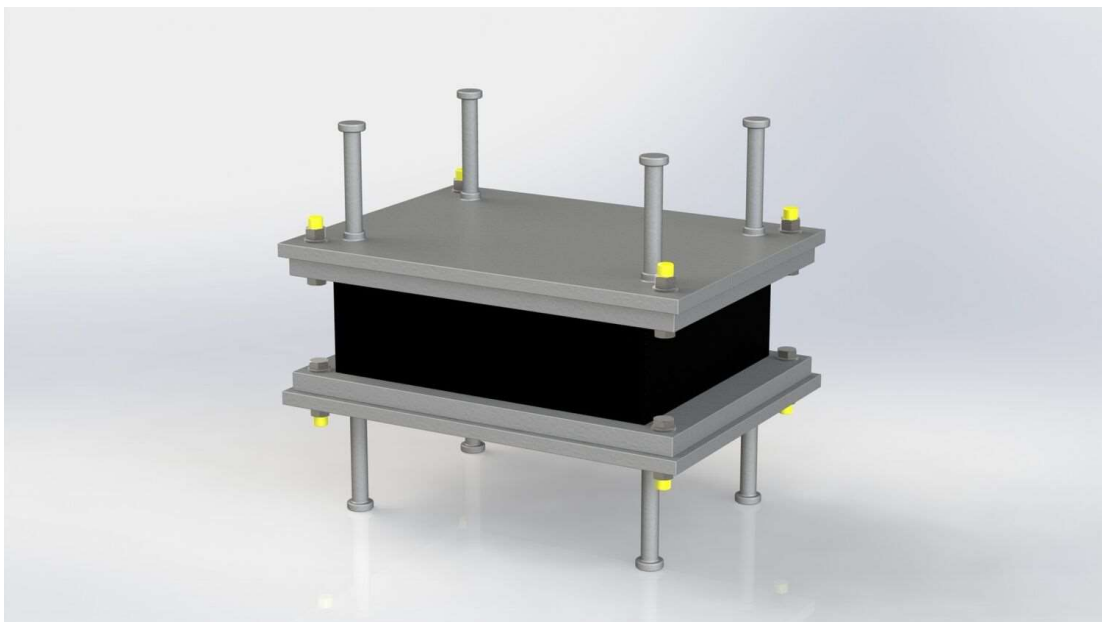


#### 4.5.1 Tugiosade võimalik lahendus

Kuna tegu on väiksemate koormustega kui maantee- ja raudteesildadel, siis oleks võimalik kasutada mitte massiivseid elastomeerseid tugiosasid. Antud tooted on valitud Mageba tootekataloogist *Elastomeric bearings LASTO-BLOCK* [15]:



Joonis 15. Elastomeerene tugiosa, mis võimaldab pikisiirdeid [15]



Joonis 16. Elastomeerene tugiosa, mida ankurdatakse [15]

## 4.6 Deformatsiooni vuuk

Deformatsiooni vuuk tuleb paigaldada Iru küla poolsele sillasamba ja tekiplaadi vahele, et võimaldada pikisiirdeid konstruktsioonide vahel. Vuugiks tuleb terasplaat paksusega 15 mm. Deformatsiooni vuuk tuleb teha koos betoonitöödega, sest terasplaat ankurdub keevitatud arvatuuri varrastega raudbetoon tekiplaadi külge. Betooni töid teostada suvel, et edasised deformatsioonid oleksid kahanemise suunas. Täpsem deformatsiooni vuugi joonis graafilise osa lisas joonisel Joonis 3. Sammaste lõiked

## 4.7 Kasutuspiiriseisundi kontroll

Läbipaine silla keskel on leitud Staad.pro programmiga tehtud mudeliga. Kasutatud on koormuste normatiivsed väärtused ning määravaks sai tunglemiskoormuse koormuskombinatsioon KM-4 [3].

Suurim läbipaine on sõlmes number 4.

$$w_4 = 39,09 \text{ mm,}$$

Suurim lubatud läbipaine on leitav järgneva valemiga, mis iseloomustab hetkelist läbipainet peakandjale (53) [13]:

$$w_{inst} = \frac{l}{400} = 86,25 \text{ mm,} \quad (53)$$

kus  $l$  - 34 500mm – Silde ava pikkus.

Tingimus on rahuldatud ning silla läbipaine on lubatud piirides.

## 5 Sammaste rekonstruktsioon

Olemasolevad sambad tuleb säilitada olemasoleval kujul. Rekonstruktsiooni käigus tuleb laduda juurde kivilaotist. Taastavad kivilaotise osad tuleb tähistada teise värvi kiviga, et oleks nähtav kus lõpeb vana kivilaotis ning algab uus. Uus kivilaotis tuleb teha kõrgemale, et tekitada piire sammaste perimeetril kivilaotisega.

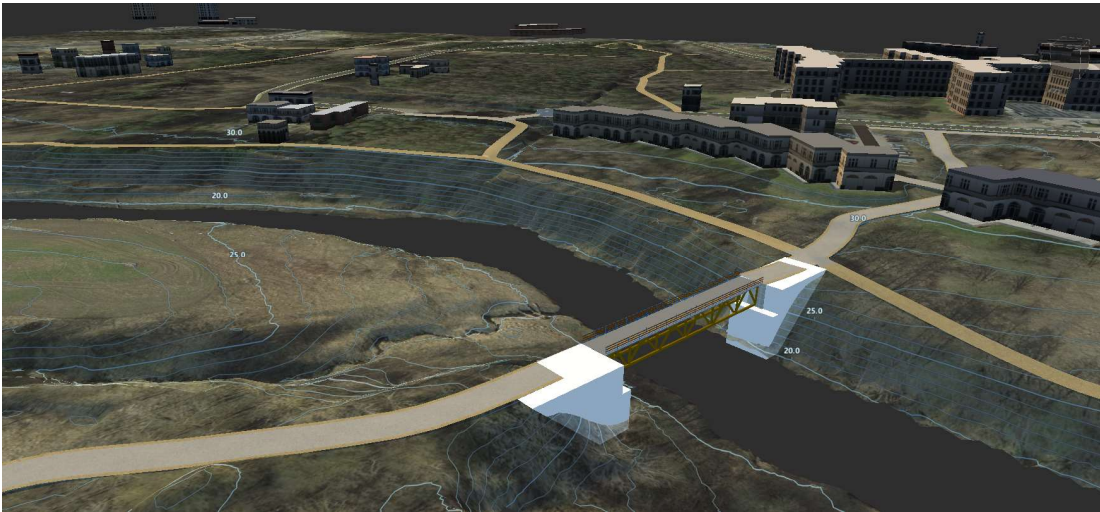
Müürid tuleb puhastada orgaanikast ning pinnad puhastada ka graffitist.

Avatäited, mis on kinni laotatud tuleb avada ning eemaldada tagasitäide sammaste sees. Paigaldada perforeeritud torud, mida asetada Geotekstiili kanga sisse (II klass). See võimaldab sammaste taha sattuva vee drenimist konstruktsiooni seest. Täpsem kirjeldus joonistel.

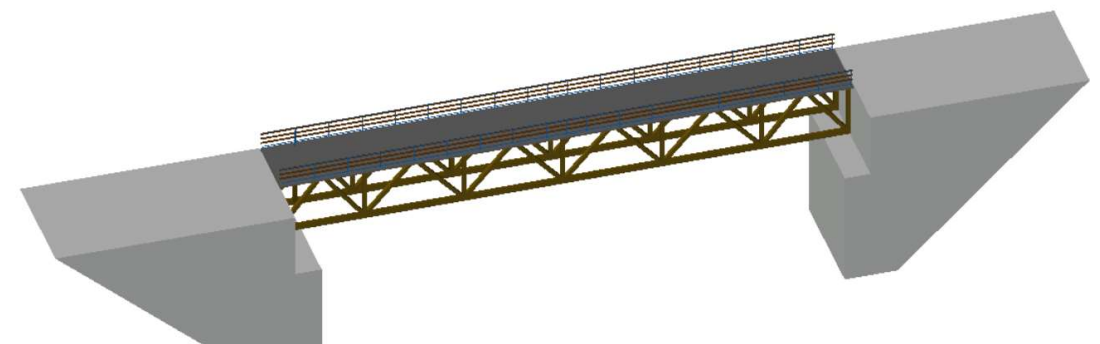
Sammaste rekonstrueerimise tööprojekt teha peale täiendavaid geoloogilisi uuringuid.

## 6 Arhitektuurne 3D mudel

3D mudeli loomiseks oli kasutatud Maa-ameti madal lennu Lidar skaneerimise punktipilve andmed, et luua pinnamudelit Autodesk Recap tarkvaraga. Kasutades Autodesk Infraworks tarkvara oli loodud koondmudel kuhu sai sisestatud Maa-ameti punktipilvest tehtud pinnamudel, hooned on lisatud Infraworks tarkvaraga ning silla 3D mudel on loodud Autodesk Civil 3D Autocad solid kehadena, et näidata silla positsioneerimist looduses.



Joonis 17. Silla 3D vaade Lasnamäelt (Autodesk Infraworks)



Joonis 18. Silla 3D mudel (Autodesk Civil 3D)

## KOKKUVÕTE

Antud magistritöö eesmärgiks oli tutvuda Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru sillasammaste ajaloo ja samuti ka Muinsuskaitseameti eritingimustega, mis on esitatud antud rajatise taastamisele. Sillasammaste kronoloogia on segane ning ei ole täpselt teada, mis aastatel olid need rajatud koos sillaga. Pole olemas ka foto materjali, et analüüsida täpsemaid konstruktsioone, mis asusid turvikul peale rajatise valmimist.

Praegune seisukord näitab, et sillasambad on hästi säilinud ning ei näita lagunemise märke, mis on seotud just varisemisega ning konstruktsiooni kandevõime kadumisega. Uue silla rajamise ettepanek oleks kasutada mikrovaiaid turvikul, et silla pealisehitist ei koormaks ning ei muudaks praeguste sammaste pingeaotust.

Muinsuskaitseameti poolt väljastatud eritingimustele vastavalt on valitud silla konstruktsiooniks liimpuit sõrestik kuna rajatav sild ei pea enam täitma raudteesilla funktsiooni vaid on projekteeritud kergliiklustee sillana. Silla koormus arvutuslik mudel oli loodud kasutades Staad.Pro tarkvara, et luua erinevaid koormuskombinatsioone ning leida määrav kombinatsioon ning selle alusel projekteerida silla tarindid. Suurimad sisejõud olid tekitatud kergliiklustee tunglemskoormusest – KM4. Liimpuittalad on valitud Peetri Puit OÜ kataloogist ning sõlme liitedeteks on valitud kahelõikelised terasplaadid, mis jäävad nähtavale pinnale, et tekitada visuaalset efekti, et tegu oleks nagu teraskanduritega, mis on jätkatud neetidega. Tekiplaat on tehtud raudbetooniga, et tekitada ühtset pinda, mis algab sillasammaste äärekividest, mis on laotud paekivist ning oleks kui ühtlane jätkav pind. Samuti ka betoonist tekiplaat tekitab katuse efekti ning kaitseb alumisi puitkonstruktsioone vihmaveest ning lumest.

Iru kergliiklustee silla rajamise projekt Peeter Suure merekindluse raudtee sillasammastel annaks võimaluse kasutada olemasolevaid ajaloolisi rajatiseid, et ühendada kaks jõe kalda ning teha uus kergliiklustee ühendus Jõelähtme valla ja Lasnamäe vahel. See tõstaks antud piirkonna ajaloolise väärtuse ning võimaldaks luua ka vabaaja veetmise piirkonna Pirita jõe orus. Antud projekti realiseerimine väärtustaks kultuurimälestise taaselustamist ning annaks võimaluse piirkonna elanikel tutvuda oma elukoha ajalooga.

## SUMMARY

The aim of this master's thesis was to get to know the history of the Iru bridge pillars of the Peter the Great Sea Fortress railway, as well as the special conditions of the Heritage Board, which have been submitted for the restoration of this facility. The chronology of the bridge pillars is confused and it is not known exactly in which years they were built together with the bridge. There is also no photo material to analyze the more precise constructions that were located on the tread after the facility was completed.

The current condition shows that the bridge pillars are well preserved and do not show signs of decay, which are related to the collapse and the loss of the load-bearing capacity of the structure. The proposal for building a new bridge would be to use micropiles on the tread so that the superstructure of the bridge does not load and does not change the stress distribution of the current columns.

In accordance with the special conditions issued by the Heritage Protection Board, a glulam truss has been selected as the bridge structure, since the bridge to be built no longer has to fulfill the function of a railway bridge, but is designed as a bridge for light traffic. The calculation model of the bridge load was created using Staad.Pro software to create different load combinations and find the determining combination and design the bridge structures based on it. The largest internal forces were caused by the crowding load of the light traffic road - KM4. Glulam beams have been selected from the Peetri Puit OÜ catalog, and two-section steel plates have been selected as the joints of the knot, which remain on the visible surface to create a visual effect, so that it is like steel carriers that are continued with rivets. The deck slab is made with reinforced concrete to create a uniform surface that begins with the curb stones of the bridge piers, which are laid in limestone, as a uniform continuous surface. Also, the concrete deck slab creates a roof effect and protects the lower wooden structures from rainwater and snow.

The project of building an Iru light traffic road bridge on the railway bridge piers of the Peter the Great sea fortress would provide an opportunity to use the existing historical facilities to connect the two banks of the river and make a new light traffic road connection between Jõelähtme parish and Lasnamäe. This would increase the historical value of the given area and would also enable the creation of a recreational area in the Pirita River valley. The implementation of this project would value the revival of the cultural monument and would give the residents of the region an opportunity to learn about the history of their place of residence.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] R. Treufeldt, „Imperaator Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla kaldasammaste ennistamine ja kohandamine,“ Castellum eesti kindlusarhitektuuri pärand, Tallinn, 2006.
- [2] Muinsuskaitseamet, „8786 Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla sambad, 1916-1917,“ Muinsuskaitseamet, 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=imagegallery&id=8786>. [Kasutatud 18. detsember 2022].
- [3] Eesti standardikeskus, „Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused Osa 2: Sildade liikluskoormused,“ 2007. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=28239&language=EstonianLanguage>. [Kasutatud november 2022].
- [4] Eesti Standardimis- ja Akriditeerimiskeskus, „Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused.Tuulekoormus,“ 2007. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=28202&language=EstonianLanguage>. [Kasutatud 2023].
- [5] Eesti standardikeskus, „Eurokoodeks Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused EVS-EN 1990:2002+NA:2002,“ 2003. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=28161&language=EstonianLanguage>. [Kasutatud 2022].
- [6] Peetri Puit OÜ, „Liimpuit,“ Peetri Puit OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://arcwood.ee/product/liimpuit/>. [Kasutatud 2022].
- [7] Eesti standardikeskus, „EVS-EN 14080:2013,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=50846&language=EstonianLanguage>. [Kasutatud 2022].
- [8] Eesti standariseerimis ja akrediteerimis keskus, „Puidu ja puittodete vastupidavus EVS-EN 351-1:2007,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=80281&language=EstonianLanguage>. [Kasutatud 2023].

- [9] Eesti standardikeskus, „Puidu ja puitpõgiste toodete vastupidavus kasutusklassid EVS-EN 335:2013,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=79616&language=EstonianLanguage>. [Kasutatud 2023].
- [10] Ehtuskonstruktori käsiraamat, Tallinn: Autorid ja Ehitame, 2014.
- [11] S. Sein, „Armatuuri konstruktsioon ja tugevusarvutuste alused,“ [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 2023].
- [12] „Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine OSA 1-1: Üldreegliid ja reegliid hoonetele,“ 2007. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=28266&language=EstonianLanguage>. [Kasutatud 2022].
- [13] Eesti standardikeskus, „Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine Osa 1-1: Üldist Üldreegliid ja reegliid hoonete projekteerimiseks,“ juuni 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=53462&language=EstonianLanguage>. [Kasutatud 2023].
- [14] K. Õ. E.-J. J. Alar just, Puit- ja puidupõhised konstruktsioonid, 2015.
- [15] Mageba, „Elastomeric bearings,“ Mageba, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mageba-group.com/global/en/1026/Infrastructure/Structural-bearings/LASTO-BLOCK/Detail.htm>. [Kasutatud 2023].



## **LISAD**

**Lisa 1. Varraste sisejõu tabel**

**Lisa 2. Staad pro talade skeem**

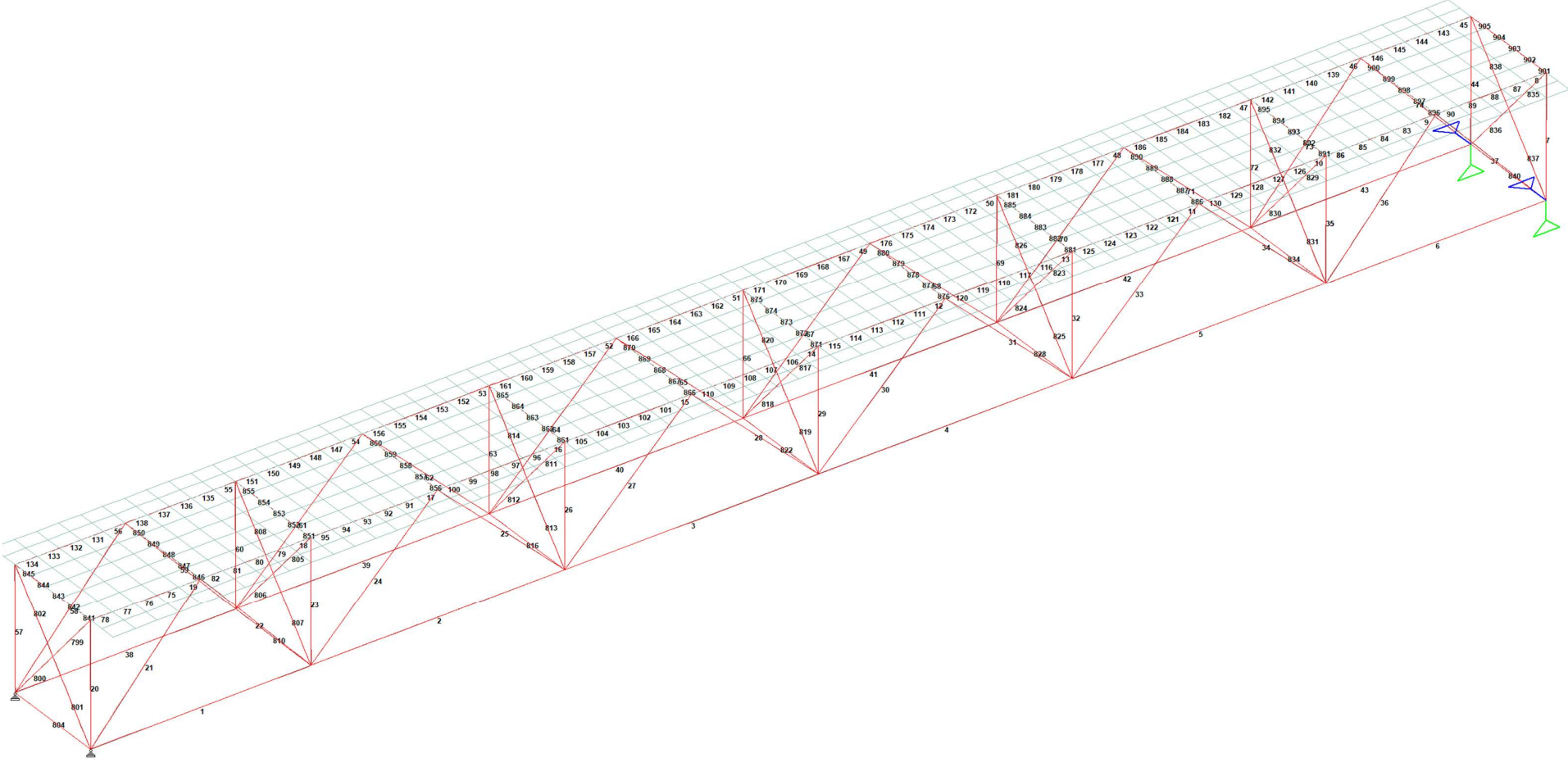
## Lisa 1. Varraste sisejõu tabel

Tala nr, Staad	Varras	det	Ristlõige (mm)	L (mm)	tüüp	määrav koormuskombinatsioon	Sisejõud (kN)	Sisejõu tüüp
38	1-2	LT-2	360x240	5210	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	301	tõmmatud
6	6-7	LT-2	360x240	5210	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	306	tõmmatud
43	6-7	LT-2	360x240	5210	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	309	tõmmatud
1	1-2	LT-2	360x240	5210	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	312	tõmmatud
5	5-6	LT-2	360x240	6000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	787	tõmmatud
2	2-3	LT-2	360x240	6000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	790	tõmmatud
39	2-3	LT-2	360x240	6000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	792	tõmmatud
42	5-6	LT-2	360x240	6000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	796	tõmmatud
4	4-5	LT-2	360x240	6000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	1048	tõmmatud
3	3-4	LT-2	360x240	6000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	1050	tõmmatud
40	3-4	LT-2	360x240	6000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	1058	tõmmatud
41	4-5	LT-2	360x240	6000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	1060	tõmmatud
78-75,19	20-19	LT-1	320x240	2605	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-108	suratud
82-79,18	19-18	LT-1	320x240	2605	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-514	suratud
95-91,17	18-17	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-403	suratud
100-96,16	17-16	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-909	suratud
105-101,15	16-15	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-799	suratud
110-106,14	15-14	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-968	suratud
115-111,12	14-13	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-969	suratud
120-116,13	13-12	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-799	suratud
125-121,11	12-11	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-911	suratud
130-126,10	11-10	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-402	suratud
86-83,9	10-9	LT-1	320x240	2605	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-515	suratud
90-87,8	9-8	LT-1	320x240	2605	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-108	suratud

Tala nr, Staad	Varras	det	Ristlõige (mm)	L (mm)	tüüp	määrav koormuskombinatsioon	Sisejõud (kN)	Sisejõu tüüp
134-131,56	20-19	LT-1	320x240	2605	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-101	surutud
138-135,55	19-18	LT-1	320x240	2605	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-556	surutud
151-147,54	18-17	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-468	surutud
156-152,53	17-16	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-1005	surutud
161-157,52	16-15	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-902	surutud
166-162,51	15-14	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-1082	surutud
171-167,49	14-13	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-1080	surutud
176-172,50	13-12	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-903	surutud
181-177,48	12-11	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-1003	surutud
186-182,47	11-10	LT-1	320x240	3000	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-470	surutud
142-139,46	10-9	LT-1	320x240	2605	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-556	surutud
146-143,45	9-8	LT-1	320x240	2605	tala	Koormus komb. Kergliiklustee	-155	surutud
21	1-19	LD-1	240x240	3873	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-484	surutud
58	1-19	LD-1	240x240	3873	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-494	surutud
22	19-2	LD-2	240x240	3893	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-406	surutud
59	19-2	LD-2	240x240	3893	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-417	surutud
24	2-17	LD-3	240x240	4135	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-333	surutud
61	2-17	LD-3	240x240	4135	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-342	surutud
25	17-3	LD-4	240x240	4155	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	248	tõmmatud
62	17-3	LD-4	240x240	4155	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	255,7	tõmmatud
27	3-15	LD-3	240x240	4135	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-136	surutud
64	3-15	LD-3	240x240	4135	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-140	surutud
28	15-4	LD-4	240x240	4155	diag	Koormus komb. Teenindusveok silde keskel	110	tõmmatud
65	15-4	LD-4	240x240	4155	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	60	tõmmatud
30	4-13	LD-4	240x240	4155	diag	Koormus komb. Teenindusveok sille 1/4	67	tõmmatud
67	4-13	LD-4	240x240	4155	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	57	tõmmatud

Tala nr, Staad	Varras	det	Ristlõige (mm)	L (mm)	tüüp	määrav koormuskombinatsioon	Sisejõud (kN)	Sisejõu tüüp
31	13-5	LD-3	240x240	4135	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-137	suratud
68	13-5	LD-3	240x240	4135	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-137	suratud
33	5-11	LD-4	240x240	4155	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	248	tõmmatud
70	5-11	LD-4	240x240	4155	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	252	tõmmatud
34	11-6	LD-3	240x240	4135	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-334	suratud
71	11-6	LD-3	240x240	4135	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-338	suratud
36	6-9	LD-2	240x240	3893	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	406	tõmmatud
73	6-9	LD-2	240x240	3893	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	413	tõmmatud
37	9-7	LD-1	240x240	3873	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-485	suratud
74	9-7	LD-1	240x240	3873	diag	Koormus komb. Kergliiklustee	-490	suratud
20	1-20	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Teenindusveok toel	-112	suratud
57	1-20	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Teenindusveok toel	-27	suratud
23	2-18	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Kergliiklustee	-62	suratud
60	2-18	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Kergliiklustee	-62	suratud
26	3-16	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Teenindusveok 1/4	-81	suratud
63	3-16	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Kergliiklustee	-71	suratud
29	4-14	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Teenindusveok silde keskel	-109	suratud
66	4-14	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Kergliiklustee	-73	suratud
32	5-12	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Kergliiklustee	-70	suratud
69	5-12	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Kergliiklustee	-71	suratud
35	6-10	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Kergliiklustee	-61	suratud
72	6-10	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Kergliiklustee	-62	suratud
7	7-8	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Kergliiklustee	-54	suratud
44	7-8	LP-1	240x240	2984	post	Koormus komb. Teenindusveok silde keskel	25	tõmmatud

**Lisa 2. Staad pro talade skeem**



# **GRAAFILINE OSA**

**Joonis 1. 3D-mudel**

**Joonis 2. Asendiplaan ja Külgvaade sammastele**

**Joonis 3. Sammaste lõiked**

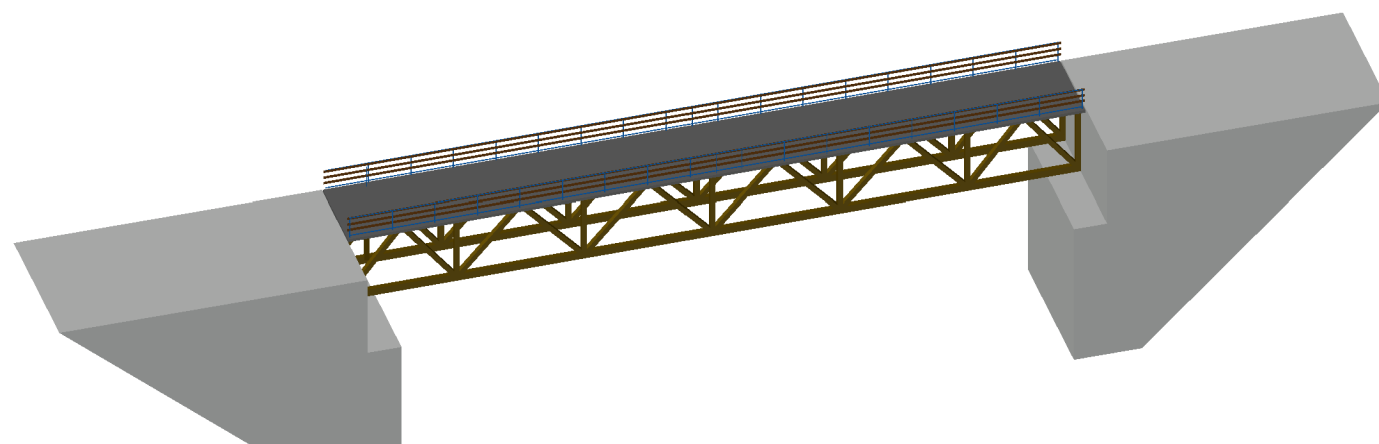
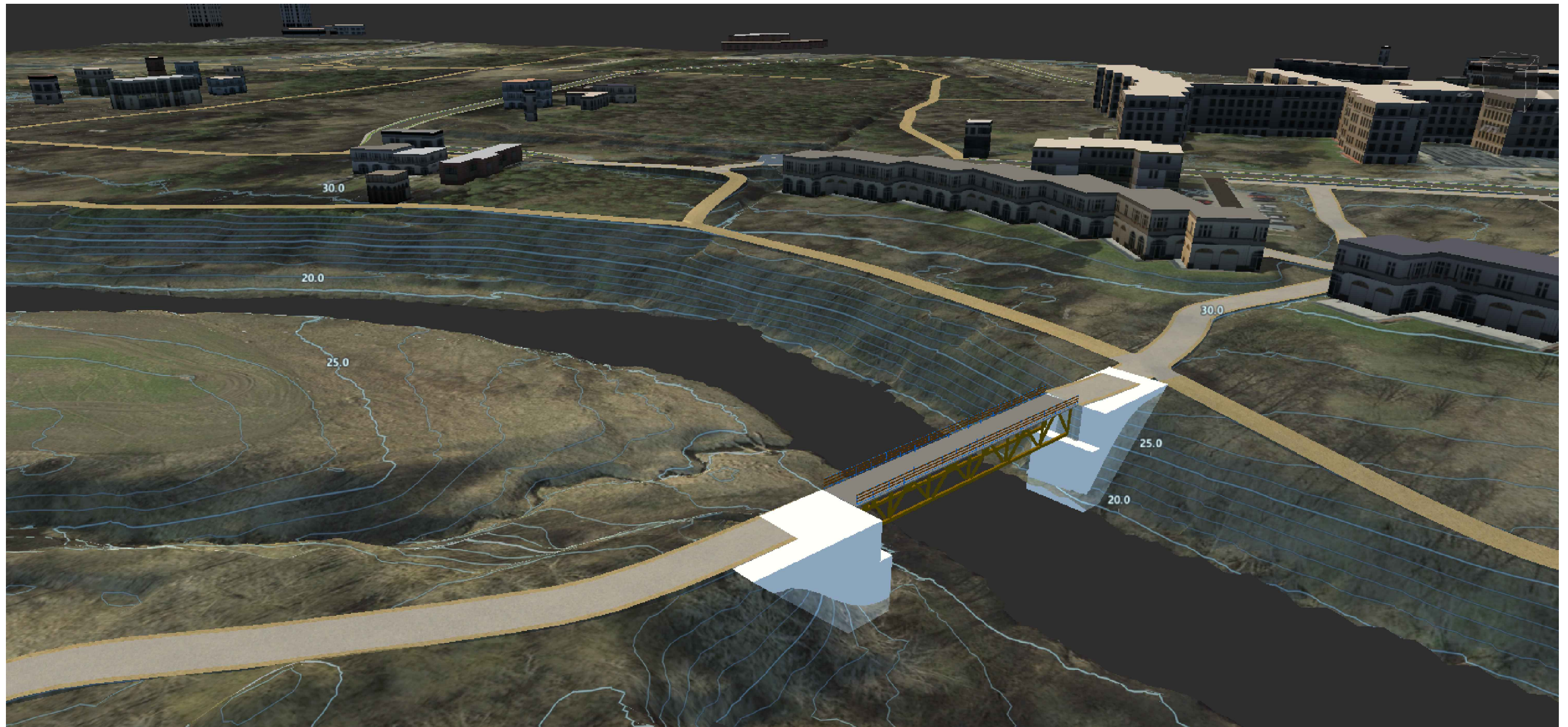
**Joonis 4. Lõiked A-A; B-B; C-C**

**Joonis 5. Liimpuitdetailide spetsifikatsioon**

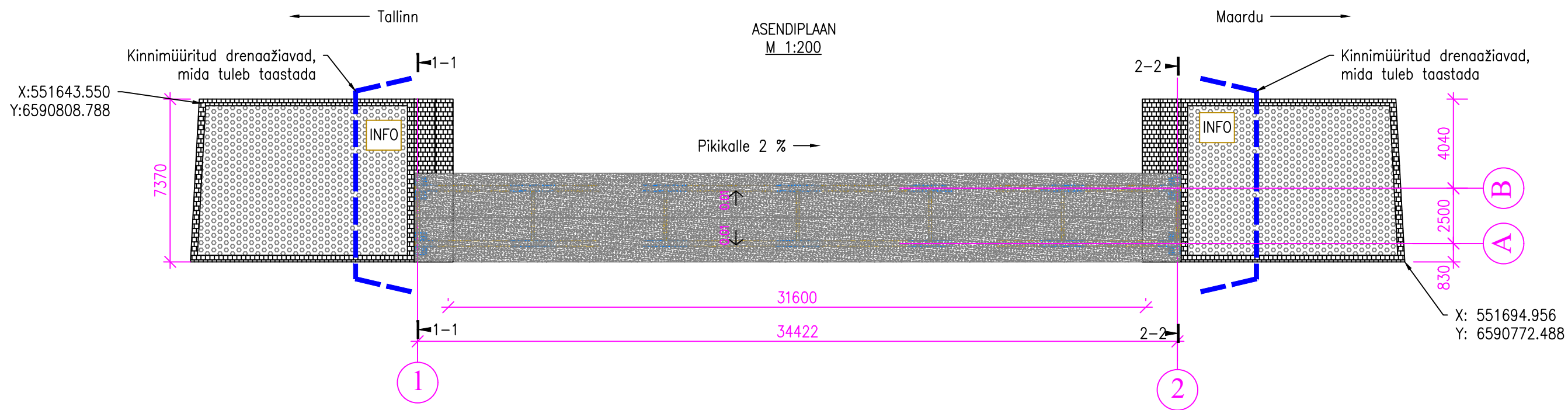
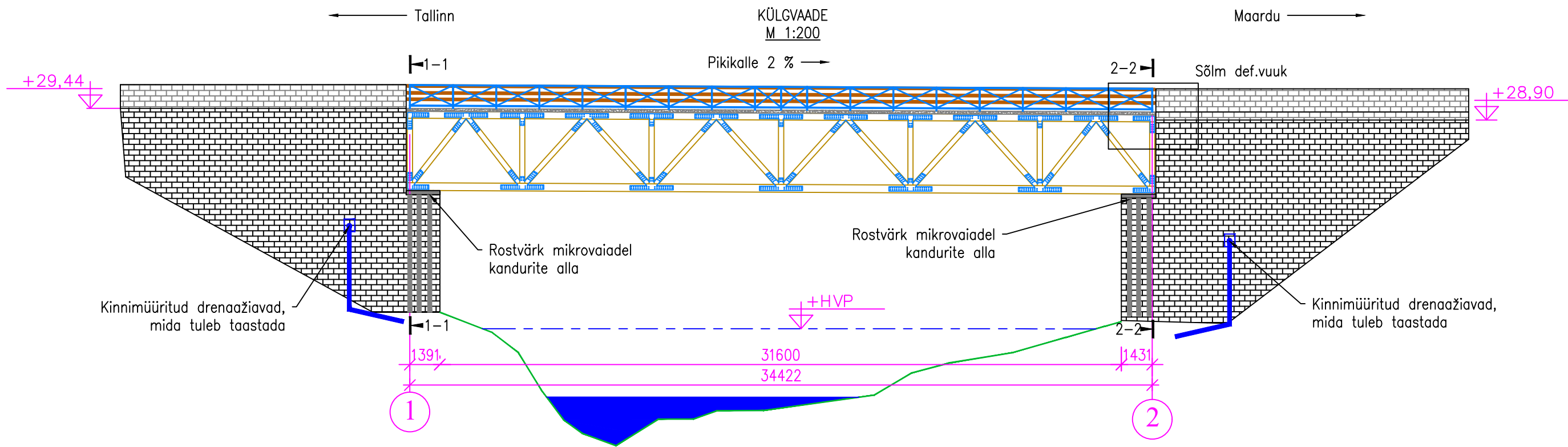
**Joonis 6. Tekiplaadi armeeringu plaan ja sõlmed**

**Joonis 7. Terasdetailide spetsifikatsioon**

SILLA 3D MUDEL  
Vaade Lasnamäele



<b>TAL TECH</b>		Iru kergliiklustee silla rajamise projekt endise Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla sammastel		
Koostas:	Nik Paat	Joonise nimetus 3D mudel		
Juhendas:	Juhan Idnurm	Joonise nr 1	Töö nr 191997	Õpperühm: EAXM12
TALLINN	31.03.2023	Skaala -	Lehti: 1	Lehti: 7



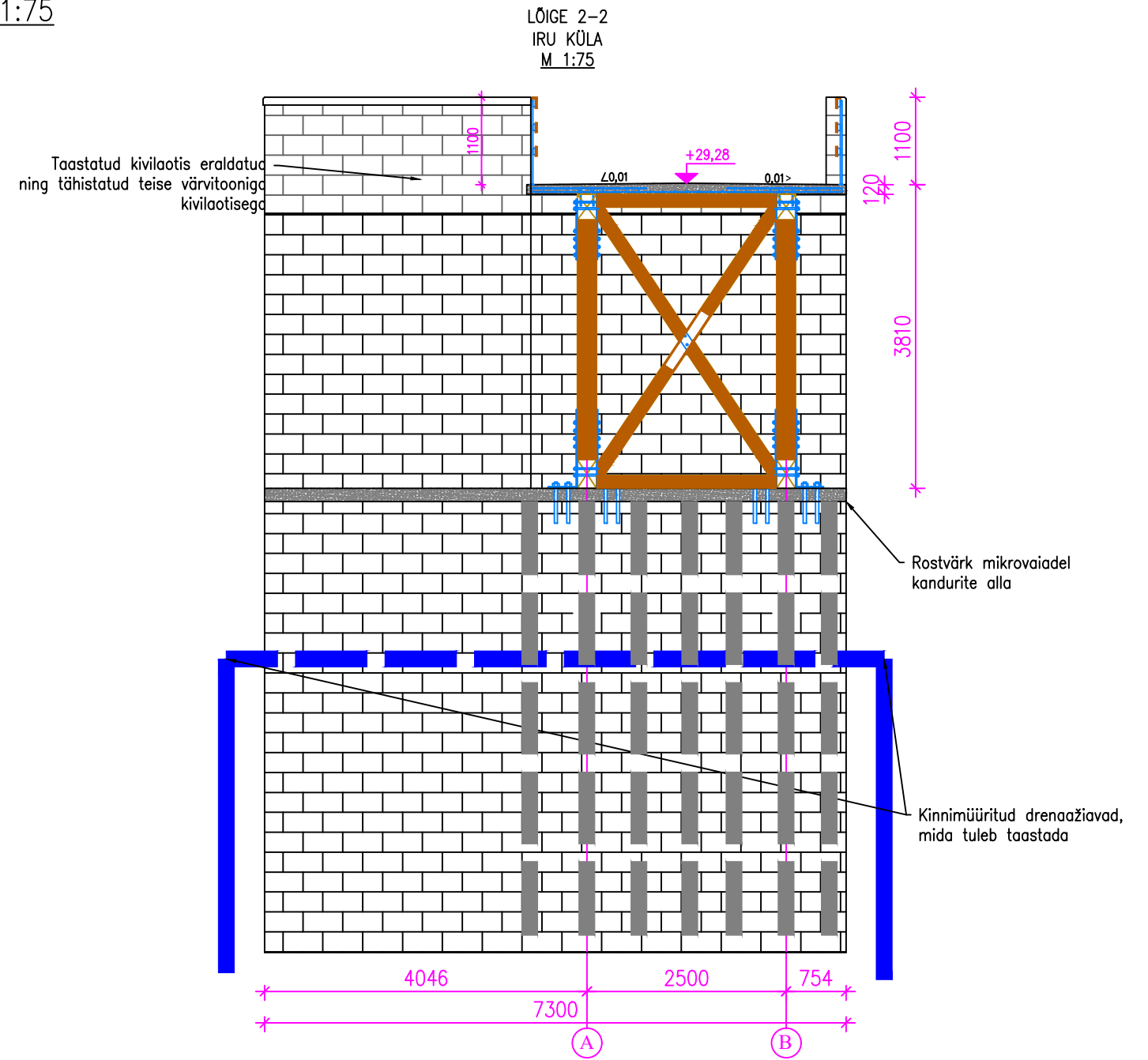
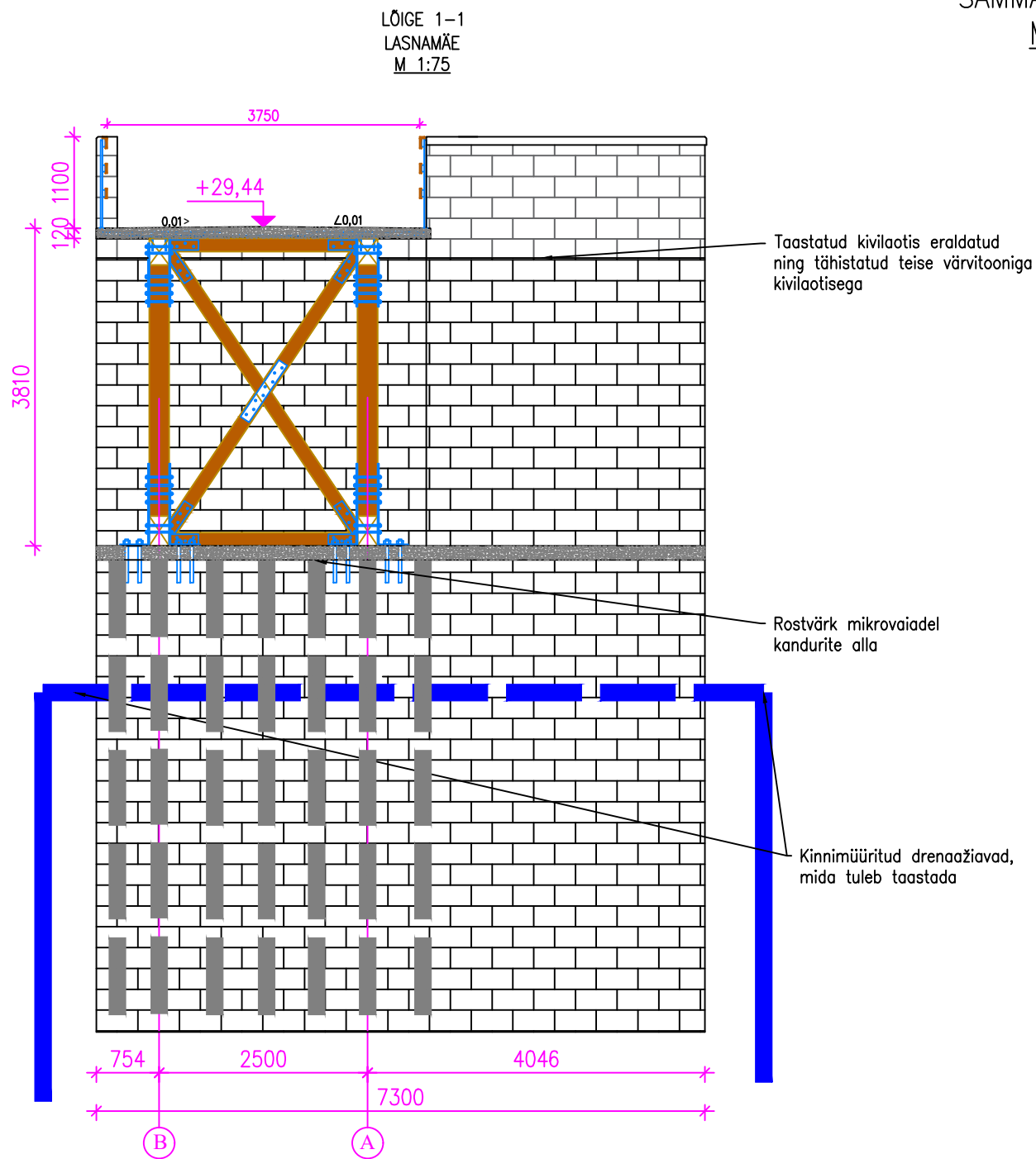
MÄRKUSED:

1. Tugiosade lahendus tehakse järgnevas projekti staadiumis.
2. Sillasammaste tagune tagasitüide tuleb ära puhastada kuni külgmiste avadeni. Paigaldada perforeeritud toru geotekstiili sisse ning teha tagasitüide drenivast täitematerjalist, mille peenosasisaldus ei ületa 4%.
3. Paigaldada infotahvlid mõlemale Sillasambale, mis tutvustaks silla ajalugu ning röögi ka Pirita jõeoru omapärasusest

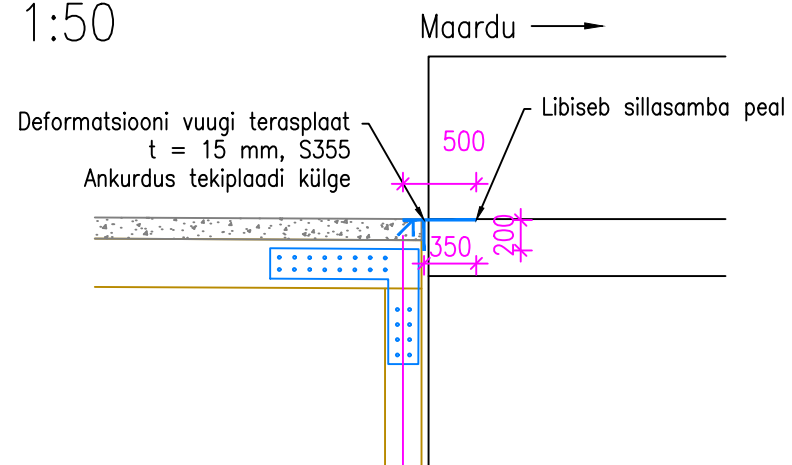
<b>TAL TECH</b>		Iru kergliiklustee silla rajamise projekt endise Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla sammastel		
Koostas:	Nik Paat	Joonise nimetus Külgvaade sammastele		
Juhendas:	Juhan Idnurm	Asendiplaan		
		Joonise nr 2	Töö nr 191997	Õpperühm: EAXM12
TALLINN	31.03.2023	Skaala 1:200	Leht: 2	Lehti: 7



# SAMMASTE LÕIKED M 1:75



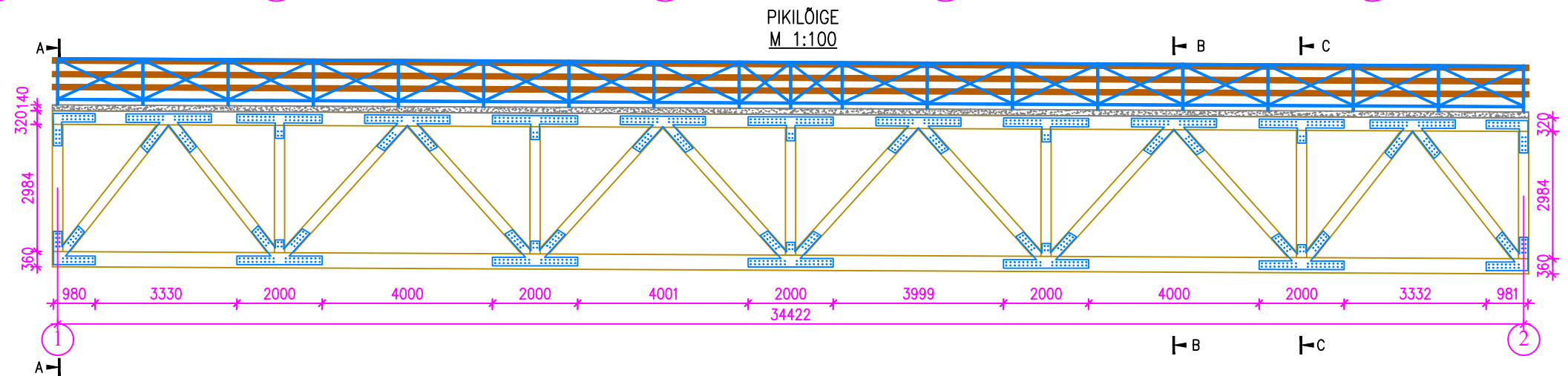
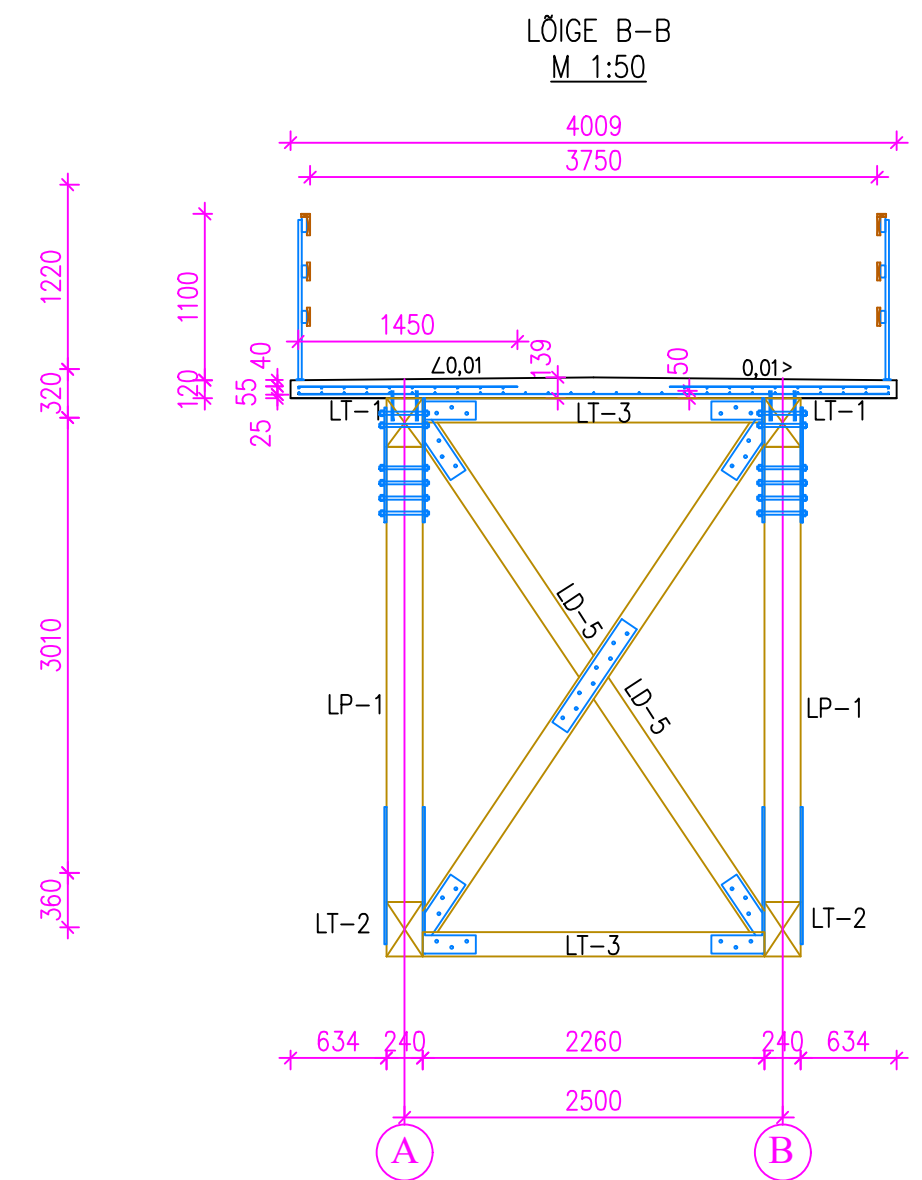
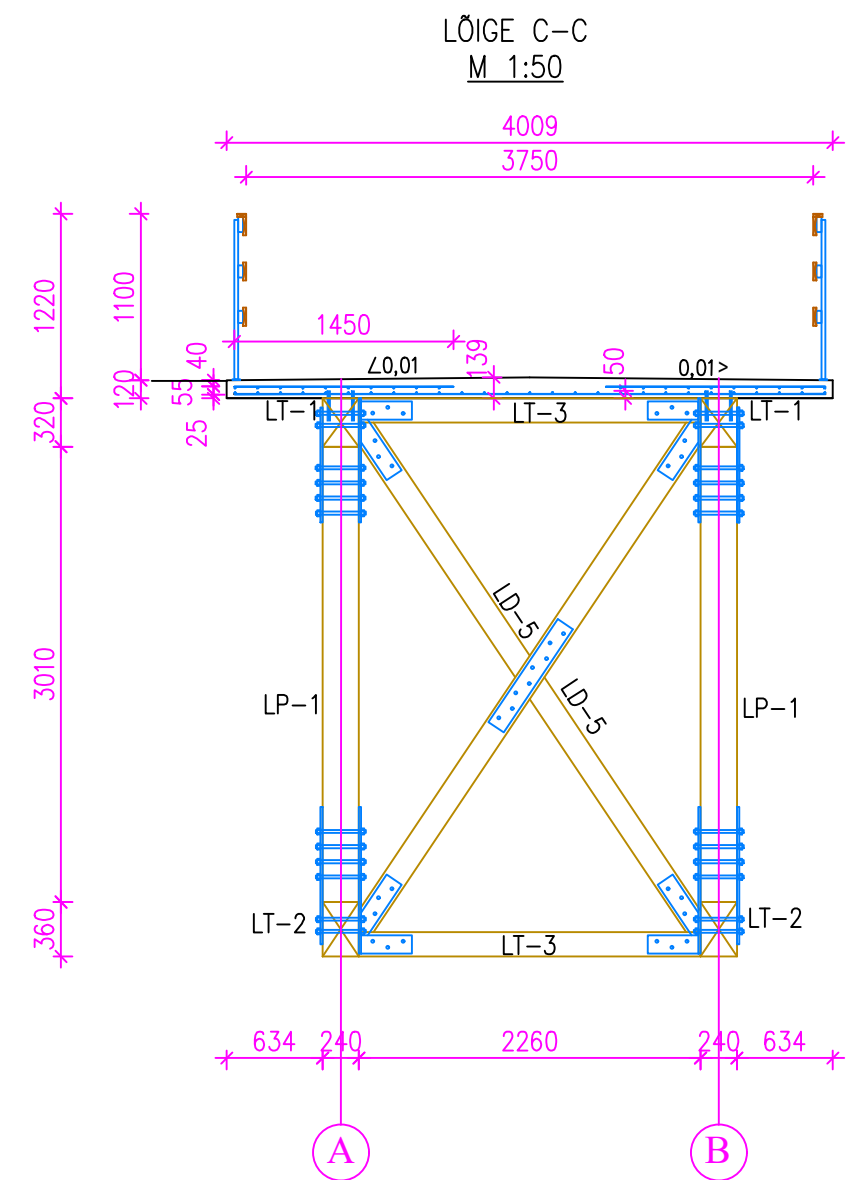
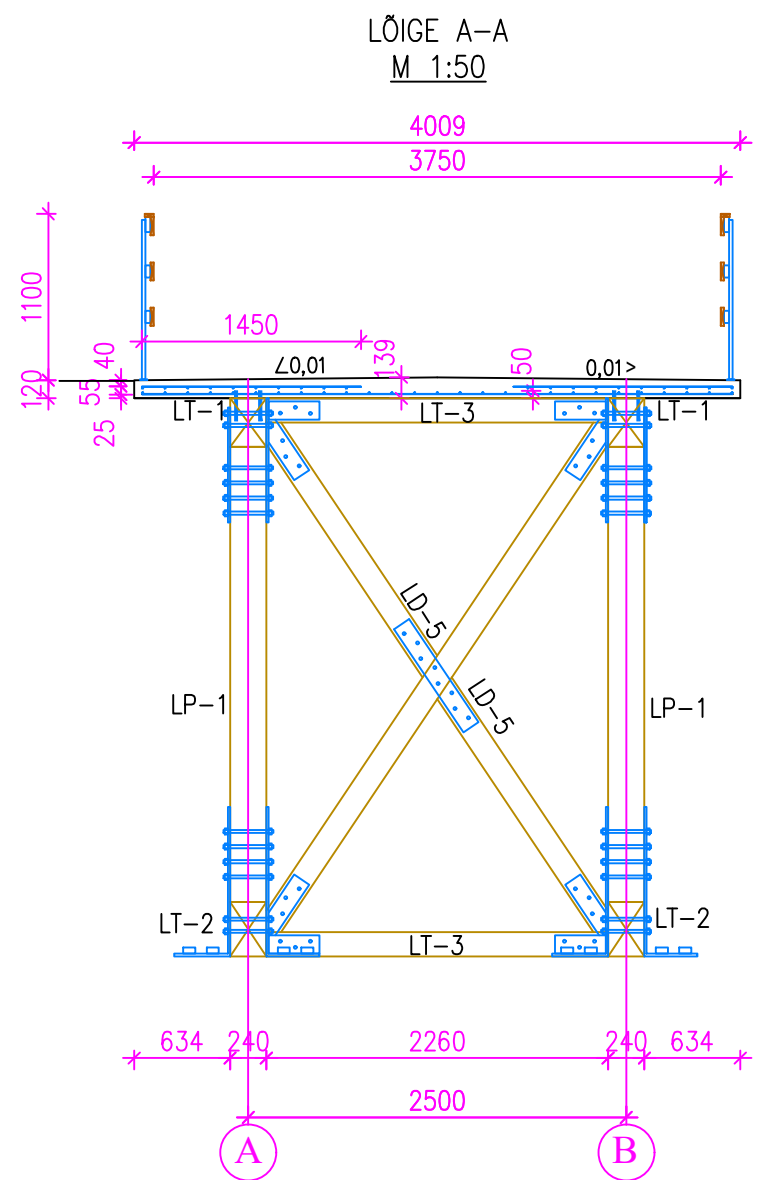
## Sõlm def.vuuk M 1:50



### MÄRKUSED:

1. Tugiosade lahendus tehakse järgnevas projekti staadiumis.
2. Sillasammaste tagune tagasitüide tuleb ära puhastada kuni külgmiste avadeni. Paigaldada perforeeritud toru geotekstiili sisse ning tagasitüide drenivast täitematerjalist, mille peenosasisaldus ei ületa 4%.
3. Def. vuugi teras C4 kaitseklassiga ning libeduskindla pinnaga.

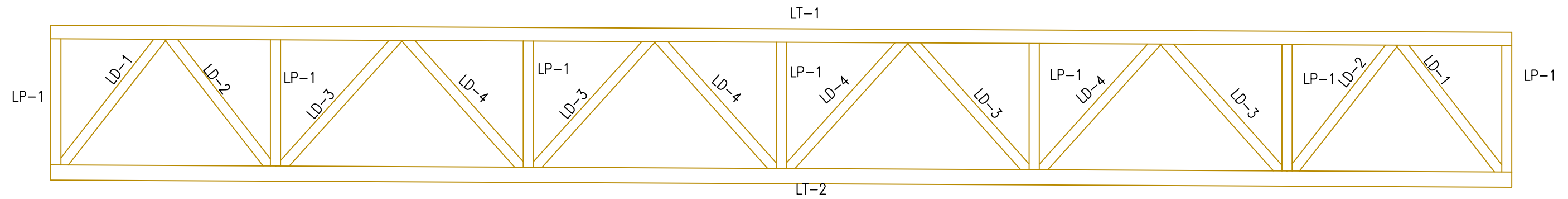
<b>TAL TECH</b>		Iru kergliiklustee silla rajamise projekt endise Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla sammastel		
Koostas:	Nik Paat	Joonise nimetus Sammaste lõiked		
Juhendas:	Juhan Idnurm	Deformatsiooni vuuk		
	Joonise nr 3	Töö nr 191997	Õpperühm: EAXM12	
TALLINN	31.03.2023	Skaala 1:75, 1:50	Lehti: 3	Lehti: 7



<b>TAL TECH</b>		Iru kergliiklustee silla rajamise projekt endise Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla sammastel		
Koostas: Nik Paat		Joonise nimetus Lõiked A-A; B-B; C-C; Pikilõige		
Juhendas: Juhan Idnurm		Joonise nr 4	Töö nr 191997	Õpperühm: EAXM12
TALLINN	31.03.2023	Skaala 1:100, 1:50	Leht: 4	Lehti: 7

# LIIMPUITDETAILIDE SPETSIFIKATSIOON

## M 1:100



LT-1, GL28h  
320 x 240 mm, L = 34662 mm, 2 tk

LT-2, GL32h  
360 x 240 mm, L = 34662 mm, 2 tk

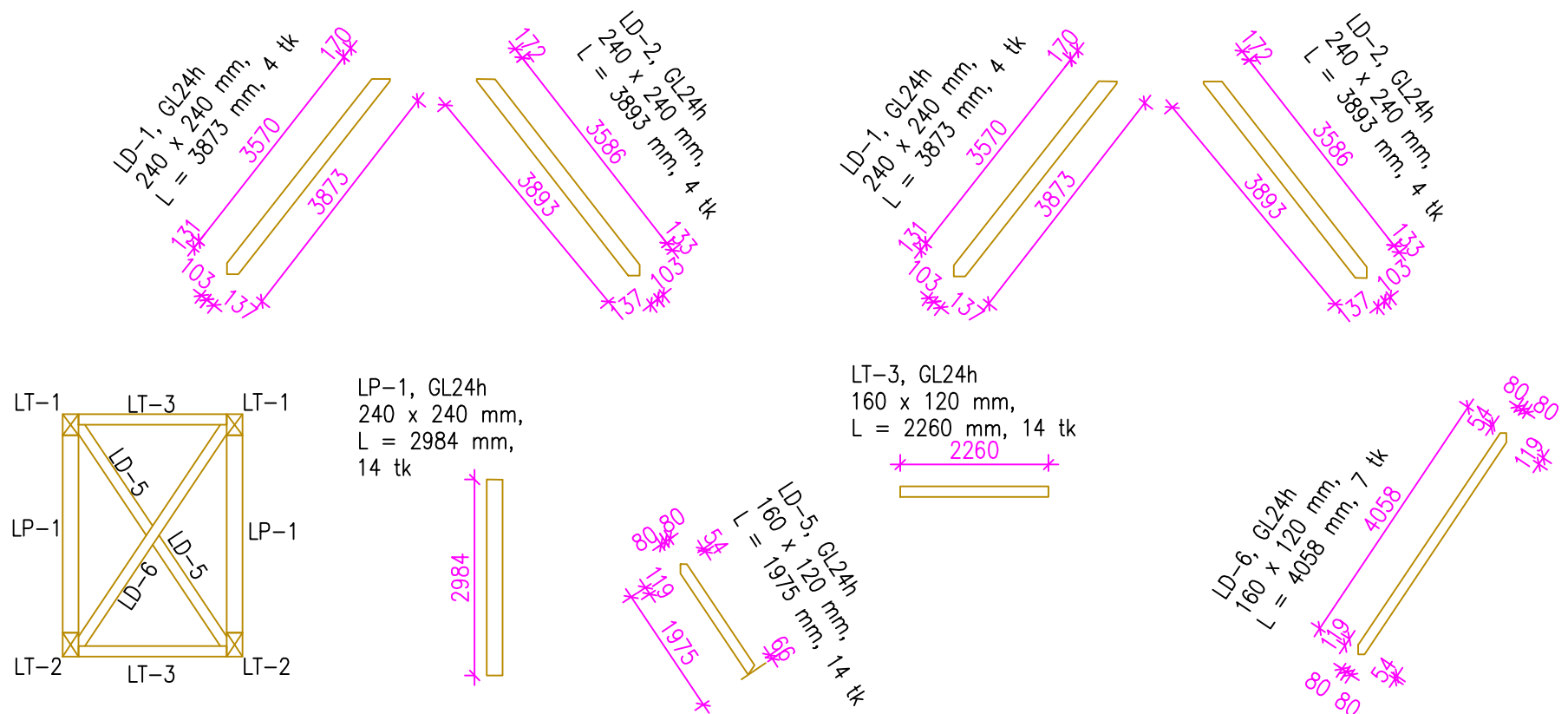
kõrgus (mm)	120	140	160	180	200	220	240	260	280	320	360	400	440	jne t6us +40mm
60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
80	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
100	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
120	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
140		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
160			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
180				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
200					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
220						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
240							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Pikkused: 1,0 – 36,0 m  
Kõrgus max 2,3 m

jrk	pos	tugevusklass	ristlõige (mm)	L (mm)	kogus (tk)
1	LT-1	GL-28h	320x240	34662	2
2	LT-2	GL-32h	360x240	34662	2
3	LT-3	GL-24h	160x120	2260	14
4	LP-1	GL-24h	240x240	2984	14
5	LD-1	GL-24h	240x240	3873	4
6	LD-2	GL-24h	240x240	3893	4
7	LD-3	GL-24h	240x240	4135	8
8	LD-4	GL-24h	240x240	4155	8
9	LD-5	GL-24h	160x120	1975	14
10	LD-6	GL-24h	160x120	4058	7

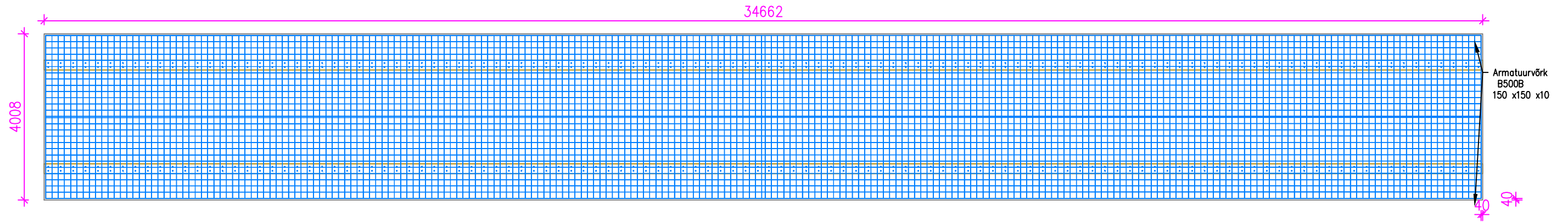
### MÄRKUSED:

- Kõik liimpuitosad on keskkonna kaitse klassiga UC-3

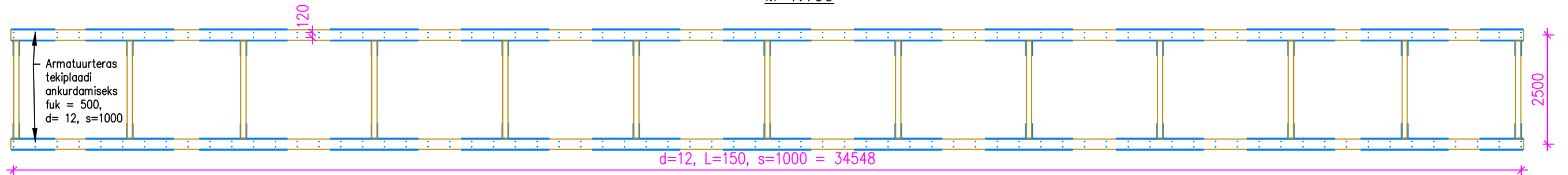


<b>TAL TECH</b>		Iru kergliiklustee silla rajamise projekt endise Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla sammastel			
Koostas:	Nik Paat	Joonise nimetus Liimpuitdetailide spetsifikatsioon			
Juhendas:	Juhan Idnurm	Joonise nr	5	Töö nr	191997
TALLINN	31.03.2023	Skaala	1:100	Leht:	5
				Õpperühm:	EAXM12
				Lehti:	7

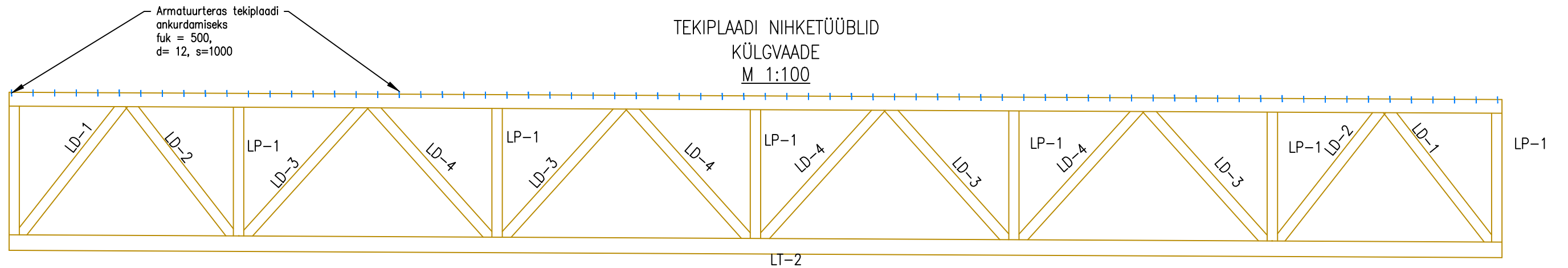
TEKIPLAADI ARMEERING  
M 1:100



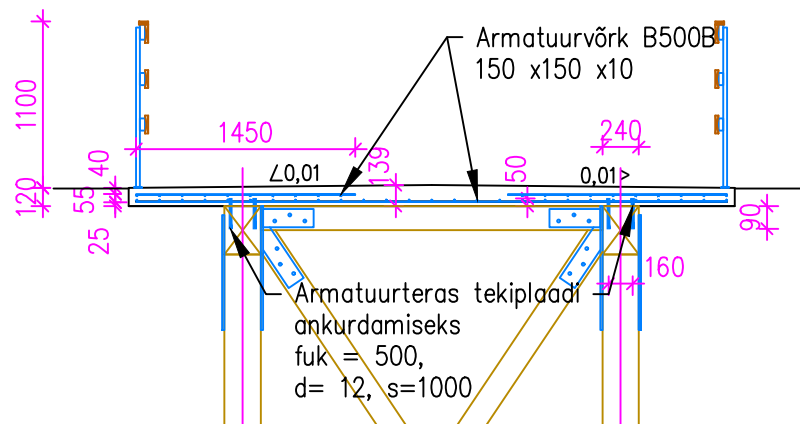
TEKIPLAADI NIHKETÜÜBLID  
PEALTVAADE  
M 1:100



TEKIPLAADI NIHKETÜÜBLID  
KÜLGVAADE  
M 1:100



TEKIPLAADI SÕLM  
M 1:50



Positsioon	maht	kogus (tk)	Kommentaar
Armatuurvõrk B500B, D10, 150x150	138.92 m <sup>2</sup>	-	alumise kaitsekiht 25mm
Pikiarmatuur D12 B500B	150 mm	280	
Betoon C35, XC3 XF3 KK3	18 m <sup>3</sup>	-	

MÄRKUSED:

- Kõikide betoon ja liimpuidu elementide vahele paigaldada SBS bitumen isolatsiooniriba.

**TAL  
TECH**

Koostas: Nik Paat

Juhendas: Juhan Idnurm

TALLINN 31.03.2023

Iru kergliiklustee silla rajamise projekt endise Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla sammastel

Joonise nimetus Tekiplaadi armeeringu plaan ja sõlmed

Joonise nr 6

Skaala 1:100

Töö nr 191997

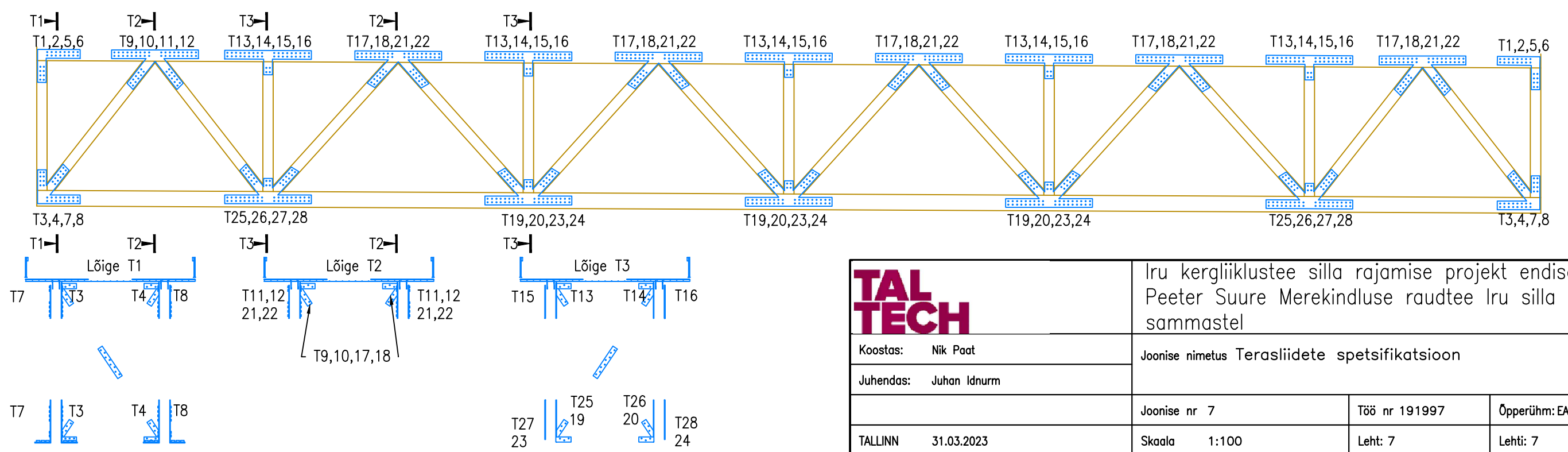
Leht: 6

Õpperühm: EAXM12

Lehti: 7

TERASLIIDETE SPETSIFIKATSIOON  
M 1:100

<p>T1 S355, A3 2 tk</p>	<p>T5 S355, A3 2 tk</p>	<p>T9 S355, A3 2 tk</p>	<p>T11 S355, A3 2 tk</p>	<p>T13 S355, A3 5 tk</p>	<p>T15 S355, A3 5 tk</p>	<p>T17 S355, A3 4 tk</p>	<p>T21 S355, A3 4 tk</p>
<p>T2 S355, A3 2 tk</p>	<p>T6 S355, A3 2 tk</p>	<p>T10 S355, A3 2 tk</p>	<p>T12 S355, A3 2 tk</p>	<p>T14 S355, A3 5 tk</p>	<p>T16 S355, A3 5 tk</p>	<p>T18 S355, A3 4 tk</p>	<p>T22 S355, A3 4 tk</p>
<p>T3 S355, A3 2 tk</p>	<p>T7 S355, A3 2 tk</p>	<p>T25 S355, A3 2 tk</p>	<p>T27 S355, A3 2 tk</p>	<p>MÄRKUSED:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Kõik terasliited ning ka Poldt kinnitusvahendid peavad vastama keskkonnaklassile C3 või kõrgem (EN ISO 12944-2)</li> <li>Poldide tugecusklass 10.9</li> <li>Tugiosade lahendus tehakse järgnevas projekti staadiumis.</li> </ol>		<p>T19 S355, A3 3 tk</p>	<p>T23 S355, A3 3 tk</p>
<p>T4 S355, A3 2 tk</p>	<p>T8 S355, A3 2 tk</p>	<p>T26 S355, A3 2 tk</p>	<p>T28 S355, A3 2 tk</p>			<p>T20 S355, A3 3 tk</p>	<p>T24 S355, A3 3 tk</p>



		Iru kergliiklustee silla rajamise projekt endise Peeter Suure Merekindluse raudtee Iru silla sammastel	
Koostas: Nik Paat		Joonise nimetus Terasliidete spetsifikatsioon	
Juhendas: Juhan Idnurm		Joonise nr 7	Töö nr 191997
TALLINN 31.03.2023		Skaala 1:100	Õpperühm: EAXM12
		Leht: 7	Lehti: 7