



**TALLINNA
TEHNIKAKÕRGGKOO**

Rain Kimmel, Kaisa Männamaa

JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILLA TEHNILINE PROJEKT

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2015



Rain Kimmel, Kaisa Männamaa

JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILLA TEHNILINE PROJEKT

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond

Hoonete ehituse eriala

Tallinn 2015

Meie, Rain Kimmel ja Kaisa Männamaa, tõendame, et lõputöö on meie kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autoritele ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Lõputöö autorid

.....
Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....
Üliõpilase kood

Õpperühm

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Juhendajad

.....
Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....
Konsultandid

.....
Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....
Kaitmisele lubatud „.....“20....a.

Ehitusteaduskonna dekaan.....

Nimi ja allkiri

Ehitusteaduskond

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja: **Kaisa Männamaa, Rain Kimmel**
Üliõpilase kood: 110820641, 110820611
Õpperühm: EI-81
Eriala: Hoonete ehitus (kood: 1827)
Lõputöö teema: **Jägala joa jalakäijate silla tehniline projekt**

Lähteandmed töö koostamiseks:

Silla projekteerimise aluseks on Geo S.T. OÜ poolt teostatud laserskanneerimine Jägala joa vahetus läheduses.

Töö koosseis, lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Lõputöös tuleb välja töötada silla arhitektuurne ja konstruktiivne lahendus ning dimensionida kõik puidust kandekonstruktsioonid (tehnilise projekti mahus). Lisaks uurida liit- ja tehisrealsuse kasutamise võimalusi ning rakendada neid silla projekteerimisel.

Seletuskirja ning graafilise materjali sisu ja maht:

Seletuskirja maht on 80-90 lehekülge, sealhulgas kande- ja kasutuspiiriseundi arvutused sillateki laudise, piki- ja põiktalade kohta, peakaarte, riputite ja tuulesidemete kohta. Graafilises osas tuleb esitada silla vaated ja plaan ning tähtsamad sõlmed.

Lõputöö konsultandid:

Konsultandi nimi	Valdkond	Allkiri	Kuupäev
Siim Saidla	BIM		
Egert-Ronald Parts	BIM		
Hindrek Kesler	Arhitektuur		

Lõputöö juhendajad:

Martti Kiisa
Karin Lellep
(nimi)

(allkiri)

(kuupäev)

Lõpetajad:

Kaisa Männamaa
Rain Kimmel
(nimi)

(allkiri)

(kuupäev)

Kinnitaja:

Martti Kiisa
Ehitusteaduskonna dekaan

(allkiri)

(kuupäev)

Lõputöö ülesanne antud: 30.03.2015

Lõputöö esitamise tähtaeg: 11.05.2015

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	7
1. KASUTATUD TÄHISED JA LÜHENDID	9
1.1. Tähised.....	9
1.2. Lühendid.....	11
2. LIIT- JA TEHISREAALSUS.....	12
2.1. Liitreaalsus.....	12
2.1.1. Tehnoloogia.....	12
2.1.2. Referentstasapind	13
2.1.3. Nõuded mudelile	14
2.2. Tehisreaalsus	14
2.2.1. Tehnoloogia.....	15
3. OLEMASOLEVA OLUKORRA KIRJELDUS	18
3.1. Jägala jõgi ja juga	18
3.2. Geoloogia.....	18
3.3. Natura 2000 kaitseala	19
3.4. Punktivilv.....	20
4. ÜLDOSA.....	22
4.1. Kasutatud normatiivdokumendid	22
4.2. Kasutatud arvutiprogrammide loetelu	24
4.3. Sillale esitatavad üldnõuded	24
4.3.1. Nõuded liikumis-, nägemis- ja kuulmispuudega inimeste liikumisvõimaluste tagamiseks üldkasutatavates ehitistes.....	24
4.3.2. Tee seisundinõuded	25
4.3.3. Maanteede projekteerimismid.....	25
4.4. Nõuded konstruktsioonidele, materjalidele ja kvaliteedile.....	28
4.4.1. Üldised nõuded.....	28
4.4.2. Nõuded puitkonstruktsioonide	28

4.4.3.	Nõuded teraskonstruksioonidele	29
4.4.4.	Nõuded betoonkonstruksioonidele	29
4.5.	Koormused	30
4.5.1.	Koormuskombinatsioonide eeskirjad jalgteesildadele	30
4.5.2.	Koormuse kestusklass	30
4.5.3.	Lumekoormus	30
4.5.4.	Tuulekoormus	30
4.5.5.	Koormused jalgteesillale	31
4.5.6.	Käsi puude koormus	31
4.5.7.	Koormuskombinatsioonid kandepiirseisundis	31
5.	SILLA LÜHIKIRJELDUS	33
6.	MATERJALIDE OMADUSED JA ABITEGURID	35
7.	SILLATEKI LAUDIS	37
7.1.	Materjali arvutuslikud omadused	37
7.2.	Arvutusskeem	38
7.3.	Koormused	38
7.4.	Sisejõud	39
7.5.	Kontroll kandepiirseisundis	39
7.6.	Kontroll kasutuspiirseisundis	41
8.	SILLATEKI PIKITALAD	43
8.1.	Materjali arvutuslikud omadused	43
8.2.	Arvutusskeem	43
8.3.	Koormused	44
8.4.	Sisejõud	45
8.5.	Kontroll kandepiirseisundis	45
8.6.	Kontroll kasutuspiirseisundis	47
9.	SILLATEKI PÕIKTALAD	49
9.1.	Materjali arvutuslikud omadused	49
9.2.	Arvutusskeem	49
9.3.	Koormused	51
9.4.	Sisejõud	51
9.5.	Kontroll kandepiirseisundis	52
9.6.	Kontroll kasutuspiirseisundis	54
10.	TUULESIDEMED	56

10.1.	Sillateki tuulesidemed	56
10.2.	Kaare tuulesidemed.....	56
11.	KAAR.....	57
11.1.	Materjali arvutuslikud omadused.....	57
11.2.	Arvutusskeem	57
11.3.	Sisejõud.....	58
11.4.	Kontroll kandepiirseisundis	58
12.	KAARE PÕIKSIDEMED	68
13.	RIPUTID	69
14.	KAARE JA MAAPINNA VAHELINE LIHTTALA	70
14.1.	Materjali arvutuslikud omadused.....	70
14.2.	Arvutusskeem	70
14.3.	Koormused.....	71
14.4.	Sisejõud.....	71
14.5.	Kontroll kandepiirseisundis	72
14.6.	Kontroll kasutuspiirseisundis.....	73
15.	MAHUTABEL.....	75
16.	SÕLMED	76
16.1.	Sõlm A – pikitala ühendus põiktalaga	76
16.2.	Sõlm B – põiktala otsasõlm	77
16.3.	Sõlm C – kaare tipuliigend	78
16.4.	Sõlm D – kaare kannaliigend	78
16.5.	Sõlm E – põiktala ühendus kaarega	79
16.6.	Sõlm F – riputi ja põiksideme ühendused kaarega	79
17.	PUIDU KAITSE	80
17.1.	Keemilised võtted	80
17.2.	Konstruktiivsed võtted	80
18.	SILLA KASUTUS- JA HOOLDUSJUHEND.....	81
	KOKKUVÕTE.....	83
	SUMMARY	84
	VIIDATUD ALLIKAD.....	86
	LISAD	89
	Lisa 1. Kaarte sisejõud	89
	GRAAFILINE OSA.....	104

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö peamiseks eesmärgiks on puidust jalakäijate silla projekteerimine Jägala joale (tehnilise projekti staadiumis). Samuti on lõputöös uuritud liit- ja tehisreaalsuse kasutamise võimalusi ning nende rakendamist silla projekteerimisel.

Jägala joga asub ligikaudu 25 km kaugusel Tallinnast Jõelähtme vallas Jägala jõe alamjooksul. Sild on projekteeritud Jõelähtme valla soovil. Jõelähtme valla arengukava 2014-2025 kohaselt on vallal plaanis Jägala joga piirkond välja arendada puhkealana ning elavdada turismi. Samuti on sild vajalik ka kohalikele elanikele, kuna joga vahetus läheduses Jägala jõe ületamise võimalus puudub. Kõige lähemad ületamiskohad on joast ~400 m ülesvoolu asuv pais või ~3,5 km joast allavoolu asuv Linnamäe hüdroelektrijaam.

Sild on projekteeritud Jägala joga poolt vaadatuna jõe paremalt kuue meetri kõrguselt kaldalt kuni vasaku kalda alla jääva jõe kõrval asuva metsaalani.

Silla tähtsamad kandekonstruktsioonid, välja arvatud vundamendid, on projekteeritud puidust, sest puit sobib oma naturaalsuse ja loodusläheduse tõttu antud piirkonda paremini kui teised materjalid. Samuti soovivad lõputöö koostajad näidata, et õigete sõlmlahenduste, kaitsmisviiside ja hooldusega on võimalik ehitada kauakestev puitsild.

Lõputöös on dimensioonitud kogu sillatekk, kaar, jäikussidemed, kaare põiksidemed ning riputid. Lõputöös on välja töötatud ka lahendused kaare kannaliigenditele ja tipuliigendile, piki- ja põiktala ühendusele, põiktala otsasõlmele, riputite ja kaare sõlmele, kaare põiksidemete ja kaare omavahelisele ühendusele ning äärmiste põiktalade ja kaare ühendusele.

Kõik lõputöös esinevad arvutused on teostatud mõlema koostaja poolt iseseisvalt üksteise kontrollimiseks. Graafiline osa on lõputöö koostajate vahel võrdselt ära jagatud ning samuti ka kogu seletuskirja sisu. Projekteeritava silla mudeli tegemisel aitas suuresti kaasa üks lõputöö konsultantidest Siim Saidla ning kaare sisejõudude arvutamiseks teostas mudeli üks lõputöö juhendajatest Karin Lellep.

Tänapäeval on tehnoloogia areng loonud projekteerijatele ja arhitektidele innovaatilisi lisavõimalusi, kuidas oma tööd efektiivsemaks ja visuaalsemaks muuta. Seetõttu on ka käesolevas lõputöös kasutatud veel ehitusvaldkonnas vähelevinud tehnoloogiat liit- ja tehisreaalsuse näol.

Lõputöö koosneb järgmistest osadest:

- ülevaade liit- ja tehisreaalsusest;
- nõuded jalakäijate sillale;
- koormuste ja sisejõudude arvutused;
- tarindite dimensioonimine;
- mahutabel;
- puidu kaitse;
- silla hooldus- ja kasutusjuhend;
- joonised, sõmlahendused;
- silla 3D mudel.

1. KASUTATUD TÄHISED JA LÜHENDID

1.1. Tähised

Ladina suurtähed:

A	ristlõike pindala
A_{ef}	efektiivne muljumispindala
C_e	avatustegur
C_t	soojustegur
$E_{0,mean}$	keskmine elastsusmoodul pikikiudu
$E_{0,05}$	elastsusmooduli 5% väärtus pikikiudu
$F_{c,90,d}$	arvutuslik survejõud ristikiudu
$G_{0,05}$	nihkemooduli 5% väärtus
I	ristlõike telginertsimoment
I_t	ristlõike väändeinertsimoment
L	silde pikkus
L_0	nõtkepikkus
M_d	arvutuslik paindemoment
N_d	arvutuslik normaaljõud
$N_{pl,Rd}$	brutoristlõike arvutuslik plastne kandevõime
$N_{t,Rd}$	arvutuslik tõmbekandevõime
R	toereaktsioon
S	normatiivne lumekoormus
S_k	normatiivne lumekoormus maapinnal
V_d	arvutuslik põikjõud
W	ristlõike vastupanumoment

Ladina väiketähed:

$f_{c,0,d}$	arvutuslik survetugevus pikikiudu
$f_{c,0,k}$	normatiivne survetugevus pikikiudu
$f_{c,90,d}$	arvutuslik survetugevus ristikiudu
$f_{c,90,k}$	normatiivne survetugevus ristikiudu
$f_{m,d}$	arvutuslik paindetugevus
$f_{m,k}$	normpaindetugevus
$f_{v,d}$	arvutuslik nihketugevus
$f_{v,k}$	normatiivne nihketugevus
f_y	terase voolavuspiir
g_d	arvutuslik alaliskoormus
g_k	normatiivne alaliskoormus
i	inertsiraadius
k_{cr}	pragude mõju arvesse võttev tegur
k_{crit}	kiivetegur
$k_{c,90}$	abitegur muljumiskontrollis
k_c	nõtketegur
k_{def}	deformatsioonitegur
k_h	ristlõiketegur
k_{mod}	koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur
k_m	tegur, mis arvestab paindepingete ümberjaotust ristlõikes
k_{sys}	süsteemi tugevuse tegur
l_{ef}	kiivepikkus
q_d	arvutuslik muutuvkoormus
q_k	normatiivne muutuvkoormus
q_{fk}	hajukoormus
p_d	arvutuslik joonkoormus
w_{fin}	lõplik paigutis
$w_{fin,lim}$	lõpliku paigutise piirväärtus
w_{inst}	hetkeline paigutis
$w_{inst,lim}$	hetkelise paigutise piirvärtu

Kreeka väiketähed:

γ_M	materjali osavarutegur
γ_G	alaliskoormuse osavarutegur
γ_Q	muutuvkoormuse osavarutegur
λ	saledus
μ	lumekoormuse kujutegur
ρ_{mean}	materjali keskmine tihedus
$\sigma_{m,d}$	arvutuslik paindepinge
$\sigma_{m,crit}$	kriitiline paindepinge
$\sigma_{c,0,d}$	arvutuslik survepinge pikikiudu
$\sigma_{c,90,d}$	arvutuslik muljumispinge
τ_d	arvutuslik nihkepinge
ψ	koormuse kombinatsioonitegur

1.2. Lühendid

<i>GPS</i>	global positioning system
<i>IOS</i>	iPhone operating system
<i>QR</i>	quick response
<i>BIM</i>	building information modeling

2. LIIT- JA TEHISREAALSUS

2.1. Liitreaalsus

Liitreaalsus kujutab endast reaalse maailma ja tehislikult loodud elemendi, näiteks 3D-mudeli, omavahelist kombinatsiooni. Liitreaalsus luuakse reaalses maailmas, nt ehitusplatsil, pargis, tänaval jne, mitte arvutis ning ühe võimalusena luuakse see nii, et nutiseadmega kuvatakse tehislik element soovitud keskkonda. Pilt, mis kasutajale nutiseadmes avaneb, ongi sel hetkel olemasoleva keskkonna ja kuvatava elemendi kombinatsioon, justkui oleks mudel samuti täpselt sel ajahetkel reaalses maailmas olemas.

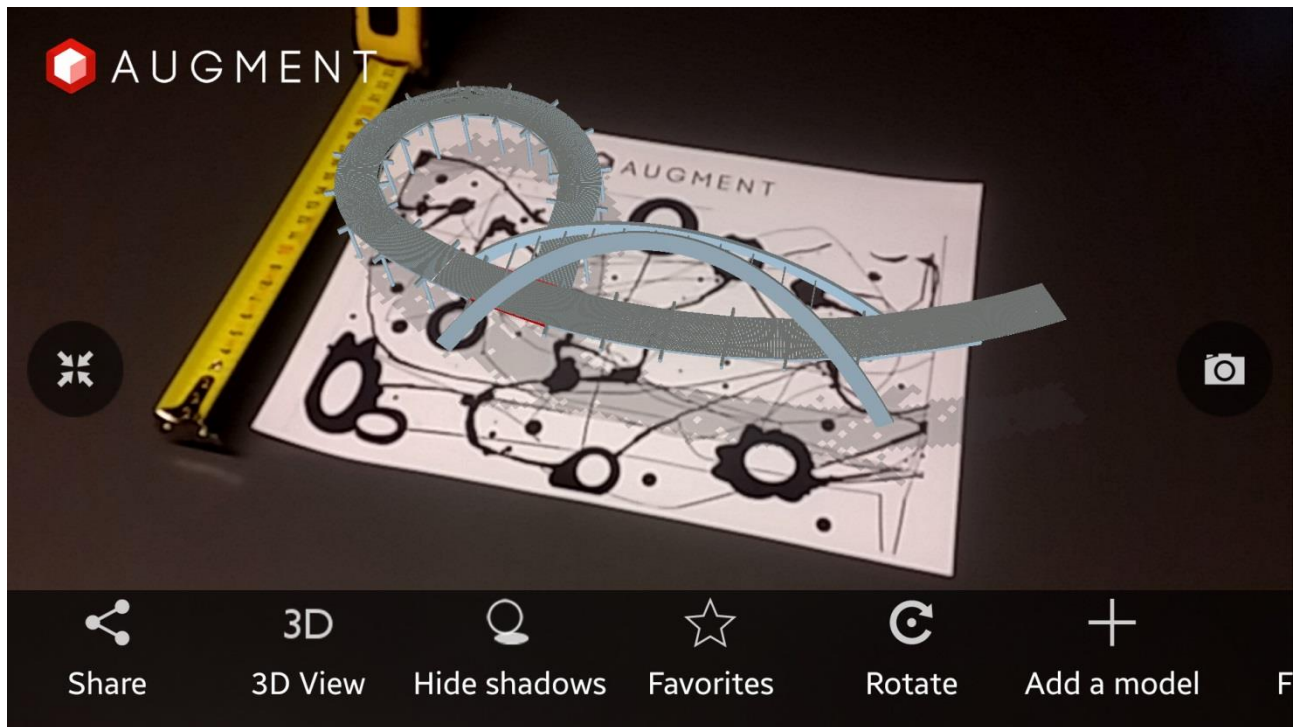
2.1.1. Tehnoloogia

Tänaseks on liitreaalsust võimalik saavutada läbi nutiseadmete kahel viisil – kasutades seadmetesse sissehitatud GPS-i või seadmete kaamerat ja referentspinda.

GPS-i kasutades on liitreaalsust võimalik saavutada programmiga Urbasee Future. Programm kasutab mudeli asukoha määramiseks looduses GPS-i, kompassi, kiirendusandurit ning güroskoopi. Kuna GPS-i täpsus on praeguste seadmetega umbes kolm meetrit, siis antud lahendus lõputöös projekteeritava silla katsetamisel veel soovitud tulemust ei andnud. Nutiseadmed ei suutnud tuvastada mudeli õiget asukohta piisava täpsusega ning seadet keerates või liigutades hakkas mudel ekraanil värelema. Samuti ei suutnud seade mudelit õiges mõõtkavas kujutada.

Nutiseadmete kaamera ja referentsstasapinna ehk *trackeri* kasutamine võimaldab liitreaalsuse luua tarkvaraga Augmented. Programmiga on võimalik vaadata liitreaalsuses kasutaja enda loodud mudeleid. Hetkel on liitreaalsuse saavutamiseks ehitusvaldkonnas enamlevinud programmidest toetatud Google SketchUp. Programmile SketchUp tuleb alla laadida vastav lisa nimega Augment uploader ning luua kasutaja. Üleslaetud mudelid on nähtavad Augmenti kodulehel, logides oma kasutajakontoga sisse. Selleks, et kodulehel olev mudel oleks nähtav Androidi või IOS operatsioonisüsteemidel, tuleb telefoni kaamera abil lugeda kodulehel kajastatav mudeli QR-koodi

või otsida mudeli nime järgi andmebaasist. Seejärel tuleb suunata seadme kaamera *trackerile*, kuhu ilmub koheselt soovitud mudel (vt joonist 1).

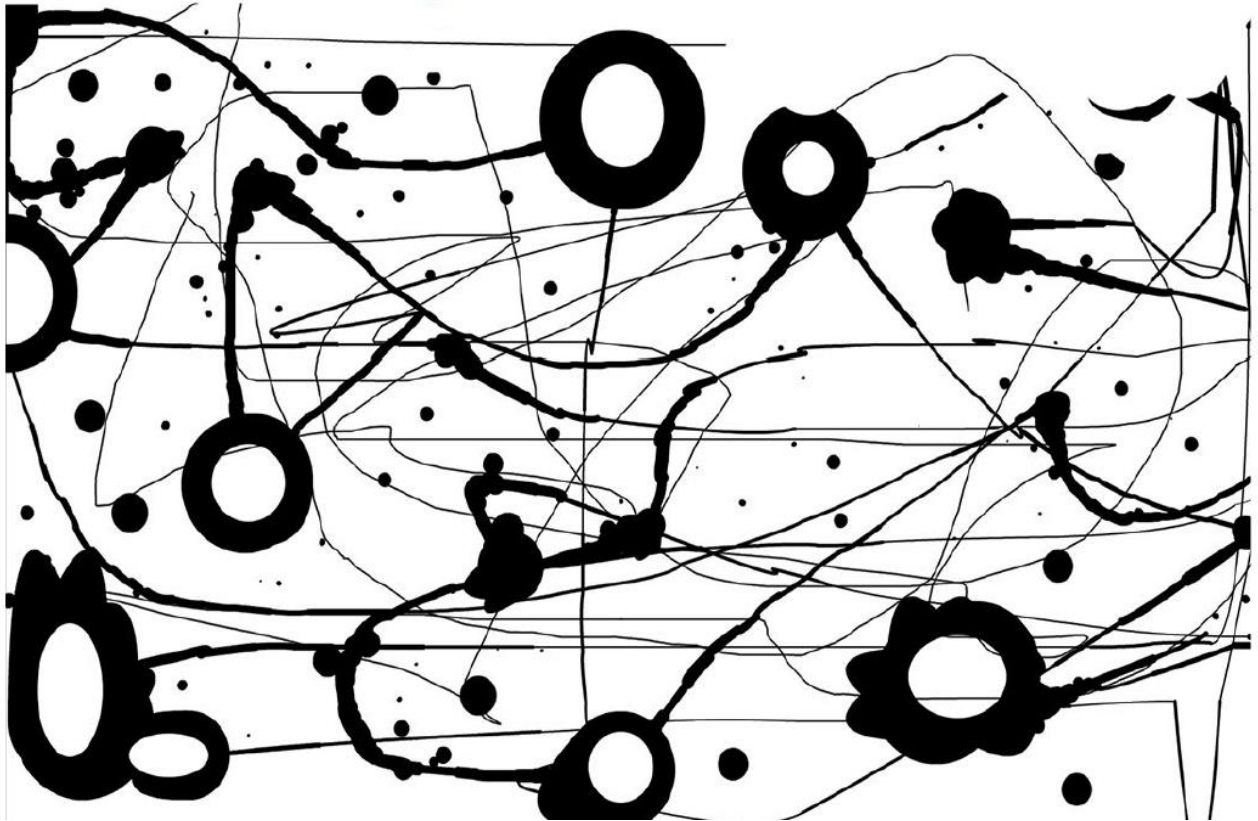


Joonis 1. Projekteeritava silla mudel liitreaalsusena

Mudelit on võimalik vaadata iga nurga alt, nii seest kui ka väljast ning nii lähedalt kui ka kaugelt. Kui aga trackerist liiga kaugemale liikuda, siis ei suuda kaamera enam õiget asukohta tuvastada ning mudel hakkab ekraanil virvendama või kaotab oma asukoha.

2.1.2. Referentstasapind

Referentstasapind on keeruka kordumatu mustri tasapind, mille järgi suudab nutiseade mudeliasukoha ruumis tuvastada. Käesolevas lõputöös on kasutatud referentstasapinnana paberit suurusega A4, millele on prinditud programmi Augment standardmuster (vt joonist 2).



Joonis 2. Augment standardtracker [1]

2.1.3. Nõuded mudelile

Kuna mudelit vaadatakse nutiseadmes, mille arvutusvõimsus võrreldes süle- või lauarvutiga on kordades väiksem, on mudeli suuruse ja keerukuse osas piirangud. Üldine reegel ütleb, et mudelis ei või olla rohkem kui 1000000 hulknurka. Täpne maksimaalne hulknurkade arv sõltub veel tekstuuride resolutsioonist, valgustusest, varjudest ja nutiseadme mudelist. Samuti tuleks vältida olukorda, kus kaks tasapinda asuvad ruumis samas asukohas, kuna see võib tekitada pinna värelemist. [2]

2.2. Tehisreaalsus

Virtuaal- ehk tehisreaalsus erineb liitreaalsusest selle poolest, et tehisreaalsuse puhul ei kombineerita reaalselt keskkonda ja tehislikku mudelit. Virtuaalreaalsuse puhul on kõik tehislikult arvutis loodud ning sellel ei ole mingit seost reaalse maailmaga.

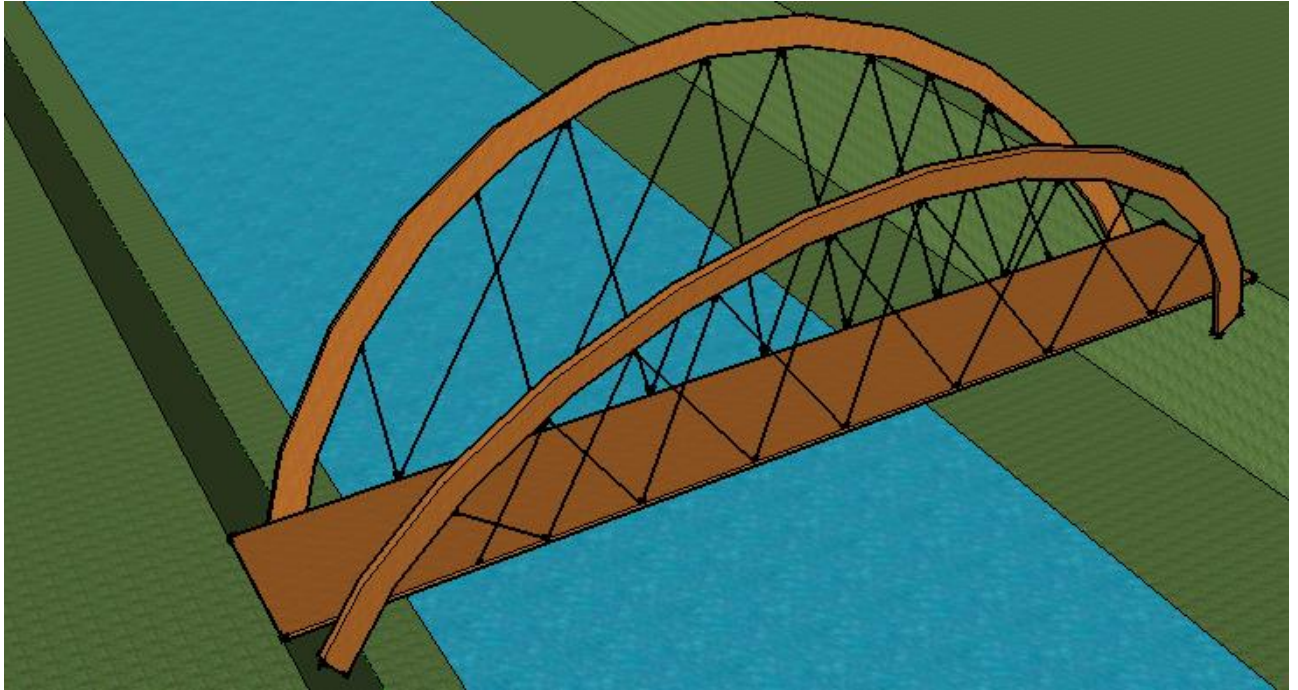
2.2.1. Tehnoloogia

Tehisreaalsuse võimaldab luua BIM CAVE (Building Information Modeling Computer-Aided Virtual Environment) ehk BIM-koobas, mis valmis Tallinna Tehnikakõrgkoolis 2015. a kevadel. BIM-koobas loob 3D mudeli viie projektori abil oma viiele ekraanile ning spetsiaalsete prillidega vaadates on võimalik näha ka stereoskoopilist pilti, mis loob eriti reaalse mulje. BIM-koopas on üks 1 m² suurune fookuspunkt, kus seistes saab mudelist kõige parema ettekujutuse. Fookuspunktist väljudes hakkavad tekkima väikesed moonutused, pinnad ja jooned hakkavad teatud nurga all murduma. Mudelis on kõige lihtsam ringi liikuda hiire või mängukonsool Xbox 360 juhtpuldiga, kuid on võimalik rakendada ka spetsiaalset kaamerat, mis tuvastab kasutaja asukoha ning võimaldab kasutajal mudelit juhtida oma käte või peaga.

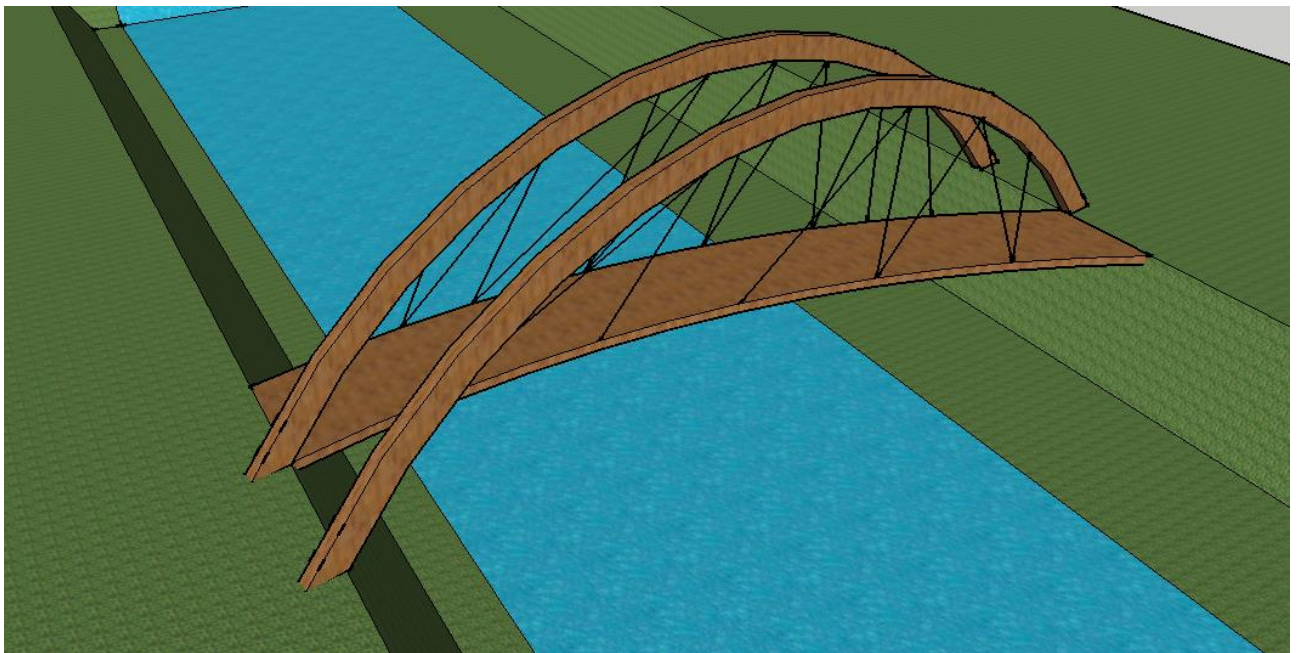
BIM-koopas on võimalik vaadata erinevate modelleerimis- või joonestusprogrammidega loodud mudeleid, nt Autodesk Revit, Autodesk Autocad või Google SketchUp, aga kõikide nimetatud programmide puhul tuleb mudel teisendada koopa versiooni. Teisendamiseks on sobiv programm Unity 5 Personal, mille jaoks on sobilikud mudeli formaadid .fbx, .obj, .3DS, .dxf ja .dae.

Unity on programm, millega saab luua 3D videomänge ja muud interaktiivset, näiteks ehitiste visualisatsioone. Programmi Unity kasutati ka käesolevas lõputöös projekteeritava silla BIM-koopa formaati teisendamiseks. Selleks, et antud tarkvara ühilduks BIM-koopaga on kasutusel ka programmi lisa Satavision CAVE Package 5.0. [3], [4]

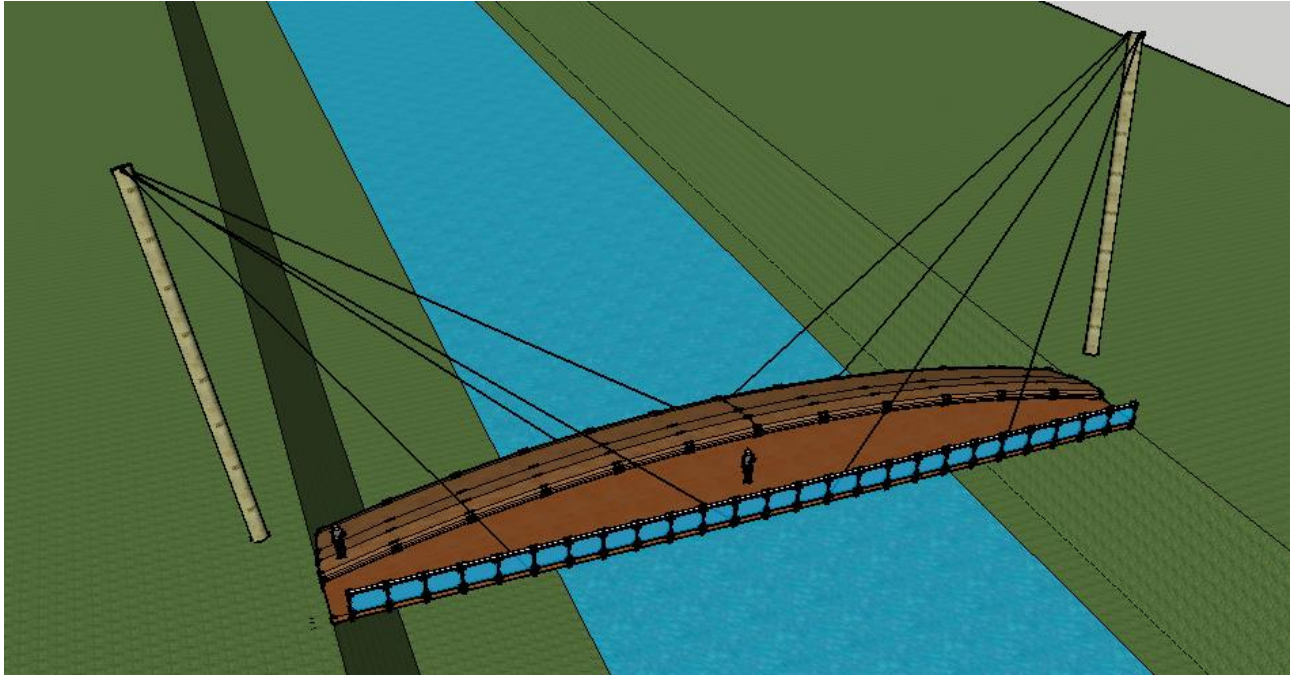
Tehisreaalsus aitas lõputöö koostajatel näha erinevate algselt tehtud mudelite puudusi ning lihtsustas lõpliku arhitektuurse lahenduse välja töötamist. Allolevalt on toodud mõned näited algsete eskiiside kohta (vt joonist 3, joonist 4, joonist 5 ja joonist 6).



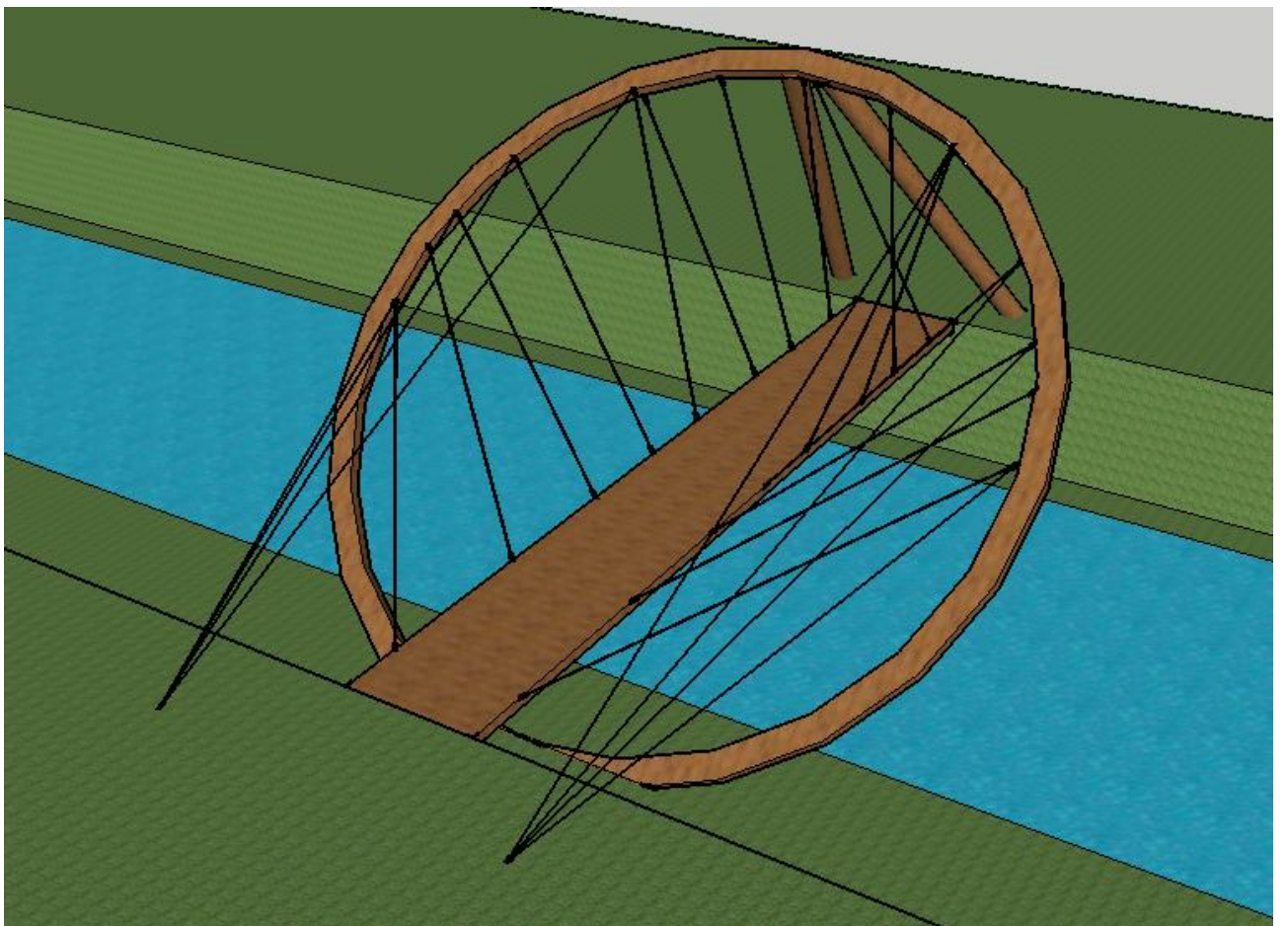
Joonis 3. Silla eskiis



Joonis 4. Silla eskiis



Joonis 5. Silla eskiis



Joonis 6. Silla eskiis

3. OLEMASOLEVA OLUKORRA KIRJELDUS

3.1. Jägala jõgi ja juga

Jägala jõgi saab alguse Pandivere kõrgustikust ja suubub Ihasalu lahte. Jõe pikkus on 97 km, langus 82 m ja lang 0,84 m/km. [5]

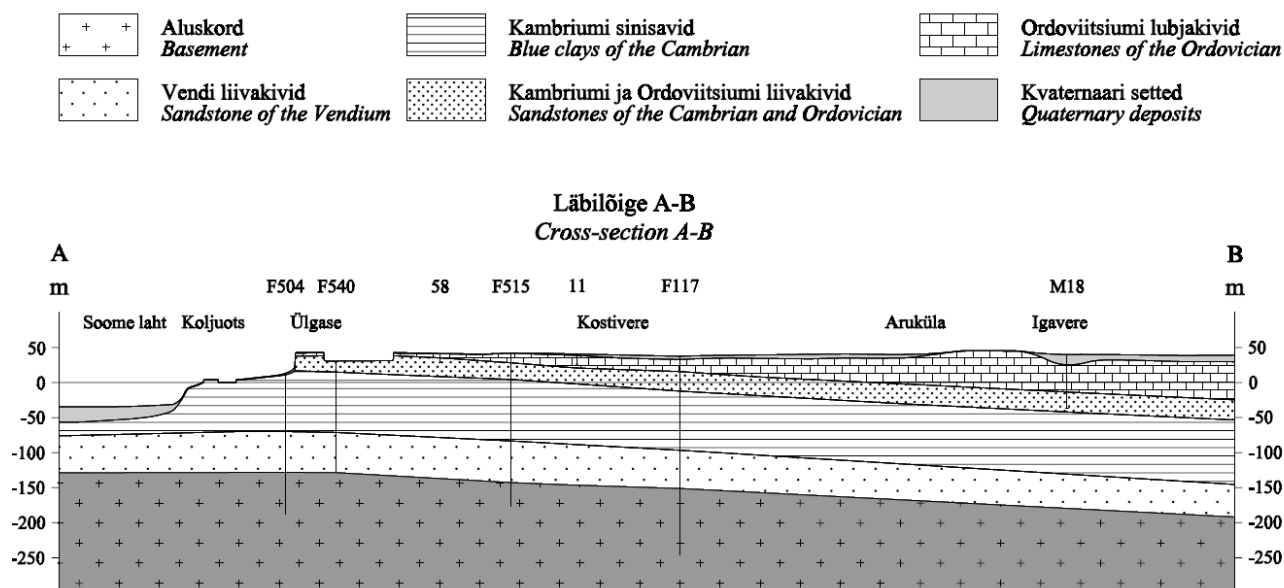
Jägala juga asub jõe suudmest ~4 km ülesvoolu. Jägala juga on 8,1 m kõrge ning joha laius on veerikastel aastatel 60-70 meetrit. Joha poolt vaadatuna on vasakpoolne kallas 8,5 meetrit ja parempoolne kallas 6 meetrit kõrge. Vahetult joha ääres on vasakpoolne kallas järsk ning varisemisohtlik, näha on murdunud paekivi kihte. Joast eemaldudes muutub kallas laugemaks ning laugemale osale on ehitatud ka trepp, mis jookseb järsakust alla jõe kõrval asuvale metsaalale. Jõest paremal ei ole põhiliselt üldse kalda madalat osa, kohe algab järsak. [6]

Silla planeeritava asukoha all on Jägala jõgi ~19 meetrit lai.

Joast 370 meetrit ülesvoolu asub tamm ja paisjärv, millest juhitakse osa veest Jägala joast ning silla planeeritavast asukohast mööda Jägala hüdroelektrijaamani.

3.2. Geoloogia

Eesti geoloogilise baaskaardi kohaselt kuuluvad Jägala jõgi ja juga Maardu piirkonda. Piirkonnast on tehtud kaks maapinna läbilõiget ning otseselt ei jää Jägala jõe org kummalegi lõikele, kuid pinnakatte kihid Põhja-Eestis on valdavalt samad. Joonis 7 näitab Maardu piirkonnas tehtud läbilõiget A-B. Lõige on tehtud ~6 km Jägala joast läänest.



Joonis 7. Geoloogiline läbilõige Maardu piirkonnast [7]

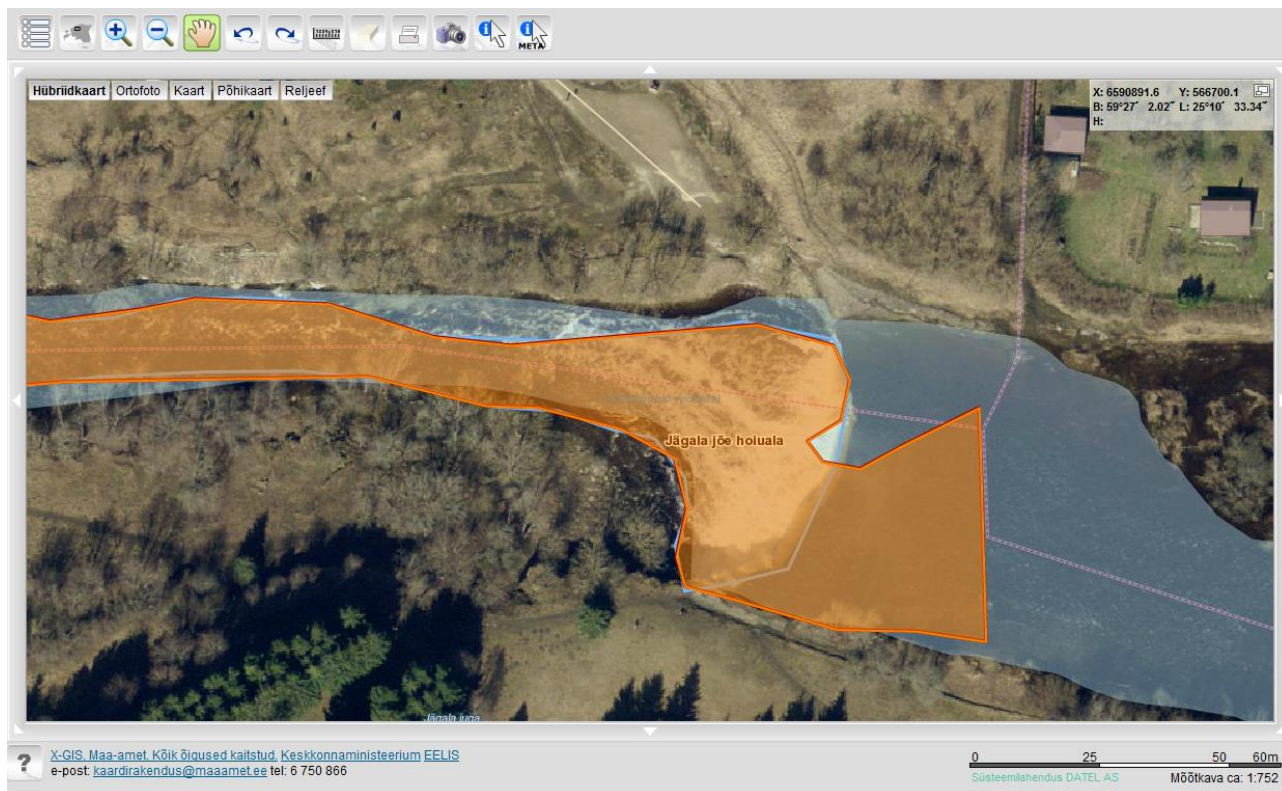
Täpsemate geoloogiliste andmete saamiseks tuleks teostada uuringud Jägala jõe orus vahetult Jägala joast allavoolu.

3.3. Natura 2000 kaitseala

Jägala juga on looduskaitsealune üksikobjekt aastast 1959 ning juga jääb ka Jägala jõe hoiualasse, mis kuulub Natura 2000 kaitsealade hulka (vt joonist 8) [6]. Natura 2000 eesmärk on kaitsta ohustatud linnu-, looma- ja taimeliikide ja nende kasvukohtade säilumise ning Euroopa Liidu liikmesriigina peab Eesti vastavaid meetmeid rakendama [8].

See tähendab, et Natura 2000 ala kuulub piiranguvööndi ning Looduskaitseeaduse § 31 kohaselt on piiranguvööndis keelatud, kui kaitse-eeskirjaga ei sätestata teisiti, ehitiste, kaasa arvatud ajutise ehitise, püstitamine [9].

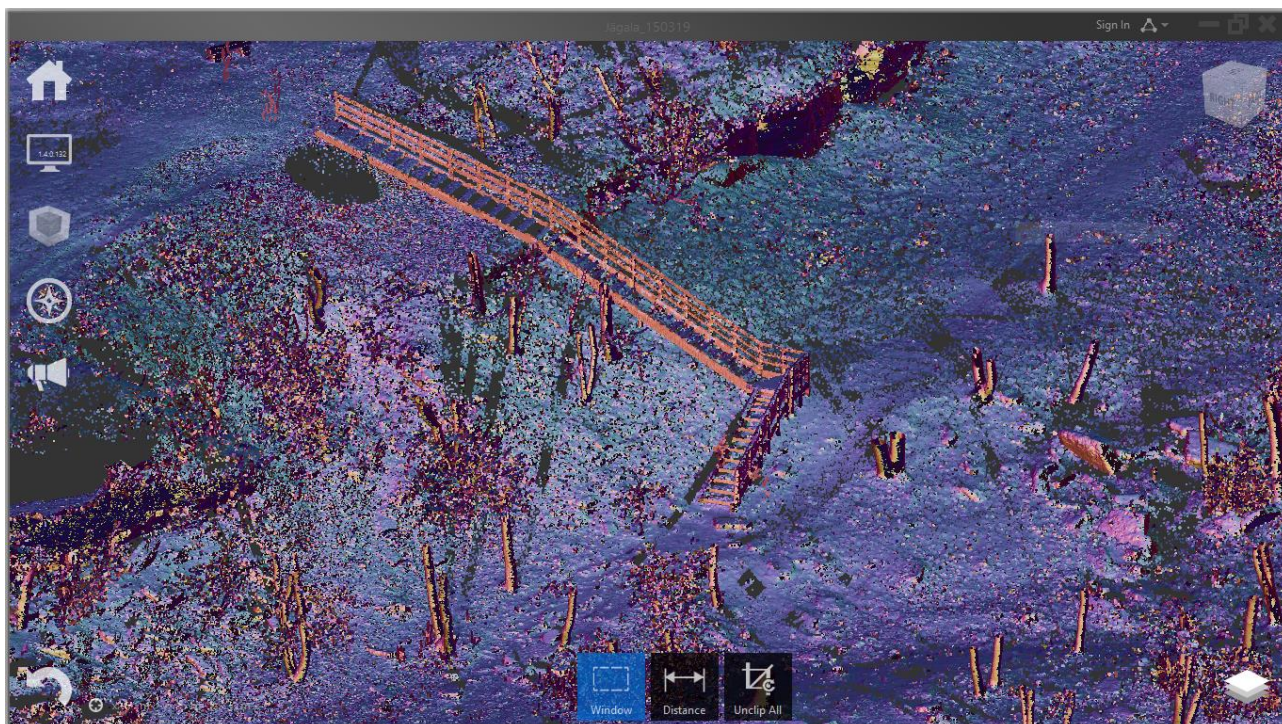
Kaitstavate looduse üksikobjektide kaitse-eeskiri § 6 sätestab, et üksikobjekti valitseja igakordsel nõusolekul on üksikobjekti ümbritsevas piiranguvööndis lubatud uute ehitiste, kaasa arvatud ajutiste ehitiste, püstitamine [10].



Joonis 8. Jägala jõe hoiuala [11]

3.4. Punktipilv

Punktipilv kujutab endast punktide kogumit, mis saadakse laserskanneerimise teel. Punktipilve põhjal on võimalik programmis Autodesk Revit luua maapinna mudel. Olemasoleva olukorra kirjeldamiseks on tellitud maa-ala laserskanneerimine firmast Geo S.T. OÜ. Punktipilve kasutati hetkeolukorra vaatlemiseks programmis Autodesk ReCap ning punktipilve põhjal on loodud maapinna tasapind programmis Autodesk Revit. Maapinna tasapinna valmistas Siim Saidla. Pildil on näidatud punktipilve programmis Autodesk ReCap silla planeeritavas asukohas jõe vasakul kaldal (vt joonist 9).



Joonis 9. Väljavõte Jägala jõe punkt pilvest

4. ÜLDOSA

4.1. Kasutatud normatiivdokumendid

Silla projekteerimisel kasutatud õigusaktid:

- ehitusseadus (Riigikogu seadus, vastu võetud 15.05.2002, redaktsioon 01.07.2014);
- teeseadus (Riigikogu seadus, vastu võetud 17.02.1999, redaktsioon 01.01.2015);
- looduskaitse seadus (Riigikogu seadus, vastu võetud 21.04.2004, redaktsioon 01.08.2014);
- nõuded ehitusprojektile (majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus nr 67, vastu võetud 17.09.2010, redaktsioon 25.01.2014);
- tee seisundinõuded (majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus nr 45, vastu võetud 17.12.2002, redaktsioon 30.01.2015);
- tee projekteerimise normid (teede- ja sideministri määrus nr 55, vastu võetud 28.09.1999, redaktsioon 15.08.2014);
- kaitstavate looduse üksikobjektide kaitse-eeskiri (keskkonnaministri määrus nr 27, vastu võetud 02.04.2003, redaktsioon 01.02.2009);
- nõuded liikumis-, nägemis- ja kuulmispuudega inimeste liikumisvõimaluste tagamiseks üldkasutatavates ehitistes (majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus nr 14, vastu võetud 28.11.2002, redaktsioon 01.01.2003).

Silla projekteerimisel kasutatud standardid:

- EVS 811:2012 – Hoone ehitusprojekt;
- EVS 865-2:2014 – Ehitusprojekti kirjeldus. Osa 2: Põhiprojekti seletuskiri;
- EVS-EN 1990:2002+NA:2002, EVS-EN 1990:2002/A1:2006+NA:2009 ja EVS-EN 1990:2002/A1:2006/AC:2010 – Eurokoodeks: Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused;
- EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 ja EVS-EN 1991-1-1:2002/AC:2009 – Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused;

- EVS-EN 1991-1-3:2006+NA:2006 ja EVS-EN 1991-1-3:2006/AC:2009 – Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus;
- EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007, EVS-EN 1991-1-4:2005/AC:2008, EVS-EN 1991-1-4:2005/AC:2010, EVS-EN 1991-1-4:2005/A1:2010 ja EVS-EN 1991-1-4:2005/A1:2010+A1:2010/NA:2010 – Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Tuulekoormus;
- EVS-EN 1991-2:2004+NA:2007 ja EVS-EN 1991-2:2004/AC:2010 – Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 2: Sildade liikluskoormused;
- EVS-EN 1992-1-1:2005+NA:2007 ja EVS-EN 1992-1-1:2005/AC:2010 – Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonetele;
- EVS-EN 1992-2:2005+NA:2008 – Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 2: Betoonsillad. Arvutus- ja detailiseerimisreeglid;
- EVS-EN 1993-1-1:2005+NA:2006, EVS-EN 1993-1-1:2005/AC:2009 ja EVS-EN 1993-1-1:2005/A1:2014 – Eurokoodeks 3: Teraskonstruksioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks;
- EVS-EN 1993-1-8:2005+NA:2006, EVS-EN 1993-1-8:2005/AC:2009 ja EVS-EN 1993-1-8:2005+NA:2006/AC:2012 – Eurokoodeks 3: Teraskonstruksioonide projekteerimine. Osa 1-8: Liidete projekteerimine;
- EVS-EN 1993-1-11:2006+NA:2010 ja EVS-EN 1993-1-11:2006+NA:2010/AC:2011 – Eurokoodeks 3: Teraskonstruksioonide projekteerimine. Osa 1-11: Tõmbele töötavate elementidega konstruktsioonide projekteerimine;
- EVS-EN 1993-2:2006+NA:2008 ja EVS-EN 1993-2:2006/AC:2009 – Eurokoodeks 3: Teraskonstruksioonide projekteerimine. Osa 2: Terrassillad;
- EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 ja EVS-EN 1995-1-1:2005/A2:2014 – Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks;
- EVS-EN 1995-2:2005+NA:2007 – Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 2: Sillad;
- EVS-EN 1997-1:2005+NA:2006, EVS-EN 1997-1:2005/AC:2009 ja EVS-EN 1997-1:2005+A1:2013+NA:2014 – Eurokoodeks 7: Geotehniline projekteerimine. Osa 1: Üldeeskirjad;
- EVS-EN 1997-2:2007+NA:2008 ja EVS-EN 1997-2:2007/AC:2010 – Eurokoodeks 7: Geotehniline projekteerimine. Osa 2: Laboriteimidel põhinev projekteerimine. [12]

4.2. Kasutatud arvutiprogrammide loetelu

Silla projekteerimisel on kasutatud järgmisi arvutiprogramme:

- joonestusprogramm Autodesk AutoCAD 2015;
- joonestusprogramm Google SketchUp Make 2015;
- projekteerimisprogramm Autodesk Robot Structural Analysis 2015;
- modelleerimisprogramm Autodesk Revit 2015;
- Autodesk ReCap 2015;
- visualiseerimisprogramm Unity Personal 5.0.0f4;
- tekstitöötlusprogramm Microsoft Word 2010;
- tabelitöötlusprogramm Microsoft Excel 2010.

4.3. Sillale esitatavad üldnõuded

4.3.1. Nõuded liikumis-, nägemis- ja kuulmispuudega inimeste liikumisvõimaluste tagamiseks üldkasutatavates ehitistes

Nõuded jalg- ja kõnniteedele [13]:

- jalg- ja kõnniteed peavad olema tasase pinnaga ja kõva kareda kattega, mis märgudes ei muutu libedaks;
- jalg- ja kõnnitee laius peab olema vähemalt 1,8 m (soovitav 2,0 m), mis võimaldab ratastoolis liikujail teineteisest mööduda;
- ratastooli tagasipöördeks 180° peab kahe meetri ulatuses olema laiust vähemalt 2,5 m;
- jalg- ja kõnnitee pikikalle ei tohi ületada 6% ja külgakalle 2%;
- jalg- ja kõnniteedel ei tohi olla nende kasutuslaiust vähendavaid objekte ega teede kasutamist takistavaid eenduivaid ehitiseosi.

Nõuded pandustele [13]:

- ühesuunalise liiklusega panduse minimaalne laius on 1,0 m, kahe-suunalisel 1,8 m;
- keerdpanduse laiused on samad, ent täispöörde puhul ei tohi laius olla alla 3,0 m;
- panduse pikikalde puhul kuni 5% (1:20) vahetasandeid (puhkemademeid) ei ole vaja;
- pandus peab olema piiratud vähemalt 70 mm kõrguse äärisega;
- panduse pikikalde puhul kuni 6% on vajalik sirgpanduse puhul vähemalt 1,5 m (soovitav 2,0 m) pikkune ja keerdpanduse puhul vähemalt 2,0 m (soovitav 2,5 m) pikkune

puhkemade, kõrgustel kuni 480 mm, 960 mm jne iga kuni 6,0 m pikkuse (projektsioonis) teelõigu järel;

- panduse pikikalle võib olla kuni 6%, järsema kaldega pandus on üldjuhul keelatud;
- panduse kohal peab olema vaba kõrgust 2,3 m;
- pandus peab olema kõva ja kareda pealispinnaga, mis märgudes ei tohi muutuda libedaks.

Nõuded käsipuudele [13]:

- käsipuu kõrgus astme keskelt peab olema 900 mm;
- käsipuu vaba kaugus võimalikust seinast või kinnisest piirdest on vähemalt 45 mm;
- käsipuu peab ulatuma mõlemas suunas üle panduse kaldeosa ning üle trepi esimese ja viimase astme tõusu vähemalt 400–500 mm;
- käsipuu otsad peavad olema takerdumise vältimiseks painutatud allapoole ja kinnitatud kas põranda külge või ühendatud madalamal asuva käsipuuga;
- käsipuu peab olema ümara või ristkülikukujulise profiiliga; ümarprofiili läbimõõt 30-40 mm ja ristkülikukujulise profiili paksus 25-30 mm ning soovitatav übermõõt 120-180 mm.

Nõuded pääsudele käigusillale [13]:

- vähemalt üks pääs käigusillale peab olema pandusega.

4.3.2. Tee seisundinõuded

Nõuded silla seisundile [14]:

- käsipuude asetus peab olema paralleelne silla äärega, selle kõrgus kõnnitee katte pinnast ja tihedus peab kogu ulatuses olema ühtlane, postide kinnitus silla pealisehitise külge peab olema tugev, detailid ei tohi olla deformeerunud, värvkate peab olema terve ning metalldetailid ei või olla roostes, käsipuudel peab olema tagatud temperatuuripaisumise võimalus;
- hüdroisolatsioon ja deformatsioonivuugid peavad olema vettpidavad;
- kandvate puitelementide pind peab olema puhas ja ilmastikumõjude eest kaitstud, neil ei tohi olla silla kandevõimet vähendavaid pehkimisnähte.

4.3.3. Maanteede projekteerimismõõdud

Üldnõuded [15]:

- uue rajatise (sh sild) projektlahendus peab:

- tagama sõidukite ohutu ja sujuva liikluse ning rajatise töökindluse, pikaajalisuse ja pideva kasutamise;
- arvestama suurvee ja jäämineku ohutu läbilaskmise ja meandreerumisega;
- looma rajatise all tingimused ohutuks liikluseks, mh laevatataval jõel laevade ohutu läbilaskmise silla alt;
- tagama materjalide ja energiaressursside ökonoomse kasutamise;
- tagama kalade läbipääsu üles- ja allavoolu;
- jalgteesilla piirete vahe peab olema 0,5 m võrra laiem kui sillale suubuva jalgteel laiused;
- rajatise sõidutee tuleb projekteerida sama kaldega, mis on rajatisele eelneval ja järgneval tee lõigul ja tarindid, kuhu võib sattuda vesi, tuleb projekteerida põikkaldega vähemalt 4%;
- vee ärajuhtimine rajatiselt tuleb kavandada nii, et vesi ei satuks allpool olevatele tarinditele ega rajatise all kulgevale liiklusele, arvestades järgnevaid nõudeid:
 - vett ei tohi rajatiselt ära juhtida üle servakonstruktsiooni;
 - vesi tuleb ära juhtida ka rajatise kõige madalamatest vee kogunemise punktidest;
 - hüdroisolatsioon tuleb paigaldada nii, et vesi ei saaks liikuda piki vertikaalse konstruktsiooniga kokkupuute pinda;
- silla, viadukti ja estakaadi avaehituse kõik tarindid, sammaste ja treppide nähtavad pinnad peavad olema ligipääsetavad nende ülevaatuseks ja hoolduseks ning varustatud vajalike läbikäikude, luukide, treppide ja käsipuudega kõrgusega 1,1 m või spetsiaalsete seadmetega.

Nõuded sildade ja viaduktide konstruktsioonidel [15]:

- rajatised peavad olema ohutud ja vastu pidama neile ettenähtud kasutusajal;
- eeldatakse, et rajatised vastavad nõuetele, kui nende arvutus vastab standarditele EVS-EN 1990 – 1997;
- nõuded kasutuspiiriseisundile määrab tee omanik;
- sillaelemendid peavad jääma arvutuslikust kõrgveepinnast kõrgemale tabelis (vt tabelit 1) toodud suuruste määral.

Liiklejate, teede ja rajatiste piirmõõtmed [15]:

- maanteedel, neil paiknevate rajatiste, ristmikute ja teiste liiklusega seotud alade projekteerimisel tuleb arvestada seal esinevate liiklusvahendite ning liiklejate mõõtmetega (vt tabelit 2); tingituna erinevate liiklusvahendite suurest hulgast ja pidevast uuenemisest, tuleb projekteerimisel aluseks võtta nn arvutuslik auto;

- maanteed, sildade, viaduktide ja estakaadide piirmõõtmed on vähimad kõrgused ja laiused (kujutletav piirjoonestik maantee ristlõikes), millest sissepoole ei tohi ulatuda ükski ehitise konstruktiivelement (tarind);
- kõnnitee ja jalgrattatee kõrgusgabariit on 2,5 m;
- muude teerajatiste projekteerimisel peab juhinduma tabelis (vt tabelit 3) toodud piirmõõtmetest.

Jalgteed [15]:

- jalgtee ristlõige tuleb määrata lähtudes jalakäijate ja jalgratturite ruumivajadusest ning liiklussagedusest. jalgtee projekteerimisel tuleb arvestada, et jalgratturid liiguvad jalakäijaga võrdse kiirusega. lisaks sellele on vaja võtta arvesse ka nägemispuudega inimeste, lapsevankriga vanemate, laste, eakate ning ratastoolil liiklejate ruumivajadus ja liikumise iseärasusi; jalgtee vähim laius olenevalt tee liigist, liiklussagedusest ja -koosseisust on toodud tabelis (vt tabelit 4).

Tabel 1

Sillaelementide vähimad kõrgused arvutuslikust kõrgveepinnast [15]

Sillaelement	Kõrgus, m
Sillatala või -plaadi aluspind	1
Tugiosade alusplaat	0,25
Kaare või võlvi kand	0,25

Tabel 2

Mootorratta, jalgratta, ratastooli ja jalakäijate ohutuspiirmõõtmed [15]

	Liiklusrada, m	Sõiduväru 2e, m	Ohutusriba		Katte laius	
			c	O, m	1-rajaline	2-rajaline
Mootorratas	2	0,4	0,2	0,25	2,9	5,5
Jalgratas	0,8	0,4	-	-	1,2	2,4
Ratastool	1,1	0,4	-	-	1,5	3
Jalakäija	0,5	0,2	-	-	0,75	1,5

Tabel 3

Muude teerajatiste piirmõõtmed [15]

Rajatis	Gabariit, m	
	Laius	Kõrgus
Põllutee tunnel	6	4,5
Karjatunnel, sõiduautotunnel	4	2,5
Jalakäija- ja jalgrattatunnel ning -sild	3	2,5

Tabel 4

Jalgtee minimaalne laius [15]

Jalgratturite ja jalakäijate liiklussagedus (JR+JK)/ööp	Jalgtee laius, m
<500	2
500-1000	2,5
>1000	3

4.4. Nõuded konstruktsioonidele, materjalidele ja kvaliteedile

4.4.1. Üldised nõuded

Üldised nõuded projekteerimisel:

- projekteeritud kasutusea kategooria: 4 [12];
- projekteeritud kasutusea kestus: 50 a [12];
- projekti staadium: tehniline projekt [16];
- tagajärgede klass: CC2 [12];
- töökindlusklass: RC2 [12];
- projekteerimise järelevalve tase: DSL2 [12].

4.4.2. Nõuded puitkonstruktsioonide

Puitkonstruktsioonidele esitatavad nõuded:

- kasutusklass: UC3 [17];
- immutusklass (sügavimmutus): NTR/AB;
- tugevusklass (kaared): GL32h [18];
- tugevusklass (piki-, põik- ja jäikustalad): GL28h [18];
- tugevusklass (tekilaudis, käsipuud): C24 [19];

- tugevusklass (kaarte kattelaudis): C16 [19].

4.4.3. Nõuded teraskonstruksioonidele

Teraskonstruksioonidele esitatavad nõuded:

- teostusklass: EXC2 [20];
- korrosiooniklass (keskkonna saasteklass): C3 [21];
- korrosioonikaitse kestusklass (vajadusel): väga kõrge / VH [21];
- pinna puhastusklass (vajadusel): Sa 2½ [22];
- pinna ettevalmistusklass (vajadusel): P2 [22];
- kasutusklass (kasutuskategooria): SC1 [20];
- tooteklass: PC2 [20];
- teraselementide materjal: roostevaba teras;
- teraselementide tugevusklass: S355J2 [23];
- kinnitusvahendite tugevusklass: 10.9, kui joonisel pole näidatud teisiti;
- keevisõmbluste kvaliteediklass: C [24].

4.4.4. Nõuded betoonkonstruktsioonidele

Betoonkonstruktsioonidele esitatavad nõuded:

- betooni keskkonnaklass: XC4, XF3 [25];
- betooni külmakindluse klass: KK3 [26];
- betooni survetugevusklass: C30/37 [27];
- betooni kloriidisisalduse klass: C1 0,20 [25];
- betooni maksimaalne vesi-tsementtegur: 0,45;
- betooni minimaalne tsemendisisaldus: 320 kg/m³;
- betooni minimaalne õhusisaldus: 4%;
- minimaalne kaitsekiht armatuurile: 50 mm;
- betoonipindade kvaliteedinõuded: MUO-B [28];
- tolerantsiklass: 1 [25];
- järelevalveklass: 3 [25];
- terasarmatuuri tugevusklass: täpsustatakse järgmistes etappides.

4.5. Koormused

4.5.1. Koormuskombinatsioonide eeskirjad jalgteesildadele

Koormused projekteeritavale sillale on leitud alljärgnevate põhimõtete järgi [29]:

- koondatud koormust q_{fwk} ei ole vaja rakendada koos mingi muu muutuva mitte-liikluskoormusega;
- lumekoormust pole vaja rakendada koos jalgteesilla koormusgruppidega gr_1 ja gr_2 , kui vastava geograafilise piirkonna või teatud kindlat tüüpi jalgteesilla jaoks pole teisiti sätestatud; geograafilised piirkonnad, kus koormuskombinatsioonides lumekoormust tuleks kombineerida koormusgruppidega gr_1 ja gr_2 , võib määrata rahvuslikus lisas.

4.5.2. Koormuse kestusklass

Koormuse kestusklass kõikide sillaelementide puhul on lühiajaline [30, p. 27].

4.5.3. Lumekoormus

Normatiivne lumekoormus maapinnal $S_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$ [31, p. 51].

Normatiivne lumekoormus sillal on leitud sarnaselt normatiivsele lumekoormusele katustel.

Normatiivne lumekoormus sillal S [kN/m^2] leitakse valemiga (1) [31, p. 18]:

$$S = \mu_1 \times C_e \times C_t \times S_k, \quad (1)$$

kus μ_1 – lumekoormuse kujutegur;

C_e – avatustegur 1,0;

C_t – soojustegur 1,0.

Lumekoormuse kujutegur on valitud vastavalt silla kaldenurgale $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$, seega $\mu_1 = 0,8$ [31, p. 20].

Normatiivne lumekoormus sillal on leitud vastavalt valemist (1):

$$S = 0,8 \times 1 \times 1 \times 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2.$$

4.5.4. Tuulekoormus

Maastikutüüp III – maastik, mis on kaetud ühtlase taimkatte või ehitistega või üksikute takistustega, mille vaheline kaugus ei ole suurem 20-kordsest kõrgusest (nagu maa-asulad, äärelinnapiirkond, ühtlaselt metsaga kaetud alad) [32].

4.5.5. Koormused jalgteesillale

Selleks, et määrata jalakäijate või ratturite liiklusest tingitud staatilise koormuse mõju kande- ja kasutuspiiriseisundi arvutustes, tuleb kasutada vastavalt vajadusele kolme üksteist vastastikku välistavad koormusmudelit – hajukoormus, koondatud koormus ja teenindusveokit esindavad koormused [33, p. 60].

Kuna teenindusveoki pääs sillale on takistatud ja koondatud koormus ei saa määravaks, siis on silla projekteerimisel kasutatud hajukoormust.

Soovitatav hajukoormuse väärtus on ära määratud alloleva võrratusega [33, p. 61]:

$$2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{fk} \leq 5,0 \text{ kN/m}^2.$$

Ühtlane normatiivne hajukoormus q_{fk} [kN/m²] leitakse valemiga (2) [33, p. 61]:

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{L + 30}, \quad (2)$$

kus L – silde pikkus m.

Vastavalt valemile (2) on leitud sillale mõjuv hajukoormus:

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{30 + 30} = 4 \text{ kN/m}^2.$$

4.5.6. Käsipuude koormus

Käsipuudele mõjuv normkoormus on $q_k = 3 \text{ kN/m}$, mida rakendatakse ülemisele servale kas vertikaalse või horisontaalse koormusena [33].

4.5.7. Koormuskombinatsioonid kandepiiriseisundis

Koormuskombinatsioonid kandepiiriseisundis leitakse valemiga (3) [12, p. 43]:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (3)$$

kus $\gamma_{G,j}$ – alaliskoormuse osavarutegur;

$G_{k,j}$ – alaliskoormuse normväärtus;

$\gamma_{Q,1}$ – domineeriva muutuvkoormuse osavarutegur;

$Q_{k,1}$ – domineeriva muutuvkoormuse normväärtus;

$\gamma_{Q,i}$ – mittedomineeriva muutuvkoormuse osavarutegur;

$\psi_{0,i}$ – mittedomineeriva muutuvkoormuse kombinatsioonitegur;

$Q_{k,i}$ – mittedomineeriva muutuvkoormuse normväärtus.

Arvutustes on vaadeldud järgmisi koormuskombinatsioone:

- koormuskombinatsioon 1: $\gamma_G \times g_k$;
- koormuskombinatsioon 2: $\gamma_G \times g_k$ “+“ $\gamma_Q \times q_k$;
- koormuskombinatsioon 3: $\gamma_G \times g_k$ “+“ $\gamma_Q \times q_{k,lumi}$ “+“ $\gamma_Q \times q_{k,tuul} \times \psi_{0,tuul}$;
- koormuskombinatsioon 4: $\gamma_G \times g_k$ “+“ $\gamma_Q \times q_{k,lumi} \times \psi_{0,lumi}$ “+“ $\gamma_Q \times q_{k,tuul}$.

Koormuste osavarutegurid sildade puhul on nii alalistel kui ka muutuvatel koormusel $\gamma_G = \gamma_Q = 1,35$ [29].

Projekteeritavale sillale saab määravaks koormuskombinatsioon 2.

5. SILLA LÜHIKIRJELDUS

Käesolevas lõputöös projekteeritav sild on kaarsild, mille kaared on valmistatud liimpuidust. Samuti on liimpuidust valmistatud sillateki põik- ja pikitalad ning kaare põiksidemed. Sillateki laudis, kaarte kattelaudis ja käsipuud on valmistatud saepuidust. Kõik puittarindid on valmistatud männipuidust ja sügavimmutatud. Teraselemendid on roostevabast terasest.

Sild on planeeritud Jägala joast ~70 m allavoolu. Sillatekk on pealtvaates number üheksa kujuline. Selline kuju on valitud arvestades maksimaalset lubatud sillateki kallet ning kõrguste vahet vasaku kalda alumise tasapinna vahel ja parema kalda ülemise tasapinna vahel. Samuti on selline kuju valitud arhitekti soovitusel. Käigutee kogupikkus on 100 meetrit ja pikikalle 5%. 5 meetrit käigutee lõpust on tehtud betoonist.

Peakaare sille on 30 meetrit ning ristlõikeks on valitud 240×1200 mm. Kaare põiksidemed on valitud ristlõikega 200×600 mm. Kaare tuulesidemed on tehtud terasest ning nende läbimõõduks on valitud 30 mm. Samasuguse läbimõõduga on valitud ka sillateki tuulesidemed. Kõik tuulesidemed ja riputid omavad pingutusmuhvi.

Sillateki moodustavad põiktalad ristlõikega 200×400 mm, sammuga 4 meetrit. Põiktala pikkus on 4,8 meetrit. Kaks äärmist põiktala on pikemad, kui teised põiktalad. Joa poolt vaadatuna on vasakul pool kaare ääres paiknev põiktala 6,2 ning paremal pool olev tala 5,3 meetri pikkune. Samuti on need talad olulised jäigastavad elemendid, mistõttu on nende ristlõikeks valitud 200×1000 mm. Iga põiktala on kaarega ühendatud nelja terasriputi abil, mille läbimõõduks on valitud 42 mm. Põiktalade vahel on viis pikitala ristlõikega 100×240 mm, sammuga 800 mm. Pikitala pikkus on 4 meetrit. Vasakule kaare äärde jäävate pikitalade pikkus on sillateki suure pikikalde tõttu ülejäänud pikitaladest suurem – 5,8 m. Suurema sildega pikitalade ristlõige on valitud samuti 100×240 mm, kuid talade samm on 400 mm. Pikitalade peale paigaldatakse distantslaud ristlõikega 100×32 mm ja põiki distantslauuga paigaldatakse laudis ristlõikega 95×32 mm, kahe laua vahe on 20 mm. Sillateki pikitalade alla paigaldatakse diagonaalid, mis aitavad teki kaarjat kuju säilitada.

Joa poolt vaadatuna töötab paremal pool kaare ja maapinna vahel asuv sillateki osa lihttalana. Maapinnal toetub tala monoliitsest raudbetoonist vundamendile, kaare kõrval toetub tala äärmisele põiktalale. Tala sille on 8 meetrit ja ristlõikeks on valitud 200×400 mm.

Peakaare tugevusklassiks on valitud GL32h ning teiste liimpuidust tarindite (piki- ja põiktalad) tugevusklassiks GL28h. Sillateki laudise ja käsipuude tugevusklass on C24 ning kaare kattelaudisel C16.

Kaarest vasakule poole jääv sillateki osa toetub monoliitsest raudbetoonist betoonpostidele. Betoonpostide dimensioonimine ei kuulu käesoleva lõputöö koosseisu.

Käsipuud on 1,1 meetri kõrgused. Käsipuupostid toetuvad piki- ja põiktaladele ning, pikitaladel asuvad postid on põiktaladega ühendatud ka diagonaalide abil.

Vundamendid tehakse monoliitsest raudbetoonist. Vundamentide dimensioonimine ei kuulu käesoleva lõputöö koosseisu.

Silla arhitektuurse lahenduse väljatöötamiseks valmistasid lõputöö koostajad ka eskiismaketi (vt fotot 1).

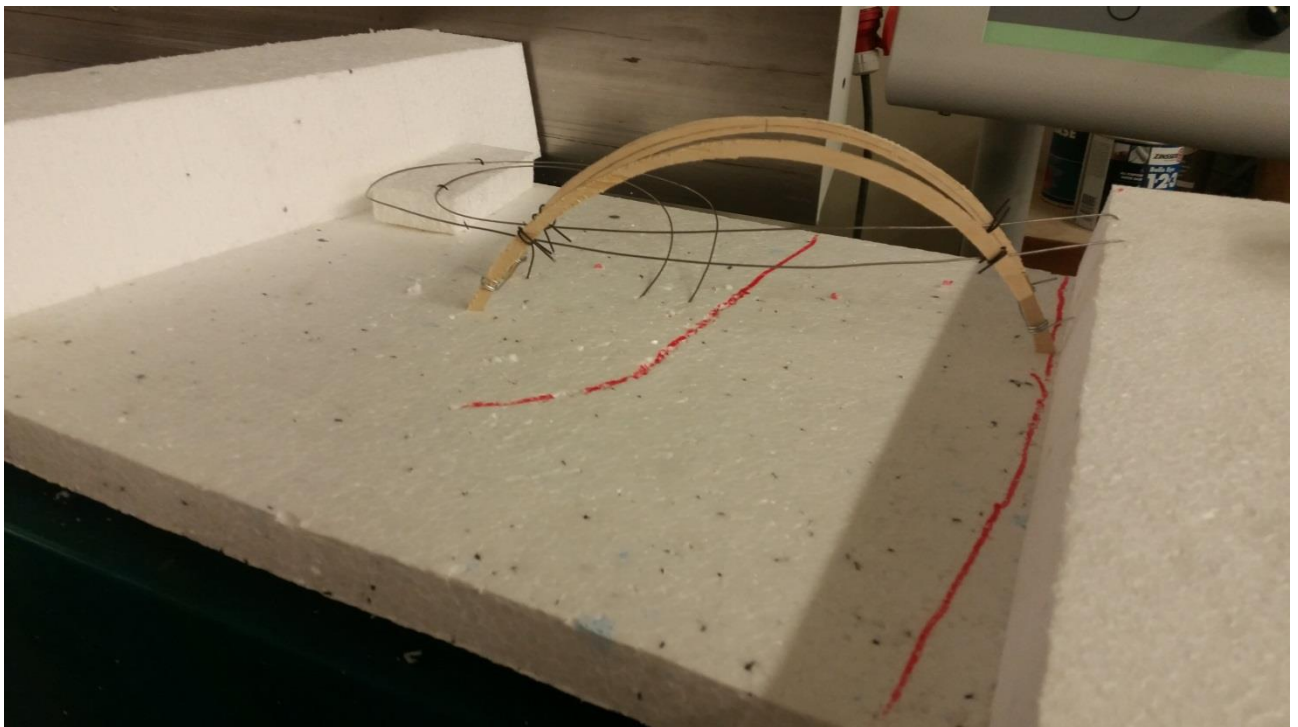


Foto 1. Projekteeritava silla eskiismakett

6. MATERJALIDE OMADUSED JA ABITEGURID

Ristkülikulise saepuidu jaoks on viitekõrgus ehk suurim ristlõikemõõde paindel 150 mm. Nende ristlõikekõrguste puhul paindel, mis on saepuidul väiksemad kui 150 mm, võib vastavaid normväärtusi $f_{m,k}$ suurendada ristlõiketeguriga k_h , mis leitakse valemiga (4) [30, p. 26]:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,3 \right\}, \quad (4)$$

kus h – ristlõike kõrgus mm.

Ristkülikulise lamell-liimpuidu jaoks on viitekõrgus ehk suurim ristlõikemõõde paindel 600 mm. Nende ristlõikekõrguste puhul paindel, mis on lamell-liimpuidul väiksemad kui 600 mm, võib vastavaid normväärtusi $f_{m,k}$ suurendada ristlõiketeguriga k_h , mis leitakse valemiga (5) [30, p. 28]:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1}, 1,1 \right\}. \quad (5)$$

Kui mitmed ühesugused elemendid asetsevad võrdsete pikivahedega ja nende detailid või sõlmed on külgsuunas kinnitatud pidevaks koormusjaotuse süsteemiks, võib elemendi tugevusomadusi suurendada süsteemi tugevusteguriga k_{sys} . Juhul kui koormusjaotuse süsteem on pidev, kus on võimalik koormuse ülekandmine ühelt elemendilt naaberelemendile, tuleks tegur k_{sys} võtta 1,1. [30, p. 50]

Tabel 5 annab ülevaate arvutustes kasutatavatest silla elementide normatiivsetest omadustest.

Tabel 5

Silla elementide normatiivsed omadused [18], [19], [34]

Omadus	Element					
	Kaar	Laudis	Pikitala	Põiktala	Kaare põiksidemed	Lihttala
Tugevusklass	GL32h	C24	GL28h	GL28h	GL28h	GL28h
Keskmine tihedus, kN/m ³	4,9	4,2	4,6	4,6	4,6	4,6
Survetugevus, N/mm ²	32	24	28	28	28	28
Paindetugevus, N/mm ²	32	24	28	28	28	28
Lõiketugevus, N/mm ²	3,5	4	3,5	3,5	3,5	3,5
Muljumistugevus, N/mm ²	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Keskmine elastsusmoodul pikikiudu, N/mm ²	14200	11000	12600	12600	12600	12600
Elastsusmooduli 5% väärtus pikikiudu, N/mm ²	11800	7400	10500	10500	10500	10500

Tabel 6 annab ülevaate arvutustes kasutatavatest abiteguritest. Saepuidu puhul on ristlõiketegur leitud vastavalt valemist (4) ja liipuidu puhul on ristlõiketegur leitud vastavalt valemist (5).

Tabel 6

Sillaelementide arvutustes kasutatavad abitegurid [30]

Element	k_{mod}	k_{sys}	k_{h}	γ_{M}	$k_{\text{c},90}$	k_{cr}	k_{m}
Kaar	0,70	1,00	1,000	1,25	1,00	0,67	0,70
Laudis	0,70	1,10	1,300	1,30	1,00	0,67	0,70
Pikitala	0,70	1,10	1,096	1,25	1,00	0,67	0,70
Põiktala	0,70	1,00	1,041	1,25	1,00	0,67	0,70
Kaare põiksidemed	0,70	1,00	1,041	1,25	1,00	0,67	0,70
Lihttala	0,70	1,10	1,041	1,25	1,00	0,67	0,70

7. SILLATEKI LAUDIS

7.1. Materjali arvutuslikud omadused

Materjali arvutuslik paindetugevus $f_{m,d}$ [N/mm²] leitakse valemiga (6) [35, p. 63]:

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \times k_h \times k_{\text{sys}} \times f_{m,k}}{\gamma_M}, \quad (6)$$

- kus k_{mod} – modifikatsioonitegur;
 k_h – ristlõiketegur;
 k_{sys} – süsteemi tugevustegur;
 $f_{m,k}$ – normatiivne paindetugevus N/mm²;
 γ_M – materjali osavarutegur.

Vastavalt valemile (6) on leitud sillateki laudise paindetugevus:

$$f_{m,d} = \frac{0,7 \times 1,3 \times 1,1 \times 24}{1,3} = 18,48 \text{ N/mm}^2.$$

Materjali arvutuslik lõiketugevus $f_{v,d}$ [N/mm²] leitakse valemiga (7) [35, p. 66]:

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \times k_{\text{sys}} \times f_{v,k}}{\gamma_M}, \quad (7)$$

- kus $f_{v,k}$ – normatiivne nihketugevus N/mm².

Vastavalt valemile (7) on leitud sillateki laudise nihketugevus on:

$$f_{v,d} = \frac{0,7 \times 1,1 \times 4,0}{1,3} = 2,37 \text{ N/mm}^2.$$

Materjali arvutuslik muljumistugevus $f_{c,90,d}$ [N/mm²] leitakse valemiga (8) [35, p. 60]:

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \times k_{\text{sys}} \times f_{c,90,k}}{\gamma_M}, \quad (8)$$

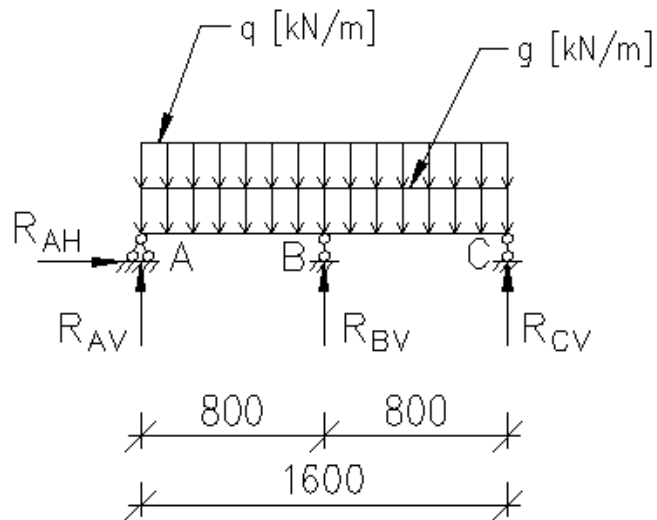
- kus $f_{c,90,k}$ – normatiivne muljumistugevus N/mm².

Vastavalt valemile (8) on leitud sillateki laudise muljumistugevus:

$$f_{c,90,d} = \frac{0,7 \times 1,1 \times 2,5}{1,3} = 1,48 \text{ N/mm}^2.$$

7.2. Arvutusskeem

Laudis arvutatakse kahesildelise jätkuvtalana (vt joonist 10).



Joonis 10. Laudise arvutusskeem

7.3. Koormused

1. Normatiivne omakaal

Arvutuslaiuseks on võetud ühe meetri pikkune lõik. Laua ristlõikeks on valitud 95×32 mm. Laudade vaheks on valitud 20 mm. Ühe meetrisele lõigule mahub $1000/(95+20) = 8,695$ lauda. Arvutustes kasutatav efektiivne laius $b = 8,695 \times 95 = 826$ mm.

Laudise normatiivne omakaal g_k [kN/m] on leitud materjali mahukaalu ja mahu korrutamisel ning joonkoormuse leidmiseks jagatud ühe meetri pikkusele lõigule:

$$g_k = \frac{4,2 \times 0,032 \times 0,826 \times 1}{1} = 0,111 \text{ kN/m}.$$

2. Normatiivne hajukoormus

Sillale mõjuv normatiivne hajukoormus 1 m^2 kohta on laudisele arvestatud joonkoormusena ühe meetri pikkusele lõigule:

$$q_{fk} = 4 \times 1 = 4,000 \text{ kN/m}.$$

3. Arvutuslik koormus

Kogu laudisele mõjuv arvutuslik joonkoormus p_d [kN/m] on leitud koormuskombinatsioonist 2:

$$p_d = 1,35 \times 0,111 + 1,35 \times 4 = 5,55 \text{ kN/m.}$$

7.4. Sisejõud

Maksimaalne arvutuslik paindemoment M_d [kNm] leitakse valemiga (9) [36, p. 61]:

$$M_d = \frac{p_d \times L^2}{8}, \quad (9)$$

Vastavalt valemile (9) on leitud sillateki laudise maksimaalne arvutuslik paindemoment:

$$M_d = \frac{5,55 \times 0,8^2}{8} = 0,444 \text{ kNm.}$$

Maksimaalne arvutuslik põikjõud V_d [kN] leitakse valemiga (10) [36, p. 61]:

$$V_d = 0,625 \times p_d \times L. \quad (10)$$

Vastavalt valemile (10) on leitud sillateki laudise maksimaalne arvutuslik põikjõud:

$$V_d = 0,625 \times 5,55 \times 0,8 = 2,76 \text{ kN.}$$

Maksimaalne arvutuslik toereaktsioon R_{AV} [kN] leitakse valemiga (11) [36, p. 61]:

$$R_{AV} = 1,25 \times p_d \times L. \quad (11)$$

Sillateki laudise maksimaalne arvutuslik toereaktsioon tekib keskmisel toel ning selle väärtus on leitud vastavalt valemile (11):

$$R_{AV} = 1,25 \times 5,55 \times 0,8 = 5,55 \text{ kN.}$$

Laudise sisejõudude epüürid on toodud graafilises osas.

7.5. Kontroll kandepiirreisisundis

1. Kontroll paindele

Tugevustingimus [35, p. 63]: $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$.

Ristlõike vastupanumoment W [mm³] leitakse valemiga (12) [36, p. 26]:

$$W = \frac{b \times h^2}{6}, \quad (12)$$

kus b – ristlõike laius mm.

Vastavalt valemile (12) on leitud sillateki laudise ristlõike vastupanumoment:

$$W = \frac{826 \times 32^2}{6} = 140970,67 \text{ mm}^3.$$

Arvutuslik paindepinge $\sigma_{m,d}$ [N/mm²] leitakse valemiga (13) [36, p. 26]:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W}. \quad (13)$$

Vastavalt valemile (13) on leitud sillateki laudise arvutuslik paindepinge:

$$\sigma_{m,d} = \frac{0,444 \times 10^6}{140970,67} = 3,15 \text{ N/mm}^2.$$

$$\sigma_{m,d} = 3,15 \text{ N/mm}^2 < f_{m,d} = 18,48 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud!

2. Kontroll nihkele ehk lõikele

Tugevustingimus [30, p. 37]: $\tau_d \leq f_{v,d}$.

Ristlõike pindala A [mm²] leitakse valemiga (14):

$$A = b \times h. \quad (14)$$

Vastavalt valemile (14) on leitud sillateki laudise ristlõike pindala:

$$A = 826 \times 32 = 26432 \text{ mm}^2.$$

Arvutuslik nihkepinge τ_d [N/mm²] leitakse valemiga (15) [35, p. 67]:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{A} \times \frac{1}{k_{cr}}, \quad (15)$$

kus k_{cr} – pragude mõju arvesse võttev tegur.

Vastavalt valemile (15) on leitud sillateki laudise arvutuslik nihkepinge:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{2,76 \times 10^3}{26432} \times \frac{1}{0,67} = 0,23 \text{ N/mm}^2.$$

$$\tau_d = 0,23 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 2,37 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud!

3. Kontroll muljumisele

Muljumiskontroll on teostatud konservatiivse meetodi järgi.

Tugevustingimus [30, p. 36]: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90,d} \times f_{c,90,d}$.

Efektiivne muljumispindala A_{ef} [mm²] leitakse valemiga (16) [35, p. 60]:

$$A_{ef} = b \times a, \quad (16)$$

kus a – toepikkus mm.

Vastavalt valemile (16) on leitud sillateki laudise efektiivne muljumispindala:

$$A_{ef} = 826 \times 100 = 82600 \text{ mm}^2.$$

Arvutuslik muljumispinge $\sigma_{c,90,d}$ [N/mm²] leitakse valemiga (17) [35, p. 60]:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}, \quad (17)$$

kus $F_{c,90,d}$ – arvutuslik survejõud ristikiudu kN.

Vastavalt valemile (17) on leitud sillateki laudise arvutuslik muljumispinge:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{5,55 \times 10^3}{82600} = 0,07 \text{ N/mm}^2.$$

$$\sigma_{c,90,d} = 0,07 \text{ N/mm}^2 < k_{c,90,d} \times f_{c,90,d} = 1,48 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud!

7.6. Kontroll kasutuspiirseisundis

1. Hetkelised paigutised

Deformatsioonitingimus [35, p. 88]: $w_{inst} \leq w_{inst,lim}$.

Kuna laudis arvutatakse kahesildelise jätkuvtalana, siis on hetkelised paigutised leitud tabeltöötlusprogrammi MS Excel abiga. Tabel 7 annab ülevaate laudise hetkelistest paigutistest.

Tabel 7

Laudise hetkelised paigutised

Paigutis omakaalust, mm	Paigutis kasuskoormusest, mm	Summaarne paigutis, mm	Lubatud paigutis, mm
0,01	0,36	0,37	4,00

$$w_{inst} = 0,37 \text{ mm} < w_{inst,lim} = 4,00 \text{ mm}$$

Hetkeliste paigutiste deformatsioonitingimus on täidetud!

2. Lõplikud paigutised

Deformatsioonitingimus [35, p. 88]: $w_{fin} \leq w_{fin,lim}$.

Lõplik paigutis omakaalukoormusest $w_{fin,omakaal}$ [mm] leitakse valemiga (18) [35, p. 86]:

$$w_{fin,omakaal} = w_{inst,omakaal} \times (1 + k_{def}), \quad (18)$$

kus $w_{inst,omakaal}$ – hetkeline paigutis omakaalukoormusest mm;
 k_{def} – deformatsioonitegur.

Deformatsioonitegur $k_{def} = 2,0$ [30, p. 29]

Vastavalt valemile (18) on leitud sillateki laudise lõplik paigutis omakaalukoormusest:

$$w_{fin,omakaal} = 0,01 \times (1 + 2) = 0,03 \text{ mm.}$$

Lõplik paigutis kasuskoormusest $w_{fin,kasus}$ [mm], kui kasuskoormus on domineeriv, leitakse valemiga (19) [35, p. 86]:

$$w_{fin,kasus} = w_{inst,kasus} \times (1 + \psi_{2,kasus} \times k_{def}), \quad (19)$$

kus $w_{inst,kasus}$ – hetkeline paigutis kasuskoormusest mm;
 $\psi_{2,kasus}$ – kombinatsioonitegur.

Vastavalt valemile (19) on leitud sillateki laudise lõplik paigutis kasuskoormusest:

$$w_{fin,kasus} = 0,36 \times (1 + 0 \times 2) = 0,36 \text{ mm.}$$

Summaarne lõplik paigutis w_{fin} [mm] on leitud omakaalukoormusest ja kasuskoormusest tingitud lõplike paigutiste liitmisel:

$$w_{fin} = 0,03 + 0,36 = 0,39 \text{ mm.}$$

Lubatud lõplik paigutis $w_{fin,lim}$ [mm] leitakse valemiga (20) [35, p. 89]:

$$w_{fin,lim} = \frac{L}{300}. \quad (20)$$

Vastavalt valemile (20) on leitud lubatud lõplik paigutis:

$$w_{fin,lim} = \frac{1600}{300} = 5,33 \text{ mm.}$$

$$w_{fin} = 0,39 \text{ mm} < w_{fin,lim} = 5,33 \text{ mm}$$

Lõplike paigutiste deformatsioonitingimus on täidetud!

8. SILLATEKI PIKITALAD

8.1. Materjali arvutuslikud omadused

Sillateki pikitala arvutuslik paindetugevus on leitud vastavalt valemile (6):

$$f_{m,d} = \frac{0,7 \times 1,096 \times 1,1 \times 28}{1,25} = 18,90 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki pikitala arvutuslik lõiketugevus on leitud vastavalt valemile (7):

$$f_{v,d} = \frac{0,7 \times 1 \times 3,5}{1,25} = 1,96 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki pikitalade arvutuslik muljumistugevus on leitud vastavalt valemile (8):

$$f_{c,90,d} = \frac{0,7 \times 1 \times 2,5}{1,25} = 1,40 \text{ N/mm}^2.$$

Materjali arvutuslik survetugevus pikikiudu $f_{c,0,d}$ [N/mm²] leitakse valemiga (21) [35, p. 59]:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \times k_{\text{sys}} \times f_{c,0,k}}{\gamma_M}, \quad (21)$$

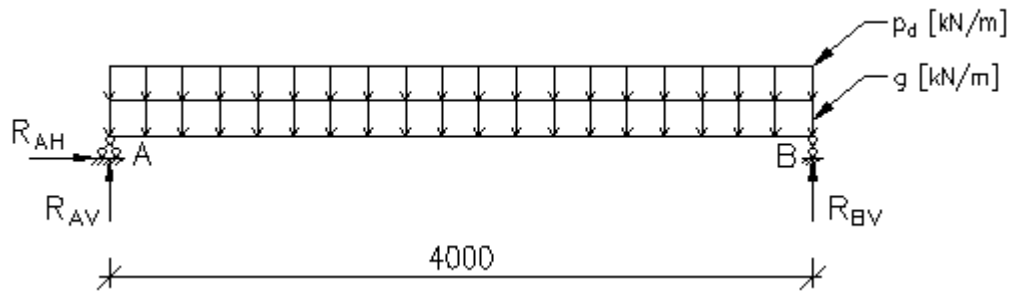
kus $f_{c,0,k}$ – normatiivne survetugevus N/mm².

Sillateki pikitalade arvutuslik survetugevus pikikiudu on leitud vastavalt valemile (21):

$$f_{c,0,d} = \frac{0,7 \times 1 \times 28}{1,25} = 15,68 \text{ N/mm}^2.$$

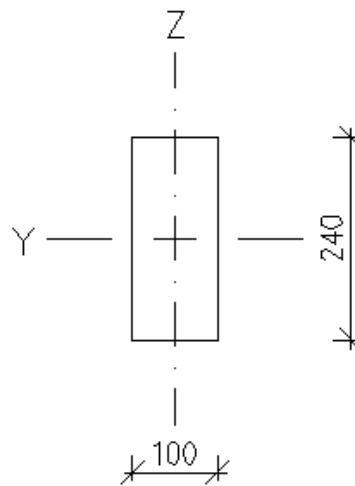
8.2. Arvutusskeem

Pikitala on arvatatud ühesildelise lihttala skeemi järgi (vt joonist 11).



Joonis 11. Pikitala arvutuskeem

Pikitala arvutustes on teljed orienteeritud ristlõike suhtes selliselt nagu alloleval joonisel (vt joonist 12).



Joonis 12. Telgede asetus pikitala ristlõike suhtes

8.3. Koormused

Pikitalale mõjuvad arvutuslikud joonkoormused on leitud koormuskombinatsioonist 2 ning on toodud allolevas tabelis (vt tabelit 8).

Tabel 8

Pikitala arvutuslikud koormused kande- ja kasutuspiirseisundis

Piirseisund	Omakaal, kN/m	Joonkoormus, kN/m	Kokku, kN/m
Kandepiirseisund	0,15	5,55	5,70
Kasutuspiirseisund	0,22	4,00	4,22

8.4. Sisejõud

Sillateki pikitala maksimaalne arvutuslik paindemoment on leitud vastavalt valemile (9):

$$M_d = \frac{5,7 \times 4^2}{8} = 11,40 \text{ kNm}.$$

Maksimaalne arvutuslik põikjõud leitakse valemiga (22) [36, p. 57]:

$$V_d = \frac{p_d \times L}{2}. \quad (22)$$

Vastavalt valemile (22) on leitud sillateki pikitala maksimaalne arvutuslik põikjõud:

$$V_d = \frac{5,7 \times 4}{2} = 11,40 \text{ kN}.$$

Maksimaalne arvutuslik toereaktsioon leitakse valemiga (23) [36, p. 57]:

$$R_{AV} = \frac{p_d \times L}{2}. \quad (23)$$

Vastavalt valemile (23) on leitud sillateki pikitala maksimaalne arvutuslik toereaktsioon:

$$R_{AV} = \frac{5,7 \times 4}{2} = 11,40 \text{ kN}.$$

Normaaljõud on leitud Autodesk Robotis tehtud silla mudeli abiga. Pikitala maksimaalne arvutuslik normaaljõud $N_d = 24,39 \text{ kN}$.

Pikitala sisejõudude epüürid on toodud graafilises osas.

8.5. Kontroll kandepiirreisisundis

1. Kontroll pikikiudu surve ja painde koosmõjule

Tugevustingimused [35, p. 70]:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \text{ ja}$$
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1.$$

Arvutuslik survepinge pikikiudu $\sigma_{c,0,d}$ [N/mm^2] leitakse valemiga (24) [35, p. 59]:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{neto}}, \quad (24)$$

kus $N_{c,0,d}$ – arvutuslik survejõud pikikiudu N/mm^2 ;

A_{neto} – ristlõike netopindala mm^2 .

Sillateki pikitala arvutuslik survepinge pikikiudu on leitud vastavalt valemile (24):

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{24,39 \times 10^3}{100 \times 240} = 1,02 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki pikitala ristlõike vastupanumoment on leitud vastavalt valemile (12):

$$W = \frac{100 \times 240^2}{6} = 960000 \text{ mm}^3.$$

Sillateki pikitala arvutuslik paindepinge y-telje suhtes on leitud vastavalt valemile (13):

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{11,4 \times 10^6}{960000} = 11,88 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki pikitalal paindepinget z-telje suhtes ei teki, seega on tugevustingimuse viimane liidetav võrdne nulliga.

$$\left(\frac{1,02}{15,68} \right)^2 + \frac{11,88}{17,19} = 0,70 \leq 1 \text{ ja } \left(\frac{1,02}{15,68} \right)^2 + 0,7 \times \frac{11,88}{17,19} = 0,49 \leq 1$$

Tugevustingimus on täidetud!

2. Kontroll nihkele ehk lõikele

Tugevustingimus [30, p. 37]: $\tau_d \leq f_{v,d}$.

Sillateki pikitala ristlõike pindala on leitud vastavalt valemile (14):

$$A = 100 \times 240 = 24000 \text{ mm}^2.$$

Sillateki pikitala arvutuslik nihkepinge on leitud vastavalt valemile (15):

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{11,4 \times 10^3}{24000} \times \frac{1}{0,67} = 1,06 \text{ N/mm}^2.$$

$$\tau_d = 1,06 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 1,96 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud!

3. Kontroll muljumisele

Muljumiskontroll on teostatud konservatiivse meetodi järgi. Muljumiskontrolli valemit teisendades on leitud pikitala minimaalne toepind.

Tugevustingimus [30, p. 36]: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90,d} \times f_{c,90,d}$.

Efektiivne muljumispindala on leitud vastavalt valemile (17):

$$1,4 = \frac{11,4 \times 10^3}{A_{ef}} \Rightarrow A_{ef} = \frac{11,4 \times 10^3}{1,4} = 8142,86 \text{ mm}^2.$$

Minimaalne toepind on leitud vastavalt valemile (16):

$$8142,86 = 100 \times a \Rightarrow a = \frac{8142,86}{100} = 81,43 \text{ mm}.$$

4. Kontroll kiivele

Kuna elemendi ristlõike survetsoon on külgsuunas toestatud, siis kiive kontrolli pole vaja teostada.

8.6. Kontroll kasutuspiirseisundis

1. Hetkelised paigutised

Deformatsioonitingimus [35, p. 88]: $w_{inst} \leq w_{inst,lim}$.

Ristlõike telginertsimoment I [mm^4] leitakse valemiga (25) [36, p. 26]:

$$I = \frac{b \times h^3}{12}. \quad (25)$$

Pikitala ristlõike telginertsimoment y -telje suhtes I_y [mm^4] on leitud vastavalt valemile (25):

$$I_y = \frac{100 \times 240^3}{12} = 115200000 \text{ mm}^4.$$

Hetkeline paigutis omakaalukoormusest $w_{inst,omakaal}$ [mm] leitakse valemiga (26) [35]:

$$w_{inst,omakaal} = \frac{5 \times g_k \times L^4}{384 \times E_{0,mean} \times I_y}, \quad (26)$$

kus g_k – arvutuslik joonkoormus omakaalust kN/m;

$E_{0,mean}$ – keskmine elastsusmoodul pikikiudu N/mm^2 .

Vastavalt valemile (26) on leitud sillateki pikitala hetkeline paigutis omakaalukoormusest:

$$w_{inst,omakaal} = \frac{5 \times 0,22 \times 4000^4}{384 \times 12600 \times 115200000} = 0,51 \text{ mm}.$$

Hetkeline paigutis kasuskoormusest $w_{inst,kasus}$ [mm] leitakse valemiga (27) [35, p. 89]:

$$w_{inst,kasus} = \frac{5 \times q_{kasus,k} \times L^4}{384 \times E_{0,mean} \times I_y}, \quad (27)$$

kus $q_{kasus,k}$ – arvutuslik joonkoormus kasuskoormusest kN/m.

Vastavalt valemile (27) on leitud sillateki pikitala hetkeline paigutis kasuskoormusest:

$$w_{inst,kasus} = \frac{5 \times 4 \times 4000^4}{384 \times 12600 \times 115200000} = 9,19 \text{ mm} .$$

Summarne hetkeline paigutis w_{inst} [mm] on leitud omakaalukoormusest ja kasuskoormusest tingitud hetkeliste paigutiste liitmisel:

$$w_{inst} = 0,51 + 9,19 = 9,70 \text{ mm} .$$

Lubatud hetkeline paigutis $w_{inst,lim}$ [mm] leitakse valemiga (28) [35, p. 89]:

$$w_{inst,lim} = \frac{L}{400} . \quad (28)$$

Vastavalt valemile (28) on leitud lubatud hetkeline paigutis:

$$w_{inst,lim} = \frac{4000}{400} = 10,00 \text{ mm} .$$

$$w_{inst} = 9,70 \text{ mm} < w_{inst,lim} = 10,00 \text{ mm}$$

Hetkeliste paigutiste deformatsioonitingimus on täidetud!

2. Lõplikud paigutised

Deformatsioonitingimus [35, p. 88]: $w_{fin} \leq w_{fin,lim}$.

Sillateki pikitala lõplik paigutis omakaalukoormusest on leitud vastavalt valemile (18):

$$w_{fin,omakaal} = 0,51 \times (1 + 2) = 1,53 \text{ mm} .$$

Sillateki pikitala lõplik paigutis kasuskoormusest, kui kasuskoormus on domineeriv, on leitud vastavalt valemile (19):

$$w_{fin,kasus} = 9,19 \times (1 + 0 \times 2) = 9,19 \text{ mm} .$$

Summaarne lõplik paigutis w_{fin} [mm] on leitud omakaalukoormusest ja kasuskoormusest tingitud lõplike paigutiste liitmisel:

$$w_{fin} = 1,53 + 9,19 = 10,72 \text{ mm} .$$

Sillateki pikitala lubatud lõplik paigutis on leitud vastavalt valemile (20):

$$w_{fin,lim} = \frac{4000}{300} = 13,33 \text{ mm} .$$

$$w_{fin} = 10,72 \text{ mm} < w_{fin,lim} = 13,33 \text{ mm}$$

Lõplike paigutiste deformatsioonitingimus on täidetud!

9. SILLATEKI PÕIKTALAD

9.1. Materjali arvutuslikud omadused

Sillateki põiktala arvutuslik paindetugevus y-telje suhtes on leitud vastavalt valemile (6):

$$f_{m,y,d} = \frac{0,7 \times 1,041 \times 1 \times 28}{1,25} = 16,32 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki põiktala arvutuslik paindetugevus z-telje suhtes on leitud vastavalt valemile (6):

$$f_{m,z,d} = \frac{0,7 \times 1,1 \times 1 \times 28}{1,25} = 17,25 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki põiktala arvutuslik lõiketugevus on leitud vastavalt valemile (7):

$$f_{v,d} = \frac{0,7 \times 1 \times 3,5}{1,25} = 1,96 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki põiktala arvutuslik muljumistugevus on leitud vastavalt valemile (8):

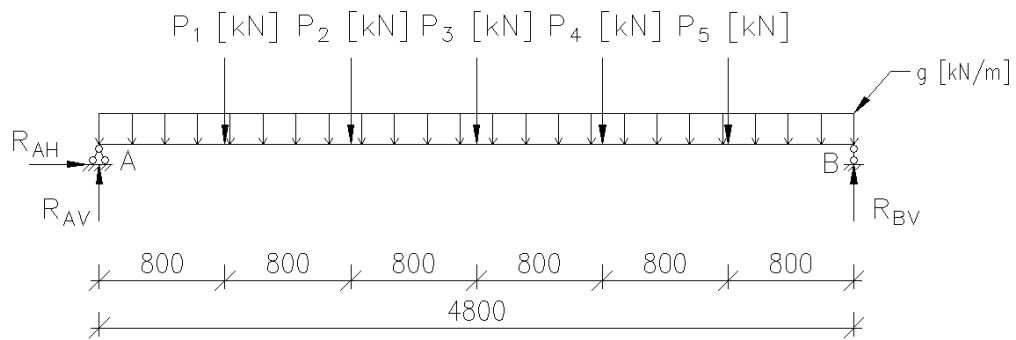
$$f_{c,90,d} = \frac{0,7 \times 1 \times 2,5}{1,25} = 1,40 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki pikitalade arvutuslik survetugevus pikikiudu on leitud vastavalt valemile (21):

$$f_{c,0,d} = \frac{0,7 \times 1 \times 28}{1,25} = 15,68 \text{ N/mm}^2.$$

9.2. Arvutusskeem

Sillateki põiktala on arvatud ühesildelise lihttalana (vt joonist 13), kuid läbi on proovitud kolm erinevat koormusskeemi ning leitud, millisega neist tekivad põiktalal kõige suuremad sisejõud.



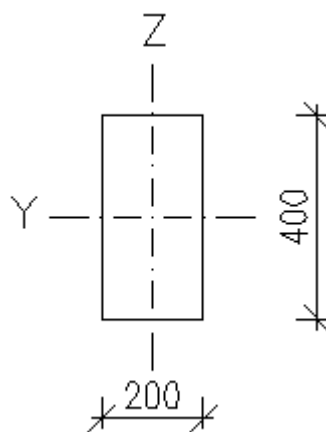
Joonis 13. Põiktala arvutuskeem

Koormusskeem nr 1 on koostatud põhimõtte järgi, et laudis töötab kaheksildelise jätkuvtalana ning põiktalale mõjuvad punktkoormused on leitud vastavalt kaheksildelise jätkuvtala toereaktsioonide järgi.

Koormusskeem nr 2 on koostatud põhimõtte järgi, et laudis töötab neljasildelise jätkuvtalana ning põiktalale mõjuvad punktkoormused on leitud vastavalt neljasildelise jätkuvtala toereaktsioonide järgi.

Koormusskeem nr 3 on koostatud põhimõtte järgi, et laudis töötab nagu neli ühesildelist lihttala ning põiktalale mõjuvad punktkoormused on leitud vastavalt ühesildelise lihttala toereaktsioonide järgi.

Põiktala arvutustes on teljed orienteeritud ristlõike suhtes selliselt nagu alloleval joonisel (vt joonist 14).



Joonis 14. Telgede asetuse põiktala ristlõike suhtes

9.3. Koormused

Laudiselt ja pikitalalt tulevad arvutuslikud punktkoormused koormusskeemis 1 on leitud vastavalt kahesildelise jätkuvtala toereaktsioonidest [36, p. 61]:

$$P_1 = \frac{(5,55 \times 0,8 \times 0,375 + 0,11 \times 1,35) \times 4}{2} \times 2 = 7,25 \text{ kN};$$

$$P_2 = \frac{(5,55 \times 0,8 \times 1,25 + 0,11 \times 1,35) \times 4}{2} \times 2 = 22,79 \text{ kN};$$

$$P_3 = \frac{(5,55 \times 0,8 \times 0,75 + 0,11 \times 1,35) \times 4}{2} \times 2 = 13,91 \text{ kN};$$

$$P_4 = \frac{(5,55 \times 0,8 \times 1,25 + 0,11 \times 1,35) \times 4}{2} \times 2 = 22,79 \text{ kN};$$

$$P_5 = \frac{(5,55 \times 0,8 \times 0,375 + 0,11 \times 1,35) \times 4}{2} \times 2 = 7,25 \text{ kN}.$$

Analoogselt koormusskeemile 1 on koormused leitud ka koormusskeemides 2 ja 3. Tabel 9 annab ülevaate kõikides koormusskeemides leitud koormustest.

Tabel 9

Koormused kandepiirseisundis koormusskeemide 1, 2 ja 3 puhul

Koormusskeem	P ₁ , kN	P ₂ , kN	P ₃ , kN	P ₄ , kN	P ₅ , kN	g, kN/m
1	7,25	22,79	13,91	22,79	7,25	0,5
2	7,57	20,89	17,09	20,89	7,57	0,5
3	9,47	18,35	18,35	18,35	9,47	0,5

9.4. Sisejõud

Alljärgnevalt on teostatud arvutused koormusskeemis 1. Kuna sillateki põiktalale mõjuvad punktkoormused ja omakaalust põhjustatud joonkoormus paiknevad tala suhtes sümmeetriliselt, siis maksimaalne arvutuslik toereaktsioon on leitud tingimuse $\sum Y = 0$ abiga. Liidetud on kõik punktkoormused ja joonkoormus ning jagatud võrdselt kahe toereaktsiooni vahel:

$$R_{AV} = \frac{7,25 \times 2 + 22,79 \times 2 + 13,91 + 0,5 \times 4,8}{2} = 38,20 \text{ kN}.$$

Sillateki põiktala maksimaalne arvutuslik põikjõud võrdub toereaktsiooniga:

$$V_{zd} = R_{AV} = 38,20 \text{ kN}.$$

Sillateki põiktala maksimaalne arvutuslik paindemoment on leitud tala keskel lõikemeetodiga vasakult poolt arvutades:

$$M_v^{2,4m} = 38,2 \times 2,4 - 7,25 \times 1,6 - 22,79 \times 0,8 - 0,5 \times 2,4 \times 1,2 = 60,40 \text{ kNm}.$$

Analoogselt koormusskeemile 1 on sisejõud leitud ka koormusskeemides 2 ja 3. Tabel 10 annab ülevaate kõikides koormusskeemides leitud sisejõududest.

Tabel 10

Sisejõud koormusskeemide 1, 2 ja 3 puhul

Koormusskeem	Sisejõud		Toereaktsioon
	$V_{z,d}$, kN	$M_{y,d}$, kNm	$R_{AV}=R_B$, kN
1	38,20	60,40	38,20
2	38,20	61,42	38,20
3	38,20	60,40	38,20

Sisejõudude arvutustest on näha, et kõige suurem paindemoment tekib koormusskeem nr 2 puhul ning seega on arvutusi jätkatud sellest koormusskeemist saadud sisejõududega.

Normaaljõud on leitud Autodesk Robotis tehtud silla mudeli abiga. Sillateki põiktala maksimaalne arvutuslik normaaljõud $N_d = 35,41 \text{ kN}$.

Samuti on silla mudeli abiga leitud põiktalas tekkiv maksimaalne paindemoment z-telje suhtes ning maksimaalne põikjõud y-telje suhtes: $M_{z,d} = 13,64 \text{ kNm}$ ja $V_{y,d} = 16,31 \text{ kN}$.

Põiktala sisejõudude epüürid on toodud graafilises osas.

9.5. Kontroll kandepiirreisisundis

1. Kontroll pikikiudu surve ja painde koosmõjule

Tugevustingimused [35, p. 70]:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \text{ ja}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1.$$

Sillateki põiktala arvutuslik survepinge pikikiudu on leitud vastavalt valemile (24):

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{35,41 \times 10^3}{200 \times 400} = 0,44 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki põiktala ristlõike vastupanumoment y-telje suhtes on leitud vastavalt valemile (12):

$$W_y = \frac{200 \times 400^2}{6} = 5333333,33 \text{ mm}^3.$$

Sillateki põiktala arvutuslik paindepinge y-telje suhtes on leitud valemist (13):

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{61,42 \times 10^6}{5333333,33} = 11,52 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki põiktala ristlõike vastupanumoment z-telje suhtes on leitud vastavalt valemile (12):

$$W_z = \frac{400 \times 200^2}{6} = 2666666,67 \text{ mm}^3.$$

Sillateki põiktala arvutuslik paindepinge z-telje suhtes on leitud valemist (13):

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{13,64 \times 10^6}{2666666,67} = 5,11 \text{ N/mm}^2.$$

$$\left(\frac{0,44}{15,68} \right)^2 + \frac{11,52}{16,32} + 0,7 \times \frac{5,11}{17,25} = 0,91 < 1 \text{ ja } \left(\frac{0,44}{15,68} \right)^2 + 0,7 \times \frac{11,52}{16,32} + \frac{5,11}{17,25} = 0,79 < 1$$

Tugevustingimus on täidetud!

2. Kontroll nihkele ehk lõikele

Tugevustingimus [30, p. 37]: $\tau_d \leq f_{v,d}$.

Sillateki põiktala ristlõike pindala on leitud vastavalt valemile (14):

$$A = 200 \times 400 = 80000 \text{ mm}^2.$$

Sillateki põiktala arvutuslik nihkepinge peatelje z suunas on leitud vastavalt valemile (15):

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \times \frac{38,2 \times 10^3}{80000} \times \frac{1}{0,67} = 1,07 \text{ N/mm}^2.$$

Sillateki põiktala arvutuslik nihkepinge peatelje y suunas on leitud vastavalt valemile (15):

$$\tau_{y,d} = \frac{3}{2} \times \frac{16,31 \times 10^3}{80000} \times \frac{1}{0,67} = 0,46 \text{ N/mm}^2.$$

Kuna põikjõud esineb mõlema peatelje suunas, siis leitakse summarne nihkepinge valemiga (29) [35]:

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2}. \quad (29)$$

Põiktala summaarne arvutuslik nihkepinge on leitud vastavalt valemile (29):

$$\tau_d = \sqrt{1,07^2 + 0,46^2} = 1,16 \text{ N/mm}^2.$$

$$\tau_d = 1,16 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 1,96 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud!

3. Kontroll muljumisele

Muljumiskontroll on teostatud konservatiivse meetodi järgi. Muljumiskontrolli valemit teisendades on leitud põiktala minimaalne toepind.

Tugevustingimus [30, p. 36]: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90,d} \times f_{c,90,d}$.

Efektiivne muljumispindala on leitud vastavalt valemile (17):

$$1,4 = \frac{38,2 \times 10^3}{A_{ef}} \Rightarrow A_{ef} = \frac{38,2 \times 10^3}{1,4} = 27285,71 \text{ mm}^2.$$

Põiktala minimaalne toepind on leitud vastavalt valemile (16):

$$27285,71 = 200 \times a \Rightarrow a = \frac{27285,71}{200} = 136,43 \text{ mm}.$$

4. Kontroll kiivele

Kuna elemendi ristlõike survetsoon on külgsuunas toetatud, siis kiive kontrolli pole vaja teostada.

9.6. Kontroll kasutuspiirseisundis

Tabel 11 annab ülevaate koormusskeemis 2 esinevatest koormustest kasutuspiirseisundis.

Tabel 11

Kasutuspiirseisundi koormused koormusskeemis 2

Koormus	P ₁ , kN	P ₂ , kN	P ₃ , kN	P ₄ , kN	P ₅ , kN	g, kN/m
Omakaal	0,58	0,85	0,77	0,85	0,58	0,368
Kasuskoormus	5,03	14,63	11,89	14,63	5,03	0,368

1. Hetkelised paigutised

Deformatsioonitingimus [35, p. 88]: $w_{inst} \leq w_{inst,lim}$.

Tabel 12 annab ülevaate põiktala hetkelistest paigutistest, mis on leitud tabeltöötlusprogrammi MS Excel abiga.

Tabel 12

Põiktala hetkelised paigutised

Paigutis omakaalust, mm	Paigutis kasuskoormusest, mm	Summaarne paigutis, mm	Lubatud paigutis, mm
0,67	7,14	7,81	12,00

$$w_{inst} = 7,81 \text{ mm} < w_{inst,lim} = 12,00 \text{ mm}$$

Hetkeliste paigutiste deformatsioonitingimus on täidetud!

2. Lõplikud paigutised

Deformatsioonitingimus [35, p. 88]: $w_{fin} \leq w_{fin,lim}$.

Sillateki põiktala lõplik paigutis omakaalukoormusest on leitud vastavalt valemile (18):

$$w_{fin,omakaal} = 0,67 \times (1 + 2) = 2,01 \text{ mm}.$$

Sillateki põiktala lõplik paigutis kasuskoormusest, kui kasuskoormus on domineeriv, on leitud valemist (19):

$$w_{fin,kasus} = 7,14 \times (1 + 0 \times 2) = 7,14 \text{ mm}.$$

Summaarne lõplik paigutis w_{fin} [mm] on leitud omakaalukoormusest ja kasuskoormusest tingitud lõplike paigutiste liitmisel:

$$w_{fin} = 2,01 + 7,14 = 9,15 \text{ mm}.$$

Sillateki põiktala lubatud lõplik paigutis on leitud vastavalt valemile (20):

$$w_{fin,lim} = \frac{4800}{300} = 16,00 \text{ mm}.$$

$$w_{fin} = 9,15 \text{ mm} < w_{fin,lim} = 16,00 \text{ mm}$$

Lõplike paigutiste deformatsioonitingimus on täidetud!

10. TUULESIDEMED

10.1. Sillateki tuulesidemed

Sillateki tuulesidemetes tekkiv normaaljõud on leitud Autodesk Robotis tehtud silla mudeli abiga. Maksimaalne arvutuslik normaaljõud tuulesidemetes $N_d = 33,18$ kN.

Tuulesidemed tehakse terasest S355J2.

Tuulesideme minimaalne ristlõikepindala on leitud vastavalt valemist (40) selle ümberteisendamise teel:

$$A = \frac{33,18 \times 10^3 \times 1,0}{355} = 93,46 \text{ mm}^2.$$

Minimaalne ristlõike läbimõõt $d = 10,9$ mm. Ristlõike läbimõõduks on valitud $d = 30$ mm.

10.2. Kaare tuulesidemed

Kaare tuulesidemetes tekkiv normaaljõud on leitud Autodesk Robotis tehtud silla mudeli abiga. Maksimaalne arvutuslik normaaljõud tuulesidemetes $N_d = 24,38$ kN.

Tuulesidemed tehakse terasest S355J2.

Tuulesideme minimaalne ristlõikepindala on leitud vastavalt valemist (40) selle ümberteisendamise teel:

$$A = \frac{24,38 \times 10^3 \times 1,0}{355} = 68,68 \text{ mm}^2.$$

Minimaalne ristlõike läbimõõt $d = 9,35$ mm. Ristlõike läbimõõduks on valitud $d = 30$ mm.

11. KAAR

11.1. Materjali arvutuslikud omadused

Kaare arvutuslik paindetugevus y-telje suhtes on leitud vastavalt valemile (6):

$$f_{m,y,d} = \frac{0,7 \times 1 \times 1 \times 32}{1,25} = 17,92 \text{ N/mm}^2.$$

Kaare arvutuslik paindetugevus z-telje suhtes on leitud vastavalt valemile (6):

$$f_{m,z,d} = \frac{0,7 \times 1,1 \times 1 \times 32}{1,25} = 19,71 \text{ N/mm}^2.$$

Kaare arvutuslik lõiketugevus on leitud vastavalt valemile (7):

$$f_{v,d} = \frac{0,7 \times 1 \times 3,5}{1,25} = 1,96 \text{ N/mm}^2.$$

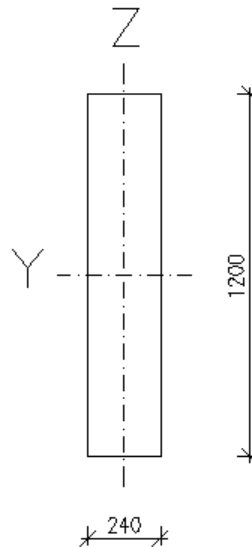
Kaare arvutuslik survetugevus pikikiudu on leitud vastavalt valemile (21):

$$f_{c,0,d} = \frac{0,7 \times 1 \times 32}{1,25} = 17,92 \text{ N/mm}^2.$$

11.2. Arvutusskeem

Kaare arvutused on teostatud nelja erineva koormusskeemiga – ULS1, ULS2, ULS3 ja ULS4. Koormusskeemid on toodud graafilises osas.

Kaare arvutustes on teljed orienteeritud ristlõike suhtes selliselt nagu alloleval joonisel (vt joonist 15).



Joonis 15. Telgede asetus kaare ristlõike suhtes

11.3. Sisejõud

Kaares tekkivad sisejõud on leitud Autodesk Robotis tehtud silla mudeli abil.

Maksimaalsed arvutuslikud paindemomendid ja maksimaalne arvutuslik normaaljõud on leitud joapoolses kaares kõige ohtlikumas ristlõikes, milleks on koormuskombinatsiooni ULS 4 puhul varras 159, sõlm 122. Paindemoment peatelje y suhtes $M_{y,d} = 110,29$ kNm ning peatelje z suhtes $M_{z,d} = 6,16$ kNm. Normaaljõud $N_d = 176,74$ kN.

Maksimaalsed arvutuslikud põikjõud on leitud joa poolses kaares kõige ohtlikumas ristlõikes, milleks on koormuskombinatsiooni ULS 4 puhul varras nr 159, sõlm 17: $V_{y,d} = 0,61$ kN ja $V_{z,d} = 33,12$ kN.

11.4. Kontroll kandepiir seisundis

1. Kontroll surve ja painde koosmõjule stabiilsust arvesse võttes

Tugevustingimus [35, p. 76]:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,z} \times f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \text{ ja}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,z} \times f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 .$$

Kaare arvutuslik survepinge pikikiudu on leitud vastavalt valemile (24):

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{176,74 \times 10^3}{240 \times 1200} = 0,61 \text{ N/mm}^2.$$

Kaare ristlõike telginertsimoment peatelje z suhtes on leitud vastavalt valemile (25):

$$I_z = \frac{1200 \times 240^3}{12} = 1382400000 \text{ mm}^4.$$

Kaare ristlõike inertsiraadius peatelje z suhtes i_z [mm] leitakse valemiga (30) [35, p. 77]:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}. \quad (30)$$

Kaare ristlõike inertsiraadius peatelje z suhtes on leitud vastavalt valemile (30):

$$i_z = \sqrt{\frac{1382400000}{240 \times 1200}} = 69,28 \text{ mm}.$$

Kaare nõtkepikkus $L_{0,z}$ [m] leitakse valemiga (31) [35, p. 82]:

$$L_{0,z} = 0,7 \times s, \quad (31)$$

kus s – kaare arvutuspikkus m.

Kaare arvutuspikkuseks on võetud pool kogu kaare pikkusest ehk $68,65/2 = 19,33$ m.

Kaare nõtkepikkus on leitud vastavalt valemile (31):

$$L_{0,z} = 0,7 \times 19,33 = 13,53 \text{ m}.$$

Kaare saledus peatelje z suhtes λ_z leitakse valemiga (32) [35, p. 77]:

$$\lambda_z = \frac{L_{0,z}}{i_z}. \quad (32)$$

Kaare saledus peatelje z suhtes on leitud vastavalt valemile (32):

$$\lambda_z = \frac{13,53 \times 10^3}{69,28} = 195,29.$$

Kaare ristlõike suhteline saledus peatelje z suhtes $\lambda_{rel,z}$ leitakse valemiga (33) [35, p. 77]:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}. \quad (33)$$

Kaare ristlõike suhteline saledus peatelje z suhtes on leitud vastavalt valemile (33):

$$\lambda_{rel,z} = \frac{195,29}{\pi} \times \sqrt{\frac{32}{11800}} = 3,24.$$

Tegur k_z leitakse valemiga (34) [35, p. 77]:

$$k_z = 0,5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2], \quad (34)$$

kus β_c – tegur liimpuidu puhul 0,1.

Tegur k_z on leitud vastavalt valemist (34):

$$k_z = 0,5 \times [1 + 0,1 \times (3,24 - 0,3) + 3,24^2] = 5,9.$$

Tegur $k_{c,z}$ leitakse valemiga (35) [35, p. 77]:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}. \quad (35)$$

Tegur $k_{c,z}$ on leitud vastavalt valemist (35):

$$k_{c,z} = \frac{1}{5,9 + \sqrt{5,9^2 - 3,24^2}} = 0,092.$$

Kaare ristlõike vastupanumoment peatelje y suhtes on leitud vastavalt valemile (12):

$$W_y = \frac{240 \times 1200^2}{6} = 57600000 \text{ mm}^3.$$

Kaare arvutuslik paindepinge peatelje y suhtes on leitud valemist (13):

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{110,29 \times 10^6}{57600000} = 1,91 \text{ N/mm}^2.$$

Kaare ristlõike vastupanumoment peatelje z suhtes on leitud vastavalt valemile (12):

$$W_z = \frac{1200 \times 240^2}{6} = 11520000 \text{ mm}^3.$$

Kaare arvutuslik paindepinge peatelje z suhtes on leitud valemist (13):

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{6,16 \times 10^6}{11520000} = 0,53 \text{ N/mm}^2.$$

Kaare ristlõike väändeinertsimoment I_{tor} leitakse valemiga (36) [37, p. 19]:

$$I_{tor} = \alpha \times b \times t^3, \quad (36)$$

kus α – tegur;

b – ristlõike suurim mõõde;

t – ristlõike vähim mõõde.

Tegur α on saadud interpoleerimise teel allolevast tabelist (vt tabelit 13):

Tabel 13

Tegurite α ja β väärtused [37, p. 19]

h/b	1	1,25	1,5	2	3	4	6	10	∞
α	0,14	0,17	0,2	0,23	0,26	0,28	0,3	0,31	0,33
β	0,21	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28	0,3	0,31	0,33

Tegur $\alpha = 0,29$

Kaare ristlõike väändeinertsimoment on leitud vastavalt valemist (36):

$$I_{tor} = 0,29 \times 1200 \times 240^3 = 4810752000 \text{ mm}^4.$$

Kriitiline paindepinge $\sigma_{m,crit}$ leitakse valemiga (37) [35]:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \times \sqrt{E_{0,05} \times I_z \times G_{0,05} \times I_{tor}}}{l_{ef} \times W_y}, \quad (37)$$

kus l_{ef} – kiivepikkus.

Kriitiline paindepinge on leitud vastavalt valemile (37):

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \times \sqrt{11800 \times 1382400000 \times 540 \times 4810752000}}{38,65 \times 10^3 \times 57600000} = 8,77 \text{ N/mm}^2.$$

Kaare suhteline saledus paindel $\lambda_{rel,m}$ leitakse valemiga (38) [35, p. 77]:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}. \quad (38)$$

Kaare suhteline saledus paindel on leitud vastavalt valemist (38):

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{32}{8,77}} = 1,91.$$

Kuna $\lambda_{rel,m}$ on suurem kui 1,4, siis leitakse tegur k_{crit} valemiga (39) [35, p. 77]:

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2}. \quad (39)$$

Tegur k_{crit} on leitud vastavalt valemist (39):

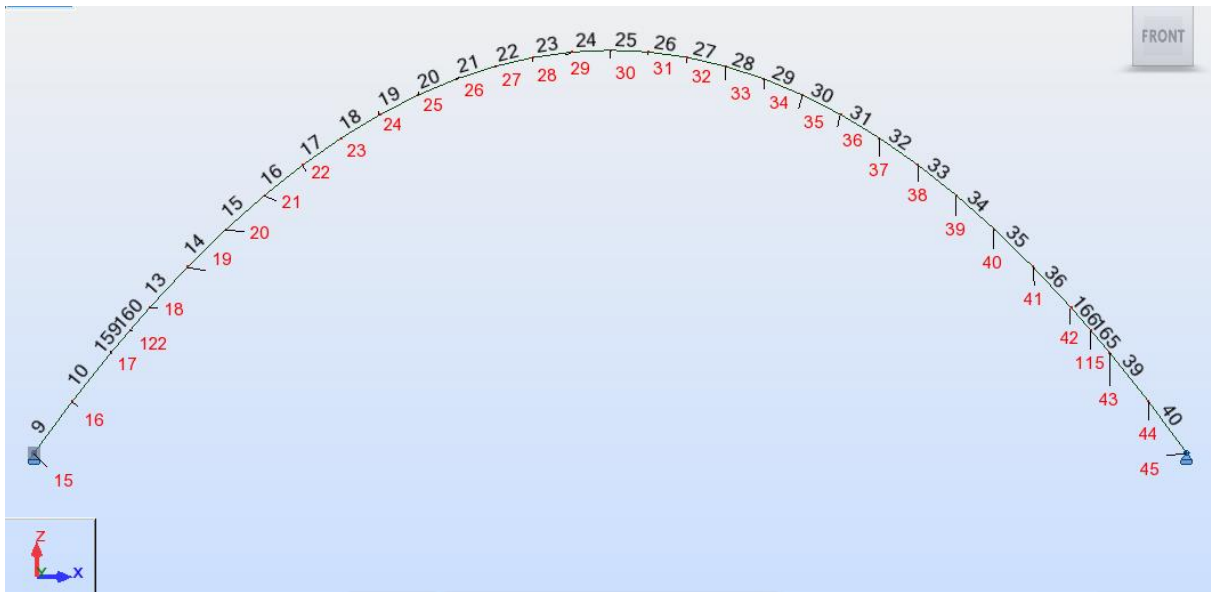
$$k_{crit} = \frac{1}{1,91^2} = 0,27.$$

$$\frac{0,61}{0,092 \times 17,92} + \frac{1,91}{0,27 \times 17,92} + 0,7 \times \frac{0,53}{19,71} = 0,78 < 1 \text{ ja}$$

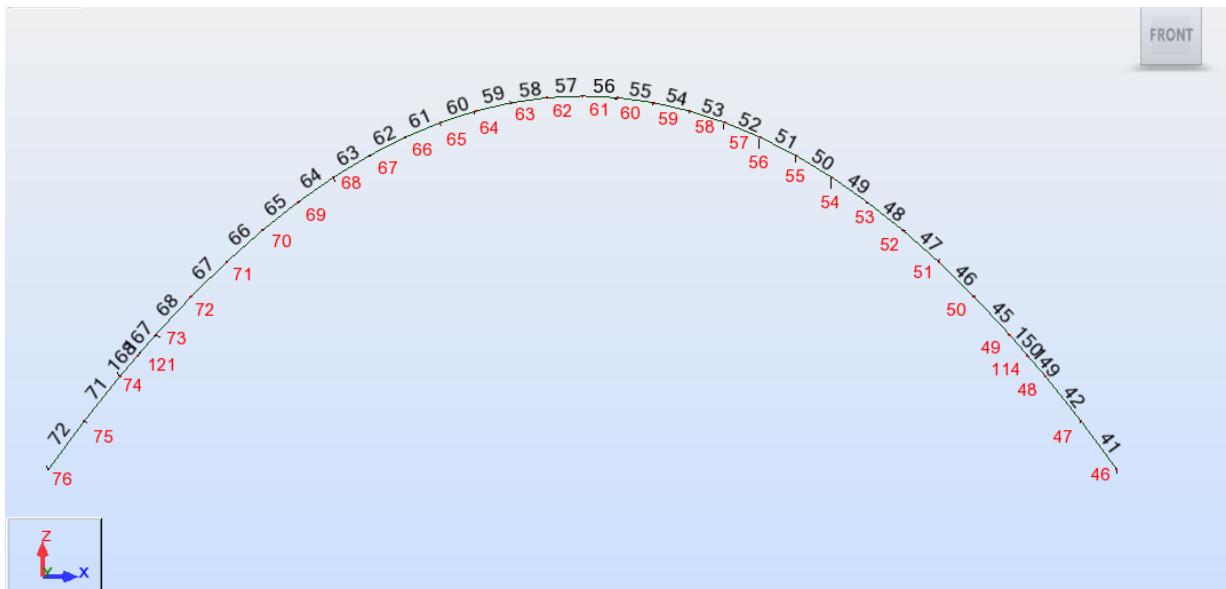
$$\frac{0,61}{0,092 \times 17,92} + 0,7 \times \frac{1,91}{0,27 \times 17,92} + \frac{0,53}{19,71} = 0,67 < 1$$

Tugevustingimus on täidetud!

Joonis 16 ja joonis 17 annavad ülevaate mõlema kaare varraste ja sõlmede asetusest.



Joonis 16. Joapoolse kaare vardad ja sõlmed



Joonis 17. Allavoolu kaare vardad ja sõlmed

Tabel 14 annab ülevaate tugevustingimuse täidetusest kahe kaare kõikides varrestes ja sõlmedes ning tabelist on samuti näha, et kõige ohtlikum olukord tekib koormuskombinatsioonis ULS 4, vardas 159 ja sõlmes 122. Tabelis esinevad värvused iseloomustavad ristlõike kandevõime kasutusastet – mida tumedam värv, seda rohkem on kaare kandevõimet ära kasutatud.

Tabel 14

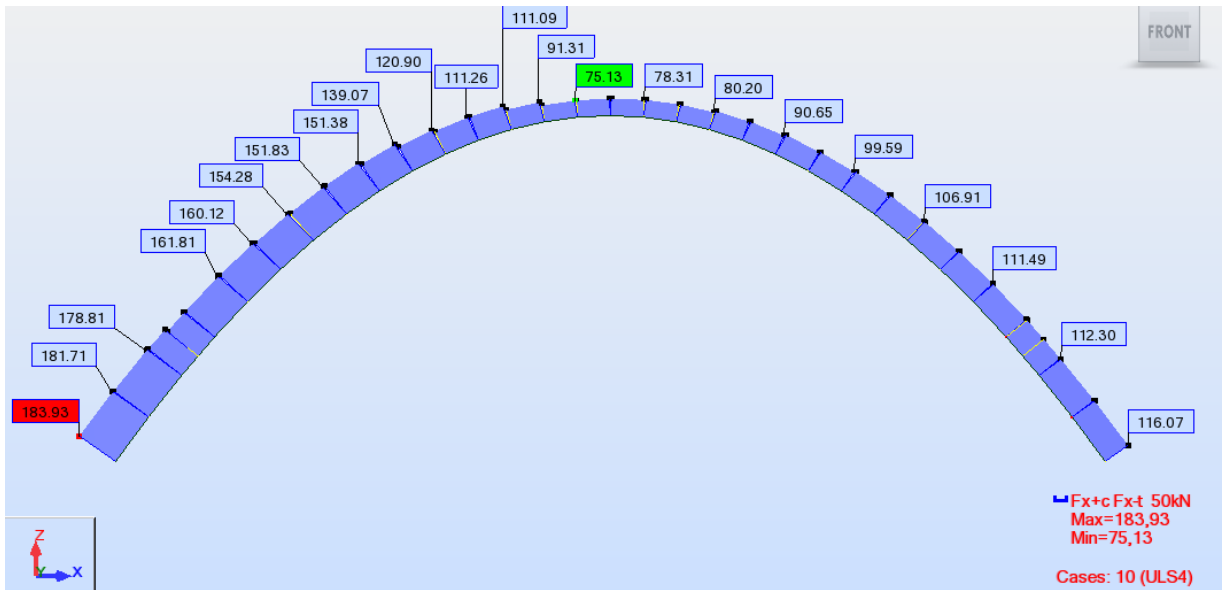
Kaarte tugevustingimuse täidetud surve ja painde koosmõjule stabiilsust arvesse võttes

Joa poolne kaar						Allavoolu olev kaar					
Varras	Sõlm	ULS1	ULS2	ULS3	ULS4	Varras	Sõlm	ULS1	ULS2	ULS3	ULS4
9	15	0,51	0,36	0,28	0,38	41	46	0,41	0,23	0,30	0,22
9	16	0,57	0,40	0,29	0,52	41	47	0,43	0,25	0,30	0,32
10	16	0,57	0,40	0,29	0,52	42	47	0,43	0,25	0,30	0,33
10	17	0,65	0,47	0,31	0,67	42	48	0,43	0,27	0,33	0,42
13	18	0,64	0,46	0,29	0,72	45	49	0,34	0,21	0,27	0,46
13	19	0,58	0,42	0,27	0,69	45	50	0,37	0,21	0,23	0,48
14	19	0,58	0,43	0,27	0,70	46	50	0,37	0,22	0,23	0,48
14	20	0,59	0,42	0,28	0,71	46	51	0,42	0,22	0,25	0,49
15	20	0,58	0,41	0,28	0,70	47	51	0,41	0,22	0,25	0,50
15	21	0,51	0,36	0,26	0,62	47	52	0,43	0,22	0,27	0,50
16	21	0,51	0,36	0,26	0,62	48	52	0,46	0,23	0,29	0,51
16	22	0,47	0,31	0,25	0,54	48	53	0,43	0,22	0,27	0,50
17	22	0,47	0,31	0,25	0,54	49	53	0,42	0,22	0,27	0,51
17	23	0,46	0,30	0,24	0,50	49	54	0,37	0,19	0,24	0,49
18	23	0,42	0,29	0,21	0,49	50	54	0,39	0,21	0,25	0,50
18	24	0,45	0,32	0,22	0,48	50	55	0,36	0,18	0,29	0,46
19	24	0,40	0,29	0,20	0,45	51	55	0,29	0,15	0,25	0,46
19	25	0,37	0,26	0,19	0,39	51	56	0,27	0,15	0,22	0,43
20	25	0,35	0,25	0,17	0,37	52	56	0,32	0,18	0,24	0,44
20	26	0,37	0,26	0,18	0,35	52	57	0,32	0,17	0,23	0,40
21	26	0,37	0,26	0,18	0,35	53	57	0,32	0,17	0,23	0,40
21	27	0,35	0,25	0,17	0,35	53	58	0,34	0,16	0,25	0,34
22	27	0,30	0,22	0,15	0,32	54	58	0,33	0,16	0,25	0,33
22	28	0,35	0,26	0,16	0,34	54	59	0,39	0,18	0,28	0,25
23	28	0,33	0,25	0,16	0,30	55	59	0,36	0,17	0,26	0,25
23	29	0,28	0,21	0,14	0,22	55	60	0,30	0,15	0,22	0,23
24	29	0,29	0,22	0,14	0,23	56	60	0,30	0,14	0,22	0,22
24	30	0,27	0,20	0,13	0,16	56	61	0,28	0,14	0,21	0,17
25	30	0,27	0,21	0,13	0,16	57	61	0,27	0,13	0,20	0,17
25	31	0,29	0,22	0,14	0,21	57	62	0,29	0,14	0,22	0,24
26	31	0,28	0,21	0,14	0,22	58	62	0,30	0,15	0,22	0,24
26	32	0,33	0,25	0,16	0,24	58	63	0,36	0,17	0,27	0,34
27	32	0,35	0,26	0,16	0,24	59	63	0,39	0,19	0,28	0,37
27	33	0,30	0,22	0,15	0,33	59	64	0,33	0,16	0,25	0,36
28	33	0,35	0,25	0,17	0,34	60	64	0,34	0,17	0,25	0,36
28	34	0,37	0,26	0,18	0,42	60	65	0,32	0,16	0,23	0,37
29	34	0,37	0,26	0,18	0,42	61	65	0,32	0,16	0,23	0,36
29	35	0,35	0,25	0,17	0,47	61	66	0,31	0,17	0,24	0,41

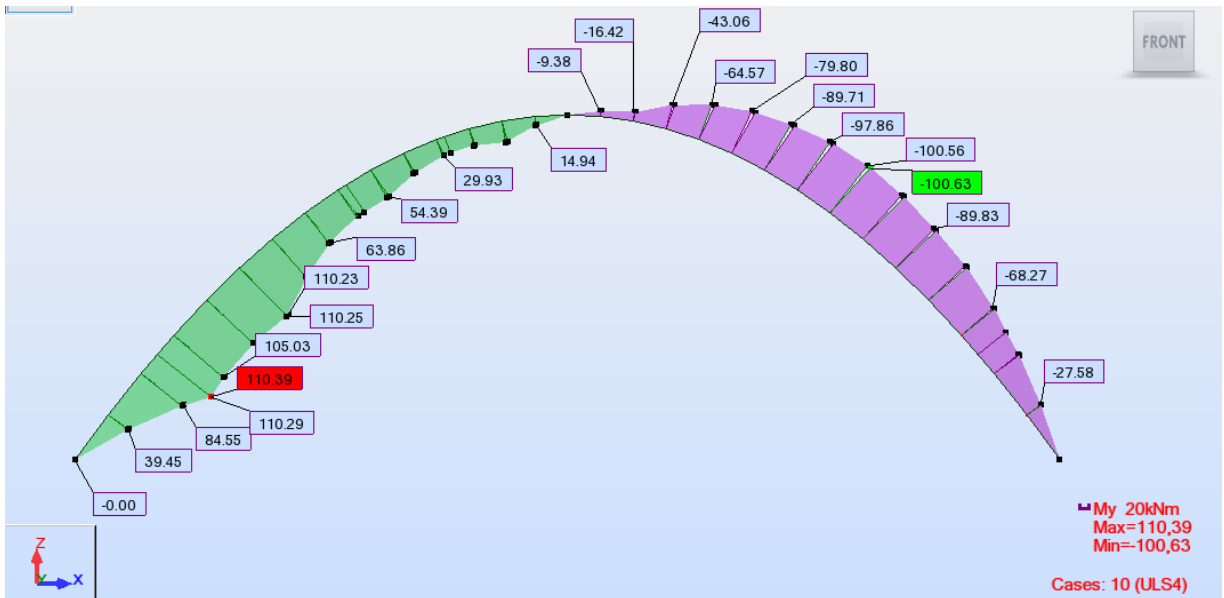
Tabel 14 jätk

Joa poolne kaar						Allavoolu olev kaar					
Varras	Sõlm	ULS1	ULS2	ULS3	ULS4	Varras	Sõlm	ULS1	ULS2	ULS3	ULS4
30	35	0,38	0,26	0,19	0,48	62	66	0,27	0,15	0,22	0,36
30	36	0,40	0,28	0,20	0,52	62	67	0,29	0,15	0,25	0,42
31	36	0,44	0,32	0,22	0,52	63	67	0,36	0,18	0,29	0,49
31	37	0,42	0,29	0,21	0,55	63	68	0,39	0,20	0,25	0,44
32	37	0,46	0,30	0,24	0,56	64	68	0,36	0,19	0,24	0,42
32	38	0,47	0,31	0,25	0,58	64	69	0,42	0,22	0,27	0,41
33	38	0,47	0,31	0,25	0,57	65	69	0,42	0,22	0,27	0,40
33	39	0,50	0,35	0,26	0,57	65	70	0,46	0,23	0,29	0,40
34	39	0,51	0,36	0,26	0,57	66	70	0,43	0,22	0,26	0,38
34	40	0,57	0,40	0,28	0,54	66	71	0,42	0,22	0,25	0,38
35	40	0,58	0,41	0,28	0,54	67	71	0,42	0,22	0,25	0,38
35	41	0,57	0,42	0,26	0,51	67	72	0,38	0,22	0,24	0,40
36	41	0,57	0,42	0,26	0,51	68	72	0,38	0,22	0,23	0,39
36	42	0,63	0,45	0,28	0,47	68	73	0,34	0,22	0,26	0,43
39	43	0,64	0,45	0,30	0,41	71	74	0,43	0,27	0,32	0,49
39	44	0,56	0,39	0,28	0,34	71	75	0,43	0,25	0,29	0,38
40	44	0,56	0,39	0,28	0,34	72	75	0,43	0,25	0,29	0,38
40	45	0,50	0,35	0,27	0,24	72	76	0,40	0,23	0,29	0,30
159	17	0,65	0,47	0,31	0,67	149	48	0,43	0,27	0,33	0,43
159	122	0,71	0,51	0,33	0,76	149	114	0,44	0,27	0,36	0,47
160	122	0,68	0,49	0,31	0,74	150	114	0,33	0,21	0,30	0,44
160	18	0,63	0,46	0,29	0,71	150	49	0,33	0,21	0,27	0,46
165	115	0,70	0,50	0,32	0,43	167	73	0,34	0,22	0,26	0,43
165	43	0,64	0,45	0,30	0,41	167	121	0,32	0,21	0,29	0,46
166	42	0,62	0,45	0,28	0,47	168	121	0,43	0,28	0,35	0,55
166	115	0,67	0,48	0,30	0,43	168	74	0,43	0,28	0,32	0,48

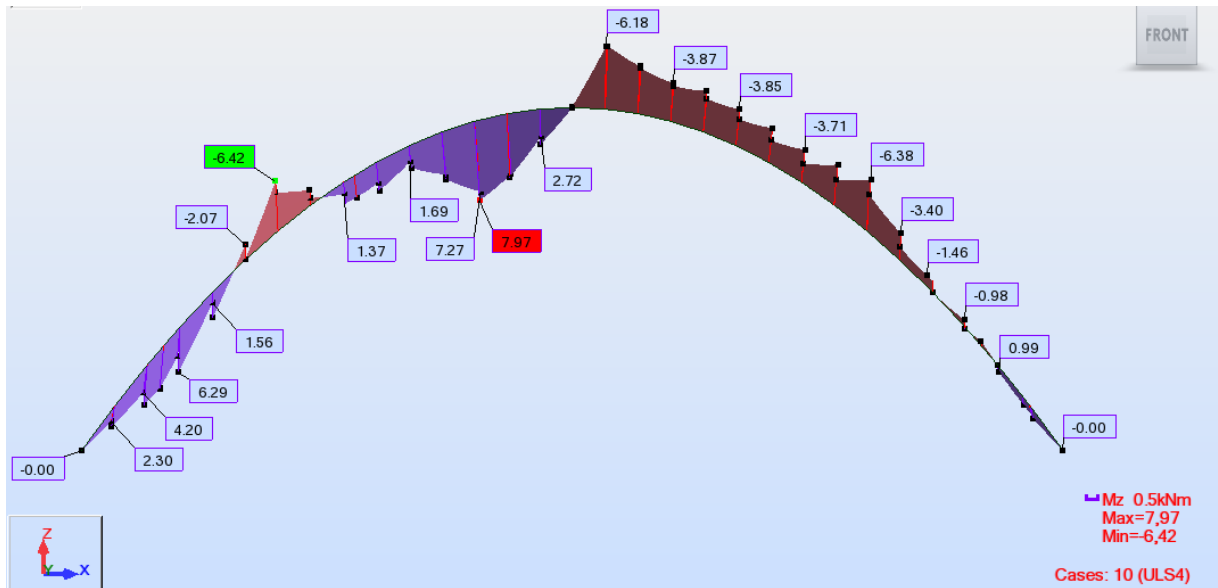
Joonis 18 annab ülevaate kaare normaaljõu epüürist ning joonis 19 ja joonis 20 annavad ülevaate kaare paindemomentide epüüridest koormusskeemis ULS 4.



Joonis 18. Joapoolse kaare normaaljõu epüür koormusskeemis ULS 4



Joonis 19. Joapoolse kaare paindemomendi epüür y telje suhtes koormusskeemis ULS 4



Joonis 20. Joapoolse kaare paindemomendi epüür z telje suhtes koormusskeemis ULS 4

2. Kontroll nihkele ehk lõikele

Tugevustingimus [30, p. 37]: $\tau_d \leq f_{v,d}$

Kaare ristlõike pindala on leitud vastavalt valemile (14):

$$A = 240 \times 1200 = 288000 \text{ mm}^2.$$

Kaare arvutuslik nihkepinge peatelje z suunas on leitud vastavalt valemile (15):

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \times \frac{33,12 \times 10^3}{288000} \times \frac{1}{0,67} = 0,26 \text{ N/mm}^2.$$

Kaare arvutuslik nihkepinge peatelje y suunas on leitud vastavalt valemile (15):

$$\tau_{y,d} = \frac{3}{2} \times \frac{0,61 \times 10^3}{288000} \times \frac{1}{0,67} = 0,005 \text{ N/mm}^2.$$

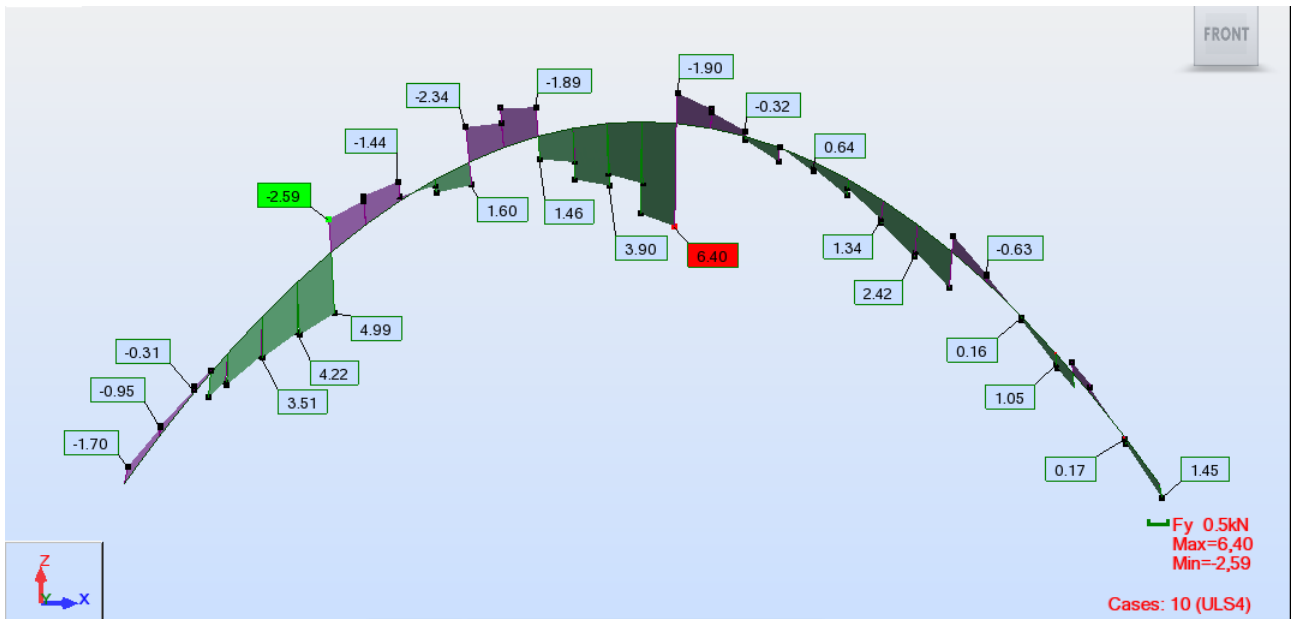
Kuna kaares esineb põikjõud mõlema peatelje suunas, siis summaarne arvutuslik nihkepinge on leitud vastavalt valemile (29):

$$\tau_d = \sqrt{0,26^2 + 0,005^2} = 0,26 \text{ N/mm}^2.$$

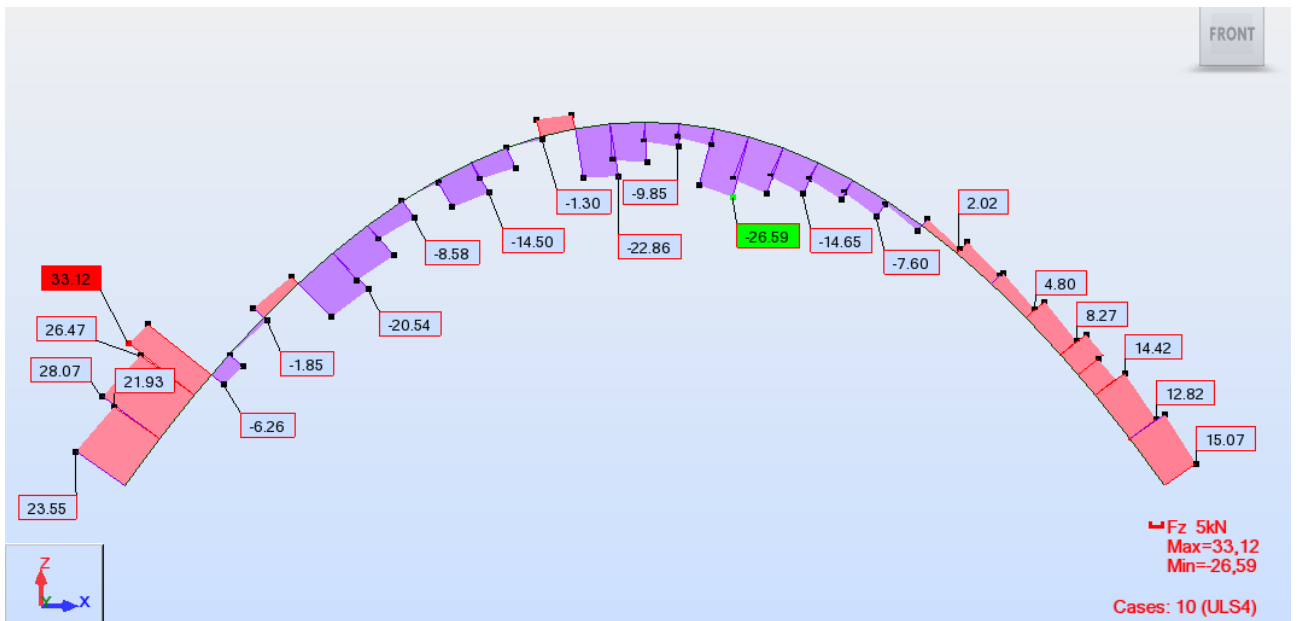
$$\tau_d = 0,26 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 1,96 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud!

Joonis 21 ja joonis 22 annavad ülevaate kaare põikjõu epüüridest koormusskeemis ULS 4.



Joonis 21. Joapoolse kaare põikjõu epüür y telje suunas koormusskeemis ULS 4



Joonis 22. Joapoolse kaare põikjõu epüür z telje suunas koormusskeemis ULS 4

12. KAARE PÕIKSIDEMED

Tugevustingimus [30, p. 35]: $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$.

Põiksidemetes tekkiv maksimaalne normaaljõud on leitud Autodesk Robotis tehtud silla mudeli abiga. Maksimaalne normaaljõud kaare põiksidemes $N_d = 17,24$ kN. Põiksideme ristlõikeks on valitud 200×600 mm.

Kaare põiksideme arvutuslik survetugevus pikikiudu on leitud vastavalt valemile (21):

$$f_{c,0,d} = \frac{0,7 \times 1 \times 28}{1,25} = 15,68 \text{ N/mm}^2.$$

Kaare põiksideme arvutuslik survepinge pikikiudu on leitud vastavalt valemile (24):

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{17,24 \times 10^3}{200 \times 600} = 0,14 \text{ N/mm}^2.$$

$$\sigma_{c,0,d} = 0,14 \text{ N/mm}^2 < f_{c,0,d} = 15,68 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud!

13. RIPUTID

Riputites tekkiv normaaljõud on leitud Autodesk Robotis tehtud silla mudeli abiga. Maksimaalne arvutuslik normaaljõud riputites $N_d = 43,11$ kN.

Riputid tehakse terasest S355J2.

Arvutuslik tõmbekandevõime $N_{t,Rd}$ [kN] leitakse valemiga (40) [38, p. 61]:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (40)$$

kus $N_{pl,Rd}$ – brutoristlõike arvutuslik plastne kandevõime kN;
 f_y – terase voolavuspiir N/mm²;
 γ_{M0} – materjali osavarutegur.

Riputi minimaalne ristlõikepindala on leitud vastavalt valemist (40) selle ümberteisendamise teel:

$$A = \frac{43,11 \times 10^3 \times 1,0}{355} = 121,44 \text{ mm}^2.$$

Minimaalne ristlõike läbimõõt $d = 12,43$ mm. Vandalismi- ja vibreerimisohu vähendamiseks on valitud ristlõike läbimõõduks $d = 42$ mm.

14. KAARE JA MAAPINNA VAHELINE LIHTTALA

14.1. Materjali arvutuslikud omadused

Kuna lihttala ristlõige on valitud sama nagu põiktalalgi, siis on materjali lõiketugevus ja muljumistugevus samuti võrdsed põiktala väärtustega. Paindetugevus on leitud vastavalt valemile (6). Omadused on toodud allolevas tabelis (vt tabelit 15).

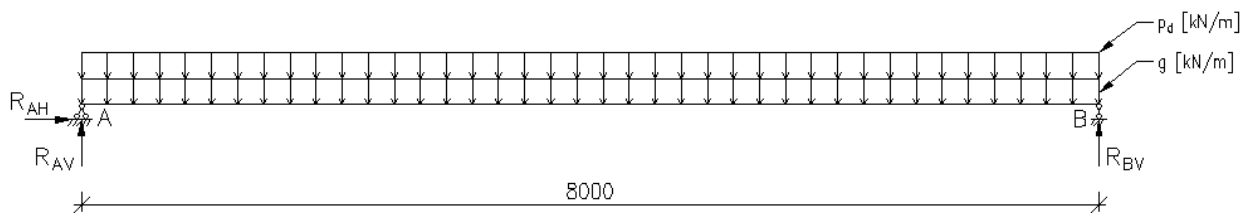
Tabel 15

Materjali arvutuslikud omadused

Paindetugevus, N/mm^2	Lõiketugevus, N/mm^2	Muljumistugevus, N/mm^2
17,96	1,96	1,40

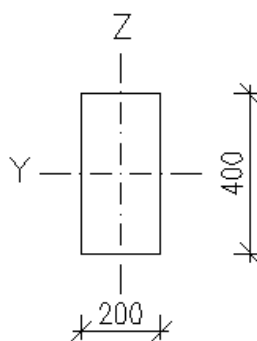
14.2. Arvutusskeem

Lihttala on arvatud ühesildelise lihttalana (vt joonist 23).



Joonis 23. Lihttala arvutusskeem

Lihttala arvutustes on teljed orienteeritud ristlõike suhtes selliselt nagu alloleval joonisel (vt joonist 24).



Joonis 24. Telgede asetus lihttala ristlõike suhtes

14.3. Koormused

Lihttalale mõjuvad arvutuslikud joonkoormused on leitud koormuskombinatsioonist 2 ning on toodud allolevas tabelis (vt tabelit 16).

Tabel 16

Lihttala arvutuslikud koormused kande- ja kasutuspiirseisundis

Piirseisund	Omakaal, kN/m	Joonkoormus, kN/m	Kokku, kN/m
Kandepiirseisund	0,50	5,55	6,05
Kasutuspiirseisund	0,48	4,00	4,48

14.4. Sisejõud

Vastavalt valemile (9) on leitud lihttala maksimaalne arvutuslik paindemoment:

$$M_d = \frac{6,05 \times 8^2}{8} = 48,40 \text{ kNm.}$$

Vastavalt valemile (22) on leitud lihttala maksimaalne arvutuslik põikjõud:

$$V_d = \frac{6,05 \times 8}{2} = 24,20 \text{ kN.}$$

Vastavalt valemile (23) on leitud lihttala maksimaalne arvutuslik toereaktsioon:

$$R_{Av} = \frac{6,05 \times 8}{2} = 24,20 \text{ kN.}$$

Lihttala sisejõudude epüürid on toodud graafilises osas.

14.5. Kontroll kandepiirreisisundis

1. Kontroll paindele

Tugevustingimus [35, p. 63]: $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$.

Vastavalt valemile (12) on leitud lihttala ristlõike vastupanumoment:

$$W = \frac{200 \times 400^2}{6} = 5333333,33 \text{ mm}^3.$$

Vastavalt valemile (13) on leitud lihttala arvutuslik paindepinge:

$$\sigma_{m,d} = \frac{48,4 \times 10^6}{5333333,33} = 9,08 \text{ N/mm}^2.$$

$$\sigma_{m,d} = 9,08 \text{ N/mm}^2 < f_{m,d} = 17,96 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud!

2. Kontroll nihkele ehk lõikele

Tugevustingimus [30, p. 37]: $\tau_d \leq f_{v,d}$.

Sillateki pikitala ristlõike pindala on leitud vastavalt valemile (14):

$$A = 200 \times 400 = 80000 \text{ mm}^2.$$

Sillateki pikitala arvutuslik nihkepinge on leitud vastavalt valemile (15):

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{24,2 \times 10^3}{80000} \times \frac{1}{0,67} = 0,68 \text{ N/mm}^2.$$

$$\tau_d = 0,68 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 1,96 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud!

3. Kontroll muljumisele

Muljumiskontroll on teostatud konservatiivse meetodi järgi. Muljumiskontrolli valemit teisendades on leitud pikitala minimaalne toepind.

Tugevustingimus [30, p. 36]: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90,d} \times f_{c,90,d}$.

Efektiivne muljumispindala on leitud vastavalt valemile (17):

$$1,4 = \frac{24,2 \times 10^3}{A_{ef}} \Rightarrow A_{ef} = \frac{24,2 \times 10^3}{1,4} = 17285,71 \text{ mm}^2.$$

Minimaalne toepind on leitud vastavalt valemile (16):

$$17285,71 = 200 \times a \Rightarrow a = \frac{17285,71}{200} = 86,43 \text{ mm} .$$

4. Kontroll kiivele

Kuna elemendi ristlõike survetsoon on külgsuunas toetatud, siis kiive kontrolli pole vaja teostada.

14.6. Kontroll kasutuspiirseisundis

1. Hetkelised paigutised

Deformatsioonitingimus [35, p. 88]: $w_{inst} \leq w_{inst,lim}$.

Lihttala ristlõike telginertsimoment on leitud vastavalt valemile (25):

$$I = \frac{200 \times 400^3}{12} = 1066666667 \text{ mm}^4 .$$

Vastavalt valemile (26) on leitud sillateki pikitala hetkeline paigutis omakaalukoormusest:

$$w_{inst,omakaal} = \frac{5 \times 0,48 \times 8000^4}{384 \times 12600 \times 1066666667} = 1,90 \text{ mm} .$$

Vastavalt valemile (27) on leitud sillateki pikitala hetkeline paigutis kasuskoormusest:

$$w_{inst,kasus} = \frac{5 \times 4 \times 8000^4}{384 \times 12600 \times 1066666667} = 15,87 \text{ mm} .$$

Summarne hetkeline paigutis w_{inst} [mm] on leitud omakaalukoormusest ja kasuskoormusest tingitud hetkeliste paigutiste liitmisel:

$$w_{inst} = 1,9 + 15,87 = 17,77 \text{ mm} .$$

Vastavalt valemile (28) on leitud lubatud hetkeline paigutis:

$$w_{inst,lim} = \frac{8000}{400} = 20,00 \text{ mm} .$$

$$w_{inst} = 17,77 \text{ mm} < w_{inst,lim} = 20,00 \text{ mm}$$

Hetkeliste paigutiste deformatsioonitingimus on täidetud!

2. Lõplikud paigutised

Deformatsioonitingimus [35, p. 88]: $w_{fin} \leq w_{fin,lim}$.

Sillateki pikitala lõplik paigutis omakaalukoormusest on leitud vastavalt valemile (18):

$$w_{fin,omakaal} = 1,9 \times (1 + 2) = 5,70 \text{ mm.}$$

Sillateki pikitala lõplik paigutis kasuskoormusest, kui kasuskoormus on domineeriv, on leitud vastavalt valemile (19):

$$w_{fin,kasus} = 15,87 \times (1 + 0 \times 2) = 15,87 \text{ mm.}$$

Summaarne lõplik paigutis w_{fin} [mm] on leitud omakaalukoormusest ja kasuskoormusest tingitud lõplike paigutiste liitmisel:

$$w_{fin} = 5,7 + 15,87 = 21,57 \text{ mm.}$$

Sillateki pikitala lubatud lõplik paigutis on leitud vastavalt valemile (20):

$$w_{fin,lim} = \frac{8000}{300} = 26,67 \text{ mm.}$$

$$w_{fin} = 21,57 \text{ mm} < w_{fin,lim} = 26,67 \text{ mm}$$

Lõplike paigutiste deformatsioonitingimus on täidetud!

15. MAHUTABEL

Tabel 17 annab ülevaate silla elementide mahtudest.

Tabel 17

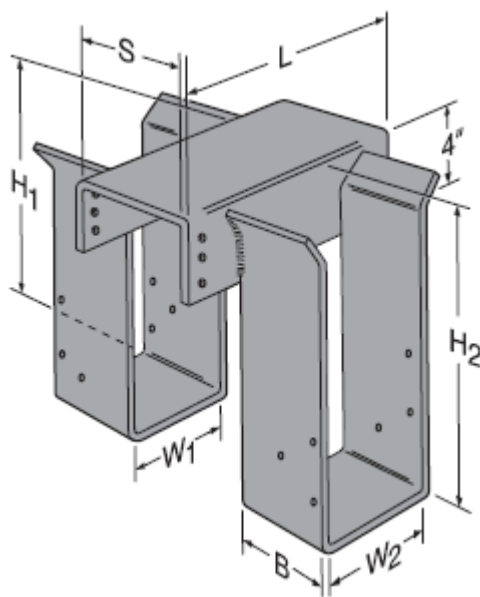
Silla elementide mahud

Nr.	Element	Kogus, tk	Tugevusklass	Ristlõige, bxxh mm	Ühik	Maht
1	Kaar	2	GL32h	240x1200	m ³	22,26
2	Põiksidemed	11	GL28h	200x600	m ³	3,05
3	Laudis	1	C24	95x32	m ²	278,00
4	Pikitala	104	GL28h	100x240	m ³	9,01
5	Distantslaud	104	C24	100x32	m ³	0,11
6	Põiktala	22	GL28h	200x400	m ³	10,04
7	Lihttala	5	GL28h	200x400	m ³	3,20
8	Käsi puu	1	C24	100x100	m ³	6,49
9	Käsi puu diagonaaltoed	88	C24	100x100	m ³	1,50
10	Sillateki diagonaalid	6	C24	100x100	m ³	0,41
11	Kaarte kattelaudis	1	C16	70x15	m ²	92,76
12	Tipuliigend 1	2	S355	-	t	0,38
13	Tipuliigend 2	2	S355	-	t	0,38
14	Kannaliigend 1	4	S355	-	t	0,75
15	Kannaliigend 2	4	S355	-	t	0,75
16	Põiksideme ühendusdetail	18	S355	-	t	0,99
17	Kaare ühendusdetail	2	S355	-	t	0,17
18	Riputi ja kaare ühendusdetail	12	S355	-	t	0,38
19	Põiktala otsasõlme detail	10	S355	-	t	0,47
20	Riputid	20	S355	-	t	2,28
21	Kaare tuulesidemed	10	S355	-	t	0,19
22	Sillateki tuulesidemed	12	S355	-	t	0,43
23	Põiktala ja kaare ühendusdetail	4	S355	-	t	0,28
24	Vaskplekk	1	-	-	m ²	25,05
25	Betoonkonstruktsioonide maapealne osa	1	C30/37	-	m ³	85,78

16. SÕLMED

16.1. Sõlm A – pikitala ühendus põiktalaga

Piktala on ühendatud põiktalaga talakinga abil (vt joonist 25).



Joonis 25. Talaking GLS [39]

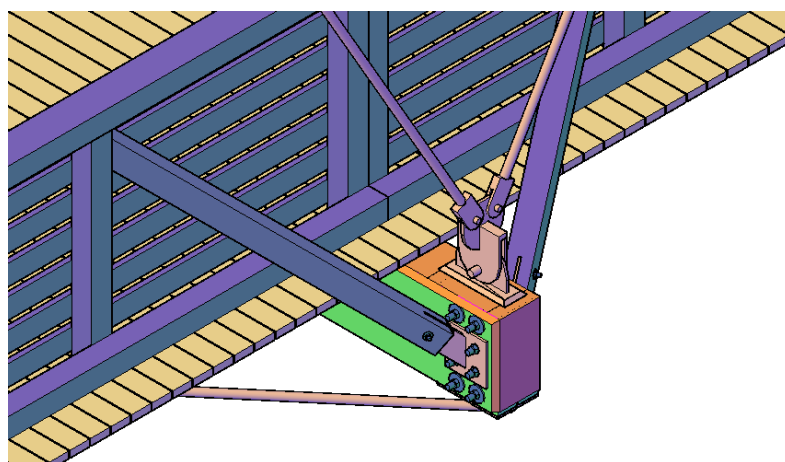
Joonist pikitala ühendusest põiktalaga on toodud graafilises osas. Foto 2 näitab, kuidas peaks hüdroisolatsioon piki- ja põiktaladel paiknema.



Foto 2. Piki- ja põiktala sõlm

16.2. Sõlm B – põiktala otsasõlm

Põiktala otsa kinnituvad terasriputid, sillateki tuulesidemed ja käsipuud toetavad diagonaalid. Terasriputi ühendamiseks on põiktala otsa sisse paigaldatud terasest T- tähe kujuline ühendusdetail, mille horisontaalne osa asub põiktala alumises pinnas. Riputid on ühendatud T-tähe kujulise ühendusdetailiga läbi liigendite, mis võimaldavad riputi nurga muutust silla piki- ja põiksuunas. Ühendusdetaili küljes on vaskplekist riba, mis kaitseb puidu ja teradetaili ühenduskohta sademete eest. Põiktala otsa horisontaalpind on kaitstud sademete eest lisaks veel vaskplekiga. Plekk on paigutatud 10×50 mm puitklotsidele, mis tagavad tuulutuse pleki ja puidu vahel. Sillateki tuulesidemed on ühendatud T-kujulise ühendusdetaili alumisele pinnale keevitusega. Käsipuude diagonaalid on ühendatud põiktala vertikaalküljele (vt joonist 26).

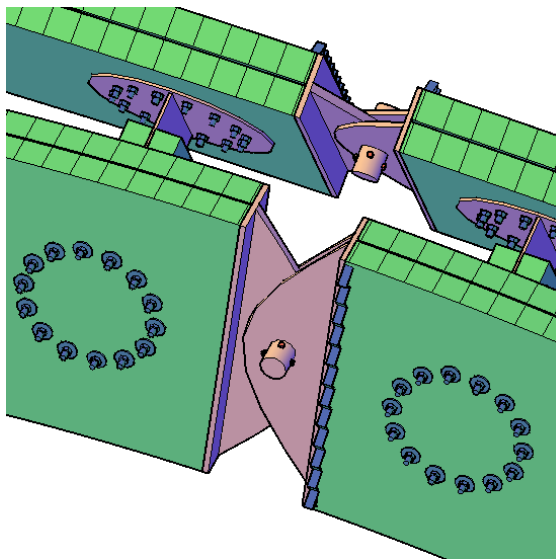


Joonis 26. Põiktala otsasõlm

Joonis põiktala otsasõlmest on toodud graafilises osas.

16.3. Sõlm C – kaare tipuliigend

Kaare tipuliigend töötab liigendina, mis võimaldab kaare elementide omavahelist liikumist kaare tasapinnas. Tipuliigend koosneb kolmest teraslehest, millest kaks on paksusega 15 mm ja üks 30 mm. Teraslehed on omavahel ühendatud terasvardaga, mille läbimõõt on 50 mm. Tipuliigend on liimpuidust kaarega ühendatud teraslehega, mis on paigaldatud kaare sisse freesitud pilusse. Stabiilsuse tagamiseks on kaks kaart omavahel ühendatud terasdetailiga. Joonis 27 annab ülevaate kaare tipuliigendi lahendusest, joonisel ei ole näidatud kaart katvat vaskplekki ja laudist.

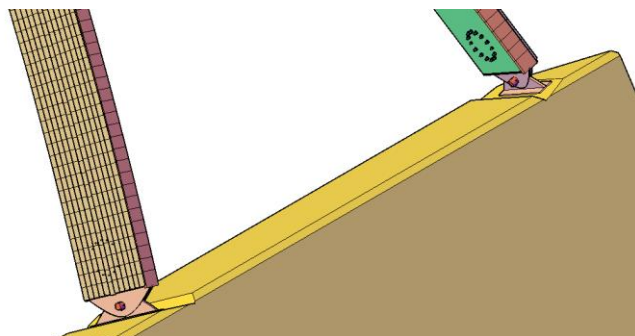


Joonis 27. Kaare tipuliigend

Joonis kaare tipuliigendist on toodud graafilises osas.

16.4. Sõlm D – kaare kannaliigend

Kaare kannaliigend on analoogne kaare tipuliigendiga. Kaar on ühendatud vundamendiga läbi liigendi, mis võimaldab kaarel pöördumist kaare tasapinnas (vt joonist 28).

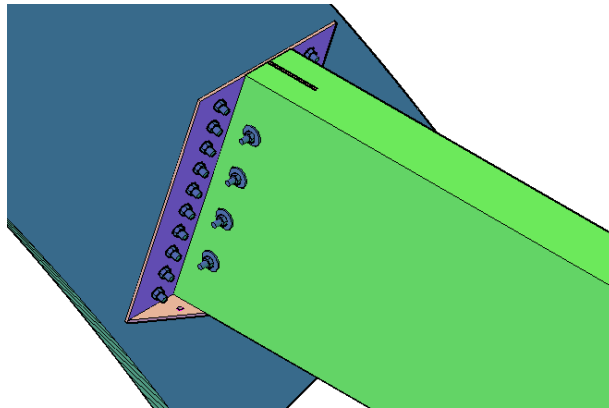


Joonis 28. Kaare kannaliigend

Joonis kaare kannaliigendist on toodud graafilises osas.

16.5. Sõlm E – põiktala ühendus kaarega

Põiktala on ühendatud kaarega T-kujulise ühendusdetailiga, mis toetab põiktala ka horisontaalselt alumiselt pinnalt. Joonis 29 annab ülevaate, kuidas põiktala on kaare külge kinnitatud.

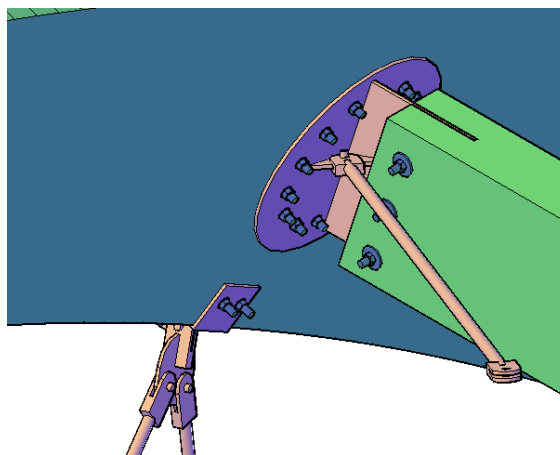


Joonis 29. Põiktala ühendus kaarega

Joonis põiktala ühendusest kaarega on toodud graafilises osas.

16.6. Sõlm F – riputi ja põiksideme ühendused kaarega

Riputi on ühendatud kaarega T-tähe kujulise ühendusdetaili ja liigendiga, mis lubab riputil liikuda piki ja põiki suunas. Põikside on kaarega ühendatud ringikujulise terasplaadiga (vt joonist 30).



Joonis 30. Riputi ja põiksideme ühendused kaarega

Joonis riputi ja põiksideme ühendusest kaarega on toodud graafilises osas.

17. PUIDU KAITSE

17.1. Keemilised võtted

Silla puittarindite materjalina tuleb kasutada sügavimmutatud männipuitu. Immutusklass peab olema NTR/AB, pruun. AB klassi immutatud puit on mõeldud kasutamiseks välitingimustes, kus see ei puutu kokku maapinna ja veega. Männipuit sobib immutamiseks kõige paremini, sest männi siseehitus on selline, mis laseb immutusainel kõige sügavamale tungida. Immutatava puidu niiskus peab olema alla 28%. [40], [41]

Silla puittarindid tuleb värvida ilmastikukindla heleda värviga, mis lubab konstruktsioonidel hingata [42]. Täpsem lahendus töötatakse välja järgmises etapis.

17.2. Konstruktiivsed võtted

Silla ilmastikuolude kätte jäävate puitosade puhul on väga oluline pöörata tähelepanu nende katmisele. Sademete sattumine sillakonstruktsioonidesse tekkinud pragudesse peab olema tõkestatud ning selleks kaetakse otseselt ilmastiku kätte jäävad tarindid vaskpleki või laudisvoodriga ning sillateki laudise alla jäävad puitosad bituumen rullmaterjaliga. [42]

Kaare pealispind kaetakse vaskplekiga ja välimised külgpinnad laudisvoodriga, mis pikendab kaare eluiga. Voodrit on lihtsam ja odavam välja vahetada kui kandekonstruktsiooni. Kaare põiksidemete kaitsmiseks kaetakse nende pealispinnad vaskplekiga.

Põiktalade osa, mis on jääb sillateki laudise alla, kaetakse bituumen rullmaterjaliga ning põiktalade laudise alt väljaulatuvad otsad vaskplekiga. Pikitalad kaetakse kogu ulatuses bituumen rullmaterjaliga. Rullmaterjal kinnitatakse piki- ja põiktalade küljes asuvatele kolmnurkliistudele bituumen külmlimi abil.

Elementide ühendussõlmed tuleb ehitada vastavalt joonistele.

18. SILLA KASUTUS- JA HOOLDUSJUHEND

Üldised kasutustingimused:

- sild on mõeldud kasutamiseks ainult jalakäijatele ja ratastoolis liikujatele;
- suusatamine, uisutamine ja kelgutamine sillal ei ole lubatud;
- silla ületamine jalgrattal, tõukerattal, rulluiskudel, rullsuuskadel, rulal jt sarnastel liikumisvahenditel sõites ei ole lubatud;
- motoriseeritud sõiduvahenditega sillal viibimine on rangelt keelatud (sillale pääs peab olema takistatud).

Talvine hooldus:

- lume eemaldamine sillatekilt tuleb teostada käsitsi ning kasutatavate abivahendite kaal ei tohi ületada 200 kg;
- lund ei tohi kuhjata sillakonstruktsioonidele;
- lume ja jää eemaldamisel ei tohi sillakonstruktsioone vigastada;
- sillatekilt sõidukitega lume eemaldamine on keelatud.

Hooldus- ja remonttöödel tuleb [42]:

- igal aastal
 - kontrollida visuaalselt kõiki puitkonstruktsioone ning parandada kahjustatud kohad;
 - puhastada puitosad ja nende lähiümbrus taimedest ja sodist;
 - kontrollida poltliiteid ning vajadusel pingutada;
 - pingutada tuulesidemeid;
 - kontrollida puidust ja plekist katete seisukorda (lohud, vahed ja tühimikud, kuhu vesi ja praht võivad koguneda, tuleb likvideerida);
- 6-aastase vahega
 - kontrollida katte- ja hüdroisolatsioonimaterjalide terviklikkust, leitud lekkekohad tuleb koheselt kõrvaldada (niiskuskaitse kahjustuste puhul tuleb kate eemaldada kahjustatud kohast ümberringi 2 m ulatuses; seejärel tuleb puit kuivatada kuni alla 18% niiskusesisalduseni ning niiskustõke asendada);

- kontrollida kaarte, põiktalade ja pikitalade niiskusesisaldust vähemalt 15 punktis (juhul, kui mõnes mõõdetud punktis on niiskusesisaldus oluliselt suurem keskmisest, siis kontrollida seda piirkonda täpsemalt, et lekkeid avastada; keskmine niiskusesisaldus teki all ei tohiks olla suurem, kui 18-20%);
- värvida sillateki puitlaudis;
- 12-aastase vahega
 - kontrollida seibide, mutrite ja teiste kinnitusvahendite kahjustusi, sh pinnakatete seisukorda (kahjustatud detailid tuleb asendada uutega, esialgse nõutud kvaliteediga);
 - asendada kahjustatud plekid ja kattelaudised (vajadusel);
 - asendada sillateki puitlaudis;
 - kontrollida betoontarindite seisukorda ning vajadusel teha parandusi;
- 24-30 aastase vahega
 - katted ja hüdroisolatsioon asendada uutega;
 - tarindid üle värvida.

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös projekteeriti puidust jalakäijate sild Jägala joale.

Lõputöös teostati arvutused konstruktsioonelementide ristlõigete leidmiseks. Dimensioonimisele kuulusid kõik puidust tarindid ning lisaks arvutati ka terasest riputid ja tuulesidemed. Raudbetoonist tarindite ja sõlmede dimensioonimist lõputöös käsitletud ei ole.

Silla peakandjaks valiti kaar ristlõikega 240×1200 mm ja tugevusklassiga GL32h. Kõik ülejäänud liimpuidust tarindid valiti tugevusklassiga GL28h. Kaare põiksidemed valiti ristlõikega 200×600 mm. Sillateki laudis valiti ristlõikega 32×95 mm ja tugevusklassiga C24, pikitalad 100×240 mm ja põiktalad sarnaselt kaare põiksidemetega 200×400 mm. Sillateki osa, mis jäi joa poolt vaadatuna paremale kaare ja maapinna vahele, arvutati lihtalana ning ristlõikeks valiti samuti 200×400 mm.

Terasest riputite läbimõõduks valiti 42 mm ja tuulesidemete läbimõõduks 30 mm. Teras tugevusklassiks on S355J2.

Lisaks arvutustele pöörati suurt tähelepanu vastupidavate sõlmlahenduste väljatöötamisele. Sõlmed projekteeriti selliselt, et ilmastikuolude kätte jäävad puitosad oleksid kaetud ja kaitstud. Samuti anti juhiseid silla kasutamiseks ja hoolduseks.

Silla projekteerimisel kasutasid lõputöö koostajad ka liit- ja tehisreaalsust. Nimetatud tehnoloogiate katsetamisel ilmnis, et liitreaalsus väga palju projekteerimist ei toetanud. Küll aga oli lõputöö koostajatel silla arhitektuurse lahenduse välja töötamisel suuresti kasu tehisreaalsusest, mis loodi BIM-koopas. See võimaldas näha erinevate algselt koostatud 3D eskiiside puudusi ning aitas kaasa parima lahenduse välja töötamisel.

SUMMARY

“Technical project of the pedestrian bridge of Jägala waterfall”

The main goal of this thesis is designing a timber pedestrian bridge on Jägala waterfall. The thesis is also concerned with the opportunities of the use of augmented and artificial reality and their application in designing the bridge.

The bridge has been designed at the request of Jõelähtme rural municipality. Based on the development plan of Jõelähtme rural municipality for 2014–2025, the rural municipality intends to develop the area around Jägala waterfall as a recreational area and enliven tourism. The bridge is also necessary for the locals because there is no opportunity to cross Jägala river in the immediate vicinity of the waterfall.

The most important load-bearing structures of the bridge, with the exception of the foundations, are designed of timber, because timber suits this area better than other materials due to being natural and close to nature. The authors of the thesis also wish to show that it is possible to build a durable timber bridge with the right joints, means of protection and maintenance.

Calculations were made in the thesis to determine the cross-sections of structural elements. All timber structures were dimensioned and in addition, the steel hangers and bracings. The thesis does not handle the dimensioning of the elements and joints of reinforced concrete.

The main load-bearing structure of the bridge is an arc with the cross-section 240×1200 mm and strength class GL32h. All remaining laminated timber structures were selected with the strength class GL28h. The horizontal connectors of the arc were selected with the cross-section 200×400 mm. The boards of the deck were selected with the cross-section 32×95 mm and strength class C24, side members 100×240 mm and crossbeams 200×400 mm similarly to horizontal connectors of the arc. The part of the bridge deck between the arc and the ground on the right side as seen from the waterfall was calculated a simple beam and the cross-section of this was also 200×400 mm.

The diameter of the steel hangers was 42 mm and the diameter of the bracings was 30 mm. The strength class of steel is S355J2.

In addition to calculations, a lot of attention was paid on developing durable connections. Joints were designed so that wooden parts exposed to the weather are covered and protected. Instructions were also provided for using and maintaining the bridge.

The authors of the thesis also used augmented and artificial reality when designing the bridge. Testing these technologies revealed that augmented reality did not support designing very much. However, this has a lot of potential in the future as technology develops, because it enables all parties of the project to give a better overview of the project than 2D drawings or even 3D models.

The authors gained a lot from artificial reality created in a BIM cave in developing the architectural solution of the bridge. This enabled to see the defects of various initial 3D sketches and helped develop the best solution.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „Augment A4 tracker,“ [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 27. märts, 2015].
- [2] „Augment,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://augmentedev.com/help/3d-file-format-guidelines/#3d-model-limitations>. [Kasutatud 27. märts, 2015].
- [3] „Unity,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://unity3d.com/unity>. [Kasutatud 1. aprill, 2015].
- [4] „Wikipedia,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://et.wikipedia.org/wiki/Unity>. [Kasutatud 1. aprill, 2015].
- [5] „Eesti Entsüklopeedia,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://entsyklopeedia.ee/artikkel/j%C3%A4gala_j%C3%B5gi3. [Kasutatud 1. aprill, 2015].
- [6] „Eesti Looduse Infosüsteem,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://loodus.keskkonnainfo.ee/eelis/default.aspx?state=5;2048547552;est;eelisand;;&comp=objresult=ala&obj_id=1179. [Kasutatud 3. aprill, 2015].
- [7] Maa-amet, „Geoportaal,“ [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 6. mai, 2015].
- [8] Keskkonnaministeerium, „Natura 2000,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.natura2000.envir.ee/>. [Kasutatud 22. aprill, 2015].
- [9] Riigi Teataja, „Looduskaitseeadus,“ 2004. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/116052013016>. [Kasutatud 6. aprill, 2015].
- [10] Riigi Teataja, „Kaitstavate looduse üksikobjektide kaitse-eeskiri,“ 2003. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/561046>. [Kasutatud 6. aprill, 2015].
- [11] Maa-amet, „Geoportaal,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis?app_id=UU62A&user_id=at&bbox=566700.052511264,6590777.06185008,566939.167087857,6590900.00095851&LANG=1. [Kasutatud 6. aprill, 2015].
- [12] EVS-EN 1990:2002+NA:2002 - Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused, 2002.
- [13] Riigi Teataja, „Nõuded liikumis-, nägemis- ja kuulmispuudega inimeste liikumisvõimaluste tagamiseks üldkasutatavates ehitistes,“ 2002. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/226420>. [Kasutatud 8. aprill, 2015].
- [14] Riigi Teataja, „Tee seisundinõuded,“ 2003. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/964952>. [Kasutatud 8. aprill, 2015].
- [15] Riigi Teataja, „Maanteede projekteerimismid,“ [Võrgumaterjal].

- [Kasutatud 8. aprill, 2015].
- [16] „Tee projekteerimise normid,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<https://www.riigiteataja.ee/akt/108062012004>. [Kasutatud 27. aprill, 2015].
- [17] EVS-EN 335:2013 - Puidu ja puitpõhiste toodete vastupidavus. Kasutusklassid: määratlused, rakendus täispuidule ja puitpõhiste toodetele, 2013.
- [18] EVS-EN 14080:2013 - Puitkonstruktsioonid. Lamell-liimpuit ja plankliimpuit. Nõuded, 2013.
- [19] EVS-EN 338:2009 - Ehituspuit. Tugevusklassid, 2009.
- [20] EVS-EN 1090-2:2008+A1:2011/AC:2014 - Teras- ja alumiiniumkonstruktsioonide valmistamine. Osa 2: Tehnilised nõuded teraskonstruktsioonidele, 2008.
- [21] EVS-EN ISO 12944 - Värvid ja lakid. Teraskonstruktsioonide korrosioonitõrje värvkattesüsteemidega.
- [22] EVS-EN ISO 8501:2007 - Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness, 2007.
- [23] EVS-EN 10025 - Konstruktsiooniterasest kuumvaltsitud tooted..
- [24] EVS-EN ISO 5817:2014 - Keevitus. Terase, nikli, titaani ja nende sulamite sulakeevitusliited (välja arvatud kiirguskeevituse meetodid). Kvaliteeditasemed keevitusdefektide järgi, 2014.
- [25] EVS-EN 206:2014 - Betooni. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus, 2014.
- [26] EVS 814:2003 - Normaalebetooni külmakindlus. Määratlused, spetsifikatsioonid ja katsemeetodid, 2003.
- [27] EVS-EN 1992-1-1:2005+NA:2007 - Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonetele, 2005.
- [28] M. Arro, T. Laur, T. Tuisk, M. Laurson, H. Meos, V. Mõisja, R. Oras, K. Parkja ja K. Ramjalg, Toim-d, BÜ4: Betooni ja raudbetooni - betooni pinnad, Tallinn, 2010.
- [29] EVS-EN 1990:2002/A1:2006+NA:2009 – Eurokoodeks: Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused. Muudatus A1. Lisa A2: Rakendamine sildade puhul, 2002.
- [30] EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 - Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks, 2005.
- [31] EVS-EN 1991-1-3:2006+NA:2006 – Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused

- Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus, 2006.
- [32] EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 – Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused
Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus, 2007.
- [33] EVS-EN 1991-2:2004+NA:2007 – Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused.
Osa 2: Sildade liikluskoormused, 2004.
- [34] EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 - Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused.
Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused, 2002.
- [35] M. Kiisa, „Puitkonstruktsioonide projekteerimise alused,“ 2013. [Võrgumaterjal].
[Kasutatud 9. aprill, 2015].
- [36] J. Rohusaar, R. Mägi, T. Masso, I. Talvik, V. Jaanisoo, V. Otsmaa, V. Voltri, K. Loorits, T. Peipman, O. Pukk, K. Õiger, E. Just, A. Just ja V. Hartšuk, Toim-d, Ehituskonstruktorigi käsiraamat, Tallinn: Ehitame kirjastus, 2014.
- [37] G. Kodi, „Puitkonstruktsioonide abimaterjal,“ Tallinn, 2012.
- [38] EVS-EN 1993-1-1:2005+NA:2006 – Eurokoodeks 3. Teraskonstruksioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks, 2005.
- [39] „Wood construction connectors,“ [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 5. aprill, 2015].
- [40] „Kestvuspuit,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.kestvuspuit.ee/immutatud-puitmaterjalimmutatud-puitmaterjal>. [Kasutatud 6. mai, 2015].
- [41] „Kestvuspuit,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.kestvuspuit.ee/immutusteenus>. [Kasutatud 6. mai, 2015].
- [42] A. Just, A. Gustafsson, A. Pousette, E. Just, P.-A. Fjellström, „Põhjamaade ja eesti puitsildade konstruktiivsed lahendused ning analüüs koos kasutusettepanekutega,“ 2015.

LISAD

Lisa 1. Kaarte sisejõud

Lisa 1. Kaarte sisejõud

Joapoolse kaare sisejõud koormusskeemis ULS 1

Varras	Sõlm	N_d , kN	$V_{y,d}$, kN	$V_{z,d}$, kN	M_x , kNm	$M_{y,d}$, kNm	$M_{z,d}$, kNm
9	15	243,38	2,51	9,24	0,00	0,00	0,00
9	16	241,16	1,76	7,62	0,00	14,63	3,71
10	16	240,77	1,49	15,78	0,16	14,55	3,99
10	17	238,71	0,74	14,18	0,16	39,35	5,84
13	18	223,50	2,76	7,05	0,77	44,32	6,12
13	19	221,74	3,49	8,62	0,77	32,53	1,41
14	19	221,90	3,59	1,51	0,85	32,50	1,99
14	20	220,30	4,32	0,05	0,85	33,54	3,69
15	20	216,39	4,34	17,16	0,66	33,60	3,11
15	21	214,94	5,06	18,70	0,66	9,13	9,53
16	21	213,27	4,28	10,00	0,04	9,68	9,28
16	22	211,97	3,57	11,54	0,04	4,33	4,17
17	22	212,27	4,13	1,26	0,20	4,26	4,24
17	23	211,13	3,42	0,27	0,20	3,64	0,44
18	23	195,05	0,65	12,96	0,21	3,34	0,51
18	24	194,06	0,05	11,45	0,21	11,13	0,86
19	24	171,19	0,21	13,43	0,21	11,11	1,03
19	25	170,35	0,91	14,94	0,21	4,99	0,39
20	25	158,10	1,65	3,95	0,21	4,52	0,54
20	26	157,41	0,95	5,45	0,21	9,66	1,96
21	26	157,30	2,36	7,81	0,04	9,68	1,87
21	27	156,77	1,66	6,31	0,04	2,21	3,99
22	27	135,57	2,27	19,66	0,30	0,79	4,60
22	28	135,19	2,96	18,17	0,30	18,68	1,91
23	28	126,25	3,58	13,72	0,27	18,67	1,98
23	29	126,02	4,28	15,20	0,27	4,06	1,99
24	29	126,86	1,45	5,23	0,00	5,98	1,10
24	30	126,78	0,76	6,71	0,00	0,00	0,00
25	30	126,77	0,69	6,98	0,02	1,52	0,71
25	31	126,85	1,38	5,50	0,02	4,73	1,74
26	31	125,98	4,35	15,47	0,33	3,09	2,49
26	32	126,21	3,66	13,98	0,33	17,97	1,56
27	32	135,02	3,04	18,03	0,39	17,97	1,50
27	33	135,40	2,34	19,52	0,39	1,36	4,26
28	33	156,05	1,43	6,24	0,14	2,69	3,71
28	34	156,59	2,13	7,73	0,14	10,07	1,83
29	34	156,70	0,72	5,47	0,11	10,05	1,93
29	35	157,38	1,42	3,97	0,11	4,89	0,76

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
30	35	169,77	0,87	15,00	0,14	5,28	0,66
30	36	170,61	0,16	13,49	0,14	10,89	1,24
31	36	193,39	0,01	11,56	0,16	10,91	1,08
31	37	194,38	0,69	13,07	0,16	3,69	0,67
32	37	210,58	3,52	0,13	0,18	3,89	0,65
32	38	211,72	4,23	1,39	0,18	4,67	4,15
33	38	211,43	3,67	11,36	0,05	4,74	4,08
33	39	212,73	4,38	9,83	0,05	9,04	9,31
34	39	214,43	5,03	18,48	0,65	8,57	9,53
34	40	215,88	4,31	16,94	0,65	32,74	3,15
35	40	219,85	4,30	0,53	0,85	32,68	3,71
35	41	221,45	3,57	2,09	0,85	30,80	1,93
36	41	221,32	3,48	8,02	0,77	30,83	1,39
36	42	223,08	2,75	6,45	0,77	41,72	6,08
39	43	236,20	0,76	13,43	0,16	36,96	5,89
39	44	238,26	1,51	15,03	0,16	13,40	4,02
40	44	238,64	1,79	6,96	0,00	13,47	3,76
40	45	240,85	2,54	8,58	0,00	0,00	0,00
159	17	238,01	0,73	23,07	0,45	39,23	6,59
159	122	237,06	0,36	22,27	0,45	57,13	7,02
160	122	223,97	1,97	15,49	0,49	56,98	6,99
160	18	223,02	2,34	16,29	0,49	44,43	5,29
165	115	235,54	0,74	22,22	0,45	54,38	7,18
165	43	235,54	0,74	22,22	0,45	36,84	6,60
166	42	222,62	2,34	15,67	0,50	41,83	5,31
166	115	222,62	2,34	15,67	0,50	54,20	7,15

Joapoolse kaare sisejõud koormusskeemis ULS 2

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
9	15	170,53	1,57	8,61	0,00	0,00	0,00
9	16	168,32	0,81	7,00	0,00	13,54	2,06
10	16	167,99	0,65	12,70	0,10	13,50	2,33
10	17	165,92	0,09	11,09	0,10	33,20	2,79
13	18	155,84	0,86	5,12	0,51	37,32	3,58
13	19	154,08	1,59	6,69	0,51	28,43	1,74
14	19	154,22	1,67	0,33	0,60	28,40	2,24
14	20	152,62	2,40	1,22	0,60	27,76	0,67
15	20	150,12	2,44	11,76	0,56	27,76	0,20
15	21	148,67	3,16	13,30	0,56	10,66	4,01
16	21	147,65	1,98	7,09	0,28	10,96	3,78

Varras	Sölm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
16	22	146,35	1,27	8,62	0,28	0,74	1,67
17	22	146,60	1,64	0,23	0,17	0,77	1,67
17	23	145,46	0,93	1,29	0,17	0,11	0,08
18	23	138,86	0,72	7,58	0,11	0,45	0,03
18	24	137,86	0,02	6,07	0,11	8,53	0,47
19	24	122,25	0,16	9,29	0,10	8,52	0,58
19	25	121,41	0,86	10,80	0,10	2,88	0,00
20	25	115,60	0,93	2,70	0,04	2,30	0,20
20	26	114,91	0,23	4,20	0,04	6,07	0,83
21	26	114,85	1,26	5,48	0,16	6,07	0,76
21	27	114,32	0,56	3,99	0,16	1,07	1,73
22	27	102,95	0,81	13,57	0,23	0,11	2,23
22	28	102,57	1,51	12,08	0,23	13,32	1,03
23	28	95,91	1,95	9,86	0,18	13,31	1,09
23	29	95,68	2,65	11,35	0,18	2,59	1,24
24	29	96,30	0,85	3,44	0,00	4,19	0,50
24	30	96,23	0,16	4,92	0,00	0,00	0,00
25	30	96,22	0,11	5,09	0,02	1,24	0,58
25	31	96,30	0,80	3,60	0,02	3,11	1,03
26	31	95,66	2,64	11,54	0,22	1,80	1,63
26	32	95,88	1,95	10,05	0,22	12,71	0,69
27	32	102,44	1,50	11,89	0,30	12,71	0,64
27	33	102,82	0,81	13,38	0,30	0,30	1,83
28	33	113,26	0,31	3,87	0,25	1,36	1,40
28	34	113,79	1,01	5,37	0,25	6,24	0,70
29	34	113,84	0,01	4,23	0,13	6,24	0,78
29	35	114,53	0,69	2,73	0,13	2,44	0,40
30	35	120,40	0,82	10,84	0,16	2,94	0,25
30	36	121,24	0,12	9,34	0,16	8,52	0,78
31	36	136,76	0,05	6,18	0,16	8,53	0,68
31	37	137,75	0,76	7,69	0,16	0,31	0,20
32	37	144,50	1,03	1,12	0,19	0,08	0,13
32	38	145,65	1,74	0,40	0,19	0,53	1,59
33	38	145,41	1,36	8,40	0,29	0,50	1,58
33	39	146,71	2,08	6,86	0,29	10,42	3,82
34	39	147,75	3,13	13,00	0,55	10,20	4,02
34	40	149,20	2,41	11,46	0,55	26,90	0,24
35	40	151,76	2,38	0,62	0,60	26,89	0,70
35	41	153,37	1,65	0,93	0,60	26,67	2,18
36	41	153,25	1,58	6,05	0,51	26,70	1,71
36	42	155,01	0,85	4,48	0,51	34,63	3,53

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
39	43	162,99	0,07	10,31	0,10	30,70	2,85
39	44	165,05	0,67	11,91	0,10	12,31	2,35
40	44	165,36	0,84	6,31	0,00	12,35	2,11
40	45	167,58	1,59	7,93	0,00	0,00	0,00
159	17	165,39	0,07	17,29	0,27	33,14	3,43
159	122	164,44	0,44	16,49	0,27	46,47	3,22
160	122	156,45	0,19	10,75	0,34	46,18	3,17
160	18	155,49	0,56	11,54	0,34	37,38	2,88
165	115	162,49	0,07	16,39	0,27	43,58	3,38
165	43	162,49	0,07	16,39	0,27	30,64	3,43
166	42	154,69	0,56	10,87	0,34	34,69	2,89
166	115	154,69	0,56	10,87	0,34	43,27	3,33

Joapoolse kaare sisejõud koormusskeemis ULS 3

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
9	15	133,06	1,87	2,04	0,00	0,00	0,00
9	16	130,84	1,12	0,42	0,00	2,14	2,59
10	16	130,76	0,90	4,85	0,09	2,08	2,63
10	17	128,70	0,15	3,24	0,09	8,78	3,50
13	18	118,59	1,47	1,26	0,32	10,35	2,92
13	19	116,83	2,20	2,83	0,32	7,27	0,16
14	19	116,84	2,22	2,51	0,33	7,27	0,28
14	20	115,24	2,95	0,95	0,33	9,75	3,43
15	20	113,43	2,94	5,41	0,15	9,81	3,26
15	21	111,98	3,66	6,95	0,15	1,38	7,77
16	21	110,18	3,86	3,44	0,32	1,70	7,68
16	22	108,89	3,14	4,98	0,32	3,77	3,13
17	22	108,98	3,44	1,57	0,50	3,72	3,17
17	23	107,83	2,73	0,05	0,50	2,71	0,66
18	23	96,74	0,56	6,54	0,43	2,79	0,63
18	24	95,75	0,14	5,03	0,43	4,07	0,88
19	24	86,72	0,17	4,50	0,39	4,06	0,97
19	25	85,88	0,87	6,00	0,39	1,91	0,37
20	25	78,42	1,48	1,18	0,32	2,05	0,33
20	26	77,73	0,78	2,68	0,32	4,15	1,56
21	26	77,67	1,47	3,87	0,16	4,17	1,54
21	27	77,14	0,78	2,37	0,16	0,87	2,73
22	27	64,69	1,05	8,47	0,07	0,56	2,87
22	28	64,31	1,75	6,98	0,07	7,40	1,43
23	28	61,01	2,01	4,52	0,12	7,39	1,46

Varras	Sölm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
23	29	60,78	2,70	6,01	0,12	2,07	0,92
24	29	61,05	1,05	1,78	0,00	2,52	0,71
24	30	60,97	0,36	3,26	0,00	0,00	0,00
25	30	60,97	0,39	3,35	0,01	0,31	0,14
25	31	61,04	1,08	1,86	0,01	2,30	0,88
26	31	60,77	2,69	6,09	0,13	1,94	1,04
26	32	61,00	2,00	4,60	0,13	7,35	1,33
27	32	64,19	1,74	6,92	0,09	7,35	1,30
27	33	64,57	1,04	8,41	0,09	0,54	2,73
28	33	76,70	0,68	2,36	0,12	0,81	2,61
28	34	77,24	1,38	3,85	0,12	4,09	1,52
29	34	77,30	0,69	2,66	0,29	4,07	1,54
29	35	77,98	1,38	1,16	0,29	1,99	0,41
30	35	85,45	0,85	5,99	0,36	1,81	0,48
30	36	86,29	0,15	4,49	0,36	4,15	1,04
31	36	95,14	0,13	5,10	0,41	4,16	0,96
31	37	96,13	0,58	6,62	0,41	2,78	0,69
32	37	107,24	2,75	0,16	0,49	2,66	0,74
32	38	108,39	3,46	1,68	0,49	3,80	3,11
33	38	108,30	3,16	4,83	0,32	3,85	3,07
33	39	109,60	3,87	3,30	0,32	1,43	7,64
34	39	111,40	3,61	6,78	0,14	1,16	7,71
34	40	112,85	2,89	5,24	0,14	9,36	3,28
35	40	114,73	2,90	1,57	0,31	9,30	3,44
35	41	116,33	2,17	3,12	0,31	5,94	0,20
36	41	116,35	2,17	2,20	0,31	5,94	0,10
36	42	118,11	1,43	0,62	0,31	8,06	2,81
39	43	126,65	0,15	2,56	0,09	6,58	3,48
39	44	128,71	0,89	4,16	0,09	1,02	2,62
40	44	128,77	1,12	0,19	0,00	1,07	2,60
40	45	130,99	1,88	1,43	0,00	0,00	0,00
159	17	128,49	0,06	8,05	0,24	8,71	3,67
159	122	127,53	0,31	7,25	0,24	14,76	3,57
160	122	119,39	0,92	5,37	0,19	14,96	3,60
160	18	118,44	1,29	6,16	0,19	10,41	2,73
165	115	126,46	0,04	7,29	0,23	12,27	3,63
165	43	126,46	0,04	7,29	0,23	6,51	3,60
166	42	117,99	1,27	5,51	0,19	8,11	2,67
166	115	117,99	1,27	5,51	0,19	12,46	3,67

Joapoolse kaare sisejõud koormusskeemis ULS 4

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
9	15	183,93	1,70	23,55	0,00	0,00	0,00
9	16	181,71	0,95	21,93	0,00	39,45	2,30
10	16	180,87	1,06	28,07	0,17	39,40	3,06
10	17	178,81	0,31	26,47	0,17	84,55	4,20
13	18	163,57	2,78	0,28	0,78	105,03	6,29
13	19	161,81	3,51	1,85	0,78	103,43	1,56
14	19	161,73	3,50	5,56	0,91	103,38	3,46
14	20	160,12	4,22	4,00	0,91	110,23	2,07
15	20	155,73	4,27	19,00	0,77	110,25	0,11
15	21	154,28	4,99	20,54	0,77	83,27	6,42
16	21	153,12	2,59	14,72	0,18	84,00	4,81
16	22	151,83	1,88	16,25	0,18	63,86	1,91
17	22	152,53	2,15	7,06	0,10	63,89	0,85
17	23	151,38	1,44	8,58	0,10	54,19	1,37
18	23	140,06	0,27	0,47	0,32	54,73	2,41
18	24	139,07	0,43	1,05	0,32	54,39	2,32
19	24	121,74	0,89	12,99	0,44	54,35	3,10
19	25	120,90	1,60	14,50	0,44	38,74	1,69
20	25	111,95	2,34	7,68	0,63	39,14	2,37
20	26	111,26	1,64	9,18	0,63	29,93	4,55
21	26	111,62	2,59	0,20	0,50	29,87	4,90
21	27	111,09	1,89	1,30	0,50	29,29	7,27
22	27	91,69	1,46	7,65	0,22	30,22	7,97
22	28	91,31	2,16	6,16	0,22	37,33	6,10
23	28	75,36	3,21	21,38	0,06	37,29	6,32
23	29	75,13	3,90	22,86	0,06	14,94	2,72
24	29	77,01	3,14	15,72	0,00	16,48	3,49
24	30	76,93	3,83	17,20	0,00	0,00	0,00
25	30	78,23	5,70	8,36	0,00	0,26	0,12
25	31	78,31	6,40	9,85	0,00	9,38	6,18
26	31	79,35	1,90	5,89	0,50	9,72	6,28
26	32	79,58	1,21	7,38	0,50	16,42	4,71
27	32	79,82	1,02	25,10	0,75	16,45	4,56
27	33	80,20	0,32	26,59	0,75	43,06	3,87
28	33	87,99	0,21	19,18	0,68	43,51	3,64
28	34	88,53	0,91	20,67	0,68	64,57	4,23
29	34	89,96	0,06	13,15	0,43	64,62	3,53
29	35	90,65	0,64	14,65	0,43	79,80	3,85
30	35	96,06	0,41	7,78	0,13	80,01	2,92
30	36	96,90	1,11	9,29	0,13	89,71	3,78

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
31	36	98,60	0,63	6,09	0,17	89,75	2,54
31	37	99,59	1,34	7,60	0,17	97,86	3,71
32	37	104,48	1,71	1,29	0,38	98,03	2,26
32	38	105,63	2,42	2,81	0,38	100,56	4,82
33	38	105,61	2,10	3,56	0,44	100,63	3,18
33	39	106,91	2,82	2,02	0,44	97,00	6,38
34	39	108,05	1,35	6,25	0,27	97,30	4,75
34	40	109,50	0,63	4,70	0,27	89,83	3,40
35	40	109,88	0,57	6,35	0,20	89,87	1,78
35	41	111,49	0,16	4,80	0,20	81,88	1,49
36	41	111,15	0,31	9,84	0,16	81,90	0,04
36	42	112,91	1,05	8,27	0,16	68,27	0,98
39	43	112,30	0,57	14,42	0,00	50,13	0,99
39	44	114,36	0,17	12,82	0,00	27,58	1,33
40	44	113,86	0,70	16,69	0,00	27,54	1,86
40	45	116,07	1,45	15,07	0,00	0,00	0,00
159	17	177,69	0,61	33,12	0,49	84,46	5,82
159	122	176,74	0,24	32,33	0,49	110,29	6,16
160	122	164,37	2,19	6,26	0,47	110,39	6,18
160	18	163,42	2,56	7,05	0,47	105,13	4,30
165	115	112,75	0,99	10,20	0,06	58,19	0,76
165	43	112,75	0,99	10,20	0,06	50,14	0,02
166	42	112,47	1,35	12,89	0,08	68,27	0,32
166	115	112,47	1,35	12,89	0,08	58,10	0,74

Allavoolu kaare sisejõud koormusskeemis ULS 1

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
41	46	194,92	0,94	2,34	0,00	0,00	0,00
41	47	192,71	1,69	3,96	0,00	5,46	2,28
42	47	192,73	2,11	2,63	0,09	5,42	2,39
42	48	190,67	2,85	1,03	0,09	2,39	6,49
45	49	139,52	4,39	10,35	0,60	8,13	5,29
45	50	137,77	3,65	11,92	0,60	24,88	0,76
46	50	138,17	3,47	5,73	0,58	24,89	0,32
46	51	136,57	2,74	7,28	0,58	34,21	4,77
47	51	136,66	2,70	0,70	0,33	34,29	4,17
47	52	135,21	1,98	2,24	0,33	36,30	7,36
48	52	151,81	2,63	5,52	0,18	36,73	6,65
48	53	150,51	3,35	3,99	0,18	30,55	2,76
49	53	150,00	2,75	13,14	0,43	30,59	2,23
49	54	148,85	3,46	11,62	0,43	15,23	1,61

Varras	Sölm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
50	54	158,96	4,86	18,00	0,42	15,42	1,95
50	55	157,97	4,16	16,48	0,42	5,01	3,39
51	55	125,57	4,40	5,66	0,63	4,97	3,43
51	56	124,73	5,10	7,16	0,63	2,31	1,97
52	56	144,29	0,98	0,18	0,55	2,69	2,20
52	57	143,61	1,68	1,32	0,55	3,30	3,65
53	57	143,21	0,35	10,79	0,27	3,26	3,72
53	58	142,68	1,05	9,30	0,27	7,36	4,46
54	58	140,52	9,24	17,85	0,10	6,04	5,01
54	59	140,14	8,54	16,36	0,10	23,65	4,14
55	59	128,22	3,58	13,75	0,03	23,63	4,27
55	60	127,99	4,28	15,24	0,03	8,98	0,30
56	60	128,82	1,48	5,08	0,02	7,35	0,43
56	61	128,75	0,79	6,56	0,02	1,52	0,71
57	61	128,71	0,63	7,32	0,00	0,00	0,00
57	62	128,79	1,32	5,84	0,00	6,59	0,98
58	62	127,88	4,43	16,00	0,08	8,50	0,11
58	63	128,11	3,73	14,51	0,08	23,92	4,02
59	63	139,74	8,53	16,03	0,02	23,94	3,89
59	64	140,12	9,22	17,52	0,02	6,67	5,24
60	64	142,27	1,28	9,10	0,36	8,09	4,65
60	65	142,80	0,59	10,59	0,36	2,32	3,66
61	65	143,18	1,90	1,49	0,65	2,36	3,60
61	66	143,86	1,20	0,01	0,65	1,55	1,90
62	66	123,71	5,14	7,30	0,71	1,10	1,64
62	67	124,55	4,44	5,80	0,71	6,33	3,79
63	67	157,13	4,27	16,90	0,47	6,38	3,75
63	68	158,12	4,98	18,42	0,47	14,54	1,73
64	68	148,23	3,37	12,09	0,45	14,25	1,37
64	69	149,37	2,66	13,61	0,45	30,19	2,36
65	69	149,91	3,26	4,49	0,20	30,14	2,88
65	70	151,21	2,55	6,02	0,20	36,98	6,65
66	70	134,78	2,01	1,71	0,33	36,47	7,40
66	71	136,23	2,73	0,16	0,33	35,20	4,16
67	71	136,16	2,76	6,72	0,58	35,11	4,78
67	72	137,77	3,49	5,17	0,58	26,59	0,30
68	72	137,39	3,66	11,34	0,60	26,58	0,77
68	73	139,15	4,40	9,77	0,60	10,70	5,30
71	74	188,83	2,83	0,29	0,09	4,77	6,41
71	75	190,90	2,08	1,90	0,09	6,58	2,35
72	75	190,85	1,66	4,63	0,00	6,63	2,22

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
72	76	193,07	0,90	3,01	0,00	0,00	0,00
149	48	190,49	3,06	8,20	0,34	2,26	6,53
149	114	189,53	3,43	7,41	0,34	3,90	9,09
150	114	139,93	5,13	15,20	0,38	4,08	9,06
150	49	138,98	4,76	15,99	0,38	8,23	5,15
167	73	138,63	4,76	15,40	0,38	10,80	5,11
167	121	138,63	4,76	15,40	0,38	1,36	8,87
168	121	188,69	3,05	7,40	0,34	1,20	8,90
168	74	188,69	3,05	7,40	0,34	4,64	6,49

Allavoolu kaare sisejõud koormusskeemis ULS 2

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
41	46	110,06	0,04	3,64	0,00	0,00	0,00
41	47	107,84	0,79	5,26	0,00	7,71	0,72
42	47	107,96	1,08	1,57	0,04	7,70	0,87
42	48	105,89	1,83	3,17	0,04	11,62	3,28
45	49	73,09	2,48	2,27	0,41	14,66	3,24
45	50	71,33	1,74	3,84	0,41	19,26	0,06
46	50	71,44	1,69	0,63	0,42	19,26	0,41
46	51	69,83	0,97	2,19	0,42	21,28	1,50
47	51	69,76	0,94	1,08	0,34	21,31	1,13
47	52	68,31	0,22	0,46	0,34	20,88	1,92
48	52	74,24	0,13	2,66	0,17	21,07	1,52
48	53	72,94	0,85	1,13	0,17	18,60	0,88
49	53	72,74	0,57	5,56	0,07	18,61	0,58
49	54	71,59	1,28	4,03	0,07	12,67	0,56
50	54	76,51	1,92	7,13	0,02	12,89	0,83
50	55	75,52	1,22	5,62	0,02	5,34	1,03
51	55	63,43	1,33	0,45	0,09	5,35	0,95
51	56	62,59	2,03	1,05	0,09	5,69	0,96
52	56	71,93	0,02	2,47	0,12	6,18	1,24
52	57	71,25	0,68	0,97	0,12	4,30	1,60
53	57	70,92	0,01	6,97	0,02	4,28	1,65
53	58	70,38	0,71	5,48	0,02	2,30	2,03
54	58	69,18	4,70	9,41	0,10	1,24	2,48
54	59	68,80	4,01	7,92	0,10	10,16	2,01
55	59	62,86	1,28	4,66	0,03	10,15	2,07
55	60	62,63	1,97	6,15	0,03	4,69	0,43
56	60	62,90	1,09	1,40	0,02	3,38	0,17
56	61	62,82	0,39	2,89	0,02	1,24	0,58
57	61	62,78	0,28	3,88	0,00	0,00	0,00

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
57	62	62,85	0,98	2,39	0,00	3,14	0,63
58	62	62,49	2,13	7,11	0,02	4,73	0,10
58	63	62,72	1,43	5,62	0,02	11,16	1,90
59	63	68,55	4,15	7,89	0,03	11,17	1,84
59	64	68,93	4,84	9,38	0,03	2,28	2,79
60	64	70,17	0,97	5,65	0,12	3,45	2,29
60	65	70,70	0,27	7,14	0,12	3,31	1,63
61	65	71,05	0,95	1,15	0,22	3,33	1,58
61	66	71,74	0,25	2,65	0,22	5,41	0,93
62	66	61,42	1,99	0,86	0,16	4,83	0,62
62	67	62,26	1,29	0,65	0,16	4,71	1,24
63	67	74,41	1,27	5,93	0,04	4,70	1,31
63	68	75,40	1,98	7,44	0,04	12,61	0,61
64	68	70,60	1,17	4,39	0,04	12,29	0,31
64	69	71,74	0,46	5,91	0,04	18,68	0,71
65	69	71,96	0,74	1,55	0,15	18,66	1,01
65	70	73,26	0,03	3,08	0,15	21,67	1,51
66	70	67,52	0,25	0,01	0,34	21,41	1,94
66	71	68,97	0,97	1,56	0,34	22,48	1,11
67	71	69,07	0,99	1,68	0,42	22,46	1,50
67	72	70,67	1,71	0,12	0,42	21,17	0,44
68	72	70,60	1,76	3,29	0,40	21,18	0,06
68	73	72,35	2,49	1,72	0,40	17,41	3,25
71	74	103,70	1,80	3,95	0,04	14,13	3,20
71	75	105,76	1,06	2,35	0,04	8,91	0,83
72	75	105,62	0,76	5,96	0,00	8,93	0,66
72	76	107,83	0,00	4,34	0,00	0,00	0,00
149	48	105,94	2,02	0,82	0,19	11,56	3,50
149	114	104,98	2,39	0,03	0,19	11,22	5,24
150	114	73,89	2,98	4,43	0,26	10,91	5,18
150	49	72,93	2,61	5,23	0,26	14,72	2,97
167	73	72,22	2,62	4,65	0,26	17,47	2,93
167	121	72,22	2,62	4,65	0,26	13,80	5,00
168	121	103,77	2,00	0,04	0,19	14,09	5,05
168	74	103,77	2,00	0,04	0,19	14,06	3,47

Allavoolu kaare sisejõud koormusskeemis ULS 3

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
41	46	141,28	0,38	2,22	0,00	0,00	0,00
41	47	139,07	1,13	0,61	0,00	2,45	1,31
42	47	138,97	1,36	5,35	0,04	2,48	1,26

Varras	Sölm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
42	48	136,90	2,11	3,75	0,04	10,02	4,14
45	49	109,40	3,39	5,55	0,23	9,11	2,66
45	50	107,64	2,66	7,12	0,23	0,42	1,89
46	50	107,86	2,55	2,28	0,15	0,45	1,89
46	51	106,25	1,83	3,84	0,15	4,83	5,03
47	51	105,93	0,84	2,38	0,11	4,92	4,94
47	52	104,48	0,12	3,92	0,11	9,22	5,60
48	52	115,60	2,04	1,60	0,46	9,45	5,38
48	53	114,30	2,76	0,07	0,46	8,37	2,26
49	53	114,10	2,35	7,03	0,61	8,41	2,09
49	54	112,95	3,06	5,51	0,61	0,63	1,26
50	54	118,35	3,53	10,22	0,51	0,50	1,27
50	55	117,35	2,83	8,70	0,51	10,71	2,49
51	55	96,98	3,16	6,08	0,63	10,68	2,60
51	56	96,14	3,86	7,58	0,63	2,93	1,38
52	56	107,77	0,55	1,91	0,48	3,12	1,32
52	57	107,09	1,25	3,41	0,48	0,22	2,30
53	57	107,00	0,29	5,63	0,28	0,25	2,33
53	58	106,46	0,98	4,14	0,28	5,41	3,00
54	58	105,14	6,02	10,76	0,02	5,15	3,10
54	59	104,76	5,33	9,27	0,02	15,45	2,74
55	59	97,37	2,65	9,71	0,07	15,44	2,82
55	60	97,14	3,35	11,20	0,07	4,87	0,21
56	60	97,74	0,85	3,46	0,01	4,52	0,36
56	61	97,66	0,16	4,95	0,01	0,31	0,14
57	61	97,65	0,13	5,22	0,00	0,00	0,00
57	62	97,72	0,83	3,74	0,00	4,49	0,48
58	62	97,10	3,36	11,48	0,08	4,93	0,28
58	63	97,33	2,66	9,99	0,08	15,78	2,76
59	63	104,52	5,35	9,08	0,00	15,80	2,68
59	64	104,90	6,04	10,57	0,00	5,69	3,19
60	64	106,22	1,08	4,02	0,31	6,00	3,07
60	65	106,75	0,38	5,52	0,31	0,96	2,30
61	65	106,83	1,34	3,50	0,51	0,93	2,28
61	66	107,52	0,64	2,00	0,51	3,94	1,19
62	66	95,55	3,88	7,65	0,66	3,78	1,25
62	67	96,39	3,18	6,14	0,66	11,61	2,76
63	67	116,59	2,86	8,83	0,53	11,65	2,64
63	68	117,58	3,56	10,34	0,53	0,29	1,17
64	68	112,22	3,03	5,68	0,62	0,21	1,15
64	69	113,37	2,32	7,20	0,62	7,78	2,17

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
65	69	113,59	2,73	0,28	0,46	7,75	2,33
65	70	114,88	2,01	1,82	0,46	9,11	5,41
66	70	103,80	0,09	3,65	0,10	8,83	5,64
66	71	105,25	0,81	2,10	0,10	4,90	5,02
67	71	105,64	1,90	3,11	0,16	4,81	5,10
67	72	107,24	2,63	1,55	0,16	1,47	1,86
68	72	107,06	2,72	6,36	0,24	1,44	1,88
68	73	108,82	3,45	4,79	0,24	6,95	2,76
71	74	134,26	2,12	3,07	0,04	7,87	4,18
71	75	136,32	1,37	4,67	0,04	1,45	1,29
72	75	136,40	1,14	0,01	0,00	1,43	1,32
72	76	138,61	0,38	1,63	0,00	0,00	0,00
149	48	136,66	2,20	8,90	0,17	10,10	3,94
149	114	135,71	2,57	8,11	0,17	16,82	5,82
150	114	110,03	4,01	9,18	0,13	16,62	5,85
150	49	109,08	3,64	9,98	0,13	9,06	2,84
167	73	108,53	3,68	9,19	0,13	6,90	2,90
167	121	108,53	3,68	9,19	0,13	14,16	5,81
168	121	134,04	2,22	8,13	0,18	14,36	5,78
168	74	134,04	2,22	8,13	0,18	7,95	4,02

Allavoolu kaare sisejõud koormusskeemis ULS 4

Varras	Sõlm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
41	46	104,91	0,50	17,85	0,00	0,00	0,00
41	47	102,70	0,25	19,46	0,00	32,37	0,21
42	47	103,30	0,81	15,95	0,07	32,36	0,42
42	48	101,24	1,56	17,56	0,07	60,11	2,38
45	49	88,36	2,79	5,53	0,47	78,10	4,26
45	50	86,61	2,06	7,10	0,47	87,61	0,61
46	50	86,84	1,95	3,20	0,55	87,58	2,23
46	51	85,24	1,22	4,76	0,55	93,29	0,05
47	51	85,27	1,17	0,72	0,51	93,27	1,63
47	52	83,82	0,45	2,26	0,51	95,31	0,52
48	52	87,75	0,74	1,59	0,37	95,49	2,22
48	53	86,45	0,03	0,05	0,37	94,42	1,72
49	53	86,29	0,33	5,29	0,24	94,38	3,27
49	54	85,14	0,38	3,76	0,24	88,77	3,29
50	54	88,58	1,68	8,23	0,09	88,83	4,69
50	55	87,59	0,98	6,72	0,09	79,98	3,11
51	55	83,96	0,01	7,85	0,11	79,93	4,23
51	56	83,12	0,69	6,34	0,11	71,87	4,61

Varras	Sölm	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _x , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm
52	56	87,94	0,71	11,97	0,27	71,97	5,57
52	57	87,26	0,01	10,47	0,27	59,71	5,17
53	57	86,06	0,93	17,78	0,34	59,65	5,80
53	58	85,53	0,23	16,29	0,34	41,65	5,19
54	58	83,46	3,78	22,46	0,32	42,01	5,73
54	59	83,08	3,09	20,97	0,32	19,66	2,19
55	59	83,04	2,15	9,40	0,33	19,64	2,33
55	60	82,81	2,84	7,91	0,33	10,90	4,85
56	60	81,56	5,50	12,19	0,00	11,20	5,04
56	61	81,49	4,81	10,71	0,00	0,26	0,12
57	61	79,96	2,98	19,86	0,00	0,00	0,00
57	62	80,03	2,28	18,37	0,00	19,14	2,63
58	62	77,90	3,08	25,79	0,10	20,70	3,29
58	63	78,13	2,38	24,30	0,10	46,01	6,05
59	63	93,31	6,92	0,38	0,13	46,05	5,79
59	64	93,70	7,62	1,11	0,13	45,68	1,69
60	64	94,59	2,67	2,95	0,40	46,65	1,61
60	65	95,13	1,98	1,45	0,40	48,98	0,84
61	65	94,65	2,76	9,48	0,78	48,98	0,39
61	66	95,33	2,06	7,98	0,78	58,52	3,03
62	66	75,57	4,60	11,97	0,94	58,97	2,55
62	67	76,41	3,90	10,46	0,94	71,71	7,38
63	67	107,20	3,07	8,77	0,85	71,80	6,44
63	68	108,20	3,78	10,28	0,85	60,51	2,39
64	68	101,06	3,13	6,56	0,88	61,11	1,70
64	69	102,21	2,42	8,08	0,88	52,04	5,14
65	69	102,50	2,81	1,83	0,75	52,11	4,33
65	70	103,80	2,10	3,36	0,75	48,74	7,52
66	70	92,22	0,27	1,52	0,31	49,49	6,87
66	71	93,67	0,99	0,02	0,31	50,51	6,00
67	71	93,66	1,03	4,44	0,07	50,61	5,09
67	72	95,26	1,76	2,88	0,07	55,86	3,09
68	72	95,03	1,87	7,17	0,05	55,91	2,04
68	73	96,79	2,60	5,60	0,05	65,51	1,32
71	74	136,74	2,16	17,14	0,00	55,42	4,31
71	75	138,80	1,41	18,74	0,00	25,71	1,35
72	75	139,36	1,44	13,99	0,00	25,68	1,85
72	76	141,58	0,69	15,61	0,00	0,00	0,00
149	48	101,82	2,02	13,73	0,27	60,05	3,54
149	114	100,87	2,39	14,52	0,27	71,21	5,28
150	114	89,01	3,38	8,31	0,25	71,30	5,30

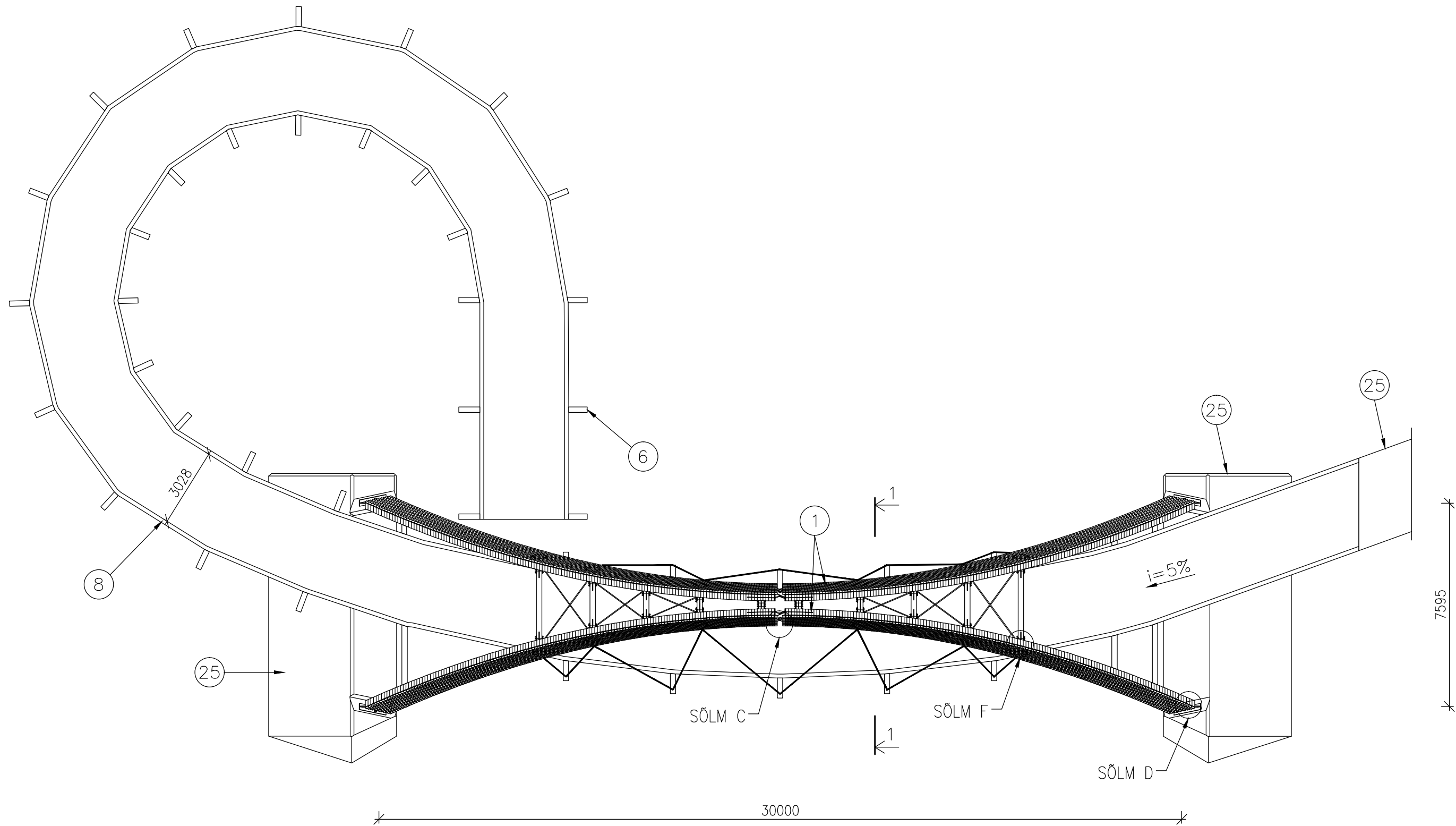
Varras	Sõlm	N_d , kN	$V_{y,d}$, kN	$V_{z,d}$, kN	M_x , kNm	$M_{y,d}$, kNm	$M_{z,d}$, kNm
150	49	88,06	3,01	9,10	0,25	78,17	2,78
167	73	96,48	2,83	9,52	0,03	65,47	2,58
167	121	96,48	2,83	9,52	0,03	72,99	4,82
168	121	136,00	1,99	22,28	0,06	73,08	4,80
168	74	136,00	1,99	22,28	0,06	55,49	3,23

GRAAFILINE OSA

Märkused silla joonistele:

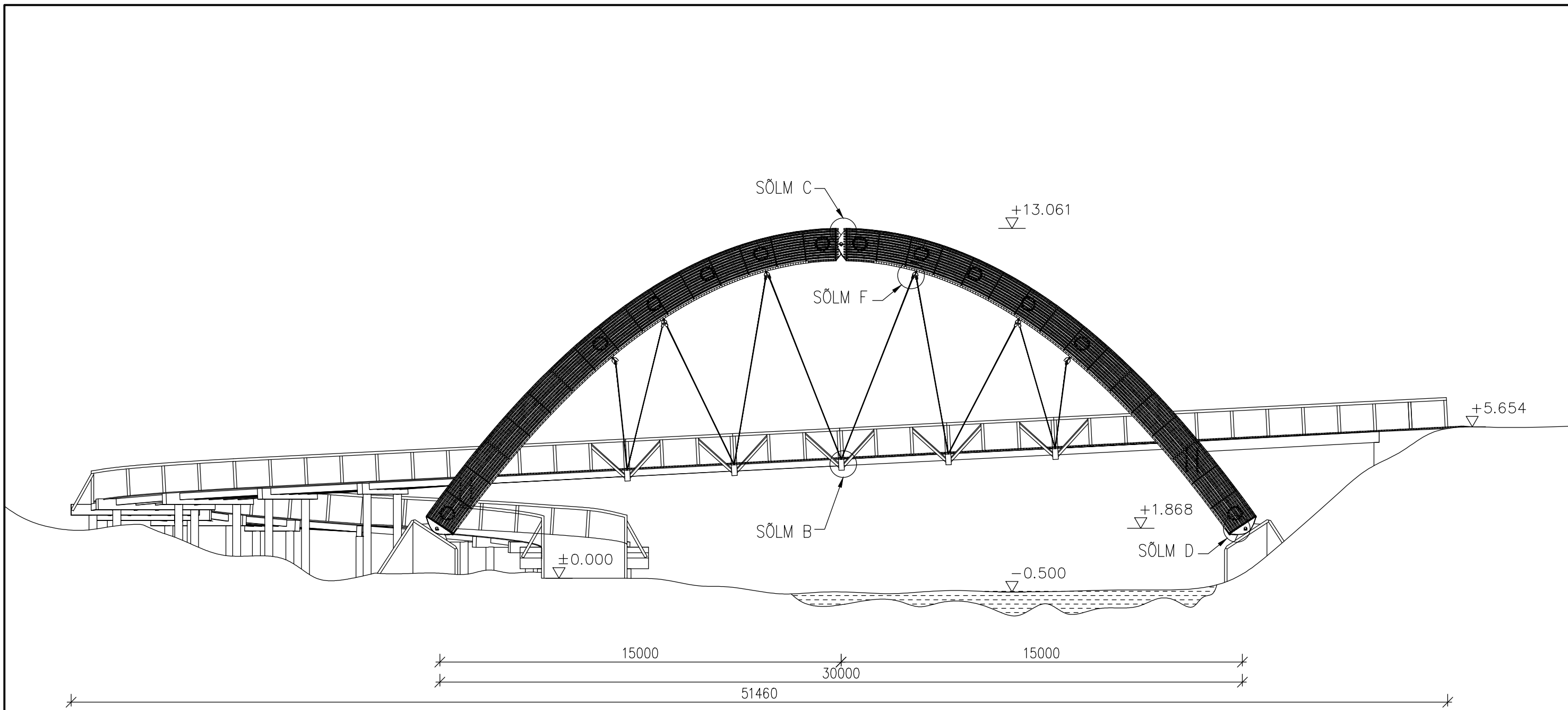
- täpsemad mõõdud saab võtta digitaalsetelt joonistelt;
- 2D sõlmejoonistel ei ole näidatud katteplekke ja -laudist;
- täpsuse huvides ei ole sõlmejoonistel näidatud taustale jäävaid konstruktsioone;
- kvaliteedinõuded on esitatud seletuskirjas peatükis 4.4;
- elementide parameetrid on toodud seletuskirjas peatükis 15.

Joonis 1.	Silla plaan	A3
Joonis 2.	Vaade joa poolt	A3
Joonis 3.	Vaade joa poole	A3
Joonis 4.	Vaated paremalt ja vasakult	A3
Joonis 5.	Sillateki lõige 1-1, sõlm A	A3
Joonis 6.	Lõige A-A	A3
Joonis 7.	Sõlm B – põiktala otsasõlm	A3
Joonis 8.	Sõlm C – kaare tipuliigend	A3
Joonis 9.	Sõlm D – kaare kannaliigend	A3
Joonis 10.	Sõlm E – põiktala ühendus kaarega	A3
Joonis 11.	Sõlm F – riputi ja põiksideme ühendused kaarega	A3
Joonis 12.	Kaare koormusskeemid	A4
Joonis 13.	Laudise sisejõudude epüürid	A4
Joonis 14.	Pikitala sisejõudude epüürid	A4
Joonis 15.	Põiktala sisejõudude epüürid	A3
Joonis 16.	Lihttala sisejõudude epüürid	A4



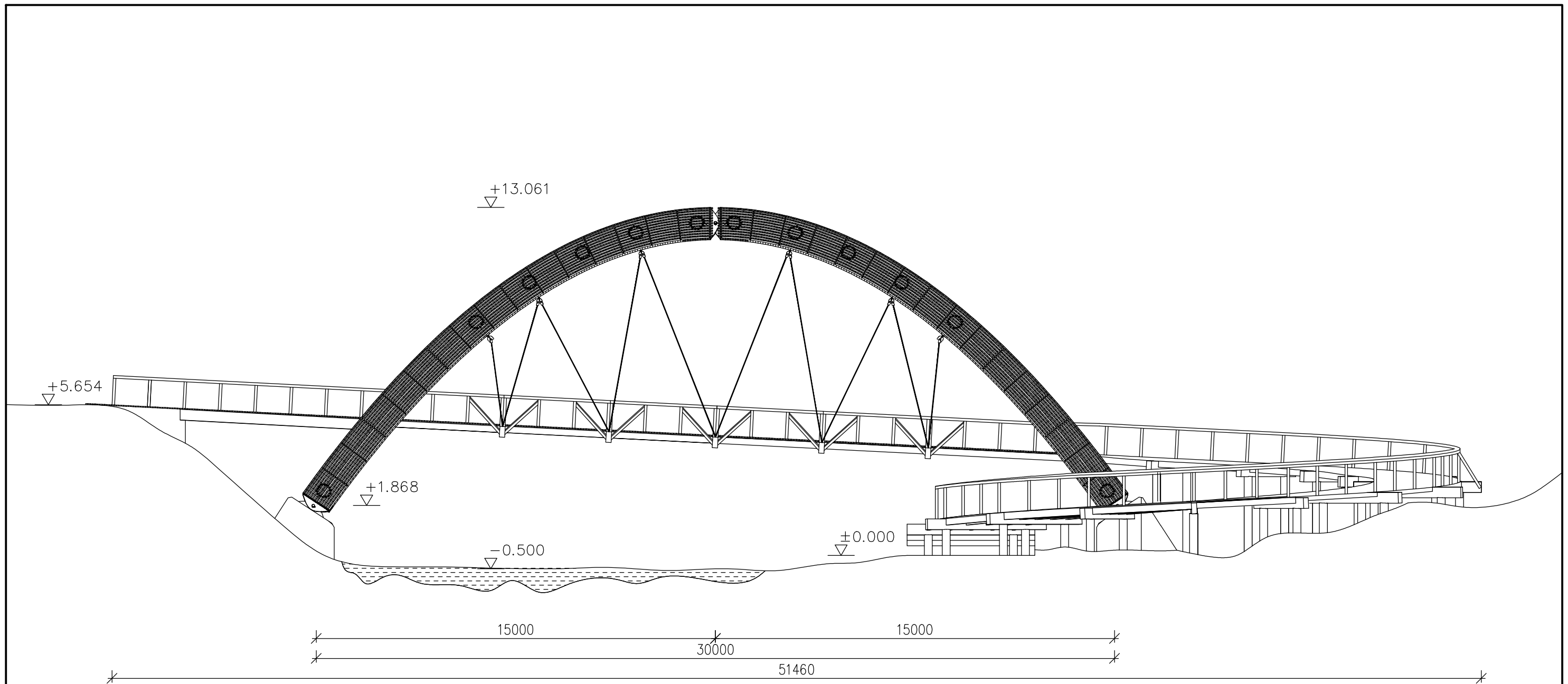
Märkused: Üldised märkused on toodud seletuskirjas peatükis "GRAAFILINE OSA"

LÕPUTÖÖ						
				Objekt:	Staad.	Lehti
Koostas	Kaisa Männamaa	20.05.15	JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	1	16
Juhendas	Karin Lellep					
Juhendas	Martti Kiisa		Joonis:	TALLINNA TEHNIKAKÕRKOOL		
			Silla plaan	Õpperühm EI - 81		
			M1:150			



Märkused: Üldised märkused on toodud seletuskirjas peatükis "GRAAFILINE OSA"

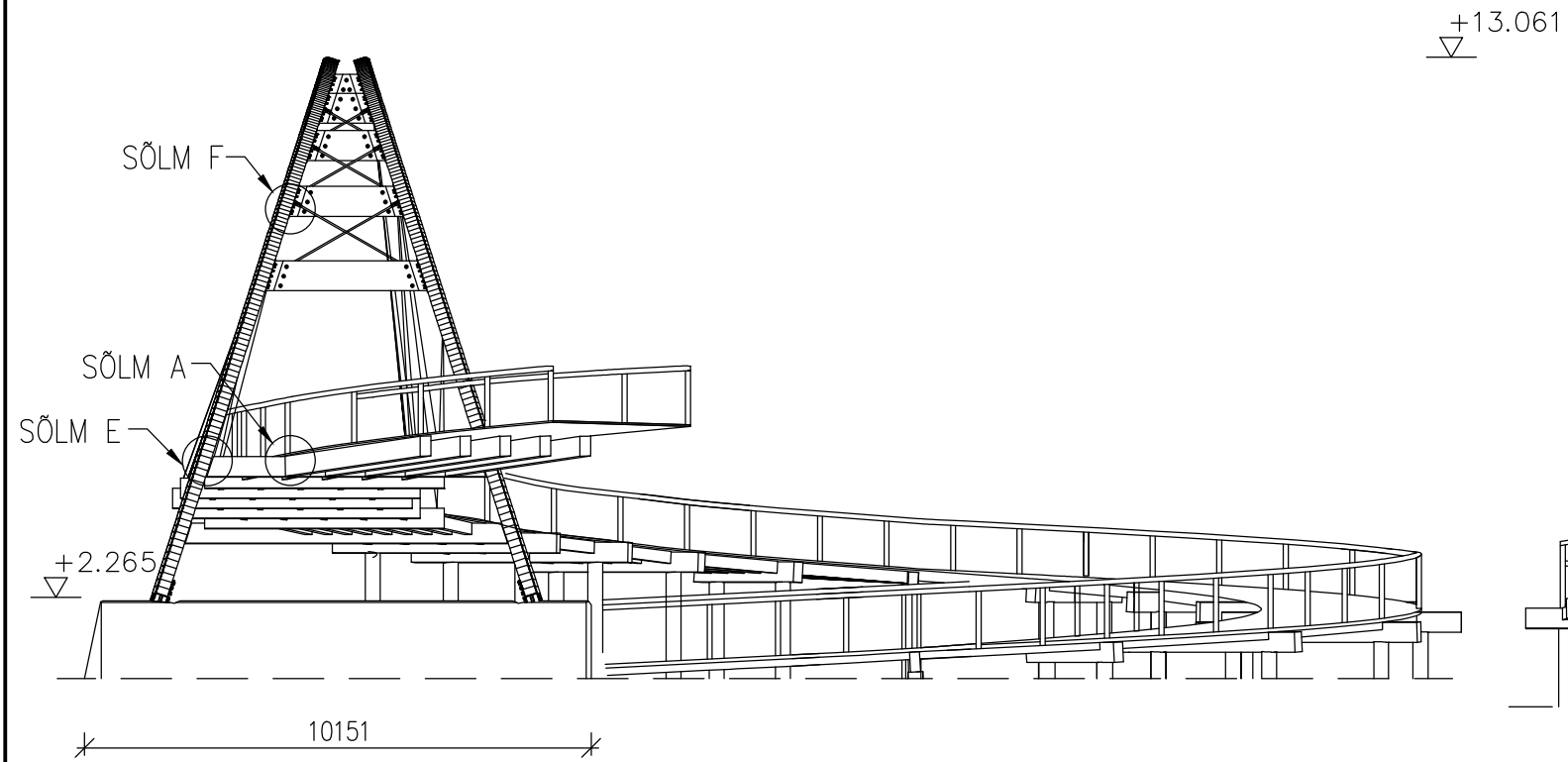
				LÕPUTÖÖ		
				Objekt:	Staad.	Lehti
Koostas	Rain Kimmel	20.05.15		JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	2
Juhendas	Karin Lellep					16
Juhendas	Martti Kiisa			Joonis:	TALLINNA TEHNIKAKÕRKOOL	
				Vaade joa poolt	Õpperühm EI - 81	
				M1:150		



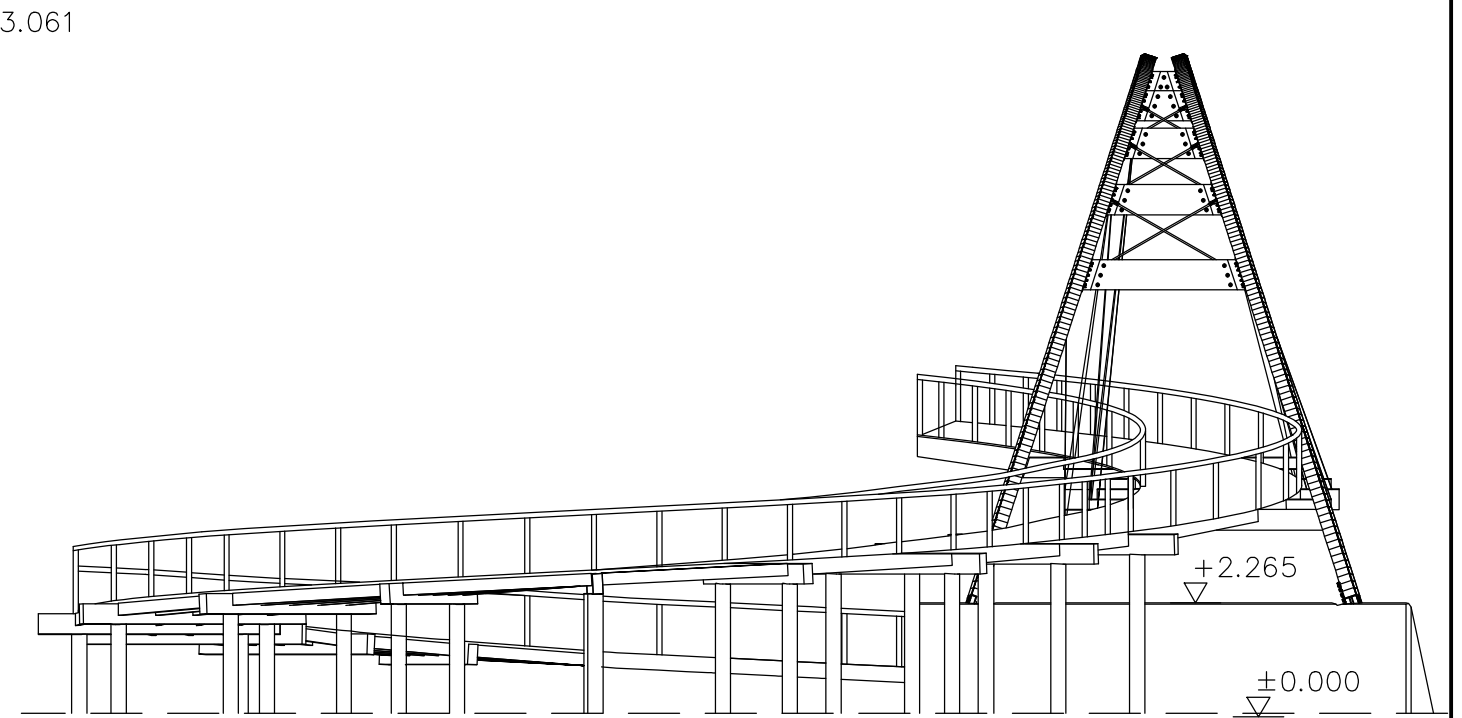
Märkused: Üldised märkused on toodud seletuskirjas peatükis "GRAAFILINE OSA"

				LÕPUTÖÖ			
				Objekt:	Staad.	Leht	Lehti
Koostas	Rain Kimmel	20.05.15		JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	3	16
Juhendas	Karin Lellep						
Juhendas	Martti Kiisa			Joonis:	TALLINNA TEHNIKAKÕRGMKOO		
				Vaade jõe poole	Õpperühm EI - 81		
				M1:150			

VAADE PAREMALT

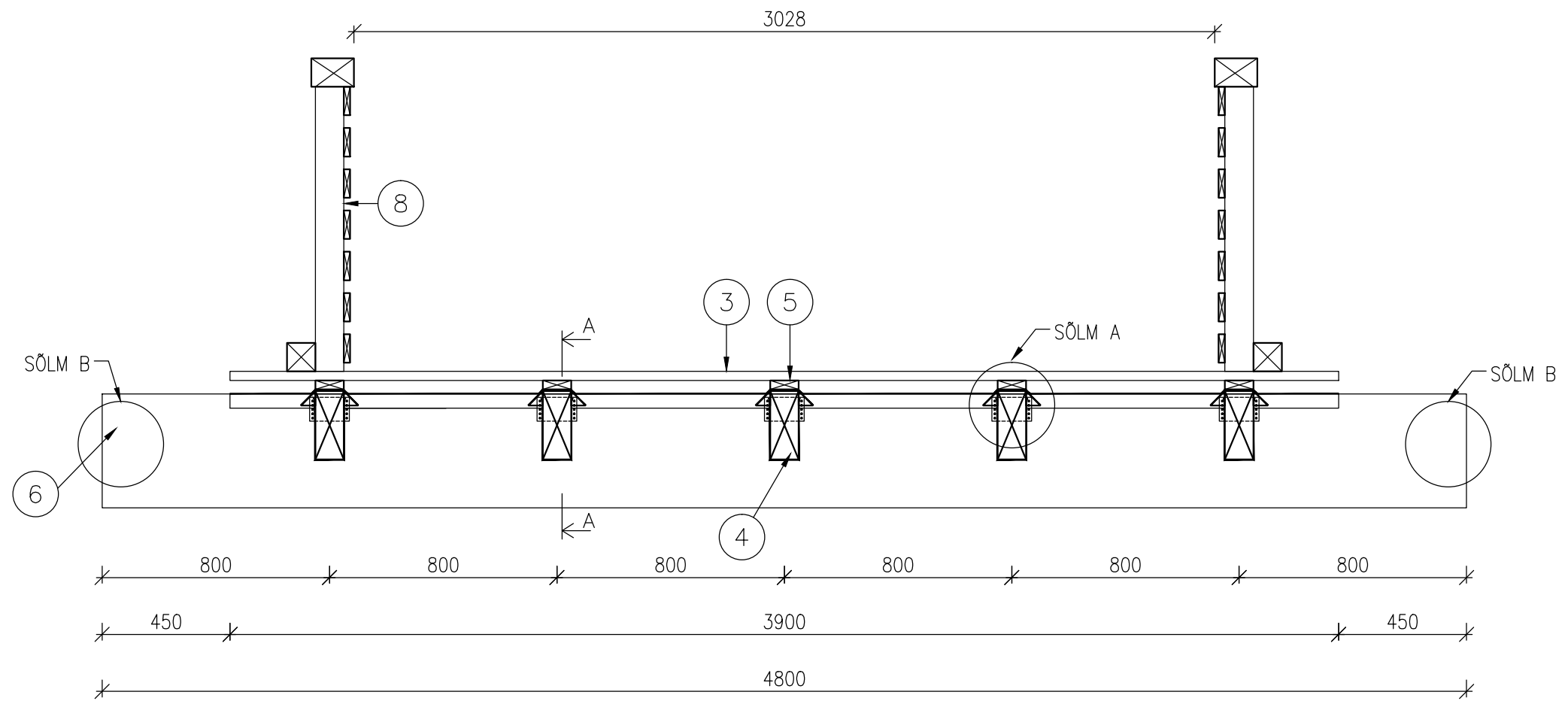


VAADE VASAKULT

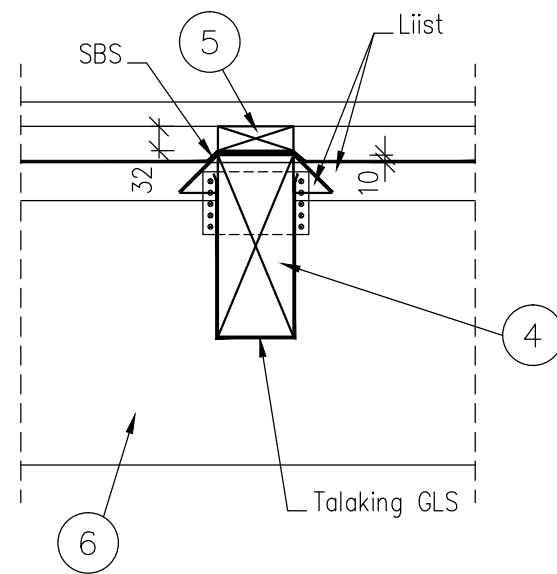


Märkused: Üldised märkused on toodud seletuskirjas peatükis "GRAAFILINE OSA"
Sillakonstruktsioon on vaadetel varjatud maapinna kontuuriga

LÕPUTÖÖ						
				Objekt:	Staad.	Lehti
Koostas	Kaisa Männamaa	20.05.15	JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	4	16
Juhendas	Karin Lellep					
Juhendas	Martti Kiisa		Joonis:	TALLINNA TEHNIKAKÕRGOOL		
			Vaated paremalt ja vasakult	Õpperühm EI - 81		
			M1:150			

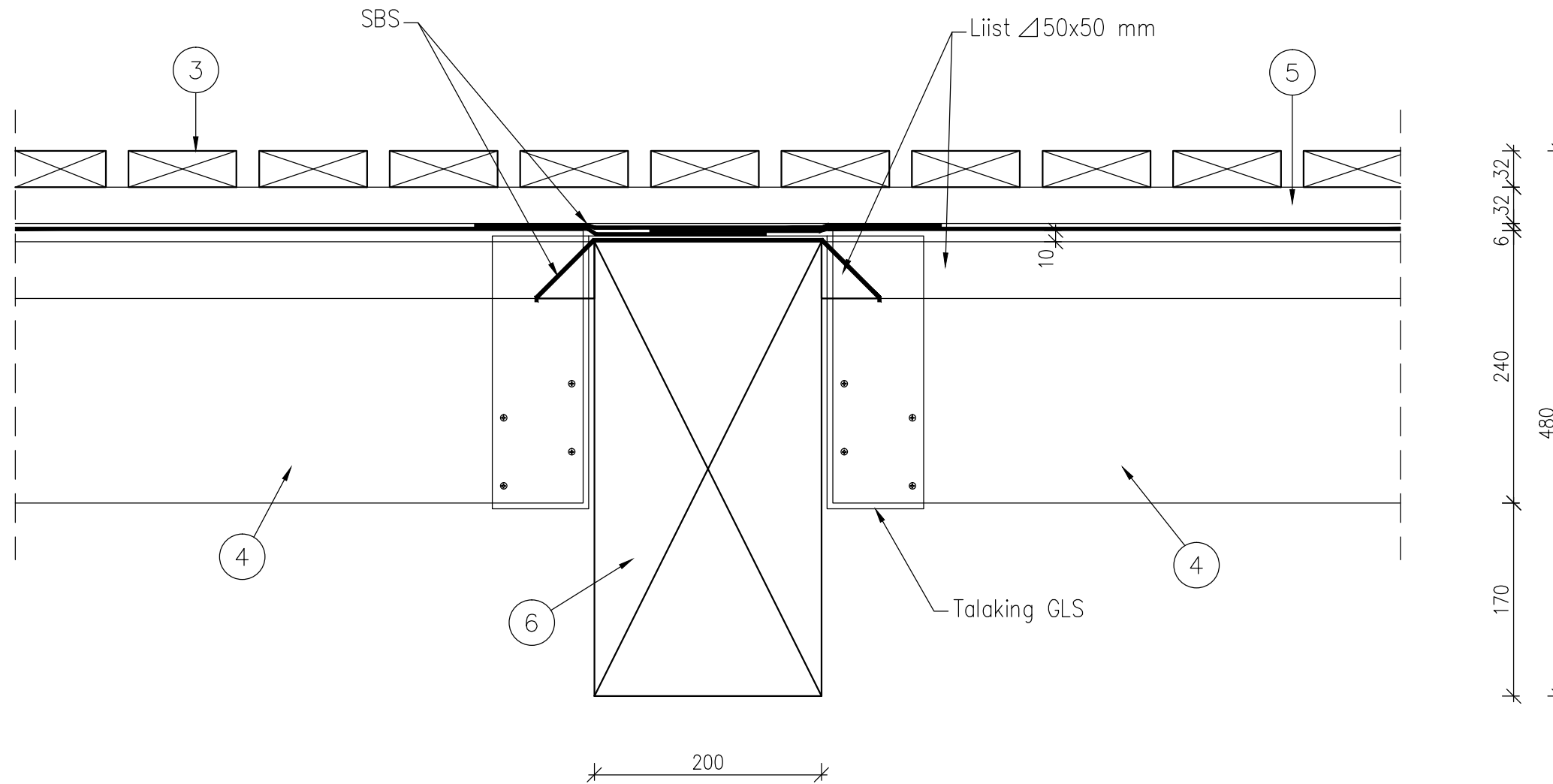


SÖLM A
M1:10



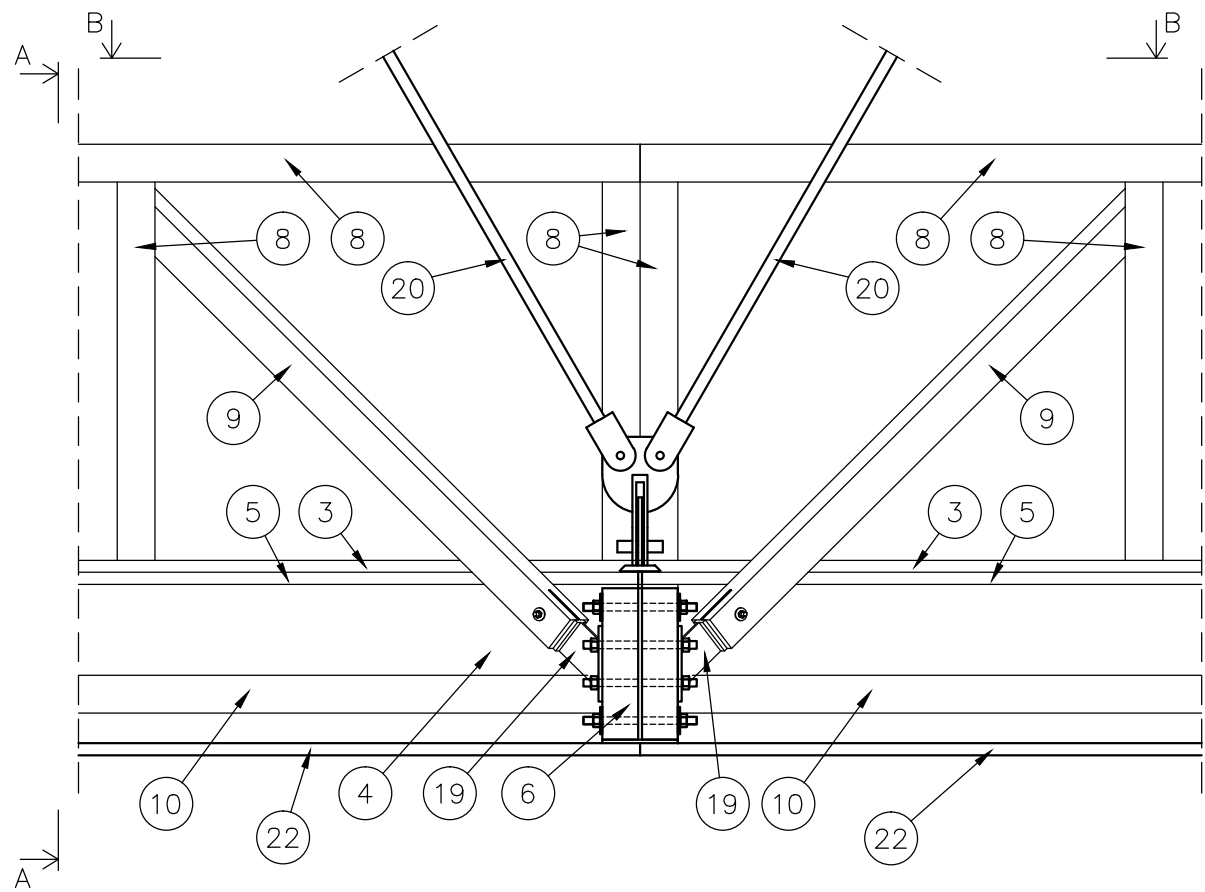
Märkused: Üldised märkused on toodud seletuskirjas peatükis "GRAAFILINE OSA"
Lõige A-A vt. joonis 6
SÖLM B vt. joonis 7

LÕPUTÖÖ						
				Objekt:	Staad.	Leht
Koostas	Rain Kimmel	20.05.15	JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	5	16
Juhendas	Karin Lellep			Joonis:	TALLINNA TEHNIKAKÕRKOOL	
Juhendas	Martti Kiisa			SILLATEKI LÕIGE 1-1, SÖLM A	Õpperühm EI - 81	
				M1:20		

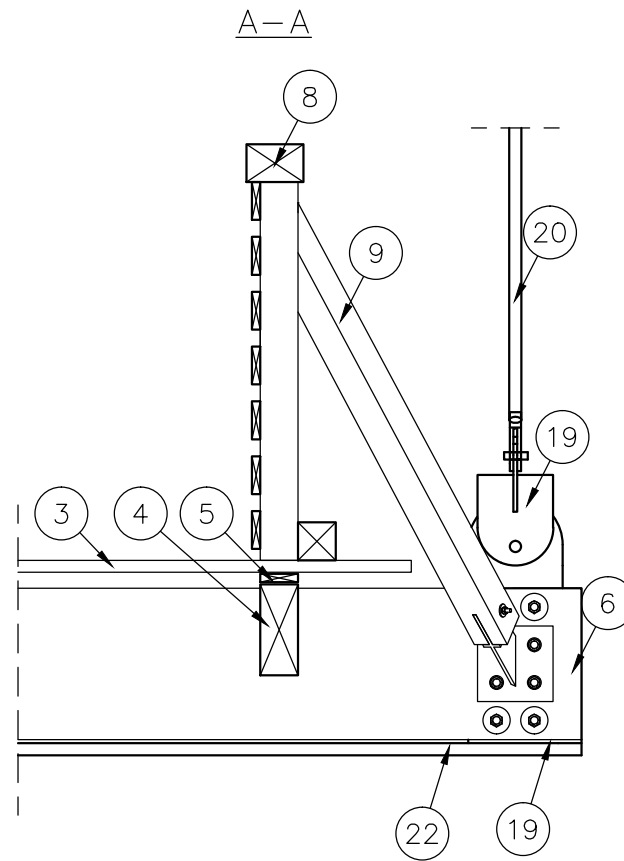


Märkused: SILLATEKI LÕIGE 1-1 vt. joonis 5

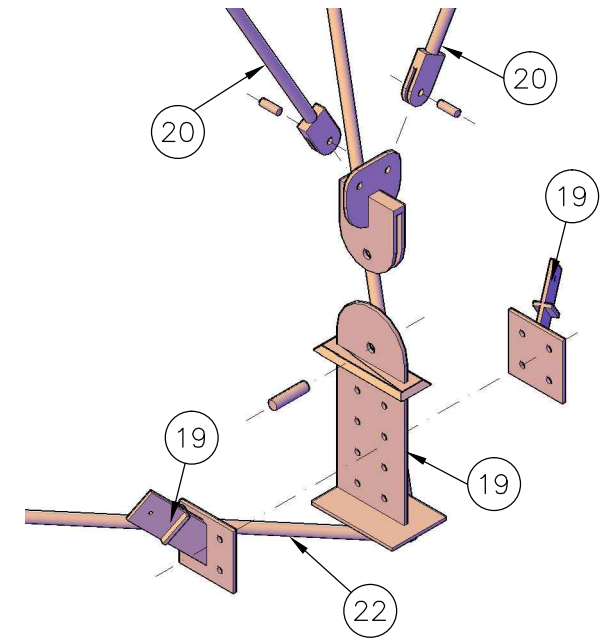
				LÕPUTÖÖ			
				Objekt:	Staad.	Leht	Lehti
Koostas	Kaisa Männamaa	20.05.15		JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	6	16
Juhendas	Karin Lellep						
Juhendas	Martti Kiisa			Joonis:	TALLINNA TEHNIKAKÕRGOOL Õpperühm EI - 81		
				Lõige A-A			
				M1:5			



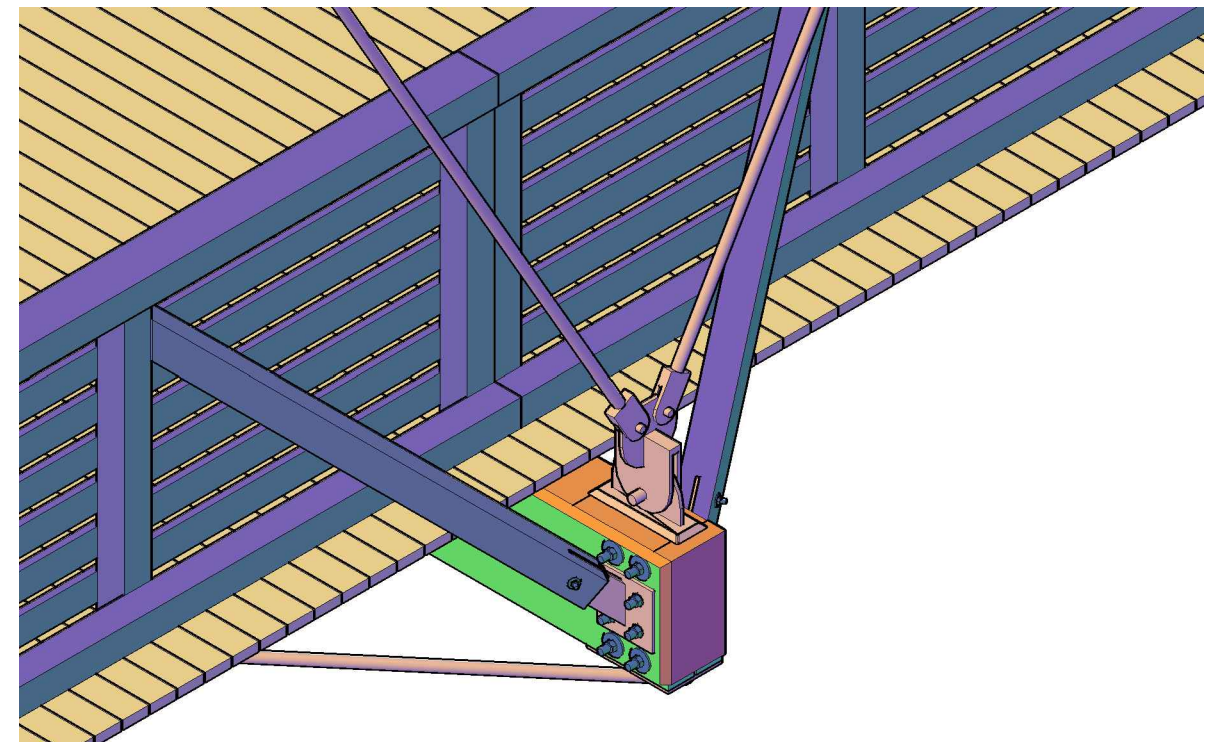
1100
400



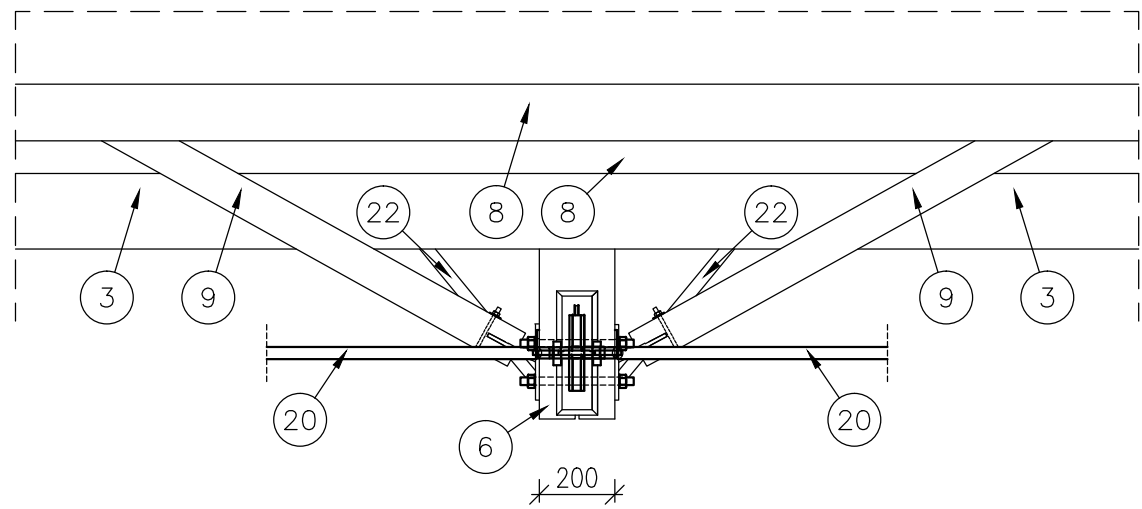
TERASELEMENDID



3D VAADE



B-B

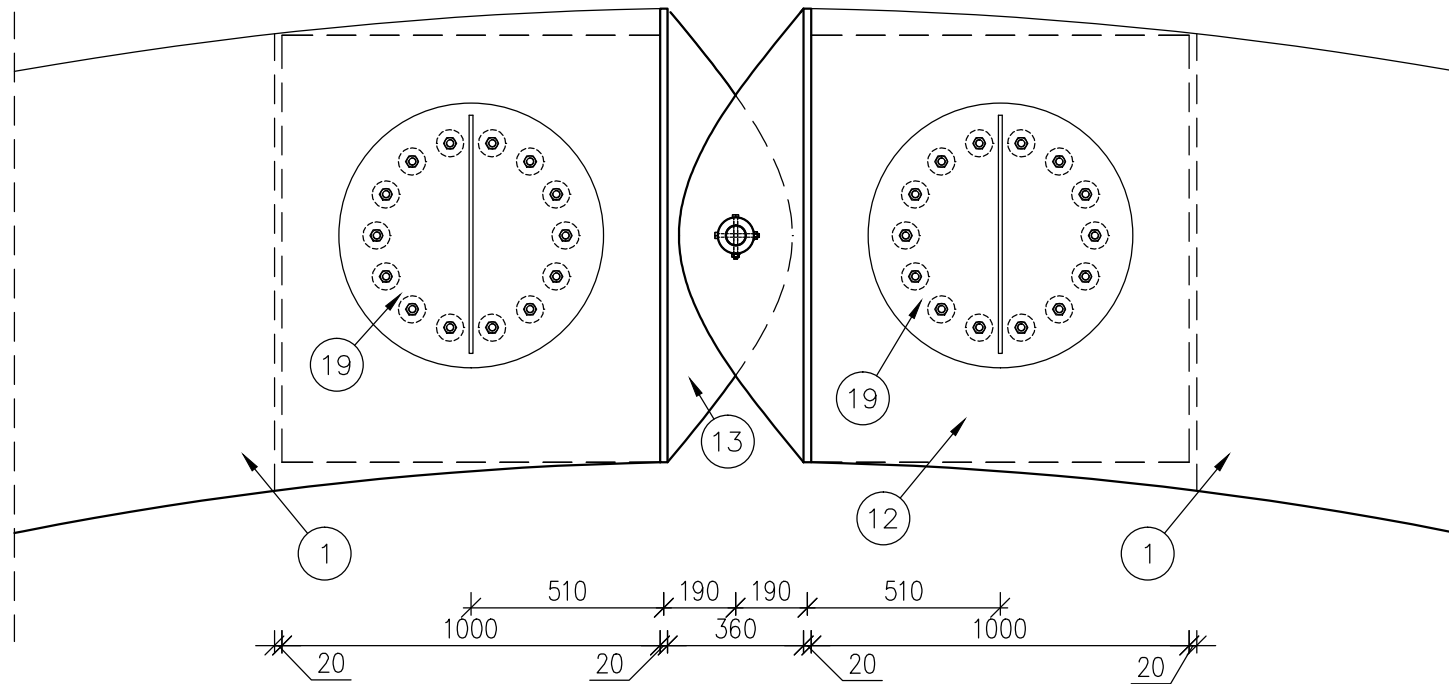


150
200
86
450

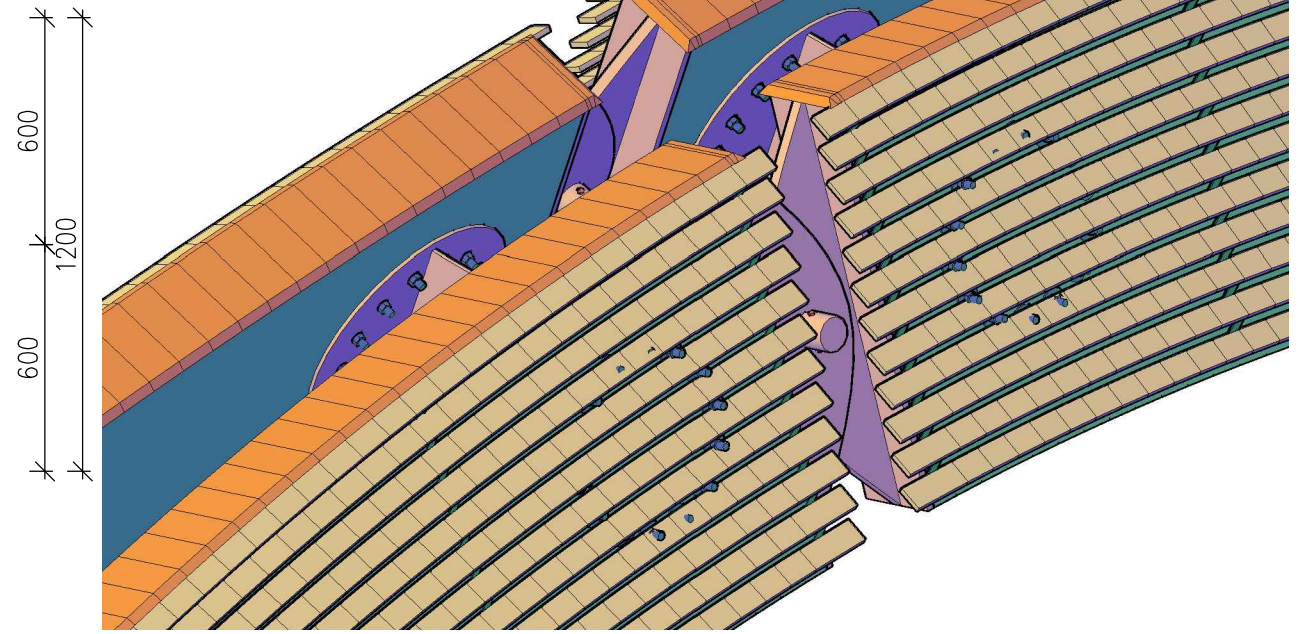
Märkused: Üldised märkused on toodud seletuskirjas peatükis "GRAAFILINE OSA"

LÕPUTÖÖ						
				Objekt:	Staad.	Lehti
Koostas	Rain Kimmel	20.05.15	JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	7	16
Juhendas	Martti Kiisa			Joonis:	TALLINNA TEHNIKAKÕRGOOL	
Juhendas	Karin Lellep			SÕLM B	Õpperühm EI - 81	
				M1:20		

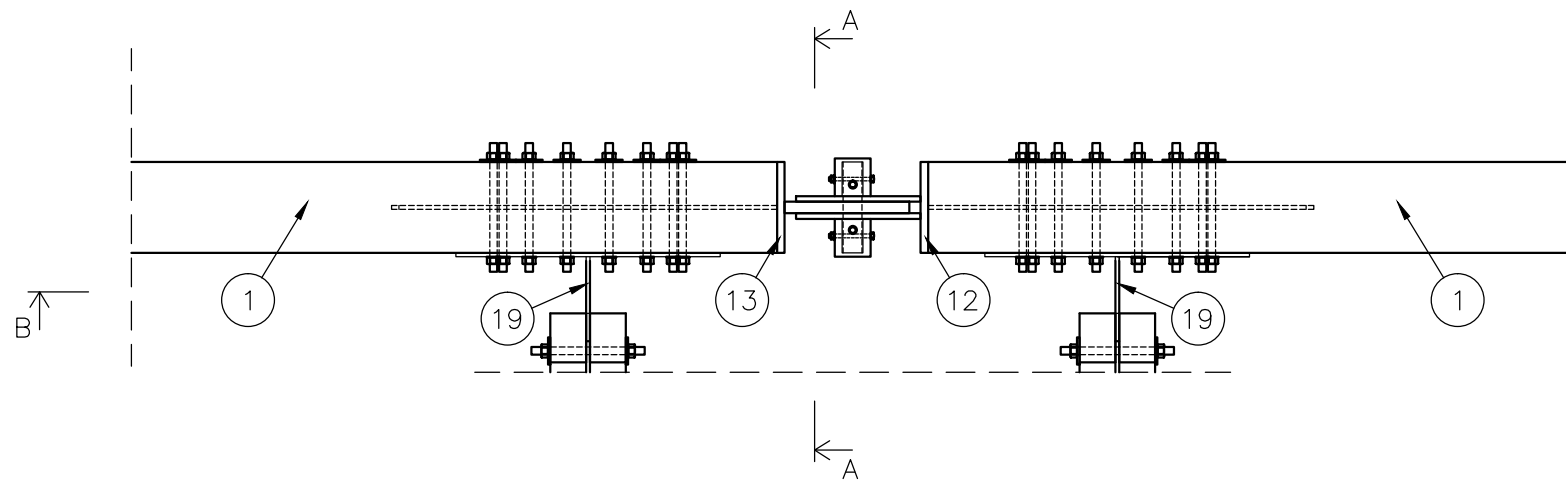
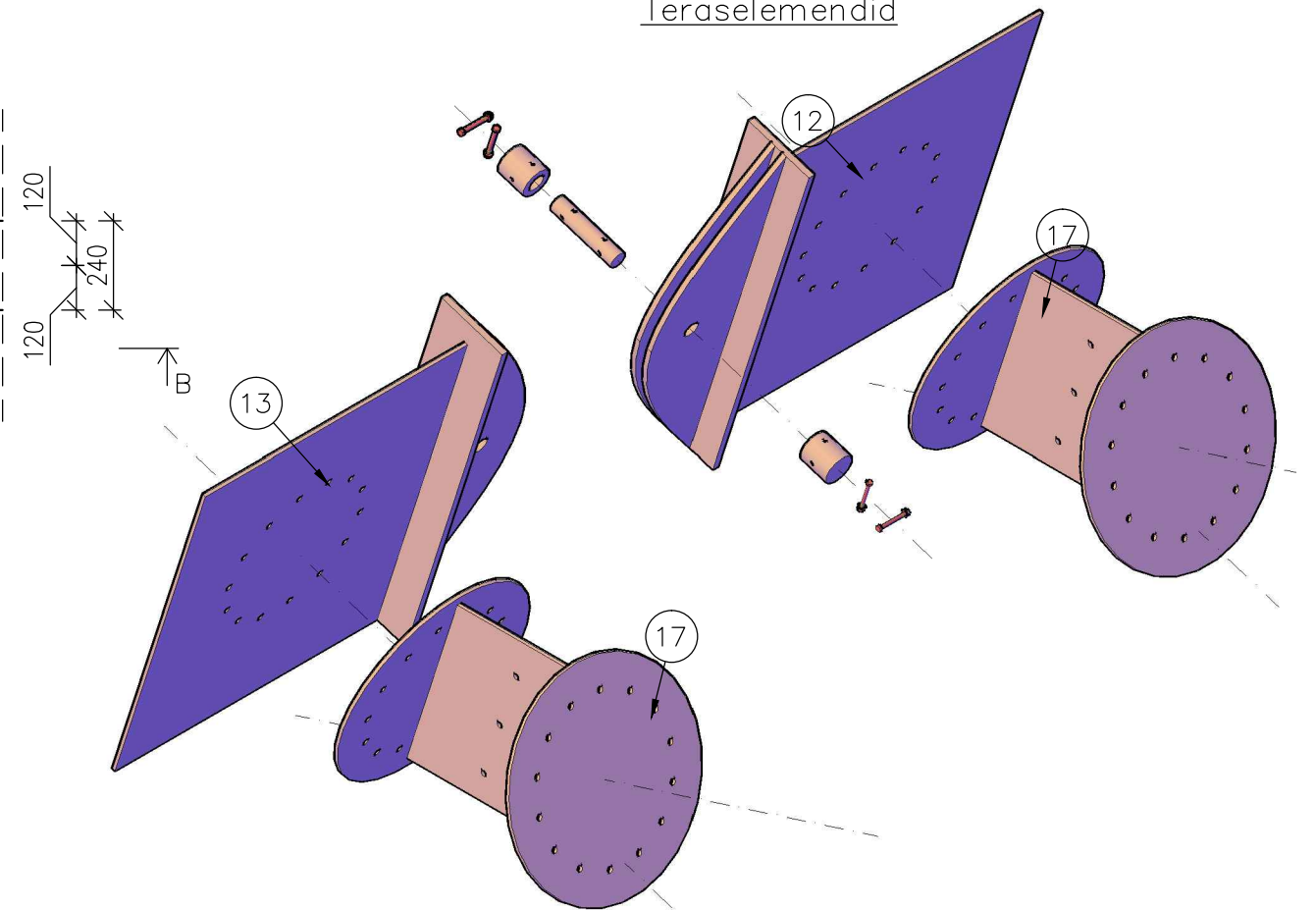
B-B



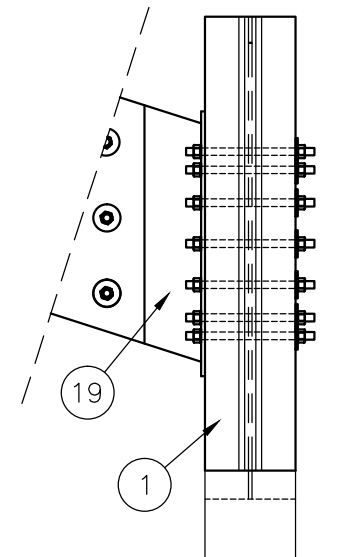
3D_VAADE



Teraselemendid



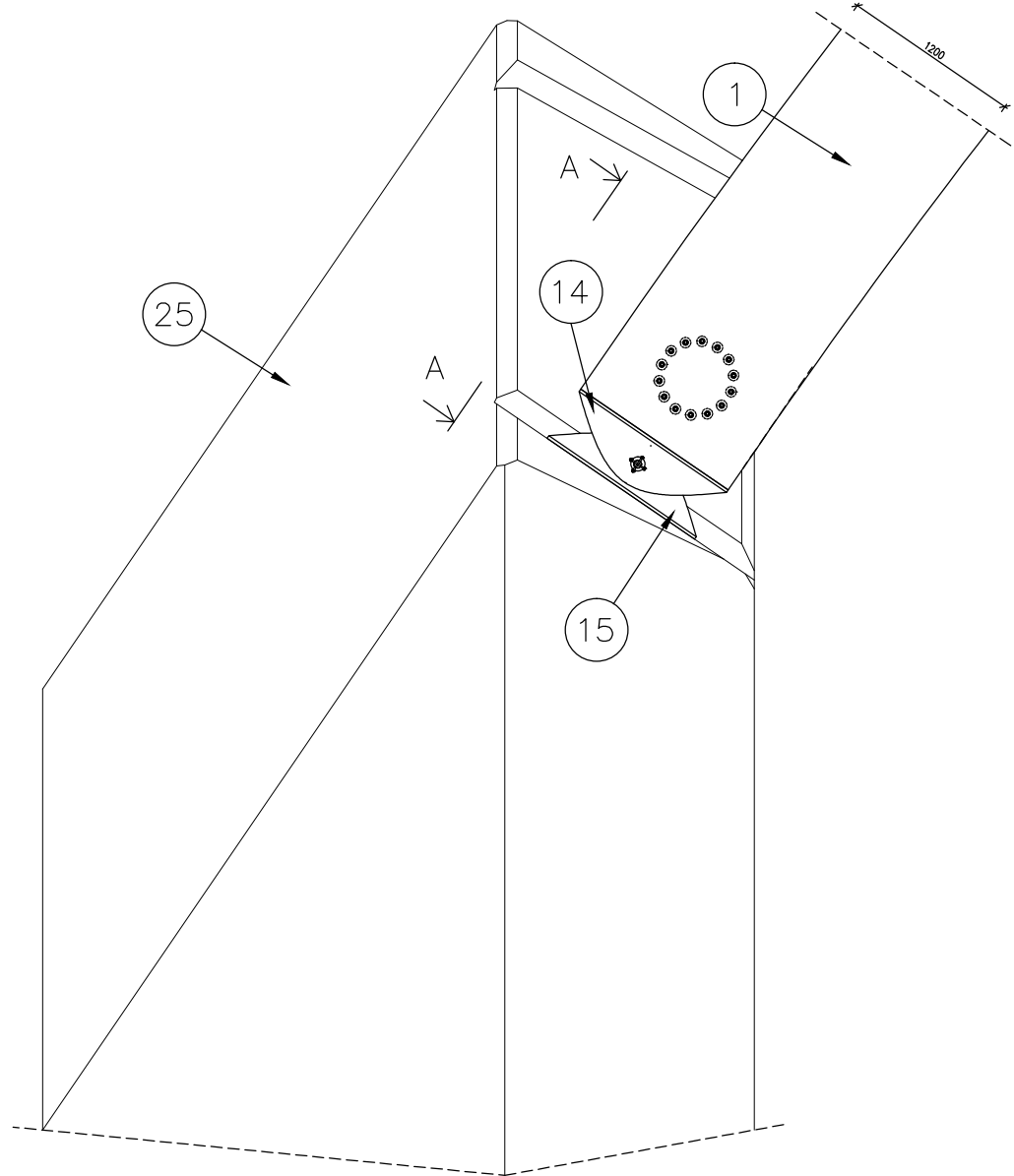
A-A



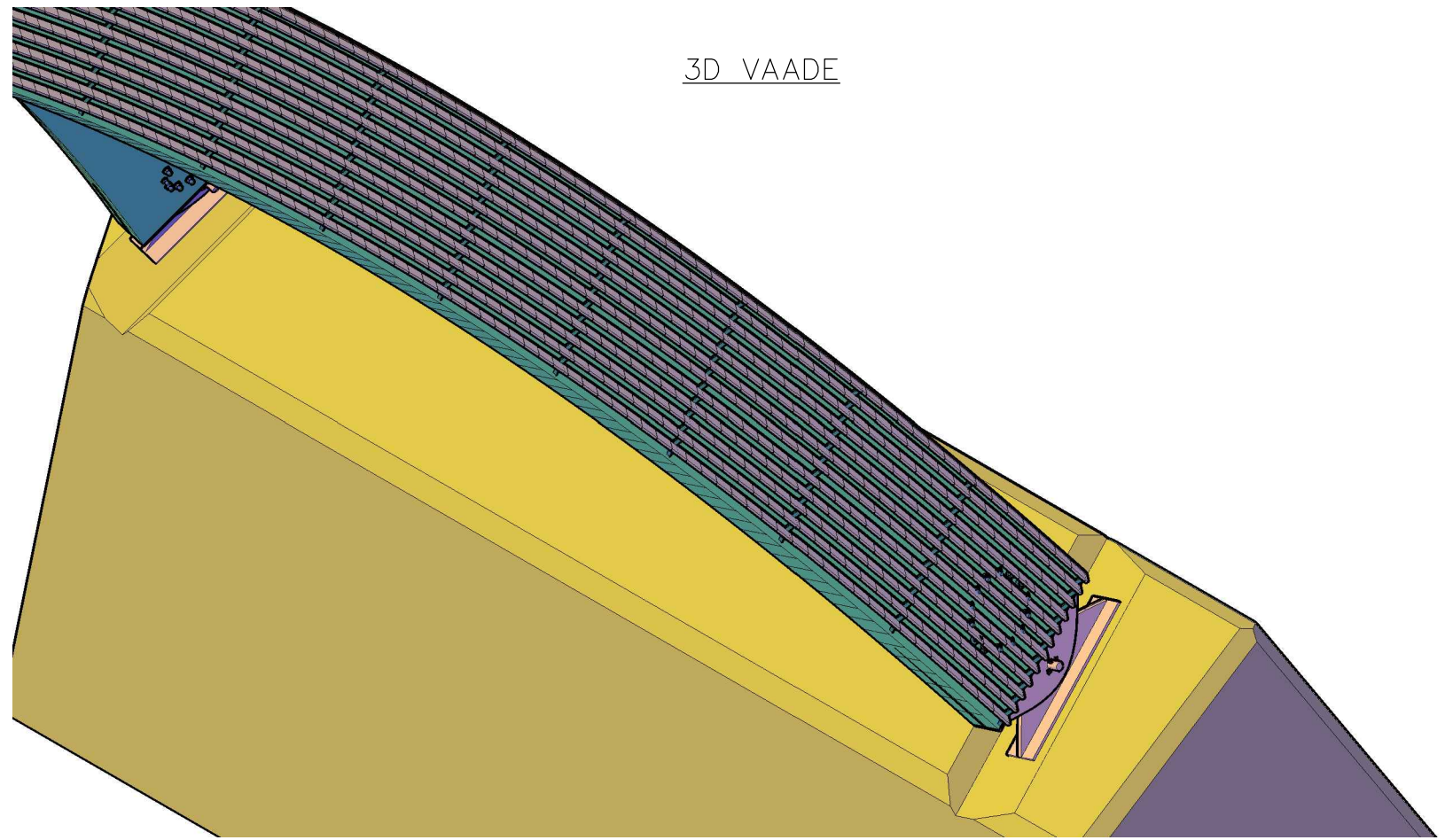
Märkused: Üldised märkused on toodud seletuskirjas peatükis "GRAAFILINE OSA"

LÕPUTÖÖ						
				Objekt:	Staad.	Leht
				JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	Lehti
Koostas	Rain Kimmel	20.05.15			8	16
Juhendas	Martti Kiisa					
Juhendas	Karin Lellep			Joonis:	TALLINNA TEHNIKAKÕRGOOL	
				SÕLM C	Õpperühm EI - 81	
				M1:20		

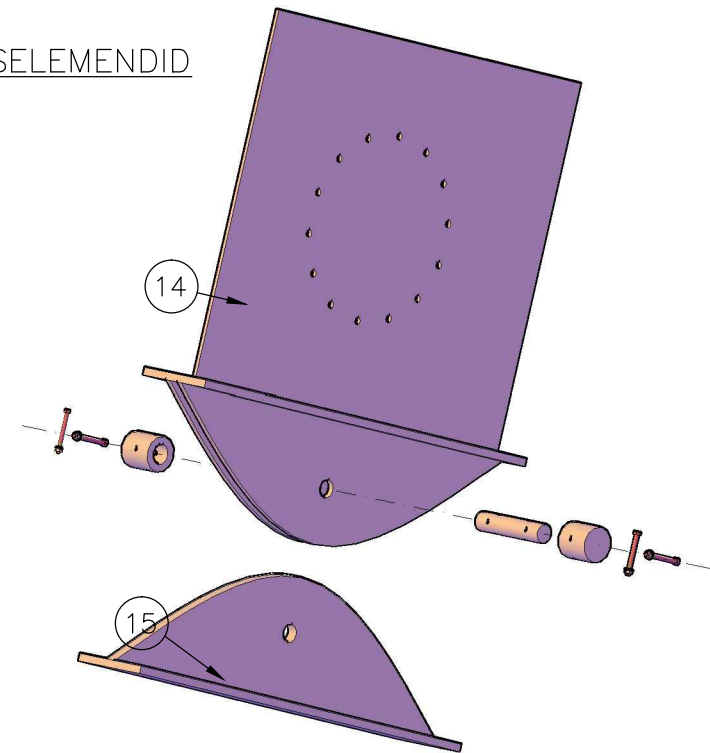
M1: 50



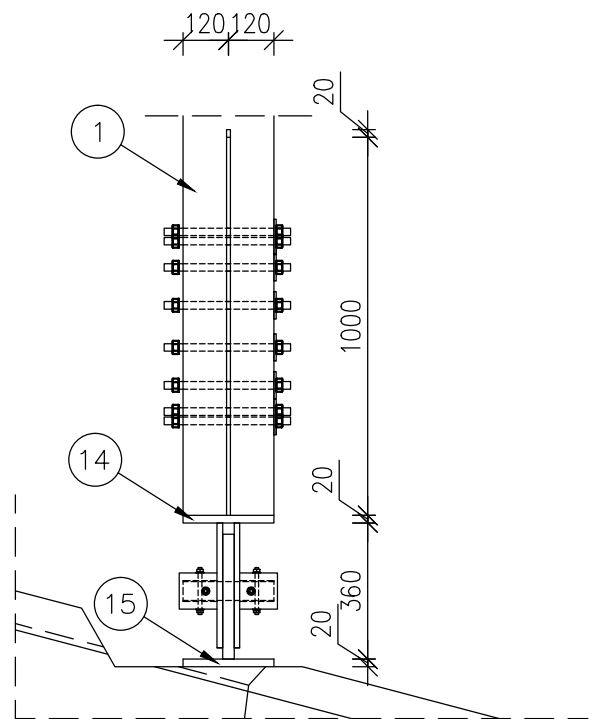
3D VAADE



TERASELEMENDID



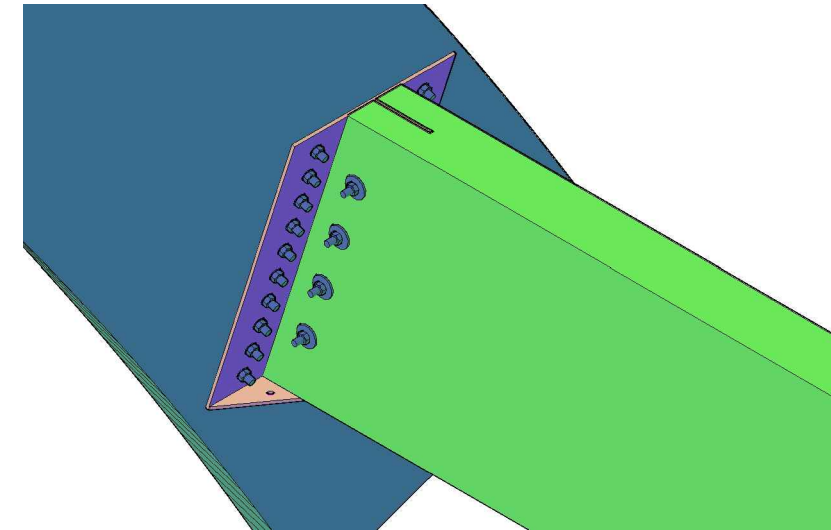
A-A



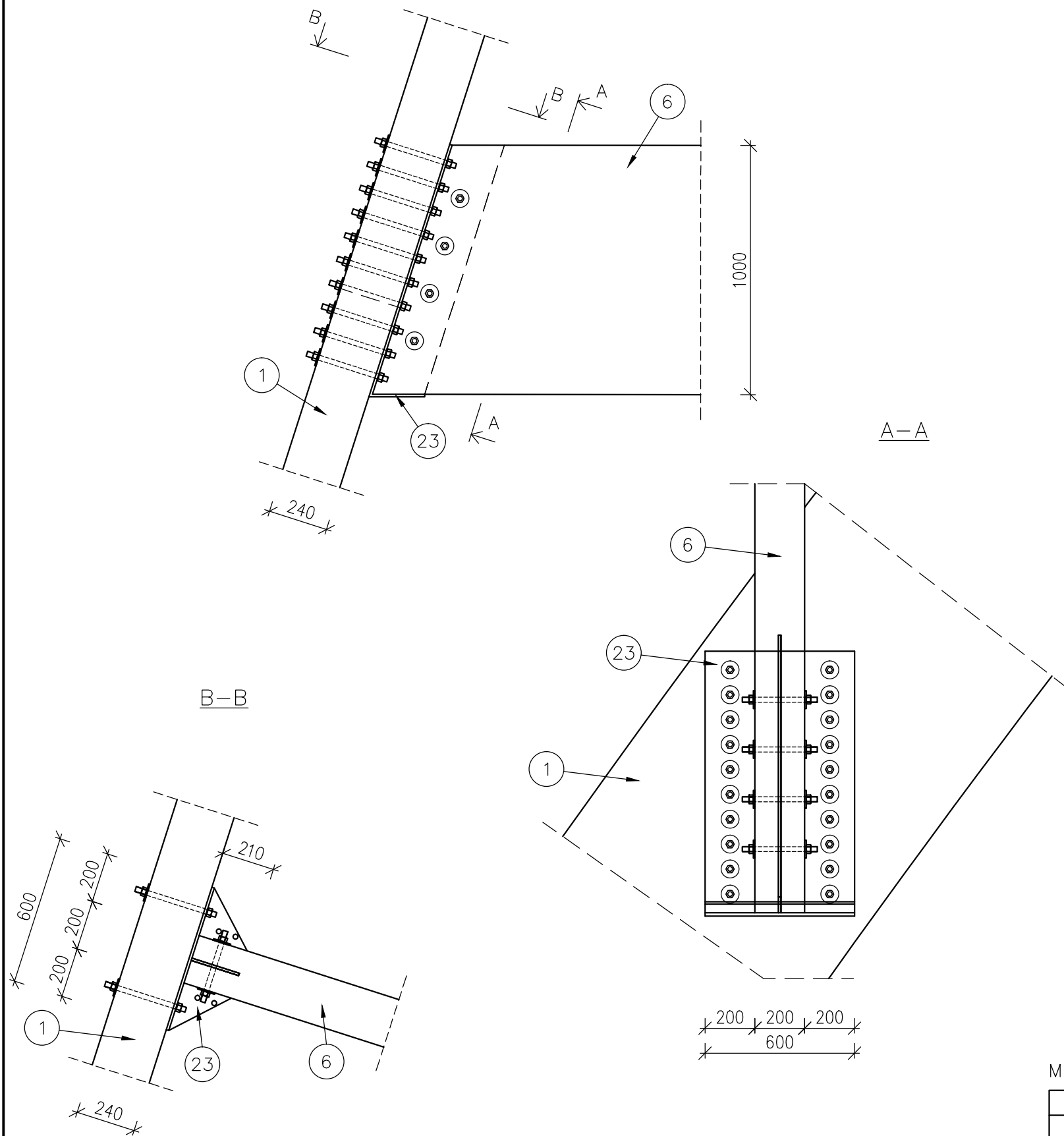
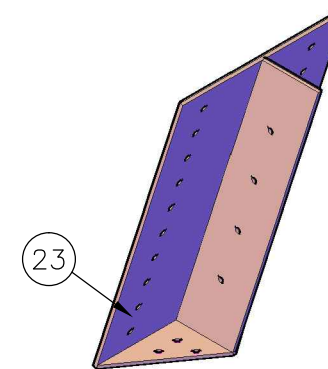
Märkused: Üldised märkused on toodud seletuskirjas peatükis "GRAAFILINE OSA"

				LÕPUTÖÖ			
				Objekt:	Staad.	Leht	Lehti
Koostas	Kaisa Männamaa	20.05.15	JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	9	16	
Juhendas	Martti Kiisa			TALLINNA TEHNIKAKÕRKOOL			
Juhendas	Karin Lellep		Joonis:	Õpperühm EI - 81			
			SÕLM D				
			M1:20				

3D_VAADE

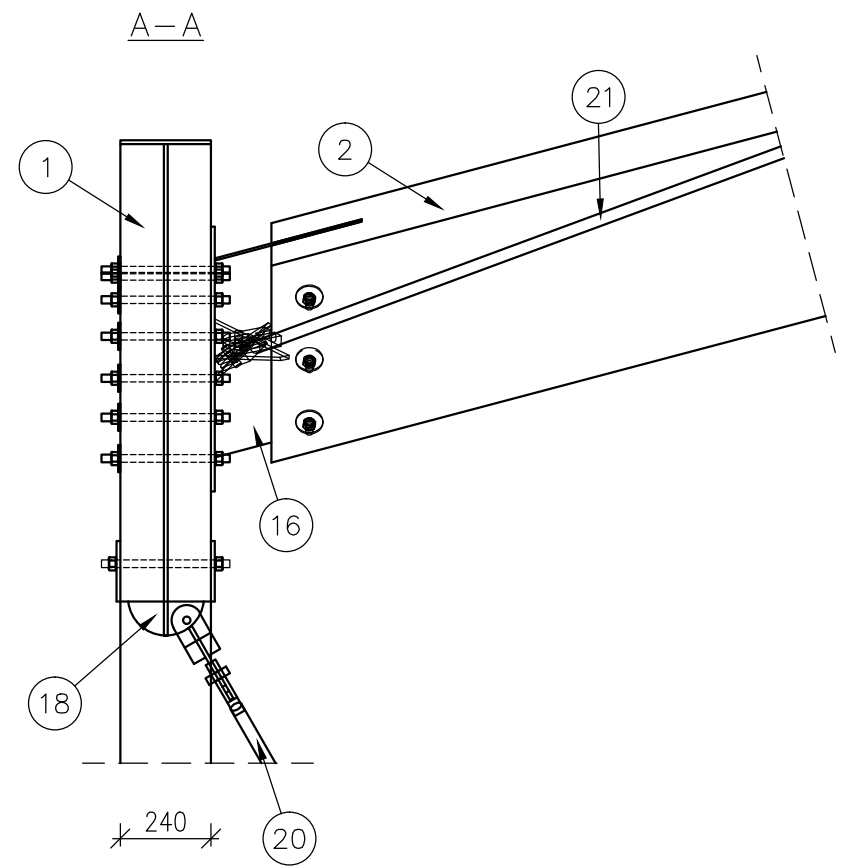
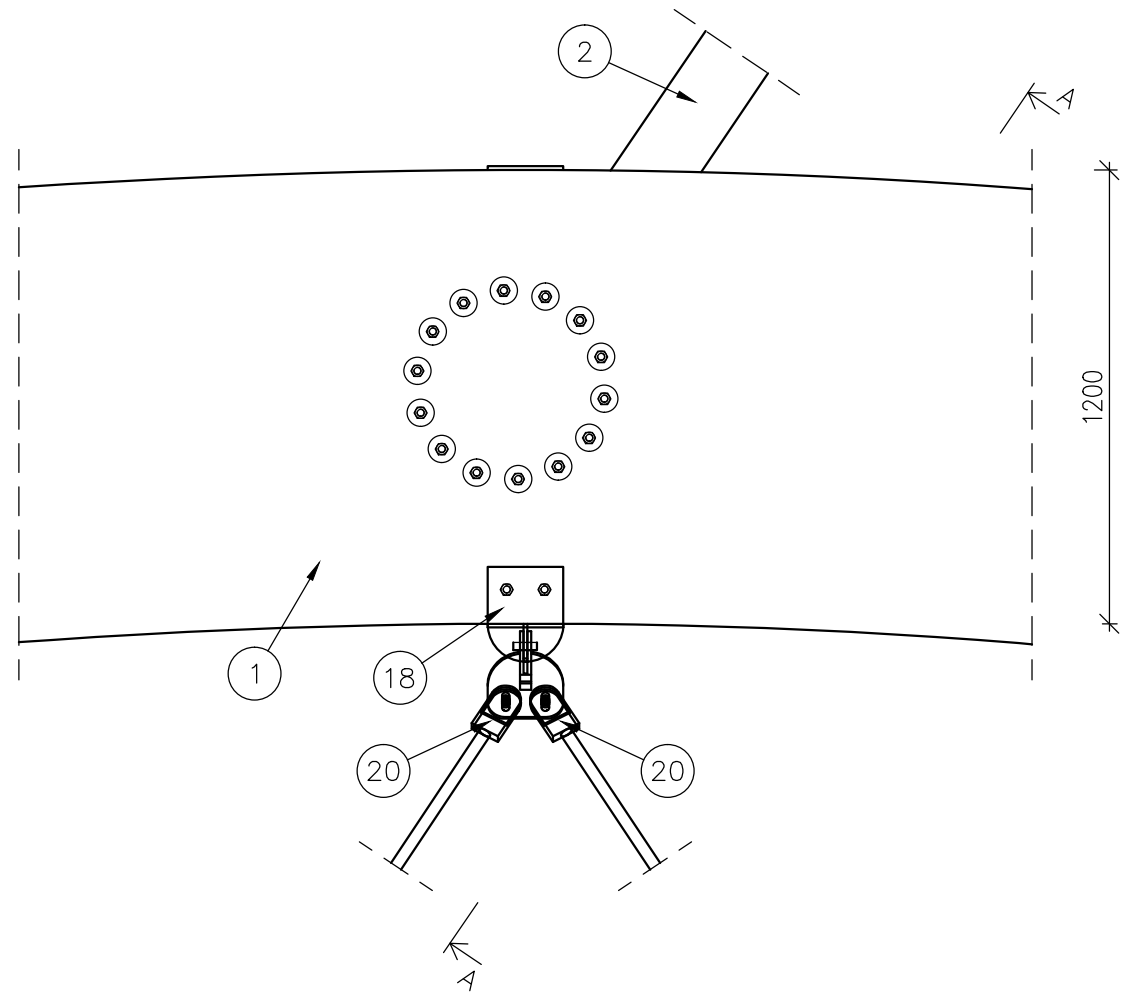


TERASELEMENDID

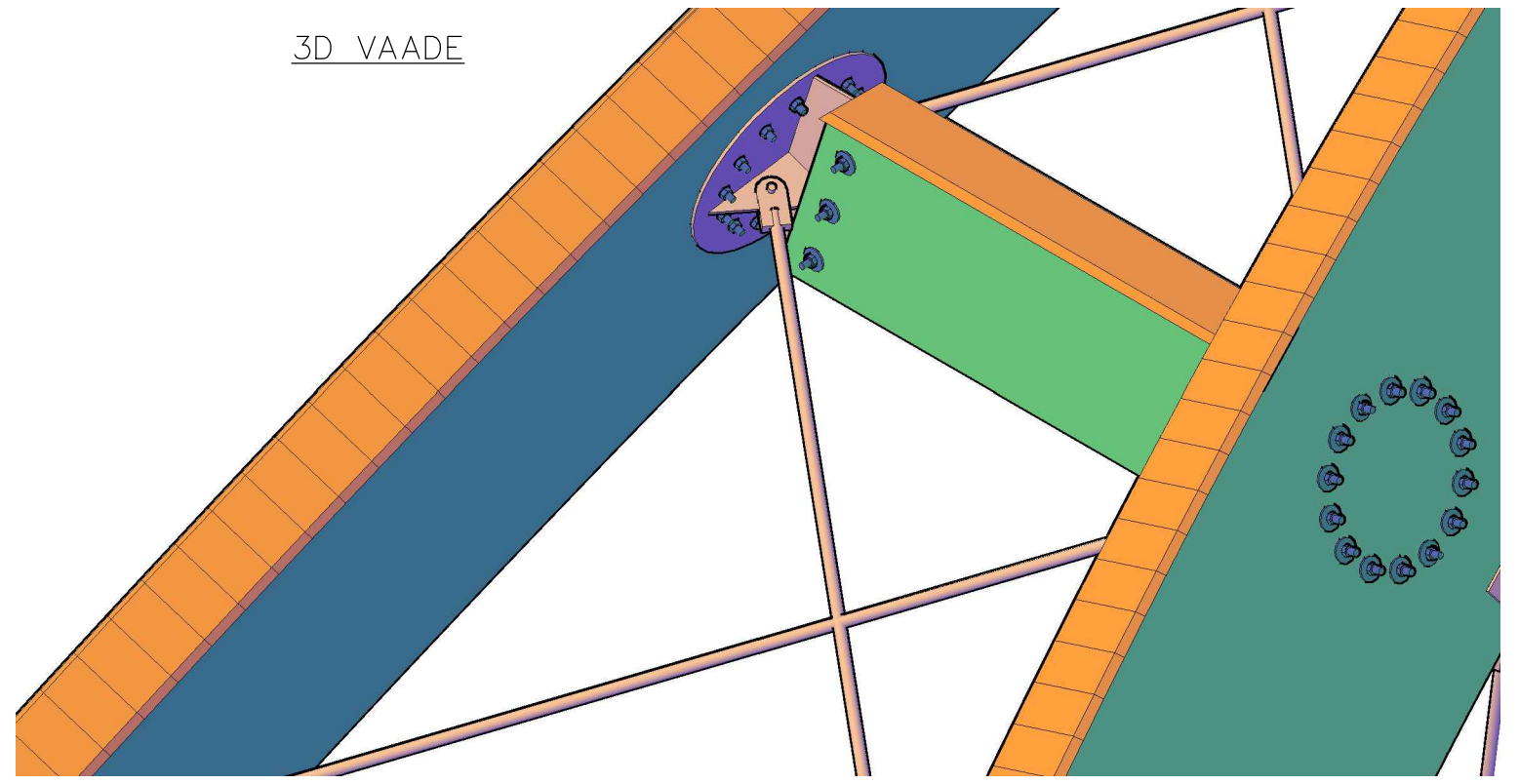


Märkused: Üldised märkused on toodud seletuskirjas peatükis "GRAAFILINE OSA"

LÕPUTÖÖ						
				Objekt:	Staad.	Lehti
Koostas	Rain Kimmel	20.05.15	JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	10	16
Juhendas	Martti Kiisa					
Juhendas	Karin Lellep			Joonis:	TALLINNA TEHNIKAKÕRKOOL	
				SÕLM E	Õpperühm EI - 81	
				M1:20		

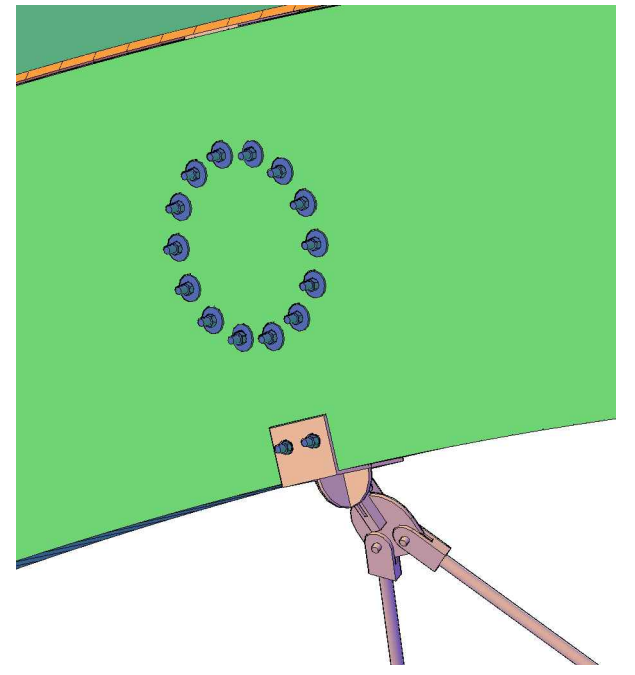
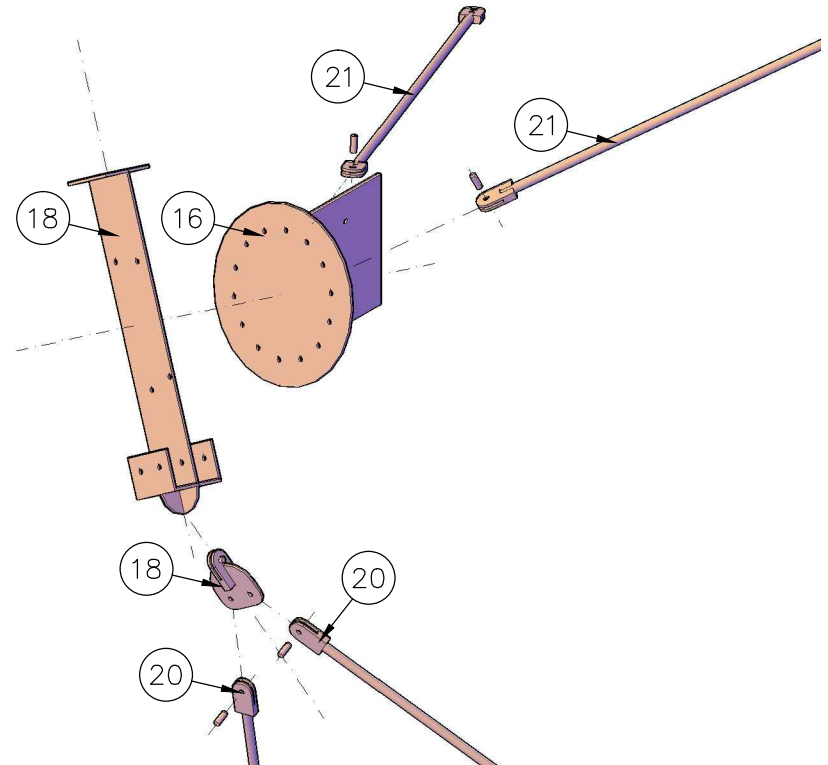


3D VAADE



TERASELEMENID

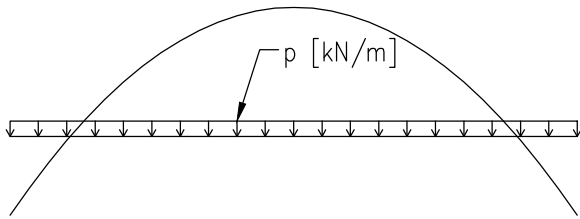
3D VAADE RIPUTILE



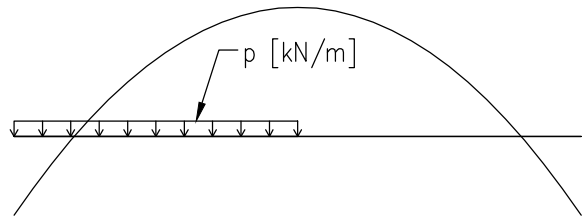
Märkused: Üldised märkused on toodud seletuskirjas peatükis "GRAAFILINE OSA"

				LÕPUTÖÖ		
Koostas	Rain Kimmel	20.05.15	Objekt:	JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Staad.	Lehti
Juhendas	Martti Kiisa				Tehn.pr.	Lehti
Juhendas	Karin Lellep		Joonis:	SÖLM F	TALLINNA TEHNIKAKÕRGOOL	
			M1:20		Õpperühm EI - 81	

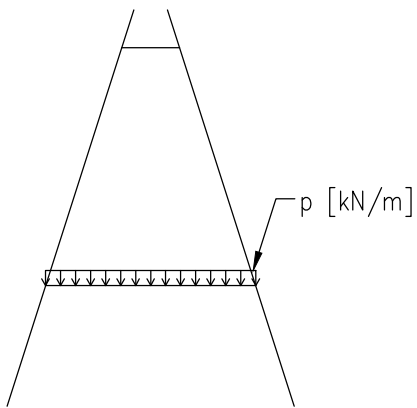
VAADE JOA POOLT
ULS1 ULS2 ULS3



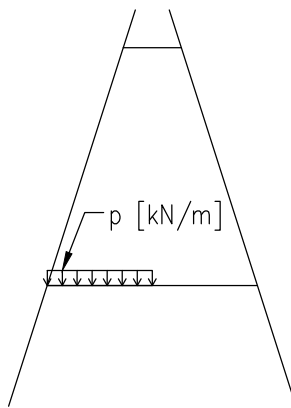
VAADE JOA POOLT
ULS 4



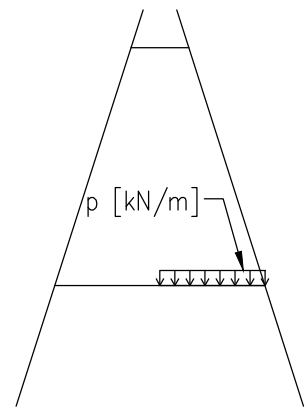
VAADE OTSAST
ULS1 ULS4



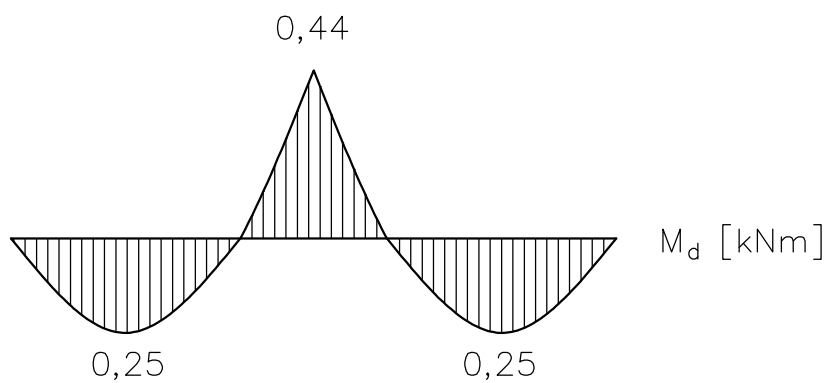
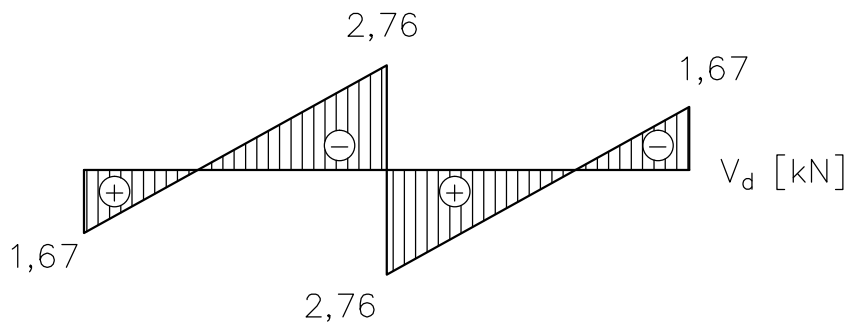
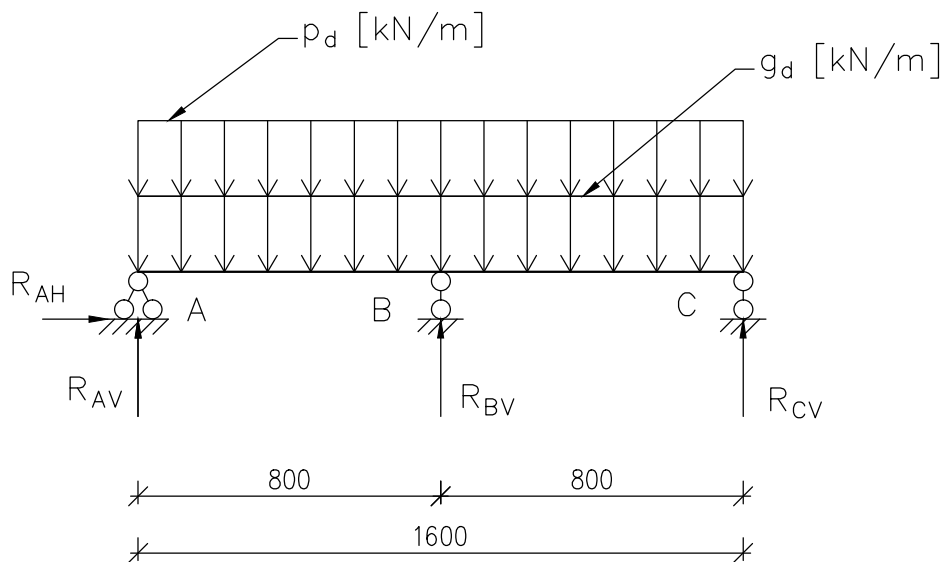
VAADE OTSAST
ULS 2



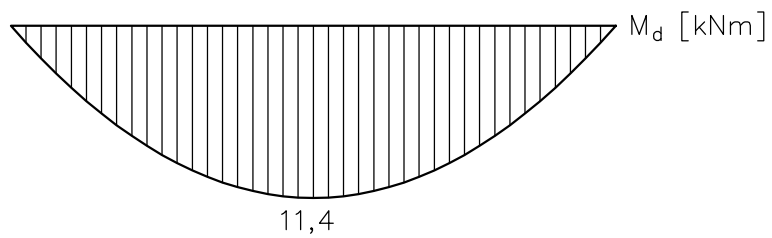
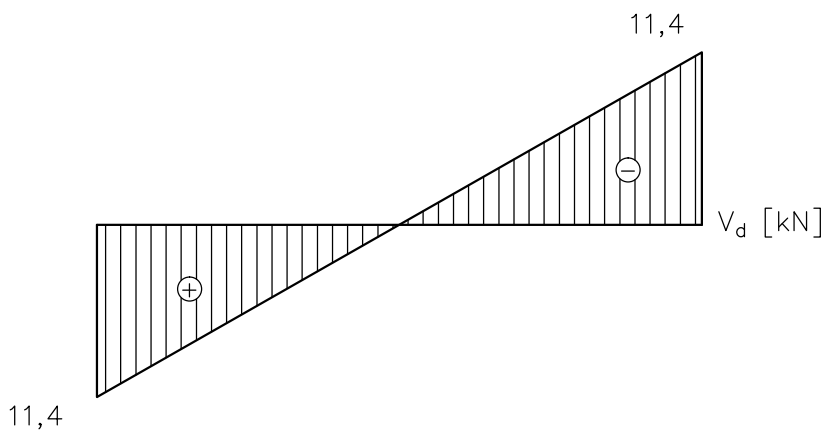
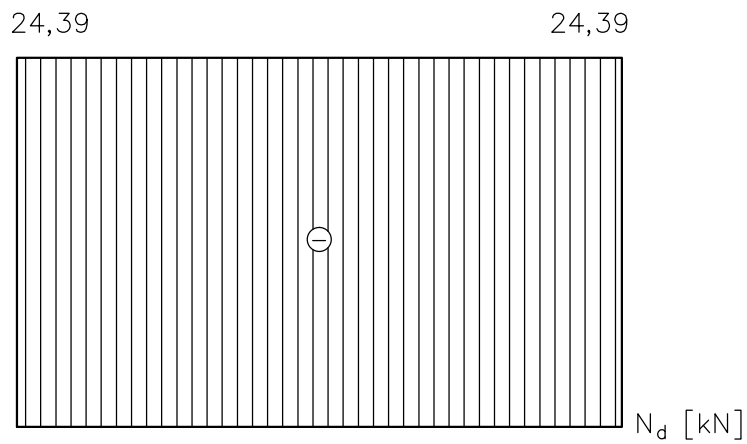
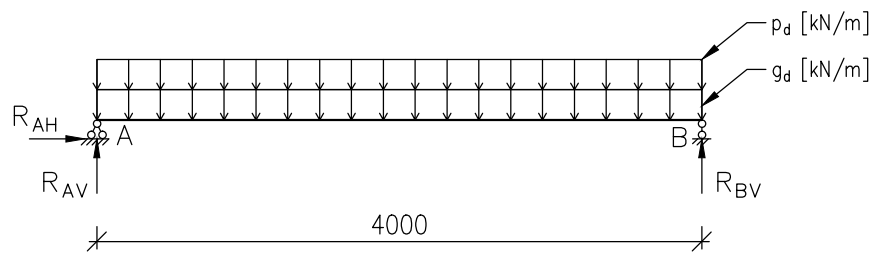
VAADE OTSAST
ULS 3



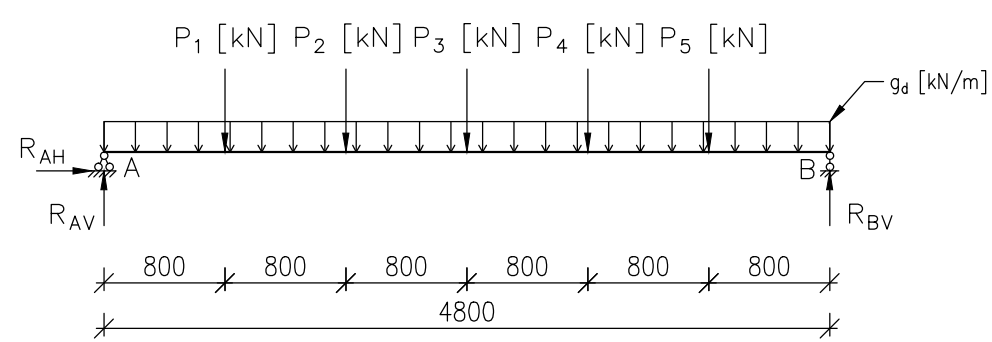
				LÕPUTÖÖ			
				<u>Objekt:</u>	Staad.	Leht	Lehti
Koostas	Kaisa Männamaa		20.05.15	JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	12	16
Juhendas	Karin Lellep			<u>Joonis:</u> Silla koormusskeemid M1: 400	TALLINNA TEHNIKAKÕRKOOL Õpperühm EI – 81		
Juhendas	Martti Kiisa						



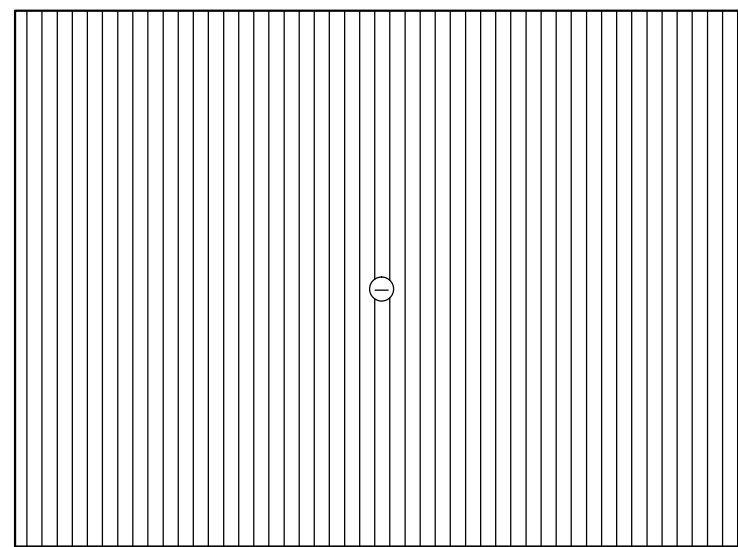
				LÕPUTÖÖ		
				<u>Objekt:</u>	Staad.	Lehti
Koostas	Kaisa Männamaa	20.05.15	JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	13	16
Juhendas	Karin Lellep					
Juhendas	Martti Kiisa		<u>Joonis:</u>	TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO		
			Laudise sisejõudude epüürid	Õpperühm EI - 81		
			M1:20			



				LÕPUTÖÖ			
				<u>Objekt:</u>	Staad.	Leht	Lehti
Koostas	Rain Kimmel	20.05.15		JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	14	16
Juhendas	Karin Lellep						
Juhendas	Martti Kiisa			<u>Joonis:</u>	TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOOI Õpperühm EI - 81		
				Pikitala sisejõudude epüürid			
				M1: 50			

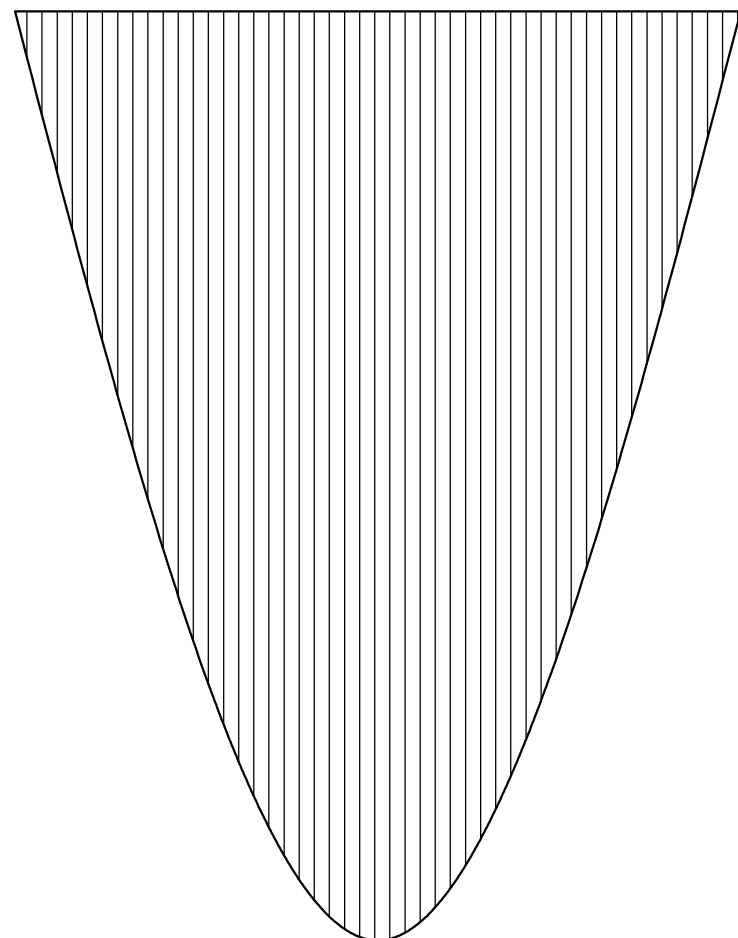


35,41 35,41

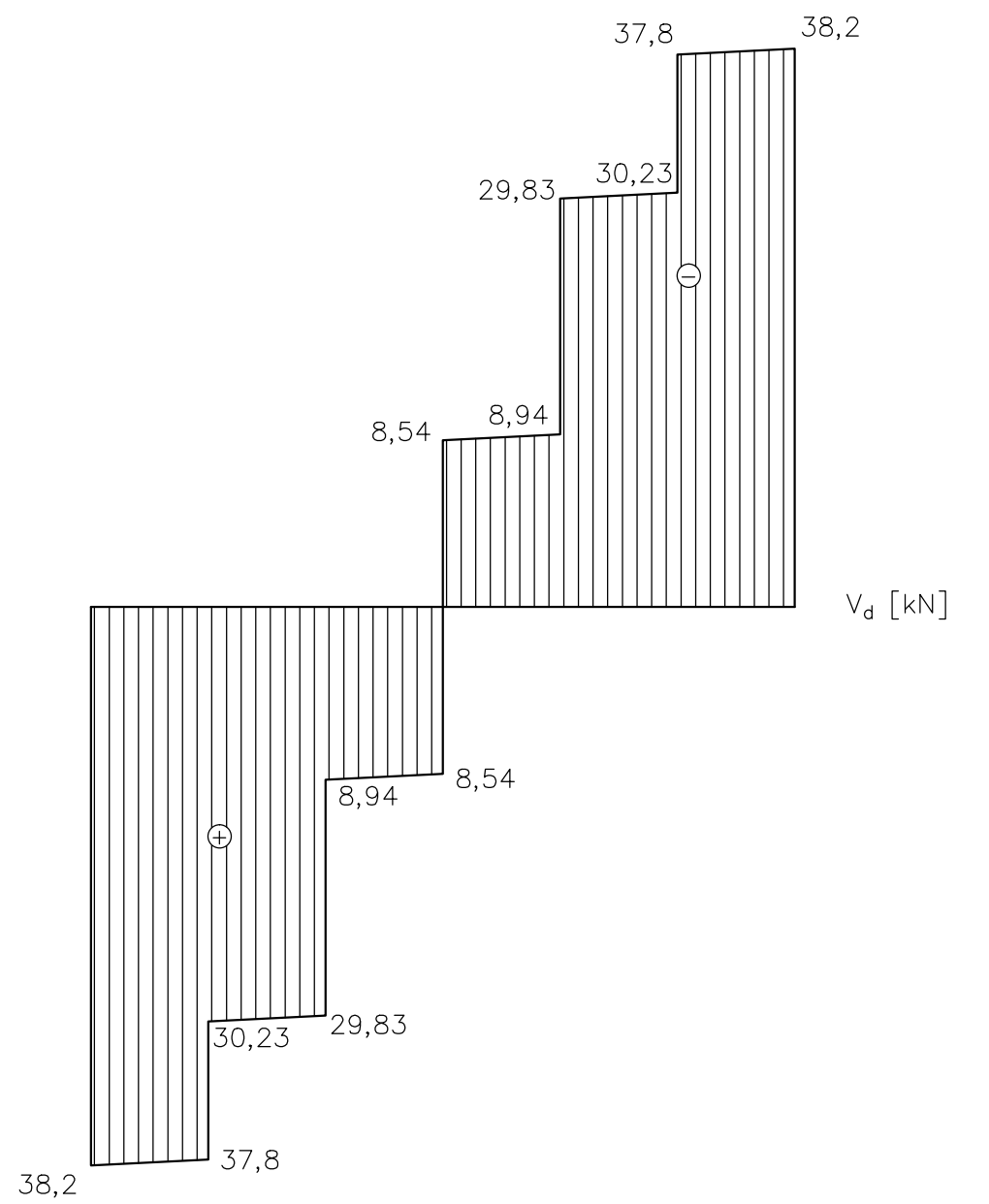


N_d [kN]

$M_{y,d}$ [kNm]

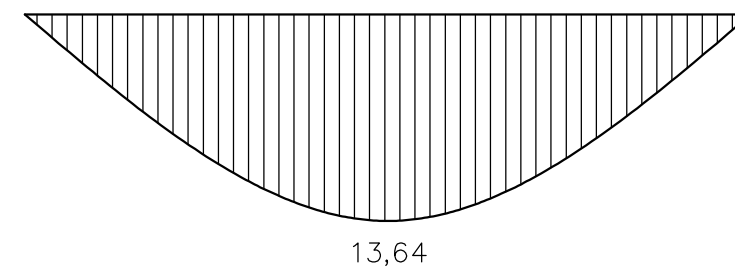


61,42

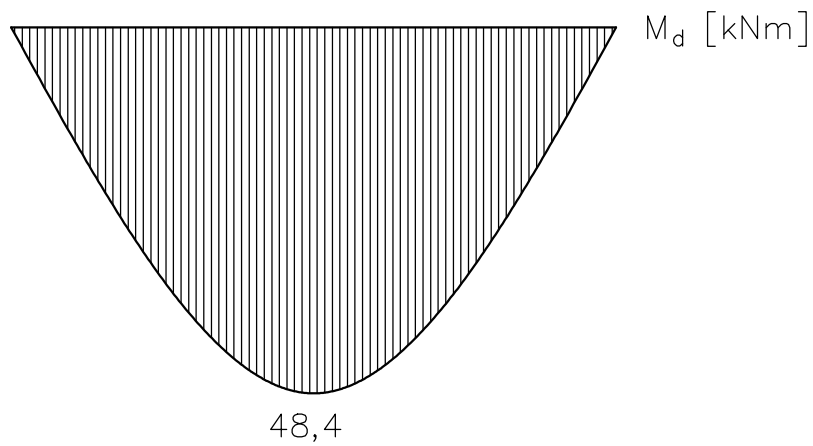
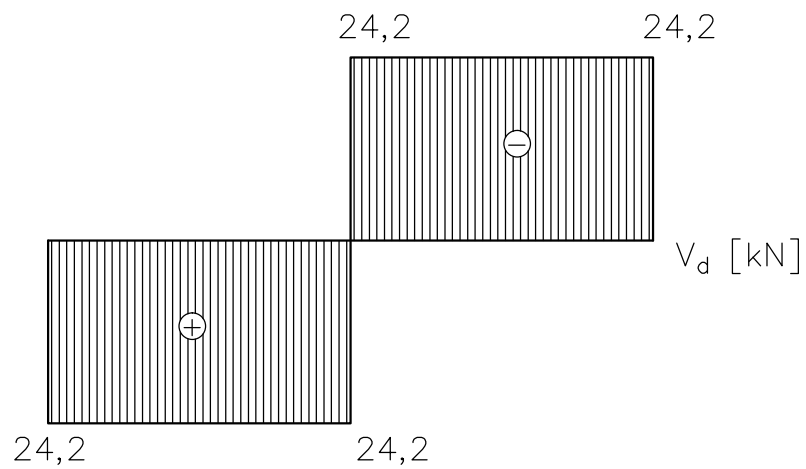
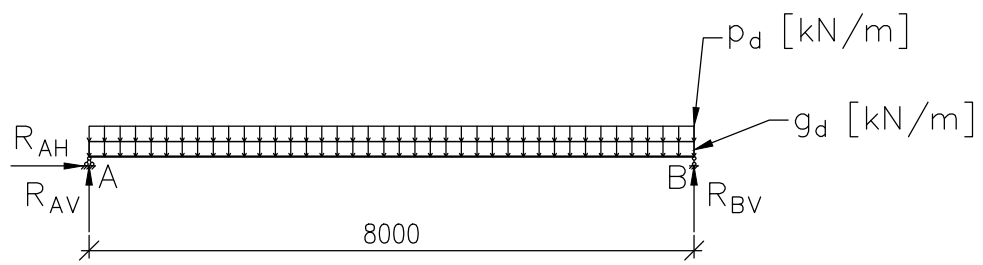


V_d [kN]

$M_{z,d}$ [kNm]



LÕPUTÖÖ						
				Objekt:	Staad.	Leht
Koostas	Kaisa Männamaa	20.05.15	JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD		Tehn.pr.	Lehti
Juhendas	Karin Lellep				15	16
Juhendas	Martti Kiisa		Joonis:		TALLINNA TEHNIKAKÕRKOOL	
			Põiktala sisejõudude epüürid		Õpperühm EI - 81	
			M1:50			



				LÕPUTÖÖ			
				<u>Objekt:</u>	Staad.	Leht	Lehti
Koostas	Rain Kimmel	20.05.15		JÄGALA JOA JALAKÄIJATE SILD	Tehn.pr.	16	16
Juhendas	Karin Lellep						
Juhendas	Martti Kiisa			<u>Joonis:</u>	TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO		
				Lihttala sisejõudude epüürid	Õpperühm EI - 81		
				M1:100			