



Mihkel Reinhold

**AESPA LAULULAVA
PUITKONSTRUKTSIOONIDE
PÕHIPROJEKT**

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond

Hoonete ehituse eriala

Tallinn 2015

Mina, Mihkel Reinhold, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

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

Lõputöö autor

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Üliõpilase kood: 110820680

Õpperühm: EI 81

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Juhendajad

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Konsultandid

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Kaitsmisele lubatud „.....“20....a.

Ehitusteaduskonna dekaan Martti Kiisa

allkiri

Ehitusteaduskond

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja: **Mihkel Reinhold**
Üliõpilase 110820680
kood:
Õpperühm: EI-81
Eriala: Hoonete ehitus (kood: 1827)
Lõputöö teema: **Aespa laululava puitkonstruktsioonide põhiprojekt**

Lähteandmed töö koostamiseks:

Tellijal (MTÜ Aespa Kodu) kirjalik lähteülesanne, kohaliku omavalitsuse projekteerimistingimused, kehtiv detailplaneering.

Töö koosseis, lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Lõputöös tuleb leida sobiv laululava arhitektuurne lahendus, tuleb lahendada laululava puitkonstruktsioonide osa põhiprojekti mahus.

Seletuskirja ning graafilise materjali sisu ja maht:

Seletuskirja maht 40-60 lehekülge, sealhulgas kande- ja kasutuspiiriseisundi arvutused laudise, pea- ja abikaarte kohta. Graafilises osas esitada laululava vaated ja plaan ning tähtsamad sõlmed.

Lõputöö konsultandid:

Konsultandi nimi	Valdkond	Allkiri	Kuupäev
Egert-Ronald Parts	BIM		

Lõputöö juhendajad:

Karin Lellep

Martti Kiisa

(nimi)

(allkiri)

(kuupäev)

Lõpetaja:

Mihkel Reinhold

(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	8
2. PROJEKTEERIMISE LÄHTEDOKUMENDID.....	12
2.1. Tellija kirjalik lähteülesanne	12
2.2. Kohaliku omavalitsuse projekteerimistingimused	12
2.3. Kehtiv detailplaneering	12
3. LAULULAVA ÜLDKIRJELDUS.....	13
3.1. Tehnilised andmed	15
4. ÜLDOSA.....	16
4.1. Kasutatud normdokumendid	16
4.2. Kasutatud arvutiprogrammide loetelu.....	17
4.3. Nõuded konstruktsioonidele, materjalidele ja kvaliteedile	17
4.3.1. Üldised nõuded.....	17
4.3.2. Nõuded puitkonstruktsioonide	18
4.3.3. Nõuded teraskonstruktsioonidele	18
4.3.4. Nõuded betoonkonstruktsioonidele.....	18
4.3.5. Liimpuidu valmistustolerantsid.....	19
4.3.6. Paigaldustolerantsid	19
4.4. Tuleohutus.....	19
4.4.1. Tuleohtusklass, kasutusviis ja kasutusotstarve.....	19
4.4.2. Tuleohutuskujad	19
4.4.3. Kande- ja tuletõkkekonstruktsioonide tulepüsivusajad.....	19
4.4.4. Tuletundlikkus.....	20
4.4.5. Tuleohutuspaigaldised.....	20
4.4.6. Piksekaitse	20
5. KOORMUSED.....	21
5.1. Alaliskoormused	21

5.1.1.	Konstruksioonide omakaal	21
5.2.	Muutuvkoormused	21
5.2.1.	Katuse kasuskoormus	21
5.2.2.	Seadmetest tulenev kasuskoormus	22
5.2.3.	Lumekoormus.....	22
5.2.4.	Tuulekoormus.....	24
5.3.	Koormuskombinatsioonid	27
5.3.1.	Koormuste osavarutegurid	27
5.3.2.	Kombinatsioonitegurid	27
5.3.3.	Koormuskombinatsioonid kandepiirseisundis	27
5.3.4.	Koormuskombinatsioonid kasutuspiirseisundis	31
6.	AKUSTIKA	32
6.1.	Ruumiakustikalahenduste põhimõtted	32
7.	KONSTRUKTSIOONIDE ÜLDKIRJELDUS	33
8.	KATUSE LAUDIS	34
8.1.	Materjali normatiivsed omadused	34
8.2.	Materjali arvutuslikud omadused	34
8.3.	Materjali arvutuslik tugevus.....	35
8.4.	Arvutusskeem.....	36
8.5.	Laudisele mõjuvad koormused	36
8.6.	Koormuskombinatsioonid	36
8.7.	Sisejõud.....	37
8.8.	Kontroll kandepiirseisundis	38
8.9.	Kontroll kasutuspiirseisundis	40
9.	ABIKAAR.....	41
9.1.	Materjali normatiivsed omadused	41
9.2.	Arvutuslikud omadused	41
9.3.	Materjali arvutuslik tugevus.....	42
9.4.	Abikaartele mõjuvad koormused	43
9.5.	Koormuskombinatsioon	43
9.6.	Arvutusskeem.....	44
9.7.	Sisejõud.....	45
9.8.	Kontroll kandepiirseisundis	46
9.9.	Kontroll kasutuspiirseisundis	51

10.	PEAKAAR	52
10.1.	Materjali normatiivsed omadused	52
10.2.	Arvutuslikud omadused	52
10.3.	Materjali arvutuslik tugevus.....	53
10.4.	Peakaarele mõjuvad koormused.....	54
10.5.	Koormuskombinatsioon ja arvutusskeem	54
10.6.	Sisejõud.....	55
10.7.	Kontroll kandepiirseisundis	55
10.8.	Peakaare stabiilsuskontroll.....	59
10.9.	Kontroll kasutuspiirseisundis	61
11.	MAHUTABEL.....	62
12.	SÕLMLAHENDUSED	63
13.	KONSTRUKTSIOONI KAITSE	65
13.1.	Keemilised võtted	65
13.2.	Konstruktiivsed võtted	65
14.	LAULULAVA HOOLDUSJUHEND.....	66
	KOKKUVÕTE.....	68
	SUMMARY	69
	VIIDATUD ALLIKAD.....	70
	LISAD	72
	Lisa 1. Projekteerimise tingimused	73
	Lisa 2. Detailplaneering	75
	Lisa 3. Lumekoormuse arvutus	76
	Lisa 4. Tuulekoormuse arvutus	77
	Lisa 5. Abikaartele mõjuvad normatiivsed koormused (ühtlane lumekoormus)	78
	Lisa 6. Abikaartele mõjuvad normatiivsed koormused (ebaühtlane lumekoormus).....	79
	Lisa 7. Peakaare sisejõud	80
	Lisa 8. Peakaare sisejõudude epüürid	81
	GRAAFILINE OSA	82

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on Aespa alevikku planeeritava laululava puitkonstruktsioonide projekteerimine.

Aespa alevik asub umbes 30 km kaugusel Tallinnast Kohila vallas Raplamaal. Laululava on projekteeritud MTÜ Aespa Kodu soovil ning kuulub planeeritava külakeskuse kompleksi juurde. Laululava arhitektuurse lahenduse välja töötamisel on lähtutud külaelanike vajadustest.

Laululava maapealsed kandvad konstruktsioonid on projekteeritud puidust ning sellega rõhutab töö autor puidu kasutamise mitmekülgseid võimalusi. Samuti soovib lõputöö koostaja näidata, et läbimõeldud sõlmlahenduste ja korrektse ilmastikukaitsega puitkonstruktsioonid on pikalt kestvad.

Lõputöö käsitleb arhitektuurse lahendi väljatöötamist, konstruktsioonile mõjuvate koormuste määramist ning vastavalt nendele katuse laudise, abikaarte ja peakaare ristlõigete dimensionimist. Projekteeritava laululava arvutusmodeli sisejõudude leidmiseks teostas lõputöö juhendaja Karin Lellep.

Lisaks on lõputöös esitatud peamiste sõlmede võimalikud lahendused ja laululava hooldusjuhend.

Lõputöö koosneb järgmistest osadest:

- koormuste ja sisejõudude arvutused;
- tarindite dimensionimine;
- konstruktsiooni kaitse;
- laululava hooldusjuhend;
- joonised, sõlmlahendused;
- laululava 3D mudel.

1. KASUTATUD TÄHISED JA LÜHENDID

Ladina suurtähed

A_{ef}	efektiivne muljumispind ristikiudu
A_{neto}	ristlõike netopindala
C_{dir}	suunategur
C_e	avatustegur
C_{season}	aastaajategur
C_t	soojustegur
$E_{0,05}$	normatiivne elastsusmoodul 5% väärtus
E_{mean}	normatiivne keskmine elastsusmoodul
$G_{0,05}$	normatiivne nihkemoodul 5% väärtus
G_k	normatiivne alaliskoormus (punktkoormus)
I	telginertsimoment
I_{tor}	väändeinertsimoment
I_v	tuule turbulentsi intensiivsus
L_0	nõtkepikkus
M_d	arvutuslik paindemoment
N_d	arvutuslik normaaljõud
Q_k	normatiivne muutuvkoormus (punktkoormus)
R	toereaktsioon
S	normatiivne lumekoormus katusel
S_k	normatiivne lumekoormus maapinnal
V	pingestatud harjatsooni maht
V_0	viitemaht
V_d	arvutuslik põikjõud
W	vastupanumoment

Ladina väiketähed

b	laius
$C_0(ze)$	pinnavormitegur
C_f	välisrõhu rõhutegur
$CR(ze)$	karedustegur
$f_{c,d}$	arvutuslik survetugevus
$f_{c,k}$	normatiivne survetugevus
$F_{c,d}$	arvutuslik survejõud
$f_{m,d}$	arvutuslik paindetugevus
$f_{m,k}$	normatiivne paindetugevus
$f_{t,d}$	arvutuslik tõmbetugevus
$f_{t,k}$	normatiivne tõmbetugevus
$f_{v,d}$	arvutuslik nihketugevus
$f_{v,k}$	normatiivne nihketugevus
g_k	alaline normkoormus
h	kõrgus
h_{ap}	tala kõrgus harjatsoonis
i_z	ristlõike inertismoment z-telje suhtes
$k_{c,z}$	nõtketegur, mis arvestab nõtkeohtu z-telje suhtes
k_{cr}	pragude mõju arvestav tegur
k_{crit}	tegur, mis arvestab põikumisest põhjustatud paindetugevuse vähenemist
k_{def}	deformatsioonitegur
k_{dis}	tegur, mis arvestab pingejotuse mõju harjatsoonis
k_h	ristlõiketegur
k_I	turbulentsitegur
k_l	abitegur
k_m	tegur, mis arvestab pingete ümberjagunemist ja materjali mittehomogeensust
k_{mod}	modifikatsioonitegur
k_p	abitegur
k_r	maastikutüübitegur
k_r	abitegur, mis võtab arvesse tugevuse vähenemist lamellide painutamise
k_{sys}	süsteemi tugevustegur
k_z	abitegur
k_{vol}	mahutegur

q_k	normatiivne muutuvkoormus
$q_{p(ze)}$	tuule tippkiirusrõhk
r	raadius
r_{in}	siseraadius
s	kaare arvutuspikkus
z_0	maastikutüübi karedusmõõt
$z_{0,II}$	maastikutüüp II karedusmõõt
z_e	kõrgus maapinnast
z_{max}	maksimaalne viitekõrgus
z_{min}	minimaalne viitekõrgus
t	liimpuidu lamelli paksus
μ_i	lumekoormuse kujutegur
v_b	tuule baaskiirus
$v_{b,0}$	tuule põhiline baaskiiruse väärtus
$v_{m(ze)}$	keskmise tuulekiirus
w_e	välispindadele mõjuv tuulerõhk
w_{fin}	lõplik läbipaine
$w_{fin,lim}$	piirläbipaine

Kreeka väiketähed

α	abitegur
$\alpha_{a,p}$	harjatsooni kaldenurk
β_c	tegur, mis arvestab surutud elemendi sirgust
$\gamma_{G,inf}$	alaliskoormuse soodsa mõju osavarutegur
$\gamma_{G,sup}$	alaliskoormuse ebasoodsa mõju osavarutegur
γ_M	materjali osavarutegur
$\gamma_{Q,inf}$	muutuvkoormuse soodsa mõju osavarutegur
$\gamma_{Q,sup}$	muutuvkoormuse ebasoodsa mõju osavarutegur
$\lambda_{rel,m}$	suhteline saledus paindel
$\lambda_{rel,z}$	suhteline saledus z-telje suhtes
λ_z	saledus z-telje suhtes
ρ	õhutihedus
$\rho_{g,k}$	normatiivne keskmine tihedus
ρ_{mean}	keskmise tihedus

$\sigma_{c,d}$	arvutuslik survepinge
$\sigma_{m,crit}$	arvutuslik kriitiline paindepinge
$\sigma_{m,d}$	arvutuslik paindepinge
$\sigma_{t,d}$	arvutuslik tõmbepinge
τ_d	arvutuslik nihkepinge
ψ	kombinatsioonitegur
ϕ	takistustegur

2. PROJEKTEERIMISE LÄHTEDOKUMENDID

2.1. Tellija kirjalik lähteülesanne

Tellija: MTÜ Aespa Kodu reg. nr 80329470.

Objekt: Aespa laululava.

Asukoht: Raplamaa, Kohila vald, Aespa alevik, Suvila tee 27.

Hoone ja ruumide nõutavad tehnilised andmed: põhiplaan 16 × 11 meetrit.

2.2. Kohaliku omavalitsuse projekteerimistingimused

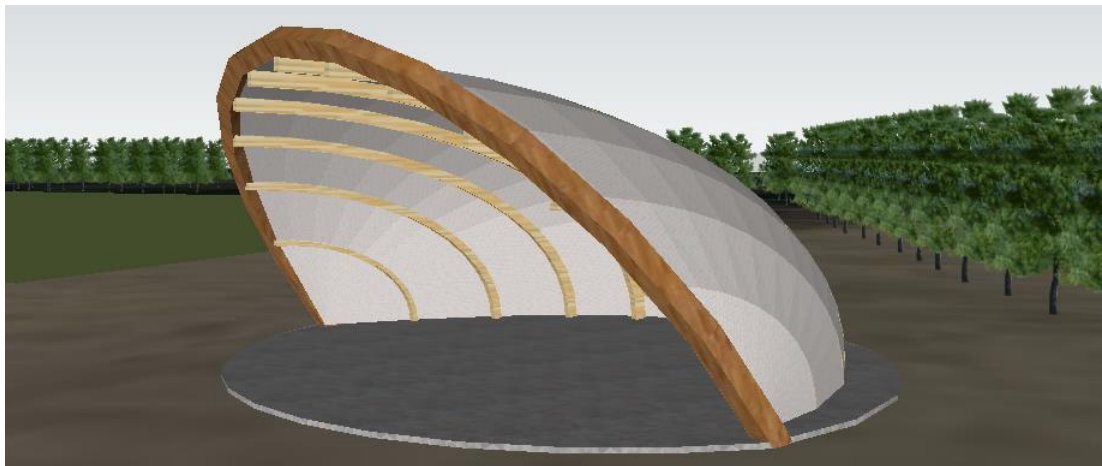
Projekteerimise aluseks on Kohila vallavalitsuse poolt 6. aprill 2015 a. kinnitanud projekteerimistingimused nr. 022/15. Projekteerimistingimused on toodud lisas (vt lisa 1).

2.3. Kehtiv detailplaneering

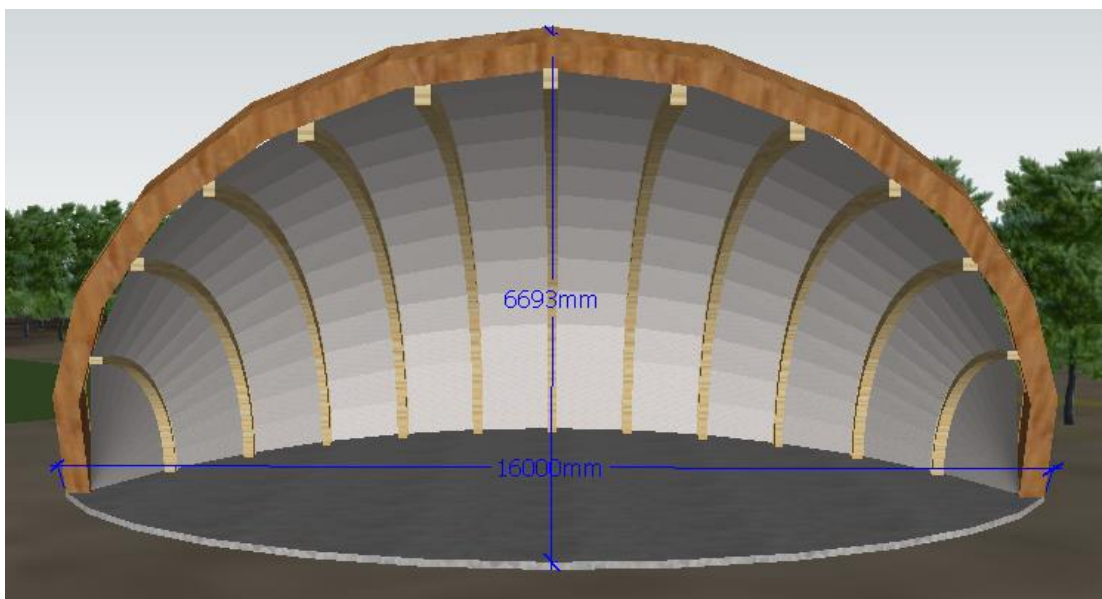
Kehtivaks detailplaneeringuks on Kohila Vallavolikogu 29.01.2013 otsusega nr 1 kehtestatud Aespa aleviku külakeskuse detailplaneering (vt lisa 2).

3. LAULULAVA ÜLDKIRJELDUS

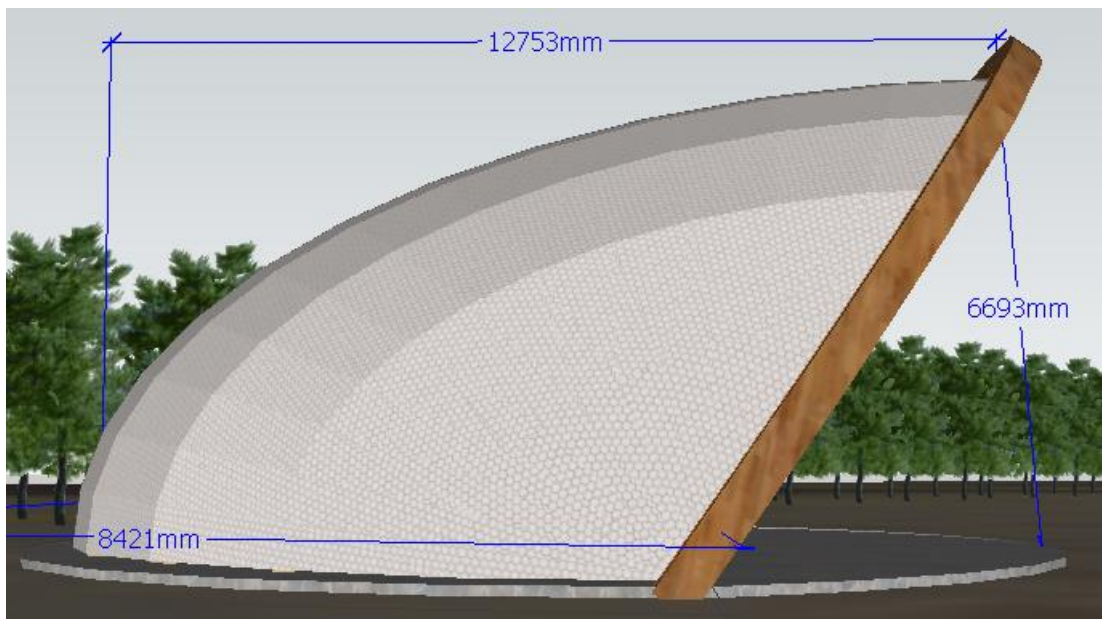
Arhitektuurse lahenduse leidmiseks koostas töö autor viis erinevat laululava 3D eskiislahendust programmi Google SketchUpiga (vt joonis 4). Sobiva arhitektuurse lahenduse valimiseks kasutati veebikeskkonda www.sketchfab.com, mis andis võimaluse Aespa elanikel vaadelda ja võrrelda erinevaid laululava arhitektuurseid eskiislahendusi läbi veebilehitseja (<https://skfb.ly/DOAx>). Valituks osutunud laululava eskiislahendus on toodud joonisel 1...3.



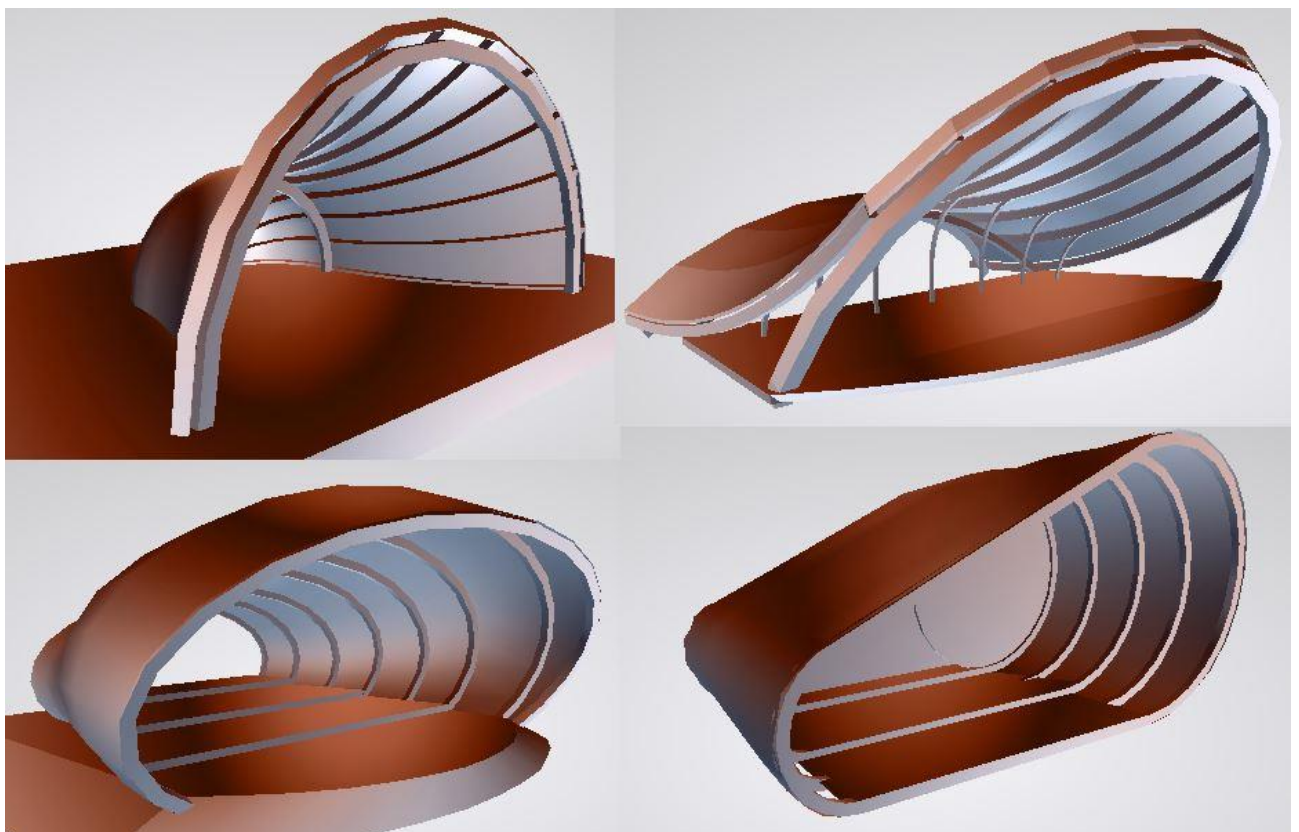
Joonis 1. Laululava üldvaade



Joonis 2. Laululava vaade eest



Joonis 3. Laululava vaade küljelt



Joonis 4. Laululava arhitektuursed eskiislahendused

3.1. Tehnilised andmed

Projekteeritava laululava tehnilised andmed on järgnevad:

- ehitusalune pindala: 211 m²;
- hoone suletud netopindala: 140 m²;
- korruste arv: 1;
- kõrgus: 5,0 m;
- pikkus: 11,0 m;
- laius: 16,0 m;
- maht: 370 m³.

4. ÜLDOSA

4.1. Kasutatud normdokumendid

Projekteerimisel kasutatud õigusaktid:

- ehitusseadus (Riigikogu seadus, vastu võetud 15.05.2002, redaktsioon 01.07.2014);
- nõuded ehitusprojektile (majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus nr 67, vastu võetud 17.09.2010, redaktsioon 25.01.2014);
- ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded (Vabariigi Valitsuse määrus nr 315, vastu võetud 27.10.2004, redaktsioon 01.10.2007);
- 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);
- nõuded tulekustutitele ja voolikusüsteemidele, nende valikule, paigaldamisele, tähistamisele ja korrashoiule (siseministri määrus nr 39, vastu võetud 30.08.2010).

Projekteerimisel kasutatud standardid:

- EVS 811:2012 – Hoone ehitusprojekt;
- EVS 865-2:2014 – Ehitusprojekti kirjeldus. Osa 2: Põhiprojekti seletuskiri;
- EVS-EN 1990:2002+NA:2002 – 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 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 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: Teraskonstruktsioonide 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: Teraskonstruktsioonide 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: Teraskonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-11: Tõmbele töötavate elementidega konstruktsioonide projekteerimine;
- 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;

4.2. Kasutatud arvutiprogrammide loetelu

Laululava projekteerimiseks on kasutatud järgnevaid arvutiprogramme:

- 3D modelleerimise programm Google SketchUp 2014;
- joonestusprogramm Autodesk AutoCAD 2015;
- projekteerimisprogramm Autodesk Robot Structural Analysis 2015 (edaspidi ARSA);
- tekstitöötlusprogramm Microsoft Word 2010;
- tabelitöötlusprogramm Microsoft Excel 2010.

4.3. Nõuded konstruktsioonidele, materjalidele ja kvaliteedile

4.3.1. Üldised nõuded

Üldised nõuded projekteerimisele:

- projekteeritud kasutusea kategooria: 4 [1, p. 24];
- projekteeritud kasutusea kestus: 50 a [1, p. 24];
- projekti staadium: põhiprojekt [2];
- tagajärgede klass: CC2 [1, p. 57];
- töökindlusklass: RC2 [1, p. 57];
- projekteerimise järelevalve tase: DSL2 [1, p. 59].

4.3.2. Nõuded puitkonstruktsioonidele

Puitkonstruktsioonidele esitatavad nõuded:

- kasutusklass: UC2 (abikaared) UC3 (peakaar) [3];
- immutusklass (sügavimmutus): NTR/AB [4];
- tugevusklass (kaared): GL32h [5];
- tugevusklass (katuselaudis): C24 [6];
- tugevusklass (roovid, distantliistus): C16 [6].

4.3.3. Nõuded teraskonstruktsioonidele

Teraskonstruktsioonidele esitatavad nõuded:

- teostusklass: EXC2 [7];
- korrosiooniklass (keskkonna saasteklass): C2 [8];
- korrosioonikaitse kestusklass: väga kõrge / VH [8];
- kasutusklass (kasutuskategooria): SC1 [7];
- tooteklass: PC1 [7];
- teraselementide materjal: roostevaba teras;
- teraselementide tugevusklass: S355J2 [9];
- kinnitusvahendite tugevusklass: 10.9, kui joonisel pole näidatud teisiti;
- keevisõmbluste kvaliteediklass: C [10].

4.3.4. Nõuded betoonkonstruktsioonidele

Betoonkonstruktsioonidele esitatavad nõuded:

- betooni keskkonnaklass: XC4, XF3 [11];
- betooni külmaskindluse klass: KK3 [12];
- betooni survetugevusklass: C30/37 [13];
- betooni kloriidisisalduse klass: Cl 0,20 [11];
- betooni maksimaalne vesi-tsementtegur: 0,45;
- betooni minimaalne tsemendisisaldus: 320 kg/m³;
- betooni minimaalne õhusisaldus: 4%;
- minimaalne kaitsekiht armatuurile: 50 mm;
- betoonipindade kvaliteedinõuded: MUO-A [14];
- tolerantsiklass: 1 [11];

- järelevalveklass: 3 [11];
- terasarmatuuri tugevusklass: täpsustatakse järgmistes etappides.

4.3.5. Liimpuidu valmistustolerantsid

Liimpuidu valmistustolerantsid peavad vastama standardile EVS-EN 14080:2013.

4.3.6. Paigaldustolerantsid

Terasdetailide ja puittarindite paigaldustolerantsid täpsustada tööprojekti käigus.

4.4. Tuleohutus

4.4.1. Tuleohutusklass, kasutusviis ja kasutusotstarve

Projekteeritava laululava tuleohutusklassiks on TP3, mis seab järgnevad piirangud [15, p. lisa 2]:

- korruselisus kuni 2;
- kõrgus kuni 9 meetrit;
- ühekorruselisel ehitisel korruse kogupind kuni 2400 m²;
- kahekorruselisel ehitisel korruse kogupind kuni 1200 m²;
- ühekorruselise ehitise puhul maksimaalne inimeste arv 500;
- kahekorruselisel ehitisel maksimaalne inimeste arv 50.

Projekteeritava hoone kasutamise liigitus tuleohutusest tulenevalt:
IV kasutusviis – suurte rahvahulkade kogunemishoone: muu erihoone [15, p. lisa 1].

4.4.2. Tuleohutuskujad

Minimaalne ehitistevaheline tuleohutuskuja laius võib olla 8 m. Kui kuja laius on alla 8 m, tuleb tule leviku piiramine tagada ehituslike või muude abinõudega. [15, p. §19]

4.4.3. Kande- ja tuletõkkekonstruktsioonide tulepüsivusajad

TP3 klassi hoonetel nõuded jäigastavate ja kandekonstruktsioonide tulepüsivusele puuduvad. [15, p. lisa 3]

4.4.4. Tuletundlikkus

IV kasutusviisiga hooneosade tuletundlikkuse nõuded põlemiskoormusega kuni 600 MJ/m² on järgnevad [15, p. lisa 6]:

- seinad ja lagi (pindala $\leq 300 \text{ m}^2$) – D-s2,d2;
- põrand – nõue puudub.

IV kasutusviisiga hooneosade välispindade ja õhupilupinna tuletundlikkus on järgnev [15, p. lisa 7]:

- välisseina välispind – D-s2,d2;
- õhutuspile välispind – D-s2,d2;
- õhutuspile sisepind – nõue puudub.

4.4.5. Tuleohutuspaigaldised

Esmaste tulekustutusvahendite vajaduse määramisel ja nende paigaldamisel tuleb juhinduda siseministri 30. augusti 2010. a määrusest nr 39 ning antud määruse muudatustest.

Pulberkustuti kustutusaine mass on 6 kg. Tulekustutid paigaldatakse ühtlaselt kogu ruumi ulatuses, maksimaalne põhja kõrgus maapinnast on 1,5 m. Juurdepääs tulekustutitele peab olema vaba. Tulekustutite asukohad peavad olema valitud nii, et nende asukoht oleks ruumi sisenemisel nähtav. [16]

Kokku paigaldada 2 kustutit ühtlaselt kogu hoone ulatuses.

Hoonele tuleb tagada juurdepääs päästeteenistuse masinatele.

4.4.6. Piksekaitse

Vastavalt Vabariigi Valitsuse määrusele nr 315 on TP3-klassi kuuluv ja IV kasutusviisiga hoonete puhul piksekaitse kohustuslik. [15, pp. §37. lõige 2, punkt 2]

Käesolevas lõputöös ei käsitleta põhjalikumalt piksekaitset.

5. KOORMUSED

5.1. Alaliskoormused

5.1.1. Konstruktsioonide omakaal

Konstruktsioonide omakaalukoormused on leitud vastavalt konstruktsioonimaterjalide mahukaaludele ja ristlõigetele.

Katuse- ja sisevoodrilaudise vahekauguseks on määratud 5 mm. Kuna valitud laudise ristlõike laiuseks on 95 mm, mahub ühemeetrisele lõigule 10 lauda. Laudise efektiivlaiuseks on seega $10 \times 95 = 950$ mm.

Konstruktsiooni omakaalukoormused on järgnevad:

- bituumenpealiskate $g_k = 0,04 \text{ kN/m}^2$;
- bituumenaluskate $g_k = 0,03 \text{ kN/m}^2$;
- katuse laudise üks kiht 95×20 mm $g_k = 0,02 \cdot 4,2 \cdot 0,95 = 0,08 \text{ kN/m}^2$;
- katuse siseviimistluse laudis 95×25 mm $g_k = 0,025 \cdot 4,2 \cdot 0,95 = 0,10 \text{ kN/m}^2$;
- abikaared 240×440 mm $g_k = 0,24 \cdot 0,44 \cdot 4,4 = 0,46 \text{ kN/m}$;
- peakaar 240×1400 mm $g_k = 0,24 \cdot 1,40 \cdot 4,4 = 1,48 \text{ kN/m}$.

5.2. Muutuvkoormused

5.2.1. Katuse kasuskoormus

Kasuskoormuse suurus katusepinnale klassis H – katused, kuhu pääseb ainult hoolduseks ja remondiks [17, p. 45]:

- kalle kuni 20° – $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$, $Q_k = 1,5 \text{ kN}$;
- kalle üle 20° – $q_k = 0,0 \text{ kN/m}^2$, $Q_k = 1,5 \text{ kN}$.

Eeldatakse, et kasuskoormus q_k mõjub 10 m^2 suurusele pinnale. Koondkoormuse mõjupinnaks on ruut küljepikkusega 50 mm. Pinna suurusest tulenevat vähendustegurit ei rakendata.

5.2.2. Seadmetest tulenev kasuskoormus

Lavatehnikast tulenev kasuskoormus on $0,5 \text{ kN/m}^2$ kogu lae pinnale. Peakaare servale arvestatud seadmete koormus on $1,0 \text{ kN/m}$.

5.2.3. Lumekoormus

Lumekoormus on arvutatud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-3:2006. Detailsem lumekoormuse arvutus on toodud lisades (vt lisa 3).

Normatiivne lumekoormus maapinnal S_k [kN/m^2] määratakse vastavalt standardi rahvuslikus lisas olevale joonisele (vt joonis 5).



Joonis 5. Eesti ehituslik lumekoormuste kaart [18, p. 51]

Lumekoormust katusel arvutatakse alalise arvutusolukorra puhul valemi (1) järgi [18, p. 18]:

$$S_k = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_{k,0} \quad (1)$$

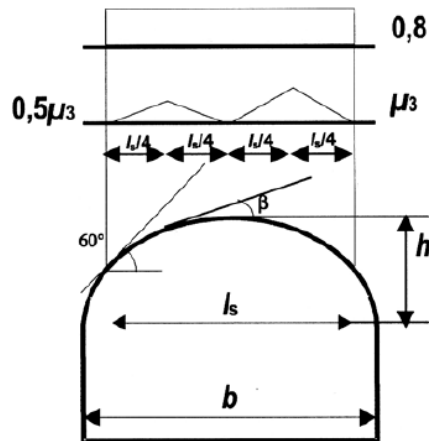
kus μ_i – on lumekoormuse kujutegur;

C_e – on avatustegur, mille soovituslik väärtus vastavalt EVS-EN 1991-1-3:2006 Eesti rahvuslikule lisale on $1,0$ [18, p. 52];

C_t – on soojustegur mille soovituslik väärtus vastavalt EVS-EN 1991-1-3:2006 Eesti rahvuslikule lisale on soojust tugevalt mitteedastavate katuste puhul $1,0$ [18, p. 52];

$S_{k,0}$ – normatiivne lumekoormus maapinnal, vaadeldavas piirkonnas $1,5 \text{ kN/m}^2$ [18, p. 51].

Silinderkatuse lumekoormuse kujutegurid ühtlase ja kuhjunud lume puhul on esitatud järgneval joonisel (vt joonis 6).



Joonis 6. Silinderkatuse lumekoormuse kujutegurid [18, p. 23]

Silinderkatuse ühtlase lumekoormuse kujutegurit μ_1 käsitletakse antud töös sarnaselt ühekaldelise katuse kujutegurile, mis leitakse seosest (2) kui $0^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$, valemist (3) kui $30^\circ < \beta < 60^\circ$ ja seosest (4) kui $\beta \geq 60^\circ$ [18, p. 20].

$$\mu_1 = 0,8, \quad (2)$$

$$\mu_1 = 0,8(60 - \beta) / 30, \quad (3)$$

$$\mu_1 = 0, \quad (4)$$

kus $\beta [^\circ]$ – silindrilise katuse puutuja ja horisontaali vaheline nurk.

Lumekoormuse kujuteguri väärtused, mis jäävad 60° ja 30° vahele on interpoleeritud vastavalt vaadeldava kaare pinna puutuja ja horisontaali vahelisele nurgale.

Lumetöketeta silinderkatuste kuhjunud lume koormuse kujutegur μ_3 leitakse seose (5) järgi, kui $\beta > 60^\circ$ ja valemi (6) järgi, kui $\beta \leq 60^\circ$. Teguri μ_3 suurim soovitatav väärtus on 2,0. [18, p. 22]

$$\mu_3 = 0, \quad (5)$$

$$\mu_3 = 0,2 + 10h / b \leq 2,0, \quad (6)$$

kus h – kaare kõrgus, m;

b – kaare laius, m.

Käesoleva laululava katuse kujutegur μ_3 arvutatakse järgnevalt, kui kaare kõrgus on 4,52 m, sille 15 m ja $\beta \leq 60^\circ$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot 4,52 / 15 = 3,2 \leq 2,0.$$

Järelikult on kujuteguri μ_3 maksimaalne väärtus ebaühtlase lumekoormuse korral 2,0.

Katuse lumekoormused joonis 6 järgi on järgnevad:

- 1) ühtlase lume korral $S_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$;
- 2) ebaühtlase lume korral ühel pool katust olev tippkoormus $S_2 = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ kN/m}^2$;
- 3) ebaühtlase lume korral teisel pool katust olev tippkoormus
 $S_3 = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ kN/m}^2$.

5.2.4. Tuulekoormus

Tuulekoormus on arvutatud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-4:2007, mille järgi leitakse antud objektile mõjuv tippkiirusrõhk $q_p(z_e)$, jõutegur c_f ning lõpuks tuulerõhk w vastaval arvutuskõrgusel z_e . Tuulekoormuse arvutuse koondülevaade on toodud lisas (vt lisa 4).

Tuule baaskiirust v_b arvutatakse järgnevalt [19, p. 18]

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 21 \text{ m/s}, \quad (7)$$

kus C_{dir} – suunategur. Vastavalt EVS-EN 1991-1-4:2007 Eesti rahvuslikule lisale rakendatakse suunateguri soovituslikku väärtust 1,0 [19, p. 146];
 C_{season} – aastaajategur. Vastavalt EVS-EN 1991-1-4:2007 Eesti rahvuslikule lisale rakendatakse aastaaja soovituslikku väärtust 1,0 [19, p. 146];
 $v_{b,0}$ – tuule põhiline baaskiiruse väärtus m/s. Vastavalt EVS-EN 1991-1-4:2007 Eesti rahvuslikule lisale on Eestis tuule põhilise baaskiiruse väärtuseks 21 m/s [19, p. 145].

Projekteeritav hoone asub maastikutüüp II alas, mis eeldab, et maastik on kaetud madala taimkatte ja üksikute takistustega (puud, hooned), mille vaheline kaugus võrdub vähemalt 20-kordse kõrgusega. Vastavalt maastikutüübile II on karedusmõõt $z_0=0,05$. [19, p. 20]

Vaadeldava piirkonna maastikutüübitegur k_r arvutatakse järgnevast avaldisest [19, p. 20].

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19, \quad (8)$$

kus z_0 – vaadeldava maastikutüübi karedusmõõt [19, p. 20];

$z_{0,II}$ – maastikutüüp II karedusmõõt 0,05 m [19, p. 20].

Karedustegur $c_r(z_e)$ võtab arvesse keskmise tuulekiiruse muutumist ehitise juures, mis leitakse valemist (9) kui $z_{\min} \leq z_e < z_{\max}$ ja valemist (10) kui $z_e < z_{\min}$ [19, p. 19].

$$c_r(z_e) = k_r \cdot \ln(z_e / z_e), \quad (9)$$

$$c_r(z_e) = k_r \cdot \ln(z_{\min} / z_0), \quad (10)$$

kus k_r – on maastikutüübitegur, mis saadakse valemist (8);
 z_e – hoone vaadeldava koha kõrgus maapinnast m;
 z_{min} – minimaalne viitekõrgus antud piirkonnas $z_{min}=2,0$ m [19, p. 20].

Vaadeldava piirkonna asukohakõrgus on 7,0 m, mis on suurem kui minimaalne viitekõrgus, järelikut leitakse karedustegur valemist (9):

$$c_r(z_e) = 0,19 \cdot \ln(7,0/0,05) = 0,939.$$

Vaadeldava piirkonna keskmine tuulekiirus $v_m(z_e)$ [m/s] maapinnast kõrgusel z_e sõltub maapinna karedusest, pinnavormidest ja tuule baaskiirusest v_b ning määratakse järgneva valemiga [19, p. 19]:

$$v_m(z_e) = c_r(z_e) \cdot c_0(z_e) \cdot v_b = 0,939 \cdot 1,0 \cdot 21 = 19,72 \text{ m/s}, \quad (11)$$

kus $c_0(z_e)$ – pinnavormitegur, mille soovituslik väärtus on vastavalt EVS-EN 1991-1-4:2007 Eesti rahvuslikule lisale 1,0 [19, p. 146].

Tuule turbulentsi intensiivsus $I_v(z_e)$ kõrgusel z_e leitakse valemist (12) kui $z_{min} \leq z_e \leq z_{max}$ ja valemist (13) kui $z_e < z_{min}$.

$$I_v(z_e) = \frac{k_I}{c_0(z_e) \cdot \ln(z_e / z_0)}, \quad (12)$$

$$I_v(z_{min}) = \frac{k_I}{c_0(z_e) \cdot \ln(z_{min} / z_0)}, \quad (13)$$

kus k_I – on turbulentsitegur, mille soovituslik väärtus on vastavalt EVS-EN 1991-1-4:2007 Eesti rahvuslikule lisale 1,0 [19, p. 147].

Tuule turbulentsi intensiivsus vaadeldavas piirkonnas valemi (13) järgi kuna $0,05 \leq 7,0 \leq 200$:

$$I_v(z_e) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(7,0/2,0)} = 0,20.$$

Tuule tippkiirusrõhk $q_p(z_e)$ [N/m²] kõrgusel z_e määratakse järgneva valemi (14) abil, milles liituvad keskmine kiirus ja lühiaegsed kiiruse pulsatsioonid [19, p. 23].

$$q_p(z_e) = [1 + 7 \cdot I_v(z_e)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = [1 + 7 \cdot 0,20] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 19,72^2 = 587,17, \quad (14)$$

kus ρ – on õhutihedus kg/m³, mis sõltub absoluutsest kõrgusest, temperatuurist ning tormi ajal eeldatavast ja baromeetrilisest rõhust. Vastavalt EVS-EN 1991-1-4:2007 Eesti rahvuslikule lisale kasutatakse soovituslikku väärtust 1,25 kg/m³ [19, p. 147].

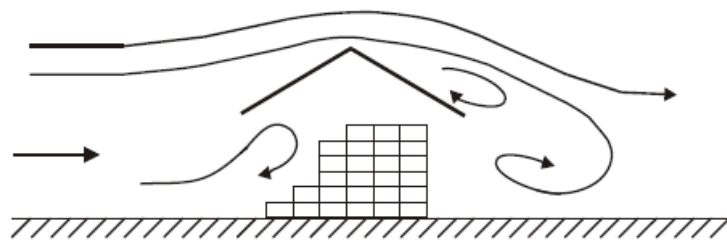
Välispindadele mõjuv tuulerõhk w_e [N/m²] leitakse valemi (15) järgi [19, p. 24]:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_f, \quad (15)$$

kus c_f – on välisõhu rõhutegur.

Kuna käesolevas töös projekteeritud rajatise kujule ei vasta standardis ükski konkreetne näide, on antud töös valitud kõige sarnasem metoodiline näide, milleks on varikatused. Kuna vaadeldav katus on ebastandardse kujuga, on välipinnale mõjuvale tuulerõhule lisatud täiendav varutegur 2,0.

Lähtudes sellest, et projekteeritav laululava on tuulealusest küljest täielikult suletud, võib takistusteguriks φ võtta 1,0 [19, p. 52]. Antud takistusteguri tingimus on toodud allpool (vt joonis 7).



Joonis 7. Õhuvool ümber varikatuse [19, p. 53]

Projekteeritud laululava puhul on valitud kõige ebasoodsamad tuulejõutegurid varikatuste osas. Üldine tuulejõutegur c_f väljendab resultantjõudu. Netorõhutegur $C_{p,net}$ väljendab maksimaalset kohalikku rõhku kõikide tuulesuundade puhul. Seda tuleks kasutada katusekatte elementide ja kinnituste projekteerimisel. Varikatuse üldised tuulejõutegurid on survel $c_f = 1,2$ ja tõmbel $c_f = -1,4$ [19, p. 54].

Tuulerõhu surve valemi (15) järgi:

$$w_e = 581,17 \cdot 1,20 \cdot 2 = 1409 \text{ N/m}^2 = 1,41 \text{ kN/m}^2.$$

Tuulerõhu tõmme valemi (15) järgi:

$$w_e = 581,17 \cdot (-1,40) \cdot 2 = -1644 \text{ N/m}^2 = -1,64 \text{ kN/m}^2.$$

5.3. Koormuskombinatsioonid

5.3.1. Koormuste osavarutegurid

Vastavalt standardi EVS-EN 1990:2002 Eesti rahvuslikule lisale on koormuste osavarutegurid järgnevad [1, p. 89]:

- ainult alaliskoormuse ebasoodne mõju $\gamma_{G,sup} = 1,35$;
- alaliskoormuse ebasoodne mõju $\gamma_{G,sup} = 1,20$;
- alaliskoormuse soodne mõju $\gamma_{G,inf} = 1,00$;
- muutuvkoormuse ebasoodne mõju $\gamma_{Q,sup} = 1,50$;
- muutuvkoormuse soodne mõju $\gamma_{Q,inf} = 0,00$.

5.3.2. Kombinatsioonitegurid

Koormuste kombinatsioonitegurid on toodud järgnevas tabelis (vt tabel 1).

Tabel 1

Koormuste kombinatsioonitegurid [1, p. 88]

Koormus	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hoone kasuskoormus - klass C	0,7	0,7	0,6
Katused - klass H	0,0	0,0	0,0
Lumekoormus	0,5	0,2	0,0
Tuulekoormus	0,6	0,2	0,0
Temperatuur hoones	0,6	0,5	0,0

5.3.3. Koormuskombinatsioonid kandepiirseisundis

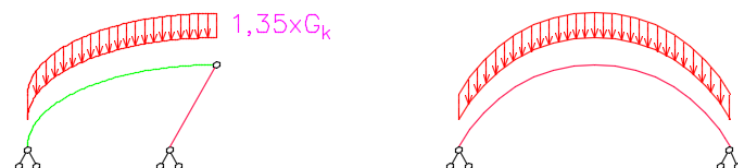
Antud konstruktsioonide puhul on kasutatud järgnevaid kandepiirseisundi koormuskombinatioone:

- 1) KK1 – alaliskoormuse ebasoodne mõju ehk omakaalu ebasoodne mõju (vt joonis 8).

$$\gamma_{G,sup} \cdot G_k = 1,35 \cdot G_k, \quad (16)$$

kus $\gamma_{G,sup}$ – alalise koormuse ebasoodsast mõjust tulenev osavarutegur;

G_k – normatiivne omakaal kN/m.



Joonis 8. Koormuskombinatsioon KK1

- 2) KK2 – kasuskoormuse ebasoodne mõju ehk omakaal ja katusele mõjuv kasuskoormus. Käesolevate konstruktsioonide puhul pole arvestatud, kuna domineeriv lumekoormuse väärtus on suurem.

$$\gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot q_{k,\text{kasus}} = 1,20 \cdot G_k + 1,50 \cdot q_{k,\text{kasus}}, \quad (17)$$

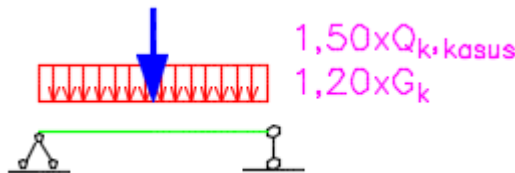
kus $\gamma_{Q,\text{sup}}$ – muutuva koormuse ebasoodsast mõjust tulenev osavarutegur;

$q_{k,\text{kasus}}$ – normatiivne kasuskoormus kN/m.

- 3) KK3 – kasuskoormuse ebasoodne mõju ehk omakaal ja katusele mõjuv punktikoormus (vt joonis 9). Kasutatakse katuse laudise arvutamisel.

$$\gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot Q_{k,\text{kasus}} = 1,20 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_{k,\text{kasus}}, \quad (18)$$

kus $Q_{k,\text{kasus}}$ – normatiivse kasuskoormuse punktikoormus kN.



Joonis 9. Koormuskombinatsioon KK3

- 4) KK4 – domineerivaks muutuvalkoormuseks on lumi

$$\gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot q_{k,\text{lumi}} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_0 \cdot q_{k,\text{tuul}} = 1,20 \cdot G_k + 1,50 \cdot q_{k,\text{lumi}} + 1,50 \cdot 0,6 \cdot q_{k,\text{tuul}}, \quad (19)$$

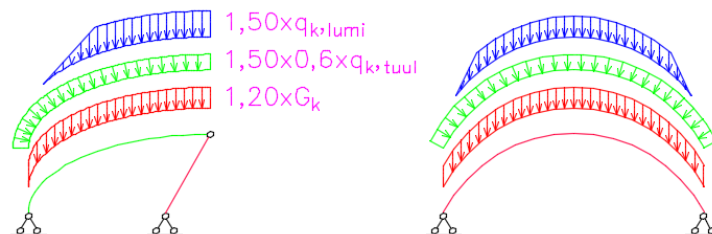
kus $q_{k,\text{lumi}}$ – normatiivne lumekoormus kN/m;

$q_{k,\text{tuul}}$ – normatiivne tuulekoormus kN/m;

ψ_0 – mittedomineeriva muutuvalkoormuse kombinatsioonitegur (vt tabel 1).

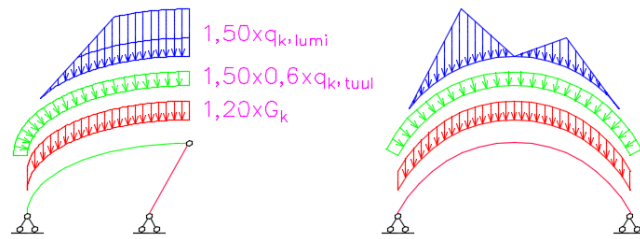
Koormuskombinatsioonist KK4 on lisaks veel neli kombinatsiooni vastavalt lume kuhjumisele ning tuule surve või tõmbe kombinatsioonidele.

KK4a – ühtlane lumi + tuule surve (vt joonis 10).



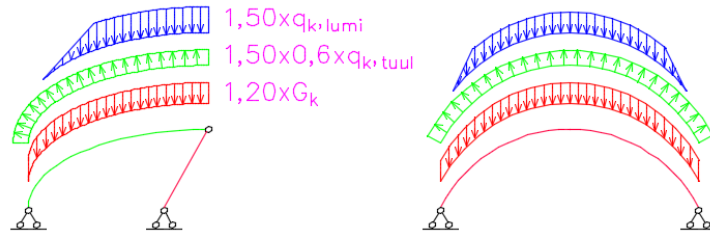
Joonis 10. Koormuskombinatsioon KK4a

KK4b – ebahühtlane lumi + tuule surve (vt joonis 11).



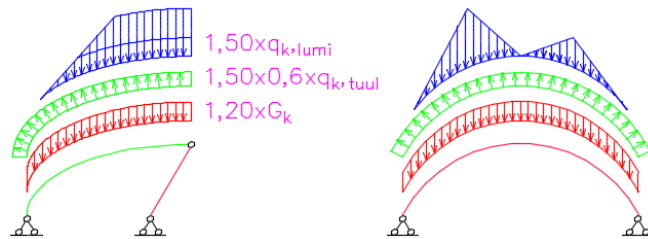
Joonis 11. Koormuskombinatsioon KK4b

KK4c – ühtlane lumi + tuule tõmme (vt joonis 12).



Joonis 12. Koormuskombinatsioon KK4c

KK4d – ebahühtlane lumi + tuule tõmme (vt joonis 13).



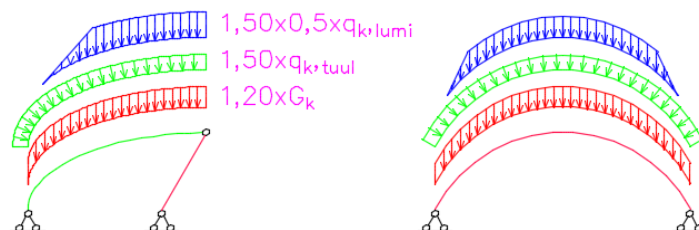
Joonis 13. Koormuskombinatsioon KK4d

5) KK5 – domineerivaks muutuvkoormuseks on tuul.

$$\gamma_{G, \text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q, \text{sup}} \cdot q_{k, \text{tuul}} + \gamma_{Q, \text{sup}} \cdot \psi_0 \cdot q_{k, \text{lumi}} = 1,20 \cdot G_k + 1,50 \cdot q_{k, \text{tuul}} + 1,50 \cdot 0,5 \cdot q_{k, \text{lumi}}, \quad (20)$$

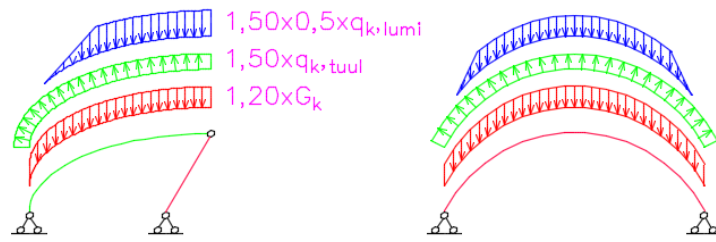
Koormuskombinatsioonist KK5 on lisaks veel neli kombinatsiooni vastavalt lume kuhjumisele ning tuule surve või tõmbe kombinatsioonidele.

KK5a – tuule surve + ühtlane lumi (vt joonis 14).



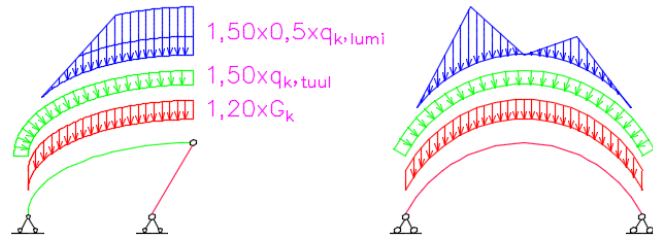
Joonis 14. Koormuskombinatsioon KK5a

KK5b – tuule tõmme + ühtlane lumi (vt joonis 15).



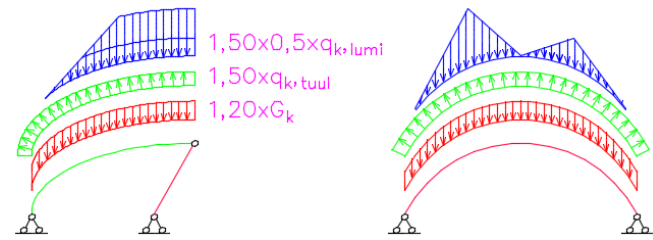
Joonis 15. Koormuskombinatsioon KK5b

KK5c – tuule surve + ebaühtlane lumi (vt joonis 16).



Joonis 16. Koormuskombinatsioon KK5c

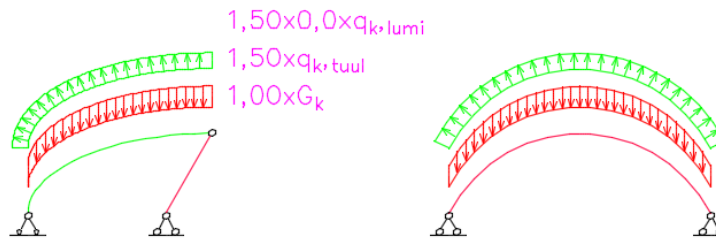
KK5d – tuule tõmme + ebaühtlane lumi (vt joonis 17).



Joonis 17. Koormuskombinatsioon KK5d

6) KK6 – tuule tõmme + omakaal (vt joonis 18).

$$\gamma_{G,\text{inf}} \cdot G_k + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot q_{k,\text{tuul}} + \gamma_{Q,\text{inf}} \cdot \psi_0 \cdot q_{k,\text{lumi}} = 1,00 \cdot G_k + 1,50 \cdot q_{k,\text{tuul}} + 1,50 \cdot 0,00 \cdot q_{k,\text{lumi}}, \quad (21)$$



Joonis 18. Koormuskombinatsioon KK6

5.3.4. Koormuskombinatsioonid kasutuspiirseisundis

Antud konstruktsioonide puhul on kasutatud nelja erinevat kasutuspiirseisundi koormuskombinatsiooni:

1) SLS1 – omakaal + domineeriv lumi

$$G_k + q_{k,lumi} \cdot \psi_1 + q_{k,tuul} \cdot \psi_2 = G_k + q_{k,lumi} \cdot 0,2 + q_{k,tuul} \cdot 0,0. \quad (22)$$

Koormuskombinatsioonist SLS1 on kaks kombinatsiooni vastavalt ühtlasele ja ebaühtlasele lume koormusele:

- SLS1a – omakaal + ühtlane lumekoormus;
- SLS1b – omakaal + ebaühtlane lumekoormus.

2) SLS2 – omakaal + domineeriv tuul

$$G_k + q_{k,tuul} \cdot \psi_1 + q_{k,lumi} \cdot \psi_2 = G_k + q_{k,tuul} \cdot 0,2 + q_{k,lumi} \cdot 0,0. \quad (23)$$

Koormuskombinatsioonist SLS2 on lisaks veel kaks kombinatsiooni vastavalt tuule survele ja tuule tõmbele:

- SLS2a – omakaal + tuule surve;
- SLS2b – omakaal + tuule tõmme.

6. AKUSTIKA

6.1. Ruumiakustikalahenduste põhimõtted

Kandetarindite projekteerimisel on lähtutud põhimõttest, et heli peegelduks laululava kaare pinnalt publiku suunas. Laululava ristlõige on osa ellipsist, mille kujust lähtuvalt peaks heli koonduma publiku suunas.

Konstruksioonide projekteerimisel on püütud vältida heliga risti olevaid tarindeid, sellest ka abikaarte suuna valik. Peakaare osas võib olla oht, et heli takistub serva taha, kuid selle osatähtsus on väike, kuna peakaar asub piisavalt kõrgel ja ruumi servades.

Täpsemaid akustilisi lahendusi pole antud töös käsitletud.

7. KONSTRUKTSIOONIDE ÜLDKIRJELDUS

Vundamendiks on raudbetoonist plaatvundament, mis ühtlasi moodustab ka lõppviiimistlusega põrandaplaadi. Põrandaks on terashõõrde pinnaga betoon, pinnaviimistlus THI, klass A, külmakindlusklass KK3.

Katust kannavad abikaared ristlõikega 240×440 mm ja tugevusklassiga GL32h. Abikaarte samm projektsioonis on 991...1609 mm. Abikaari kannab peakaar, mille ristlõige on 240×1400 mm ja tugevusklass GL32h. Peakaar on 30° ettepoole kaldu.

Katuse konstruktsiooniks on valitud kolmekordne ristlaudis ristlõikega 95×20 mm, tugevusklassiga C24. Katuse laudist katab kahes kihis bituumenrullmaterjal.

Siseviimistluses jäävad peatala ja abitalad visuaalselt vaadeldavaks. Abitalade vahele tuleb üks kiht lisalaudist ristlõikega 95×25 mm, mis on risti abikaartega.

8. KATUSE LAUDIS

Katuse laudiseks on valitud okaspuidust saematerjal tugevusklassiga C24. Töötavad lauad paiknevad kolmes kihis risti abitaladega 45° nurga all. Kõige alumiseks kihiks on jaotuskiht, mille ülesandeks on kaartevahelise sfääri moodustamine ning mille kaasatöötamisega pole siinkohal arvestatud. Laua ristlõikeks on 20 × 95 mm. Lauad paiknevad sammuga 100 mm, mille tulemusena jääb laudade vahele paisumis- ja tuulutusvahe 5 mm. Jaotuskihi laudis paikneb sammuga 200 mm.

8.1. Materjali normatiivsed omadused

Okaspuust saematerjali tugevusklassiga C24 normatiivsed omadused on järgnevad [6, p. 7]:

- | | |
|----------------------------|---|
| 1) paindetugevus | $f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$; |
| 2) survetugevus ristikiudu | $f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$; |
| 3) nihketugevus | $f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2$; |
| 4) tõmbetugevus pikikiudu | $f_{t,0,k} = 14,0 \text{ N/mm}^2$; |
| 5) survetugevus pikikiudu | $f_{c,0,k} = 21,0 \text{ N/mm}^2$; |
| 6) keskmine tihedus | $\rho_{\text{mean}} = 420 \text{ kg/m}^3$. |

8.2. Materjali arvutuslikud omadused

Katuse laudise arvutuslikud omadused ja abitegurid on järgnevad:

- | | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 1) koormuse kestusklass | lühiajaline [20, p. 137]; |
| 2) kasutusklass | 2 [20, p. 137]; |
| 3) materjali osavarutegur | $\gamma_M = 1,3$ [20, p. 138]; |
| 4) modifikatsioonitegur | $k_{\text{mod}} = 0,9$ [20, p. 31]; |
| 5) ristlõiketegur paindel | $k_h = 1,3$ [20, p. 30]; |
| 6) ristlõiketegur tõmbel | $k_h = 1,1$ [20, p. 30]; |
| 7) süsteemi tugevustegur | $k_{\text{sys}} = 1,1$ [20, p. 59]; |
| 8) tegur | $k_m = 0,7$ [20, p. 37]. |

8.3. Materjali arvutuslik tugevus

1. Tõmbetugevus

Materjali arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu $f_{t,0,d}$ [N/mm²] leitakse järgnevast valemist [21, p. 58]:

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 14}{1,3} = 11,68 \text{ N/mm}^2, \quad (24)$$

kus k_{mod} – modifikatsioonitegur;
 k_{sys} – süsteemi tugevustegur;
 k_h – ristlõike mõõtmetest sõltuv tegur;
 $f_{t,0,k}$ – normatiivne tõmbetugevus N/mm²;
 γ_M – materjali osavarutegur.

2. Survetugevus

Materjali arvutuslik survetugevus $f_{c,0,d}$ [N/mm²] pikikiudu leitakse järgnevast valemist [21, p. 59]:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,1 \cdot 21}{1,3} = 15,99 \text{ N/mm}^2, \quad (25)$$

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

Materjali arvutuslik survetugevus $f_{c,90,d}$ [N/mm²] ristikiudu leitakse järgnevast valemist [21, p. 60]:

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,1 \cdot 2,5}{1,3} = 1,90 \text{ N/mm}^2, \quad (26)$$

kus $f_{c,90,k}$ – normatiivne survetugevus ristikiudu N/mm².

3. Nihketugevus

Materjali arvutuslik nihketugevus $f_{v,d}$ [N/mm²] leitakse järgnevast valemist [21, p. 66]:

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,1 \cdot 4,0}{1,3} = 3,05 \text{ N/mm}^2, \quad (27)$$

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

4. Paindetugevus

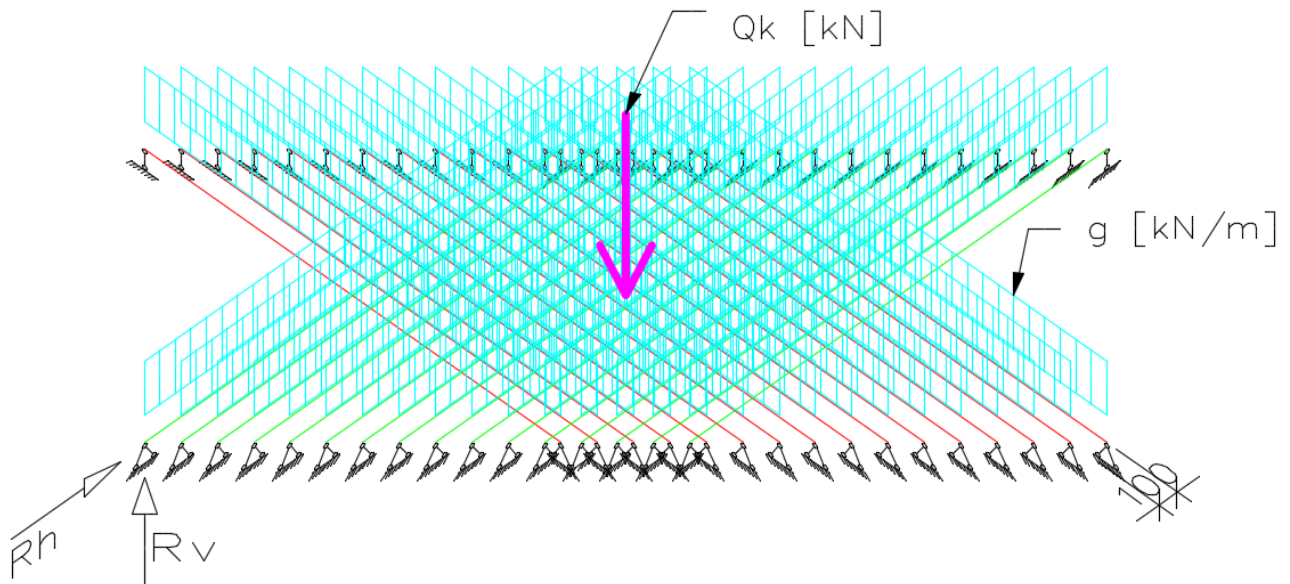
Materjali arvutuslik paindetugevus $f_{m,d}$ [N/mm²] leitakse järgnevast valemist [21, p. 63]:

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_h \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 24}{1,3} = 23,76 \text{ N/mm}^2, \quad (28)$$

kus $f_{m,k}$ – normatiivne paindetugevus N/mm².

8.4. Arvutusskeem

Katuse laudist arvutatakse antud olukorras ühesildelise lihttalana. Järgneval joonisel on esitatud laudise ruumiline arvutusskeem, kus laudis asub kahes kihis ja üksteisega risti (vt joonis 19). Joonisel on esitatud koormuskombinatsioon KK3. Laudise arvutamisel ei arvestata, et laudise erinevad kihid töötavad omavahel nihkele.



Joonis 19. Laudise arvutusskeem

8.5. Laudisele mõjuvad koormused

Laudisele mõjuvad järgnevad koormused:

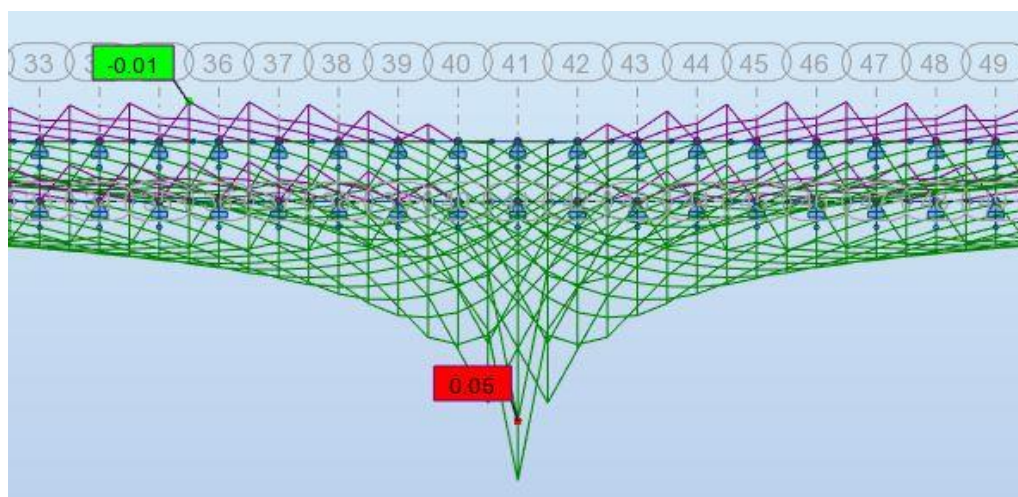
- 1) omakaal $g_k = 2 \cdot 0,08 = 0,16 \text{ kN/m}^2$;
- 2) bituumenkate $g_k = 0,03 + 0,04 = 0,07 \text{ kN/m}^2$;
- 3) kasuskoormus katusel $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ (kalle kuni 20°), $Q_k = 1,5 \text{ kN}$;
- 4) tuulekoormus $q_{tuul,k} = 1,41 \text{ kN/m}^2$ (surve); $q_k = 1,61 \text{ kN/m}^2$ (tõmme);
- 5) lumekoormus $q_{lumi,k} = 3,0 \text{ kN/m}^2$ (ebaühtlane lumi).

8.6. Koormuskombinatsioonid

Vastavalt standardile ei tohi katuste puhul samaaegselt arvestada kasuskoormust ja lume- või tuulekoormust [17, p. 15], seega saab laudisele määravaks koormuskombinatsioon KK3, mis võib mõjuda katuse hoolduse või remondi käigus (vt joonis 9).

8.7. Sisejõud

Kuna laudis töötab koorikuna ja koormus jaotub mitme laua peale korraga on laudise sisejõude leidmiseks koostatud eraldi mudel programmis ARSA. Punktkoormusest põhjustatud paindemoment jaguneb kahekihilise diagonaallaudise korral alumisele ja ülemisele ning kõrval olevatele laudadele. ARSA mudeliga on kirjeldatud, kuidas punktkoormus jaguneb (vt joonis 20).



Joonis 20. Kahekihilises diagonaallaudises punktkoormusest põhjustatud paindemomendi jagunemine

ARSA-s tehtud mudelis on laudis konstrueeritud varrastena, mis imiteerib laudise tööd koorikuna ning mille tulemusena tekib selles tõmbejõud. Ühe laua pikijõu leidmiseks tuleb ARSA mudeli oleva varda sisejõud jagada ühes kihis olevate laudade arvuga, milles antud sisejõud jaguneb. Lühim varraste vahe on mudelis 1300 mm, seega jaguneb koormus $1300/100=13$ lauale.

Laudise pikijõud N [kN] kandepiir seisundis on toodud allpool (vt tabel 2).

Tabel 2

Laudise pikijõud kandepiir seisundis

	KK1	KK4a	KK4b	KK4c	KK4d	KK5a	KK5b	KK5c	KK5d	KK6
$N_{t,0,d}$, kN	19,39	48,75	58,50	14,62	23,41	53,85	2,82	58,73	5,46	4,64
$N_{c,0,d}$, kN	-4,82	-13,05	-14,35	-4,55	-6,84	-13,24	-10,92	-13,89	-14,35	-20,62

Laudise arvutuslikud sisejõud on järgnevad:

- 1) maksimaalne arvutuslik paindemoment $M_{y,d} = 0,08$ kNm; $M_{z,d} = 0,00$ kNm;
- 2) maksimaalne arvutuslik tõmbejõud pikikiudu $N_{t,0,d} = 58,73/13 = 4,52$ kN;
- 3) maksimaalne arvutuslik survejõud pikikiudu $N_{c,0,d} = 20,62/13 = 1,59$ kN;
- 4) maksimaalne arvutuslik põikjõud $V_d = 0,19$ kN.

8.8. Kontroll kandepiirseisundis

1. Kontroll tõmbele

Tugevustingimus: $\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$

Katuse laudise arvutuslik tõmbepinge $\sigma_{t,0,d}$ [N/mm²] pikikiudu leitakse järgnevalt [21, p. 58]:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{neto}} = \frac{4,52 \cdot 10^3}{95 \cdot 20} = 2,38 \text{ N/mm}^2, \quad (29)$$

kus $N_{t,0,d}$ – arvutuslik tõmbejõud pikikiudu N;

A_{neto} – ristlõike netopindala mm².

$\sigma_{t,0,d} = 2,38 \text{ N/mm}^2 < f_{t,0,d} = 11,68 \text{ N/mm}^2$, tugevustingimus on täidetud.

2. Kontroll survele pikikiudu

Tugevustingimus: $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$

Katuse laudise arvutuslik survepinge $\sigma_{c,0,d}$ [N/mm²] pikikiudu leitakse järgnevalt [21, p. 59]:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{neto}} = \frac{1,59 \cdot 10^3}{95 \cdot 20} = 0,84 \text{ N/mm}^2, \quad (30)$$

kus $N_{c,0,d}$ – arvutuslik survejõud pikikiudu N.

$\sigma_{c,0,d} = 0,84 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,0,d} = 15,99 \text{ N/mm}^2$, tugevustingimus on täidetud.

3. Kontroll survele ristikiudu

Ristikiudu survepinge leidmise puhul arvestatakse punktkoormusega, mis on rakendatud toele.

Tugevustingimus: $\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d}$

Katuselaudise arvutuslik survepinge $\sigma_{c,90,d}$ [N/mm²] ristikiudu leitakse järgnevalt [21, p. 60]:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{50 \cdot 50} = 0,60 \text{ N/mm}^2, \quad (31)$$

kus $F_{c,90,d}$ – arvutuslik survejõud ristikiudu (kui kasuskoormuse punktkoormus asub toel) N;

A_{ef} – efektiivne muljumispind ristikiudu mm².

$\sigma_{c,90,d} = 0,60 \text{ N/mm}^2 < f_{c,90,d} = 1,90 \text{ N/mm}^2$, tugevustingimus on täidetud.

4. Kontroll nihkele

Nihkekontrollis arvestatakse ainult ühe laua ristlõike pindalaga.

Tugevustingimus: $\tau_d \leq f_{v,d}$

Katuse laudise arvutuslik nihkepinge τ_d [N/mm²] materjali täisnurkse ristlõike puhul [21, p. 67]:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A_{neto}} \cdot \frac{1}{k_{cr}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,19 \cdot 10^3}{95 \cdot 20} \cdot \frac{1}{0,67} = 0,22 \text{ N/mm}^2, \quad (32)$$

kus V_d – arvutuslik põikjõud kN;

k_{cr} – pragude mõju arvesse võttev tegur.

$\tau_d = 0,22 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 3,05 \text{ N/mm}^2$, nihketugevus on tagatud.

5. Kontroll paindele

Tugevustingimus: $\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$

Katuse laudise vastupanumomendi arvutamisel lähtutakse, et jõud jagatakse laiuselt mitmele lauale ning mõlemale kihile, kuid samas arvestatakse et laudise kihid ei ole omavahel ühendatud nihkekindlalt.

Arvutuslik paindepinge $\sigma_{m,y,d}$ [N/mm²] leitakse järgnevalt [21, p. 64]:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{b \cdot h^2 / 6} = \frac{0,08 \cdot 10^6}{95 \cdot 20^2 / 6} = 6,32 \text{ N/mm}^2, \quad (33)$$

kus $M_{y,d}$ – arvutuslik paindemoment kNm;

b – laudise ristlõike laius, mm;

h – laudise ristlõike kõrgus, mm.

$\sigma_{m,y,d} = 6,32 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 23,76 \text{ N/mm}^2$, paindetugevus on tagatud.

6. Katuse laudise kontroll tõmbele koos paindega

Tugevustingimused tõmme koos paindega [21, p. 68]:

1. Tugevustingimus leitakse järgnevast võrrandist:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{2,38}{11,68} + \frac{6,32}{23,76} + 0,7 \cdot \frac{0,00}{23,76} = 0,47 \leq 1, \quad (34)$$

kus k_m – tegur, mis võetakse täisnurkse ristlõike korral 0,7 [20, p. 45].

Esimene tugevustingimus on täidetud.

2. Tugevustingimus leitakse järgnevast võrrandist:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{2,38}{11,68} + 0,7 \cdot \frac{6,32}{23,76} + \frac{0,00}{23,76} = 0,39 \leq 1. \quad (35)$$

Teine tugevustingimus on täidetud.

7. Katuse laudise kontroll surve koos paindega

Tugevustingimused surve koos paindega puhul [21, p. 70]:

1. Tugevustingimus leitakse järgnevalt võrrandist:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \left(\frac{0,84}{3,05} \right)^2 + \frac{6,32}{23,76} + 0,7 \cdot \frac{0,00}{23,76} = 0,27 \leq 1. \quad (36)$$

Esimene tugevustingimus on täidetud.

2. Tugevustingimus leitakse järgnevalt võrrandist:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \left(\frac{0,84}{3,05} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{6,32}{23,76} + \frac{0,00}{23,76} = 0,19 \leq 1. \quad (37)$$

Teine tugevustingimus on täidetud.

8.9. Kontroll kasutuspiirseisundis

Vastavalt Autodesk Robot Structural Analysis programmi tulemustele on katuse laudise lõplik läbipaine $w_{fin} = 9,8$ mm.

Antud konstruktsiooni puhul ei ole normdokumentides kandepiirseisundile nõudeid esitatud.

Lähtudes lamekatuste standardist EVS 920-5:2015, peab bituumenrullmaterjalide tooteklassi kuuluvate materjalide pikenemine pikikiudu olema vähemalt 15 % enne kui saavutatakse katkevusvenivus (katsemeetod EVS-EN 12311-1). [22]

Bituumenrullmaterjali pikenemisel 15% peaks laudise läbipaine 1,3 meetrise silde puhul olema vähemalt 369,1 mm.

Vastavalt eelnevale võib lugeda kasutuspiirseisundi tagatuks, kuna bituumenrullmaterjali katkevusvenivust ei saavutata lõpliku läbipainde puhul.

9. ABIKAAR

9.1. Materjali normatiivsed omadused

Tugevusklass GL32h normatiivsed omadused on järgnevad [5, p. 20]:

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1) paindetugevus | $f_{m,k} = 32,0 \text{ N/mm}^2$; |
| 2) tõmbetugevus pikikiudu | $f_{t,0,k} = 25,6 \text{ N/mm}^2$; |
| 3) tõmbetugevus ristikiudu | $f_{t,90,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$; |
| 4) survetugevus pikikiudu | $f_{c,0,k} = 32,0 \text{ N/mm}^2$; |
| 5) survetugevus ristikiudu | $f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$; |
| 6) nihketugevus | $f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$; |
| 7) 5 % el.moodul pikikiudu | $E_{0,05} = 11\,800 \text{ N/mm}^2$; |
| 8) keskmine el.moodul ristik. | $E_{90,\text{mean}} = 300 \text{ N/mm}^2$; |
| 9) 5 % nihkemoodul pikikiudu | $G_{0,05} = 540 \text{ N/mm}^2$; |
| 10) keskmine tihedus | $\rho_{g,k} = 440 \text{ kg/m}^3$. |

9.2. Arvutuslikud omadused

Abitalade arvutuslikud omadused on järgnevad:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 1) koormuse kestusklass | lühiajaline [20, p. 137]; |
| 2) kasutusklass | 2 [20, p. 137]; |
| 3) materjali osavarutegur | $\gamma_M = 1,25$ [20, p. 138]; |
| 4) modifikatsioonitegur | $k_{mod} = 0,9$ [20, p. 31]; |
| 5) ristlõiketegur paindel | $k_h = 1,03$ [20, p. 32]; |
| 6) ristlõiketegur tõmbel | $k_h = 1,10$ [20, p. 32]; |
| 7) süsteemi tugevustegur | $k_{sys} = 1,0$ [20, p. 59]; |
| 8) deformatsioonitegur | $k_{def} = 0,8$ [20, p. 33]; |
| 9) pragude mõju arvestav tegur | $k_{cr} = 0,67$ [20, p. 37]; |
| 10) abitegur | $k_m = 0,7$ [20, p. 37]. |

9.3. Materjali arvutuslik tugevus

1. Abikaare arvutuslik tõmbetugevus

Abikaare arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu $f_{t,0,d}$ [N/mm²] valemi (24) järgi:

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 25,6}{1,25} = 20,20 \text{ N/mm}^2.$$

Abikaare arvutuslik tõmbetugevus ristikiudu $f_{t,90,d}$ [N/mm²] leitakse järgneva valemi järgi [21, p. 58]:

$$f_{t,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot k_h \cdot f_{t,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,5}{1,25} = 0,39 \text{ N/mm}^2. \quad (38)$$

2. Abikaare arvutuslik survetugevus

Abikaare arvutuslik survetugevus pikikiudu $f_{c,0,d}$ [N/mm²] valemi (25) järgi:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 32}{1,25} = 23,04 \text{ N/mm}^2.$$

Abikaare arvutuslik survetugevus ristikiudu $f_{c,90,d}$ [N/mm²] valemi (26) järgi:

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \times 1,0 \times 2,5}{1,25} = 1,80 \text{ N/mm}^2.$$

3. Nihketugevus

Abikaare arvutuslik nihketugevus $f_{v,d}$ [N/mm²] valemi (27) järgi:

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 3,5}{1,25} = 2,52 \text{ N/mm}^2.$$

4. Paindetugevus

Abikaare arvutuslik paindetugevus $f_{m,y,d}$ [N/mm²] y-telje suhtes leitakse valemi (28) järgi:

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_h \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,03 \cdot 1,0 \cdot 32}{1,25} = 23,77 \text{ N/mm}^2.$$

Abikaare arvutuslik paindetugevus $f_{m,z,d}$ [N/mm²] z-telje suhtes leitakse valemi (28) järgi:

$$f_{m,z,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_h \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 32}{1,25} = 25,25 \text{ N/mm}^2.$$

9.4. Abikaartele mõjuvad koormused

Joonkoormuste leidmisel on arvestatud abikaarte vahelise katuse sildega, mis on 1,62 m.

Abikaartele mõjuvad järgnevad koormused:

- 1) abikaare omakaal

$$g_k = 0,24 \cdot 0,44 \cdot 4,4 = 0,46 \text{ kN/m};$$

- 2) bituumenkate

$$g_k = 0,03 + 0,04 = 0,07 \text{ kN/m}^2, g_k = 0,07 \cdot 1,62 = 0,12 \text{ kN/m};$$

- 3) katuse laudis 95×20 mm kolmes kihis

$$g_k = 3 \cdot 0,02 \cdot 0,95 \cdot 4,2 = 0,24 \text{ kN/m}^2, g_k = 0,24 \cdot 1,62 = 0,39 \text{ kN/m};$$

- 4) siseviimistluse laudis 95×25 mm

$$g_k = 0,025 \cdot 0,95 \cdot 4,2 = 0,10 \text{ kN/m}^2, g_k = 0,10 \cdot 1,62 = 0,16 \text{ kN/m};$$

- 5) lavatehnika

$$g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2, g_k = 0,5 \cdot 1,62 = 0,81 \text{ kN/m};$$

- 6) tuulekoormus

$$q_{\text{tuul},k} = 1,41 \text{ kN/m}^2, g_k = 1,41 \cdot 1,62 = 2,28 \text{ kN/m (surve)};$$

$$q_{\text{tuul},k} = 1,61 \text{ kN/m}^2, g_k = 1,61 \cdot 1,62 = 2,61 \text{ kN/m (tõmme)};$$

- 7) lumekoormus

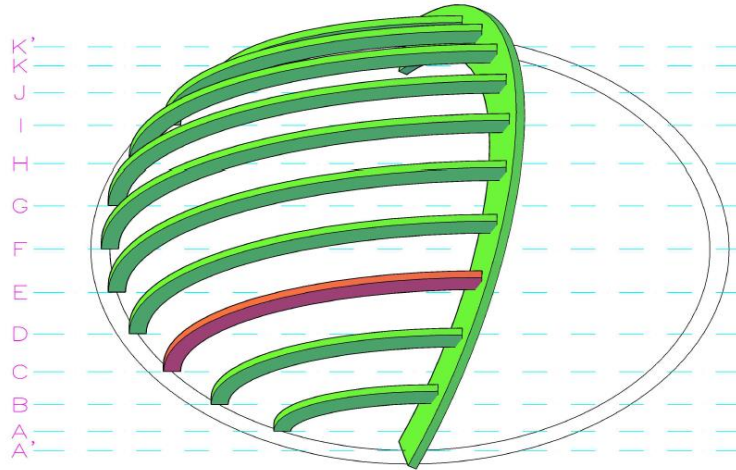
$$q_{\text{lumi},k} = 0 \dots 3,0 \text{ kN/m}^2, g_k = 0 \dots 3,0 \cdot 1,62 = 0 \dots 4,86 \text{ kN/m}$$

Omakaalukoormus kokku $g_k = 0,46 + 0,12 + 0,39 + 0,16 + 0,81 = 1,94 \text{ kN/m}$

Igale abikaare vastavale lõigule on määratud joonkoormused, mis on sisestatud programmi ARSA. Täpsemad abikaartele mõjuvad joonkoormused on toodud lisades (vt lisa 5...6).

9.5. Koormuskombinatsioon

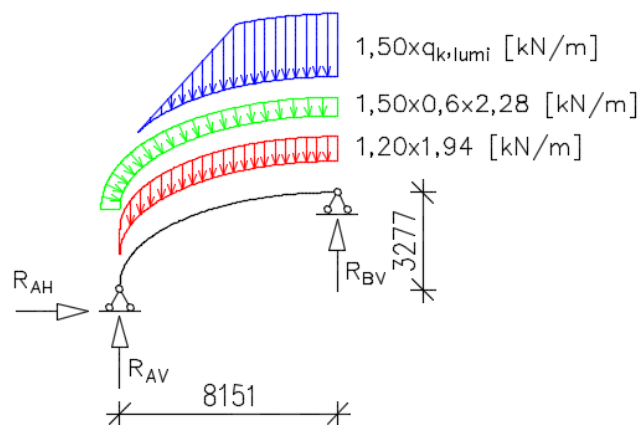
Vastavalt programmi ARSA tulemustele sai abikaarte dimensionimisel määravaks koormuskombinatsioon KK4b, mille puhul domineerivaks muutuvkoormuseks on ebaühtlane lumi ja mittedomineerivaks muutuvkoormuseks tuule surve. Määravaks lõikeks osutus abikaar „C“ punktis nr 23 (ARSA mudelis). Määravaks saanud abikaare paiknemist konstruktsioonis on näha järgneval joonisel (vt joonis 21).



Joonis 21. Määravaks saanud abikaare paiknemine

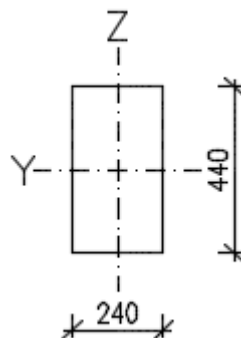
9.6. Arvutusskeem

Abikaar „C“ arvutusskeem koormuskombinatsioonis KK4b on esitatud järgneval joonisel (vt joonis 22). Abikaare tugedeks on liikumatud liigendtoed.



Joonis 22. Abikaare arvutusskeem

Abikaare arvutustes on teljed orienteeritud ristlõike suhtes vastavalt joonise 23 järgi.



Joonis 23. Abikaare telgede asetus ristlõike suhtes

9.7. Sisejõud

Käesoleva töö käigus on ära kontrollitud kõikide abikaarte kandepiirseisundid ning nende tulemuste põhjal saab määravaks abikaar „C“ harjapiirkonnas. Harjaks on programmi ARSA mudelis punkt nr 23. Abikaare „C“ arvutuslikud sisejõud koormuskombinatsioonist KK4b on toodud järgnevas tabelis, kus on esile tõstetud harjas asuv lõik, mida kontrollitakse (vt tabel 3).

Tabel 3

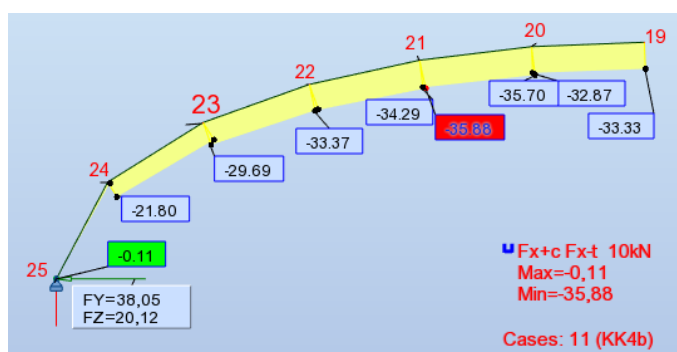
Abikaar "C" sisejõud koormuskombinatsioonis KK4b

Punkt	Varras/Punkt/Kombinatsioon	N_d , kN	$V_{z,d}$, kN	$M_{y,d}$, kNm	$N_{d,max}$, kN	$V_{z,d,max}$, kN	$M_{y,d,max}$, kNm
19	19/19/11 (C)	-33,33	50,94	0,00	-33,33	50,94	0,00
20	19/20/11 (C)	-32,87	36,01	68,02	35,70	36,01	68,02
	20/20/11 (C)	-35,70	33,21	68,02			
21	20/21/11 (C)	-34,29	18,36	108,36	35,88	18,36	108,36
	21/21/11 (C)	-35,88	15,02	108,36			
22	21/22/11 (C)	-33,37	0,35	120,38	33,37	3,90	120,38
	22/22/11 (C)	-33,14	-3,90	120,38			
23	22/23/11 (C)	-29,69	-16,76	104,23	29,69	22,70	104,23
	23/23/11 (C)	-25,44	-22,70	104,23			
24	23/24/11 (C)	-21,80	-31,72	61,81	21,80	38,37	61,81
	24/24/11 (C)	-3,02	-38,37	61,81			
25	24/25/11 (C)	-0,11	-43,04	0,00	-0,11	-43,04	0,00

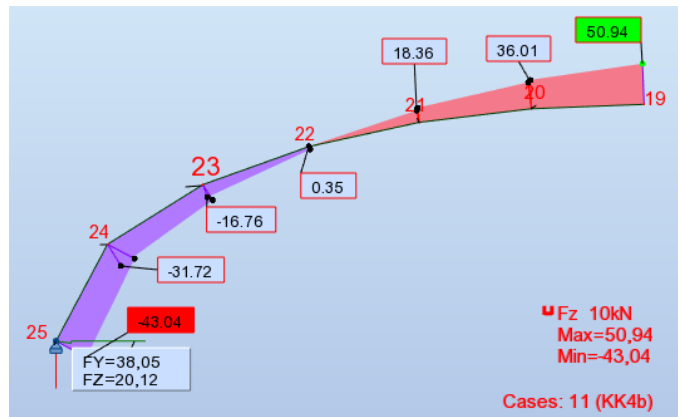
Abikaare „C“ arvutuslikud sisejõud koormuskombinatsioonist KK4b lõikes nr 23 on järgnevad:

- 1) maksimaalne arvutuslik normaaljõud pikikiudu $N_{c,0,d} = 29,69$ kN;
- 2) maksimaalne arvutuslik põikjõud $V_d = 22,70$ kN;
- 3) maksimaalne arvutuslik paindemoment $M_{y,d} = 104,23$ kNm.

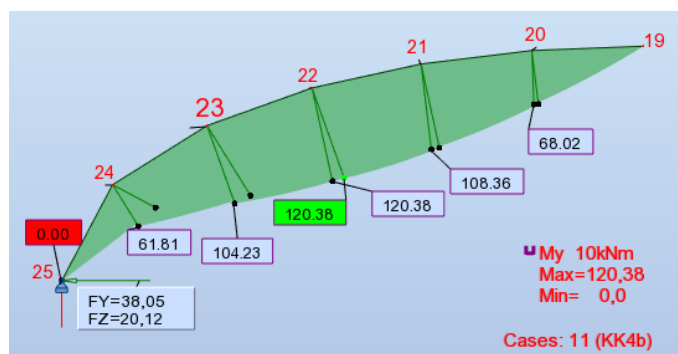
Abikaare sisejõudude epüürid on esitatud järgnevatel joonistel (vt joonis 24...26).



Joonis 24. Abikaare „C“ normaaljõu epüür (KK4b)



Joonis 25. Abikaare „C“ põikjõu epüür (KK4b)



Joonis 26. Abikaare „C“ paindemomendi epüür (KK4b)

9.8. Kontroll kandepiirseisundis

Kandepiirseisundis kontrollitakse materjali võimet vastu võtta talle mõjuvaid koormuseid. Abikaari ei kontrollita stabiilsusele, kuna abikaared on omavahel seotud diagonaallaudisega, mis takistavad stabiilsuse kadu.

1. Kontroll survele

Tugevustingimus: $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$

Abikaare arvutuslik survepinge pikikiudu $\sigma_{c,0,d}$ [N/mm²] leitakse valemi (30) järgi:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{neto}} = \frac{29,69 \cdot 10^3}{240 \cdot 440} = 0,28 \text{ N/mm}^2,$$

$\sigma_{c,0,d} = 0,28 \text{ N/mm}^2 < f_{c,0,d} = 20,20 \text{ N/mm}^2$, tugevustingimus on täidetud.

2. Kontroll nihkele

Tugevustingimus: $\tau_d \leq f_{v,d}$

Abikaare arvutuslik nihkepinge τ_d [N/mm²] valemi (32) järgi:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \cdot \frac{1}{k_{cr}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{22,70 \cdot 10^3}{240 \cdot 440} \cdot \frac{1}{0,67} = 0,48 \text{ N/mm}^2,$$

$\tau_d = 0,48 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 2,52 \text{ N/mm}^2$, nihketugevus on tagatud.

3. Kontroll paindele

Tugevustingimus: $\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$

Abikaare paindepinge y-telje suhtes $\sigma_{m,y,d}$ [N/mm²] valemi (33) järgi:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{b \cdot h^2 / 6} = \frac{104,23 \cdot 10^6}{240 \cdot 440^2 / 6} = 13,46 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 13,46 \text{ N/mm}^2 \leq f_{m,y,d} = 23,77 \text{ N/mm}^2$, tugevustingimus on täidetud.

4. Abikaare kontroll tõmbe ja painde koosmõjule

1. Tugevustingimuse kontroll valemi (34) järgi:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,00}{20,20} + \frac{13,46}{23,77} + 0,7 \cdot \frac{0,00}{25,25} = 0,571 < 1,0.$$

Esimene tugevustingimus on täidetud.

2. Tugevustingimuse kontroll valemi (35) järgi:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,00}{20,20} + 0,7 \cdot \frac{13,46}{23,77} + \frac{0,00}{25,25} = 0,40 < 1,0.$$

Teine tugevustingimus on täidetud.

5. Abikaare kontroll surve ja painde koosmõjule

1. Tugevustingimuse kontroll valemi (36) järgi:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \left(\frac{0,28}{23,04} \right)^2 + \frac{13,46}{23,77} + 0,7 \cdot \frac{0,00}{25,25} = 0,57 < 1,0.$$

Esimene tugevustingimus on täidetud.

2. Tugevustingimuse kontroll valemi (37) järgi:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \left(\frac{0,28}{23,04} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{13,46}{23,77} + \frac{0,00}{25,25} = 0,40 < 1,0.$$

Teine tugevustingimus on täidetud.

6. Paindepinged harjatsoonis

Tugevustingimus: $\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d}$,

kus k_r – abitegur, mis võtab arvesse tugevuse vähenemist lamellide painutamisest valmistamisel [21, p. 73];

Abiteguri k_l leitakse [21, p. 73]:

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3, \quad (39)$$

kus $k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap}$;

$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan \alpha_{ap}$;

$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \tan^2 \alpha_{ap}$;

$k_4 = 6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap}$;

$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap}$;

$\alpha_{a,p}$ – harjatsooni kaldenurk, kaare puhul $\alpha_{a,p} = 0$.

Abiteguri k_l leidmine valemi (39) järgi:

$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan(0^\circ) + 5,4 \cdot \tan^2(0^\circ) = 1,00$;

$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan(0^\circ) = 0,35$;

$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan(0^\circ) - 7,8 \cdot \tan^2(0^\circ) = 0,60$;

$k_4 = 6 \cdot \tan^2(0^\circ) = 0,00$;

$r = 7285 \text{ mm}$;

$$k_l = 1,00 + 0,35 \cdot \left(\frac{440}{7285} \right) + 0,60 \cdot \left(\frac{440}{7285} \right)^2 + 0,00 \cdot \left(\frac{440}{7285} \right)^3 = 1,02.$$

Paindepinged $\sigma_{m,d}$ [N/mm²] harjatsoonis [21, p. 73]:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}, \quad (40)$$

kus k_l – abitegur;

$M_{ap,d}$ – arvutuslik moment harjatsoonis kNm;

h_{ap} – tala kõrgus harjatsoonis mm.

Abikaare arvutuslik paindepinge $\sigma_{m,d}$ [N/mm²] harjatsoonis valemi (40) järgi:

$$\sigma_{m,d} = 1,02 \cdot \frac{6 \cdot 104,23 \cdot 10^3}{240 \cdot 440^2} = 13,77 \text{ N/mm}^2.$$

Kaare siseraadiuse r_{in} [mm] leidmine [21, p. 72]:

$$r_{in} = r - 0,5 \cdot h_{ap} = 7285 - 0,5 \cdot 440 = 7065 \text{ mm} \quad (41)$$

Abiteguri k_r leidmine [21, p. 73]:

kuna $\frac{r_{in}}{t} = \frac{7065}{40} = 176,63 < 240$, siis leitakse k_r väärtus järgnevast valemist:

$$k_r = 0,76 + 0,001 \cdot \frac{r_{in}}{t}, \quad (42)$$

kus r_{in} – siseraadius mm;
 t – lamelli paksus, $t = 40$ mm.

$$k_r = 0,76 + 0,001 \cdot \frac{7065}{40} = 0,94$$

Abikaare harjatsooni tugevustingimuse kontroll:

$\sigma_{m,d} = 13,77 < k_r \cdot f_{m,d} = 0,94 \cdot 23,77 = 22,26$, tugevustingimus on täidetud.

7. Ristikiudu tekkiv tõmbepinge harjatsoonis

Tugevustingimus: $\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$,

kus k_{dis} – tegur, mis arvestab pingejotuse mõju harjatsoonis, $k_{dis}=1,7$ harjakõverusega taladel [21];

k_{vol} – mahutegur.

Mahuteguri k_{vol} leidmine [21, p. 74]:

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2}, \quad (43)$$

kus V_0 – viitemaht $0,01 \text{ m}^3$;

V – pingestatud harjatsooni maht m^3 , kuid mitte suurem kui $2V_b/3$ (V_b on tala maht).

Abikaare kogumaht [21, p. 74]:

$$V_b = l \cdot b \cdot h = 9,33 \cdot 0,24 \cdot 0,44 = 0,99 \text{ m}^3. \quad (44)$$

Abikaare pingestatud harjatsooni maht:

$$V = \frac{2 \cdot 0,99}{3} = 0,66 \text{ m}^3. \quad (45)$$

Mahutegur k_{vol} valemi (43) järgi:

$$k_{vol} = \left(\frac{0,01}{0,66} \right)^{0,2} = 0,43.$$

Arvutuslik ristikiudu mõjuv tõmbepinge $\sigma_{t,90,d}$ [N/mm²] leitakse järgnevalt valemist:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}, \quad (46)$$

kus k_p – abitegur;

Abiteguri k_p leidmine [21, p. 74]:

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2, \quad (47)$$

kus $k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap}$;

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap};$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \tan \alpha_{ap} - 4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap}.$$

Abiteguri k_p leidmine valemi (47) järgi:

$$k_5 = 0,2 \cdot \tan(0^\circ) = 0,00;$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan(0^\circ) + 2,6 \cdot \tan^2(0^\circ) = 0,25;$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \tan(0^\circ) - 4 \cdot \tan^2(0^\circ) = 0,00;$$

$$k_p = 0,00 + 0,25 \cdot \left(\frac{440}{7285} \right) + 0,00 \cdot \left(\frac{440}{7285} \right)^2 = 0,02.$$

Arvutuslik ristikiudu tõmbepinge $\sigma_{t,90,d}$ [N/mm²] valemi (46) järgi:

$$\sigma_{t,90,d} = 0,02 \cdot \frac{6 \cdot 104,23 \cdot 10^6}{240 \cdot 440^2} = 0,20 \text{ N/mm}^2.$$

Abikaare harjatsooni arvutuslik tõmbetugevus [21, p. 74]:

$$k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,7 \cdot 0,43 \cdot 0,39 = 0,29 \text{ N/mm}^2, \quad (48)$$

$\sigma_{t,90,d} = 0,20 < k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 0,29$ tugevustingimus on täidetud.

8. Tõmme ristikiudu koos nihkega harjatsoonis

Tugevustingimus [21, p. 74]:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1. \quad (49)$$

Tugevuskontroll valemi (49) järgi:

$$\frac{0,48}{2,52} + \frac{0,20}{1,7 \cdot 0,43 \cdot 0,39} = 0,89 < 1,0.$$

Tugevustingimus on täidetud. Kandepiiriseisundi kontrolli tulemusena on 89% täidetud harjatsooni tõmbetugevusest.

9.9. Kontroll kasutuspiiriseisundis

Programmi ARSA tulemuste põhjal tekib suurim läbipaine abikaares „F“ kasutuspiiriseisundi kombinatsioonis SLS2a, kus domineerivaks koormuseks on tuule surve, mille tulemusena $w_{fin} = 34,8$ mm.

Abikaare läbipainet antud juhul on võrreldud painutatud peakandjale esitatud piirväärtusega [21, p. 89].

Kasutuspiiriseisundi kriteerium:

$$w_{fin} \leq w_{fin,lim} = \frac{l}{200}, \quad (50)$$

kus w_{fin} – lõplik läbipaine mm;

$w_{fin,lim}$ – lõplik läbipaine mm;

l – kaare sille mm.

Lubatud piirväärtus $w_{fin,lim}$:

$$\frac{l}{200} = \frac{10000}{200} = 50,0 \text{ mm.}$$

$w_{fin} = 34,8 \text{ mm} < w_{fin,lim} = 61,20 \text{ mm}$. Kasutuspiiriseisundi nõue on täidetud.

10. PEAKAAR

10.1. Materjali normatiivsed omadused

Tugevusklass GL32h normatiivsed omadused on järgnevad:

- | | |
|------------------------------|---|
| 1) paindetugevus | $f_{m,k} = 32,0 \text{ N/mm}^2$; |
| 2) tõmbetugevus pikikiudu | $f_{t,0,k} = 25,6 \text{ N/mm}^2$; |
| 3) tõmbetugevus ristikiudu | $f_{t,90,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$; |
| 4) survetugevus pikikiudu | $f_{c,0,k} = 32,0 \text{ N/mm}^2$; |
| 5) survetugevus ristikiudu | $f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$; |
| 6) nihketugevus | $f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$; |
| 7) 5 % el.moodul pikikiudu | $E_{0,05} = 11\,800 \text{ N/mm}^2$; |
| 8) 5 % nihkemoodul pikikiudu | $G_{0,05} = 540 \text{ N/mm}^2$; |
| 9) keskmine tihedus | $\rho_{,k} = 440 \text{ kg/m}^3$. [5, p. 20] |

10.2. Arvutuslikud omadused

Peatala arvutuslikud omadused ja abitegurid on järgnevad:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 1) koormuse kestusklass | lühiajaline [20, p. 137]; |
| 2) kasutusklass | 3 [20, p. 137]; |
| 3) materjali osavarutegur | $\gamma_M = 1,25$ [20, p. 138]; |
| 4) modifikatsioonitegur | $k_{mod} = 0,7$ [20, p. 31]; |
| 5) ristlõiketegur paindel | $k_h = 0,92$ [20, p. 32]; |
| 6) ristlõiketegur tõmbel | $k_h = 1,10$ [20, p. 32]; |
| 7) süsteemi tugevustegur | $k_{sys} = 1,0$ [20, p. 59]; |
| 8) deformatsioonitegur | $k_{def} = 0,8$ [20, p. 33]; |
| 9) pragude mõju arvestav tegur | $k_{cr} = 0,67$ [20, p. 37]; |
| 10) abitegur | $k_m = 0,7$ [20, p. 37]. |

10.3. Materjali arvutuslik tugevus

1. Tõmbetugevus

Peakaare arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu $f_{t,0,d}$ [N/mm²] valemi (24) järgi:

$$f_{t,0,d} = \frac{0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 25,6}{1,25} = 15,71 \text{ N/mm}^2.$$

Peakaare arvutuslik tõmbetugevus ristikiudu $f_{t,90,d}$ [N/mm²] valemi (26) järgi:

$$f_{t,90,d} = \frac{0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,5}{1,25} = 0,31 \text{ N/mm}^2.$$

2. Survetugevus

Peakaare arvutuslik survetugevus pikikiudu $f_{c,0,d}$ [N/mm²] valemi (25) järgi:

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

Peakaare arvutuslik survetugevus ristikiudu $f_{c,90,d}$ [N/mm²] valemi (26) järgi:

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

3. Nihketugevus

Peakaare arvutuslik nihketugevus $f_{v,d}$ [N/mm²] valemi (27) järgi:

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

4. Paindetugevus

Peakaare arvutuslik paindetugevus $f_{m,y,d}$ [N/mm²] y-telje suhtes leitakse valemi (28) järgi:

$$f_{m,y,d} = \frac{0,7 \cdot 0,92 \cdot 1,0 \cdot 32,0}{1,25} = 16,46 \text{ N/mm}^2.$$

Peakaare arvutuslik paindetugevus $f_{m,z,d}$ [N/mm²] z-telje suhtes leitakse valemi (28) järgi:

$$f_{m,z,d} = \frac{0,7 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 32,0}{1,25} = 19,64 \text{ N/mm}^2.$$

10.4. Peakaarele mõjuvad koormused

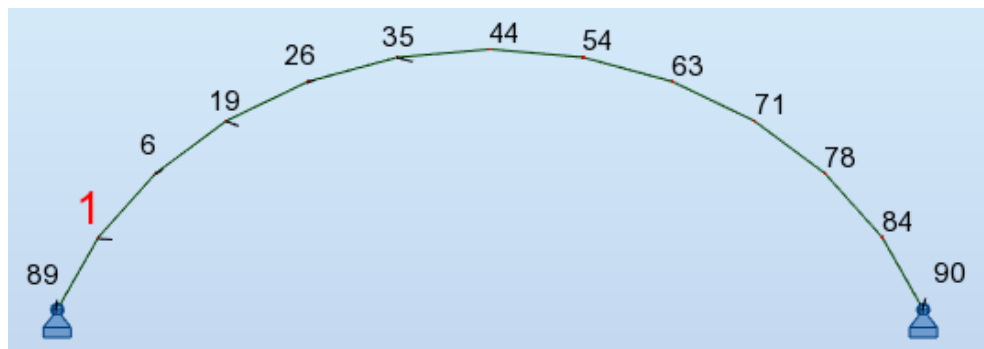
Lisaks abikaartelt tulevatele koormustele mõjuvad peakaarele veel järgnevad koormused:

- 1) peakaare omakaal $g_k = 0,24 \cdot 1,40 \cdot 4,4 = 1,78 \text{ kN/m}$;
- 2) lavatehnika peakaarel $g_k = 1,0 \text{ kN/m}$.

Täpsemad abikaartele mõjuvad joonkoormused on toodud lisades (vt lisa 5...6).

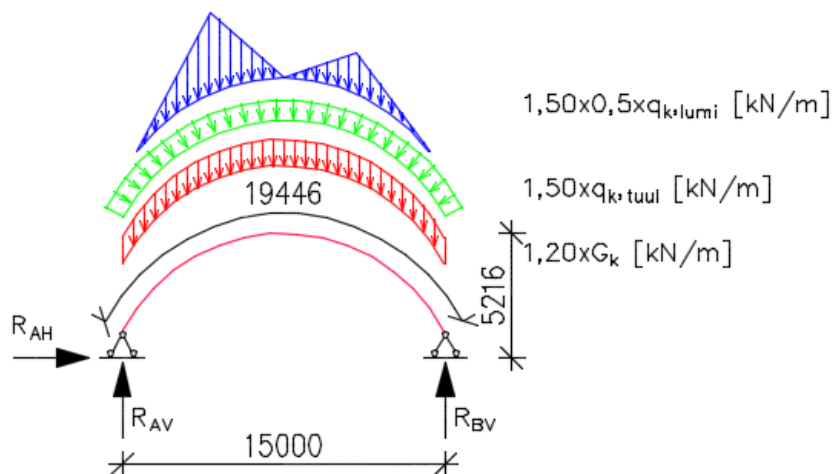
10.5. Koormuskombinatsioon ja arvutusskeem

Vastavalt analüüsiprogrammi ARSA tulemustele sai peakaare dimensionimisel määravaks koormuskombinatsioon KK5c stabiilsuskontrollis, kus domineerivaks muutuvkoormuseks on tuule surve ja mittedomineerivaks muutuvkoormuseks ebaühtlane lumekoormus. Määrava löike leidmiseks on teostatud tabelarvutused peakaare 13 punktis kõikides koormuskombinatsioonides. Määrava löike (punkt nr 1) asukoht ARSA mudelis on näidatud järgneval joonisel (vt joonis 27).



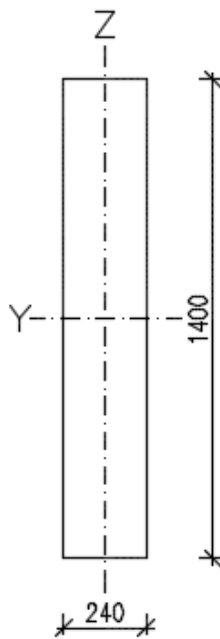
Joonis 27. Peakaare arvutusskeem ARSA mudelis

Peakaare arvutusskeem koormuskombinatsioonis KK5c on järgnev (vt joonis 28):



Joonis 28. Peakaare arvutusskeem

Peakaare arvutustes on teljed orienteeritud ristlõike suhtes vastavalt joonise 29 järgi.



Joonis 29. Peakaare telgede asetus ristlõike suhtes

10.6. Sisejõud

Peakaare arvutuslikud sisejõud koormuskombinatsioonist KK5c on toodud lisas 7 ja sisejõudude epüürid lisas 8.

Peakaare arvutuslikud sisejõud vaadeldavas lõikes on järgnevad:

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1) maksimaalne arvutuslik normaaljõud pikikiudu | $N_{c,0,d} = 364,45 \text{ kN};$ |
| 2) maksimaalne arvutuslik põikjõud | $V_d = 38,08 \text{ kN};$ |
| 3) maksimaalne arvutuslik paindemoment y-telje suhtes | $M_{y,d} = 60,87 \text{ kNm};$ |
| 4) maksimaalne arvutuslik paindemoment z-telje suhtes | $M_{z,d} = 43,48 \text{ kNm};$ |
| 5) maksimaalne arvutuslik väändemoment | $M_{x,d} = 9,30 \text{ kNm};$ |
| 6) paindemoment harjatsoonis | $M_{y,d} = 195,64 \text{ kNm};$ |
| 7) põikjõud harjatsoonis | $V_d = 9,12 \text{ kN}.$ |

10.7. Kontroll kandepiir seisundis

1. Kontroll survele

Tugevustingimus: $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$

Peakaare arvutuslik survepinge pikikiudu $\sigma_{c,0,d} [\text{N/mm}^2]$ valemi (30) järgi:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{364,45 \cdot 10^3}{240 \cdot 1400} = 1,08 \text{ N/mm}^2.$$

$\sigma_{c,0,d} = 1,08 \text{ N/mm}^2 < f_{c,0,d} = 17,92 \text{ N/mm}^2$, tugevustingimus on täidetud.

2. Kontroll nihkele

Tugevustingimus: $\tau_d \leq f_{v,d}$

Peakaare arvutuslik nihkepinge τ_d [N/mm²] valemi (32) järgi:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{38,08 \cdot 10^3}{240 \cdot 14000} \cdot \frac{1}{0,67} = 0,25 \text{ N/mm}^2.$$

$\tau_d = 0,25 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 1,96 \text{ N/mm}^2$, nihketugevus on tagatud.

3. Kontroll paindele

Tugevustingimus: $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$

Peakaare paindepinge $\sigma_{m,y,d}$ [N/mm²] y-telje suhtes valemi (33) järgi:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{60,87 \times 10^6}{240 \cdot 1400^2 / 6} = 0,78 \text{ N/mm}^2.$$

$\sigma_{m,y,d} = 0,78 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 16,46 \text{ N/mm}^2$, tugevustingimus on täidetud.

Peakaare paindepinge $\sigma_{m,z,d}$ [N/mm²] z-telje suhtes valemi (33) järgi:

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{43,48 \times 10^6}{1400 \cdot 240^2 / 6} = 3,24 \text{ N/mm}^2.$$

$\sigma_{m,z,d} = 3,24 \text{ N/mm}^2 < f_{m,z,d} = 19,64 \text{ N/mm}^2$, tugevustingimus on täidetud.

4. Peakaare kontroll tõmbe ja painde koosmõjul

1. Tugevustingimuse kontroll valemi (34) järgi:

$$\frac{0,00}{15,71} + \frac{0,78}{16,46} + 0,7 \cdot \frac{3,24}{19,64} = 0,16 < 1,0.$$

Esimene tugevustingimus on täidetud.

2. Tugevustingimuse kontroll valemi (35) järgi:

$$\frac{0,00}{15,71} + 0,7 \cdot \frac{0,78}{16,46} + \frac{3,24}{19,64} = 0,20 < 1,0.$$

Teine tugevustingimus on täidetud.

5. Peakaare kontroll surve koos paindega

1. Tugevustingimuse kontroll valemi (36) järgi:

$$\left(\frac{1,08}{17,92}\right)^2 + \frac{0,78}{16,46} + 0,7 \cdot \frac{3,24}{19,64} = 0,17 < 1,0.$$

Esimene tugevustingimus on täidetud.

2. Tugevustingimuse kontroll valemi (37) järgi:

$$\left(\frac{1,08}{17,92}\right)^2 + 0,7 \cdot \frac{0,78}{16,46} + \frac{3,24}{19,64} = 0,20 < 1,0.$$

Teine tugevustingimus on täidetud.

6. Paindepinged harjatsoonis

Tugevustingimus: $\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d}$

Abiteguri k_l leidmine valemi (39) järgi:

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan(0^\circ) + 5,4 \cdot \tan^2(0^\circ) = 1,00;$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan(0^\circ) = 0,35;$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan(0^\circ) - 7,8 \cdot \tan^2(0^\circ) = 0,60;$$

$$k_4 = 6 \cdot \tan^2(0^\circ) = 0,00;$$

$$r = 16000 \text{ mm};$$

$$k_l = 1,00 + 0,35 \cdot \left(\frac{1400}{16000}\right) + 0,60 \cdot \left(\frac{1400}{16000}\right)^2 + 0,00 \cdot \left(\frac{1400}{16000}\right)^3 = 1,04.$$

Peakaare arvutuslik paindepinge $\sigma_{m,y,d}$ [N/mm²] harjatsoonis valemi (40) järgi:

$$\sigma_{m,y,d} = 1,04 \cdot \frac{6 \cdot 195,64 \cdot 10^3}{240 \cdot 1400^2} = 2,58 \text{ N/mm}^2.$$

Peakaare siseraadius r_{in} valemi (41) järgi:

$$r_{in} = r - 0,5 \cdot h_{ap} = 16000 - 0,5 \cdot 1400 = 15300 \text{ mm}$$

Abiteguri k_r leidmine:

$$\text{kuna } \frac{r_{in}}{t} = \frac{15300}{40} = 382,5 \geq 240, \text{ siis } k_r = 1,0 \text{ [21, p. 73]}$$

Peakaare harjatsooni tugevustingimuse kontroll:

$$\sigma_{m,y,d} = 2,58 \text{ N/mm}^2 < k_r \cdot f_{m,y,d} = 1,0 \cdot 16,46 = 16,46 \text{ N/mm}^2, \text{ tugevustingimus on täidetud.}$$

7. Ristikiudu mõjuv tõmbepinge harjatsoonis

Tugevustingimus: $\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$

Peakaare kogumaht valemi (44) järgi:

$$V_b = l \cdot b \cdot h = 19\,446 \cdot 0,24 \cdot 1,40 = 6,53 \text{ m}^3.$$

Peakaare pingestatud harjatsooni maksimaalne lubatud maht:

$$V = \frac{2 \cdot 6,53}{3} = 4,36 \text{ m}^3.$$

Mahutegur k_{vol} valemi (43) järgi:

$$k_{vol} = \left(\frac{0,01}{4,36} \right)^{0,2} = 0,30$$

Abiteguri k_p leidmine valemi (47) järgi:

$$k_5 = 0,2 \cdot \tan(0^\circ) = 0,00;$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan(0^\circ) + 2,6 \cdot \tan^2(0^\circ) = 0,2;$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \tan(0^\circ) - 4 \cdot \tan^2(0^\circ) = 0,00;$$

$$k_p = 0,00 + 0,25 \cdot \left(\frac{1\,400}{16\,000} \right) + 0,00 \cdot \left(\frac{1\,400}{16\,000} \right)^2 = 0,02.$$

Arvutuslik ristikiudu tõmbepinge $\sigma_{t,90,d}$ [N/mm²] valemi (46) järgi:

$$\sigma_{t,90,d} = 0,02 \cdot \frac{6 \cdot 195,64 \cdot 10^6}{240 \cdot 1\,400^2} = 0,05 \text{ N/mm}^2.$$

Peakaare harjatsooni arvutuslik tõmbetugevus vastavalt tugevustingimusele:

$$k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,7 \cdot 0,30 \cdot 0,31 = 0,15 \text{ N/mm}^2.$$

$\sigma_{t,90,d} = 0,05 \text{ N/mm}^2 < k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 0,15 \text{ N/mm}^2$, tugevustingimus on täidetud.

8. Tõmme ristikiudu koos nihkega harjatsoonis

Tugevustingimus valemi (49) järgi:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} = \frac{0,06}{1,96} + \frac{0,05}{1,7 \cdot 0,30 \cdot 0,5} = 0,25 < 1,0.$$

Tugevustingimus on täidetud.

10.8. Peakaare stabiilsuskontroll

Peakaare kontroll surge ja painde koosmõjule stabiilsust arvesse võttes.

Stabiilsuskriteeriumid [21, p. 76]:

1. Stabiilsuskriteerium

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (51)$$

2. Stabiilsuskriteerium

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (52)$$

kus $k_{c,z}$ – nõtketegur, mis arvestab nõtkeohtu vastava telje suhtes;
 $k_{crit,z}$ – tegur, arvestab põikumisest põhjustatud paindetugevuse vähenemist;
 k_m – tegur, arvestab pingete ümberjagunemist ja materjali mittehomogeensust.

Peakaare ristlõike telginertsimoment I_z [mm⁴] peatelje z suhtes [21, p. 64]:

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{1400 \cdot 240^3}{12} \text{ mm}^4. \quad (53)$$

Peakaare ristlõike inertsiraadius i_z [mm] peatelje z suhtes [21, p. 77]:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1400 \cdot 240^3}{240 \cdot 1400 \cdot 12}} = 69,28 \text{ mm}. \quad (54)$$

kus I_z – ristlõike inertsimoment z-telje suhtes mm⁴;
 A – ristlõike pindala mm².

Peakaare nõtkepikkus $L_{0,z}$ [m] leitakse valemiga [21, p. 82]:

$$L_{0,z} = 0,7 \cdot s = 0,7 \cdot 19,45 = 13,62 \text{ m}, \quad (55)$$

kus s – peakaare arvutuspikkus 19,45m.

Peakaare saledus λ_z peatelje z suhtes [21, p. 77]:

$$\lambda_z = \frac{L_{0,z}}{i_z} = \frac{13,61 \cdot 10^3}{69,28} = 196,48. \quad (56)$$

Peakaare ristlõike suhtelise saleduse $\lambda_{rel,z}$ leidmine peatelje z suhtes [21, p. 77]:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{196,48}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{32}{11800}} = 3,26. \quad (57)$$

Teguri k_z leidmine [21, p. 77]:

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (3,26 - 0,3) + 3,26^2] = 5,95. \quad (58)$$

kus β_c – tegur, mis arvestab surutud elemendi sirgust, liimpuidu puhul 0,1.

Nõtketeguri $k_{c,z}$ leidmine [21, p. 77]:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{5,95 + \sqrt{5,95^2 - 3,26^2}} = 0,09. \quad (59)$$

Kaare ristlõike vastupanumoment peatelje y suhtes [21, p. 64]:

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{240 \cdot 1400^2}{6} \text{ mm}^3, \quad (60)$$

Kaare ristlõike väändeinertsimoment [23, p. 19]:

$$I_{tor} = \alpha \cdot b \cdot t^3, \quad (61)$$

kus α – tegur;

b – ristlõike pikem mõõde mm;

t – ristlõike lühem mõõde mm.

Tegur α leitakse interpoleerimise teel ristlõike kõrguse ja laiuse suhtest tabel 4 järgi.

Tabel 4 [23, p. 19]

Tegur α väärtus sõltuvalt ristlõike suhtest

h/b	1	1,25	1,5	2	3	4	6	10	∞
α	0,14	0,171	0,196	0,229	0,263	0,281	0,299	0,313	0,333

Ristlõike suhe:

$$\frac{h}{b} = \frac{1400}{240} = 5,833. \quad (62)$$

Tegur $\alpha = 0,298$

Kaare ristlõike väändemoment vastavalt valemile (61):

$$I_{tor} = 0,298 \cdot 1400 \cdot 240^3 = 5,76 \cdot 10^9 \text{ mm}, \quad (63)$$

Kriitiline paindepinge $\sigma_{m,crit}$ [N/mm²] [21, p. 84]:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{I_{ef} \cdot W_y}, \quad (64)$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{11800 \cdot 1400 \cdot 240^3 / 12 \cdot 540 \cdot 0,298 \cdot 1400 \cdot 240^3}}{19,45 \cdot 1,0 \cdot 10^3 \cdot 240 \cdot 1400^2 / 6} = 15,85 \text{ N/mm}^2.$$

Suhteline saledus paindel [21, p. 83]:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{15,85}} = 1,42. \quad (65)$$

Teguri k_{crit} leidmine, kui $\lambda_{rel,m} > 1,4$ [21, p. 83]:

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,42^2} = 0,50. \quad (66)$$

Stabiilsuskontroll

1. Stabiilsuskriteerium

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{1,08}{0,09 \cdot 17,92} + 0,7 \cdot \frac{0,78}{0,5 \cdot 16,46} + \frac{3,24}{16,64} = 0,89 < 1,0.$$

Esimene stabiilsuskriteerium on täidetud.

2. Stabiilsuskriteerium

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{1,08}{0,09 \cdot 17,92} + \frac{0,78}{0,5 \cdot 16,46} + 0,7 \cdot \frac{3,24}{16,64} = 0,87 < 1,0.$$

Teine stabiilsuskriteerium on täidetud.

Vastavalt stabiilsuskriteeriumile on peakaare varu 11% enne stabiilsuse kadu.

10.9. Kontroll kasutuspiirseisundis

Programmi ARSA tulemuste põhjal on suurim peakaare läbipaine kasutuspiirseisundi kombinatsioonis SLS2a, kus domineerivaks koormuseks on tuule surve mille tulemusena $w_{fin} = 27,1$ mm.

Peakaare läbipainet antud juhul on võrreldud painutatud peakandjale esitatud piirväärtusega [21, p. 89].

Kasutuspiirseisundi kriteerium :

$$w_{fin} \leq w_{fin,lim}$$

Lubatud piirväärtus $w_{fin,lim}$ (50):

$$\frac{l}{200} = \frac{16000}{200} = 80,0 \text{ mm.}$$

$w_{fin} = 27,1 \text{ mm} < w_{fin,lim} = 80,0 \text{ mm}$. Kasutuspiirseisundi nõue on täidetud.

11. MAHUTABEL

Tabel 5 annab ülevaate laululava kandekonstruktsioonide ligikaudsetest mahtudest.

Tabel 5

Elementide mahutabel

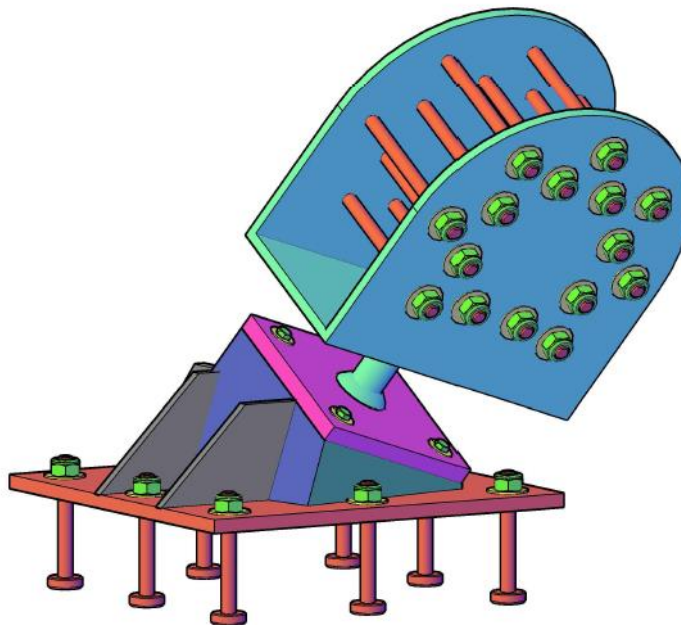
Nr.	Nimetus	Kogus	Ristlõige, b×h mm	Maht, m ³	Tugevusklass
1	Peakaar	1 tk	240 × 1400	6,53	GL32h
2	Abikaared	11 tk	240 × 440	10,60	GL32h
3	Katuse laudis	6000 jm	95 × 20	11,40	C24
4	Viimistluslaudis	2000 jm	95 × 25	3,80	C24
5	Roovid	115 jm	50 × 50	0,29	C16
6	Distantслиist	30 jm	50 × 25	0,04	C16
7	Niiskuskindel vineer	6 m ²	15	0,09	(FSF)
8	Peakaare alumine liigend	2 tk			S355
9	Abikaarte alumised liigendid	11 tk			S355
10	Abikaarte ülemised liigendid	11 tk			S355
11	Peakaare neeluplekk	20 jm			S355
12	Peakaare katteplekk	20 jm			S355
13	Servaplekk	22 jm			S355
14	Bituumenrullmaterjal	400 m ²			(TL2)

12. SÕMLAHENDUSED

Käesolevas lõputöös on välja toodud võimalikud sõmlahendused. Sõlmede arvutamine ei kuulu antud töö koosseisu.

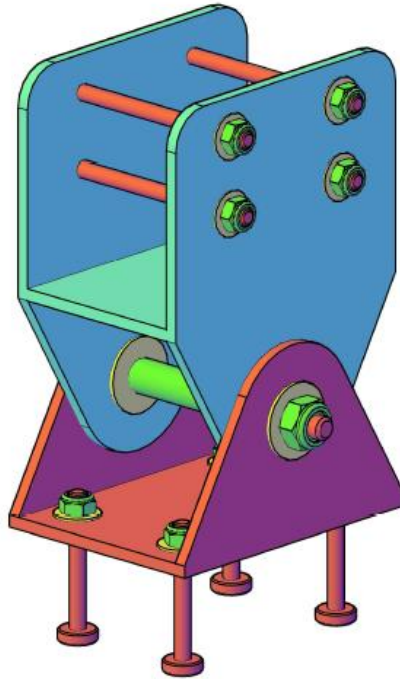
Sõlmede koostamisel on eelkõige peetud silmas, et võimalikud sõmlahendused võtaksid vastu neile mõjuvaid koormuseid, olles seejuures teostatud nii, et konstruktsioonid oleksid kuivad. Vee ja niiskusega paratamatult kokku puutuvatel konstruktsiooniosadel tuleb tagada piisav tuulutus niiskuse väljakuivamiseks.

Peakaare alumine sõlm (vt joonis 30) on lahendatud ruumilise liikumatu liigendtoena. Liigend paikneb peakaare keskteljega ühel joonel. Liigend on projekteeritud nii, et paindemomenti seal ei tekiks. Liigendi alusplaat on ankrutega valatud vundamenti.



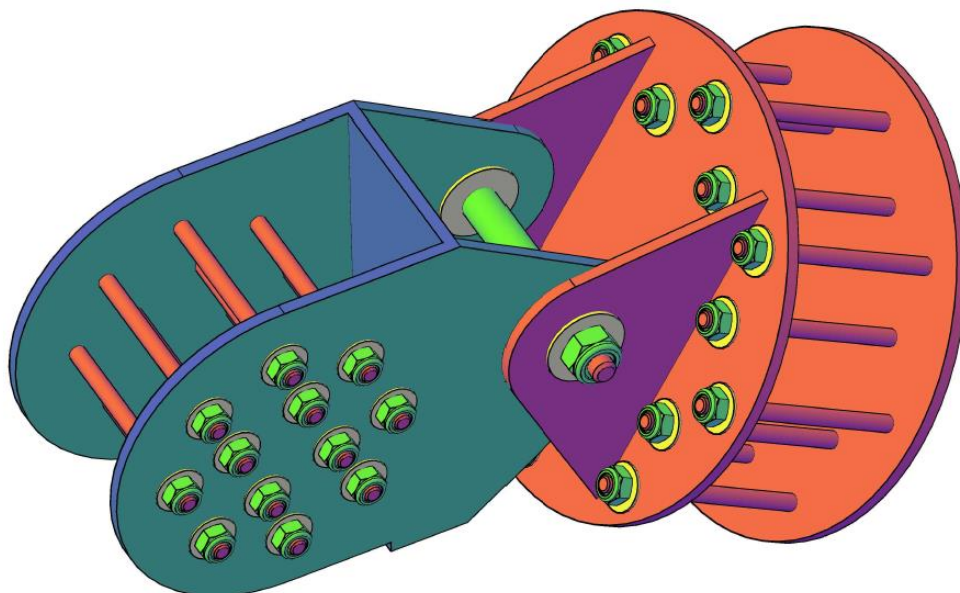
Joonis 30. Peakaare alumine kinnitus

Abikaare alumine sõlm (vt joonis 31) on lahendatud liikumatu liigendtoena. Liigend paikneb abikaare keskteljega ühel joonel. Abikaar asetseb liigendi kingas ja on kinnitatud poltidega. Liigend on ankrutega valatud vundamenti.



Joonis 31. Abikaare alumine kinnitus

Peakaart ja abikaari ühendav sõlm (vt joonis 32) on lahendatud liikumatu liigendina. Abikaar toetub liigendile ning on fikseeritud liigendi plaatide vahele. Liigend on kinnitatud peakaarele poltidega. Liigendi tsenter paikneb abikaare ja peakaare kesktelgede ristumiskohas.



Joonis 32. Pea- ja abikaare ühendus

Täpsemad joonised sõlmedest on toodud graafilises osas.

13. KONSTRUKTSIOONI KAITSE

13.1. Keemilised võtted

Laululava kõik puitkonstruktsiooni osad, mis puutuvad kokku metalli või betooniga tuleb immutada puidukaitsevahendiga.

Peakaar tuleb immutada puidukaitse võõbaga, mis kaitseks puitu UV-kiirguse eest ning tagaks kaitse külgevihma eest.

13.2. Konstruktiivsed võtted

Konstruktiivsete võtete eesmärk on vee, niiskuse ja UV-kiirguse kahjustuste vältimine. Sademete sattumine konstruktsioonidesse tekkinud pragudesse peab olema tõkestatud, selleks kaetakse otseselt ilmastiku kätte jäävad tarindiosad bituumenrullmaterjali või vaskplekiga.

Peakaare pealispind kaetakse vaskplekiga ning külgsinna kahjustuste vältimiseks on kaar kallutatud 30° ettepoole, mille tulemusena peaksid niiskuskahjustused olema minimaalsed.

Vältimaks abikaarte ja peakaare toepindade niiskuskahjustusi, on toepinnad tõstetud maapinnast kõrgemale, millega takistatakse veepritsmete sattumist puidule.

Kondentsvee kahjustuste vältimiseks tuleb isoleerida puitkonstruktsioonid teraskonstruktsioonidest.

14. LAULULAVA HOOLDUSJUHEND

Järgnevalt on esitatud näidishooldusjuhend puitlaululavale. Hooldusjuhendi koostamisel on aluseks võetud Eesti Teedeklastri tellitud 2015 a. puitsildade uuringu lõppraport [24, pp. 249-250].

Igal aastal:

- puitosade ja nende lähiümbruste puhastamine taimedest jms;
- tuulutusvahede kontrollimine;
- puidust ja plekist katete kontroll ning kahjustatud kohtade parandamine – lohud, vahed ja tühimikud, kuhu vesi ja praht võivad koguneda, tuleb likvideerida;
- poltliidete kontroll ning vajadusel pingutamine;
- kandekonstruktsiooni visuaalne kontroll;

Kord 6 aasta jooksul:

- kontrollida katte- ja hüdroisolatsioonimaterjali terviklikkust – leitud lekkekohad tuleb koheselt kõrvaldada;
- kontrollida kandekonstruktsiooni niiskussisaldust vähemalt 15 punktis – juhul, kui mõnes mõõdetud punktis on niiskusesisaldus oluliselt suurem keskmisest, siis kontrollida seda piirkonda täpsemalt, et lekkeid avastada. Keskmise niiskusesisaldus kandekonstruktsioonis ei tohiks olla suurem kui 18-20 %.
- niiskuskaitse kahjustuste puhul tuleb kate eemaldada kahjustatud kohast ümberringi 2 m ulatuses, seejärel tuleb puit kuivatada kuni alla 18% niiskusesisalduseni ning niiskustõke asendada.

Kord 12 aasta jooksul:

- kontrollida seibide, mutrite ja ankruplaatide kahjustusi sh pinnakatete seisukorda – kahjustatud detailid tuleb asendada uutega, esialgse nõutud kvaliteediga;
- kahjustatud pinnakatted tuleb uuendada, korrosiooni kahjustustega kohad tuleb puhastada ning katta uue pinnakattega;

- katteplaatide ja –laudade üle värvimine või immutamine, vajadusel kahjustatud katteplaatide ja –laudade asendamine;

Kord 24-30 aasta jooksul:

- katted ja hüdroisolatsioon asendada vajadusel uutega.

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös projekteeriti puitkonstruktsioonist laululava Aespa alevikku.

Laululava sobiva arhitektuurse lahendi leidmiseks koostati 3D-mudelid. Koostatud mudelid olid vaadeldavad läbi veebilehitseja, mille seast valisid Aespa aleviku elanikud välja lõpliku arhitektuurse lahenduse.

Lõputöös teostati arvutused konstruktsioonelementide ristlõigete leidmiseks. Dimensioonimisele kuulus katuse laudis, abikaared ja peakaar. Raudbetoonist tarindite ja sõlmede dimensioonimist ei ole lõputöös käsitletud.

Laululava peakaar valiti ristlõikega 240×1400 mm ja tugevusklassiga GL32h. Laululava abikaarte ristlõikeks valiti 240×440 mm ja tugevusklassiga GL32h. Katuse laudiseks valiti kolmes kihis saematerjal ristlõikega 95×20 mm ja tugevusklassiga C24.

Lisaks konstruktsiooni arvutamisele on antud töös välja pakutud ka võimalikud sõlmlahendused. Sõlmede väljatöötamisel on lähtutud printsiibist, et puitkonstruktsioonid oleksid kaitstud ilmastikutingimuste eest.

Lõputöös on antud juhised laululava hoolduseks, mille järgimine peaks tagama konstruktsiooni kestvuse projekteeritud kasutusea jooksul.

SUMMARY

„Detailed Design of the Timber Structures of Aespa Bandshell“

The goal of this thesis was designing the timber structures of the bandshell planned in Aespa.

Aespa town is located about 30 km from Tallinn, in Kohila rural municipality, Rapla County. The bandshell designed at the request of MTÜ Aespa Kodu and is part of the planned complex of the village centre. The needs of the residents of Aespa have been taken into account developing the architectural solution of the bandshell.

The load-bearing super structures of the bandshell are designed of timber and with this, the author of the thesis stresses the varied opportunities of using timber. The author also wishes to show that timber structures which have well-planned joints and proper protection from the climate are last for a long time.

The thesis consist of developing the architectural solution, determining the loads on the structure and determening the cross-sections of the roof boards, main and supporting arcs. The thesis does not handle the dimensioning of the elements and joints of reinforced concrete.

The main arc of the bandshell was selected with the cross-section 240×1400 mm and strength class GL32h. The cross-section of the supporting arcs of the bandshell eas selected to be 240×440 mm and with strength class GL32h. The boards of the roof are sawn timber in three layers with the cross-section 95×20 mm and strength class C24.

In addition to calculating the bearing structures this this paper also presents potential joint solutions. Designing the joints is based on the principle of protecting the timber structures from weather conditions.

The thesis proovides instructions for maintaining the bandshell, which should ensure the durability of the structures during the designed working life.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] EVS-EN 1990:2002 Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused, Eesti Standardikeskus, 2002.
- [2] EVS 811:2012 Hoone ehitusprojekt, Eesti Standardikeskus, 2012.
- [3] EVS-EN 335:2013 Puidu ja puitpõhiste toodete vastupidavus, Eesti Standardikeskus, 2013.
- [4] EVS-EN 351-1:2007 Puidu ja puittoodete vastupidavus. Kaitsevahenditega töödeldud täispuit. Osa 1: Kaitsevahendi immutussügavus ja sissejäävuse liigitus, Eesti Standardikeskus, 2007.
- [5] EVS-EN 14080:2013 Puitkonstruktsioonid. Lamell-liimpuit ja plankliimpuit. Nõuded, Eesti Standardikeskus, 2013.
- [6] EVS-EN 338:2009 Ehituspuit. Tugevusklassid, Eesti Standardikeskus, 2009.
- [7] EVS-EN 1090-2:2008+A1:2011 Teras- ja alumiiniumkonstruktsioonide valmistamine. Osa 2: Tehnilised nõuded teraskonstruktsioonidele, Eesti Standardikeskus, 2008.
- [8] EVS-EN ISO 12944-2:2000 Värvid ja lakid. Teraskonstruktsioonide korrosioonitõrje värvkattesüsteemidega. Osa 2: Keskkondade liigitus, Eesti Standardikeskus, 2000.
- [9] EVS-EN 10025-1:2006 Konstruktsiooniterasest kuumvaltsitud tooted. Osa 1: Üldised tehnilised tarnetingimused, 2006: Eesti Standardikeskus.
- [10] EVS-EN ISO 17635:2010 Keevisõmbluste mittepurustav katsetamine. Üldjuhised metalsete materjalide kohta, Eesti Standardikeskus, 2010.
- [11] EVS-EN 206:2014 Betoon. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus, Eesti Standardikeskus, 2014.
- [12] EVS 814:2003 Normaalebetooni külmakindlus. Määratlused, spetsifikatsioonid ja katsemeetodid, Eesti Standardikeskus, 2003.
- [13] EVS-EN 1992-1-1:2005 Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonetele, Eesti Standardikeskus, 2005.
- [14] BÜ4: Betoon ja raudbetoon. Betooni pinnad, Eesti Betooniühing, 2010.
- [15] Määrus nr 315. Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded, Vabariigi Valitsus, 27.

oktoober 2004.

- [16] Määrus nr 39. Nõuded tulekustutitele ja voolikusüsteemidele, nende valikule, paigaldamisele, tähistamisele ja korrashoiule, Siseminister, 30. august 2010.
- [17] EVS-EN 1991-1-1:2002 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused, Eesti Standardikeskus, 2002.
- [18] EVS-EN 1991-1-3:2006 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus, Eesti Standardikeskus, 2006.
- [19] EVS-EN 1991-1-4:2007 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus, Eesti Standardikeskus, 2007.
- [20] EVS-EN 1995-1-1:2007 Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks, Eesti Standardikeskus, 2007.
- [21] M. Kiisa, „Puitkonstruktsioonide projekteerimise alused,“ 2013. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 7 aprill 2015].
- [22] EVS 920-5:2015 Katuseehitusreeglid. Osa 5: Lamekatused, Eesti Standardikeskus, 2015.
- [23] G. Kodi, Puitkonstruktsioonide abimaterjal, Tallinna Tehnikaülikool, 2012.
- [24] A. Just, A. Gustafsson, A. Pousette, E. Just, P.-A. Fjellström, L. Perv ja M. Simisalu, „Põhjamaade ja Eesti puitsildade konstruktiivsed lahendused ning analüüs koos kasutusettepanekutega,“ Skellefteå, 2015.

LISAD

Lisa 1. Projekteerimistingimused

Lisa 2. Detailplaneering

Lisa 3. Lumekoormuse arvutus

Lisa 4. Tuulekoormuse arvutus

Lisa 5. Abikaartele mõjuvad normatiivsed koormused (ühtlane lumi)

Lisa 6. Abikaartele mõjuvad normatiivsed koormused (ebaühtlane lumi)

Lisa 7. Peakare sisejõud

Lisa 8. Peakare sisejõudude epüürid

Lisa 1. Projekteerimise tingimused

Dokument on koostatud vastavalt
taotleja poolt esitatud andmetele
06.04.2015.a.

Lisa
Kohila Vallavalitsuse
korraldusele nr.

PROJEKTEERIMISE TINGIMUSED NR. 022/15

(kehtivusaeg 2 aastat)

1. Krundi asukoht ja sihtotstarve

Aadress	Kohila vald	Aespa alevik	Suvila tee 27	
Kinnistu	Pind: 4,06 ha	Nr: 3468637	Tunnus: 31701:001:0513	Sihtotstarve: Ühiskondlike ehitiste maa

2. Kinnistu omanik

Kohila vald alus: kinnisturaamatu väljavõte 02.04.2015

3. Projekteeritav objekt

LAULULAVA JA LAVAESISE TERRASSI EHITUS

4. Hoonestusmaa iseloomustus

4.1. Reljeef	Tasane
4.2. Kõrghaljastus	Lehtpuuvõsa, ehitusalal kõrghaljastus puudub
4.3. Olemasolev hoonestus	Puudub
4.4. Olemasolevad tehnovõrgud (vesi ja kanal.)	Elektriliitumine

5. Arhitektuursed ja ehituslikud nõuded

5.1. Hoone kõrgus	1 korrus
5.2. Katuse kalle	Määratakse projektiga
5.3. Harjajoon	Määratakse projektiga
5.4. Põhikonstruktsioonid ja välisviimistlus	Määratakse projektiga
5.5. Tulepüsivuse aste	Vastavalt kehtivatele normidele

6. Hoonestamise ja planeerimise nõuded

6.1. Kinnistu sihtotstarve vastavalt üldplaneeringule	Haljasala ja parkmetsa maa
6.2. Hoonestuse kaugus tänavajoonest (ehitusjoon)	Ehitusala vastavalt skeemile
6.3. Juurdepääs ja juurdesõit	Suvila tee (11240 Tõdva-Hageri tee)
6.4. Krundi täisehituse protsent	-
6.5. Hoonete kaugus naaberkinnistute piiridest	Ehitusala vastavalt skeemile
6.6. Arvestada Kohila Vallavolikogu 29.01.2013 otsusega nr 1 kehtestatud Aespa Vilivere piirkonna külakeskuse detailplaneeringuga.	
6.7. Näidata asendiplaanil või eraldi skeemil teiste detailplaneeringuga kavandatud ehitiste paiknemine.	

7. Insener-tehnilised nõuded

7.1. Veevarustus	-
7.2. Kanalisatsioon	-
7.3. Elektrivarustus	Lahendada kooskõlastatult Elektrilevi OÜ Põhjaregiooniga
7.4. Pinnasevesi	Lahendada sademevee ja liigvee eemaldamine

8. Keskkonnanõuded

8.1. Piirded	-
8.2. Kõrghaljastus	-
8.3. Jäätmekäitlus	Vastavalt valla jäätmehoolduseeskirjale. Ehitusjäätmete käitlemine vastavalt Jäätmeseadusele.

9. Projekti vormistus

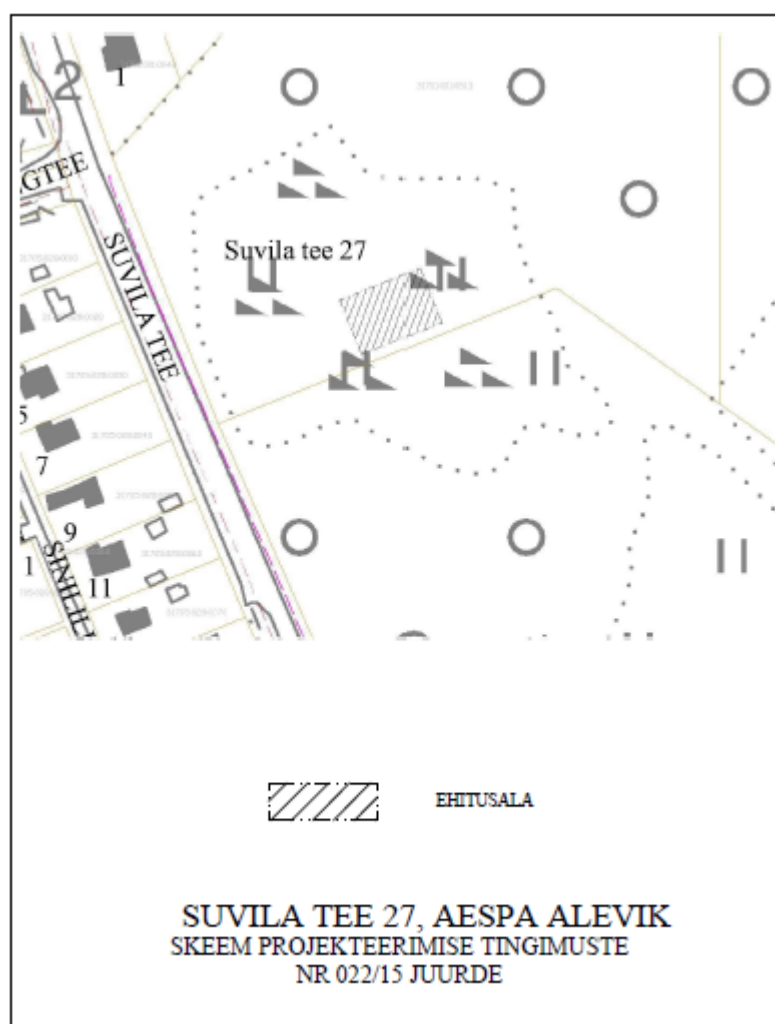
Ehitusprojekti arhitektuurse osa seletuskiri ja joonised: Asukoha skeem (mõõduta, lähedal olevate asulate ja põhiteede võrgu äranäitamiseks) ja aerofoto 1:2000. Katastriüksuse plaan. Asendiplaan kuni 2. aasta vanusel geodeetiliselt alusplaani (mõõdus 1:500). Esitada geodeetiline alusplaan ka digitaalselt ning eraldi paberkandjal. Kõik plaanid ja vaated ning lõige (konstruktsioonide kirjeldusega) mõõdus 1:100 (1:50). Fotod ümbritsevast miljööst. Lisada ehitisregistri väljavõte. Ehitusprojekti ehituskonstruktsiooniosa, elektri ja nõrkvoolupaigaldise osa seletuskirjad. Tuleohutuse osa seletuskiri. Projekti kausta lisada käesolevad tingimused koos skeemiga
Projekti tiitellehele ja jooniste kirjanurkadesse projekteerija ja omaniku(e) allkirjad
Puurkaevu olemasolul kõita projekti vahele kaevu seaduslikkust tõendavad dokumendid;
Ehitusloa taotlus esitada igale ehitisele eraldi (blanketid vt. www.ehr.ee), riigilõiv tasuda iga ehitise eest eraldi. Esitada tasumist tõendava dokumendi koopia.
Ehitise koordinaadid esitada digitaalselt

10. Ehitusprojekti kooskõlastamine

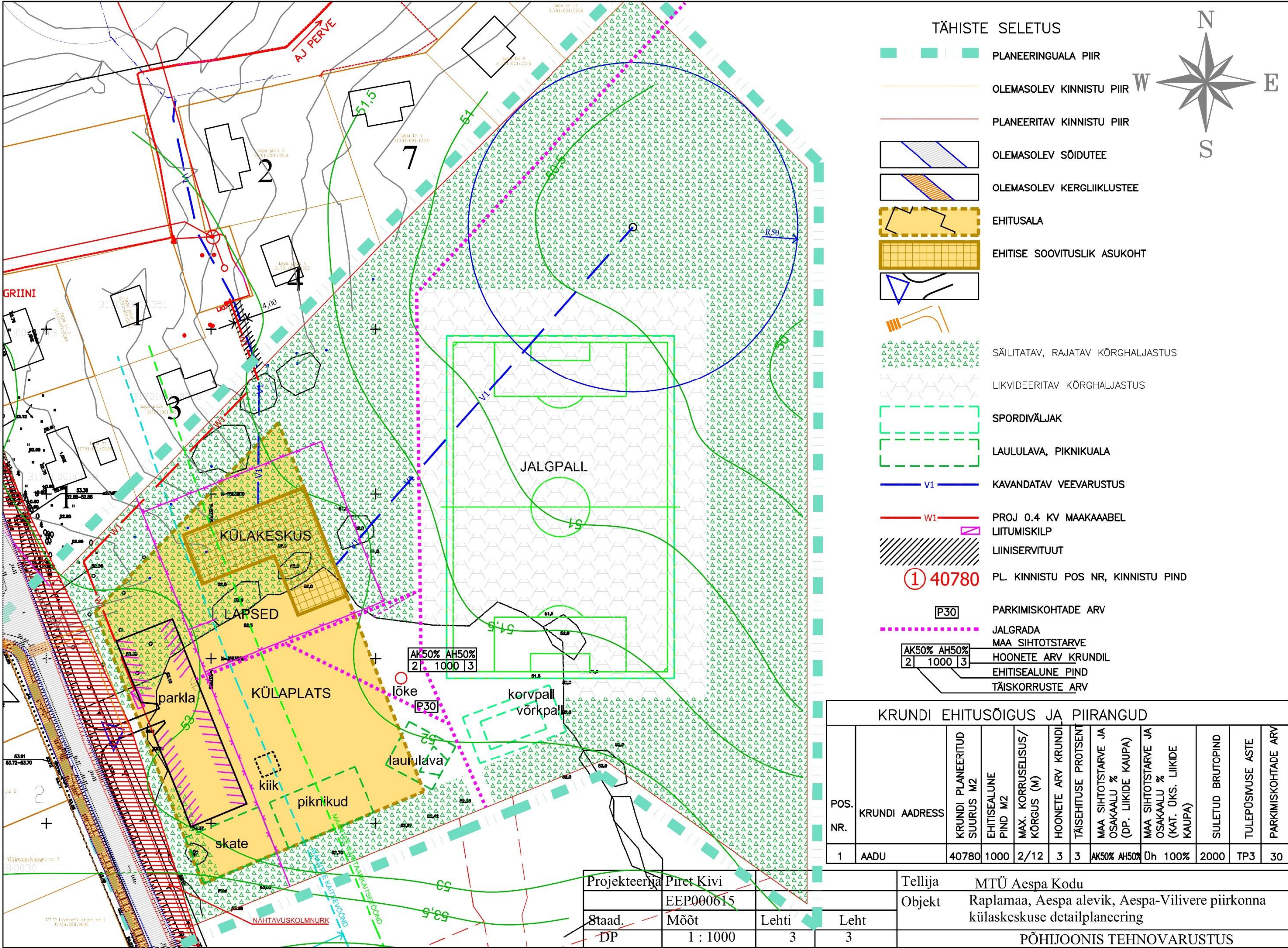
10.1. Eskiisprojekt Kohila Vallavalitsus
10.2. Lääne päästekeskus

11. Ehitusprojekt esitada Kohila Vallavalitsusele kahes identses eksemplaris (originaal+originaal või originaal+koopia).

Projekteerimistingimuste Lisa: skeem



Lisa 2. Detailplaneering



Lisa 3. Lumekoormuse arvutus

Parameetri nimetus	Tähis ja arvutusvalem	Väärtus	Ühik
Normatiivne lumekoormus maapinnal:	$s_k =$	1,5	kN/m ²
Avatustegur:	$C_e =$	1,0	-
Soojustegur:	$C_t =$	1,0	-
Katuse sille:	$b =$	15	m
Katuse tõus:	$h =$	4,52	m
Silinderkatuse kujutegurid:			
Ühtlase lume koormusvariandi kujutegur:	$\mu_1 =$	0,8	
Kuhjunud lume koormusvariandi kujutegurid:			
kui $\beta > 60^\circ$	$\mu_3 =$	0	
kui $\beta \leq 60^\circ$, kus $\mu_{3\max} = 2,0$	$\mu_3 = 0,2 + 10 h/b =$	2,0	
1/2 kuhjunud lume kujutegur:	$0,5\mu_3 =$	1,0	
Katuse lumekoormus (ühtlane lumi):	$s_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k =$	1,2	kN/m ²
Katuse lumekoormus (kuhjunud lumi μ_3):	$s_2 = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k =$	3,0	kN/m ²
Katuse lumekoormus (kuhjunud lumi $0,5\mu_3$):	$s_3 = 0,5\mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k =$	1,5	kN/m ²

Lisa 4. Tuulekoormuse arvutus

Parameetri nimetus	Tähis ja arvutusvalem	Väärtus	Ühik
Arvutuskoha kõrgus:	$z_e =$	7,00	m
Maastikutüüp:		II	-
Suunategur:	$c_{dir} =$	1,00	-
Aastaajategur:	$c_{season} =$	1,00	-
Pinnavormitegur:	$c_0(z_e) =$	1,00	-
Turbulentsitegur:	$k_I =$	1,00	-
Tuule põhiline baaskiirus:	$V_{b,0} =$	21,00	m/s
Õhu tihedus:	$\rho =$	1,25	kg/m ³
Tuule baaskiirus:	$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0} =$	21,00	m/s
Miinimumkõrgus:	$z_{min} =$	2,00	m
Maksimumkõrgus:	$z_{max} =$	200,00	m
Karedusmõõt valitud maastikutüübil:	$z_0 =$	0,05	m
Karedusmõõt II maastikutüübil:	$z_{0,II} =$	0,05	m
Maastikutüübitegur:	$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} =$	0,19	-
Karedustegur:	kui $z_{min} \leq z_e < z_{max}$, siis $c_r(z_e) = k_r \cdot \ln(z_e/z_0) =$ kui $z_e < z_{min}$, siis $c_r(z_e) = c_r(z_{min}) =$	0,94	-
Keskmine tuulekiirus:	$v_m(z_e) = c_r(z_e) \cdot c_0(z_e) \cdot V_b =$	19,72	m/s
Turbulentsi intensiivsus:	kui $z_{min} \leq z_e \leq z_{max}$, siis $I_v(z_e) = k_I / [c_0(z_e) \cdot \ln(z_e/z_0)] =$ kui $z_e < z_{min}$, siis $I_v(z_e) = I_v(z_{min}) =$	0,20	-
Tippkiirusrõhk välispinnal:	$q_p = (1 + 7 \cdot I_v) \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot V_m^2 =$	587,17	N/m ²
Täiendav varutegur:		2,00	
Üldine jõutegur:	$c_{f \max} =$	1,20	
	$c_{f \min} =$	-1,40	
Tuule surve:	$w_e = q_p \cdot 2 \cdot c_{f \max} =$	1,41	kN/m ²
Tuule tõmme:	$w_e = q_p \cdot 2 \cdot c_{f \min} =$	-1,64	kN/m ²

Lisa 5. Abikaartele mõjuvad normatiivsed koormused (ühtlane lumekoormus)

												Ühik	Koormuse mõju suund
Koormuspinna laius	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	m	
Abikaare tähis	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A		
Omakaal	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	kN/m	(vertikaalne)
Katus	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	kN/m	(vertikaalne)
Lavatehnika	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	kN/m	(vertikaalne)
Tuul (surve)	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	kN/m	(risti pinnaga)
Tuul (tõmme)	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	kN/m	
Abikaare lõigu nr	4	5	6	7	8	9	8	7	6	5	4	kN/m	(vertikaalne)
Lumi ($\mu = 0,8$)	0,39	1,46	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,46	0,39		
	3	4	5	6	7	8	7	6	5	4	3		
	0,23	1,20	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,20	0,23		
	2	3	4	5	6	7	6	5	4	3	2		
	0,00	1,07	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,07	0,00		
	1	2	3	4	5	6	5	4	3	2	1		
	0,00	0,49	1,49	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,49	0,49	0,00		
		1	2	3	4	5	4	3	2	1			
		0,00	0,97	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	0,97	0,00			
			1	2	3	4	3	2	1				
			0,00	1,49	1,94	1,94	1,94	1,49	0,00				
				1	2	3	2	1					
				0,00	1,17	1,88	1,17	0,00					
					1	2	1						
					0,00	0,97	0,00						
						1							
						0,00							

Lisa 6. Abikaartele mõjuvad normatiivsed koormused (ebaühtlane lumekoormus)

												Ühik	Koormuse mõju suund
Koormuspinna laius	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	m	
Abikaare tähis	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A		
Omakaal	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	kN/m	(vertikaalne)
Katus	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	kN/m	(vertikaalne)
Lavatehnika	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	kN/m	(vertikaalne)
Tuul (surve)	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	kN/m	(risti pinnaga)
Tuul (tõmme)	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	-2,66	kN/m	
Abikaare löigu nr	4	5	6	7	8	9	8	7	6	5	4		
Lumi ($\mu = 2$ ja 1)	0,19	0,79	1,77	2,04	1,04	0,65	2,09	4,08	3,55	1,58	0,39		
	3	4	5	6	7	8	7	6	5	4	3		
	0,19	0,79	1,77	2,04	1,04	0,65	2,09	4,08	3,55	1,58	0,39		
	2	3	4	5	6	7	6	5	4	3	2		
	0,00	0,79	1,77	2,04	1,04	0,65	2,09	4,08	3,55	1,58	0,00		
	1	2	3	4	5	6	5	4	3	2	1		
	0,00	0,36	1,46	2,04	1,04	0,65	2,09	4,08	2,92	0,73	0,00		
		1	2	3	4	5	4	3	2	1		kN/m	(vertikaalne)
		0,00	0,75	2,04	1,04	0,65	2,09	4,08	1,49	0,00			
			1	2	3	4	3	2	1				
			0,00	0,58	1,04	0,65	2,09	1,17	0,00				
				1	2	3	2	1					
				0,00	0,60	0,65	1,20	0,00					
					1	2	1						
					0,00	0,30	0,00						
						1							
						0,00							

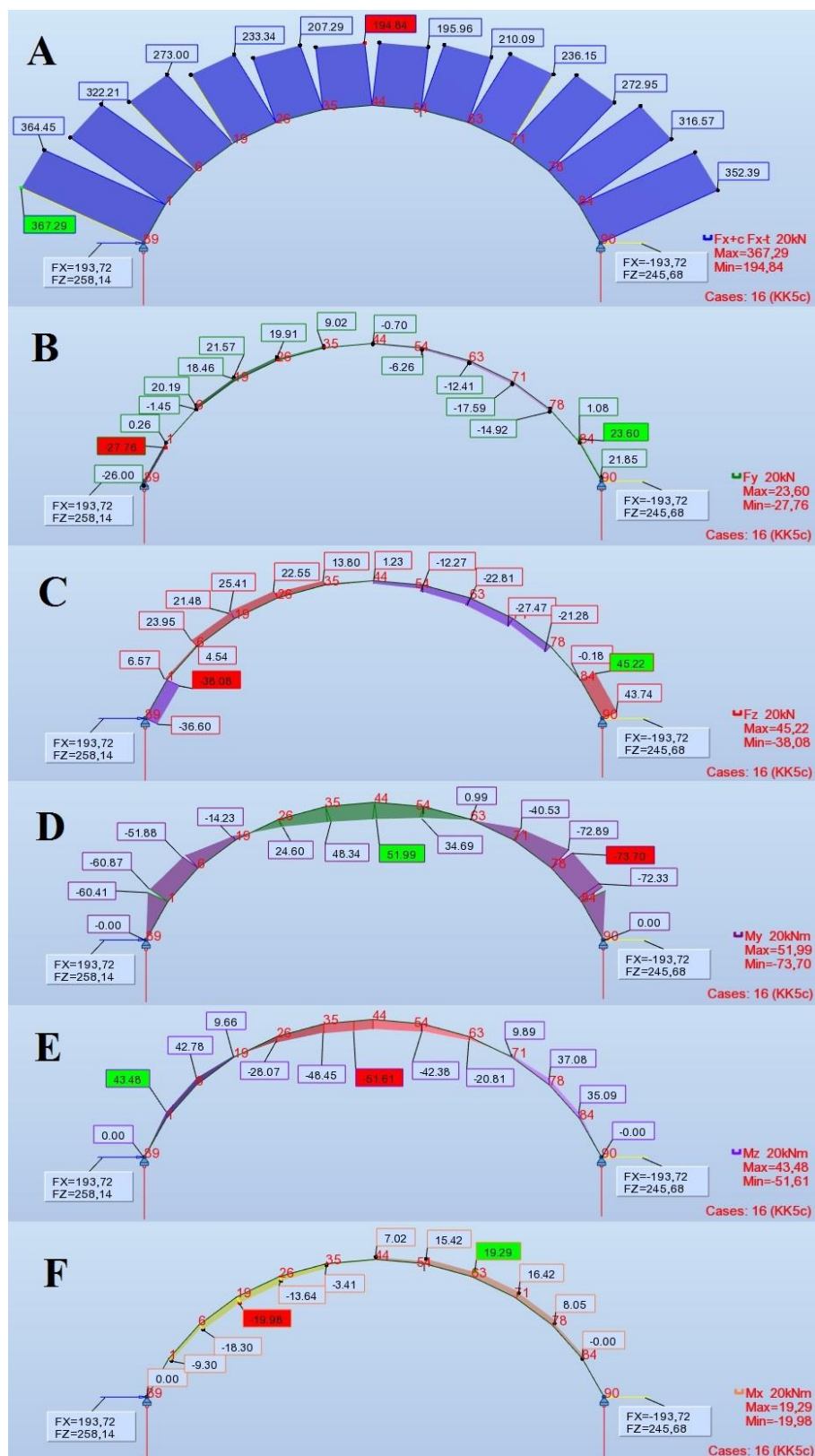
Lisa 7. Peakaare sisejõud

Peakaare sisejõud koormuskombinatsioonis KK5c

Punkt	Varras/Punkt/Kombinatsioon	N _d , kN	V _{y,d} , kN	V _{z,d} , kN	M _{x,d} , kNm	M _{y,d} , kNm	M _{z,d} , kNm	N _{d,max} , kN	V _{y,d,max} , kN	V _{z,d,max} , kN	M _{x,d,max} , kNm	M _{y,d,max} , kNm	M _{z,d,max} , kNm
89	80/89/16 (C)	367,29	-26,00	-36,60	0,00	0,00	0,00	367,29	-26,00	-36,60	0,00	0,00	0,00
1	80/1/16 (C)	364,45	-27,76	-38,08	0,00	-60,41	43,48	364,45	27,76	38,08	9,30	60,87	43,48
	81/1/16 (C)	324,71	0,26	6,57	-9,30	-60,87	41,82						
6	81/6/16 (C)	322,21	-1,45	4,54	-9,30	-51,88	42,78	322,21	20,19	23,95	18,30	51,88	42,78
	82/6/16 (C)	275,06	20,19	23,95	-18,30	-50,98	40,92						
19	82/19/16 (C)	273,00	18,46	21,48	-18,30	-14,23	9,66	273,00	21,57	25,41	19,98	14,23	9,66
	83/19/16 (C)	234,87	21,57	25,41	-19,98	-14,20	5,48						
26	83/26/16 (C)	233,34	19,91	22,55	-19,98	24,60	-28,07	233,34	19,91	22,55	19,98	24,60	32,43
	84/26/16 (C)	208,23	10,78	16,85	-13,64	23,54	-32,43						
35	84/35/16 (C)	207,29	9,02	13,80	-13,64	48,34	-48,45	207,29	9,02	13,80	13,64	48,34	51,06
	85/35/16 (C)	195,16	1,11	4,38	-3,41	47,45	-51,06						
44	85/44/16 (C)	194,84	-0,70	1,23	-3,41	51,99	-51,39	195,64	4,44	9,12	7,02	51,99	51,39
	86/44/16 (C)	195,64	-4,44	-9,12	7,02	51,99	-51,03						
54	86/54/16 (C)	195,96	-6,26	-12,27	7,02	34,69	-42,38	209,14	10,65	19,76	15,42	35,41	42,38
	87/54/16 (C)	209,14	-10,65	-19,76	15,42	35,41	-39,46						
63	87/63/16 (C)	210,09	-12,41	-22,81	15,42	0,99	-20,81	234,61	15,94	24,61	19,29	1,59	20,81
	88/63/16 (C)	234,61	-15,94	-24,61	19,29	1,59	-17,23						
71	88/71/16 (C)	236,15	-17,59	-27,47	19,29	-40,53	9,89	270,89	17,59	27,47	19,29	40,53	14,35
	89/71/16 (C)	270,89	-13,19	-18,81	16,42	-40,47	14,35						
78	89/78/16 (C)	272,95	-14,92	-21,28	16,42	-72,89	37,08	314,07	14,92	21,28	16,42	73,70	38,22
	90/78/16 (C)	314,07	2,79	1,86	8,05	-73,70	38,22						
84	90/84/16 (C)	316,57	1,08	-0,18	8,05	-72,34	35,09	349,55	23,60	45,22	8,05	72,34	36,76
	91/84/16 (C)	349,55	23,60	45,22	0,00	-71,95	36,76						
90	91/90/16 (C)	352,39	21,85	43,74	0,00	0,00	0,00	352,39	21,85	43,74	0,00	0,00	0,00

Lisa 8. Peakaare sisejõudude epüürid

Peakaare sisejõudude epüürid koormuskombinatsioonis KK5c on joonisel järgnevad:
 A – normaaljõud, B – põikjõud y-telje suhtes, C – põikjõud z-telje suhtes; D – paindemoment y-telje suhtes; E – paindemoment z-telje suhtes; F – väändemoment.



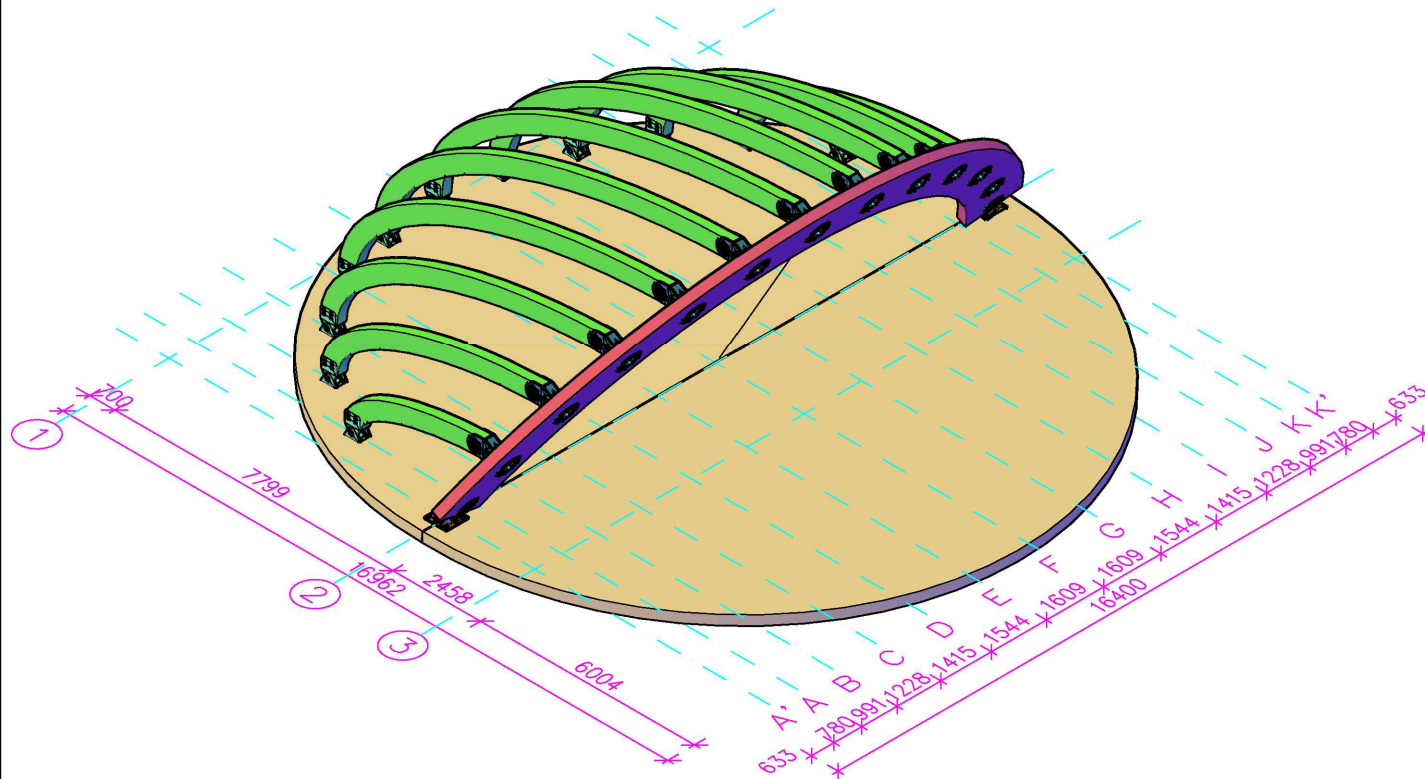
GRAAFILINE OSA

Joonistel esinevad üldised märkused:

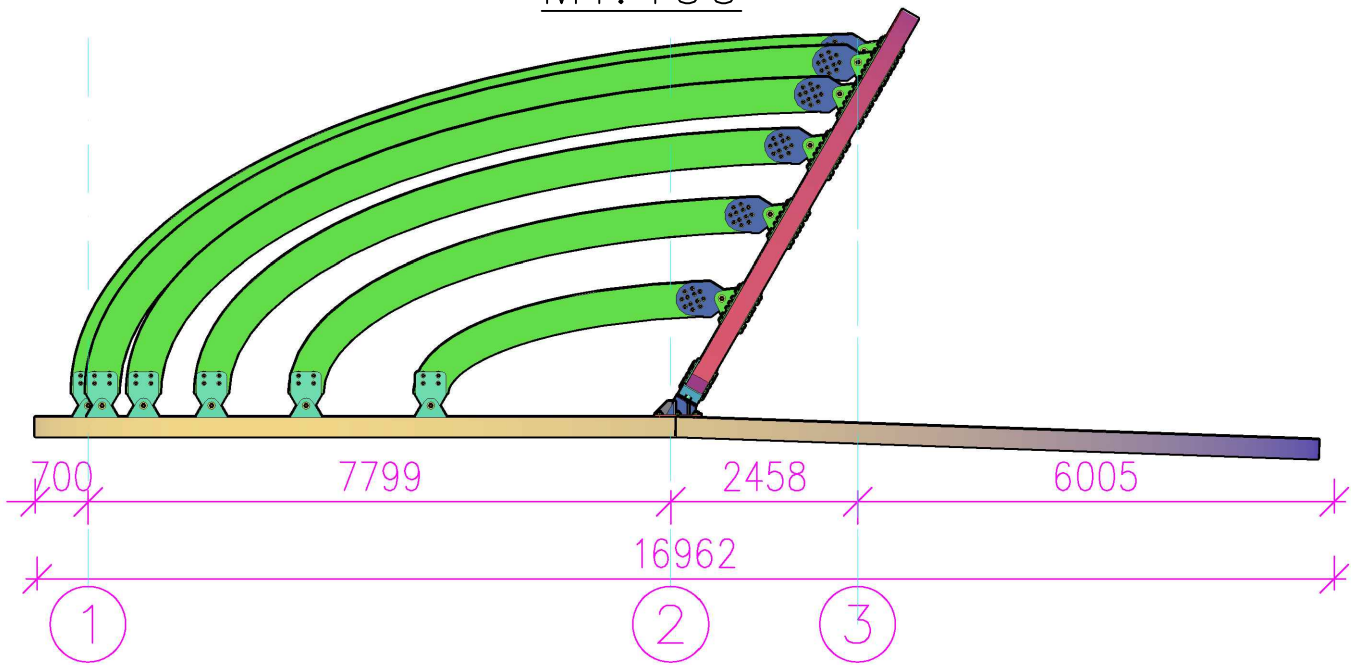
- täpsuse huvides ei ole joonistel näidatud taustale jäävaid konstruktsioone;
- kvaliteedinõuded on esitatud seletuskirjas peatükis 4.3;
- elementide parameetrid on toodud seletuskirjas peatükis 11.

Joonis 1.	Puitkonstruktsioonide üldvaated	A3
Joonis 2.	Põhiplaan	A3
Joonis 3.	Lõige I-I	A3
Joonis 4.	Sõlm A – peakaare alumine kinnitus	A3
Joonis 5.	Sõlm B – abikaare alumine kinnitus	A3
Joonis 6.	Sõlm C – pea- ja abikaare ühendus	A3

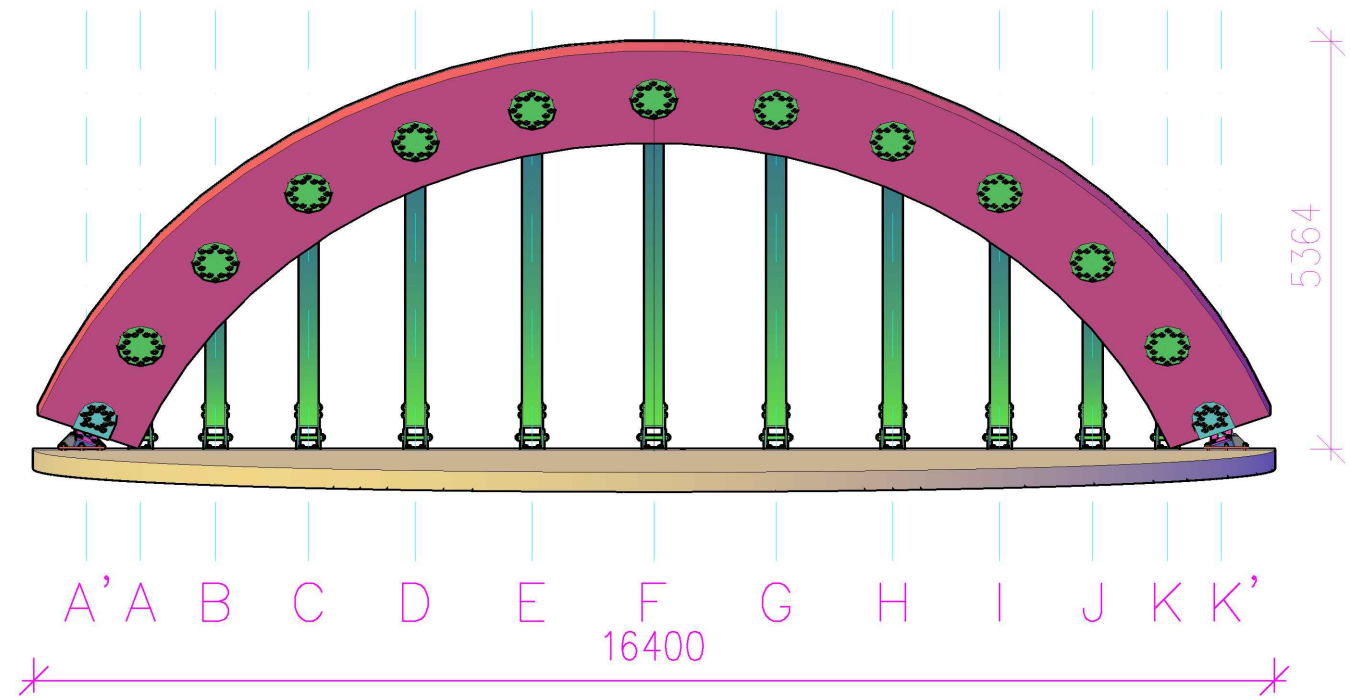
ÜLDVAADE
M1:150



KÜLGVAADE
M1:100



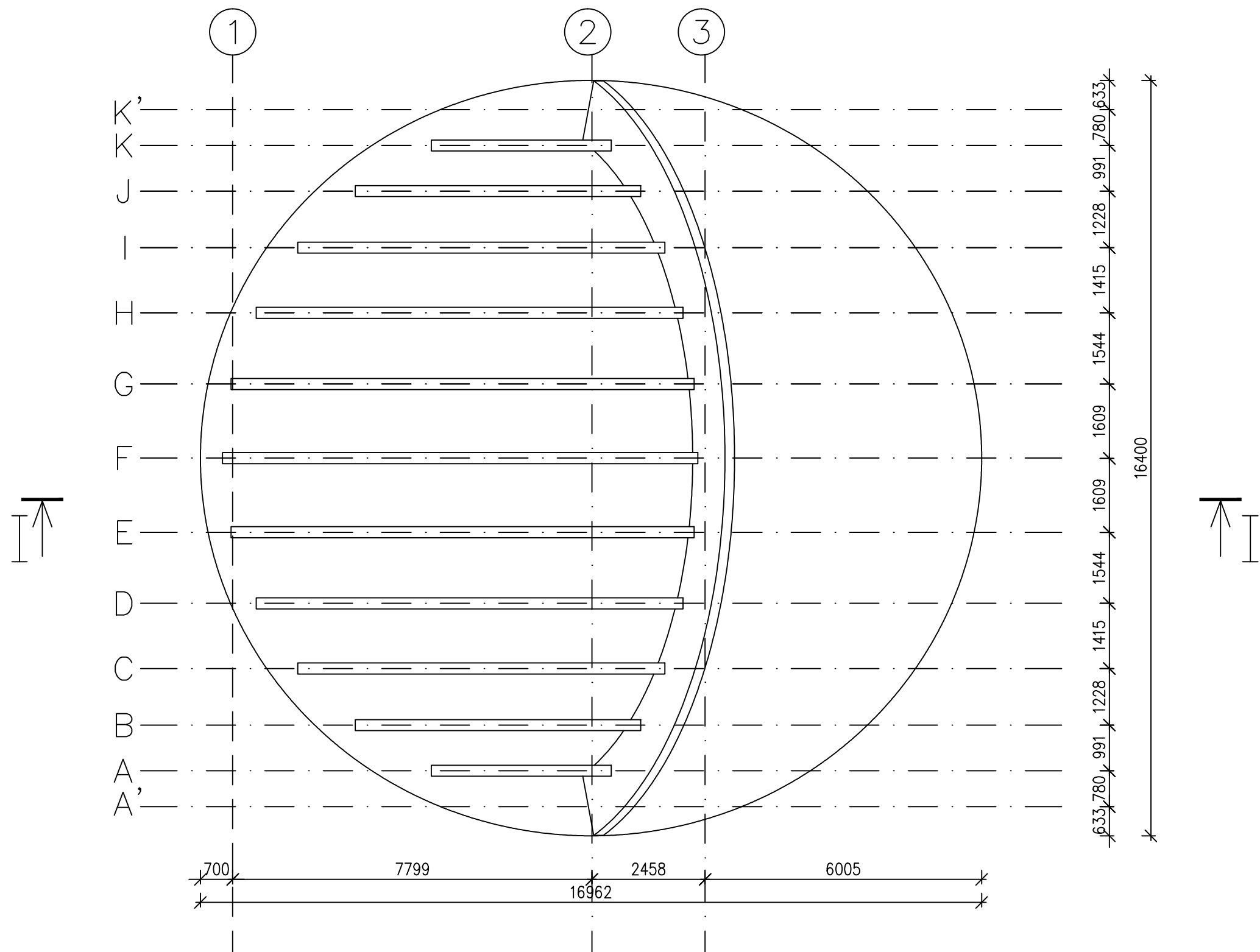
EESTVAADE
M1:100



- Märkused:
- a) Elementide parameetrid on toodud seletuskirja mahutabelis.
 - b) Kvaliteedinõuded on esitatud seletuskirjas.
 - c) Selguse huvides ei ole kattekonstruktsioone näidatud.

LÕPUTÖÖ						
Koostas	Mihkel Reinhold	20.05.15	Objekt:	AESPA LAULULAVA	Staad.	Leht
					PP	1
Juhendas	Karin Lellep		Joonis:	Puitkonstruktsioonide üldvaated	TALLINNA TEHNIKAKÕRKOOL	
Juhendas	Martti Kiisa					
					Õpperühm EI – 81	

PÕHIPLAAN
M1:100



- Märkused:
- a) Elementide parameetrid on toodud seletuskirja mahutabelis.
 - b) Kvaliteedinõuded on esitatud seletuskirjas.
 - c) Selguse huvides on näidatud ainult puitkonstruktsioonid.

LÕPUTÖÖ						
Koostas	Mihkel Reinhold	20.05.15	Objekt:	AESPA LAULULAVA	Staad.	Leht
					PP	2
Juhendas	Karin Lellep		Joonis:	Põhiplaan	TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO	
Juhendas	Martti Kiisa					
					Õpperühm EI – 81	

LÖSUNG A – A
M1:10

[illegible]

LÖSUNG B-B
M1:10

34

LÖSUNG I–I
M1: 50

Roostevaba neeluplekk, ülekatted
tihendatud mastiksiga. -

Sölm C-

- Sölm B

Sõlm A

90.

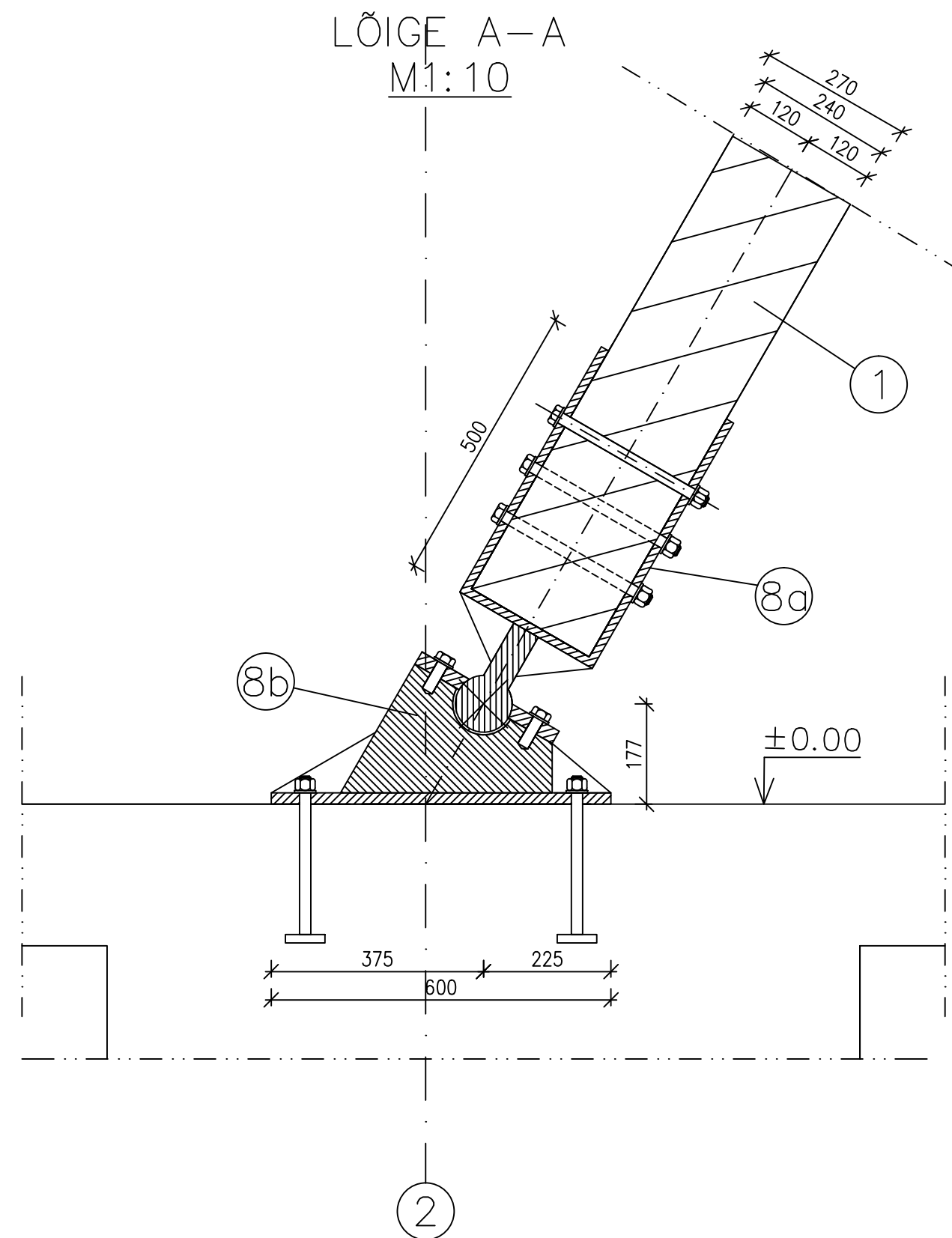
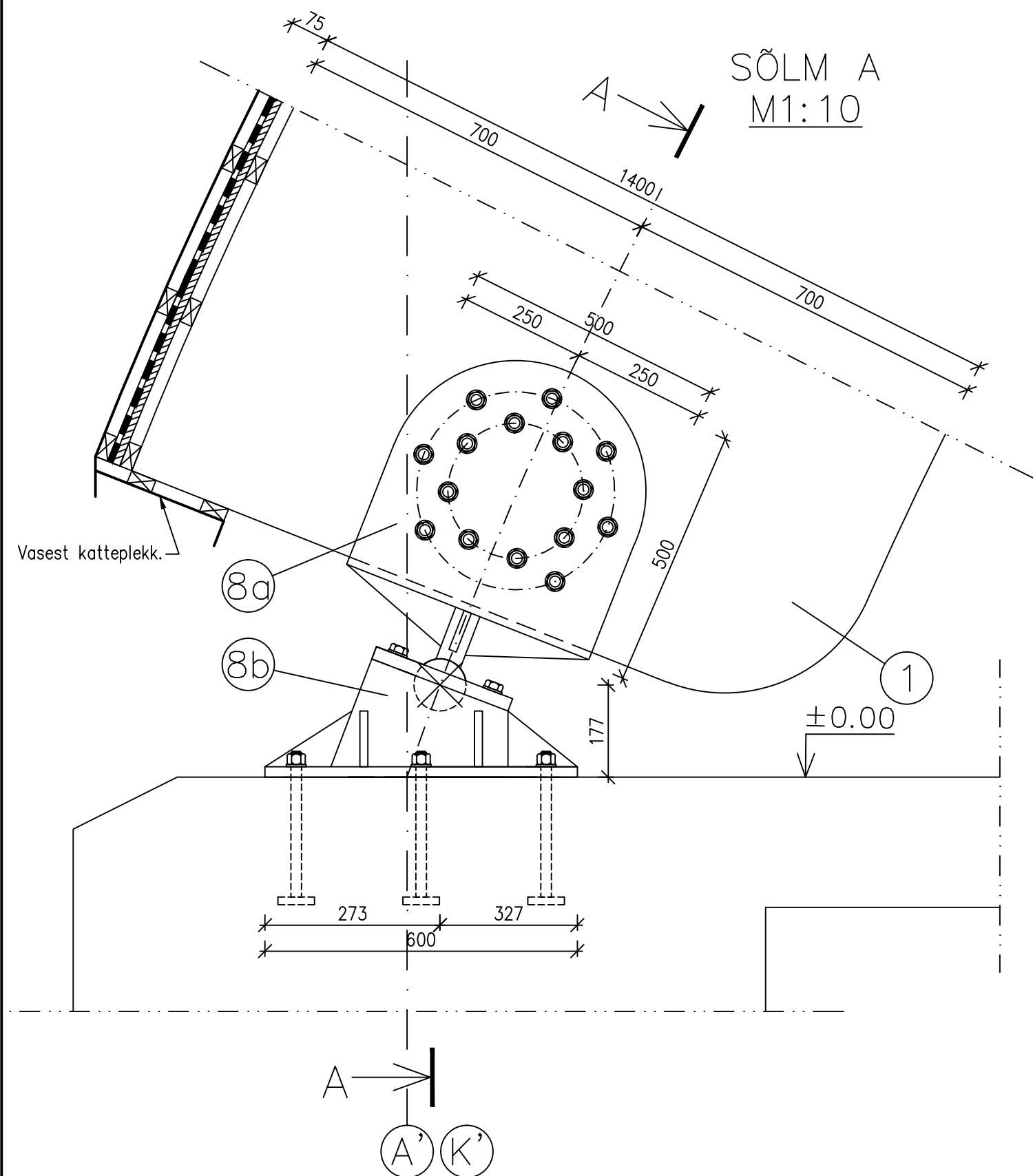
2%

Märkused:

- a) Elementide parameetrid on toodud seletuskirja mahutabelis.
- b) Kvaliteedinõuded on esitatud seletuskirjas.
- c) Selguse huvides ei ole taustale jäävaid konstruktsioone näidatud.
- d) Sõlmed on toodud joonistel 4...6.

LÖPUTÖÖ

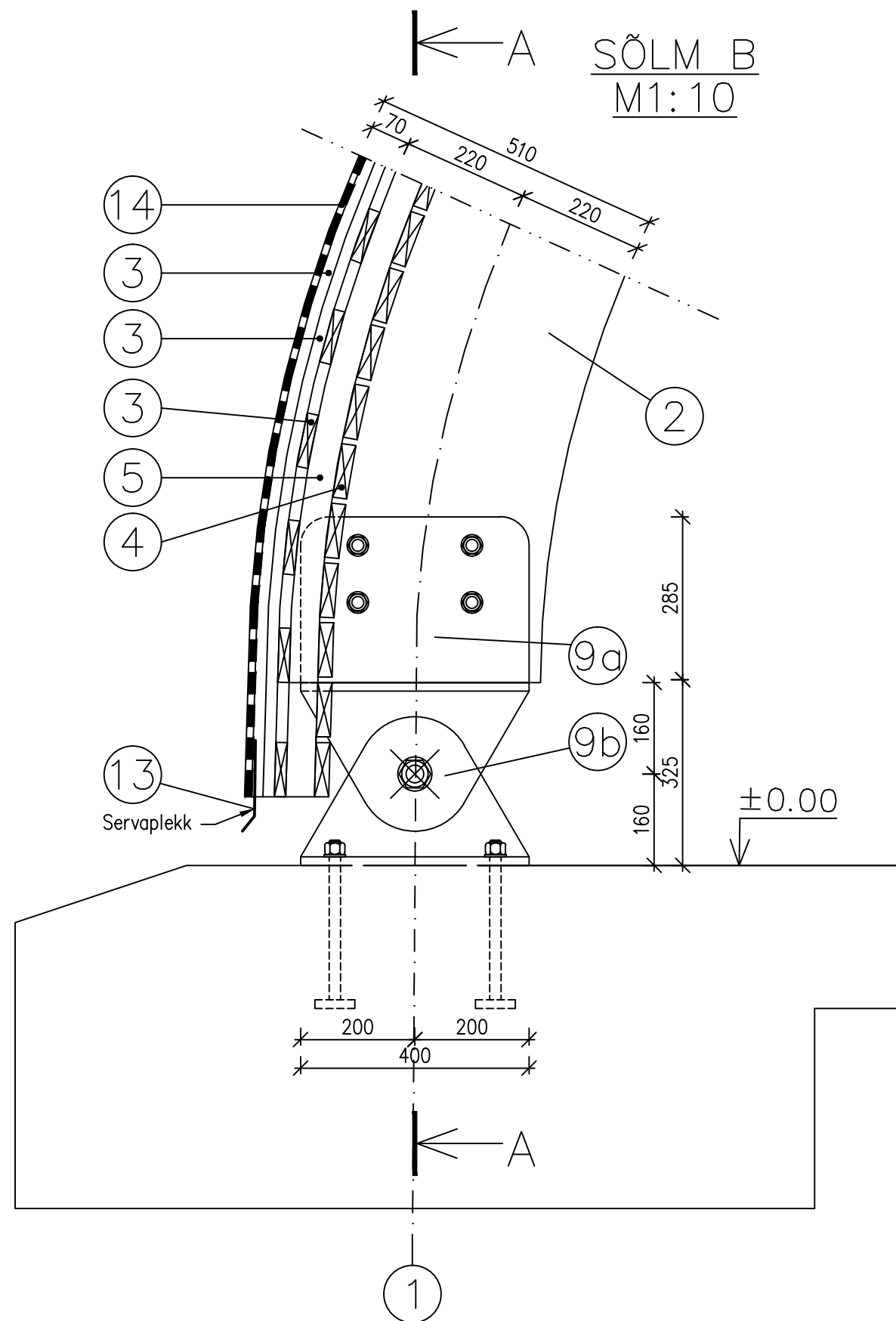
				LÕPUTÖÖ			
				<u>Objekt:</u> AESP A LAULULAVA	Staad.	Leht	Lehti
Koostas	Mihkel Reinhold	20.05.15			PP	3	6
Juhendas	Karin Lellep						
Juhendas	Martti Kiisa			<u>Joonis:</u> Lõige I–I	TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOOI		
					Õpperühm EI – 81		



Märkused:

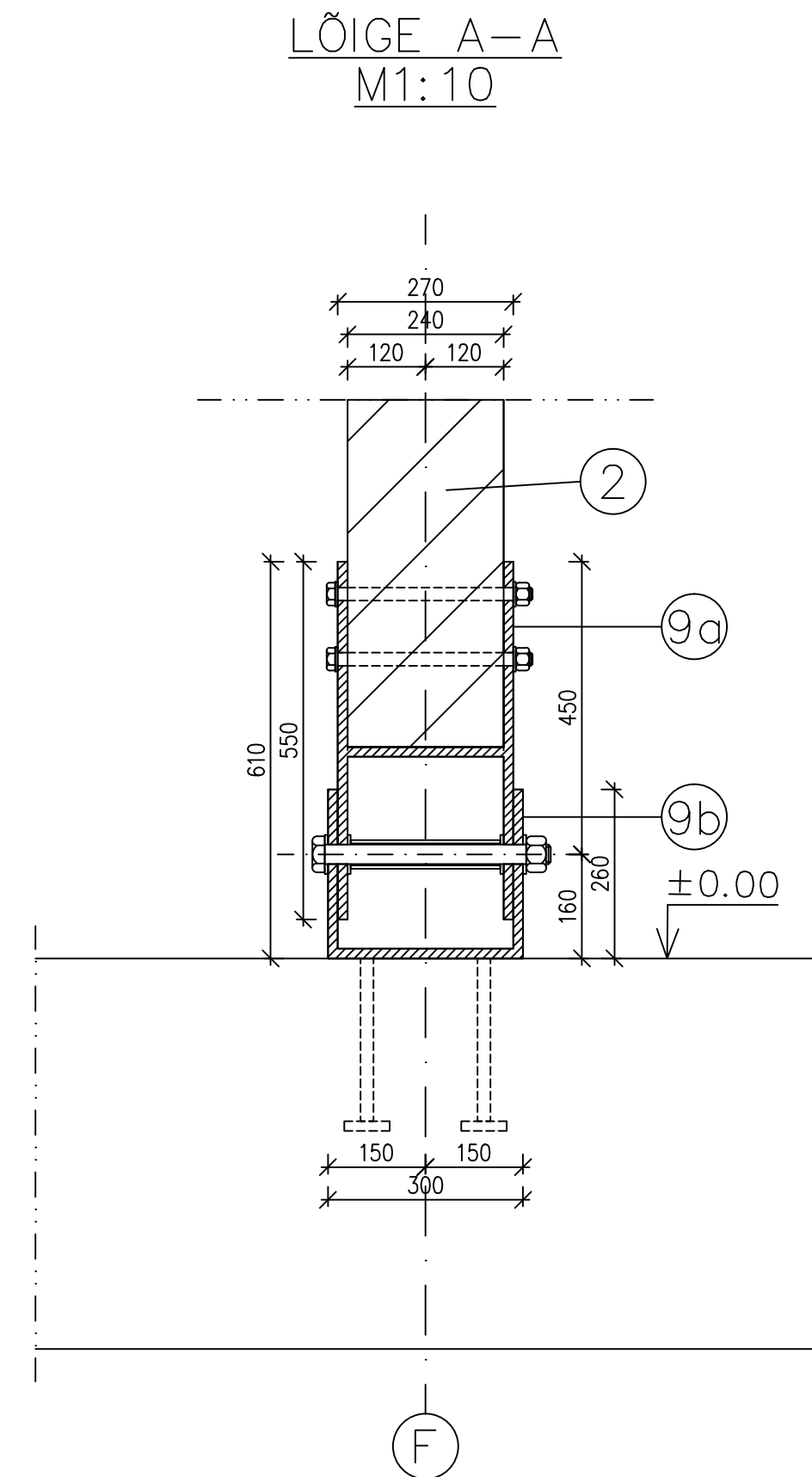
- Elementide parameetrid on toodud seletuskirja mahutabelis.
- Kvaliteedinõuded on esitatud seletuskirjas.
- Selguse huvides ei ole taustale jäävaid konstruktsioone näidatud.
- Sõlme asukoht on toodud joonisel 3.

LÕPUTÖÖ						
Koostas	Mihkel Reinhold	20.05.15	Objekt:	AESPA LAULULAVA	Staad.	Leht
					PP	4
Juhendas	Karin Lellep		Joonis:	Sõlm A – peakaare alumine kinnitus	TALLINNA TEHNIKAKÕRGOOL	
Juhendas	Martti Kiisa					
					Õpperühm EI – 81	



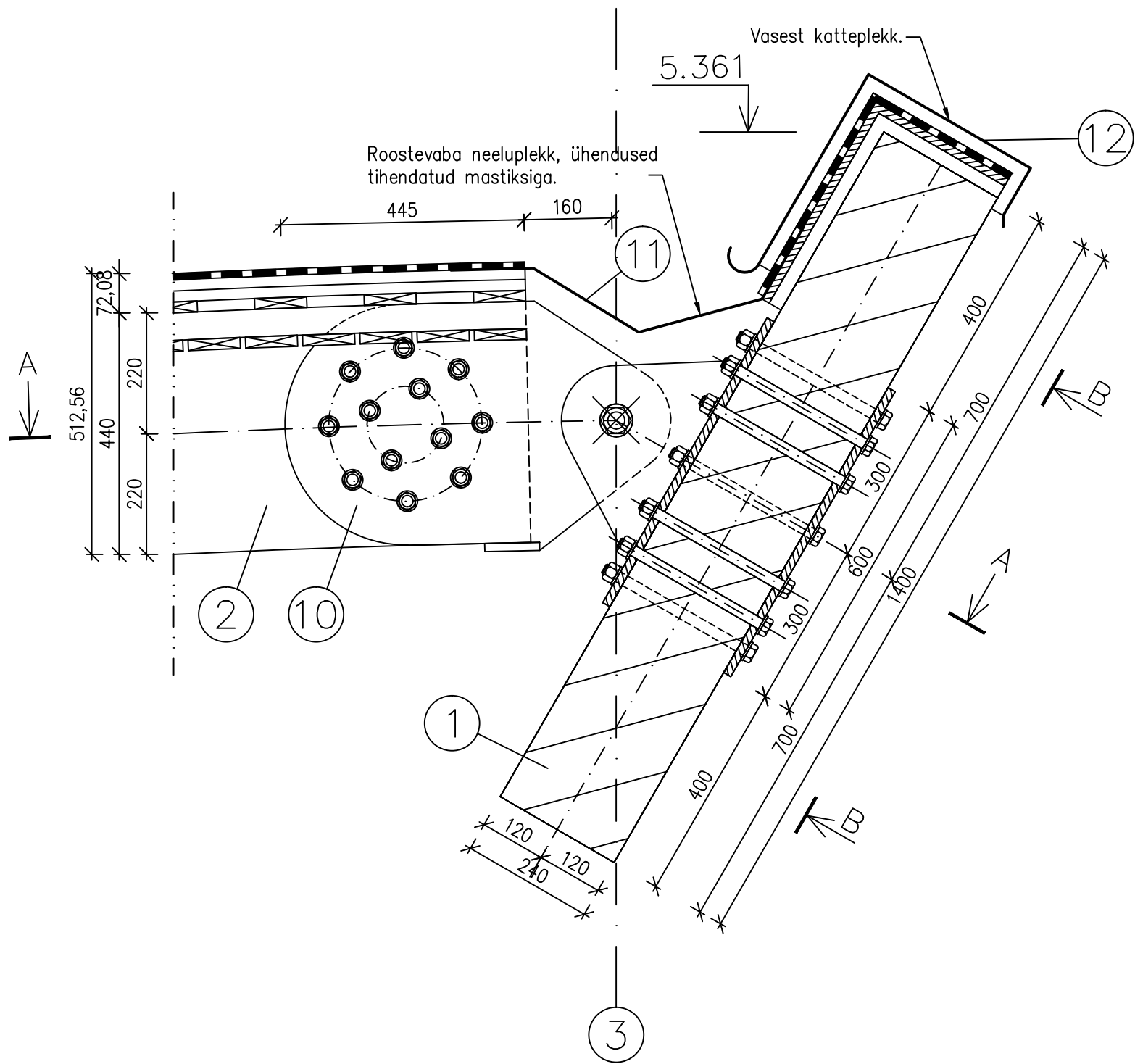
Märkused:

- Elementide parameetrid on toodud seletuskirja mahutabelis.
- Kvaliteedinõuded on esitatud seletuskirjas.
- Selguse huvides ei ole taustale jäävaid konstruktsioone näidatud.
- Sõlme asukoht on toodud joonisel 3.

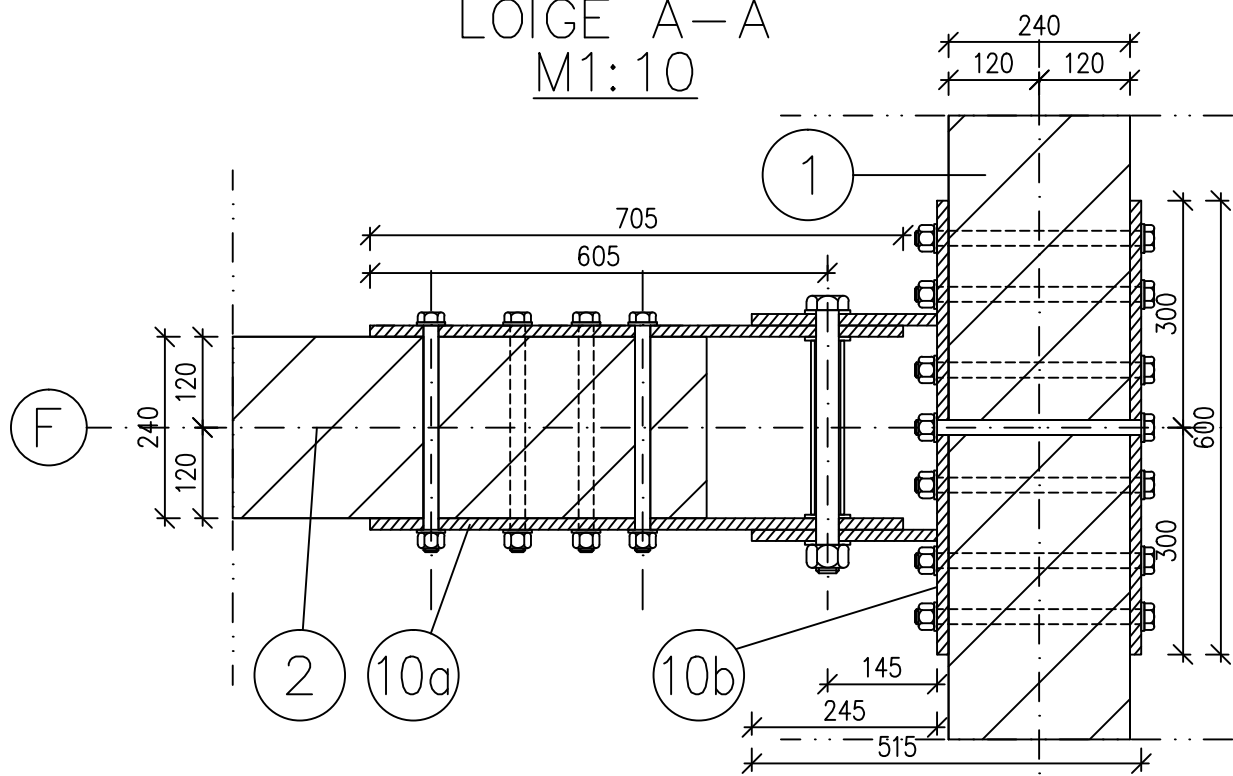


				LÕPUTÖÖ			
				Objekt: AESPA LAULULAVA	Staad.	Leht	Lehti
Koostas	Mihkel Reinhold		20.05.15		PP	5	6
Juhendas	Karin Lellep			Joonis: Sõlm B – abikaare alumine kinnitus	TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO Õpperühm EI – 81		
Juhendas	Martti Kiisa						

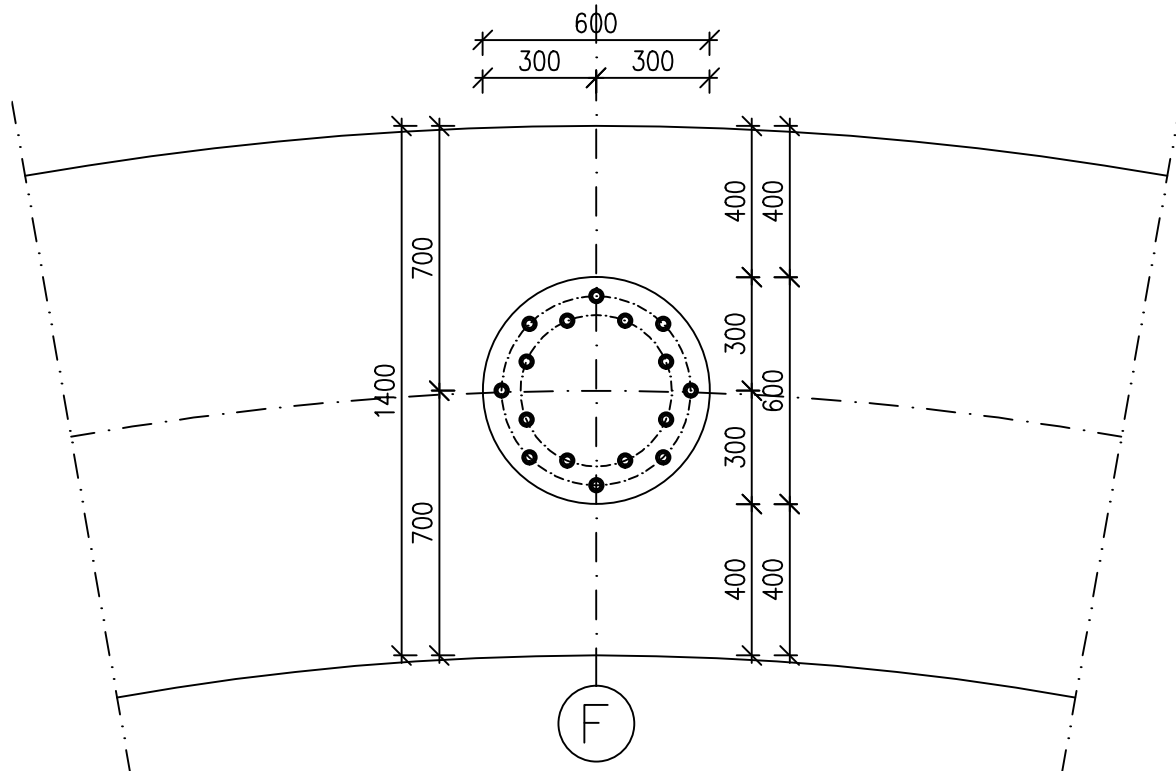
SÕLM C
M1:10



LÕIGE A-A
M1:10



LÕIGE B-B
M1:20



Märkused:

- a) Elementide parameetrid on toodud seletuskirja mahutabelis.
- b) Kvaliteedinõuded on esitatud seletuskirjas.
- c) Selguse huvides ei ole taustale jäävaid konstruktsioone näidatud.
- d) Sõlme asukoht on toodud joonisel 3.

LÕPUTÖÖ						
				Objekt:	Staad.	Leht
				AESPA LAULULAVA	PP	6
				Juhendas	TALLINNA TEHNIKAKÕRKOOL	
				Martti Kiisa		
				Joonis:	Õpperühm EI - 81	
				Sõlm C - pea- ja abikaare ühendus		