



1918

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**

TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

# SANGASTE MÕISA TALL-TÕLLAKUURI KATUSE KANDEKONSTRUKTSIOONI LAHENDUS

ROOF'S LOAD BEARING STRUCTURES OF SANGASTE MANOR'S STABLE-  
COACH GARAGE

Üliõpilane: **Olav Mõttus**

-----

Juhendaja: **Aime Ruus**

-----

**Preet Russak**

-----

Tartu, 2015

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

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood: 105337

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: ..... (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: ..... (allkiri)

## **ABSTRACT**

Mõttus, O; Roof's load bearing structures of Sangaste manor's stable-coach garage in Lossiküla village, Sangaste parish, Valga county; Master's thesis, two volumes; Tartu, 2015; 87 pages in total, 29 illustrations, 6 tables, blueprints: 8xA3, 1xA2, 1xA1; In Estonian.

The purpose of this paper is to provide one possible construction solution for the given stable-coach garage's roof as the building is planned to reconstruct. While designing new roof construction, customer's wishes were taken into account.

About the results: dimensions of the solid timber (C24) rafters varies from 50x250 mm to 75x250 mm. Glulam timber (GL28h) valley rafters dimensions should be at least 140x320 mm. Solid timber (C24) support system dimensions are similar to the original construction - 150x150 mm.

Drawings were designed with AutoCAD 2012. Autodesk Robot Structural Analysis 2014 and Mathcad Prime 2.0 were used for the calculations which were based on the Estonian versions of European standards.

Strength calculation, blueprint, standard, eurocode, load, wooden roof structure

## **SISUKORD**

<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>SISUKORD</b> .....	3
<b>SISSEJUHATUS</b> .....	6
<b>1. AJALOOLINE ÜLEVAADE JA TEHNILINE SEISUKORD</b> .....	7
1.1. Hoone ajalooline ülevaade .....	7
1.2. Katusekonstruktsiooni tehniline seisukord ja muinsuskaitse eritingimused .....	8
<b>2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED</b> .....	11
<b>3. MATERJAL JA METOODIKA</b> .....	12
3.1. Arvutusmetoodika ja põhimõtted .....	12
<b>4. KOORMUSED</b> .....	15
4.1. Lumekoormus .....	15
4.1.1. Lumekoormus katusele normaalolukorras .....	16
4.1.2. Lumekoormus katusele kuhjumisel parapettide taha ja neeludesse .....	17
4.2. Tuulekoormus .....	18
4.2.1. Tuulekoormus ehitise välispindadele .....	18
4.2.2. Tuulekoormus katusele .....	20
4.3. Katusekonstruktsiooni ja toolvärgisüsteemi omakaalukoormus .....	22
4.4. Normatiivsed joonkoormused kandeelementidele lõikes .....	25
<b>5. ARVUTUSOLUKORRAD, KOORMUSKOMBINATSIOONID</b> .....	26
5.1. Kande- ja kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonid .....	26
<b>6. LÕIKE 1-1 ELEMENTIDE DIMENSIONEERIMINE/KONTROLL</b> .....	28
6.1. Lõike 1-1 konstruktsiooni kirjeldus, sisejõudude epüürid .....	29
6.2. Lõike 1-1 sarika arvutused .....	32
6.2.1. Sarika kandepiirseisundi kontroll maksimaalsele paindele koos survega .....	32
6.2.2. Sarika kandepiirseisundi kontroll maksimaalsele tõmbele koos paindega .....	35
6.2.3. Sarika kandepiirseisundi kontroll maksimaalsele nihkele toel .....	36

6.2.4. Sarika kandepiirseisundi kontroll kiudude suhtes nurga all mõjuvatele jõududele .....	37
6.2.5. Sarika kasutuspiirseisundi kontroll läbipaindele .....	38
6.2.6. Sarika jätku dimensioneerimine .....	40
6.3. Lõike 1-1 toolvärgi arvutused, epüürid .....	44
6.3.1. Toolvärgi ülemise vöö kandepiirseisundi kontroll paindele .....	47
6.3.2. Toolvärgi ülemise vöö kandepiirseisundi kontroll nihkele .....	48
6.3.3. Toolvärgi posti kandepiirseisundi kontroll survele (nõtkele) .....	48
6.3.4. Toolvärgi alumise vöö kandepiirseisundi kontroll muljumisele .....	49
6.4. Sarika otsa toetava horisontaalse tala kandepiirseisundi kontroll survele .....	50
<b>7. NEELULÕIKE DIMENSIONEERIMINE/KONTROLL .....</b>	<b>53</b>
7.1. Neelulõike konstruktsiooni kirjeldus, sisejõudude epüürid .....	53
7.1.1. Neelusarika kandepiirseisundi kontroll paindele .....	55
7.1.2. Neelusarika kandepiirseisundi kontroll nihkele .....	56
7.1.3. Neelusarika kandepiirseisundi kontroll kiudude suhtes nurga all mõjuvatele jõududele .....	56
7.1.4. Neelusarika vasakpoolse toeposti vöösse muljumise kontroll .....	57
7.1.5. Neelusarika läbipainde kontroll kasutuspiirseisundis .....	58
7.2. Neelusarikale toetuvate sarikate kontroll .....	58
<b>8. SÕLMEDE KANDEVÕIME ARVUTUSED .....</b>	<b>61</b>
8.1. Sarika otsa sõlm horisontaalse abitalaga räästas .....	61
8.2. Sarika sõlm toolvärgivööga .....	64
8.3. Sarika sõlm müürlatiga .....	64
8.4. Toolvärgivööde ühendus postidega .....	66
<b>9. ARUTELU .....</b>	<b>67</b>
<b>KOKKUVÕTE .....</b>	<b>68</b>
<b>KIRJANDUSE LOETELU .....</b>	<b>69</b>
<b>LISAD .....</b>	<b>70</b>

**LISA 1. LÕIKE 2-2 ARVUTUSED**

**LISA 2. GRAAFILINE OSA**

## SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö eesmärk on anda Sangaste mõisa tall-tõllakuuri (Lossihalduse kinnistu, Lossiküla, Sangaste vald, Valga maakond) rekonstrueerimisprojektiks katuse kandekonstruktsioonide põhilõike üks võimalikest lahendusvariantidest.

Hetkel veel kasutuseta seisvat avariilist hoonet plaanitakse kohandada ning kasutusele võtta tervisekeskus-majutusasutusena. Sellest tulenevalt on töö koostamise alusteks kavandatava funktsiooni esialgne eskiislahendus, Kuubik Projekt OÜ poolt 2009. aastal teostatud hoone mõõdistusjoonised, Kurmik projekt OÜ poolt 2015. aastal väljastatud muinsuskaitse eritingimused ning Eesti Vabariigis kehtivad asjakohased standardid, normid, seadused ja määrused.

Töö alguses antakse ülevaade hoone ajaloost ning töö eesmärkidest, ülesannetest ja meetodikast. Sellele järgneb põhimaht, st. katusekonstruktsiooni elementide ja sõlmede dimensioneerimine/tugevusarvutused ning joonised. Lõpetuseks võetakse kokku ning kirjeldatakse lühidalt saadud tulemusi.

Töö autor soovib tänada juhendajat Aime Ruus'i kiire tagasiside ja vormistuslike nõuannete eest. Lisaks tänatakse Kuubik Projekt OÜ meeskonnast kaasjuhendajat Preet Russak'ut ning kolleegi Karel Kanarik'u magistritöö idee ning sisuliste nõuannete eest. Veel soovitakse tänada TTÜ Tartu Kolledži õppejõudu Illimar Kalk'i asjakohase abi eest puitkonstruktsioonide arvutamisel.

# 1. AJALOOLINE ÜLEVAADE JA TEHNILINE SEISUKORD

## 1.1. Hoone ajalooline ülevaade

„Esimesed kirjalikud teated Sangaste (vanemates kirjalikes allikmaterjalides esineb nimevorme *Sagnitz*, *Sagniez*, *Sagnic*, *Sagenitz*) kohta pärinevad 13. sajandi II poolest. 1287. aastast on teateid Tartu piiskopi lauamõisa rajamisest Sangastesse.“[1]

Pärast Liivi sõda jäi mõis riigile ning järgnevate sõdade jooksul vahetas veel korduvalt omanikku. 1808. aastal ostis Sangaste mõisa von Bergide suguvõsa esindaja. Praeguse mõisasüdame kujunemine leidis aset alates 1873. aastast, mil mõisavalitsemine läks noore krahvi Friedrich Georg Magnus von Bergi (1845-1938) kätte, kes kavandas suurejoonelist ehitus- ja majandustegevust. Kõigepealt valmis 1883. aastal härrastemaja ning seejärel jätkus ehitustegevus kõrvalhoonete rajamisel.[1]

„19. saj lõpul ehitatud ja tänaseni säilinud majandushoonetest on silmapaistvamaid mõisasüdamiku kaguküljele /../ püstitatud mastaapne tellisehitis, suletud hooviga kastellilaadne tallikompleks. Majandushoone täpne ehitusaeg ning arhitekt pole teada, säilinud pole ka algseid plaanimaterjale.“[1] Oletatavalt on aga ehitusaeg 1880-ndad ning autorlus on omistatud arhitekt Paul Friedrich Wilhelm Alisch'ile.[1]

Nelinurkse põhiplaaniga majandushoonel on maakivivundament, müürid on laotud puhasvuugiga kvaliteetsetest punastest tellistest, mis toodetud mõisa tellisevabrikus. Oma keskaegse linnuse nurgatornide ja kitsaste avadega massiivse müüritisega meenutab ehitis pigem konvendihoonet kui talli. Pilku haaravad gootipäraseid kujunduselemente: sakmikrinnatis, teravkaarsed aknad ning korruseid eraldav hammaslõikeline friis. Lisaks leidub nii kaar- kui horisontaalse tellissillutisega aknaavasid. Kohati on akna avasid kinni müüritud, mõnes kohas võib seinte veidi erinevast müürilaost oletada erinevaid ehitusetappe. Mõnes kohas on säilinud avatäidete algupäraseid raamifragmente.[1]

„Arhiivimaterjalide andmetel olid kirdetiivas paiknenud varsatall ja tallimehe korter lõunanurgal 2-korruselised. Tallimehe korteri ülakorrus lammutati viimase sõja ajal, suuliste andmete õigsusele viitab pööningukorrusel säilinud lubikrohviga kaetud seinosa. Algne katusekattematerjal oli tõrvatud katusepapp, mida hiljem asendas osalt tänaseni



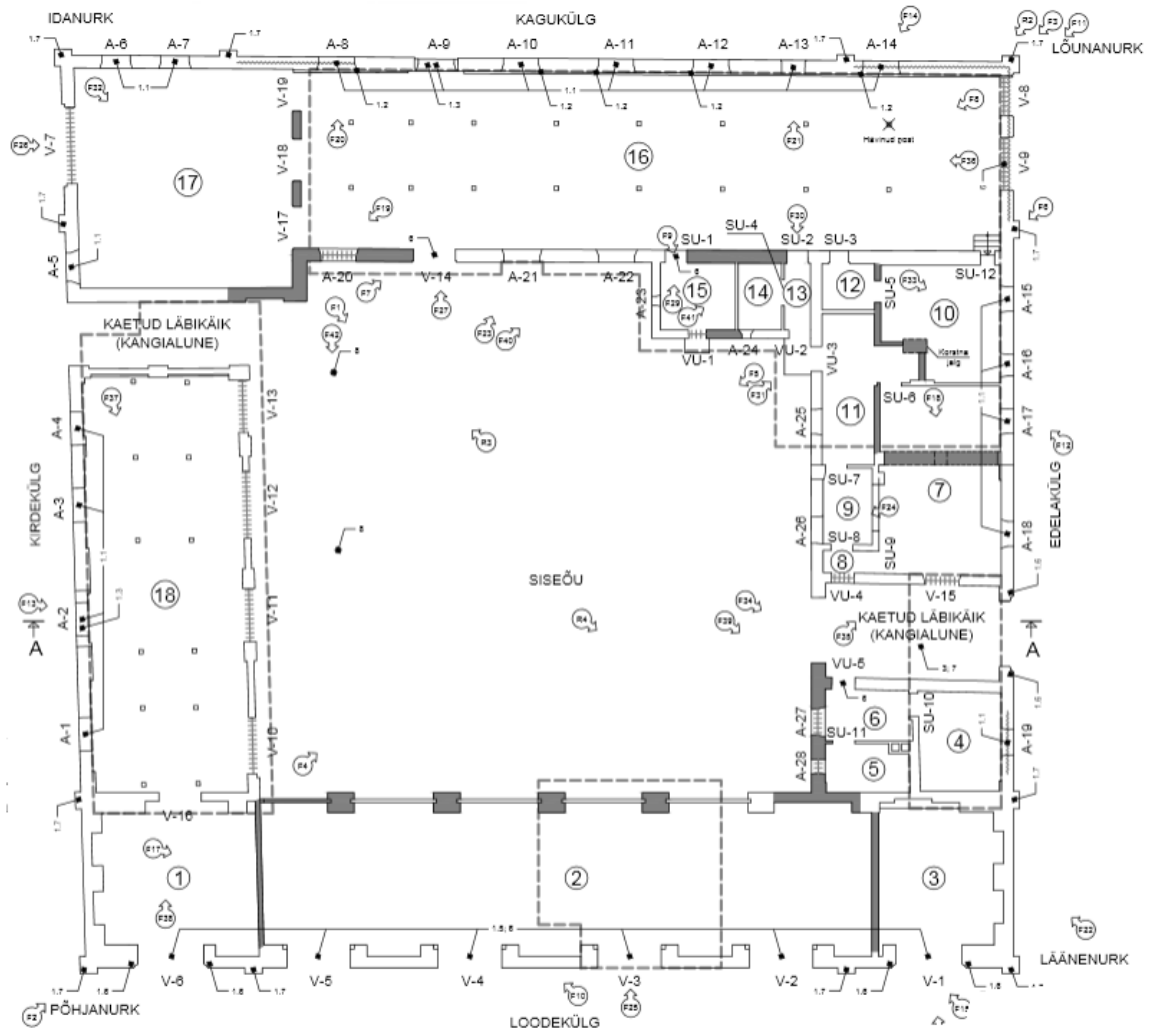
eterniitplaatide all säilinud laastukatus. Kõigil hooneosadel oli viimati toolvärkidel lamavsarikatega kaldkatus. Hobusetalli katusel on säilinud vintskap hobusesööda laepealsele andmiseks, sarnane väljaehitis vankrikuuuri katusel on hävinud.“[1]

## **1.2. Katusekonstruktsiooni tehniline seisukord ja muinsuskaitse eritingimused**

Muinsuskaitse eritingimused sedastavad, et kant- ja ümarpalkidest vahelae- ning katusekonstruktsioonid on suures osas varisenud. Väheste säilinud katusefragmentide (joonis 1.1) all puudub vahelagi. Olemasolevad massiivsed vahelaetalad tunduvad eemalt olevat korras, kuid süvendes paistab seenkahjustusi ja pehkimist. Mõnes ruumis leiab vahelae puidust kandekarkassi säilinud osi. Katusekandjateks on ümarad sarikad, millel omakorda roigasroovitusel laastukatus, mis kaetud eterniidiga. Sarikaid toetab toolvärk. Toolvärgil puuduvad kaldtoed, ruumilise jäikuse tagavad välisseina külge kinnitatud sepištõmmitsad. Välisseinad on päästnud võrdlemisi hästi säilinud parapetiplekid ja nurgatornikeste plekk-katted.[1]

Eritingimuste kuues punkt [1, lk 31] lubab eemaldada katusekonstruktsioonid, mille säilitamine ja taastamine on võimatu. Uued katused tuleb teha ühepoolse kaldega olemasolevate eeskaju järgi, katusekatteks on lubatud sile käsivalts tsingitud terasplekk, puitsindel või naturaalpunane savikivi. Ülakorruse ruumide valgustamiseks/katuse ilmestamiseks ei ole lubatud kasutada Velux-tüüpi üksikaknaid.[1] Olgu siinkohal mainitud, et suure tõenäosusega ei saavutata ajaloolise välismüüri ilme säilitamisega hoone teisel korrusel tänapäeval eluruumidele esitatavat valgusava-põrandapinna suhte 1:8 nõuet ning liigsete katuseuukide/akende lisamine kahjustaks hoone esteetilist välimust siseõuelt vaadatuna.

Tulenevalt hoone halvast tehnilisest seisukorrast on idee kasutada ära olemasolev väärikas välismüür, mis jääks tööle kivivoodrina ning selle sisse ehitada uus maja. Siseringi välisseinad demonteeritakse täielikult ning kasutuskõlblikest kividest laotakse endisesse asukohta üles samuti vaid ilmestav fassaad. Kuluefektiivsuse ning soojapidavuse saavutamise seisukohalt tundub selline variant mõistlik, arvestades olemasolevate seinte halba tehnilist seisukorda ja suurt soojajuhtivust.



**Joonis 1.1.** Põhiplaan. Halli katkendjoonega hetkel veel olemasolevad katuseosad [1]

Tuleb lisaks märkida, et ka säilinud katusefragmentides esineb ulatuslikke läbijookse ning äravajumisi. Säilitatav puit vajab kindlasti põhjalikku kontrolli kindlustamiseks, et selle omadused ei ole kriitiliselt halvenenud.

Joonistelt 1.2 ja 1.3 näeb hoone vaateid 2015. aasta jaanuarikuise seisuga, mis annab osalise ettekujutuse ehitisest üldiselt ja selle hetkeseisukorrast.



**Joonis 1.2.** Hoone välisringi fotomontaaž [1]



**Joonis 1.3.** Hoone siseringi fotomontaaž [1]

## 2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva töö eesmärk on projekteerida ühe lahendusvariandina kavandatavale funktsioonile katuse kandekonstruktsioonid. Hoone kavandatava kasutusfunktsiooni elluviimiseks on mõistlik asendada puitvahelagi raudbetoonist õõnespaneelidega, kus see on lubatud. Kuna esimesele korrusele on kavandatud saunad, mullivannid jms ning teisele korrusele majutusruumid, siis peab vahelagi pakkuma lisaks muule ka kõrgel tasemel heliisolatsiooni. Lisaks on puidu kasutamine niisketes ruumides komplitseeritud (aga mitte võimatu).

Katusena projekteeritakse soojustatud katuslagi, mis toetub olemasoleva eeskujul rajatud toolvärksüsteemile, mis ühtlasi hakkaks tööle teise korruse soojustatud välisseintena. Kus võimalik, tuleks säilinud vana toolvärgi puitu kasutada uue rajamiseks.

Töö põhiosas lahendatakse läbi lõike 1-1, mida kohaldatakse sarnaselt nii hoone kirde- kui loodeküljele. Lõike 2-2 arvutus, mida rakendatakse ühtemoodi kagu- ja edelaküljele, on toodud töö lisan, kuivõrd arvutus kopeerib juba põhiosas lahendatud, erinevad vaid valemite kasutatavad arvvaartused ning lõike silded.

Töö käik:

1. Tutvumine standardite ja normidega
2. Tutvumine olemasoleva alusmaterjaliga
3. Vajaliku lõike jaoks arvutusskeemi valik ja koormuste määramine
4. Tugevuskontrollide teostamine määratud lõikes
5. Jooniste valmistamine

### 3. MATERJAL JA METOODIKA

#### 3.1. Arvutusmetoodika ja põhimõtted

Katusekonstruktsioon moodustab süsteemse terviku, mis jaotatakse üksikuteks tasapindseteks arvutusskeemideks. Kandekonstruktsioonide sisejõudude leidmiseks kasutatakse vastavat arvutitarkvara.

Konstruktsiooniarvutustega kontrollitakse, et ei ületataks kande- ja/või kasutuspiirseisundi tingimusi. Kandepiirseisundi ületamise tagajärjedeks loetakse staatilise tasakaalu-, stabiilsuse- ja kandevõime kadu, millest tulenevalt konstruktsioon puruneb. Kasutuspiirseisund lähtub konstruktsiooni normaalse kasutuse nõuetest, ehitise välimusest (läbipained, vibratsioonid jms) ja inimeste mugavusest. Kasutuspiirseisundi deformatsioonid saavad olla taastuvad või taastumatud.[2, lk 180]

Arvutusolukorrad valitakse arvestades tingimusi, milles konstruktsioon peab oma otstarvet täitma. Valitud arvutusolukorrad peavad olema piisavalt ranged ja mitmekesised, et hõlmata kõiki tingimusi, mille esinemist konstruktsiooni ehitus- ja eksploatatsiooniajal võib põhjendatult ette näha.[3, lk 25...26]

Piirseisundi kontrollil lähtutakse koormuse normväärtusest, mis määratakse kas nimiväärtusena standardist või projektdokumentatsioonis. Arvutused teostatakse arvutusväärtusega, mis saadakse normväärtuse korrutamisel osavaruteguriga, mis võtab arvesse koormuse võimalikku hälvet normväärtusest ebasoodsamas suunas. Koormuste rakendamiseks kasutatakse koormuskombinatsioone vastavalt valitud piirlokorradele ja koormusjuhtumile. Koormuskombinatsioonis kasutatakse muutuvkoormustele kombinatsioonitegurit, mis arvestab samaaegselt mõjuvate muutuvkoormuste kõige ebasoodsamate väärtuste samaaegse mõjumise tõenäosust.[2, lk 180]

Koormuse  $F$  (kN) arvutusväärtuse  $F_d$  (kN) üldkuju:[2, lk 181]

$$F_d = \psi \cdot \gamma_f \cdot F_k, \quad (1)$$

kus:  $\psi$  – kombinatsioonitegur,

$\gamma_f$  – koormuse osavarutegur,

$F_k$  – koormuse normväärtus, kN.

Kasutatav kandepiirseisundi alaliste või ajutiste arvutusolukordade koormuskombinatsioon:[3, lk 43]

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (2)$$

kus: + – tähendab samaaegselt ühes kombinatsioonis mõjumist,

$\Sigma$  – tähendab kombinatsiooni koormustulemit,

$\gamma$  – koormuse osavarutegur vastavalt indeksile,

$Q_{k,1}$  – domineeriv muutuvkoormus,

$Q_{k,i}$  – muu muutuvkoormus.

Kasutuspiirseisundi puhul kasutatakse käesolevas töös normkombinatsiooni, mida rakendatakse üldjuhul taastumatute deformatsioonide puhul ja mis annab koormustulemi suurema, st tagavara kasuks võrreldes tava- või tõenäolise koormuskombinatsiooniga:[3, lk 45]

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

### **Kasutatud normdokumendid:**

Käesolev katuselae löike konstruktiivne lahendus koostatakse Eesti Vabariigis kehtivaid standardeid või nende vastavaid osi järgides.

- EVS 811:2012. Hoone ehitusprojekt. 2012. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 1990:2002. Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused. 2002. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 1991-1-1:2002. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused, mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused. 2002. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 1991-1-3:2006. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus. 2006. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 1991-1-4:2007. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. 2007. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009. Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks. 2009. Eesti Standardikeskus.

**Kasutatud arvutiprogrammid:**

Antud töö teostamisel kasutatud tarkvara hulka kuulub:

- MS Word ja Excel.
- Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014.
- Mathcad Prime 2.0.
- AutoCAD LT 2012.
- Adobe Acrobat.

## 4. KOORMUSED

Tulenevalt olemasoleva katuse kandekonstruktsiooni halvast seisukorrast, lammutatakse vana ning ehitatakse selle eeskujul uus. Lähtudes Tellija soovist ja hoone uuest kasutusfunktsioonist rajada I korrusele lisaks muule kohvik, pikendatakse katuse lõike 1 räästast selliselt, et selle alla on võimalik luua osaliselt kaetud väliterrass. Pikendatud räästa „konsoolset“ otsa hakkab toetama I korruse seinale kinnituv abitala. Tarindite omakaal ning neile mõjuvad koormused leitakse vastavaid Eesti Vabariigis kehtivaid standardeid järgides, Ehituskonstruktori käsiraamatust või materjalide tootjate juhiseid järgides.

### 4.1. Lumekoormus

Normatiivne lumekoormus maapinnal võetakse EVS-EN 1991-1-3:2006 rahvuslikus lisas esitatud Eesti ehituslikult lumekaardilt (joonis 4.1).



Joonis 4.1. Eesti ehituslik lumekoormuste kaart [4]



Kuna projekteeritav hoone asub Valga maakonnas Sangaste vallas Lossihalduse kinnistul ning seega lumekaardi järgi suhteliselt piiri peal, siis tagavara kasuks võetakse lumekoormuse normatiivseks väärtuseks suurem.

$$s_k = 1,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Eeldatakse, et koormus mõjub katusepiirkonna horisontaalprojektsiooni suhtes vertikaalselt ning katusele mõjuv lumekoormus leitakse valemi abil:[4, lk 18]

$$s = \mu_i \cdot s_k, \quad (4)$$

kus:  $s$  – normatiivne lumekoormus katusel,  $\text{kN/m}^2$ ,  
 $s_k$  – normatiivne lumekoormus maapinnal,  $\text{kN/m}^2$ ,  
 $\mu_i$  – lumekoormuse kujutegur.

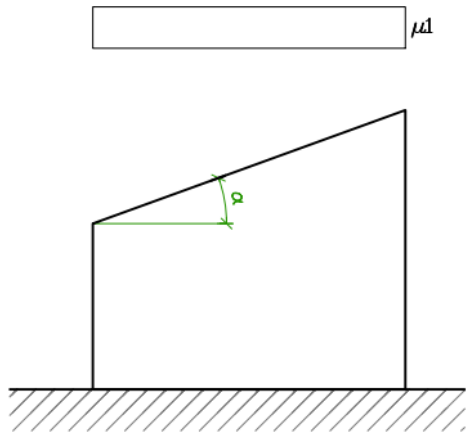
Kuna vaadeldava hoone katusepind piirneb välisnurkades kõrgemate parapettidega, tuleb lumekoormus katusele leida normaalolukorras ning lisaks hangede kogunemisel eendite ja takistuste ümbruses, rakendades vaadeldava standardi peatükkide 5 ja 6 asjakohaseid juhiseid, kuivõrd standardis toodud normatiivlisa, Lisa B: Lume erandliku kuhjumise korral rakendatavad kujutegurid, Eestis ei rakendata.[4, lk 30] Katuseräästal ripuvad lund tuleb projekteerimisel arvesse võtta soovituslikult ehituskohtade puhul, mis asuvad kõrgemal kui 800 m merepinnast ja seega antud töös ei käsitleta.

#### 4.1.1. Lumekoormus katusele normaalolukorras

Ühekaldelise katuse lumekoormuse kujuteguri  $\mu_i$  väärtused on esitatud tabelis 4.1. Nii ühtlaselt sadanud kui tuisklume paigutuse puhul tuleks kasutada koormusvarianti, mis toodud joonisel 4.2.[4, lk 20]

**Tabel 4.1.** Katuse lumekoormuse kujuteguri väärtused [4]

<b>Katuse kaldenurk <math>\alpha</math></b>	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	1,6
$\mu_2$	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	-



**Joonis 4.2.** Ühekaldelise katuse lumekoormuse kujutegur [4]

Projekteeritava katuse kaldenurk on  $\sim 20^\circ$ , seega kujutegur  $\mu_1 = 0,8$ . Normaalolukorras katusele mõjuva normatiivse lumekoormuse väärtus vastavalt valemile 4 on seega:  $s_1 = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$ .

#### 4.1.2. Lumekoormus katusele kuhjumisel parapettide taha ja neeludesse

Kõikvõimalikel katusepindadel, millel on eenduvaid osi, mis tekitavad aerodünaamilisi varjualasid ja kuhu lumi saab koguneda, võib esineda tuule mõjul hangedesse kuhjuvat lund.[4, lk 26]

Tuisuvaalu pikkus leitakse valemiga:[4, lk 26]

$$l_s = 2h, \quad (5)$$

kus:  $l_s$  – hange pikkus, m,

$h$  – takistuse/eendi kõrgus, m.

Antud hoonel on parapeti kõrgus katuse tasapinnast  $\sim 0,7$  m, seega  $l_s = 2 \cdot 0,7 = 1,4$  m. Vastavalt standardi rahvusliku lisa punktile 6.2 võetakse eestis hange pikkus vahemikus  $2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m}$  [4, lk 52], siit järelikult arvutustes kasutatav hange pikkus  $l_s = 2$  m.

Takistusest tingitud lumekoormuse kujutegur leitakse valemiga:[4, lk 26]

$$\mu_2 = \gamma \cdot h/s_k, \quad (6)$$

kus:  $\mu_2$  – kujutegur,  
 $\gamma$  – lume puistemahukaal, mille väärtus üldjuhul  $2 \text{ kN/m}^3$ ,  
 $s_k$  – normatiivne lumekoormus maapinnal,  $\text{kN/m}^2$ ,

kusjuures:  $0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$ .

Niisiis kujutegur:  $\mu_2 = \frac{2 \cdot 0,7}{1,5} \approx 0,933$ .

Seega normatiivne lumekoormus kuhjumisel nurgaparapeti taha kahe meetri ulatuses vastavalt valemile 4 on:  $s_2 = 0,933 \cdot 1,5 \approx 1,4 \text{ kN/m}^2$ .

Lume kuhjumist neeludesse ning vastavaid arvutusolukordi ühekaldeliste katusepindade liitekohtades Eesti lumekoormuse standard [4] täpsemalt ei käsitle. Siiski on praktikast teada, et igasugustes katuseneeludes võib esineda lume erandlikku kuhjumist. Standardis käsitletakse kuhjumist neelu vaid saagkatustele ja seega võetakse ka antud töö neelud vaatluse alla, nagu oleks tegu saagkatusega. Selliselt talitades peaks tulemused olema tagavara kasuks, kuna standardis toodud saagkatuse neel on horisontaalne, antud töö katuseneelud aga maapinna suhtes teatud nurga ( $\sim 15^\circ$ ) all. Lume kuhjumist arvestab kujutegur  $\mu_2$ , mis on toodud tabelis 4.1 ja kehtib samamoodi ka saagkatusele. Niisiis saab käesolevas töös käsitletava katuseneelu kujuteguriks võtta  $\mu_2 = 0,8 + 0,8 \cdot 20^\circ/30^\circ \approx 1,33$  ja seega saab neelus mõjuvaks lumekoormuseks:  $s_3 = 1,33 \cdot 1,5 \approx 2,0 \text{ kN/m}^2$ .

## 4.2. Tuulekoormus

Tuulekoormuse normatiivsed väärtused käesolevas projektis käsitletud katusele leitakse vastavalt standardi EVS-EN 1991-1-4:2007 ja selle rahvusliku lisa sätestatud juhiseid järgides.

### 4.2.1. Tuulekoormus ehitise välispindadele

Välispindadele mõjuv tuulerõhk leitakse avaldisega: [5, lk 24]

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}, \quad (7)$$

kus:  $q_p(z_e)$  – on tippkiirusrõhk,  $\text{kN/m}^2$ ,

$c_{pe}$  – on välisrõhu tegur.

Tippkiirusrõhu määramiseks soovituslik eeskiri:[5, lk 19...23]

$$q_p(z) = [1 + 7 + I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b, \quad (8)$$

kus:  $\rho$  – õhu tihedus, soovituslik väärtus 1,25 kg/m<sup>3</sup>,

$v_m(z)$  – tuulekiiruse keskväärtus sõltuvalt kõrgusest maapinnast, leitav avaldisega,

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b, \quad (9)$$

kus:  $c_r(z)$  – karedustegur, leitav avaldisega,

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0), \quad \text{kui } z_{min} \leq z \leq z_{max}, (10)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}), \quad \text{kui } z < z_{min},$$

kus:  $k_r$  – maastikutüübitegur, leitav avaldisega,

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}, \quad (11)$$

kus:  $z_{0,II} = 0,05$  m (maastikutüüp II, tabel 4.2),

$z_{min}$  – miinimumkõrgus, mis määratakse tabelist 4.2,

$z_{max}$  – maksimumkõrgus, mis võetakse 200 m,

$I_v(z)$  – turbulentsi intensiivsus, mis soovituslikult määratakse avaldisega,

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)}, \quad \text{kui } z_{min} \leq z \leq z_{max}, (12)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}), \quad \text{kui } z < z_{min},$$

kus:  $k_I$  – turbulentsitegur, soovituslik väärtus 1,0,

$c_0$  – pinnavormitegur, väärtus 1,0 tasase maastiku puhul,

$z_0$  – karedusmõõt, mis sõltub maastikutüübist,

$c_e(z)$  – ekspositsioonitegur, mis on antud avaldisega,

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}, \quad (13)$$

kus:  $q_b$  – keskmine tuule baaskiirusrõhk, mis on antud avaldisega,

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2, \quad (14)$$

kus:  $v_{b,0}$  – tuule põhilise baaskiiruse väärtus, rahvusliku lisa järgi Eestis 21 m/s.

**Tabel 4.2.** Maastikutüübid ja maastiku parameetrid [5]

Maastikutüüp		Z <sub>0</sub> , m	Z <sub>min</sub> , m
<b>0</b>	Meri või kaldapiirkond, mis on avatud merele	0,003	1
<b>I</b>	Järved või tasane horisontaalne maastik ilma olulise taimkatteta ja ilma takistusteta	0,01	1
<b>II</b>	Maastik madala taimkattega (nagu rohi) ja üksikute takistustega (puud, hooned), mille vaheline kaugus võrdub vähemalt 20-kordse kõrgusega	0,05	2
<b>III</b>	Maastik, mis on kaetud ühtlase taimkatte või ehitistega või üksikute takistustega, mille vaheline kaugus ei ole suurem 20-kordsest kõrgusest (maa-asulad, äärelinnapiirkond, ühtlaselt metsaga kaetud alad)	0,3	5
<b>IV</b>	Maastik, kus vähemalt 15% pinnast on kaetud hoonetega, mille keskmine kõrgus ületab 15 m	1,0	10

Vaadeldava ringtalli asukohta kirjeldab kõige täpsemini maastikutüüp III, seega vastavalt tabelile 4.2:  $z_0 = 0,3$  m;  $z_{0,II} = 0,05$  m;  $z_{min} = 5$  m;  $z = 7,5$  m.

**Lahendus:**

Tuuleturbulentsi intensiivsus vastavalt valemile 12:

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(7,5/0,3)} \approx 0,311.$$

Maastikutüübi tegur vastavalt valemile 11:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} \approx 0,215.$$

Maastiku karedustegur vastavalt valemile 10:

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln(7,5/0,3) \approx 0,692.$$

Tuulekiiruse keskväärtus vastavalt valemile 9:

$$v_m(z) = 0,692 \cdot 1,0 \cdot 21 \approx 14,53 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

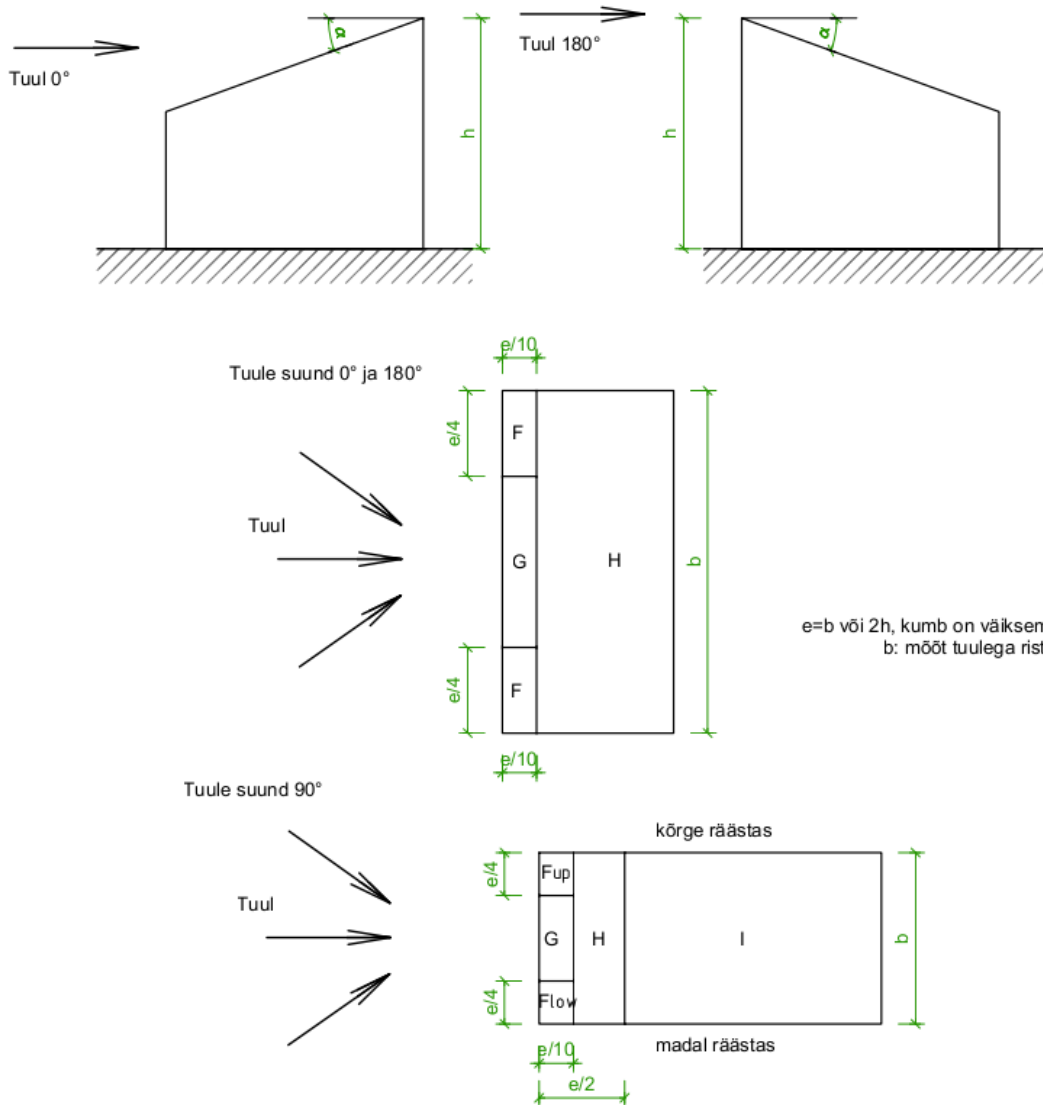
Tippkiirusrõhu normatiivne väärtus vastavalt valemile 8:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,311] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 14,53^2 \approx 0,421 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}.$$

**4.2.2. Tuulekoormus katusele**

Tulenevalt hoone suletud kastellilaadsest kujust, puhub sisuliselt tuul alati ühekaldelise katuse kõrgemasse räästasse või tuulesuunaga paralleelsete katuste otsa. Kindluse mõttes on siiski kontrollitud ka võimalust, justkui tuul saaks puhuda hoone kuju arvestamata otse madalamasse räästasse takistusi omamata. Katuse koormustsoonid on joonisel 4.3.

Välisrõhutegurid on lineaarselt interpoleeritud standardi tabelitest [5, lk 41] ning antud tabelis 4.3. Kuna tuulega koormatud pinnad on suuremad kui  $10 \text{ m}^2$ , vaadatakse ainult välisrõhutegurit  $c_{pe,10}$ .



**Joonis 4.3.** Ühekaldelise katuse koormustsoonid [5]

**Tabel 4.3.** Välisrõhutegurid ühekaldelisele katusele interpoleerimise teel [5]

Kalde- nurk	Suund 0 kraadi			Suund 180 kraadi			Suund 90 kraadi				
	F	G	H	F	G	H	F <sub>up</sub>	Flow	G	H	I
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
20	-0,767	-0,700	-0,267	-2,033	-1,133	-0,867	-2,3	-1,5	-1,767	-0,867	-0,733
	0,367	0,367	0,267								

Märkus: Katusekallete  $5^\circ \dots 45^\circ$  võib tuule suuna  $\theta = 0^\circ$  puhul rõhk muutuda nii positiivse kui negatiivse väärtuse vahel ja seega on antud mõlemad. Selliste katuste puhul tuleks

arvestada ühel juhul positiivseid-, teisel negatiivseid väärtuseid. Ühel katuse küljel ei tohi erimargilisi väärtusi samaaegselt kasutada.[5, lk 41]

Tuule suuna  $0^\circ$  ja  $180^\circ$  puhul on hooned mõõtmised ligikaudselt  $45 \times 45$  m ja tulenevalt jooniselt 4.3 mõõde tuule ristsihis alati suurem kui hoone kahekordne kõrgus, seega nende koormustsoonide puhul  $e = 2 \cdot h = 2 \cdot 7,5 \text{ m} = 15 \text{ m}$ . Tuule suuna  $90^\circ$  puhul võib aga mõõtme tuule ristsihis võtta  $\sim 11$  m arvestades hoone katuse üksikuid osi/külgi, seega sel juhul  $e = b = 11 \text{ m}$ .

Normatiivsed koormused erinevate tuule suundade puhul koormustsoonidele vastavalt valemile (7):

$$\theta = 180^\circ$$

$$w_{e,F} = 0,421 \cdot (-2,033) \approx -0,856 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$w_{e,I} = 0,421 \cdot (-0,733) \approx -0,309 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$w_{e,G} = 0,421 \cdot (-1,133) \approx -0,477 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$\theta = 0^\circ$$

$$w_{e,H} = 0,421 \cdot (-0,867) \approx -0,365 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$w_{e,F1} = 0,421 \cdot (-0,767) \approx -0,323 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$w_{e,G1} = 0,421 \cdot (-0,700) \approx -0,295 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$w_{e,F_{up}} = 0,421 \cdot (-2,3) \approx -0,968 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$w_{e,H1} = 0,421 \cdot (-0,267) \approx -0,112 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$w_{e,F_{low}} = 0,421 \cdot (-1,5) \approx -0,632 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$w_{e,F2} = 0,421 \cdot 0,367 \approx 0,155 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$w_{e,G} = 0,421 \cdot (-1,767) \approx -0,744 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$w_{e,G2} = 0,421 \cdot 0,367 \approx 0,155 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$w_{e,H} = 0,421 \cdot (-0,867) \approx -0,365 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

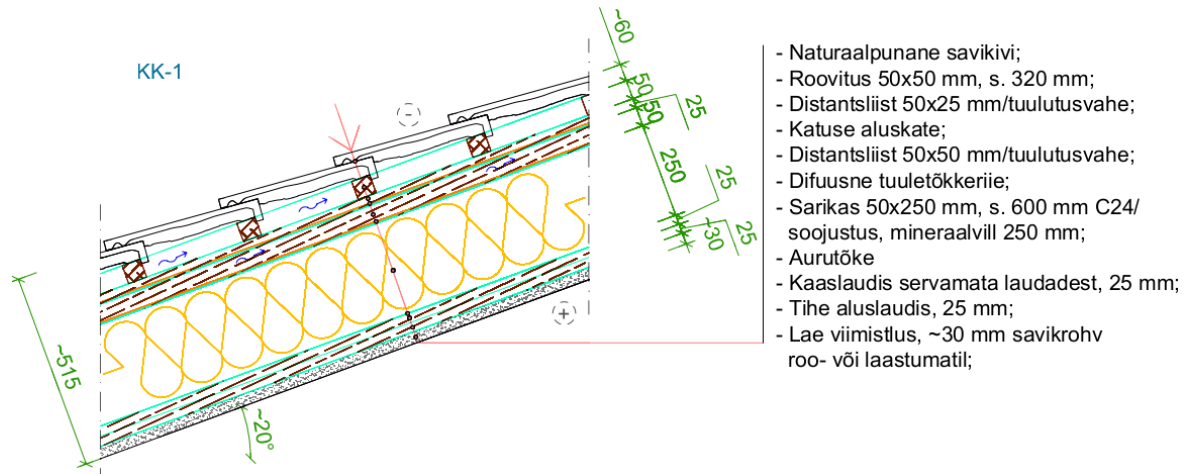
$$w_{e,H2} = 0,421 \cdot 0,267 \approx 0,112 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}.$$

Tulemustest on näha ning võib eeldada, et suruv tuulekoormus oma väiksuse tõttu olulist mõju konstruktsioonile ei avalda. Küll aga on märkimisväärsem mõju katuse „otstesse“ ning kõrgemasse räästasse puhul negatiivse rõhuga (seega tõstval) tuulel.

### 4.3. Katusekonstruktsiooni ja toolvärgisüsteemi omakaalukoormus

Katusekonstruktsiooni väljapakutud ristlõige on toodud joonisel 4.4 ning selle omakaal kihtide kaupa tabelis 4.4. Toolvärgi ristlõige, mis ühtlasi täidab II korruse soojustatud välisseinte ülesannet, on toodud joonisel 4.5 ning selle omakaal tabelis 4.5.

Omakaalukoormused on määratud standardist EVS-EN 1991-1-1:2002, Ehituskonstruktori käsiraamatust ja konstruktsioonis kasutatavate materjalitootjate avalikest andmebaasidest.[2][6][7][8]

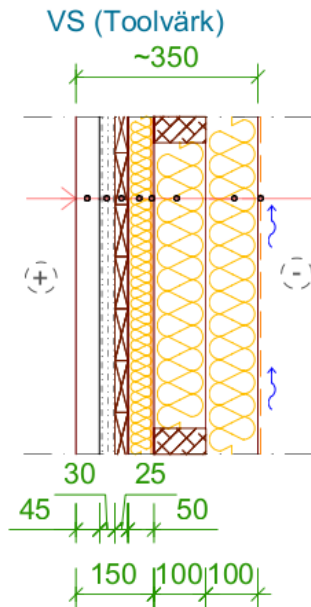


**Joonis 4.4.** Katuslae konstruktsiooni kihid

**Tabel 4.4.** Katuslae konstruktsiooni normatiivsed omakaalukoormused

Kiht	Laius, m	Samm, m	Tihedus, kN/m <sup>3</sup>	Kihi paksus, m	Normatiivne koormus, kN/m <sup>2</sup>
Kivikatus					0,500
Roov	0,05	0,32	5	0,05	0,039
Distant	0,05	0,6	5	0,025	0,010
Katuse aluskate					
Distant	0,05	0,6	5	0,05	0,021
Tuuletõkkekangas					
Sarikas	0,05	0,6	5	0,25	0,104
Soojustus			0,5	0,25	0,125
Aurutõke					
Laudis			5	0,025	0,125
Roomatt				0,01	0,025
Savikrohv			16	0,03	0,480
Kokku, $G_k$ :					<b>1,429</b>
Ilma soojustuseta nn räästa osas, $G_k$ :					<b>0,799</b>





- Toolvärgi postid 150x150 mm, s. 1200 mm C24 (tahatud)/ osaliselt eksponeeritud postide vahel:
- seina viimistlus: kaseiinkrunt, savikrohv roo- või laastumatil ca 30 mm/
- tihe laudis 25 mm/
- püstroovitus 50x50 mm postide vahel välise äärega tasa, mineraalvillsoojustus 50 mm;
- Aurutõke
- Hor. prussid 50x100 mm, s. 600 mm/ mineraalvillsoojustus 100 mm;
- Ver. prussid 50x100 mm, s.600 mm/ mineraalvillsoojustus 100 mm;
- Difuusne tuuletõkkeriie;

\*Kõrgemas seinas õhkvahe + olemasolev müüritis

Joonis 4.5. Välisseinana kasutatava toolvärgisüsteemi kihid

Tabel 4.5. Soojustatud välisseinana töötava toolvärgi normatiivne omakaal

Kiht	Laius, m	Samm, m	Tihedus, kN/m <sup>3</sup>	Kihi paksus, m	Normatiivne koormus, kN/m <sup>2</sup>
Toolvärgi postid	0,15	1,2	5	0,15	0,094
Savikrohv			16	0,03	0,480
Roomatt				0,01	0,025
Tihe laudis			5	0,025	0,125
Aurutõke					
Roovitus	0,05	1,2	5	0,05	0,010
Soojustus			0,5	0,05	0,025
Hor. Roovitus	0,05	0,6	5	0,1	0,042
soojustus			0,5	0,1	0,050
Vert. Roovitus	0,05	0,6	5	0,1	0,042
Soojustus			0,5	0,1	0,050
Tuuletõkkeriie					
Kokku, $G_k$ :					<b>0,943</b>

Tõenäoliselt tuleks välisringi müüritisepoolse toolvärgi süsteem valmis ehitada osade kaupa lamedal tasapinnal ning seejärel tõsta oma kohale paika, kuivõrd selle sein ja olemasoleva välismüüri vahele kavandatakse jätta õhkvahe ning väljastpoolt antud süsteemi ehitamine ei oleks võimalik. Teine variant oleks kasutada abikarkassi, millele kinnitada välimised kihid kuni toolvärgi postideni ning seejärel liita süsteem nendega. Nii täpsed lahendused antakse aga üldjuhul tööprojektis ning antud hetkel neid lähemalt ei

käsitleta. Toodud konstruktsioonilahenduste soojajuhtivus on autori ligikaudsel hinnangul (mis põhineb peamiselt soojustusmaterjali kihi paksusel ja selle avalikest andmebaasidest leitaval soojuserijuhtivusel)  $U \leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

#### 4.4. Normatiivsed joonkoormused kandeelementidele lõikes

Kandeelementide dimensioneerimiseks määratakse neile arvutitarkvara abil sisejõud. Punktis 3.1 mainitud tasapindsetele arvutusskeemidele sisejõudude määramise lihtsustamiseks tuleb aga enne määrata elementidele mõjuvad joonkoormused. Joonkoormuse määramiseks korrutatakse normatiivne koormus  $\text{m}^2$  kohta läbi elemendi sammuga.

- Normatiivne koormus sarikale mittekujunud lumest:

$$q_{k,lumi} = s_1 \cdot s_{sarikas} = 1,2 \cdot 0,6 = 0,72 \text{ kN/jm}.$$

- Normatiivne koormus sarikale parapettide ning neelu tõttu kujunud lume olukorras (koormus kasvab lineaarselt neelusarika suunas kuhjumisele):

$$q_{k,lumi2} = s_2 \cdot s_{sarikas} = 1,4 \cdot 0,6 = 0,84 \text{ kN/jm},$$

$$q_{k,lumi3} = s_3 \cdot s_{sarikas} = 2,0 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ kN/jm}.$$

- Normatiivne koormus sarikale maksimaalsetest tuulekoormustest:

$$q_{k,tuul+} = w_{e,F2} \cdot s_{sarikas} = 0,155 \cdot 0,6 = 0,093 \text{ kN/jm},$$

$$q_{k,tuul-} = w_{e,Fup} \cdot s_{sarikas} = (-0,968) \cdot 0,6 = -0,58 \text{ kN/jm}.$$

- Normatiivne koormus sarikale katuslae omakaalust:

$$g_{k,katuslagi} = G_k \cdot s_{sarikas} = 1,429 \cdot 0,6 = 0,857 \text{ kN/jm},$$

$$g_{k,räästas} = G_k \cdot s_{sarikas} = 0,799 \cdot 0,6 = 0,479 \text{ kN/jm}.$$

- Normatiivne koormus toolvärgi postidele omakaalust:

$$g_{k,post} = G_k \cdot s_{post} = 0,943 \cdot 1,2 = 1,13 \text{ kN/jm}.$$

## 5. ARVUTUSOLUKORRAD, KOORMUSKOMBINATSIOONID

Vastavalt standardile EVS-EN 1990:2002 tuleb arvutusolukorrad valida arvestades tingimusi, milles konstruktsioon peab oma otstarvet täitma. Käesolev töö käsitleb alalist arvutusolukorda, mis vastab konstruktsiooni normaalsetele kasutustingimustele. Kontrollitakse kande- ja kasutuspiirseisundit ning mõlemale juhule koostatakse kriitiliseimad koormuskombinatsioonid, mis põhjustavad suurimaid sisejõudusid dimensioneeritavates/kontrollitavates elementides arvestades koormuste ebasoodsaima paiknemise võimalusega.

### 5.1. Kande- ja kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonid

Kandepiirseisundi koormuskombinatsiooni üldkuju on toodud valemiga (2) käesoleva töö punktis 3.1. Kontrolliti järgnevaid kombinatsioone:

1. Domineeriv lumekoormus koos suruva tuulega,  
$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot (Q_{k,lumi} + \psi_{0,tuul} \cdot Q_{k,tuul+}).$$
2. Domineeriv suruv tuulekoormus koos lumega,  
$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot (Q_{k,tuul+} + \psi_{0,lumi} \cdot Q_{k,lumi}).$$
3. Domineeriv tõstev tuulekoormus ilma lumeta,  
$$G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,tuul-}.$$

kus varu- ja kombinatsioonitegurid  $\gamma_G = 1,2$ ;  $\gamma_Q = 1,5$ ;  $\psi_{0,tuul} = 0,6$ ;  $\psi_{0,lumi} = 0,5$  on võetud standardi EVS-EN 1990:2002 rahvuslikust lisast.

Kasutuspiirseisundi koormuskombinatsiooni üldkuju on toodud valemiga (3) käesoleva töö punktis 3.1. Rakendati normkombinatsiooni, mis annab tulemuse tagavara kasuks võrreldes tava- või tõenäolise koormuskombinatsiooniga. Kontrolliti järgnevaid olukordi:

1. Domineeriv lumekoormus koos suruva tuulega,  
$$G_k + Q_{k,lumi} + \psi_{0,tuul} \cdot Q_{k,tuul+}.$$
2. Domineeriv suruv tuulekoormus koos lumega,  
$$G_k + Q_{k,tuul+} + \psi_{0,lumi} \cdot Q_{k,lumi}.$$
3. Domineeriv tõstev tuulekoormus ilma lumeta,  
$$G_k + Q_{k,tuul-}.$$

kus kombinatsioonitegurid  $\psi_{0,tuul} = 0,6$ ;  $\psi_{0,lumi} = 0,5$ .

Kasutades koormusväärtusi peatükist 4, sisestati antud kombinatsioonid programmi Autodesk Robot Structural Analysis 2014 ning ilmnes, et suurimaid sisejõudusid nii kande- kui kasutuspiiriseisundis põhjustab domineeriva lumega koormuskombinatsioon. Saadud tulemused on epüüride kujul toodud vastavate elementide dimensioneerimise juures.

## 6. LÖIKE 1-1 ELEMENTIDE DIMENSIONEERIMINE/KONTROLL

Koormuse kestus ja materjali niiskus mõjutavad puidu ja puidupõhiste elementide tugevus- ja jäikusomadusi ning need tuleb mehaanilise vastupanu ja kasutamise projekteerimisel arvesse võtta.[9, lk 21] Neid tingimusi arvestatakse teguriga  $k_{mod}$ , mis võetakse vastavalt olukorrale tabelist 6.1.

**Tabel 6.1.** Teguri  $k_{mod}$  väärtused [9]

Materjal	Standard	Kasutus- klass	Koormuse kestusklass				
			Alaline koormus	Pikaajaline koormus	Keskmise kestusega koormus	Lühiajaline koormus	Hetkeline koormus
Saepuit	EN 14081- 1	1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
		2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
		3	0,5	0,55	0,65	0,7	0,9
Lamell- liimpuit	EN 14080	1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
		2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
		3	0,5	0,55	0,65	0,7	0,9

Kontrolliks osavarutegurite meetodiga määratakse puitmaterjali omaduse arvutusväärtus  $X_d$  järgnevalt:[9, lk 23...24]

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (15)$$

kus:  $X_k$  – tugevusomaduse normväärtus,

$\gamma_M$  – materjali omaduse osavarutegur,

$k_{mod}$  – koormuse kestusest ja puidu niiskusest sõltuv modifikatsioonitegur.

Käesolevas töös antud lahenduse puhul eeldatakse sarikate kasutusklassiks 2 ja toolvärkide kasutusklassiks 1. Dimensioneerimisarvutustes olulist mõju avaldav lumekoormus loetakse keskmise kestusega koormuseks ning siit tulenevalt  $k_{mod}$  väärtus nii sarikatele kui toolvärgile võetakse  $k_{mod} = 0,8$ .

Materjali osavaruteguri  $\gamma_M$  soovitatavad väärtused vastavalt standardi tabelile NA.2.3 on:[9, lk 127]

saepuidule:  $\gamma_M = 1,30$ ,

liimpuidule:  $\gamma_M = 1,25$ .

Saematerjali C24 normatiivsed tugevusomadused on vastavalt standardile:[10]

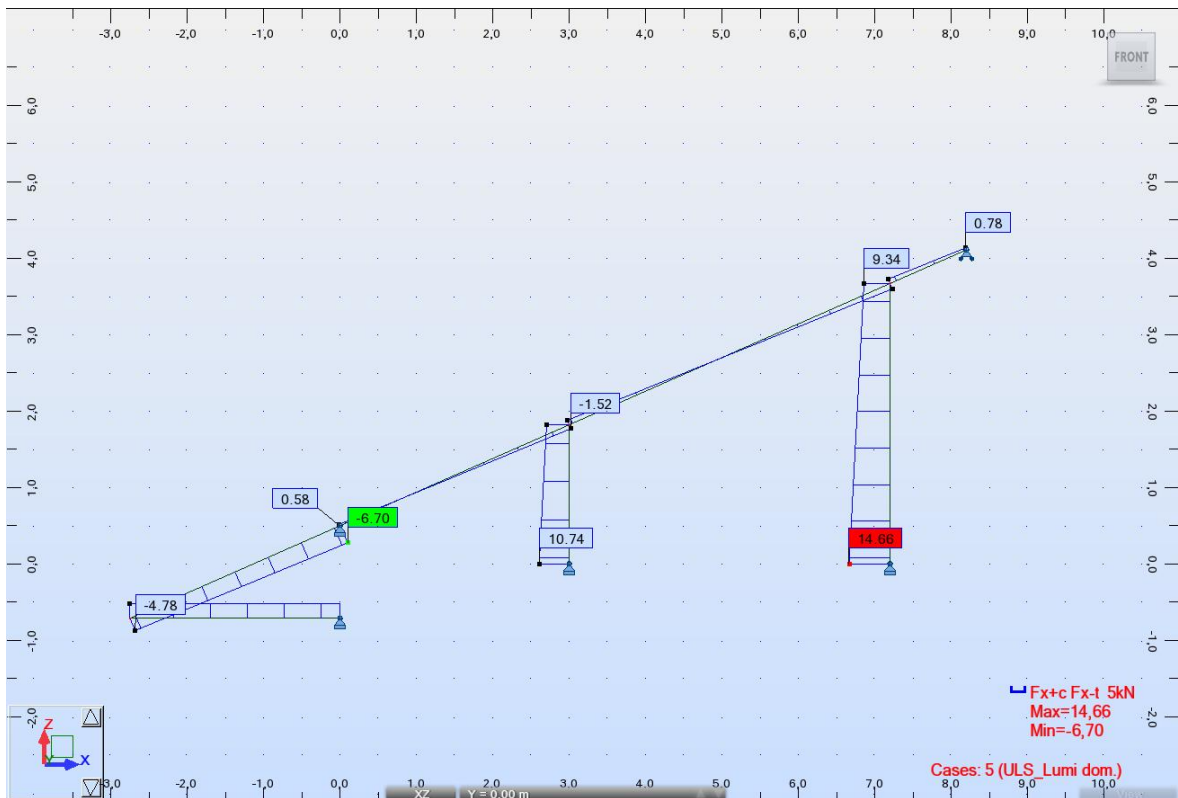
paindetugevus:  $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$ ,

tõmbetugevused:	$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$ ,
	$f_{t,90,k} = 0,4 \text{ N/mm}^2$ ,
survetugevused:	$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$ ,
	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ ,
nihketugevus:	$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2$ ,
elastsusmoodulid:	$E_{0,mean} = 11\,000 \text{ N/mm}^2$ ,
	$E_{0,05} = 7\,400 \text{ N/mm}^2$ .

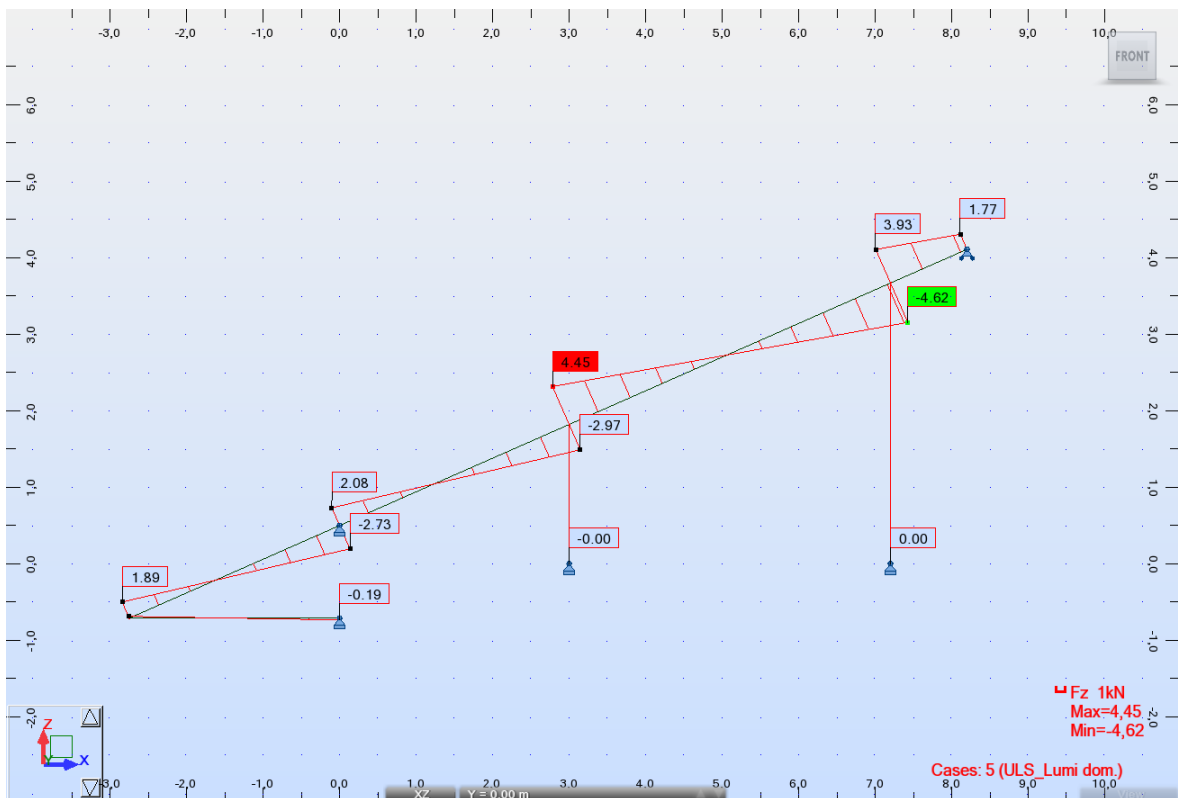
### 6.1. Lõike 1-1 konstruktsiooni kirjeldus, sisejõudude epüürid

Ühekaldelise katuse sarikad hakkavad toetuma (lisa 2: leht 02) kõrgemas räästas allesjäävale välismüüritisele, kahele toolvärgile, madalamas räästas müürlatile ning räästa otsas seinale kinnituvale abitalale, sest ilma abitalata peaks sarika räästa konsoolne osa hakkama vastu võtma liigset paindemomenti. Niisiis hakkab sarikas tööle neljasildelise jätkuvtalana, kusjuures silled ei ole võrdsed, suurim sildeava on kahe toolvärgi vahel ~4,6 m. Esialgne sarika ristlõige, mida hakatakse kontrollima, määratakse hinnanguliselt 50x250 mm, sammuga 600 mm, puidu tugevusklass C24. Toolvärgi postid, mis jäävad ruumides osaliselt nähtavale, plaanitakse jätta originaalristlõikele lähedaste mõõtudega 150x150 mm, kõrgusega orienteervalt kõrgemas seinas ~3,7 m ja madalamas ~1,8 m. Toolvärgi vööd jäävad samuti ristlõikes originaalmõõtudele lähedaseks 150x150 mm. Sarika toepinna pikkus vööl on 150 mm. Tulenevalt sarika pikkusest ja vastava saematerjali leidmise keerukusest tuleb need valmistada kolmest või kahest osast, jätkates neid madalamast toolvärgist paremal ~0,7 m kaugusel ning madalamast müürlatist samuti paremal, kaugusel ~0,9 m, sest vastavates kohtades on paindemoment domineeriva lumekoormuse korral ligilähedane nullile (joonis 6.3). Kirjeldatud lõiget kohaldatakse hoone kirde- ja loodetiibadele.

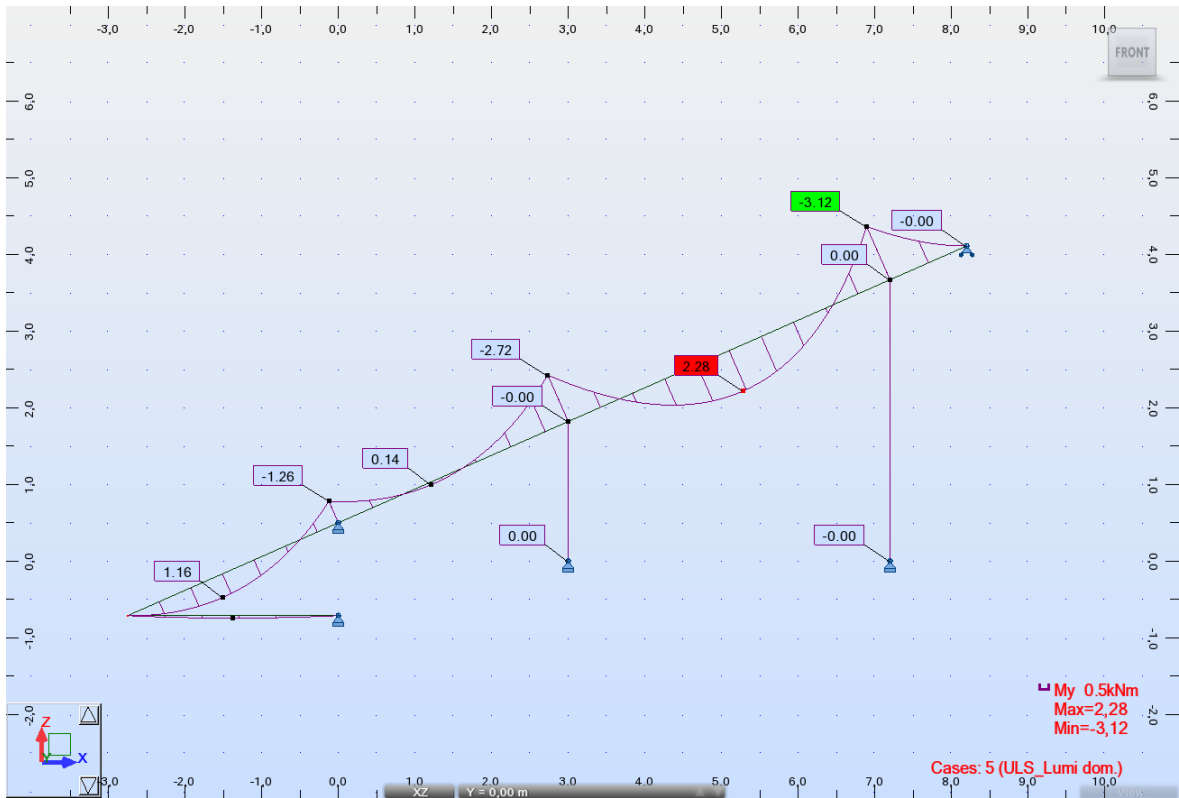
Konstruktsiooni sisejõudude epüürid (joonis 6.1, joonis 6.2, joonis 6.3, joonis 6.4, joonis 6.5) on leitud programmi Autodesk Robot Structural Analysis 2014 abil punktis 4 määratud koormuste ning punktis 5.1 näidatud suurimaid sisejõude põhjustanud koormuskombinatsiooni (domineeriv lumi koos suruva tuulega) järgides.



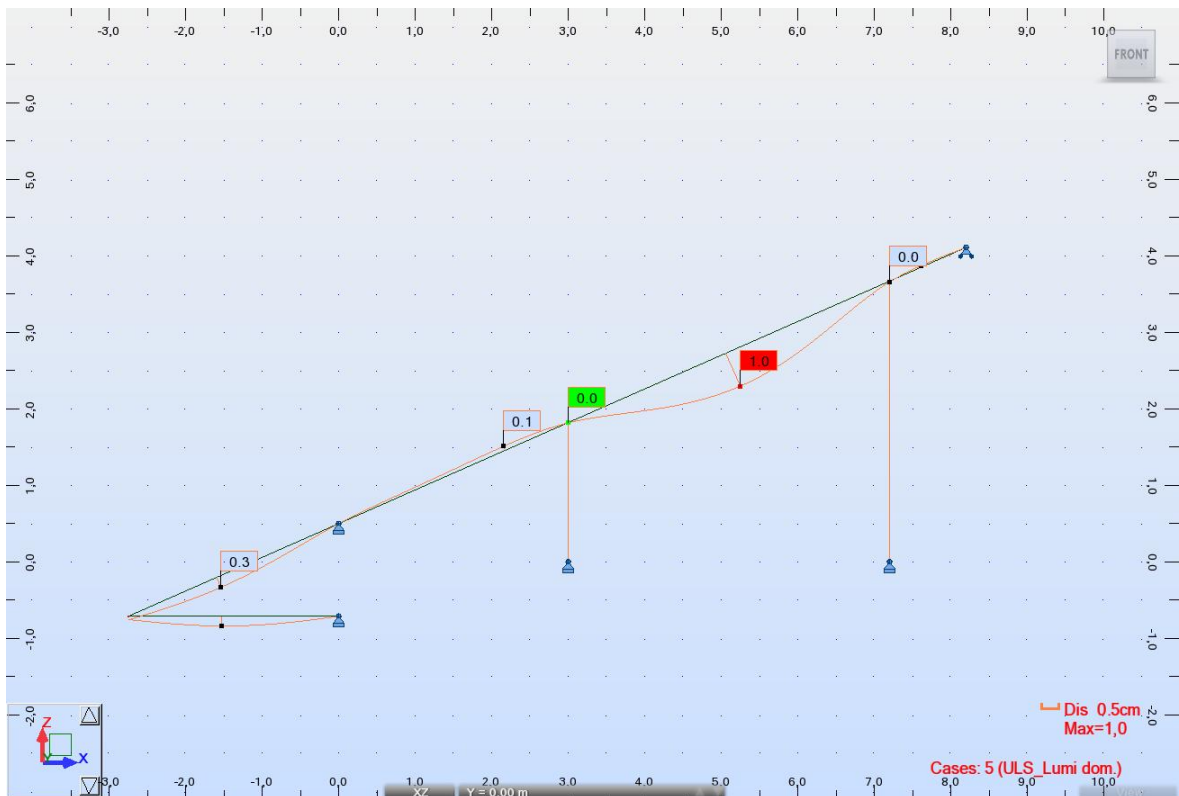
Joonis 6.1. Lõike 1-1 konstruktsiooni pikijõu epüür (kN)



Joonis 6.2. Lõike 1-1 konstruktsiooni põikijõu epüür (kN)

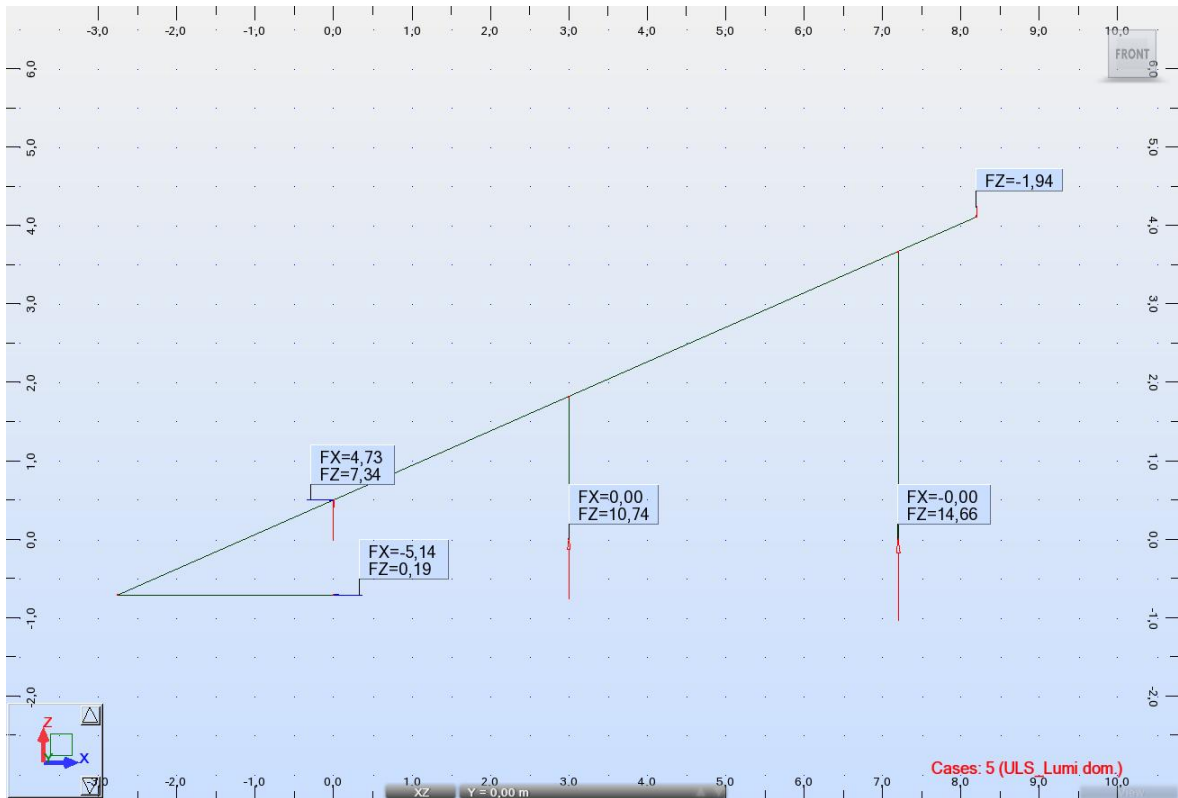


Joonis 6.3. Lõike 1-1 konstruktsiooni paindemomendi epüür ümber y-telje (kN·m)



Joonis 6.4. Lõike 1-1 konstruktsiooni deformatsioonid (cm)





**Joonis 6.5.** Lõike 1-1 konstruktsiooni toereaktsioonid (kN)

Sisejõudude epüüridest lähtuvalt tuleb kandepiiriseisundis sarikat kontrollida maksimaalsele paindele, paindele koos tõmbega madalama räästa müürlati peal ning maksimaalsele nihkele. Lisaks kontrollitakse painde ja surve koosmõju kõrgema toolvärgi kohal, kuigi oletatavalt see survejõudude väiksuse tõttu ohtlikuks ei osutu. Kiive kontroll ei ole vajalik, kuna seda takistavad sarika painde korral surutud poolele (sammuga 0,32 m) kinnitatud roovlatid [2, lk 522]. Kasutuspiiriseisundis tuleb kontrollida sarika maksimaalset lubatavat läbipainet.

## 6.2. Lõike 1-1 sarika arvutused

### 6.2.1. Sarika kandepiiriseisundi kontroll maksimaalsele paindele koos survega

Kui ristlõikes esineb paindemoment  $M_y$  koos survejõuga  $N_c$ , siis peaksid pinged rahuldama järgmist tingimust:[9, lk 43]

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (16)$$

kus:  $\sigma_{m,d}$  – arvutuslik paindepinge,

$\sigma_{c,0,d}$  – arvutuslik survepinge pikikiudu,

$f_{c,0,d}$  – arvutuslik survetugevus pikikiudu,

$f_{m,d}$  – arvutuslik paindetugevus,

$k_{crit}$  – tegur, mis võtab arvesse põikumisest põhjustatud paindetugevuse vähenemist, võib võtta võrseks 1,0-ga taladel, millel survepoolne põiksuunaline paigutus kogu tala pikkuses on takistatud ja kus väändepööre tugeudel on takistatud,

$k_{c,z(y)}$  – tegur, mis leitakse avaldisega:[9, lk 41]

$$k_{c,z(y)} = \frac{1}{k_{z(y)} + \sqrt{k_{z(y)}^2 - \lambda_{rel,z(y)}^2}}, \quad (17)$$

milles  $k_{z(y)} = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z(y)} - 0,3) + \lambda_{rel,z(y)}^2), \quad (18)$

kus:  $\beta_c$  – elemendi sirgsust arvestav tegur, saepuidul 0,2; liimpuidul 0,1,

$\lambda_{rel,y(z)}$  – suhteline saledus y- või z-telje suhtes (läbipaine vastvalt teise telje suunas).

Vastavalt valemile 15 on puitmaterjali painde- ja survetugevuse arvutusväärtused:

Arvutuslik paindetugevus:  $f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2.$

Arvutuslik survetugevus:  $f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,3} = 12,92 \text{ N/mm}^2.$

Vaadeldavasse 50x250 mm ristlõikesse tehakse tugeudel nõrgestused kõrgusega ~50 mm, seega ristlõike karakteristikud on järgmised:

Ristlõike pindala:  $A_{ef} = h_{ef} \cdot b = (250 - 50) \cdot 50 = 10 \cdot 10^3 \text{ mm}^2.$

Inertsimomendid:  $I_y = \frac{b \cdot h_{ef}^3}{12} = \frac{50 \cdot 200^3}{12} = 3,333 \cdot 10^7 \text{ mm}^4,$

$$I_z = \frac{h_{ef} \cdot b^3}{12} = \frac{200 \cdot 50^3}{12} = 2,083 \cdot 10^6 \text{ mm}^4.$$

Inertsiraadiused:  $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_{ef}}} = \sqrt{\frac{3,333 \cdot 10^7}{10 \cdot 10^3}} = 57,74 \text{ mm},$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_{ef}}} = \sqrt{\frac{2,083 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^3}} = 14,43 \text{ mm}.$$

Vastupanumoment:  $W_{y,ef} = \frac{I_y}{|z_e|} = \frac{b \cdot h_{ef}^2}{6} = \frac{3,333 \cdot 10^7}{100} = \frac{50 \cdot 200^2}{6} = 3,33 \cdot 10^5 \text{ mm}^3.$

Nõtkepikkused[2, lk 519]:  $l_{ef,y} = 0,8 \cdot l = 4,6 \cdot 0,8 = 3,68 \text{ m},$

$$l_{ef,z} = 0,8 \cdot roovi\ samm = 0,32 \cdot 0,8 = 0,256 \text{ m.}$$

$$\text{Saledused[2, lk 515]:} \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{3,68 \cdot 10^3}{57,74} = 63,74,$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{0,256 \cdot 10^3}{14,43} = 17,74.$$

$$\text{Suhtelised saledused[9, lk 40]:} \quad \lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,74}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,08,$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{17,74}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,30.$$

Kui varda saledus on  $>30$  ning suhteline saledus  $>0,5$  või  $>0,3$  (vastavalt [2, lk 515] või [9, lk 40] andmetele), siis on tegu saleda vardaga ning olemas oht varda nõtkeks. Seega tuleb antud olukorras kontrollida tingimust 16 ning lisaks veel kontrollida põikumist z-telje suunas, ehk y-telje ümber tulenevalt  $\lambda_y$  ja  $\lambda_{rel,y}$  väärtustest. Selleks tuleb rahuldada tingimust 19:[9, lk 41]

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1. \quad (19)$$

Niisiis tegurite  $k_{z(y)}$  ja  $k_{c,z(y)}$  väärtused vastavalt avaldistele 17 ja 18 on:

$$k_z = 0,5(1 + 0,2(0,3 - 0,3) + 0,3^2) = 0,545,$$

$$k_y = 0,5(1 + 0,2(1,08 - 0,3) + 1,08^2) \approx 1,162,$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{0,545 + \sqrt{0,545^2 - 0,30^2}} = 1,0,$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{1,162 + \sqrt{1,162^2 - 1,08^2}} \approx 0,63.$$

Arvutuslik paindemoment ja survejõud vaadeldavas lõikes sisejõudude epüüridelt (joonised 6.1 ja 6.3):  $M_{y,d} = 3,12 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ;  $N_{sd} = 0,78 \text{ kN}$ .

Arvutuslikud painde- ja survepinged leitakse valemitega 20 ja 21:[2, lk 517]

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,ef}}, \quad (20)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{sd}}{A_{ef}}. \quad (21)$$

Arvutuslikud pinged seega vastavalt avaldistele 20 ja 21 on:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{3,12 \cdot 10^6}{3,333 \cdot 10^5} = 9,36 \text{ N/mm}^2,$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{0,78 \cdot 10^3}{10000} = 0,078 \text{ N/mm}^2.$$

Sarika paindekandevõime koos survega vastavalt avaldisele 16:

$$\left(\frac{9,36}{1 \cdot 14,77}\right)^2 + \frac{0,078}{1 \cdot 12,92} \approx 0,41 \leq 1, \text{ seega paindesurvekandevõime on tagatud.}$$

Põikumise kontroll z-telje suunas (ümber y-telje) vastavalt avaldisele 19:

$$\frac{0,078}{0,63 \cdot 12,92} + \frac{9,36}{14,77} \approx 0,64 \leq 1, \text{ seega } z\text{-telje sihiline nõtkoht puudub.}$$

Kiive ning ühtlasi nõtkes y-telje suunaliselt on takistatud sarikatele kinnituvate roovidega sammuga 320 mm. Varu tundub küll suur, kuid sarikas 50x200 (toel netolõikega 50x150) toodud koormusi ei kannaks.

### 6.2.2. Sarika kandepiiriseisundi kontroll maksimaalsele tõmbele koos paindega

Tõmbel koos paindega tuleb standardi järgi rahuldada järgmist tingimust (lihtsustatult, kuna momenti ümber ristlõike z-telje ei teki): [9, lk 39]

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1, \quad (22)$$

kus:  $\sigma_{t,0,d}$  – arvutuslik tõmbepinge, N/mm<sup>2</sup>,  
 $f_{t,0,d}$  – arvutuslik tõmbetugevus, N/mm<sup>2</sup>,  
 $\sigma_{m,y,d}$  – arvutuslik paindepinge y-telje suhtes, N/mm<sup>2</sup>,  
 $f_{m,y,d}$  – arvutuslik paindetugevus y-telje suhtes, N/mm<sup>2</sup>.

Lähtuvalt sisejõudude epüüridest joonistel 6.1. ja 6.3. esineb suurim tõmbejõud sarika ristlõikes alumise müürlati peal, vastavad sisejõud selles kohas on: paindemoment  $M_{y,d} = 1,26 \text{ kN} \cdot \text{m}$  ja tõmbejõud  $N_{sd} = 6,70 \text{ kN}$ . Kuna sarika toetamiseks müürlatile tehakse sarikasse umbes 50 mm sisselõige ning kinnitid asetsevad tugeudel kohas, kus paindeepüürist lähtuvalt esineb puidus survetsoon, siis sarika ristlõiget arvutatakse tõmbele üksnes sisselõikest tuleneva nõrgestusega ning kinniteid nõrgestusena ei arvestata.

Järgnevates arvutustes kasutatavad ristlõike parameetrid on leitud punktis 6.2.1 ja siinkohal eraldi uuesti välja ei arvutata.

Arvutuslik tõmbepinge sarnaselt avaldisega 21:  $\sigma_{t,0,d} = \frac{6,7 \cdot 10^3}{10000} = 0,67 \text{ N/mm}^2$ .

Arvutuslik paindepinge vastavalt avaldisele 20:  $\sigma_{m,y,d} = \frac{1,26 \cdot 10^6}{3,333 \cdot 10^5} = 3,78 \text{ N/mm}^2$ .

Arvutuslik paindetugevus:  $f_{m,y,d} = 14,77 \text{ N/mm}^2$ .

Arvutuslik tõmbetugevus:  $f_{t,0,d} = 8,62 \text{ N/mm}^2$ .

Tõmbe- ja paindepingete koosmõju vastavalt avaldisele 22:  $\frac{0,67}{8,62} + \frac{3,78}{14,77} \approx 0,33 \leq 1$ .

Järelikult kandevõime tõmbele koos paindega sarika alumises osas on tagatud suure varuga.

### 6.2.3. Sarika kandepiiriseisundi kontroll maksimaalsele nihkele toel

Pöikkoormusest tingitud nihkel peavad toel sisselõikega talade ristlõikes esinevad pinged rahuldama tingimust:[9, lk 49]

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_{Ed}}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d}, \quad (23)$$

kus:  $f_{v,d}$  – arvutuslik nihketugevus,  $\text{N/mm}^2$ ,

$\tau_d$  – arvutuslik nihkepinge,  $\text{N/mm}^2$ , mis toodud avaldises 23,

$V_{Ed}$  – arvutuslik põikjõu väärtus, kN,

$h_{ef}$  – tala töötav kõrgus, mm,

$b$  – tala laius, mm,

$k_v$  – vähendustegur, mis määratakse järgmiselt:[9, lk 49]

- taladel sisselõikega toe vastaspoolel küljel  $k_v = 1,0$  (kuid seljuhul  $b_{ef} = 0,67b$  sae- ja liimpuidust paindeelementide jaoks),
- taladel sisselõikega toepoolsel küljel,

$$k_v = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{h} \left( \sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)}, \quad (24)$$

kus:  $i$  – sisselõike kalle (tulenevalt katusekaldest),

$h$  – tala kõrgus, mm,

$\alpha = \frac{h_{ef}}{h}$ ,

$x$  – kaugus toereaktsioonist kuni sisselõike kaldenurgani, mm (kuna sarikas toetub müürlatile/toolvärgi vööle, mille eeldatav laius on 150 mm kogu ulatuses, siis võib toereaktsiooni kauguseks võtta pool toe laiusest),

$k_n = 5,0$  täispuidule (6,5 liimpuidule).

Valitud tugevusklassiga puidu nihketugevuse arvutusväärtus vastavalt avaldisele 15:

$$f_{v,d} = 0,8 \cdot \frac{4,0}{1,3} = 2,46 \text{ N/mm}^2.$$

Suurim põikjõu arvutusväärtus toel jooniselt 6.2:  $V_{Ed} = 4,62 \text{ kN}$ .

$$\text{Arvutusliku nihkepinge väärtus vastavalt avaldisele 23: } \tau_d = \frac{1,5 \cdot 4,62 \cdot 10^3}{50 \cdot 200} = 0,693 \text{ N/mm}^2.$$

Sisselõike kalle:  $i = \tan 20^\circ \approx 0,364$ .

Põikjõu rakenduspunkti kaugus sisselõike servast:  $x = 75 \text{ mm}$ ;  $\alpha = \frac{200}{250} = 0,8$ .

Tegur

$$k_v = \min \left\{ \frac{1}{5,0 \left( 1 + \frac{1,1 \cdot 0,364^{1,5}}{\sqrt{250}} \right)} \rightarrow k_v = 0,547. \right.$$

$$\left. \frac{\sqrt{250} \left( \sqrt{0,8(1-0,8)} + 0,8 \frac{75}{250} \sqrt{\frac{1}{0,8} - 0,8^2} \right)}{\right\}$$

Tugevustingimus nihkele avaldise 23 järgi:

$$\frac{\tau_d}{k_v \cdot f_{v,d}} = \frac{0,693}{0,547 \cdot 2,46} \approx 0,52 \leq 1, \text{ järelikult sarika ristlõike nihkekandevõime toel on tagatud.}$$

#### 6.2.4. Sarika kandepiirseisundi kontroll kiudude suhtes nurga all mõjuvatele jõududele

Sarika pikikiudude suhtes nurga all mõjuv jõud (sisuliselt toereaktsioon) toodud lõikes on suurim kõrgema toolvärgi kohal domineeriva lumega kandepiirseisundi koormuskombinatsioonist (joonis 6.1). Kiudude suhtes nurga  $\alpha$  all mõjuv survepinge peab rahuldama tingimust: [9, lk 39]

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (25)$$

kus:  $\sigma_{c,\alpha,d}$  – arvutuslik survepinge kiudude suhtes nurga  $\alpha$  all,  $\text{N/mm}^2$ ,

$f_{c,0,d}$  – arvutuslik puidu survetugevus pikikiudu,  $\text{N/mm}^2$ ,

$f_{c,90,d}$  – arvutuslik puidu survetugevus ristikiudu,  $\text{N/mm}^2$ ,

$k_{c,90}$  – tegur, mis arvestab ristikiudu pingete mõju,  $\text{N/mm}^2$ ,

$\alpha$  – nurk puidu pikikiudude ja mõjuva jõu vahel,  $^\circ$ .

Vastavalt standardile [9, lk 36] saab teguri  $k_{c,90}$  väärtus varieeruda 1,0...1,75. Antud ülesandes valitakse lähtuvalt samast allika punktist  $k_{c,90} = 1,0$ , mis annab ühtlasi tulemuse tagavaru kasuks võrreldes suuremate väärtustega.

Tulenevalt katusekaldest ( $\sim 20^\circ$ ) on jõu mõjumissuuna ja sarika pikikiudude suuna vaheline nurk  $\alpha = 70^\circ$ . Sellise nurgaga on tegu juhul, kui kontrollida, kas vöö muljub sarikasse. Kui aga kontrollida, kas sarikas muljub vöösse, on koormuse ja vöö pikikiudude vaheline nurk  $\alpha = 90^\circ$ , mis teoreetiliselt peaks olema ohtlikum.

Pikikiudude suhtes nurga all mõjuva jõu arvutuslik väärtus mõlema elemendi jaoks on sarika koormusest põhjustatud toereaktsioon,  $F_d = 9,34$  kN (jooniselt 6.1). Efektiivset kontaktpinna pikkust saab suurendada pikikiudu mõlemas suunas 30 mm võrra mõlemale elemendile [9, lk 36]. Seega vaadeldes vöö muljumist sarikasse, on efektiivne kontaktpind  $A_{ef,sarikas} = 50 \cdot (150 + 30 + 30) = 10500$  mm<sup>2</sup>, vaadeldes aga sarika muljumist vöösse, saab kontaktpinnaks  $A_{ef,vöö} = 150 \cdot (50 + 30 + 30) = 16500$  mm<sup>2</sup>.

Kuna mõlemad elemendid on samast puiduklassist, siis avaldise 15 järgi:

$$\text{Arvutuslik survetugevus pikikiudu:} \quad f_{c,0,d} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,3} = 12,92 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{Arvutuslik survetugevus ristikiudu:} \quad f_{c,90,d} = 0,8 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,54 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{Arvutuslik survepinge sarikale:} \quad \sigma_{c,\alpha,d} = \frac{9,34 \cdot 10^3}{10500} = 0,89 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{Tingimuse 25 parem pool sarikale:} \quad \frac{12,92}{1 \cdot 1,54 \sin^2 70^\circ + \cos^2 70^\circ} = 1,72 \text{ N/mm}^2.$$

On näha, et  $0,89 < 1,72$  ja seega sarika survekandevõime pikikiudude suhtes nurga all mõjuvale jõule on tagatud. Kuna sarika vöösse muljumisel on efektiivne kontaktpind märkimisväärselt suurem ning seetõttu survepinge (ühtlasi aga ka survetugevus) väiksem, ei ole tugevustingimuse kontrolli vööle eraldi tarvis teha, sest survepinge juba sarika puhul oli väiksem puidu survetugevusest ristikiudu.

### 6.2.5. Sarika kasutuspiirseisundi kontroll läbipaindele

Kasutuspiirseisundi arvutustega kontrollitakse, et konstruktsioonide või selle elementide deformatsioonid ei ületaks vastavaid nõudeid. Põhieesmärk on tagada lagede ja vaheseinte viimistlusmaterjalide ning konstruktsioonide välimusele kahjustuste vältimine. Läbipainet kontrollitakse sarika suurimas sildeavas kahe toolvärgi vahel, kus arvutusprogramm näitas ühtlasi suurimaid algdeformatsioone, sarika pikkus antud kohas on  $\sim 4,6$  m. Hetkelised (alg)deformatsioonide väärtused võetakse ARSA arvutusskeemist ning lõplik paigutis

arvestades ka puidu roomeformatsiooni ja kasutustingimusi leitakse avaldisega:[9, lk 20]

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q} + \sum u_{fin,Q_i}, \quad (26)$$

kus:

$u_{fin,G} = u_{inst,G}(1 + k_{def})$  – paigutis alalisest koormusest, cm,

$u_{fin,Q_1} = u_{inst,Q_1}(1 + \psi_{2,1}k_{def})$  – paigutis domineerivast muutuvkoormusest, cm,

$u_{fin,Q_i} = u_{inst,Q_i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def})$  – paigutis muudest muutuvkoormustest, cm,

$u_{inst,G}; u_{inst,Q_1}; u_{inst,Q_i}$  – algdeformatsioonid vastavatest koormustest, cm,

$\psi_{2,1}; \psi_{2,i}$  – muutuvate koormuste kombinatsioonitegurite tõenäolised esindussuurused (kuid kui tegu on domineeriva muutuvkoormusega, siis tuleks  $\psi_2$  võtta 1,0 [11, lk 66]),

$\psi_{0,i}$  – muutuvate koormuste kombinatsioonitegurid,

$k_{def}$  – tegur, mis arvestab puidu roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioone ajas (vastavalt standardi [10] tabelile 3.2 lk 29).

Kuna tagavaru kasuks määrati sarikate kasutusklassiks 2, siis  $k_{def} = 0,80$ . Paigutis alalisest koormusest:  $u_{inst,G} = 0,4$  cm,

$$u_{fin,G} = 0,4(1 + 0,8) = 0,72 \text{ cm.}$$

Paigutis domineerivast muutuvkoormusest:  $u_{inst,Q_1} = 0,3$  cm,

$$u_{fin,Q_1} = 0,3(1 + 1 \cdot 0,8) = 0,54 \text{ cm.}$$

Paigutis mittedomineerivast suruvast tuulekoormusest on koormuse väiksuse tõttu praktiliselt 0 ja seega  $u_{fin,Q_i} = 0$  cm.

Lõplik sarika läbipaine kahe toolvärgi vahel vastavalt valemile 26:

$$u_{fin} = 0,72 + 0,54 + 0 = 1,26 \text{ cm.}$$

Lubatud lõplik läbipaine vastavalt standardi rahvuslikule lisale peab jääma vahemikku

$w_{net,fin} \leq \frac{l}{200} \dots \frac{l}{300}$  ning seega võetakse lubatavaks läbipaindeks antud ülesandes

$$w_{net,fin} = \frac{l}{250} = \frac{460}{250} = 1,84 \text{ cm.}$$

Järeldub, et  $u_{fin} = 1,26 < w_{net,fin} = 1,84$  ja seega sarika lõplik läbipaine on lubatud piirides.



## 6.2.6. Sarika jätku dimensioneerimine

Sarikaid tuleb pikkuse tõttu jätkata madalama müürlati suhtes paremal, kaugusel 0,9 m ja/või madalamast toolvärgist samuti paremal, kaugusel 0,7 m. Seda just seetõttu, et antud kohtades on paindemomendi väärtus ligilähedaselt 0. Jätk on mõeldud ühelõikelise puitpuiduga liitena, siledate naeltega 5x100 mm ilma auke ette puurimata. Jätkud tuleb dimensioneerida sarikale mõjuvate põik- ja pikijõudude vastuvõtmiseks. ARSA programmist lähtuvalt on madalama toolvärgi suhtes paremale jäävas momendi nullpunktis sisejõud suuremad, kui müürlatist paremal paiknevas momendi nullpunktis. Vastavad jõud sarikas antud kohas: põikjõud  $F_{zd} = 3,03$  kN ning tõmbejõud  $F_{xd} = 1,15$  kN. Sarika jätk peab vastu võtma nende jõudude resultantjõudu:

$$F_{Vd} = \sqrt{F_{zd}^2 + F_{xd}^2} = \sqrt{3,03^2 + 1,15^2} = 3,24 \text{ kN.} \quad (27)$$

Liitmesse tuleb augud ette puurida juhul, kui puitelemendi paksus on väiksem kui:[9, lk 65]

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right. \quad (28)$$

kus:  $d$  – naela läbimõõt, mm,

$\rho_k$  – puitmaterjali normatiivne keskmine tihedus, kg/m<sup>3</sup>,

$t$  – ühendava elemendi paksus, mm.

Kuna kuusk on tundlik lõhestumisele, saab antud valemit kasutada ainult juhul, kui kinnitid asuvad elementide servadest kaugusel  $a_4 \geq 10d = 10 \cdot 5 = 50$  mm [9, lk 66]. Sarika kõrguseks on 250 mm ning seega ei esine antud tingimuse täitmisel probleeme (allpool leitud kinnitite asetus), tuleb vaid silmas pidada, et kaugused servadest saaks valitud  $\geq 50$  mm. Kuuse tihedus Ehituskonstruktori käsiraamatu järgi on  $\rho_k = 350$  kg/m<sup>3</sup>. Vastavalt avaldisele 28 peab sarikate jätkamiseks mõeldud ühendava elemendi paksus olema minimaalselt

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7 \cdot 5 = 35 \text{ mm} \\ (13 \cdot 5 - 30) \frac{350}{400} = 30,625 \text{ mm} \end{array} \right.$$

ning seega sobib, kui panna sarikad ülekattesse (sarika laius 50 mm).

Põiksuunas koormatud naelliite korral tuleb kontrollida muuhulgas naelte muljumist puitu, st puidu muljumistugevust. Ilma auke ettepuurimata naelte läbimõõduga kuni 8 mm tuleb puidus kasutada norm-muljumistugevust:[9, lk 61]

$$f_{h,k} = 0,082\rho_k \cdot d^{-0,3}, \quad (29)$$

Kuna sarikad tehakse samast puuliigist, siis muljumistugevuse normväärtused on:

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0,082 \cdot 350 \cdot 5^{-0,3} = 17,71 \text{ N/mm}^2,$$

ning vastavad arvutustugevused valemi 15 järgi:

$$f_{h,1,d} = f_{h,2,d} = 0,8 \cdot \frac{17,71}{1,3} = 10,90 \text{ N/mm}^2.$$

Siledade ümarnaelte jaoks, mis on valmistatud terastraadist tõmbetugevusega  $600 \text{ N/mm}^2$  võetakse voolavuspiirile vastava paindemomendi normväärtuseks käesolevas töös:[9, lk 61]

$$M_{y,Rk} = 0,3f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 5^{2,6} = 11819 \text{ Nmm.} \quad (30)$$

Vastava arvutusväärtuse leidmisel on materjali osavarutegur  $\gamma_M = 1,1$ , sest tegu on liite terasosaga.[9, lk 127]. Seega kinnitusvahendi voolavuspiirile vastava paindemomendi

$$\text{arvutusväärtus on: } M_{y,Rd} = \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M} = \frac{11819}{1,1} = 10745 \text{ Nmm.}$$

Naelte kandevõime ühe kinnituselemendi ühe nihkepinna kohta võetakse vähima väärtusena avaldisest 31 [9, lk 57]. Vastavalt standardi rahvuslikule lisale võib nihkekandevõime arvutada otse materjalide arvutustugevustega.

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,d}t_1d}{1+\beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rd}}{4} \\ \frac{f_{h,2,d}t_2d}{2+\beta} \left[ \sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rd}}{f_{h,1,d}d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rd}}{4} \\ \frac{f_{h,1,d}t_1d}{1+2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rd}}{f_{h,1,d}d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rd}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rd}f_{h,1,d}d} + \frac{F_{ax,Rd}}{4} \end{array} \right. \quad (31)$$

kus:  $f_{h,i,d}$  – arvutuslik muljumiskandevõime puitelemendis  $i$ ,

$F_{v,Rd}$  – ühe kinnituselemendi arvutuslik kandevõime ühe nihkepinna kohta,

$t_1$  – naelapea poolne (ühendava)puitelemendi paksus ühelõikelises liites,

$t_2$  – süvistussügavus ühelõikelises liites,

$d$  – kinnituselemendi läbimõõt,

$M_{y,Rd}$  – kinnituselemendi voolavuspiirile vastav momendi arvutusväärtus,

$F_{ax,Rd}$  – kinnituselemendi teljesuunalise väljatõmbe arvutuslik kandevõime, nn-kõieffekt, mis ümarnaelte puhul piiratakse väärtuseni 15%, kuid antud lahenduses võetakse tagavara kasuks väärtus nulliks,

$$\beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} = \frac{10,90}{10,90} = 1.$$

Naela ühe löike arvutuslik kandevõime vastavalt valmle 31 on seega:

$$F_{v,Rd} =$$

$$\min \left\{ \begin{array}{l} \frac{10,90 \cdot 50 \cdot 5}{1+1} \left[ \sqrt{1 + 2 \cdot 1^2 \left[ 1 + \frac{50}{50} + \left( \frac{50}{50} \right)^2 \right] + 1^3 \left( \frac{50}{50} \right)^2} - 1 \left( 1 + \frac{50}{50} \right) \right] = 1129 \text{ N} \rightarrow \mathbf{min} \\ 1,05 \frac{10,90 \cdot 50 \cdot 5}{2+1} \left[ \sqrt{2 \cdot 1(1+1) + \frac{4 \cdot 1(2+1) \cdot 10745}{10,90 \cdot 5 \cdot 50^2}} - 1 \right] = 1167 \text{ N} \\ 1,05 \frac{10,90 \cdot 50 \cdot 5}{1+2 \cdot 1} \left[ \sqrt{2 \cdot 1^2(1+1) + \frac{4 \cdot 1(1+2 \cdot 1) \cdot 10745}{10,90 \cdot 5 \cdot 50^2}} - 1 \right] = 1167 \\ 1,15 \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1+1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 10745 \cdot 10,90 \cdot 5} = 1245 \end{array} \right.$$

Teades ühe kinnituselemendi ühe löike kandevõimet, saab määrata vajalike kinnitite arvu:

$$n = \frac{F_{Vd}}{F_{v,Rd}} = \frac{3,24 \cdot 10^3}{1129} = 2,87 \text{ tk.} \quad (32)$$

Naelliidetes soovitatakse naelad paigutada paariarv ritta ning sellest lähtuvalt valitakse kinnitite arvuks  $n = 4$ , et saaks moodustada 2 rida, kummaski 2 naela. Lisaks tuleb naelliites jälgida naelte paigutust piki- ja ristikiudu kinnitatavate puitelementide suhtes. Minimaalsed vahekaugused ja kaugused elemendi servast ning otstest on toodud standardi tabelis.[9, lk 65]

Naelte vahekaugus ühes reas pikikiudu:

$$a_1 = (5 + 5|\cos \alpha|)d = (5 + 5 \cos 70^\circ) \cdot 5 = 33,55 \text{ mm.} \quad (33)$$

Kui aga on soov kasutada valitud kinnitite arvu efektiivse kinnituselementide arvuna (eeldusel, et liide konstrueeritakse väga täpselt ja naelad kalduksid pikikiu suunast ristikiudu vähem kui ühe läbimõõdu võrra), mis ühes naelareas töötavad, tuleks pikikiudu vahekauguseks valida vähemalt:[9, lk 62]

$$a_1 \geq 14d = 14 \cdot 5 = 70 \text{ mm,} \quad (34)$$

ning seega määratakse lõplikuks vahekauguseks pikikiudu  $a_1 = 100 \text{ mm}$ .

Naelaridade minimaalne vahekaugus ristikiudu:

$$a_2 = 5d = 5 \cdot 5 = 25 \text{ mm.} \quad (35)$$

Kuna antud juhul on tegu kahe naelarea ja 250 mm kõrguse sarikaga, valitakse sümmeetria mõttes naelaridade vahekauguseks ristikiudu  $a_2 = 100 \text{ mm}$ .

Naela minimaalne kaugus koormatud otsast:

$$a_{3,t} = (10 + 5 \cos \alpha)d = (10 + 5 \cdot \cos 70^\circ) \cdot 5 = 58,55 \text{ mm.} \quad (36)$$

Valitakse  $a_{3,t} = 75$  mm.

Naela minimaalne kaugus koormatud servast:

$$a_{4,t} = (5 + 2 \sin \alpha)d = (5 + 2 \sin 70^\circ) \cdot 5 = 34,40 \text{ mm}, \quad (37)$$

$$a_4 \geq 10d = 10 \cdot 5 = 50 \text{ mm (lk 40)}.$$

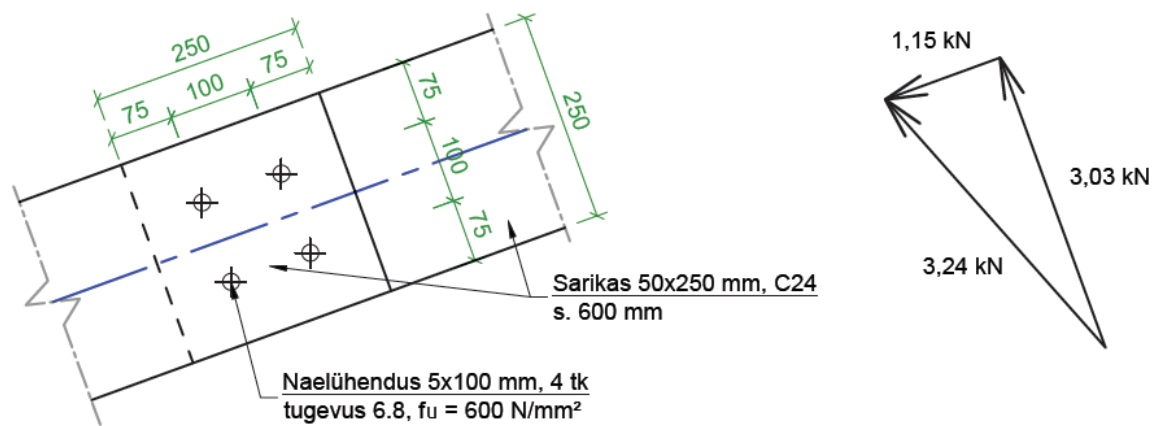
Valitakse  $a_{4,t} = 75$  mm.

Naela minimaalne kaugus koormamata servast:

$$a_{4,c} = 5d = 5 \cdot 5 = 25 \text{ mm}, \quad (38)$$

$$a_4 \geq 10d = 10 \cdot 5 = 50 \text{ mm (lk 40t)}.$$

Valitakse  $a_{4,c} = 75$  mm.



Joonis 6.6. Sarika jätkusõlm

### Sarika jätku nihe

Kontrollitakse lisaks liite nihet, et võrrelda seda soovituslike väärtustega. Liite nihkearvutus tehakse normkoormusega, mille resultant sõlmes on  $F_k = 2,43$  kN (ARSA programmist). Nihe kasutuspiiriseisundis leitakse valemiga:

$$u_{ser} = \frac{F_k}{n_{ef} \cdot K_{ser,fin}}, \quad (39)$$

kus:  $F_k$  – liites mõjuv normatiivne koormus, kN,

$n_{ef}$  – kinnitite efektiivne arv nihkepinna kohta, tk,

$K_{ser,fin}$  – kinnituselemendi lõplik nihkemoodul, N/mm.

Auke ette puurimata naelliite hetkeline nihkemoodul nihkepinna kohta leitakse avaldisega:[9, lk 52]

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} d^{0,8}}{30} = \frac{420^{1,5} \cdot 5^{0,8}}{30} = 1039,7 \text{ N/mm}, \quad (40)$$

$\rho_m$  – puidu tiheduse keskväärts, 420 kg/m<sup>3</sup>.

Pikaajalise koormuse mõju arvestava deformatsiooniteguri väärtus liites tuleb võtta kahekordseks, kuna liide on moodustatud kahest sarnaste ajast sõltuvate omadustega puitelemendist ning seega  $k_{def} = 2 \cdot 0,8 = 1,6$ .

Kinnituselemendi lõplik nihkemoodul kasutuspiiriseisundis on:[9, lk 23]

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1+k_{def}} = \frac{1039,7}{1+1,6} = 399,9 \text{ N/mm.} \quad (41)$$

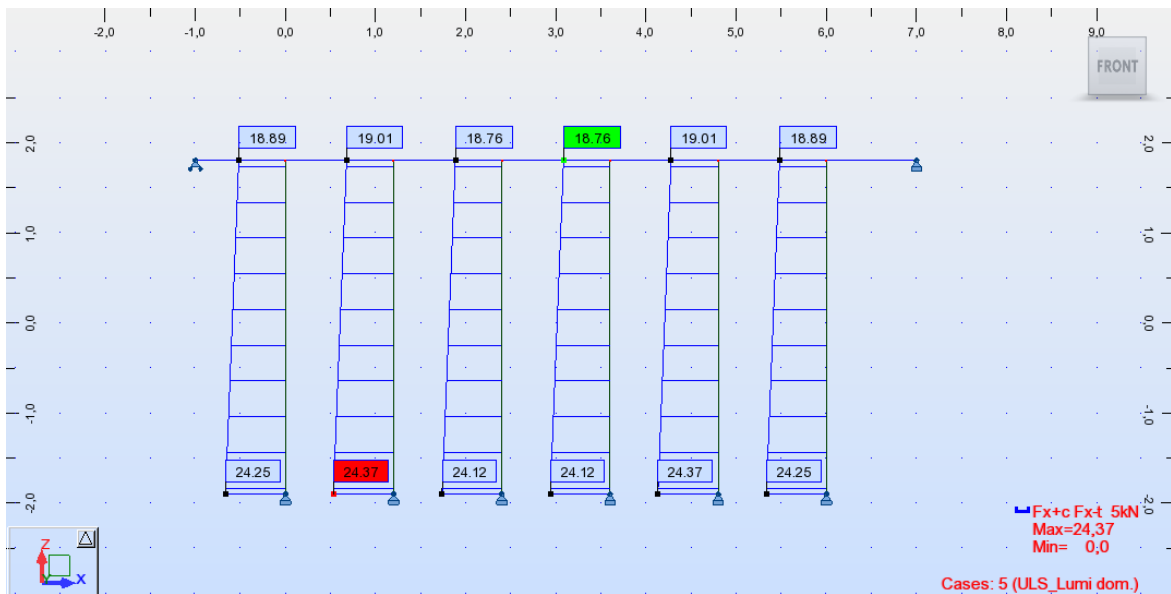
Liite nihe kasutuspiiriseisundis avaldise 39 järgi on seega:

$$u_{ser} = \frac{2,43 \cdot 10^3}{4 \cdot 399,9} = 1,52 \text{ mm.}$$

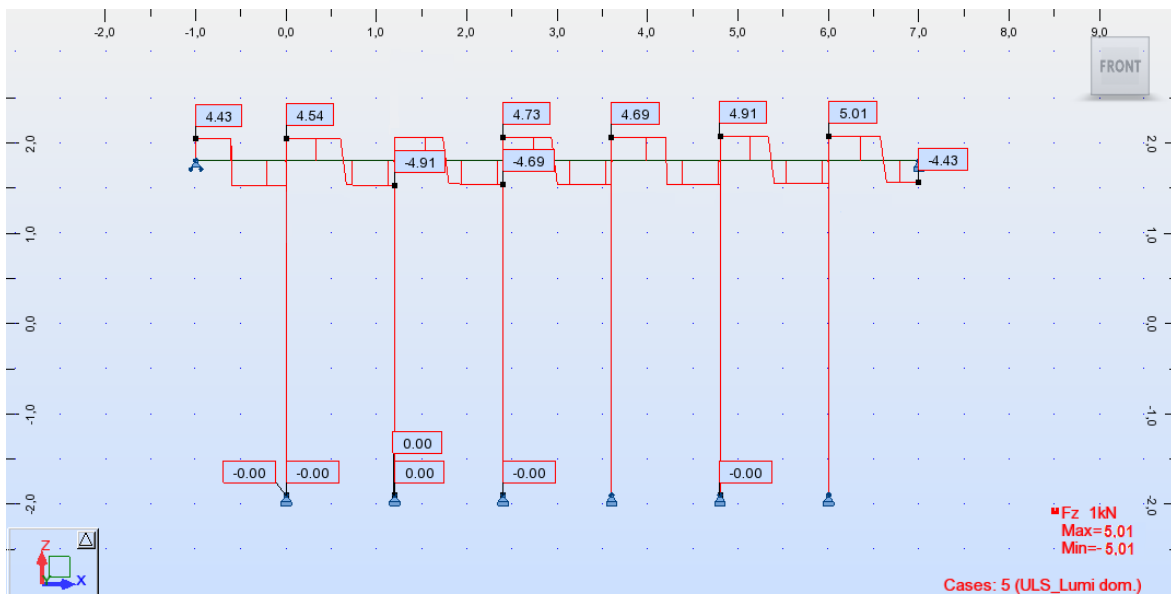
Arvestades, et järeleandvate liidete deformatsiooni suuruseks nende kandevõime täielikul kasutamisel on katsetuslikult saadud naagelühendustes 2 mm ning ühendustes põiki kiudu 3 mm, on antud liite nihe soovituslikes piires.[11, lk 71]

### 6.3. Lõike 1-1 toolvärgi arvutused, epüürid

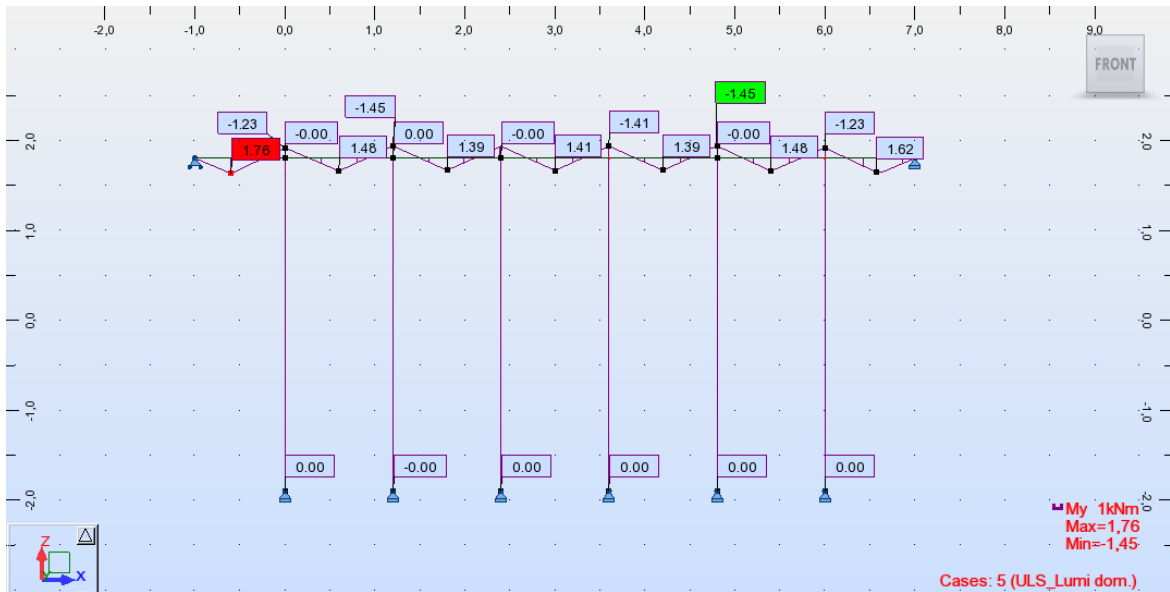
Toolvärkide puhul eeldatakse sarnaseid mõõtmeid originaalile, lisaks jäävad postid siseruumidest osaliselt nähtavaks. Seega esialgse hinnangu kohaselt võetakse postideks (sammuga 1,2 m) ja vöödeks 150x150 mm C24 prussid, mille ruumidest vaadeldavaks jääv osa peab jätma mulje käsitsi tahumisest. Dimensioneerimine antud lõikes tehakse kõrgemale toolvärgisüsteemile, kuivõrd sarika epüüridest lähtuvalt on seal koormused suuremad. Kui parempoolne toolvärk antud mõõtmete juures kannab oma koormusi, siis järelikult teeb seda ka vasak. Alljärgnevad sisejõudude epüürid (joonis 6.7...joonis 6.10) on saadud ARSA programmist ning kajastavad suurimaid sisejõude tekitavat, domineeriva lumega koormuskombinatsiooni kandepiiriseisundis. Kuna toolvärgi vöö ühele sildele jagub kolm sarikat (keskel ja postide kohal), arvestatakse nende mõju punktkoormusena. Ruumilise jäikuse toolvärgisüsteemile tagavad allesjätavasse müüritisse ankurdatavad sepistõmmitad (olemasolevate eeskujul koopiad).



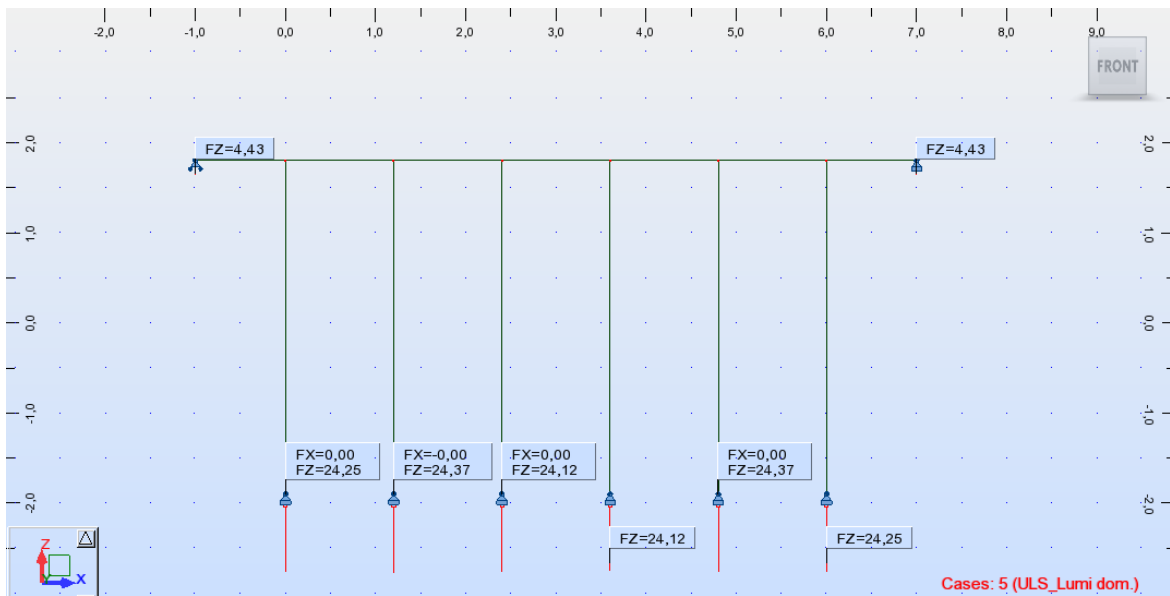
Joonis 6.7. Toolvärgi pikijõuepüür, kN (max väärtus ülal 19,01; all 24,37)



Joonis 6.8. Toolvärgi põikjõuepüür, kN (max väärtused 5,01)



**Joonis 6.9.** Toolvärgi ülemise vöö paindemomendiepüür, kNm (max väärtus 1,76)



**Joonis 6.10.** Toolvärgi toereaktsioonid, kN (max väärtus 24,37)

Toolvärgi postide puhul on vajalik survejõudude kontroll (nõtke). Ülemise vöö puhul tuleb kontrollida paindepingeid sildeava keskele mõjuvast sarika poolt põhjustatud koormusest ning lisaks nihet posti serval. Alumiste vööde puhul on vaja kontrollida toolvärgi posti muljumist vöösse.

### 6.3.1. Toolvärgi ülemise vöö kandepiiriseisundi kontroll paindele

Paindel tuleb standardi järgi rahuldada järgmist tingimust (lihtsustatult, kuna momenti ümber ristlõike z-telje ei teki): [9, lk 37]

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1, \quad (42)$$

kus:  $\sigma_{m,y,d}$  – arvutuslik paindepinge y-telje suhtes, N/mm<sup>2</sup>,

$f_{m,y,d}$  – arvutuslik paindetugevus y-telje suhtes, N/mm<sup>2</sup>.

Arvutusliku paindemomendi väärtus jooniselt 6.9:  $M_y = 1,76 \text{ kN} \cdot \text{m}$ .

Puidu arvutuslik paindetugevus avaldise 15 järgi:  $f_{m,y,d} = 0,8 \cdot \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$ .

Vöö ristlõike vastupanumoment:  $W_y = \frac{150 \cdot 150^2}{6} = 56,25 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ .

Paindepinge avaldise 20 järgi:  $\sigma_{m,y,d} = \frac{1,76 \cdot 10^6}{56,25 \cdot 10^4} = 3,13 \text{ N/mm}^2$ .

Paindekandevõime kontroll vöö sildeava keskel vastavalt avaldisele 42:  $\frac{3,13}{14,77} = 0,21 \leq 1$ .

Järelikult on paindekandevõime antud kohas küllaldaselt tagatud.

Kontrollida tuleks aga ka paindekandevõimet toel, sest vöö fikseeritakse postidele keeltappühendusega ja seega on vöö ristlõike antud kohas nõrgestusega. Tapipesa on mõõtmetega 50x150x100 mm. Nõrgestusega ristlõike karakteristikud on järgmised:

Inertsimoment:  $I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{b \cdot h_{nõrgestus}^3}{12} - b \cdot h_{nõrgestus} \cdot z_i^2 = \frac{150 \cdot 150^3}{12} - \frac{50 \cdot 150^3}{12} - 50 \cdot 150 \cdot 0^2 = 2,8125 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ .

Vastupanumoment:  $W_{y,ef} = \frac{I_y}{|z_e|} = \frac{2,812 \cdot 10^7}{75} = 3,75 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ .

Arvutuslik paindemomendi väärtus nõrgestusega lõikes:  $M_y = 1,45 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Paindepinge avaldise (20) järgi:  $\sigma_{m,y,d} = \frac{1,45 \cdot 10^6}{3,75 \cdot 10^5} = 3,87 \text{ N/mm}^2$

Avaldise (42) järgi:  $\frac{3,87}{14,77} = 0,26 \leq 1$

Järeldub, et ka nõrgestusega ristlõikes on vöö paindekandevõime suure varuga tagatud.



### 6.3.2. Toolvärgi ülemise vöö kandepiiriseisundi kontroll nihkele

Ristikiudu pingekomponendiga tuleb rahuldada tingimus:[9, lk 37]

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_{Ed}}{b_{ef} \cdot h} \leq f_{v,d}, \quad (43)$$

kus:  $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$ , milles  $k_{cr} = 0,67$  nii sae- kui liimpuidu jaoks. Töötav ristlõike laius on seega:  $b_{ef} = 0,67 \cdot 150 = 100,5$  mm.

Arvutuslik põikjõud vaadeldavas kohas jooniselt 6.8. on  $V_{Ed} = 5,01$  kN.

Arvutuslik nihketugevus avaldise 15 järgi:  $f_{v,d} = 0,8 \cdot \frac{4,0}{1,3} = 2,46$  N/mm<sup>2</sup>.

Arvutuslik nihkepinge:  $\tau_d = \frac{1,5 \cdot 5,01}{100,5 \cdot 150} = 0,50$  N/mm<sup>2</sup>.

Selgub, et tingimuse 43 järgi  $0,50 \leq 2,46$  on vöö nihkekandevõime varuga tagatud.

### 6.3.3. Toolvärgi posti kandepiiriseisundi kontroll survele (nõtkele)

Kuigi sein omakaal põhjustab konstruktsiooni ehitusest tulenevalt toolvärgi postile mõningast ekstsentrilist survet ja seeläbi paindemomenti, on käsitletav suurus siiski tühiselt väike võrreldes katuslaest tuleneva, läbi toolvärgivöö rakenduva koormusega ning seetõttu kontrollitakse posti tsentrilisele survele. Tagavaru kasuks võetakse jooniselt 6.7 pikijõu väärtus posti alumisest lõikest ehk suurem (kuivõrd on plaanis sein omakaalust tulenev tühine moment hüljata), kuigi teoreetiliselt võiks kasutada ka ülemise lõike survejõu väärtust. Seega postile rakenduv survejõud jooniselt 6.7:  $N_{sd} = 24,37$  kN.

Kuna  $L = 3700$  mm  $\geq 7t = 1050$  mm, tuleb teostada saleda surutud posti kontroll ja seega tsentrilisel survel pikikiudu tuleb rahuldada põikumisele tingimust:[9, lk 41]

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (44)$$

kus:  $\sigma_{c,0,d}$  – arvutuslik survepinge, N/mm<sup>2</sup>,

$f_{c,0,d}$  – arvutuslik survetugevus, N/mm<sup>2</sup>,

$k_{c,y}$  – tegur, mis toodud avaldisega 17 punktis 6.2.1.

Toolvärgi posti ristlõike karakteristikud:

Ristlõike pindala:  $A = 150^2 = 2,25 \cdot 10^4$  mm<sup>2</sup>.

Inertsimomendid:  $I_y = I_z = \frac{150 \cdot 150^3}{12} = 4,219 \cdot 10^7$  mm<sup>4</sup>.

Inertsiraadiused:  $i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_{y(z)}}{A_{ef}}} = \sqrt{\frac{4,219 \cdot 10^7}{2,25 \cdot 10^4}} = 43,30 \text{ mm.}$

Nõtkepikkused:  $l_{ef,y} = 1 \cdot l = 1 \cdot 3,7 = 3,7 \text{ m,}$

$$l_{ef,z} = 0,8 \cdot \text{karkassi samm} = 0,8 \cdot 0,6 = 0,48 \text{ m.}$$

Saledused:  $\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{3,7 \cdot 10^3}{43,30} = 85,45,$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{0,48 \cdot 10^3}{43,30} = 11,09.$$

Saledus on suurem y-telje sihis ja seega nõtkub post ümber y-telje ehk z-telje sihis.

Suhteline saledus:  $\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{84,45}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,43.$

Tegurid:  $k_y = 0,5(1 + 0,2(1,43 - 0,3) + 1,43^2) = 1,64,$

$$k_{c,y} = \frac{1}{1,64 + \sqrt{1,64^2 - 1,43^2}} = 0,4.$$

Arvutuslik survetugevus:  $f_{c,0,d} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,3} = 12,92 \text{ N/mm}^2.$

Arvutuslik survepinge:  $\sigma_{c,0,d} = \frac{24,37 \cdot 10^3}{2,25 \cdot 10^4} = 1,08 \text{ N/mm}^2.$

Stabiilsuse kontroll valemi 44 järgi:

$$\frac{1,08}{0,41 \cdot 12,92} = 0,20 \leq 1. \text{ Toolvärgi posti kandevõime on küllaldaselt tagatud.}$$

#### 6.3.4. Toolvärgi alumise vöö kandepiiriseisundi kontroll muljumisele

Toolvärgi alumise vöö puhul tuleb kontrollida survet ristikiudu, st. ega post vöösse ei muljuks. Kui posti alumise otsa ja vöö vahelise kontaktpinna muljumiskandevõime on tagatud, on kindlasti tagatud ka posti ülemise otsa ja vöö vahelise pinna kandevõime, sest alumisse otsa on lisaks katusest tulenevast koormusest lisandunud sein omakaal. Selleks tuleb rahuldada tingimust:[9, lk 36]

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}, \quad (45)$$

kus:  $\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}},$

$\sigma_{c,90,d}$  – arvutuslik survepinge ristikiudu,  $\text{N/mm}^2$ ,

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

$A_{ef}$  – efektiivne kontaktpind ristikiudu survele,  $\text{mm}^2$ ,

$f_{c,90,d}$  – arvutuslik survetugevus ristikiudu,  $\text{N/mm}^2$ ,

$k_{c,90}$  – tegur, mis arvestab koormuse konfiguratsiooni, puidu lõhestumisvõimalust ning survedeformatsioonide astet, antud tingimustes  $k_{c,90} = 1,25$ . [9, lk 36]

Arvestatakse, et keeltapp posti otsa toetamiseks võõsse tehakse õige suurusega ja töötaks seega kaasa. Lisaks võib standardi järgi tegelikku kontaktpikkust  $l$  antud juhul pikikiudu suurendada mõlemas suunas 30 mm võrra ning seega  $l_{ef} = 150 + 2 \cdot 30 = 210$  mm.

Efektiivne kontaktpind:  $A_{ef} = 210 \cdot 150 = 31500 \text{ mm}^2$ .

Arvutuslik survejõud ristikiudu:  $F_{c,90,d} = 24,37 \text{ kN}$ .

Arvutuslik survetugevus ristikiudu:  $f_{c,90,d} = 0,8 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,54 \text{ N/mm}^2$ .

Arvutuslik survepinge ristikiudu:  $\sigma_{c,90,d} = \frac{24,37 \cdot 10^3}{31500} = 0,77 \text{ N/mm}^2$ .

Tugevustingimuse parem pool:  $1,25 \cdot 1,54 = 1,93 \text{ N/mm}^2$ .

Tugevustingimuse 45 järgi  $0,77 < 1,93$  ning seega posti võõsse muljumise ohtu ei ole.

#### 6.4. Sarika otsa toetava horisontaalse tala kandepiirseisundi kontroll survele

Sarika otsa toetav seinale kinnituv vertikaalne tala on esialgu mõeldud ristlõikega 50x100 mm, tugevusklassiga C24. Tala peab vastu võtma survejõudu (jooniselt 6.5)  $N_{sd} = 5,14 \text{ kN}$  ning lisaks tekitab talale kinnitatava räästakasti laudise omakaal paindemomenti  $M_{y,d} = 0,13 \text{ kN} \cdot \text{m}$ . Järelikult tuleb rahuldada punktis 6.2.1 toodud tingimust 16.

Talale kinnitatav räästakastilaudis takistab nõtkumist ühes sihis, kuid kuna see kinnitatakse tala alumisele küljele (paindemomendi järgi tõmbetsooni), ei saa välistada ülemise poole kiivumist survele ja seega tuleks tegur  $k_{crit}$  leida lähtudes avaldisest 46: [9, lk 43]

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kui } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kui } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kui } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}, \quad (46)$$

kus:  $\lambda_{rel,m}$  – suhteline saledus paindel, mis leitav omakorda avaldisega 47: [9, lk 41]

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}, \quad (47)$$

kus:  $\sigma_{m,crit}$  – klassikalise stabiilsusteooria kohaselt arvatud paindepinge, mis okaspuidust ristkülikristlõike korral leitav avaldisega 48: [9, lk 42]

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{h \cdot l_{ef}} E_{0,05}, \quad (48)$$

kus:  $b$  – tala laius, m,  
 $h$  – tala kõrgus, m,  
 $E_{0,05}$  – elastsusmoodul, N/mm<sup>2</sup>,  
 $l_{ef}$  – tala arvutus pikkus sõltuvalt toetingimustest ja koormusolukorrast.

Ristlõike karakteristikud:

Pindala:  $A = 100 \cdot 50 = 5 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$ .

Inertsimomendid:  $I_y = \frac{50 \cdot 100^3}{12} = 4,167 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ ,

$$I_z = \frac{50^3 \cdot 100}{12} = 1,042 \cdot 10^6 \text{ mm}^4.$$

Inertsiraadiused:  $i_y = \sqrt{\frac{4,167 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^3}} = 28,87 \text{ mm}$ ,

$$i_z = \sqrt{\frac{1,042 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^3}} = 14,44 \text{ mm}.$$

Vastupanumomendid:  $W_y = \frac{50 \cdot 100^2}{6} = 8,33 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ ,

$$W_z = \frac{50^2 \cdot 100}{6} = 4,17 \cdot 10^4 \text{ mm}^3.$$

Nõtkepikkused:  $l_{ef,y} = l = 2,75 \text{ m}$ ,

$$l_{ef,z} = 0, \text{ kuna nõtke ümber z-telje on takistatud räästalaudisega.}$$

Saledused:  $\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{2,75 \cdot 10^3}{28,87} = 95,25$ ,

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{0}{14,44} = 0.$$

Suhtelised saledused:  $\lambda_{rel,y} = \frac{95,25}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,62$ ,

$$\lambda_{rel,z} = \frac{0}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0.$$

Punktis 6.2.1 kirjeldatu kohaselt tuleb praegusel juhul kontrollida lisaks tingimusele 16 ka tingimust 19.

Tegurid:  $k_y = 0,5(1 + 0,2(1,62 - 0,3) + 1,62^2) = 1,944$ ,

$$k_z = 0,5(1 + 0,2(0 - 0,3) + 0^2) = 0,47,$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{1,944 + \sqrt{1,944^2 - 1,62^2}} = 0,33,$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{0,47 + \sqrt{0,47^2 - 0^2}} = 1,06 \rightarrow 1,0 \text{ (nõtketegur peab olema } \leq 1).$$

Kriitiline paindepinge:  $\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot 50^2}{100 \cdot 2750} \cdot 7400 = 52,47 \text{ N/mm}^2$ .

Suhteline saledus paindel:  $\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{24}{52,47}} = 0,68 \rightarrow$  siit avaldise (46) järgi  $k_{crit} = 1$ .

Arvutuslik paindetugevus:  $f_{m,d} = 0,8 \cdot \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$ .

Arvutuslik survetugevus:  $f_{c,0,d} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,3} = 12,92 \text{ N/mm}^2$ .

Arvutuslik paindepinge:  $\sigma_{m,y,d} = \frac{0,13 \cdot 10^6}{8,33 \cdot 10^4} = 1,56 \text{ N/mm}^2$ .

Arvutuslik survepinge:  $\sigma_{c,0,d} = \frac{5,14 \cdot 10^3}{5000} = 1,03 \text{ N/mm}^2$ .

Horisontaalse tugitala paindekandevõime koos survega vastavalt avaldisele 16:

$$\left(\frac{1,56}{1 \cdot 14,77}\right)^2 + \frac{1,03}{1 \cdot 12,92} = 0,09 \leq 1, \quad \text{seega paindesurvekandevõime on tagatud.}$$

Põikumise kontroll z-telje suunas (üumber y-telje) vastavalt avaldisele 19:

$$\frac{1,03}{0,33 \cdot 12,92} + \frac{1,56}{14,77} = 0,34 \leq 1, \quad \text{seega z-telje sihiline (üumber y-telje) nõtkoht puudub.}$$

## 7. NEELULÕIKE DIMENSIONEERIMINE/KONTROLL

### 7.1. Neelulõike konstruktsiooni kirjeldus, sisejõudude epüürid

Neelusarikaks kasutatakse liimpuitu sarika suurte mõõtmete tõttu, mis on tingitud oluliselt suurematest sisejõududest võrreldes tavalise lõike sarikaga. Neelusarikas hakkab sarnaselt tavalise lõike sarikaga toetuma kahes kohas müürile ning kahele toolvärgipostile. Post neelusarika all peab olema ~70 mm lühem, et sarikate ülemised pinnad jääksid ühte tasapinda, ühtlasi jääb neelusarikas külgnevate katuseosade toolvärgivööde vahele, mitte peale. Kui tavalises lõikes oli sarika räästapoolses otsas seinale kinnituv abitala, siis neelusarikat toetab antud kohas post. Kontrollitakse sarikat mõõtmetega 140x320 mm. Post sarika otsa alla on mõeldud tahutud C24 puidust vähemalt 150x150 mm. Liimpuidu klassiks valitakse GL28h, mille tugevusomadused [11] järgi on:

$$\text{Paindetugevus: } f_{m,g,k} = 28 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{Tõmbetugevused: } f_{t,0,g,k} = 19,5 \text{ N/mm}^2, \\ f_{t,90,g,k} = 0,45 \text{ N/mm}^2.$$

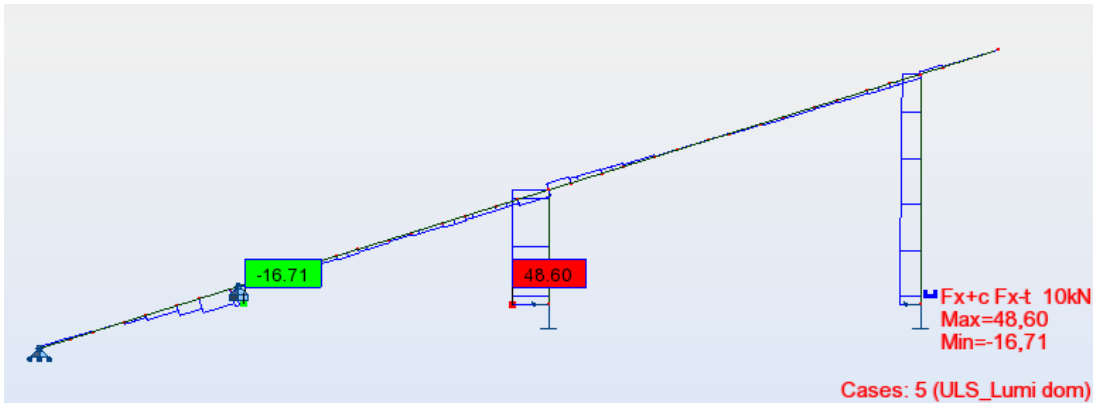
$$\text{Survetugevused: } f_{c,0,g,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2, \\ f_{c,90,g,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{Nihketugevus: } f_{v,g,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2.$$

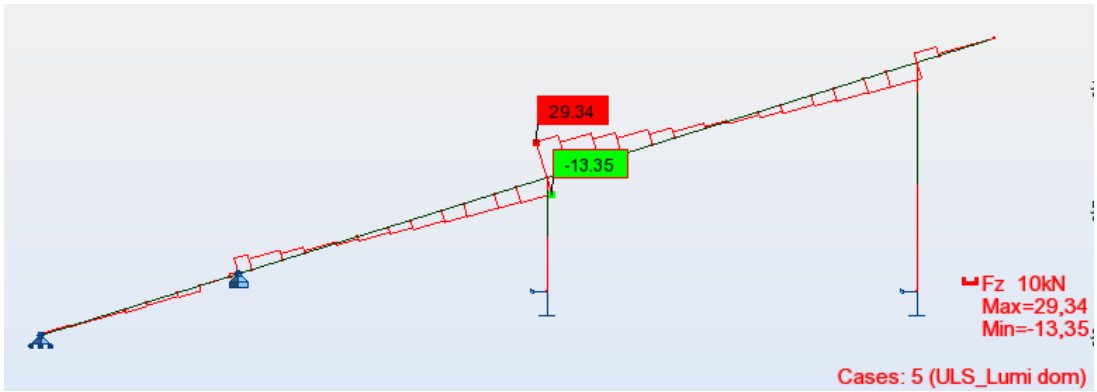
$$\text{Elastsusmoodulid: } E_{0,mean,g} = 12\,600 \text{ N/mm}^2, \\ E_{0,05,g} = 10\,200 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{Tihedus: } \rho_k = 410 \text{ kg/m}^3.$$

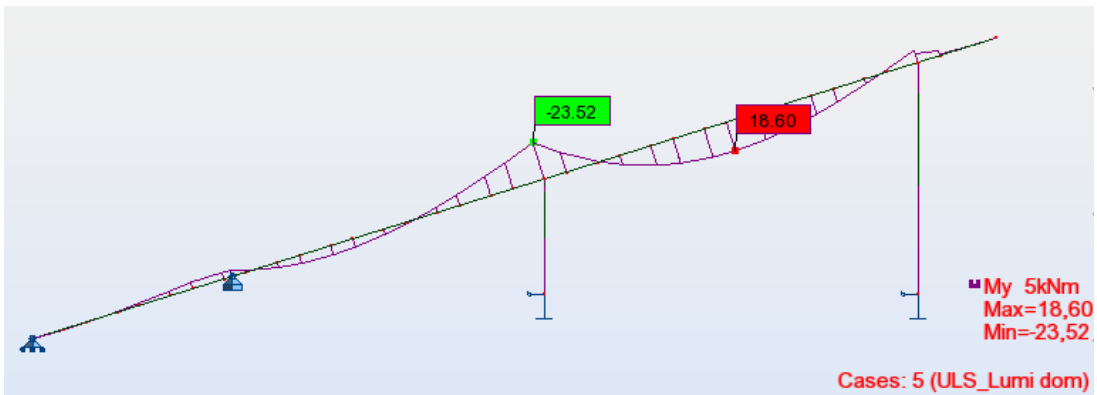
Alljärgnevate sisejõudude epüüride (joonis 7.1, joonis 7.2, joonis 7.3, joonis 7.4) leidmiseks neelusarikale koostati programmi ARSA tarvis suurimate silletega katusenurga 3D mudel ning lõigati sellest välja neelu tasapind. Kasutades punktis 4 leitud koormusi, osutus selleski lõikes suurimaid sisejõude põhjustavaks koormuskombinatsiooniks kandepiirseisundis domineeriv lumekoormus.



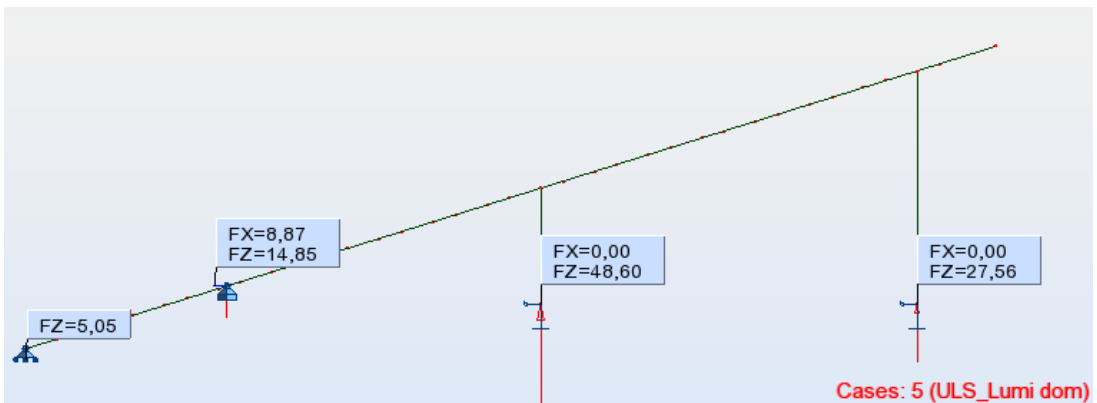
Joonis 7.1. Neelusarika pikijõud (kN)



Joonis 7.2. Neelusarika põikjõud (kN)



Joonis 7.3. Neelusarika paindemoment (kN·m)



Joonis 7.4. Neelusarika toereaktsioonid (kN)

Sisejõudude epüüride järgi ning varem tehtud üldlõike sarika tugevuskontrollidest võib eeldada, et neelusarika puhul oleks vaja kontrollida maksimaalset painet, nihet toel, kiudude suhtes nurga all mõjuvaid jõude ning läbipainet. Ühtlasi tuleks üle kontrollida madalama toolvärgiposti muljumine vöösse. Posti nõtket ei kontrollita, kuna niigi ligikaudu kaks korda kõrgema (saledama) parempoolse toolvärgiposti nõtkekandevõime oli suure varuga tagatud kaks korda väiksemale jõule.

### 7.1.1. Neelusarika kandepiiriseisundi kontroll paindele

Elemendi suuruse mõju kandevõimele võib arvestada. Nende ristlõikekõrguste puhul paindel ja –laiuste puhul tõmbel, mis on lamell-liimpuidul väiksemad kui 600 mm, võib vastavalt painde- ja tõmbekandevõime normväärtusi suurendada teguriga  $k_h$ , mis leitakse avaldisega:[9, lk 28]

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1}, 1,1 \right\}, \quad (49)$$

Tulenevalt eelnevast avaldisest saame neelusarika paindekandevõimet suurendada teguriga, mille väärtus on  $k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{320} \right)^{0,1} = 1,065 \rightarrow \mathbf{min} \right.$  ning seega avaldise 15

järgi on arvutuslik paindetugevus neelusarikale  $f_{m,y,g,d} = 0,8 \cdot \frac{28 \cdot 1,065}{1,25} = 19,08 \text{ N/mm}^2$ .

Kuna suurim paindemoment asub toel, kus on ühtlasi sisselõige sarika toetamiseks, tuleb leida nõrgestatud ristlõike karakteristikud:

Ristlõike pindala:  $A_{ef} = (320 - 50) \cdot 140 = 3,78 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$ .

Inertsimoment:  $I_y = \frac{140 \cdot 270^3}{12} = 2,296 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$ .

Vastupanumoment:  $W_{y,ef} = \frac{2,296 \cdot 10^8}{135} = 1,701 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ .

Suurim paindemoment jooniselt 7.3 on  $M_y = 23,52 \text{ kN} \cdot \text{m}$  ning seega avaldise 20 järgi on arvutuslik paindepinge:  $\sigma_{m,y,d} = \frac{23,52 \cdot 10^6}{1,701 \cdot 10^6} = 13,83 \text{ N/mm}^2$ .

Paindel peab olema rahuldatud tingimus 42:  $\frac{13,83}{19,08} = 0,72 \leq 1$  ning seega on valitud ristlõikega tala paindekandevõime varuga tagatud. Kiivekandevõime kontroll ei ole



vajalik, kuna tala kiivet takistavad selle külgedele kinnituvad sarikad, peale kinnituvad roovid ning toolvärgivööd, millede vahele neelusarikas jääb.

### 7.1.2. Neelusarika kandepiiriseisundi kontroll nihkele

Vaadates neelusarika põikjõuepüüri (joonis 7.2) võiks eeldada, et maksimaalne põikjõud mõjub kohas, millest alles algab sisselõige toel. Kuna reaalsuses on toereaktsiooni rakenduspunkti täpne määratlemine komplitseeritud ning puitkonstruktsiooni puhul absoluutset jäikust eeldada samuti keeruline, võetakse antud lahenduses igal juhul tagavara kasuks olukord, kus maksimaalne põikjõud rakenduks juba suurima sisselõikega kohas.

Arvutuslik nihketugevus:  $f_{v,g,d} = 0,8 \cdot \frac{3,2}{1,25} = 2,05 \text{ N/mm}^2$ .

Suurim põikjõu arvutusväärtus toel jooniselt 7.2:  $V_{Ed} = 29,34 \text{ kN}$ .

Teguri väärtus liimpuidule:  $k_n = 6,5$ .

Sisselõike kalle:  $i = \tan 15^\circ \approx 0,268$ .

Põikjõu rakenduspunkti kaugus sisselõike servast:  $x = 75 \text{ mm}$ ;  $\alpha = \frac{270}{320} = 0,844$ .

Tugevustingimuse vähendusteguri väärtus avaldisest 24:

$$k_v = \min \left\{ \frac{6,5 \left( 1 + \frac{1,1 \cdot 0,268^{1,5}}{\sqrt{320}} \right)}{\sqrt{320} \left( \sqrt{0,844(1 - 0,844)} + 0,8 \frac{75}{320} \sqrt{\frac{1}{0,844} - 0,844^2} \right)} \right\} \rightarrow k_v = 0,745$$

Arvutusliku nihkepinge väärtus avaldisest 23:  $\tau_d = \frac{1,5 \cdot 29,34 \cdot 10^3}{140 \cdot 270} = 1,164 \text{ N/mm}^2$ .

Tugevustingimus nihkele avaldise 23 järgi:  $\frac{\tau_d}{k_v \cdot f_{v,d}} = \frac{1,164}{0,745 \cdot 2,05} \approx 0,76 \leq 1$ .

Seega on neelusarika nihkekandevõime toel tagatud.

### 7.1.3. Neelusarika kandepiiriseisundi kontroll kiudude suhtes nurga all mõjuvatele jõududele

Sarika pikikiudude suhtes nurga all mõjuva jõu (sisult toereaktsiooni) tugevuskontrollil tuleb rahuldada ringimust 25. Kontrollitakse, et toolvärgi post ei muljuks neelusarikasse.

Posti otsast mõjuv jõud on suurim domineeriva lumekoormusega koormuskombinatsioonist,  $F_d = 47,54 \text{ kN}$  (ARSA). Trigonomeetriast tulenevalt on neelusarika kaldenurk  $\sim 15^\circ$ , mis tähendab, et jõu ja neelusarika pikikiudude vaheline nurk on  $\alpha = 75^\circ$ . Leitakse vajalikud suurused ja tehakse tugevuskontroll:

Arvutuslik survetugevus pikikiudu:  $f_{c,0,g,d} = 0,8 \cdot \frac{26,5}{1,25} = 16,96 \text{ N/mm}^2$ .

Arvutuslik survetugevus ristikiudu:  $f_{c,90,g,d} = 0,8 \cdot \frac{3,0}{1,25} = 1,92 \text{ N/mm}^2$ .

Arvutuslik survepinge sarikale:  $\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{47,54 \cdot 10^3}{140 \cdot (150 + 30 + 30)} = 1,62 \text{ N/mm}^2$ .

Kohttoel asuva elemendi teguri väärtus tagavara kasuks:  $k_{c,90} = 1,0$ .

Tingimuse 25 parem pool sarikale:  $\frac{16,96}{\frac{1,92}{1,1,92} \sin^2 75^\circ + \cos^2 75^\circ} = 2,04 \text{ N/mm}^2$ .

On näha, et  $\frac{1,62}{2,04} = 0,79 < 1$  ning seega peaks posti muljumine sarikasse olema välistatud.

#### 7.1.4. Neelusarika vasakpoolse toeposti võösse muljumise kontroll

Sarnaselt punktile 6.3.4 tuleb siin kontrollida survepingeid ristikiudu. Erinevus tuleneb suuremast jõust ning sellest, et antud juhul on post alumiste vööde ristumiskoha nurgas, see tähendab, et efektiivse kontaktpinna määramisel suurendatakse tegeliku kontaktpinna pikkust vaid ühes suunas.

Efektiivne kontaktpind:  $A_{ef} = 150 \cdot (150 + 30) = 27000 \text{ mm}^2$ .

Arvutuslik survejõud ristikiudu:  $F_{c,90,d} = 48,60 \text{ kN}$ .

Arvutuslik survetugevus ristikiudu:  $f_{c,90,d} = 0,8 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,54 \text{ N/mm}^2$ .

Arvutuslik survepinge ristikiudu:  $\sigma_{c,90,d} = \frac{48,6 \cdot 10^3}{27000} = 1,8 \text{ N/mm}^2$ .

Pideval toel elemendi teguri väärtus:  $k_{c,90} = 1,25$ .

Tugevustingimuse 45 järgi  $\frac{1,8}{1,25 \cdot 1,54} = 0,94 < 1$  on ka antud juhul puidu muljumise kandevõime piisav. Siiski varu mõttes võiks toetada posti kas otse betoonvahelaele, kasutada koormust hajutavat (metall)plaati kahe puitpinna vahel või suurendada vöö puidu tugevusklassi.

### 7.1.5. Neelusarika läbipainde kontroll kasutuspiiriseisundis

Neelulõike sarika läbipainde kontroll käib sarnaselt punktile 6.2.5. Neelusarika pikkus suurimaid deformatsioone omavas sildeavas on ~6,3 m. Algdeformatsioonid on saadud ARSA programmist. Kuna tagavaru kasuks määrati sarikate kasutusklassiks 2, siis  $k_{def} = 0,80$ . Seega sarnaselt punktile 6.2.5:

Paigutis alalisest koormusest:  $u_{inst,G} = 0,5$  cm,

$$u_{fin,G} = 0,5(1 + 0,8) = 0,9 \text{ cm.}$$

Paigutis domineerivast muutuvkoormusest (lumi):  $u_{inst,Q_1} = 0,6$  cm,

$$u_{fin,Q_1} = 0,6(1 + 1 \cdot 0,8) = 1,08 \text{ cm.}$$

Paigutis mittedomineerivast muutuvkoormusest (suruv tuul):  $u_{inst,Q_i} = 0,1$  cm,

$$u_{fin,Q_i} = 0,1(0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0,06 \text{ cm.}$$

Lõplik sarika läbipaine vastavalt valemile 26:

$$u_{fin} = 0,9 + 1,08 + 0,06 = 2,04 \text{ cm.}$$

Lubatud lõplik läbipaine standardi [9] rahvusliku lisa järgi:

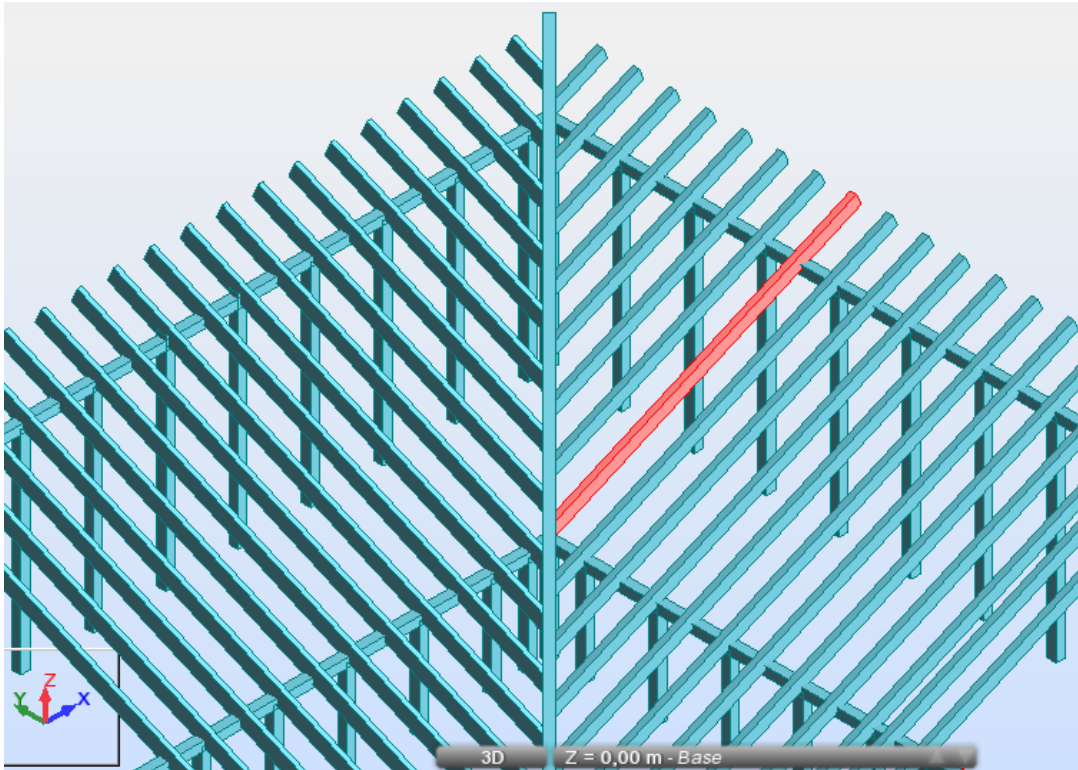
$$w_{net,fin} = \frac{630}{250} = 2,52 \text{ cm.}$$

Järeldub, et  $u_{fin} = 2,04 < w_{net,fin} = 2,52$  ja seega sarika lõplik läbipaine on lubatud piirides.

### 7.2. Neelusarikale toetuvate sarikate kontroll

Kuna neelus mõjuvad suuremad lumekoormused kui tavalises hoone lõikes, siis tekivad seal ka neelule toetuvates sarikates suuremad sisejõud. Neid sarikaid tuleb samuti kontrollida. Napilt suurimaid sisejõude/deformatsioone omav taolises kohas paiknev sarikas on märgitud punaselt joonisel 7.5. Vastavas sarikas märkimist väärt sisejõud domineeriva lumekoormusega koormuskombinatsioonist on põikjõud  $F_{Ved} = 8,97$  kN ning paindemoment  $M_{y,d} = 6,25$  kN · m. Mõlema maksimumid mõjuvad toolvärgi vöö juures, kohas, kus on sarikas sisselõige. Olgu mainitud, et nii lõike 1-1 kui lõike 2-2 (lahendus Lisas 1) tavasarikad 50x250 mm neid koormusi napilt ei kannu, seega tuleb neelus kasutada suuremaid ristlõikeid. Kuna soov on, et sarikate kõrgused ühel katuseküljel jääksid ühesugusteks, siis kontrollitakse neelusarikale toetuvate sarikatena dimensioone

75x250 mm. Selleks tuleb leida ristlõike karakteristikud sisselõikega kohas ning kontrollida selle painde- ja nihkekandevõimet.



**Joonis 7.5.** Suurimad sisejõude/deformatsioone omav neelusarrikale toetuv sarikas

Ristlõike pindala:  $A_{ef} = h_{ef} \cdot b = (250 - 50) \cdot 75 = 15 \cdot 10^3 \text{ mm}^2.$

Inertsimoment:  $I_{y,ef} = \frac{75 \cdot 200^3}{12} = 5,0 \cdot 10^7 \text{ mm}^4.$

Vastupanumoment:  $W_{y,ef} = \frac{75 \cdot 200^2}{6} = 5,0 \cdot 10^5 \text{ mm}^3.$

Paindepinge:  $\sigma_{m,y,d} = \frac{6,25 \cdot 10^6}{5,0 \cdot 10^5} = 12,50 \text{ N/mm}^2.$

Arvutuslik paindetugevus:  $f_{m,d} = 0,8 \cdot \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2.$

Sarikate paindekandevõime:  $\frac{12,5}{14,77} \approx 0,85 < 1$  on tagatud.

**Nihkekandevõime kontroll:**

Arvutuslik nihkekandevõime puidul:  $f_{v,d} = 0,8 \cdot \frac{4,0}{1,3} = 2,46 \text{ N/mm}^2.$

Nihkepinge:  $\tau_d = \frac{1,5 \cdot 8,97 \cdot 10^3}{75 \cdot 200} = 0,897 \text{ N/mm}^2.$

Sisselõike kalle:  $i = \tan 20^\circ \approx 0,364.$

Põikjõu rakenduspunkti kaugus sisselõike servast:  $x = 75 \text{ mm}; \alpha = \frac{200}{250} = 0,8.$

Tegur: 
$$k_v = \min \left\{ \frac{5,0 \left( 1 + \frac{1,1 \cdot 0,364^{1,5}}{\sqrt{250}} \right)}{\sqrt{250} \left( \sqrt{0,8(1-0,8)} + 0,8 \frac{75}{250} \sqrt{\frac{1}{0,8} - 0,8^2} \right)} \right\} \rightarrow k_v = 0,547$$

Tugevustingimus nihkele avaldise 23 järgi:  $\frac{0,897}{0,547 \cdot 2,46} \approx 0,67 < 1$

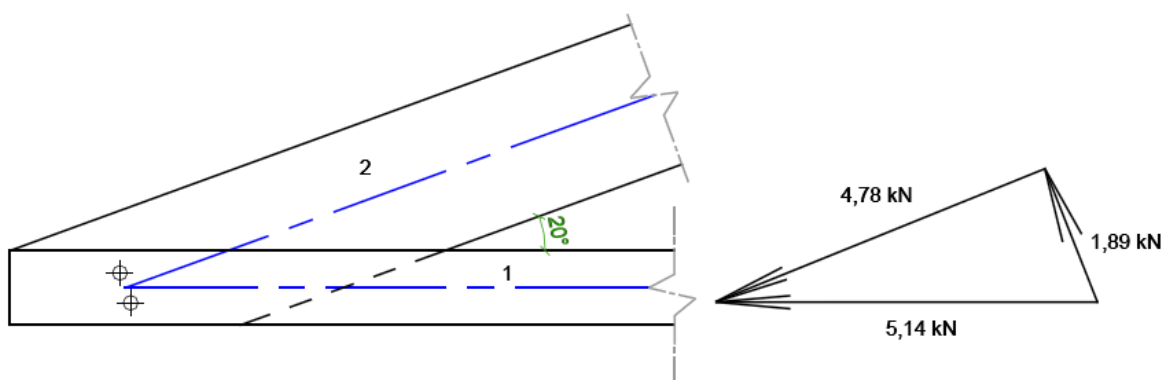
Seega ristlõike nihkekandevõime toel on tagatud.

## 8. SÕLMEDE KANDEVÕIME ARVUTUSED

Sõlmed teostatakse, kus võimalik, ühelõikeliste puit-puiduga liidetena. Kus see võimalikuks ei osutu, tuleb kasutada terasplaate või suurendada ristlõikeid. Sõlmed lahendatakse standardi [9] arvutusmeetodeid järgides.

### 8.1. Sarika otsa sõlm horisontaalse abitalaga räästas

Sarika ots ja horisontaalne abitala paigaldatakse külge külje kõrvale, tekib puit puiduga ühelõikeline liide. Kinnititeks on keermelatid M10 tugevusklassiga 8.8,  $f_u = 800 \text{ N/mm}^2$ , poldiavad  $d=10 \text{ mm}$  puuritakse ette. Sõlmes mõjuvad jõud (joonis 8.1.) on saadud ARSA programmist. Abitala kinnitub omakorda seinale tõenäoliselt talakingaga, kuid kuna rajatava seina materjal ei ole autorile teada, seda lähemalt ei käsitleta.



Joonis 8.1. Sarika ja abitala otsasõlmes mõjuvad jõud

Ühe poldi voolavuspiirile vastava paindemomendi normväärtus leitakse avaldisega 30:

$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot 800 \cdot 10^{2,6} = 9,555 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$  ning vastav arvutusväärtus terase materjali osavaruteguriga on seega  $M_{y,Rd} = \frac{9,555 \cdot 10^4}{1,1} = 8,69 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$ .

Puidu muljumistugevuse normväärtused [9, lk 71] ning arvutuslikud suurused:

**Element 1 (0°):**

$$f_{h,1,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 350 = 25,83 \text{ N/mm}^2,$$

$$f_{h,1,d} = 0,8 \cdot \frac{25,83}{1,3} = 15,90 \text{ N/mm}^2.$$

**Element 2 (20°):**

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 \cdot 10 = 1,5,$$

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2(20) + \cos(20)^2} = \frac{25,83}{1,5 \cdot \sin(20)^2 + \cos(20)^2} = 24,40 \text{ N/mm}^2,$$

$$f_{h,2,d} = 0,8 \cdot \frac{24,40}{1,3} = 15,02 \text{ N/mm}^2.$$

Puit-puiduga ühelõikelise liite ühe kinniti nihkepinna arvutuslik kandevõime leitakse avaldisega 31:

$$\beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} = \frac{15,02}{15,90} = 0,945; t_1 = t_2 = 50 \text{ mm.}$$

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{15,9 \cdot 50 \cdot 10}{1 + \beta} \left[ \frac{15,9 \cdot 50 \cdot 10 = 7948 \text{ N}}{15,02 \cdot 50 \cdot 10 = 7509 \text{ N}} \sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \left[ 1 + \frac{50}{50} + \left( \frac{50}{50} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{50}{50} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{50}{50} \right) \right] = 3201 \text{ N} \rightarrow \mathbf{min} \\ 1,05 \frac{15,9 \cdot 50 \cdot 10}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2 \cdot \beta(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta(2 + \beta) \cdot 8,69 \cdot 10^4}{15,9 \cdot 10 \cdot 50^2}} - \beta \right] = 4326 \text{ N} \\ 1,05 \frac{15,9 \cdot 50 \cdot 10}{1 + 2 \cdot \beta} \left[ \sqrt{2 \cdot \beta^2(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta(1 + 2 \cdot \beta) \cdot 8,69 \cdot 10^4}{15,9 \cdot 10 \cdot 50^2}} - \beta \right] = 4262 \\ 1,15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot 8,69 \cdot 10^4 \cdot 15,9 \cdot 10} = 5957 \end{array} \right.$$

$$\text{Vajalik poltide arv ühenduses on } n = \frac{5,14 \cdot 10^3}{3201} = 1,61.$$

Valitakse 2 polti kinnitades need kahte ritta, sellisel juhul on tegu efektiivse kinnitite arvuga.

Määratakse lubatavad minimaalsed kinnitite (vahe)kaugused kindlustamaks, et mõeldud kinnitusvahendid ja kogus kinnitatavatele detailidele mahuks [9, lk 72]. Lihtsustuseks ja tagavara kasuks võetakse mõlema elemendi jaoks  $\cos 0^\circ = 1$  ja  $\sin 20^\circ = 0,342$ .

$$\text{Vahekaugus pikikiudu:} \quad a_1 = (4 + |\cos \alpha|)d = (4 + \cos 0^\circ) \cdot 10 = 50 \text{ mm.}$$

$$\text{Vahekaugus ristikiudu:} \quad a_2 = 4d = 4 \cdot 10 = 40 \text{ mm.}$$

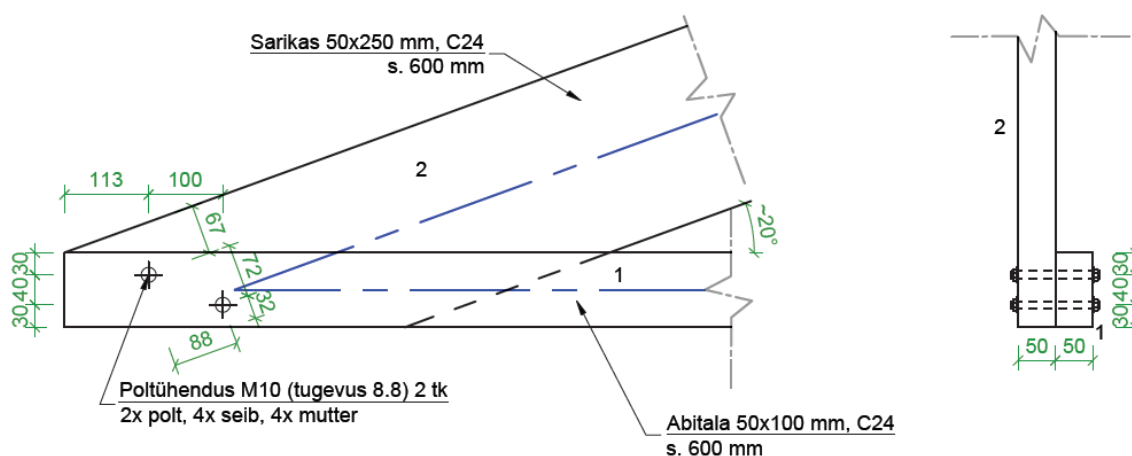
$$\text{Kaugus koormamata otsast:} \quad a_{3,c} = 4d = 4 \cdot 10 = 40 \text{ mm.}$$

Kaugus koormatud servast:

$$a_{4,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} (2 + 2 \sin \alpha)d = (2 + 2 \sin 20^\circ) \cdot 10 = 26,8 \text{ mm} \\ 3d = 3 \cdot 10 = 30 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$\text{Kaugus koormamata servast:} \quad a_{4,c} = 3d = 3 \cdot 10 = 30 \text{ mm.}$$

Sellest lähtuvalt on võimalik polte asetada lubatud piiridesse (joonis 8.2).



**Joonis 8.2.** Sarika ja abitala otsasõlm

Kontrollida tuleb ka sarika võimalikku lõhestumist. Rahuldada tuleb tingimust:[9, lk 56]

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{90,Rd}} \leq 1, \quad (50)$$

kus:  $F_{v,Ed}$  – liites kiudude suhtes nurga all mõjuv arvutuslik koormus, kN,

$F_{90,Rd}$  – okaspuu arvutuslik lõhestuskandevõime, kN.

Okaspuu normlõhestustugevus:

$$F_{90,Rk} = 14 \cdot b \cdot w \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} \quad (51)$$

kus:  $w$  – teisendustegur, =1 (va. ogaplaatliidete puhul),

$h_e$  – koormatud serva kaugus kõige kaugema kinnituselemendi tsentrist, mm,

$h$  ja  $b$  – puitelemendi mõõtmed, mm.

Arvutuslik nihkejõud liites on:  $F_{v,Ed} = 1,89$  kN.

Normlõhestustugevus:  $F_{90,Rk} = 14 \cdot 50 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{218}{1 - \frac{218}{250}}} = 28,88$  kN.

Arvutuslik lõhestustugevus seega:  $F_{90,Rd} = 0,8 \cdot \frac{28,88}{1,3} = 17,77$  kN.

Avaldise 50 järgi on  $\frac{1,89}{17,77} = 0,11 \leq 1$  puitelemendi lõhestumiskindlus tagatud.

Lisaks eelnevale tuleks vaadata ka liite järeleandvust. Liite nihkearvutus tehakse normkoormusega, mille resultant sõlmes on  $F_k = 3,9$  kN (ARSA programmist). Poltliite hetkeline nihkemoodul nihkepinna kohta leitakse avaldisega:[9, lk 52]



$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} d}{23} = \frac{420^{1,5} \cdot 10}{23} = 3742 \text{ N/mm}, \quad (52)$$

$\rho_m$  – puidu tiheduse keskvaartus,  $420 \text{ kg/m}^3$ .

Pikaajalise koormuse mõju arvestava deformatsiooniteguri väärtus liites tuleb võtta kahekordseks, kuna liide on moodustatud kahest sarnaste ajast sõltuvate omadustega puitelemendist ning seega  $k_{def} = 2 \cdot 0,8 = 1,6$ .

Kinnituselemendi lõplik nihkemoodul kasutuspiirsesundis punkti 6.2.6 avaldise 41 järgi on: [9, lk 23]

$$K_{ser,fin} = \frac{3742}{1+1,6} = 1439 \text{ N/mm}.$$

Liite nihe kasutuspiirsesundis avaldise 39 järgi on seega:

$$u_{ser} = \frac{3,9 \cdot 10^3}{2 \cdot 1439} = 1,36 \text{ mm}, \text{ järelikult on liite nihe soovituslikes piires.}$$

## 8.2. Sarika sõlm toolvärgivööga

Sarika toetamisel toolvärgivöödele ja müürlattidele kanduvad katusest ja väliskoormustest tulenevad jõud edasi muljumispinna kaudu. Kuna omakaal soojustatud katuslae osas ületab tuule tõstvat mõju, siis ohtu katuse kerkimisele ei ole ning sarikad fikseeritakse vöödele/müürlatile standardlahendusena tugevdatud ehitusnurgikute ja (ankru)naeltega. Katuse soojustamata osa omakaal on küll pisut väiksem tuule tõstvast mõjust, kuid kuna sarikad liidetakse üheks tervikuks ja tõstev jõud on küllaltki marginaalne (kui arvestada juurde omakaalu vastupidine mõju), piisab ka seal fikseerivast kinnituse standardlahendusest.

## 8.3. Sarika sõlm müürlatiga

Sarika sõlm müürlatiga lahendatakse sarnaselt sarika ja toolvärgivöö sõlmele (Lisa 2, leht 06 ja 07). Küll aga tuleb müürlatt ankurdada müüritisse ning see peab vastu võtma horisontaalset toereaktsiooni. Toereaktsiooni põhjustavad jõud kanduvad sarikalt müürlatile üle muljumispinna ning nurgikute ja kinnitite kaudu. Seega tuleb kontrollida nurgikute ja kinnitite kandevõime piisavust ning lisaks müürlati ankru kandevõimet.

Nurgikuteks kasutatakse tugevdusega 100x100x55x2,5 mm. Kinnitena, mida kontrollitakse, mõeldakse 4x40 mm ankrunaelad,  $f_u = 600 \text{ N/mm}^2$ .

Suurim horisontaalne toereaktsioon on domineerivast lumekoormusest räästapoolses müürlatis väärtusega  $F_{v,d} = 4,73 \text{ kN}$  (joonis 6.5).

Kuna nurgiku puhul on tegemist õhukese terasplaadiga ( $t = 2 \text{ mm} \leq 0,5d = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ mm}$ ) [9, lk 59], tuleb võtta ühe kinnituselemendi ühe nihkepinna kohta normkandevõimeks:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4f_{h,k}t_1d \\ 1,15\sqrt{2M_{y,Rk}f_{h,k}d} \end{array} \right. \quad (53)$$

kus:  $f_{h,k}$  – puidu norm-muljumistugevus,  $\text{N/mm}^2$ ,

$t_1$  – süvistussügavus, mm,

$d$  – kinniti läbimõõt, mm,

$M_{y,Rk}$  – kinniti voolavuspiirile vastava momendi normväärtus, Nmm.

Puidu muljumistugevus normväärtus:  $f_{h,k} = 0,082 \cdot 350 \cdot 4^{-0,3} = 18,93 \text{ N/mm}^2$ .

Puidu muljumistugevuse arvutusväärtus:  $f_{h,d} = 0,8 \cdot \frac{18,93}{1,3} = 11,65 \text{ N/mm}^2$ .

Kinniti voolavuspiirile vastava paindemomendi normväärtus leitakse avaldises 30 esineva kordaja 0,3 asendamisel 0,45-ga (vahe tuleneb ümar ning ruut- ja soonilistest naeltest).

Normväärtus:  $M_{y,Rk} = 0,45 \cdot 600 \cdot 4^{2,6} = 9925 \text{ Nmm}$ .

Arvutusväärtus:  $M_{y,Rd} = \frac{9925}{1,1} = 9023 \text{ Nmm}$ .

Nihkekandevõime arvutamisel lubab standardi rahvuslik lisa kasutada normväärtuste puhul otse arvutusväärtusi, andes sellega tulemuse mõningase tagavara kasuks. Valemi 53 põhjal on ühe kinniti ühe nihkepinna arvutuslik kandevõime:

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot 11,65 \cdot 40 \cdot 4 = 745,6 \text{ N} \rightarrow \mathbf{\min} \\ 1,15\sqrt{2 \cdot 9023 \cdot 11,65 \cdot 4} = 1054,6 \text{ N} \end{array} \right.$$

Kinnitite arv sõlmes tuleb seega  $n = \frac{F_{v,d}}{F_{v,Rd}} = \frac{4730}{745,6} = 6,34 \rightarrow n = 7$ .

Kui arvestada, et nurgikud asetatakse mõlemale poole sarikat (kuna nad ei paikneks 100% kohakuti ning kinnitid ei ole läbivad, ei arvestata liidet kahelõikelise puidust keskelemendiga liitena), siis tuleks üks nurgik kinnitada sarikale 4 kinnitiga. Tegelikuses ei läheks vaja niigi palju kinniteid, kuna osa toereaktsiooni võetakse vastu elementide vahelise muljumispindade hõõrdena. Antud lahenduses jäetakse hõõrdejõud vaatlusest välja ja seega peaks saadud tulemus olema tagavara kasuks.

#### **Müürlati kinnitus müüritisele:**

Müürlatt, mis saab oma koormuse sarikatelt, peab suutma toereaktsiooni edasi anda müüritisele ning selleks kinnitatakse see keermelati M10 (tugevusklass 4.6,  $f_u = 400 \text{ N/mm}^2$ ) ja keemilise ankruga. Kinniti sammuks on sarika samm 0,6 m ning kontrollida tuleb selle löikekandevõimet.

Poldi ühe ristlõike löiketugevus leitakse avaldisega:[2, lk 446]

$$F_{v,Rd} = 0,6 \frac{f_u A_s}{\gamma_{M2}}, \quad (54)$$

kus:  $F_{v,Rd}$  – poldi arvutuslik löiketugevus,

$f_u$  – poldi normatiivne tõmbetugevus,

$A_s$  – poldi keermestatud osa netopindala, M10 keermelatil =  $58 \text{ mm}^2$ ,

$\gamma_{M2}$  – poltliite tugevuse osavarutegur, = 1,25.

Poldi löikekandevõime avaldise 54 järgi on  $F_{v,Rd} = 0,6 \frac{400 \cdot 58}{1,25} = 11\,136 \text{ N}$ . Seega kinnitite

lõikekandevõime  $\frac{F_{v,d}}{F_{v,Rd}} = \frac{4730}{11\,136} = 0,43 \leq 1$  on tagatud.

#### **8.4. Toolvärgivööde ühendus postidega**

Toolvärgi postid fikseeritakse vöödesse 50x150x100 mm keeltapiga. Kuna toolvärgis nihkejõude ei esine, ei ole keeltapi arvutus vajalik. Ka tõstvad jõud on marginaalsed ja seega piisaks fikseerida vööd ja postid omavahel 8x200 mm või suuremate ehituskobadega (üle ühe posti, nähtavates kohtades sepistega).

## 9. ARUTELU

Sangaste mõisa tall-tõllakuuri kavandatava restaureerimis-rekonstrueerimisprojekti tarvis teostatud katusekonstruktsiooni tugevusarvutustes arvestati uuele plaanitavale kasutusfunktsioonile mõjuvate koormustega, mis leiti Eesti Vabariigis kehtivaid standardeid järgides. Kuna kõrguslikult on sisuliselt iga sentimeeter arvel, ei saanud katuslaele projekteerida rohkem kui 250 cm soojustust, kuigi tänapäeval soovitatakse juba oluliselt rohkem. Võimalus oleks kasutada parema soojapidavusega, kuid ka oluliselt kallimaid spetsiaalselt renoveerimiseks mõeldud soojustusmaterjale. Sellel aspektil aga siinkohal lähemalt ei peatunud, kuna töö eesmärk oli eelkõige kandekonstruktsioonide tugevusarvutused.

Kuigi tegelikkuses võib katusekalle mõnel katuseküljel olla kraad-paar suurem, lähtuti tugevusarvutuste teostamisel tagavara kasuks kaldest 20°. Uued konstruktsioonid tuleb paigaldada silmas pidades allesjäävaid olemasolevaid konstruktsioone. Autor mõönab, et teostatud jooniseid tegelikkuses otse rekonstrueerimisprojekti katusekonstruktsioonide paigaldamiseks kasutada ei saaks, kuna käesoleva töö teostamise ajal ei olnud teada, kuidas täpselt hakkavad teised uued konstruktsioonid (kandvad seinad, vahelaed) paiknema ja on vähetõenäoline, et need täpselt ühilduksid. Seda sellepärast, et oma töös proovis autor toetuda kavandatava funktsiooni eskiislahendusele, mis paraku hiliste muudatuste tõttu kasutusse ei lähe ja pole ka seepärast töös välja toodud.

Vaatamata eelnevale sai autor teostada puitkonstruktsioonide tugevusarvutusi, töötada Eesti Vabariigis kehtivate standarditega ning õppida paremini käsitlema mitmesugust töös kasutatavat arvutitarkvara. Suur osa vajalikust tegevusest käesoleva töö jaoks, mis paberil kõige paremini ei kajastu, tehti ära ARSA programmi kasutades.

Puidust katusekonstruktsiooni elementide tugevusarvutustes jälgiti, et kandevõimetele võiks jääda teatav varu. Tulemustest on näha, et enim on üledimensioneeritud toolvärgi elemendid tavalõigetes. Kuna nende mõõtmed valiti originaalist lähtuvalt, tolvärk jääb siseruumidesse osaliselt eksponeerituna ning plaanis on säilinud algupärast puitu ka võimalikult palju taaskasutada, ei ole üledimensioneering iseenesest probleem.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritööga pakuti välja ajalooliselt väärrika Sangaste mõisa tall-tõllakuuri katusekonstruktsiooni üks võimalikest lahendusvariantidest. Lahenduse kujundamisel võeti arvesse Tellija soovi saada katusekonstruktsiooniga osaline varjestus selle alla planeeritavale väliterrassile. Algselt oli autoril plaan tugineda kavandatava kasutusfunktsiooni (majutushoone-SPA) esialgsele eskiislahendusele, kuid kuna see käiku ei läinud, ei ole seda töö lisas toodud.

Hoone neli külge ei ole korrapärased, mistõttu katuse lõiked varieeruvad. Antud töös on välja toodud pikima räästaosaga katuse lõige, kuivõrd varjualuse saamine oli omaette eesmärk. Põhiosas läbi lahendatud lõiget kohaldatakse hoone loode- ja kirdetiibadele. Hoone kagu- ja edelaküljele plaanitava konstruktsiooni teise lõike lahendus on toodud lisas, kuna arvutuskäik sarnaneb juba läbilahendatule, erinevad vaid silded ja sisejõud.

Töö põhiohk on koormuste- ja puitkonstruktsioonide arvutamisel ning Eesti Vabariigis kehtivate standarditega töötamisel. Peale koormuste leidmist koostati koormuskombinatsioonid ning sisestati saadud tulemused staatika arvutusteks programmi Autodesk Robot Structural Analysis. Vastavalt leitud sisejõududele on kontrollitud kandelementide olulisemaid tugevustingimusi. Esmaste ristlõigete valikutel mängisid rolli hoone olemasolevad avariilises seisukorras kandekonstruktsioonid ning rohkemate kogemustega nõustajate soovitusel. Elementide arvutamisel ja valikul jälgiti, et tugevustingimustesse võiks jääda varu tulenevalt autori vähesest kogemusest konstruktsiooniarvutustes. Toolvärgi elemendid on enim üledimensioneeritud, kuid kuna nende mõõtmete valikul lähtuti olemasolevast, mida võimalusel kasutatakse uuesti ning nad jäävad osaliselt ka nähtavale, siis on need sellegipoolest sobilikud.

Käesolevat tööd on võimalik edasi arendada, näiteks pakkudes välja võrdluseks suuremate ristlõigete ja sammudega lahenduse ning võrrelda nende materjalikulusid.

Töö lisades on toodud teise lõike arvutuskäik, koostatud lahenduse põhilised joonised ning nende aluseks olnud olemasoleva hoone Kuubik Projekt OÜ poolt teostatud mõõdistusjooniste vaated/lõiked.

## KIRJANDUSE LOETELU

1. Laatsit, I; Needo, E; Needo, A. Sangaste mõisa tall-tõllakuur (ringtall). Muinsuskaitse eritingimused restaureerimiseks ja kohandamiseks tervisekeskuseks. Võru. Kurmik Projekt OÜ. 2015. 35 lk.
2. Ehituskonstruktori käsiraamat / Toimetaja Tiit Masso. Tallinn: „Ehitame“ kirjastus, 2010. 576 lk.
3. EVS-EN 1990:2002. Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused. 2002. Eesti Standardikeskus.
4. EVS-EN 1991-1-3:2006. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus. 2006. Eesti Standardikeskus.
5. EVS-EN 1991-1-4:2007. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. 2007. Eesti Standardikeskus.
6. EVS-EN 1991-1-1:2002. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused, mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused. 2002. Eesti Standardikeskus.
7. Roomaja looduslikud materjalid; Hõre pilliroomatt ehk hõre roomatt; OÜ Roomaja infoleht; Url-aadress: [www.roomaja.ee/files/HÕRE\\_ROOMATT – infoleht joonistega.pdf](http://www.roomaja.ee/files/HÕRE_ROOMATT_-_infoleht_joonistega.pdf) (05.03.2015).
8. Isover toodete koondtabel. Url-aadress: [www.isover.ee/projekteerimine](http://www.isover.ee/projekteerimine). (05.03.2015)
9. EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009. Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks. 2009. Eesti Standardikeskus.
10. EVS-EN 338:2009. Ehituspuit. Tugevusklassid. 2010. Eesti Standardikeskus.
11. Kalk, I. Puitkonstruktsioonid loengumaterjal. Tartu. 2015. 138 lk.

**LISAD**

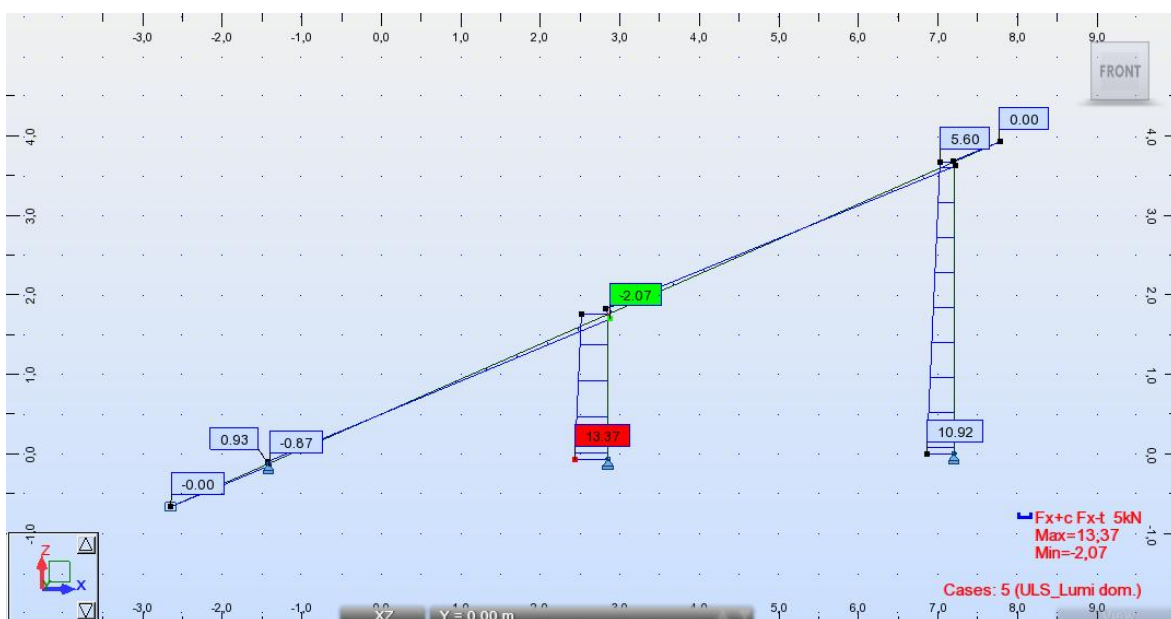
## LISA 1. LÖIKE 2-2 ARVUTUSED



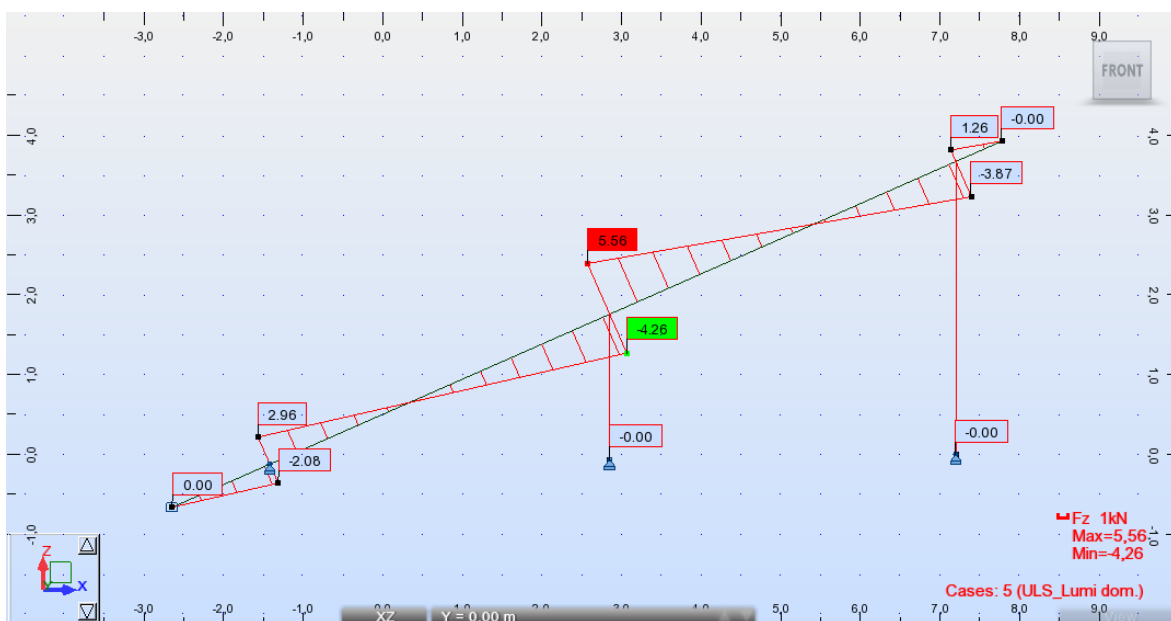
## LÕIKE 2-2 ELEMENTIDE DIMENSIONEERIMINE/KONTROLL

### Konstruksiooni kirjeldus ja sisejõudude epüürid

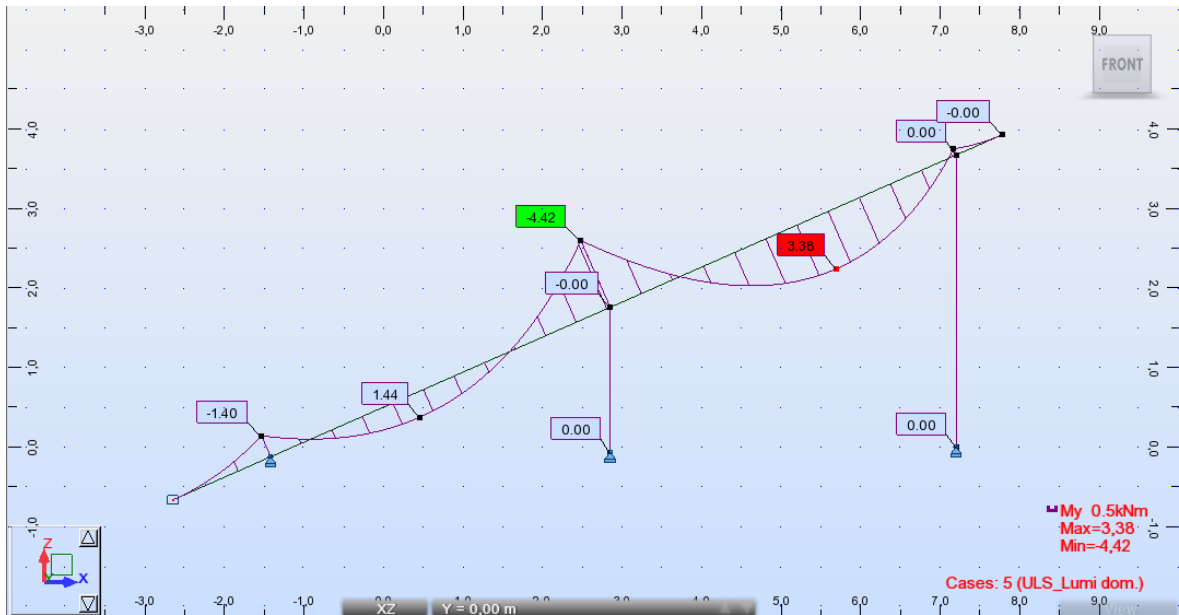
Tulenevalt suuremast sildest madalama toolvärgi ja –müürlati vahel võrreldes lõikega 1-1 esinevad lõikes 2-2 ühtlasi suuremad sisejõud sarika keskmises osas. Eelkõige puudutab lõike 2-2 dimensioneerimine sarikat, kuna see element ammendas oma potentsiaalset kandevõimet rohkem kui toolvärgi elemendid (postid-vööd). Alljärgnevatel joonistel L1.1 kuni L1.4 on toodud vaadeldava lõike sisejõudude epüürid.



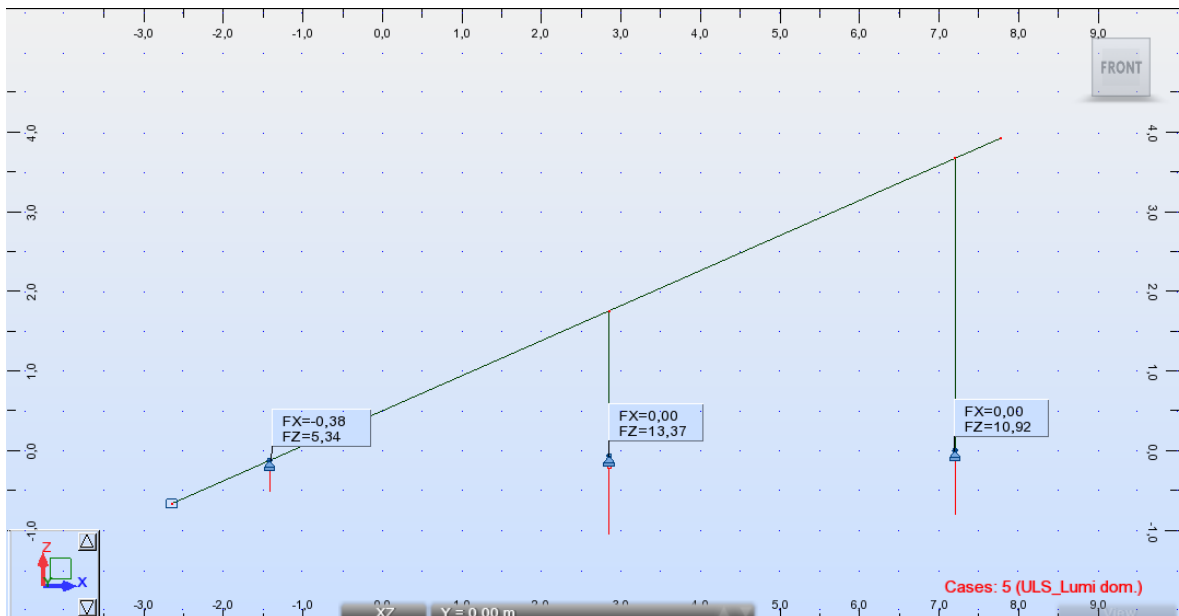
Joonis L1.1. Lõike 2-2 pikijõu epüür



Joonis L1.2. Lõike 2-2 põikjõu epüür



**Joonis L1.3.** Lõike 2-2 paindemomendi epüür



**Joonis L1.4.** Lõike 2-2 toereaktsioonid

Epüüridelt on näha, et eelkõige on käsitletavas lõikes suuremad paindemoment ja põikjõud. Sellest tulenevalt kontrollitakse lõike 2-2 sarikat paindele ja nihkele, kuna need osutusid ohtlikeimaks lõikes 1-1. Paindekandevõime kontrollil hüljatakse seejuures pikijõudude mõju nende väiksuse tõttu. Ühtlasi on epüüridelt näha, et toolvärgi postide pikijõud on sarnases suurusjärgus lõikega 1-1 ja siinkohal nende kandevõimet üle ei kontrollita, kuna see oli suure varuga tagatud.

## Sarika paindekandevõime kontroll

Kontrollides esmalt lõikele 1-1 vastava sarika sobivust, saadakse selle ristlõike karakteristikud punktist 6.2.1:

$$\text{Arvutuslik paindetugevus: } f_{m,d} = 14,77 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{Ristlõike pindala: } A_{ef} = 10 \cdot 10^3 \text{ mm}^2.$$

$$\text{Inertsimoment: } I_y = 3,333 \cdot 10^7 \text{ mm}^4.$$

$$\text{Vastupanumoment: } W_{y,ef} = 3,333 \cdot 10^5 \text{ mm}^3.$$

$$\text{Arvutuslik paindepinge lõikes 2-2 seega: } \sigma_{m,y,d} = \frac{4,42 \cdot 10^6}{3,333 \cdot 10^5} = 13,26 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{Sarika paindekandevõime: } \frac{13,26}{14,77} \approx 0,90 < 1.$$

Järeldub, et lõikes 1-1 toodud ristlõike mõõtmetega sarikas suudab vastu võtta teises lõikes esinevat paindemomenti. Sarika kiive on takistatud tihedasammulise roovitusega.

## Sarika nihkekandevõime kontroll

Nihkepingete kontroll sisselõikega toepiirkonnas käib vastavalt punktile 6.2.3. Kuigi antud lõikes on maksimaalne põikjõud kohas, kus sisselõige alles algab, käsitletakse ristlõiget tagavaru kasuks nii, nagu mõjuks suurim jõud sisselõike sügavaimas punktis. Suurim põikjõu arvutusväärtus jooniselt 9.2:  $V_{Ed} = 5,56 \text{ kN}$ .

$$\text{Arvutuslik nihkekandevõime: } f_{v,d} = 0,8 \cdot \frac{4,0}{1,3} = 2,46 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{Arvutusliku nihkepinge väärtus vastavalt avaldisele 23: } \tau_d = \frac{1,5 \cdot 5,56 \cdot 10^3}{50 \cdot 200} = 0,834 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{Tugevustingimus nihkele avaldise 23 järgi: } \frac{\tau_d}{k_v \cdot f_{v,d}} = \frac{0,834}{0,547 \cdot 2,46} \approx 0,62 < 1$$

Seega ristlõike nihkekandevõime toel on tagatud.

## Sarika jätku dimensioneerimine

Lõike 2-2 sarikat tuleks jätkata pikkuse tõttu kas madalama toolvärgi suhtes räästa pool kaugusel ~1,4 m või siis hoopis harja pool kaugusel ~0,96 m, kuna neis punktides on

paindemoment ligilähedane nullile (joonis L1.3). Antud kohtadest suuremad piki- ja põikjõud mõjuvad viimasena mainitus, seega dimensioneerides jätku sellesse kohta, peab sarnane jätk vastu pidama ka teises jätkukohas. Vastav resultantjõud, mida jätk peab suutma vastu võtta, on:  $F_{Vd} = \sqrt{3,66^2 + 1,45^2} = 3,94 \text{ kN}$  (komponendid ARSA programmist). Kasutatakse siledast terastraadist ( $f_u = 600 \text{ N/mm}^2$ ) ümaraid naelu min.  $5 \times 100 \text{ mm}$ , auke ette puurimata. Täpsemate kirjelduste jaoks on punktis 6.2.6 samane lahendus ning kuna seal on suurem osa tööst juba tehtud, siis seda siin enam ei korrata.

Vajalik kinnitite arv lõike 2-2 sarika jätkus on seega:  $n = \frac{3,94 \cdot 10^3}{1129} = 3,49 \text{ tk} \rightarrow 4 \text{ tk}$ . Nii saab moodustada 2 rida, kummaski 2 naela. Kuna naelte arv ja mõõdud ning samuti sarikad on mõlemis lõikes samad, saab järelikult kasutada ühesugust jätkusõlme (joonis 6.6 punktis 6.2.6).

### Sarika jätku nihe

Kontrollitakse lisaks liite nihet, et võrrelda seda soovituslike väärtustega. Liite nihkearvutus tehakse normkoormusega, mille resultant sõlmes on  $F_k = 2,95 \text{ kN}$  (ARSA programmist).

Auke ette puurimata naelliite hetkeline nihkemoodul nihkepinna kohta:

$$K_{ser} = \frac{420^{1,5} \cdot 5^{0,8}}{30} = 1039,7 \text{ N/mm}, k_{def} = 2 \cdot 0,8 = 1,6.$$

Kinnituselemendi lõplik nihkemoodul kasutuspiirseisundis on:

$$K_{ser,fin} = \frac{1039,7}{1+1,6} = 399,9 \text{ N/mm}$$

Liite nihe kandepiirseisundis avaldise 39 järgi on seega:  $u_{ser} = \frac{2,95 \cdot 10^3}{4 \cdot 399,9} = 1,84 \text{ mm}$

Arvestades, et järeleandvate liidete deformatsiooni suuruseks nende kandevõime täielikul kasutamisel on katsetuslikult saadud naagelühendustes  $2 \text{ mm}$  ning ühendustes põiki kiudu  $3 \text{ mm}$ , on antud liite nihe soovituslikes piires.[11, lk 71]



1918

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**

TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

## LISA 2. GRAAFILINE OSA

# SANGASTE MÕISA TALL-TÕLLAKUURI KATUSE KANDEKONSTRUKTSIOONI LAHENDUS

ROOF'S LOAD BEARING STRUCTURES OF SANGASTE MANOR'S STABLE-  
COACH GARAGE

Üliõpilane: **Olav Mõttus** -----

Juhendaja: **Aime Ruus** -----

**Preet Russak** -----

Tartu, 2015

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

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood: 105337

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: ..... (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: ..... (allkiri)

## JOONISED

Olemasolevad mõõdistusjoonised:

1. Lõiked ja vaated	M 1:200	A2
---------------------	---------	----

Teostatud katusekonstruktsiooni joonised:

2. Sarikate ja toolvärkide plaan	M 1:100	A1
3. Katuselõige 1-1	M 1:50	A3
4. Katuselõige 2-2	M 1:50	A3
5. KK ja VS	M 1:10	A3
6. Sõlm 1 (lõike 1-1 räästasõlm)	M 1:10	A3
7. Sõlm 2 ja 3 (müürivöö sõlm)	M 1:10	A3
8. Sõlm 4 (lõike 1-1 harjasõlm)	M 1:10	A3
9. Sõlm 5 (lõike 2-2 harjasõlm)	M 1:10	A3
10. Sõlm 6 (lõike 2-2 räästasõlm)	M 1:10	A3