



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

**ÕISU MÕISA PEAHOONE
KATUSEKONSTRUKTSIOONIDE TEHNILISE
SEISUKORRA HINDAMINE JA RESTAUREERIMISE-
RENOVEERIMISE ESIMENE ETAPP**

Ehitismälestis Õisu mõisa peahoone, 18.-19. saj., reg. nr. 14449

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE ÕISU MANOR'S ROOF
STRUCTURES AND THE FIRST PHASE OF RESTORATION AND RENOVATION

Magistritöö
Ehitiste restaureerimise erialal

Üliõpilane: **Janno Järvekülg**

Juhendaja: **Kalle Pilt**

Tartu, 2015

ABSTRACT

Järvekülg, J. Assessment of the Technical Condition of the Õisu Manor's Roof and the First Phase of Restoration and Renovation. Tartu, 2015. 86 pages, 27 photos, 3 tables, 21 illustrations. 4 A2, 1 A3 and 9 A4 format drawings. 10 appendices. Master's thesis is written in Estonian language.

Keywords: assessment of the technical condition, restoration, renovation, baroque architecture, structure calculations, strength calculations.

The purpose of this masters's thesis is to assess the technical condition of the Õisu Manor and offer structural solution for restoration and renovation. The thesis also offers an insulated solution for the ceiling of the building to improve its energy efficiency. The main reason for restoring and renovating the roof's structures is to conserve the building and to protect it from weather conditions.

The manor is situated in Halliste parish in Viljandi county and it is an object of cultural heritage. It is a one-storey baroque style building with a galvanized steel roof. The architectural project does not foresee any functions for the attic, though it may serve as an exhibition room due to a smoke oven attached to a chimney.

The thesis offers the solution for the roof's structures in the first phase. Therefore, further studies and calculations need to be conducted based on the thesis to conclude it as a restoration-renovation project.

Drawings and construction details were created in AutoCad 2011. Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014 was used to calculate internal forces in structures. Rinntech Resistograph 4453P was used for assessment of timber elements. All calculations were performed according to standards valid in the Republic of Estonia. Structural analysis offers a solution for rafters and joists situated in the original part of the manor. Rationality and historical value were taken into account while selecting new building materials.

SISUKORD

Abstract.....	2
Sissejuhatus.....	5
Ajalooline ülevaade	6
1. Materjal ja meetodika	9
1.1. Konstruktsiooni arvutuse põhimõtted	9
1.2. Kasutatav normdokumentatsioon.....	10
1.3. Kasutatud arvutiprogrammid	10
1.4. Uuringuks kasutatud seadmed	11
2. Arvutused piirseisundite meetodil	12
2.1. Hoone katusekonstruktsioonide tehniline seisukord.....	12
2.1.1. Pärlinkonstruktsioonid	12
2.1.2. Sarikad ja pennid.....	15
2.1.3. Vahelagi	18
2.1.4. Roovitis ja neelulaudis	19
2.1.5. Katusekate ja vihmaveesüsteem.....	21
2.1.6. Kaarjad katuseuugid, korstnad ja räästakarniis	23
2.2. Lumekoormus	30
2.2.1. Lumekoormus normaalolukorras	30
2.2.2. Lumekoormus lume kuhjumisel korstnate taha	30
2.3. Tuulekoormus	32
2.3.1. Tippkiirusrõhk.....	33
2.3.2. Hoone karakteristikud ja kahekaldeliste katuste tuulerõhud (tuul piki hoonet).....	33
2.3.3. Hoone karakteristikud ja kahekaldeliste katuste tuulerõhud (tuul risti hoonet).....	36
2.4. Katusekonstruktsiooni koormused.....	38
2.4.1. Katusekonstruktsiooni omakaalukoormus	39
2.4.2. Sarikatele mõjuvad joonkoormused.....	40
2.5. Vahelae konstruktsiooni koormused	47
2.5.1. Vahelae konstruktsiooni omakaalukoormus	47
2.5.2. Vahelae konstruktsiooni difusiooni arvutus.....	48
2.5.3. Vahelae konstruktsiooni kogusoojustakistus	51
2.5.4. Vahelaetaladele mõjuvad joonkoormused	54
2.5.5. Vahelaetaladele mõjuvad punktkoormused	54
2.6. Sisejõudude epüürid I ehitusjärgu osa kriitilises lõikes	56

2.6.1.	Kandepiirseisundi koormuskombinatsioonid.....	57
2.6.2.	Kasutuspiirseisundi (Normkombinatsioon) koormuskombinatsioonid.....	62
2.7.	Sarika kandevõime arvutus	63
2.7.1.	Nõrgestatud ristlõike kandepiirseisundi survekandevõime pikikiudu koos paindega kriitilises lõikes	63
2.7.2.	Nõtke kandepiirseisundis	65
2.7.3.	Nihe kandepiirseisundis	68
2.7.4.	Sarika piirläbipainde kontroll kasutuspiirseisundis	70
2.8.	Laetala kandevõime arvutus.....	71
2.8.1.	Nõrgestatud ristlõike kandepiirseisundi tõmbekandevõime pikikiudu koos paindega kriitilises lõikes	71
2.8.2.	Nihe kandepiirseisundis	73
2.9.	Sarika ühendusjätku kandevõime arvutus.....	74
2.9.1.	Sarika otsa survekandevõime.....	74
2.9.2.	Kinnitite valik	75
3.	Tulemused ja arutelu.....	76
3.1.	Katusekonstruktsiooni lahendus	76
3.1.1.	Ettevalmistus- ja lammutustööd.....	76
3.1.2.	Restaureerimistööd.....	77
3.1.3.	Renoveerimistööd	77
3.2.	Konstruktsioonid hoone katusel.....	78
3.2.1.	Vihmaveesüsteem	78
3.2.2.	Korstnad.....	78
3.2.3.	Karniis.....	79
3.2.4.	Katuseuugid	79
3.3.	Vahelaekonstruktsiooni lahendus	79
3.4.	Juhised edasiseks tegevuseks	80
	Kokkuvõte.....	81
	Kasutatud kirjandus	82
	Joonised	84
	Lisad.....	86

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö peamiseks eesmärgiks on Õisu mõisa peahoone säilitamine. Katusekonstruktsiooni restaureerimise ja renoveerimisega tagatakse hoone kaitse ilmastikutingimuste eest, lahendatakse pööningu niiskusrežiimiga seotud probleemid ja vähendatakse hoone soojakadusid. Kuna tegemist on muinsuskaitsealuse objektiga, on projekteerimisel lähtutud hoonele koostatud muinsuskaitse eritingimustest, mis seavad piirangud katuse gabariitidele ning kultuuriväärtuslike detailidega ümberkäimisele. Lisaks on arvesse võetud hoone remont-restaureerimise eelprojekti ning välisviimistluse põhiprojekti, mille on koostanud OÜ Vana Tallinn.

Kui ajalooliselt on mõisad olnud isemajandavad üksused, kus tegeleti näiteks looma- ja viljakasvatuse ning õlle- ja viinatootmisega, siis tänapäeval on mitmed restaureeritud mõisad leidnud rakendust muuseumide või avaliku sektori asutustena nagu näiteks koolid ja lasteaiad. Samuti pakutakse neis toitlustus- ja majutusteenust ning korraldatakse erinevaid üritusi.

Õisu mõis, eelkõige selle peahoone on viimasel ajal leidnud kasutust just ürituste korraldamise kohana. Nii on seal toimunud teatrietendusi ja pulmi ning juba mõned aastad on mõisas leidnud aset veinifestival. Eelprojekti pole pööningule kindlat otstarvet ette nähtud, kuid seda on kavas tulevikus külastajatele eksponeerida, seda eelkõige seal asuva korstna külge ehitatud suitsuahju tõttu. Kuna ainus ligipääs katusele on läbi pööningu, kasutatakse seda ka katuse hooldustöödel.

Magistritöö sisuliseks eesmärgiks on muinsuskaitse eritingimusi ja nõudeid silmas pidades välja pakkuda tuulutatava katusealuse ja soojustatud vahelae konstruktiivne lahendus, mis oleks kooskõlas EVS-standardite nõuete ja tingimustega.

Käesoleva magistritöö autor soovib tänada Kalle Pilti (Puleium OÜ) sisulise ja vormistusliku poole juhendamise ning uuringuks vajalike seadmete võimaldamise eest. Samuti avaldatakse tänu Indrek Tirmastele (AS VMT Ehitus) abi eest arvutusskeemi koostamisel ning muude arvutusi puudutavate küsimuste lahendamisel. Lisaks tänab autor Elo Sova (OÜ Vana Tallinn) ning Sven Reissi (Proff Praktik OÜ) abi eest sõlmlahenduste koostamisel ning muude jooksvalt tekkinud küsimuste korral. Muinsuskaitsealase nõu eest tänatakse Anne Kivi (Muinsuskaitseamet). Magistritöö idee eest avaldatakse tänu Jaak Sulele (VMT Grupp AS) ning Paavo Lampinenile (SIO Investments AS).

Ajalooline ülevaade

Õisu mõis (saksa k. *Euseküll*) [1], mis ei kuulu üksnes Viljandimaa, vaid kogu Eesti kõige väljapaistvamate mõisahoonete hulka, [3] rajati 16. sajandi keskel. 1744. aastal kinkis Vene keisrinna Jelizaveta Petrovna mõisa admiral Peter von Siversi lesele. Von Siversite aadliperekonna omandusse jäi mõis kuni 1919. aasta võõrandamiseni. [1]

Mõisakompleks ehitati esinduslikult välja 18. sajandi teisel poolel. 1760. aastatel valmis seal ühekorruseline barokne peahoone, mille külgrisaliite kaunistasid kolmnurkfrontoonid, keskrisaliiti aga kaarfrontoon. Ka hoone tagafassaadilt võib leida kolmnurkfrontooni. Kohe selle järel kerkisid kõrvalhooned – neist kaunimad on peahoone vastas asuvad kaarjad ait ja tall-tõllakuur, mille esikülgi ilmestavad lahtised puitpostidele toetuvad katusealused. 19. Sajandi algul peahoone fassaadi muudeti, lisades kaheksa rühmitatud sambaga portikuse ning esindusliku trepi. Tõenäoliselt tollal hakkasid portikuseääri kaunistama ka kaks hilisbarokset marmorkuju – õigusemõistmise jumalanna Justitia ja tarkuse võrdkuju Prudentia [2], mille tõenäoline autor on Carrara meister Giovanni Antonio Cybei. Nende kujude näol on tegu ühtede kõige väärtuslikumate kunstiteostega meie mõisates ning pikka aega olidki need kujud Õisu mõisamaja peamisteks eheteks. Paraku ei olnud neid skulptuure aastakümnete jooksul korralikult hooldatud, mistõttu neisse olid tekkinud praod ja 2000. aastal tuli nende restaureerijail kujud peatrepilt maha võtta ning paigutada ümber fuajeesse. [3]

Hoone tagakülj laskus kallakuna kilomeetri kaugusel asuva Õisu järveni - sinna kujundati kaunis barokkpark, kust avanes kauneid vaateid nii hoonele kui järvele. Viimastel aastatel on tagakülje kesktelje siht kuni järveni ka välja puhastatud. [1] Tõenäoliselt 19. sajandi lõpul täiendati hoone pargikülge historitsistliku palkoniga ning kujundati ümber enamik interjööre. Kahtlemata on Õisus olnud üks rikkalikumalt sisustatud mõisamaju. Paraku pole aga nüüd, kui seal on üle kolmveerand sajandi paiknenud kool, endisaegsest hiilgusest enam palju järel. Hoonele on iseloomulik avar vestibüül ja saal hoone keskteljel. Sisekujundus on klassitsistlik, välja arvatud mõned baroksed siseuksed. Saalis asuvad valged ampiirstiilis riigikotka motiividega kroonitud kahhelahjud, millele 19. sajandi teisel poolel lisati neorokokoo raamistuses peeglid ja suur messingist laelühter. Fuajees on ka mõisa omaaegne „sõomakell“, mis on valatud 1824. aastal Tartu meistri W.I. Strandtmanni töökojas. [3]

Vahetult aida ja tall-tõllakuuri tagust ala teisel pool sissesõiduväravat läbis ajalooline Viljandi-Halliste maantee. Lisaks nimetatud maanteele sai mõisahoovi sissesõiduvärava juures alguse ka kagusse suunduv nelja kilomeetri pikkune sihitee, mis kulges Morna mõisa suunas. Selle tee esimesed kilomeetrid olid kujundatud kauni alleena. [1]

Võõrandamisjärgselt alustas mõisas 1922. aastal tööd piimanduskool. Selle järglane Õisu Toiduainetööstuse Kool tegutses mõisas aastakümneid. Seejärel kuulus mõis Olustvere Tehnika- ja Maamajanduskoolile. [1] Tänapäevaks on mõisakompleks eraomandis.

Mõisasüdamest kirde ja põhja poole on püstitatud rida uusehitisi, millega Õisu on muutunud kaasaegseks maa-asulaks. Viljandi-Halliste maantee on kaasajal õgvendatud ning ei kulge enam mõisa sissesõiduvärava eest, vaid pool kilomeetrit lääne poolt mõisa ja järve vahelt. Mõisasüdamest kolme kilomeetri jagu kagus, Morna poole suunduva tee kirdeküljel väikesel metsakünkal, asub mõisaomanike von Siversite perekonnakalmistu. [1]



Pilt 1. Aerofoto mõisasüdamikust. Ees kõvertall ja –ait, taamal peahoone, paremal valitseja- ja teenijatemaja. [4]



Pilt 2. Õisu 1794. aastal. Joonistus J. Ch. Brotze kogus Läti Akadeemilises Raamatukogus. [4]



Pilt 3. Õisu mõisapark, õhuvaade. [4]

1. MATERJAL JA METOODIKA

1.1. Konstruksiooni arvutuse põhimõtted

Konstruksiooni arvutustega kontrollitakse, et ei ületataks piirteisundite tingimusi. Kontrollitakse kõiki võimalikke arvutusolukordi ja neile vastavaid võimalikke koormusjuhte ning –kombinatsioone. Kandepiirteisundi ületamiseks loetakse konstruksiooni purunemist, stabiilsuse kaotust või muid kahjustusi, millest tulenevad konstruksiooni kandevõime kaotus ja oht inimestele. Kasutuspiirteisundid lähtuvad konstruksiooni normaalse kasutamise nõuetest, inimeste mugavusest ja ehitise välimusest (deformatsioonid, vibratsioonid, mittekanvate elementide kahjustused). Piirteisundi kontrollimisel lähtutakse koormuse normväärtusest, mis määratakse kas nimiväärtusena standardist või kooskõlastatult tellijaga projektdokumentatsioonis. Arvutused tehakse arvutusväärtustega, mis saadakse normväärtuste korrutamisel osavaruteguriga. Osavarutegur võtab arvesse koormuse võimalikku hälvet normväärtusest ebasoodsamas suunas. Koormusi rakendatakse arvutustes kombinatsioonidena vastavalt valitud koormusjuhtudele ja piirolukordadele. Koormuskombinatsioonis korrutatakse muutuvkoormuse arvutusväärtus kombinatsiooniteguriga, mis arvestab samaaegselt mõjuvate muutuvkoormuste kõige ebasoodsamate väärtuste samaaegse mõjumise tõenäosust. [5, lk. 180]

Koormuse F arvutusväärtuse F_d üldkuju: [5, lk. 181]

$$F_d = \Psi \cdot \gamma_f \cdot F_k \quad (1)$$

Kus: Ψ – kombinatsioonitegur;

γ_f – koormuse osavarutegur;

F_k – koormuse normväärtus.

Alaliste või ajutiste arvutusolukordade kandepiirteisundi koormuskombinatsioonid: [5, lk. 181]

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

Normkombinatsioon, mida rakendatakse taastumatute kasutuspiirteisundite puhul valemiga: [5, lk. 181]

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

Puitmaterjali omaduse arvutusväärtus X_d määratletakse kujul: [5, lk. 504]

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (4)$$

Kus: k_{mod} – koormuse kestuse ja konstruktsiooni niiskuse mõju arvestav tugevusparameetri modifikatsioonitegur;

γ_M – materjali omaduste osavarutegur.

1.2. Kasutatav normdokumentatsioon

Konstruktiiivne projekt koostatakse Eesti Vabariigis kehtivate EVS-standardite alusel.

Üldine

- EVS-EN 1990:2002/A1:2006 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused.
- EVS-EN 908-1:2010 Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire.

Koormused

- EVS-EN 1991-1-1:2002 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused.
- EVS-EN 1991-1-3:2006 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus.
- EVS-EN 1991-1-4:2007 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus.

Puitkonstruktsioonid

- EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks.

1.3. Kasutatud arvutiprogrammid

- Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014
- PTC MathCad 14
- Autodesk AutoCad 2011
- Microsoft Office Excel 2010
- Microsoft Office Word 2010

1.4. Uuringuks kasutatud seadmed

- Resistograaf 4453P (Rinntech)
- Niiskusemõõtja Brookhuis FME moisture detector

2. ARVUTUSED PIIRSEISUNDITE MEETODIL

2.1. Hoone katusekonstruktsioonide tehniline seisukord

Vaadeldav Õisu mõisa peahoone on ühekorruseline kõrge soklikorruse ja kahekaldeliste viilkatustega kiviehitis. Hoone katusekonstruktsioon on kirvega tahatud puitelementidest pennsarikatel ja pärlinkonstruktsioonidel, mis on sõlmedes omavahel ühendatud keeltapi ja puitnaagliga. Pärlinkonstruktsioonid, sarikad, pennid ja roovid on kaetud savisuperfosfaatvõõbaga [6], mis kohati koorub katusealuse kehva niiskusrežiimi tõttu.

Hoonele eelnevalt teostatud ehitustööd on jagatud nelja järku ning neid on kujutatud lisas 1.

Vaated hoone eri külgedele, mille on koostanud OÜ Vana Tallinn, on esitatud lisades 2...5.

Joonised 01...14, millele tekstis viidatakse, asuvad magistritöö lõpus.

Töös esitatud fotode pildistamissuunad on märgitud joonistel 01...03.

Katusekonstruktsioonide tehnilise seisukorra hindamisel on kandvaid puitelemente kontrollitud resistograafia, et tuvastada võimalikke putukate, seente või niiskuse poolt põhjustatud peidetud kahjustusi. Puidust kandekonstruktsioonide niiskusesisaldus on määratud niiskusemõõtja abil.

2.1.1. Pärlinkonstruktsioonid

Pärlinkonstruktsioonide elemendid on ristlõikega 160...170x190...200 mm. Osa toolvärgi poste on ühe või kahe kaldtoega. Kui esimese ehitusjärgu pärlinkonstruktsioonide postid toetuvad otse vahelaetaladele, siis kolmandas ehitusjärgus on pärlini postide alla paigaldatud aluspuu ristlõikega 160x170 mm. Ilma aluspuuta postid toetuvad igale neljandale laetalale ja talad on seega ebavõrdselt koormatud. [7, lk. 6] Hoonest väljaulatuva talveaia osas on sarika otsad seinaga betoneeritud ning toetuvad müürlatile.

Üldiselt on pärlinkonstruktsioonid heas seisukorras. Materjali niiskusesisaldus jäi vahemikku 15...20%. Alades 1 ning 2 (vt. joonised 01 ja 02) esineb väiksemaid pärlini vajumeid ning tappidest väljalangemist pärlini ja penni sõlmedes, mille põhjuseks on see, et sealt on eemaldatud toolvärgi postid ning koormus pärlinile on pikema sildeava tõttu suurenenud. Konstruktsioonide uurimise käigus avastati alas 2 kahe pärlini liitekoht, mis on ulatuslikult kahjustunud. Enamikul pärlinitel, postidel ning kaldtugedel esineb pikisuunalisi lõhesid kogu elemendi pikkuses. Lõhede maksimaalne laius on 10 mm. Visuaalse vaatluse ning resistograafia katsetamise tulemusel avastatud pärlinkonstruktsioonide kahjustused on esitatud joonisel 02.



Foto 1. Pärlinkonstruksioon hoone keskosas ühe ja kahe kaldtoega postidel. Näha on ka lõigatud penni.



Foto 2. Võrdluses esialgne ja hilisem lahendus. Viimase korral on post toetatud aluspuule.



Foto 3. Pärlini posti ja kaldtugede sõlm. Ühenduses on kasutatud puitnaaglit.



Foto 4. Tapist välja langenud pärlin.

2.1.2. Sarikad ja pennid

Hoonele on selle eluea jooksul teostatud juurde- ja ümberehitusi ning katuse kandekonstruktsioonide puhul esineb erinevaid lahendusi. Seda ilmestavad lõiked (vt. joonised 04...07). Lõike 1-1 puhul on näha erisust kahe katusepoole vahel, millest ühte on rihitud räästatõstjatega, et saavutada katuse sirgjooneline jooks harjast räästani. Katuse teine pool on aga jäetud rihtimata ning omab siiani algupärast kuju, mis oli algselt ilmselt kogu hoonel, mil ka vihmaveesüsteemina olid kasutusel sottomrennid (vt. joonis 04). Räästatõstjaid on rakendatud kogu esimese ehitusjärgu osas. Üksikud räästatõstjad on jäetud paigaldamata või on need hiljem eemaldatud. Hoone keskosas kannavad katust lisaks pärlinkonstruktsioonile kolm keskpõstita kolmnurkturvikut, mille kaldtoed lõikuvad läbi toolvärgi postide. [7, lk. 6] Sarikate ristlõikeks esimese ehitusjärgu osas on 180x230 mm.

Kui esimese ehitusjärgu osas toetuvad sarikad läbi tappühenduse otse laetaladele, siis kolmanda ehitusjärgu osas on kasutatud teistsugust toelahendust. Sarika ja laetala vahele on lisatud vertikaalne tugi, mis ühendab neid läbi tappliidete. Sarikate ristlõikeks kolmanda ehitusjärgu osas on 160x190 mm (vt. joonis 05).

Hoonest väljaulatava talveaia osas on katuse alla rajatud sarikatel vahekatuse, mille asukohta on näha talveaia otsaseinas valge viilu kujul. Seega pole tegemist lisandusega, vaid on rajatud juba algselt 19. saj. juurdeehituse käigus. Vahekatuse alumist poolt on võimalik vaadelda, kuid ülemisse ossa puudub juurdepääs. Alumise osa sarikad toetuvad müürlatile, mis on seinaga betoneeritud. Talveaia vahekatust kandvate sarikate ristlõikeks on 150x180 mm (vt. joonis 07).

Sarikad on üldiselt heas korras. Materjali niiskusesisaldus jäi vahemikku 17...22%. Resistograafia katsetades ilmnes, et osa sarikaid on räästa suunas tugevate niiskuskahjustustega, mis on tingitud katuse läbijooksudest. Lisaks on sarikaid ja penne hilisemate korstnate rajamisel lõigatud. Kõige ohtlikumad sarikate katkestused asuvad alades 1 ja 2, kus kogu sarikapaarist on alles vaid ühel pool pärlinini ulatuv osa ning sarikate asemel täidavad kandvat rolli puitprussid. Lisaks on neis alades teadmata põhjusel umbes 1,5 m pikkuselt maha lõigatud kahe kõrvuti asuva sarika alumised otsad. Enamikel sarikatel esineb pikisuunalisi lõhesid. Nagu pärlinkonstruktsioonide, nii ka sarikate lõhede maksimaalne laius on 10 mm.

Kuna vaatluse käigus konstruktsioone ei avatud, puuduvad ammendavad teadmised sarikate peidetud kahjustustest, mis võivad avalduda kinnimüüritud räästasõlmedes hoone esimese ehitusjärgu osas ning seinaga betoneeritud sarikate otstel talveaia osas. Kinni müüritud või -valatud räästasõlmi on võimalik uurida boreskoobiga, mida käesolevas töös ei tehtud. Katusepleki valtsimise kehvast kvaliteedist tõttu sarikate roovitise pooltel küljel esinevaid läbijooksudest tingitud niiskuskahjustusi ei tuvastatud, kuid neid võib ilmuda konstruktsioonide avamisel. Resistograafia katsetamise tulemusel avastatud sarikate kahjustused on esitatud joonisel 01.



Foto 5. Kolmnurksed kandurid hoone keskosas.



Foto 6. Lõigatud sarikas ja penn ning neid asendav pruss.



Foto 7. Ilma räästatõstjateta algupärane lahendus. Räästas on hiljem silikaattelistega kinni müüritud.



Foto 8. Kolmanda ehitusjärgu sarikate toestamise lahendus. Räästas pole nii ulatuslikult kinni müüritud, kui varasema ehitusjärgu osas.



Foto 9. Prussile toetuvad ja seinä betoneeritud sarikad talveaia osas.

2.1.3. Vahelagi

Pööningu vahelagi on puittaladel laudise- ja liivatäidisega. [6] Materjali niiskusesisaldus jäi vahemikku 15...19%. Vahelagi on soojustamata, 150...200 mm paksune liivakiht on siiani täitnud tulekaitselist ülesannet. Laetalad on massiivsed ja paiknevad tihedalt. Hoone keskosas koosnevad laetalad kahest omavahel jätkseotisega ühendatud talast, mis on liitekohas müürile toetatud. Resistograafia katsetades selgus, et talade kõrgus on 300 mm. Talade laius on ~300 mm ja samm võrdne sarikate sammuga. Talveaia osas on talade ristlõige 75x200 mm. Esimese ehitusjärgu osas toetuvad pärlkonstruktsioonid laetaladele ilma alusvööta, mistõttu on laetalad ebahühtlaselt koormatud.

Teise ehitusjärgu osas on teostatud vahelaetalade parandusi jätkamise näol. Kasutatud on küll silmnähtavalt teistsuguse ristlõike ja viimistlusega elemente, kuid kokkuvõttes ehitustehniliselt korrektselt. Samuti on laetalade vahele laotud müüritis karniisi vastukaaluks.

Visuaalse vaatluse põhjal talade ebapiisavast kandevõimest tingitud deformatsioone vahelagedel ei tuvastatud. Küll aga esines neil pikaajalistest katusekatte läbijooksudest tingitud niiskuskahjustusi. Resistograafia kontrollides osutusid kahjustused aga pinnapealseteks ning talade kandevõimele mitte

ohtlikeks. Nagu sarikate puhul, nii ka laetalade ohukohtadeks on kinnimüüritud räästasõlmed, kus võib esineda niiskuskahjustusi. Neid sõlmi on soovitatav uurida boreskoobiga.



Foto 10. Vahelae talade jätkamine. Ühendus on teostatud poltliite ja kobade abil.

2.1.4. Roovitis ja neelulaudis

Hoone katusekonstruktsiooni ulatuses esineb kolme tüüpi roovitist. Esimese ehitusjärgu osas on kasutatud laudu ristlõikega 250..270x30...40 mm, sammuga 200...400 mm. Kolmanda ehitusjärgu osas on aga kasutatud roove 50x50 mm, sammuga ~180 mm. Talveaia vahekatuse roovideks on ~200 mm laiune tihe roovitis. Talveaia ülemise katuse roovide kohta info puudub.

Roovilaudisel on näha pruune niiskumise märke, mis on tekkinud õhus sisalduva veeauru kondenseerumisel umbses katusealuses. Ebakorrapärast niiskusrežiimi tekitab ka pööningule rajatud keskküttetorustik ning esineb katuse läbijooksudest põhjustatud niiskuskahjustusi. Suuri kahjustusi leidub eelkõige harja- ja räästapiirkonnas ning katuse läbiviikude ehk korstnate ümbruses, mis annab märku katusepleki paigaldamise kehvast kvaliteedist. Kohati on laudis seenkahjustuste tagajärjel värvunud mustaks.

Katuse neelutagedena on kasutatud roovidega võrdse ristlõikega laudist, mis lõikab roove neelukohtades ning toetub sarikatele. Neelulaudis on räästa piirkonnas suurte niiskus- ning kohati ka seenkahjustustega.



Foto 11. Näide kahjustunud harjalaudisest.



Foto 12. Näide läbijooksust tingitud harjalaudise ja lõigatud sarika niiskuskahjustustest korstna ümbruses.



Foto 13. Näide pruunikate niiskujälgedega roovlaudisest.

2.1.5. Katusekate ja vihmaveesüsteem

Hoone katusekatteks on valtsitud tsingitud katuseplekk, mille ehitustehniline seisund on ebarahuldav [6]. Ühekordsete, kohati lahti tulnud valtside tõttu lekib katus mitmest kohast. Lisaks esineb kahjustusi iga läbiviigu ümbruses, mille olukorda on hiljem üritatud parandada tsementmördiga täitmisega. Katusekate on kohati roostetanud ning üksikutes kohtades on näha kuni 8 mm-seid auke, millest on kaableid läbi veetud.

Vihmaveesüsteemina on tõenäoliselt algselt olnud kasutusel sottrennid. Mingil perioodil aga asendati need ripprennidega, seda ilmselt 19. saj. ümber- ja juurdeehitustööde ajal, kui katuse kuju räästatõstjate abil muudeti. Eelnevat saab järeldada sellest, et kolmanda ehitusperioodi juurdeehitused teostati juba uut katusekuju järgides.

Käesoleval ajal hoonel vihmaveesüsteem puudub. Ripprennid on eemaldatud ning seeläbi on hoone ilmastikutingimustele eriti vastuvõtlik. Mitmel pool sokli ning karniisi piirkonnas on näha vihmaveesüsteemi puudumise tagajärjel tekkinud lagunemist, mistõttu on selle rajamine hoone säilitamise seisukohalt eriti oluline.



Foto 14. Neelu on lapitud plekiga ning sinna on kinni jäänud korstnakivi ja muu katuselt tulev praht.



Foto 15. Näide tsementkrohviga tihendatud korstna läbiviigust. Vihmavee ebapiisava suunamise tõttu koguneb korstna ümber prahti.



Foto 16. Vaade katuse osale, mida pole räästast tõstetud ning omab algupärast murtud kuju.

2.1.6. Kaarjad katuseuugid, korstnad ja räästakarniis

Hoone katuse tagaküljel asub kaks kaarjat katuseuuki. Mõlemal uugil puuduvad avatäited, mis on kas hävinud või sealt eemaldatud ja neid asendab kaarekujuline plekk. Uugi konstruktsioon on suhteliselt heas seisukorras, arvestades et see on pidevalt avatud ilmastikumõjudele. Uugi välimisel küljel on näha ka lagunemise märke, kuid katteplekk on selle hävimise siiski ära hoidnud. Katuseuuke kasutatakse käesoleval ajal katusele pääsemiseks, kuna selleks eraldi ettenähtud luuk hoonel puudub.

Hoonel on 11 korstnat (vt. joonis 03). Korstnad tähistusega 5...8 pärinevad esimesest, korstnad 2...4 ja 9 kolmandast ja korsten 11 neljandast ehitusjärgust. Ka korsten 1, mis on kujult oluliselt sihvakam ja asub hoone välisseinas, ning korsten 10, mis on hoone keskküttekatla korsten ja mõõtmetelt suurem, on tõenäoliselt ehitatud kolmandas ehitusjärgus, mil teostati juurdeehitusi.

Olenemata sellest, millal korstnad on rajatud, omavad nad sarnast profileeringut, kuigi kohati on profiil poolik või lausa kadunud. Põhjuseks võib olla see, et krohv on maha varisenud ning parandusi tehes pole profiili järgitud.

Korstnate tehniline seisukord on erinev. Korstnad, mis omavad katteplekki (2 ja 5...7) on küllaltki hästi säilinud ning omavad kas osalt või täies ulatuses profiili. Ka korsten 1 on kaetud plekiga, kuid kehva kvaliteedi tõttu siiski lagunenu. Korstnad 3 ja 9 on silmnähtavalt üle krohvitud ning profiili

kaotanud. Korstnate 4, 8 ja 11 puhul tulevad kattepleki puudumisest tingitud kahjustused kõige paremini esile: kohati avariilised lagunevad korstnaotsad ja krohvkatte mahavarisemine. Erandlikult on korsten 10 peaegu kogu ulatuses krohvkatte kaotanud.

Hoone räästas on kaunistatud karniisiga. Käesoleva töö koostamise ajaks on täielikult restaureeritud hoone peasissekäigu kohal olev kolmnurkfrontooni karniis. Hoone ülejäänud osas on aga märgata suuri krohvikahjustusi ja karniisikivide purunemist ning väljalangemist, mida eelnevalt põhjustas defektne vihmaveesüsteem ja käesoleval ajal süsteemi puudumine. Lisaks puudub laetalade vahelt karniisi vastukaal, mis soodustab selle lagunemist. Kohati on teostatud küll karniisi parandustöid katusepleki pikendamise näol, et juhtida katuselt tulev vesi karniisist mööda, kuid see põhjustab probleeme soklipiirkonnas. Karniisi on suures ulatuses üle krohvitud, mille käigus on kadunud esialgne profiil.



Foto 17. Kaarjas katuseuuk. Ajutise avatäitena on kasutatud plekki.



Foto 18. Katuseuugi konstruktsioon.



Foto 19. Katteplekita korstnaots. Tagajärgedeks lahtised kivid ja krohvkatte varisemine.



Foto 20. Katteplekiga korstnaotsad on säilinud tunduvalt paremini.



Foto 21. Hooletult krohvitud korstnaotsad on kaotanud profileeringu.



Foto 22. Keskküttekorstnalt on enamus krohvi maha varisenud.



Foto 23. Peasissekäigu kohal olev restaureeritud kolmnurkfrontoon.



Foto 24. Võrdluses restaureeritud ja taastamist ootav karniis.



Foto 25. Avariiline karniis hoone tagaküljel. Osa kive on lagunened või välja kukkunud.



Foto 26. Näide krohviparandustest, kus pole järgitud karniisi esialgset profiili.



Foto 27. Vahekatusega talveaia osa. Frontooni keskel asuv valge viil tähistab vahekatuse asukohta.

2.2. Lumekoormus

Katusele rajatakse lumetõke ning katusel paiknevad korstnad, mille taha võib lumi kuhjuma hakata. Sellest tingituna leitakse lumekoormus hangede kogunemisel eendite ja takistuste ümbruses. Lumekoormused on määratud vastavalt lumekoormust määratlevas standardis EVS-EN 1991-1-3:2006 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus esitatud tingimustele. [8]

$$s = \mu_i s_k \quad (5)$$

Kus: s – lumekoormuse normsuurus katusel, kN/m^2 ;

μ_i – lumekoormuse kujutegur;

s_k – lumekoormuse normsuurus maapinnal, kN/m^2 .

2.2.1. Lumekoormus normaalolukorras

Lumekoormus maapinnale (Viljandi)

$$s_k = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

Katuse serv lõppeb lumetõkkega, seetõttu kasutatakse lumekoormuse kujutegurit 0,8. [8, lk. 20]

$$\mu_1 = 0,8$$

Normatiivne lumekoormus katusele normaalolukorras vastavalt valemile (5)

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,25 = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

2.2.2. Lumekoormus lume kuhjumisel korstnate taha

Hoonel on kolm korstnat, mille taha hanged kogunema võivad hakata. Need on korstnad 1, 4 ja 10 (vt. joonis 03). Ülejäänud korstnad asuvad katuseharjal ning nende taha hangi kogunema ei hakka. Kuhjunud lume kujutegurid eendite ja takistuste ümbruses on määratud vastavalt standardile: [8, lk 26]

Lumekoormuse kujutegurid:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \gamma h / s_k,$$

Kus: γ – lume puistemahukaal, mille väärtuseks võib võtta 2 kN/m^3 ;

h - korstna kõrgus, m.

Tingimus: $0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$

Hange pikkus:

$$l_s = 2h$$

Tingimus rahvusliku lisa järgi: $2 \leq l_s \leq 6 \text{ m}$.

a) Korstn nr. 1

Lumekoormuse kujutegurid:

$$h = 2,0 \text{ m}$$

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = 2 \cdot 2 / 1,25 = 3,2$$

$$0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0 \rightarrow \mu_2 = 2,0$$

Hange pikkus:

$$l_s = 2 \cdot 2 = 4,0 \text{ m}$$

b) Korstn nr. 4

Lumekoormuse kujutegurid:

$$h = 2,5 \text{ m}$$

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = 2 \cdot 2,5 / 1,25 = 4$$

$$0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0 \rightarrow \mu_2 = 2,0$$

Hange pikkus:

$$l_s = 2 \cdot 2,5 = 5,0 \text{ m}$$

c) Korsten nr. 10

Lumekoormuse kujutegurid:

$$h = 3,0 \text{ m}$$

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = 2 \cdot 3/1,25 = 4,8$$

$$0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0 \rightarrow \mu_2 = 2,0$$

Hange pikkus:

$$l_s = 2 \cdot 3,0 = 6 \text{ m}$$

Normatiivne lumekoormus katusele lume kuhjumisel korstnate nr. 1, 4 ja 10 taha vastavalt valemile (1)

$$s_2 = 2,0 \cdot 1,25 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Käesolevas töös on jäetud arvestamata hangede kogunemine neelukohtades, kuna kriitilisem olukord tekib hangede kogunemisel korstnate ümbruses.

2.3. Tuulekoormus

Tuulerõhkude väärtused katuse pinnale leitakse vastavalt valemile: [5, lk. 192]

$$w_e = q_p(z_e)c_{pe} \quad (6)$$

Kus: w_e – konstruktsiooni välispinnale mõjuv tuulerõhk, kN/m²;

$q_p(z_e)$ – kiirusrõhk, kN/m²;

z_e – arvutuskõrgus, m;

c_{pe} – välisrõhutegur.

Tabelis 2.1. on toodud maastikutüübid. [9, lk. 20] Hoone maastikutüübiks on III, kuna tegemist on maa-asulaga, mis on ümbritsetud metsaga.

Tabel 2.1. Maastikutüübid

Maastikutüüp	z_0 (m)	Z_{\min} (m)
0 Meri või kaldapirkond, mis on avatud merele	0,003	1
I Järved või tasane horisontaalne maastik ilma olulise taimkatteta ja ilma takistusteta	0,01	1
II Maastik madala taimkattega (nagu rohi) ja üksikute takistustega (puud, hooned), mille vaheline kaugus võrdub vähemalt 20-kordse kõrgusega	0,05	2
III Maastik, mis on kaetud ühtlase taimkatte või ehitistega või üksikute takistustega, mille vaheline kaugus ei ole suurem 20-kordsest kõrgusest (nagu maa-asulad, äärelinnapiirkond, ühtlaselt metsaga kaetud alad)	0,3	5
IV Maastik, kus vähemalt 15% pinnast on kaetud hoonetega, mille keskmine kõrgus ületab 15 m	1,0	10

2.3.1. Tippkiirusrõhk

Tuule tippkiirusrõhk leitakse Ehituskonstruktori käsiraamatu lihtsustatud valemi järgi: [5, lk. 193]

$$z_{\min} = 5 \text{ m}$$

$$q_p = 12,81 \ln^2 \frac{z}{0,3} + 89,64 \ln \frac{z}{0,3} = 12,81 \cdot \ln^2 \frac{5}{0,3} + 89,64 \cdot \ln \frac{5}{0,3} = 0,354 \text{ kN/m}^2$$

2.3.2. Hoone karakteristikud ja kahekaldeliste katuste tuulerõhud (tuul piki hoonet)

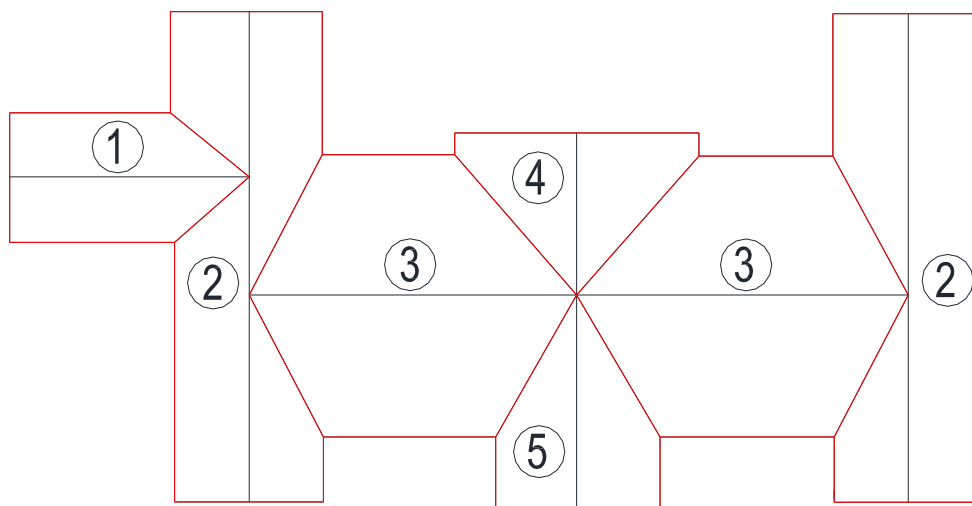
Kuna hoone katuse süsteem koosneb mitmest omavahel ühendatud kahekaldelisest katusest ning erineb standardsest lahendusest, tuleb tuulerõhkude tsoonid kohandada vastavalt olukorrale, lähtudes

standardse lahenduse põhimõtetest. Siinkohal vaadeldakse tuulekoormuse mõju eraldi erinevatele katuse osadele, mis on välja toodud joonisel 2.1. Kogu hoone katuse tuulerõhkude tsoonid piki hoonet mõjuva tuule korral on toodud joonisel 2.2.

Ebastandardsest olukorrast tingitud kohandused:

- Hoone mõõtmed tuule piki- ja ristisihis arvestatakse katuseosa harjapikkuse järgi.
- Kõik katuseosad on erikujulised. Seetõttu leitakse tsoonid nii, et katuseosa kujutatakse ristkülikuna, mille üheks küljepikkuseks on harjapikkus. Katustele jäetakse peale märkimata need tsoonid, mis jäävad reaalsest katusekujust välja.
- Katuseosadele, mille välisnurgad ei ole hoone välisnurkadeks, jäetakse peale märkimata välisnurki tähistavad tsoonid F ning märgitakse ainult katuseserva tähistav tsoon G.
- Katuseosadele, mille serv ei ole hoone välisservaks, jäetakse peale märkimata nii katuseserva tähistav tsoon G kui ka välisnurki tähistavad tsoonid F.

Tuulerõhud hoone katusele on määratud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-4:2007 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. [9, lk. 42-44]



Joonis 2.1. Erinevad katuse osad

Tuulerõhkude pikem arvutuskäik ning tuulerõhkude tsoonide joonised erinevatele katuse osadele on toodud lisas 6.

Tuulerõhud on leitud vastavalt valemile (6).

a) Tuulerõhud katusele nr. 1

$$w_{e,F} = 0,354 \cdot (-1,1) = -0,389 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,354 \cdot (-1,4) = -0,496 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 0,354 \cdot (-0,86) = -0,304 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,354 \cdot (-0,5) = -0,177 \text{ kN/m}^2$$

b) Tuulerõhud katusele nr. 2

$$w_{e,F} = 0,354 \cdot 0,7 = 0,248 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,354 \cdot 0,7 = 0,248 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 0,354 \cdot 0,453 = 0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,354 \cdot (-0,347) = -0,123 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,J} = 0,354 \cdot (-0,447) = -0,158 \text{ kN/m}^2$$

c) Tuulerõhud katusele nr. 3

$$w_{e,H} = 0,354 \cdot (-0,68) = -0,241 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,354 \cdot (-0,5) = -0,177 \text{ kN/m}^2$$

d) Tuulerõhud katusele nr. 4

$$w_{e,F} = 0,354 \cdot 0,467 = 0,165 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 0,354 \cdot 0,307 = 0,109 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,354 \cdot (-0,4) = -0,142 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,J} = 0,354 \cdot (-0,733) = -0,26 \text{ kN/m}^2$$

e) Tuulerõhud katusele nr. 5

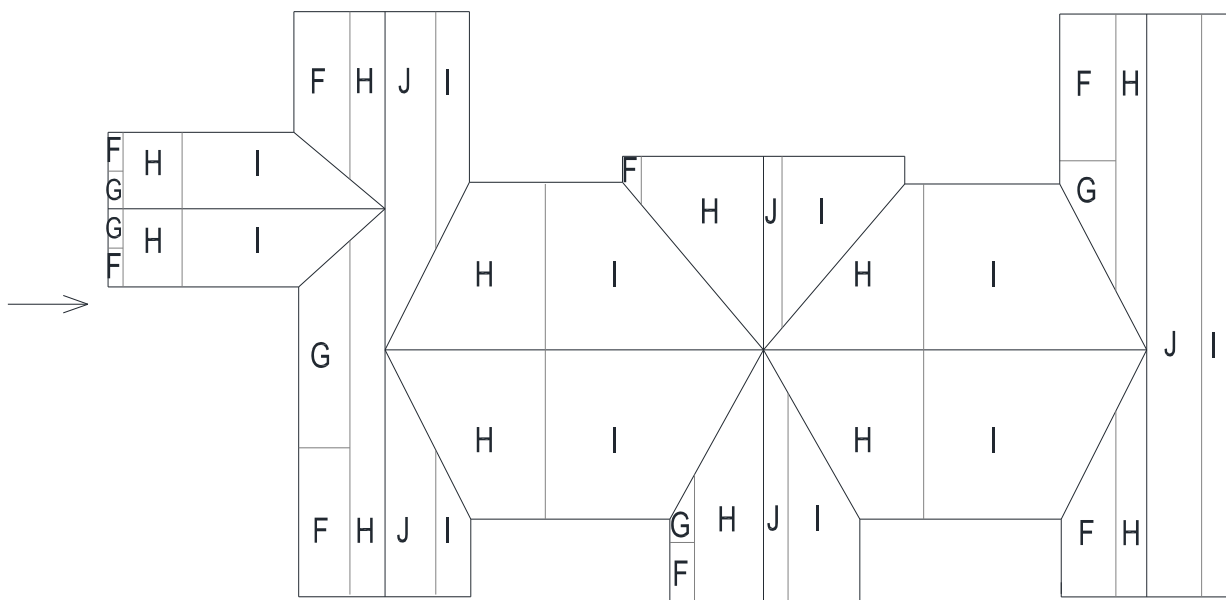
$$w_{e,F} = 0,354 \cdot 0,7 = 0,248 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,354 \cdot 0,7 = 0,248 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 0,354 \cdot 0,427 = 0,151 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,354 \cdot (-0,373) = -0,132 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,J} = 0,354 \cdot (-0,473) = -0,167 \text{ kN/m}^2$$



Joonis 2.2. Hoone katuse tuulerõhkude tsoonid piki hoonet mõjuva tuule korral

2.3.3. Hoone karakteristikud ja kahekaldeliste katuste tuulerõhud (tuul risti hoonet)

Kogu hoone katuse tuulerõhkude tsoonid risti hoonet mõjuva tuule korral on toodud joonisel 2.3.

a) Tuulerõhud katusele nr. 1

$$w_{e,F} = 0,354 \cdot 0,7 = 0,248 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,354 \cdot 0,7 = 0,248 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 0,354 \cdot 0,52 = 0,184 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,354 \cdot (-0,28) = -0,1 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,J} = 0,354 \cdot (-0,38) = -0,134 \text{ kN/m}^2$$

Tuulerõhud katusele nr. 2

$$w_{e,F} = 0,354 \cdot (-1,1) = -0,389 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,354 \cdot (-1,4) = -0,496 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 0,354 \cdot (-0,827) = -0,293 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,354 \cdot (-0,5) = -0,177 \text{ kN/m}^2$$

Tuulerõhud katusele nr. 3

$$w_{e,G} = 0,354 \cdot 0,4 = 0,142 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 0,354 \cdot 0,28 = 0,1 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,354 \cdot (-0,4) = -0,142 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,J} = 0,354 \cdot (-0,8) = -0,283 \text{ kN/m}^2$$

Tuulerõhud katusele nr. 4

$$w_{e,F} = 0,354 \cdot (-1,193) = -0,422 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,354 \cdot (-1,353) = -0,479 \text{ kN/m}^2$$

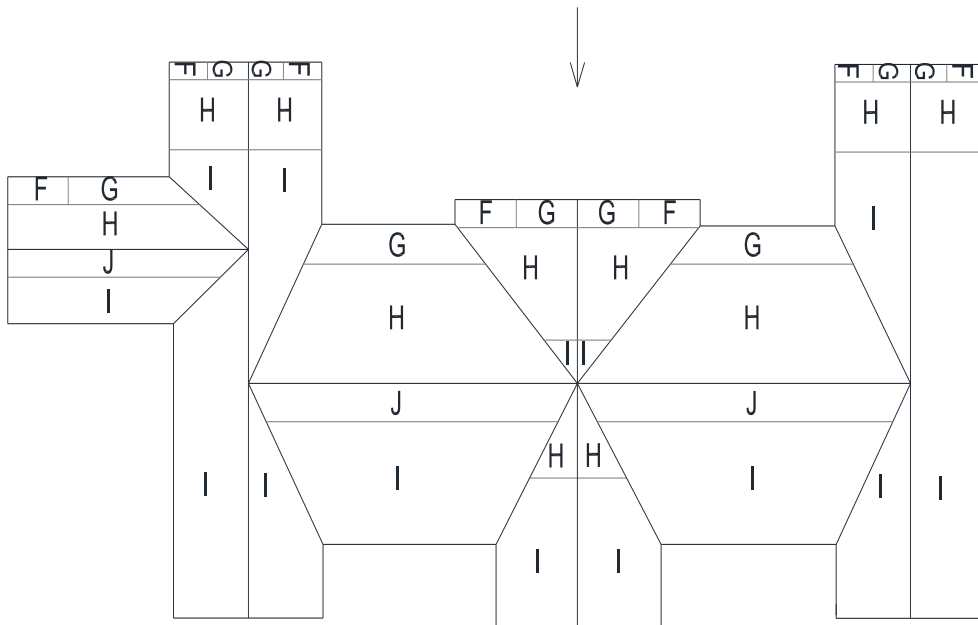
$$w_{e,H} = 0,354 \cdot (-0,707) = -0,250 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,354 \cdot (-0,5) = -0,177 \text{ kN/m}^2$$

Tuulerõhud katusele nr. 5

$$w_{e,H} = 0,354 \cdot (-0,813) = -0,288 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,354 \cdot (-0,5) = -0,177 \text{ kN/m}^2$$



Joonis 2.3. Hoone katuse tuulerõhkude tsoonid risti hoonet mõjuva tuule korral

Suurimaks negatiivseks tuulekoormuse väärtuseks on $-0,496 \text{ kN/m}^2$. Katusekatte- ja roovitise kinnitite dimensioneerimisel tuleb kasutada seda väärtust.

2.4. Katusekonstruktsiooni koormused

Katuse kandekonstruktsiooni puitmaterjali aastarõngaste tiheduse ning väheste oksakohtade põhjal võib need lugeda tugevusklassi C24 kuuluvaks. Katuse kandva konstruktsiooni käsitlemisel on oluline eristada kolme lahendust, mida hoone ehituse ja hilisemate lisanduste puhul on rakendatud. Iesimese ehitusjärgu sarikate külge on naelutatud räästatõstjad, v.a. joonisel 03 näidatud tsoonides, kus katus omab algupärast murtud kuju, kuhu rajatakse räästasarikad selle kuju säilitamiseks.

Iehitusjärg

Sarikad ristlõikega 180x230 mm, samm 1000 mm.

I ehitusjärgu tõstmata räästaga osa

Olemasoleva sarika mõlemale küljele kinnitatakse prussid ristlõikega 50x100 mm, samm 1000 mm.

III ehitusjärg (v.a. talveaia osa)

Sarikad ristlõikega 160x190 mm, samm 1400 mm.

III ehitusjärg (talveaia osa)

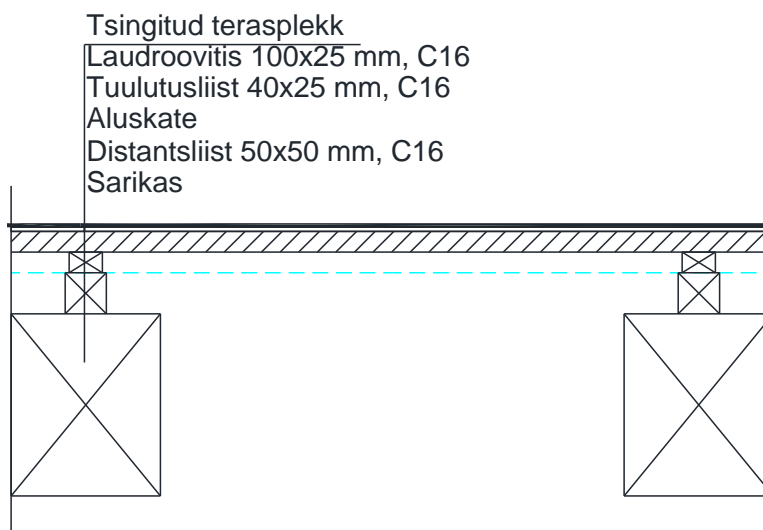
Sarikad ristlõikega 150x180 mm, samm 1200 mm.

2.4.1. Katusekonstruktsiooni omakaalukoormus

Joonisel 2.4. on esitatud katusekonstruktsiooni lõige. Ehitusmaterjalide omakaalud on leitud Ehituskonstruktori käsiraamatust, standardist EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused järgi või ehitusmaterjalide tootjate avalikest andmetest. [5, lk. 184-185] [10] [11] [12]

Katuse omakaalukoormus talveaia osas leitakse vahekatust kandvate sarikate järgi, kuna info vahekatuse pealsete sarikate kohta puudub. Võib siiski eeldada, et need on samasuguse ristlõikega, kuna kogu kolmanda ehitusjärgu juurdeehitusel kasutatud sarikate ristlõige on 150...160x180...190 mm.

Katusekonstruktsiooni omakaalukoormuse pikem arvutuskäik on esitatud lisas 7.



Joonis 2.4. Katusekonstruktsiooni lõige

- a) Katuse normatiivne omakaalukoormus I ehitusjärgu osas

$$\Sigma_{G_k} = 0,46 \text{ kN/m}^2$$

- b) Katuse normatiivne omakaalukoormus I ehitusjärgu tõstmata räästaga osas

$$\Sigma_{G_k} = 0,36 \text{ kN/m}^2$$

- c) Katuse normatiivne omakaalukoormus III ehitusjärgu osas (v.a. talveaed)

$$\Sigma_{G_k} = 0,34 \text{ kN/m}^2$$

- d) Katuse normatiivne omakaalukoormus III ehitusjärgu talveaia osas

$$\Sigma_{G_k} = 0,35 \text{ kN/m}^2$$

2.4.2. Sarikatele mõjuvad joonkoormused

Normaalolukorraks loetakse sarikaid (SN), mille kohal ei esine lume kuhjumist ning mis ei paikne korstnate rajamise eesmärgil katkestatud sarikate naabruses.

Esimeseks kriitiliseks olukorraks loetakse sarikaid (SK₁), mille kohal ei esine lume kuhjumist, kuid mis paiknevad katkestatud sarikate naabruses ning mille samm on seetõttu suurem.

Teiseks kriitiliseks olukorraks loetakse sarikaid (SK₂), mille kohal võib esineda lume kuhjumist, kuid mis ei paikne katkestatud sarikate naabruses. Need sarikad asuvad korstna nr. 1 ümbruses (vt. joonis 03).

Kolmandaks kriitiliseks olukorraks loetakse sarikaid (SK₃), mille kohal võib esineda lume kuhjumist ning mis paiknevad katkestatud sarikate naabruses ning mille samm on seetõttu suurem. Need sarikad asuvad korstnate nr. 4 ja 10 ümbruses (vt. joonis 03).

Kahte kriitilist olukorda eristatakse vaid lumekoormuse puhul. Ülejäänud koormuste korral need teineteisest ei erine ning kriitiliseks olukorraks (SK) loetakse sarikaid, mis paiknevad katkestatud sarikate naabruses ning mille samm on seetõttu suurem.

I ehitusjärgu osas

- Lumekoormus normaalolukorras (SN)

$$q_{k,lumi_1,N} = s_1 \cdot s = 1 \cdot 1 = 1 \text{ kN/m}$$

- Lumekoormus esimeses kriitilises lõikes (SK₁)

Sarikad sammuga 1,5 m:

$$q_{k,lumi_1,Cr_1} = s_1 \cdot s = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ kN/m}$$

Sarikad sammuga 2 m:

$$q_{k,lumi_1,Cr_1} = s_1 \cdot s = 1 \cdot 2 = 2 \text{ kN/m}$$

- Lumekoormus kolmandas kriitilises lõikes (SK₃)

$$q_{k,lumi_1,Cr_3} = s_2 \cdot s = 2,5 \cdot 1,5 = 3,75 \text{ kN/m}$$

- Tuulekoormus normaalolukorras (SN)

Vaatluse all on katused 2...5, kusjuures katuse nr. 2 puhul määratakse vaid I ehitusjärku kuuluv osa.

Tuul piki hoonet:

Katus nr. 2:

Tsoonid F ja G: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,248 \cdot 1 = 0,248 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,16 \cdot 1 = 0,16 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,123 \cdot 1 = -0,123 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,158 \cdot 1 = -0,158 \text{ kN/m}$

Katus nr. 3:

Tsoon H: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,241 \cdot 1 = -0,241 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,177 \cdot 1 = -0,177 \text{ kN/m}$

Katus nr. 4:

Tsoon F: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,165 \cdot 1 = 0,165 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,109 \cdot 1 = 0,109 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,142 \cdot 1 = -0,142 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,26 \cdot 1 = -0,26 \text{ kN/m}$

Katus nr. 5:

Tsoonid F ja G: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,248 \cdot 1 = 0,248 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,151 \cdot 1 = 0,151 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,132 \cdot 1 = -0,132 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,167 \cdot 1 = -0,167 \text{ kN/m}$

Tuul risti hoonet:

Katus nr. 2:

Tsoon F: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,389 \cdot 1 = -0,389 \text{ kN/m}$

Tsoon G: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,496 \cdot 1 = -0,496 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,293 \cdot 1 = -0,293 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,177 \cdot 1 = -0,177 \text{ kN/m}$

Katus nr. 3:

Tsoon G: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,142 \cdot 1 = 0,142 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,142 \cdot 1 = -0,142 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,283 \cdot 1 = -0,283 \text{ kN/m}$

Katus nr. 4:

Tsoon F: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,422 \cdot 1 = -0,422 \text{ kN/m}$

Tsoon G: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,479 \cdot 1 = -0,479 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,25 \cdot 1 = -0,25 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,177 \cdot 1 = -0,177 \text{ kN/m}$

Katus nr. 5:

$$\text{Tsoon H: } q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,288 \cdot 1 = -0,288 \text{ kN/m}$$

$$\text{Tsoon I: } q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,177 \cdot 1 = -0,177 \text{ kN/m}$$

- Tuulekoormus kriitilises lõikes (SK)

Vaatluse all on ainult katused nr. 2 ja 3, kuna I ehitusjärgu osas tekib kriitiline olukord vaid neil.

Tuul piki hoonet:

Katus nr. 2:

$$\text{Tsoon G: } q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,248 \cdot 1,5 = 0,372 \text{ kN/m}$$

$$\text{Tsoon H: } q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,16 \cdot 1,5 = 0,24 \text{ kN/m}$$

$$\text{Tsoon I: } q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,123 \cdot 1,5 = -0,185 \text{ kN/m}$$

$$\text{Tsoon J: } q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,158 \cdot 1,5 = -0,237 \text{ kN/m}$$

Katus nr. 3:

Sarikad sammuga 1,5 m:

$$\text{Tsoon H: } q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,241 \cdot 1,5 = -0,362 \text{ kN/m}$$

$$\text{Tsoon I: } q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,177 \cdot 1,5 = -0,266 \text{ kN/m}$$

Sarikad sammuga 2 m:

$$\text{Tsoon H: } q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,241 \cdot 2 = -0,482 \text{ kN/m}$$

$$\text{Tsoon I: } q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,177 \cdot 2 = -0,354 \text{ kN/m}$$

Tuul risti hoonet:

Katus nr. 2:

$$\text{Tsoon I: } q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,177 \cdot 1,5 = -0,266 \text{ kN/m}$$

Katus nr. 3:

Sarikad sammuga 1,5 m:

$$\text{Tsoon G: } q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,142 \cdot 1,5 = 0,213 \text{ kN/m}$$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,1 \cdot 1,5 = 0,15 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,142 \cdot 1,5 = -0,213 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,283 \cdot 1,5 = -0,425 \text{ kN/m}$

Sarikad sammuga 2 m:

Tsoon G: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,142 \cdot 2 = 0,284 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw^+}^* \cdot s = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,142 \cdot 2 = -0,284 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw^-}^* \cdot s = -0,283 \cdot 2 = -0,566 \text{ kN/m}$

- Konstruksiooni omakaal normaalolukorras (SN)

$$G_{k,katus_1,N} = 0,46 \cdot 1 = 0,46 \text{ kN/m}$$

- Konstruksiooni omakaal kriitilises lõikes (SK)

Sarikad sammuga 1,5 m:

$$G_{k,katus_1,Cr} = 0,46 \cdot 1,5 = 0,69 \text{ kN/m}$$

Sarikad sammuga 2 m:

$$G_{k,katus_1,Cr} = 0,46 \cdot 2 = 0,92 \text{ kN/m}$$

- Konstruksiooni omakaal tõstmata räästaga osas normaalolukorras (SN)

$$G_{k,räästas,N} = 0,36 \cdot 1 = 0,36 \text{ kN/m}$$

- Konstruksiooni omakaal tõstmata räästaga osas kriitilises lõikes (SK)

$$G_{k,räästas,Cr} = 0,36 \cdot 1,5 = 0,54 \text{ kN/m}$$

III ehitusjärgu osas (v.a. talveaed)

- Lumekoormus normaalolukorras (SN)

$$q_{k,lumi_2,N} = s_1 \cdot s = 1 \cdot 1,4 = 1,4 \text{ kN/m}$$

- Lumekoormus esimeses kriitilises lõikes (SK₁)

$$q_{k,lumi_2,cr_1} = s_1 \cdot s = 1 \cdot 1,7 = 1,7 \text{ kN/m}$$

- Lumekoormus kolmandas kriitilises lõikes (SK₃)

$$q_{k,lumi_2,cr_3} = s_2 \cdot s = 2,5 \cdot 1,7 = 4,25 \text{ kN/m}$$

- Tuulekoormus normaalolukorras (SN)

Vaatluse all on ainult katus 2, kusjuures määratakse vaid III ehitusjärku kuuluv osa.

Tuul piki hoonet:

Tsoonid F ja G: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,248 \cdot 1,4 = 0,347 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,16 \cdot 1,4 = 0,224 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,123 \cdot 1,4 = -0,172 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,158 \cdot 1,4 = -0,221 \text{ kN/m}$

Tuul risti hoonet:

Tsoon F: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,389 \cdot 1,4 = -0,545 \text{ kN/m}$

Tsoon G: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,496 \cdot 1,4 = -0,694 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,293 \cdot 1,4 = -0,41 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,177 \cdot 1,4 = -0,248 \text{ kN/m}$

- Tuulekoormus kriitilises lõikes (SK)

Vaatluse all on ainult katus 2, kusjuures määratakse vaid III ehitusjärku kuuluv osa.

Tuul piki hoonet:

Tsoonid F ja G: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,248 \cdot 1,7 = 0,422 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,16 \cdot 1,7 = 0,272 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,123 \cdot 1,7 = -0,209 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,158 \cdot 1,7 = -0,269 \text{ kN/m}$

Tuul risti hoonet:

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,177 \cdot 1,7 = -0,301 \text{ kN/m}$

- Konstruksiooni omakaal normaalolukorras (SN)

$$G_{k,katus_2,N} = 0,34 \cdot 1,4 = 0,476 \text{ kN/m}$$

- Konstruksiooni omakaal kriitilises lõikes (SK)

$$G_{k,katus_2,Cr} = 0,34 \cdot 1,7 = 0,578 \text{ kN/m}$$

III ehitusjärgu talveaia osas

- Lumekoormus normaalolukorras (SN)

$$q_{k,lumi_3,N} = s_1 \cdot s = 1 \cdot 1,2 = 1,2 \text{ kN/m}$$

- Lumekoormus teises kriitilises lõikes (SK₂)

$$q_{k,lumi_3,Cr_2} = s_2 \cdot s = 2,5 \cdot 1,2 = 3 \text{ kN/m}$$

- Tuulekoormus normaalolukorras (SN)

Vaatluse all on ainult katus 1.

Tuul piki hoonet:

Tsoon F: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,389 \cdot 1,2 = -0,467 \text{ kN/m}$

Tsoon G: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,496 \cdot 1,2 = -0,595 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,304 \cdot 1,2 = -0,365 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,177 \cdot 1,2 = -0,212 \text{ kN/m}$

Tuul risti hoonet:

Tsoonid F ja G: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,248 \cdot 1,2 = 0,298 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,184 \cdot 1,2 = 0,221 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,1 \cdot 1,2 = -0,12 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,134 \cdot 1,2 = -0,161 \text{ kN/m}$

- Konstruksiooni omakaal normaalolukorras (SN)

$$G_{k,katus_3,N} = 0,35 \cdot 1,2 = 0,42 \text{ kN/m}$$

2.5. Vahelae konstruksiooni koormused

Vahelae kandekonstruksiooni puitmaterjali aastarõngaste tiheduse ning väheste oksakohtade põhjal võib need lugeda tugevusklassi C24 kuuluvaks. Vahelae kandva konstruksiooni käsitlemisel on oluline eristada kolme lahendust, mida hoone ehituse ja hilisemate lisanduste puhul on rakendatud.

I ehitusjark

Laetalad ristlõikega 300x300 mm, samm 1000 mm.

III ehitusjark (v.a. talveaed)

Laetalad ristlõikega 300x300 mm, samm 1400 mm.

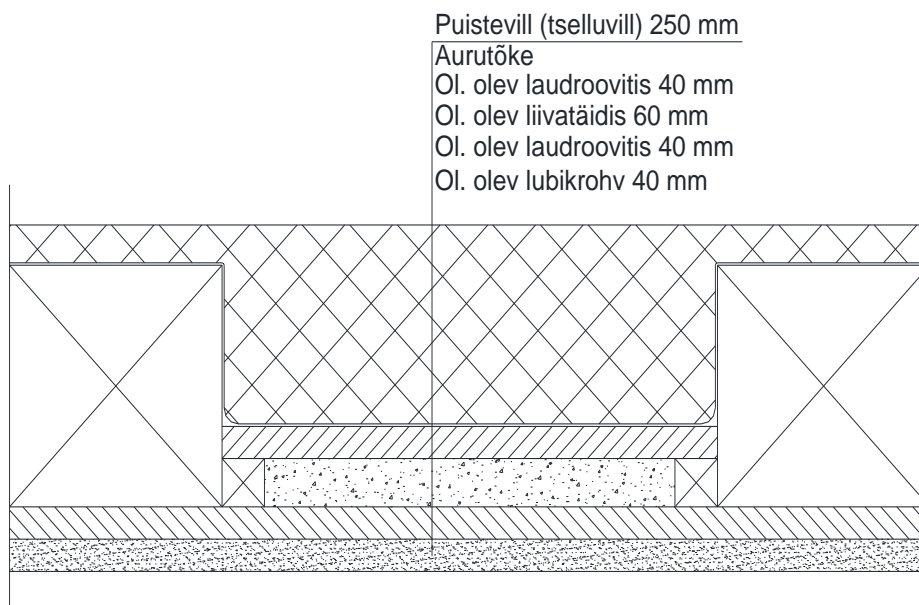
III ehitusjark (talveaia osa)

Laetalad ristlõikega 75x200 mm, samm 1200 mm.

2.5.1. Vahelae konstruksiooni omakaalukoormus

Joonisel 2.5. on esitatud vahelae konstruksiooni lõige. Ehitusmaterjalide omakaalud on leitud Ehituskonstruktori käsiraamatust, standardist EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused järgi või ehitusmaterjalide tootjate avalikest andmetest [5, lk. 184-185] [10] [13]

Vahelae konstruksiooni omakaalukoormuse pikem arvutuskäik on esitatud lisa 8.



Joonis 2.5. Vahelae konstruktsiooni lõige.

- a) Vahelae normatiivne omakaalukoormus I ehitusjärgu osas

$$\Sigma G_k = 2,79 \text{ kN/m}^2$$

- b) Vahelae normatiivne omakaalukoormus III ehitusjärgu osas (v.a. talveaed)

$$\Sigma G_k = 2,62 \text{ kN/m}^2$$

- c) Vahelae normatiivne omakaalukoormus III ehitusjärgu talveaia osas

$$\Sigma G_k = 2,31 \text{ kN/m}^2$$

2.5.2. Vahelae konstruktsiooni difusiooniarvutus

Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a. määrusele nr. 258 "Energiatehuse miinimumnõuded" on vajalik ehitusprojekti koosseisus koostada energiaarvutus energiatehusearvu määramiseks. Määruse reguleerimisalasse ei kuulu Ehitusseaduse § 3 lõike 7 järgi hooned, mis muinsuskaitse seaduse alusel on tunnistatud mälestisteks. [14] Kuna Õisu mõisa peahoone on registreeritud arhitektuurimälestistena kultuurimälestiste riiklikus registris ja kaitse all, siis pole vaja sellele energiaarvutust teostada. Käesoleva magistr töö raames see arvutus aga tehakse, et selgitada välja võimalused hoone soojakadude vähendamiseks.

Piirdetarindi difusiooniarvutusega kontrollitakse õhuniiskuse kondenseerumist tarindis. Vahelae konstruktsiooni niiskusrežiimi arvutus on tehtud Glaseri meetodi põhjal, mida kirjeldab Eesti Ehitusteave kaart ET-2 0404-0764. Raamtingimused on määratud DIN 4108-3 järgi, kus talvel välistemperatuur on -10°C (suhteline niiskus 80%) ning sisetemperatuur 20°C (relatiivne niiskus 50%). [15]

Tabelis 2.2. on esitletud tegelike veeauru rõhkude leidmine. Tabelis 2.3. on toodud piirde niiskusrežiimi arvutus. Materjalide niiskustehnilised näitajad on saadud Ehituskonstruktori käsiraamatust või standardist EVS-EN ISO 10456:2008 Ehitusmaterjalid ja -tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. [5] [16]

Tabel 2.2. Veeauru osarõhud

	Sees	Väljas
Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	20	-10
P_{\max} (Pa)	2338	260
RH, %	50	80
P_{teg} (Pa)	1169,1	208

Tabel 2.3. Piirdetarindi niiskusrežiimi arvutus Glaseri meetodil

Soojustatud vahelagi	Kihi paksus	Soojuserijuhtivus				Temperatuur				P_{max} (Pa)	S_d summa
Tarindi osa	d (m)	λ	$R=d/\lambda$	%R	Δt	-10	μ	S_d	P_{teg} (Pa)	260	
Välispind			0,13	1,89	0,57	-9,43			208	273	0
Puistevill	0,3	0,05	6,00	87,29	26,19	16,75	2	0,6		1908	0,6
Aurutõke	0,0002	1,00	0,00	0,00	0,00	16,76	100000	20		1909	20,6
Tihe laudis	0,04	0,15	0,27	3,88	1,16	17,92	50	2		2054	22,6
Liiv	0,06	2,00	0,03	0,44	0,13	18,05	50	3		2071	25,6
Tihe laudis	0,04	0,15	0,27	3,88	1,16	19,21	50	2		2227	27,6
Lubikrohv	0,04	0,80	0,05	0,73	0,22	19,43	10	0,4		2257	28
Sisepind			0,13	1,89	0,57	20			1169,1	2338	
		$\Sigma R [(m^2K)/W]$	6,87	100,00							
		$U [W/(m^2K)]$	0,15								

Kus:

d – materjali kihi paksus, m;

λ – soojuserijuhtivus, W/mK;

R – materjalikihi soojatakistus, m^2K/W ;

Δt – temperatuuridiferents, K;

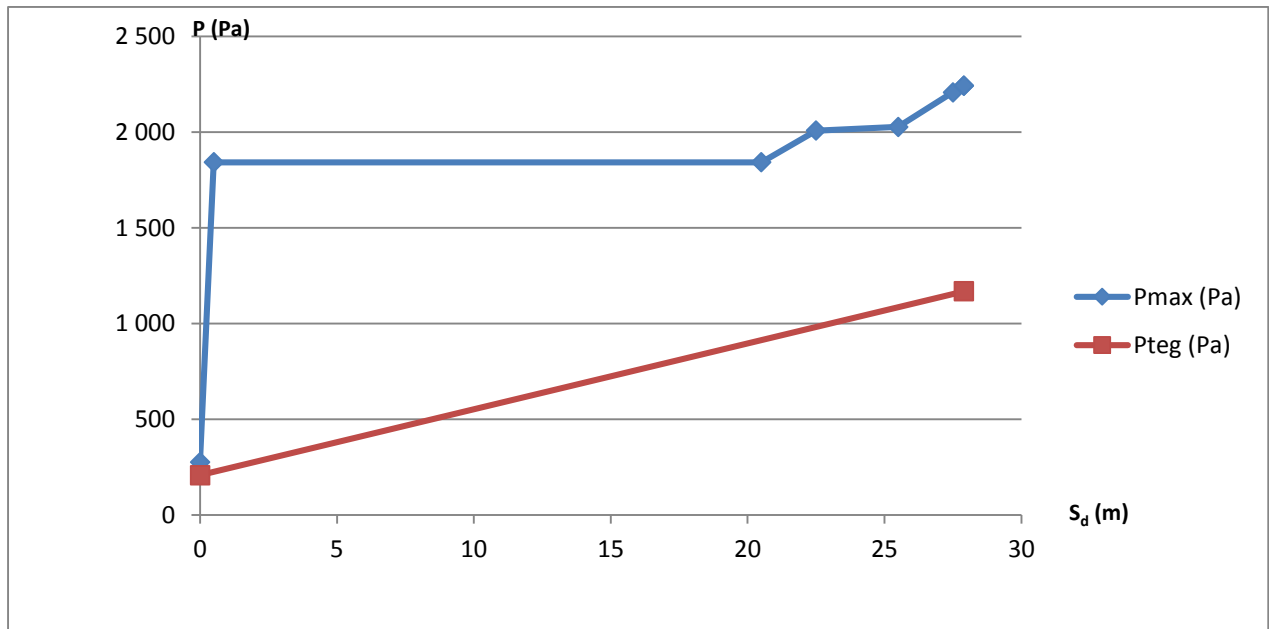
μ – difusioonitakistuskonstant;

S_d – aurutakistus, ($S_d=\mu \cdot d$), m;

P_{teg} – tegelik veeauru rõhk, Pa;

P_{max} – küllastusrõhk, Pa.

Joonisel 2.6. on toodud tegeliku veeauru rõhu ja küllastusrõhu graafikud. Kahe sirge lõikumiskohas tekib veeauru kondenseerumine. Graafikul sirged ei lõiku, seega võib järeldada, et piirdes veeauru kondenseerumist ei teki ja et piire on niiskustehniliselt toimiv.



Joonis 2.6. Veeauru tegeliku osarõhu ja küllastusrõhu graafikud

2.5.3. Vahelae konstruktsiooni kogusoojustakistus

Soojuslikult mittehomoogeense piirdetarindi kogusoojustakistuse leidmisel lähtutakse standardist EVS 908-1:2010 Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire: [17]

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (7)$$

Kus: R_T – piirdetarindi kogusoojustakistus, m²K/W;

R'_T – mittehomoogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus, m²K/W;

R''_T – mittehomoogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus, m²K/W.

Kandekonstruksiooni (puit) sektsiooni soojustakistus

$$R_{T_1} = 0,13 + \frac{0,1}{0,05} + 0,16 + \frac{0,3 + 0,04}{0,15} + \frac{0,04}{0,8} + 0,13 = 5,003$$

Soojustuse sektsiooni soojustakistus

$$R_{T_2} = 0,13 + \frac{0,3}{0,05} + 0,16 + \frac{0,04}{0,15} + \frac{0,06}{2,0} + \frac{0,04}{0,15} + \frac{0,04}{0,8} + 0,13 = 7,033$$

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus leitakse vastavalt valemile:

$$R'_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}} \quad (8)$$

Kus: $A_a \dots A_n$ – piirde üksikute sektsioonide osapindalad e. osakaalud, m²;

$R_{Ta} \dots R_{Tn}$ – piirde üksikute sektsioonide soojustakistused, m²K/W.

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile (8).

$$R'_T = \frac{0,15 + 0,7 + 0,15}{\frac{0,15}{5,003} + \frac{0,7}{7,033} + \frac{0,15}{5,003}} = 6,27$$

Mittehomogeense materjalikihi soojustakistus

Materjalikihi soojustakistus leitakse vastavalt valemile:

$$R_x = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xn}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}} \quad (9)$$

Kus: R_x – iga kihi soojustakistus, mis arvutatakse soojuslikult homogeenena või mittehomogeensena, m²K/W;

$A_{xa} \dots A_{xn}$ – mittehomogeense kihi üksikute osade pindalad e. osakaalud, m²;

$R_{xa} \dots R_{xn}$ – mittehomogeense kihi üksikute osade soojustakistused, m²K/W.

Mittehomogeense materjalikihi soojustakistus leitakse vastavalt valemile (9).

$$R_{\text{puit,soojustus}} = \frac{0,15 + 0,7 + 0,15}{\frac{0,15}{\left(\frac{0,2}{0,15}\right)} + \frac{0,7}{\left(\frac{0,2}{0,05}\right)} + \frac{0,15}{\left(\frac{0,2}{0,15}\right)}} = 2,5$$

$$R_{puit,liiv} = \frac{0,15 + 0,7 + 0,15}{\frac{0,15}{\left(\frac{0,06}{0,15}\right)} + \frac{0,7}{\left(\frac{0,06}{2}\right)} + \frac{0,15}{\left(\frac{0,06}{0,15}\right)}} = 0,042$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus arvutatakse piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevate kihtide ühemõõtmeliste soojusvoogude summana valemist:

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (10)$$

Kus: R''_T – kogusoojustakistuse alumine piirväärtus, m²K/W;

R_{si} – piirde sisepinna soojustakistus, m²K/W;

$R_1; R_x; R_n$ – iga kihi soojustakistus, mis arvutatakse soojuslikult homogeenena või mittehomogeenena, m²K/W;

R_{se} – välispinna soojustakistus, m²K/W.

Piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile (10)

$$R''_T = 0,13 + \frac{0,1}{0,05} + R_{puit,soojustus} + 0,16 + \frac{0,04}{0,15} + R_{puit,liiv} + \frac{0,04}{0,15} + \frac{0,04}{0,8} + 0,13 = 5,545$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus vastavalt valemile (7)

$$R_T = \frac{6,27 + 5,545}{2} = 5,907$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga

$$e = \frac{R'_T - R''_T}{2 \cdot R_T} \cdot 100\% = \frac{6,27 - 5,545}{2 \cdot 5,907} \cdot 100 = 6,137\%$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus e. U-väärtus

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{5,907} = 0,169 \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$

Mitteelamute katuste ja põrandate soojusjuhtivuse piirväärtus [14]

$$U_{pv} = 0,1 \dots 0,2 \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$

Vahelae U-väärtus vastab energiatõhususe miinimumnõuete soovituslikele väärtustele.

2.5.4. Vahelaetaladele mõjuvad joonkoormused

I ehitusjärgu osas

- Vahelae konstruktsiooni omakaal

$$G_{k,vahelagi_1} = 2,79 \cdot 1 = 2,79 \text{ kN/m}$$

III ehitusjärgu osas (v.a. talveaed)

- Vahelae konstruktsiooni omakaal

$$G_{k,vahelagi_2} = 2,62 \cdot 1,4 = 3,67 \text{ kN/m}$$

III ehitusjärgu talveaia osas

- Vahelae konstruktsiooni omakaal

$$G_{k,vahelagi_3} = 2,31 \cdot 1,2 = 2,77 \text{ kN/m}$$

2.5.5. Vahelaetaladele mõjuvad punktkoormused

Hoone pööningule on ette nähtud rajada käiguteed. Laetalade peale kinnitatakse prussid ristlõikega 50x150 mm, tugevusklassiga C16. Prusside peale nendega risti paigaldatakse laudis ristlõikega 100x25 mm, tugevusklassiga C16. Prussid kinnitatakse laetaladele terasnurgikutega 50x50x3 mm.

a) Käigutee omakaalukoormus

Arvutustes eeldatakse, et käiguteed rajatakse laetalade kõige ohtlikumasse punkti, arvestades sellega, et pärlinist räästa poole käiguteid ei tule, kuna seal pole inimeste liikumiseks ruumi. Käiguteede omakaalukoormus võetakse koondatud koormusena. Elementide - laudise ja tugiprussi - koondatud koormus leitakse:

$$G_k = h \cdot d \cdot s \cdot \rho$$

Kus: h – elemendi kõrgus, m;

d – elemendi laius, m;

s – laetalade samm, m;

ρ – elemendi tihedus, kN/m³.

I ehitusjärgu osas

- Laudise omakaal

$$G_{k,laudis_1} = 0,025 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 6 = 0,09 \text{ kN}$$

- Tugiprussi omakaal

$$G_{k,tugipruss_1} = 0,15 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot 6 = 0,045 \text{ kN}$$

- Käigutee omakaal

$$G_{k,käigutee_1} = G_{k,laudis_1} + 2 \cdot G_{k,tugipruss_1} = 0,09 + 2 \cdot 0,045 = 0,18 \text{ kN}$$

III ehitusjärgu osas (v.a. talveaed)

- Laudise omakaal

$$G_{k,laudis_2} = 0,025 \cdot 0,6 \cdot 1,4 \cdot 6 = 0,126 \text{ kN}$$

- Tugiprussi omakaal

$$G_{k,tugipruss_2} = 0,15 \cdot 0,05 \cdot 1,4 \cdot 6 = 0,063 \text{ kN}$$

- Käigutee omakaal

$$G_{k,käigutee_2} = G_{k,laudis_2} + 2 \cdot G_{k,tugipruss_2} = 0,126 + 2 \cdot 0,063 = 0,252 \text{ kN}$$

III ehitusjärgu talveaia osa

- Laudise omakaal

$$G_{k,laudis_3} = 0,025 \cdot 0,6 \cdot 1,2 \cdot 6 = 0,108 \text{ kN}$$

- Tugiprussi omakaal

$$G_{k,tugipruss_3} = 0,15 \cdot 0,05 \cdot 1,2 \cdot 6 = 0,054 \text{ kN}$$

- Käigutee omakaal

$$G_{k,käigutee_3} = G_{k,laudis_3} + 2 \cdot G_{k,tugipruss_3} = 0,108 + 2 \cdot 0,054 = 0,216 \text{ kN}$$

- a) Kasuskoormus vahelael

Hoone pööningut hakatakse kasutama külalistele eksponeerimiseks, eelkõige seal asuvat korstna külge ehitatud suitsuahju. Pööningule ei mahu korraga palju rahvast ning külastajad ei saa seal vabalt liikuda, vaid ainult mööda laudteed. Sellest tulenevalt ei ole mõistlik käsitleda pööningut muuseumiruumina ning vahelagi määratakse klassi B kuuluvaks. Kasuskoormus mõjub vahelaele ainult neis kohtades, kuhu rajatakse käigutee, mistõttu arvestatakse koondatud koormusega. Kasuskoormus vahelaele on määratud Ehituskonstruktori käsiraamatu järgi. [5, lk. 186-187]

Klassi B kuuluvale põrandale mõjuv koondatud koormus:

$$q_{k,vahelagi} = 2,0 \text{ kN}$$

2.6. Sisejõudude epüürid I ehitusjärgu osa kriitilises lõikes

Arvutuskeem on koostatud mudelina, kuhu on kantud kogu katuse kandekonstruktsioon ning kõik sellele mõjuvad koormused. Edasised arvutused teostatakse vaid esimesse ehitusjärku kuuluva osa kohta, kuna kõik ilmnenud kandekonstruktsiooni kahjustused ning seetõttu ka vajalikud proteesimised kuuluvad sellesse osasse. Arvutusmudeli analüüsi tulemusena selgus, et suurimad sisejõud tekivad lõikes, mis asub lõigatud sarika naabruses ning mille kohal võib esineda lume kuhjumist (vt. lõige 5-5, joonistel 01...03).

Käsitletav lõige asub mudeli y-z teljestikus. Liigendid on harja sõlm, penni kinnitumine sarika külge, sarika kinnitumine laetala külge, toolvärgi posti kinnitumine laetala ning pärlini külge ning laetalade omavaheline ühendus. Laetalade kolmest toest kaks lubavad konstruktsioonil liikuda y-telje sihis ning ümber x-telje ja z-telje. Üks tugi lubab liikumist ümber x-telje ja z-telje.

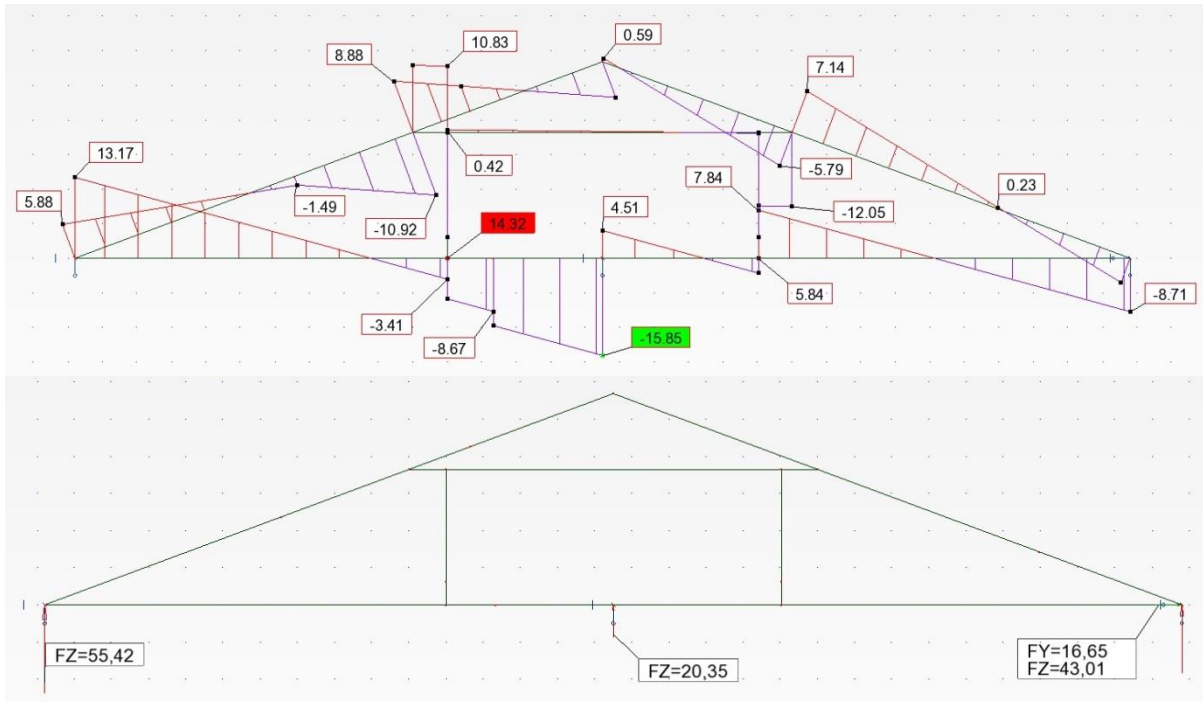
Kandepiir seisundis kontrollitakse nelja erinevat koormuskombinatsiooni, mis on koostatud valemi (2) põhjal. Esimesed kaks kombinatsiooni kajastavad olukorda, mil esineb maksimaalne lumekoormus ning tuul kas piki või risti hoonet. Kolmas ja neljas kombinatsioon kujutavad aga olukorda, kui tuul kas piki või risti hoonet on domineeriv muutuvkoormus. Lisaks tuulele ja lumele arvestatakse igas kombinatsioonis ka vahelaele mõjuvat vähendatud kasuskoormust.

2.6.1. Kandepiirseisundi koormuskombinatsioonid

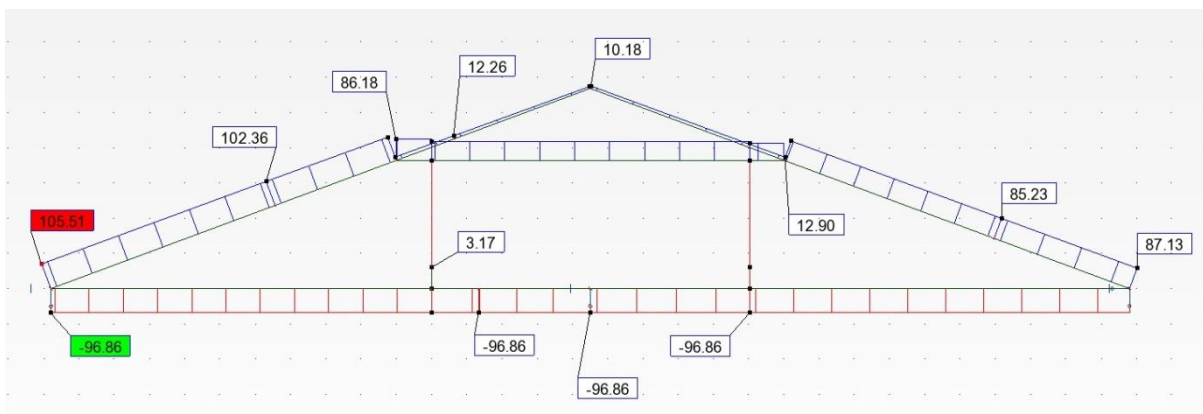
- 1) Domineeriv lumekoormus + tuul piki hoonet + vahelae kasuskoormus

$$1,2 \cdot G_{konstruktsioon} + 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{tuul_1} + 0,7 \cdot 1,5 \cdot Q_{kasus}$$

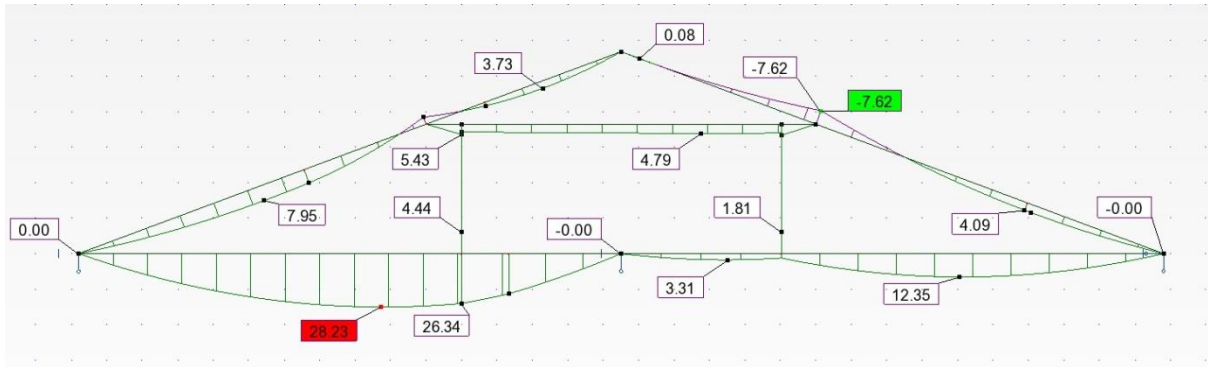
Joonistel 2.7.; 2.8. ja 2.9. on toodud kriitilise lõike esimese koormuskombinatsiooni sisejõud ja toereaktsioonid.



Joonis 2.7. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



Joonis 2.8. Pikijõu epüür (kN)

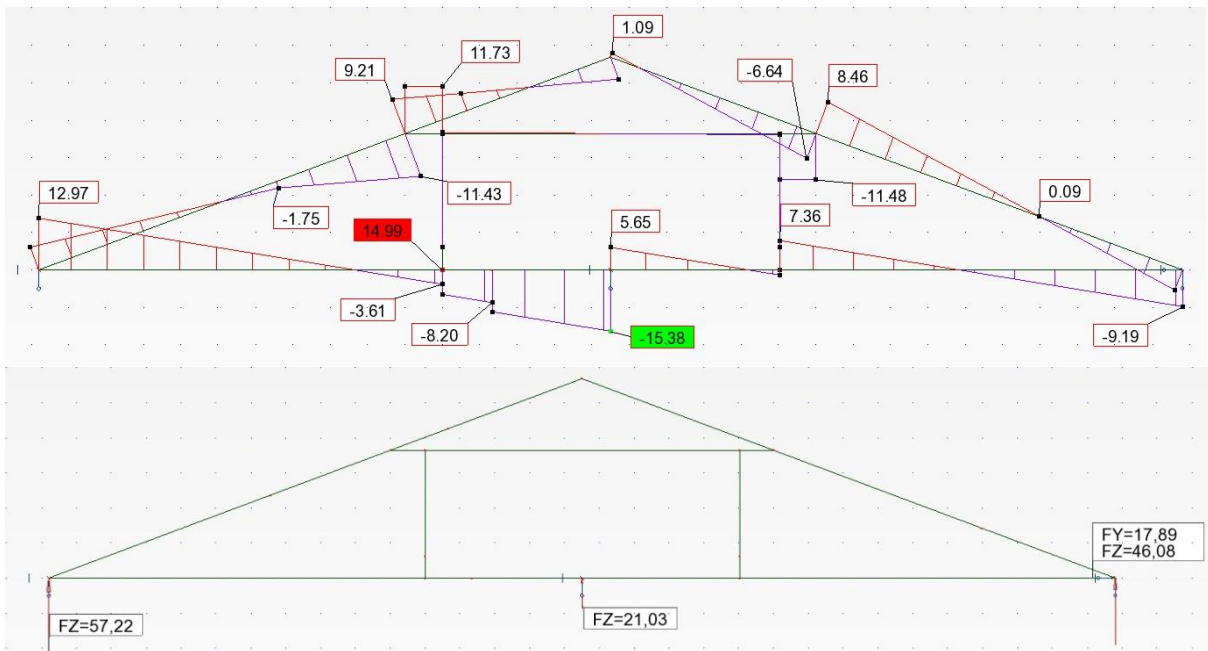


Joonis 2.9. Paindemomendi epüür (kNm)

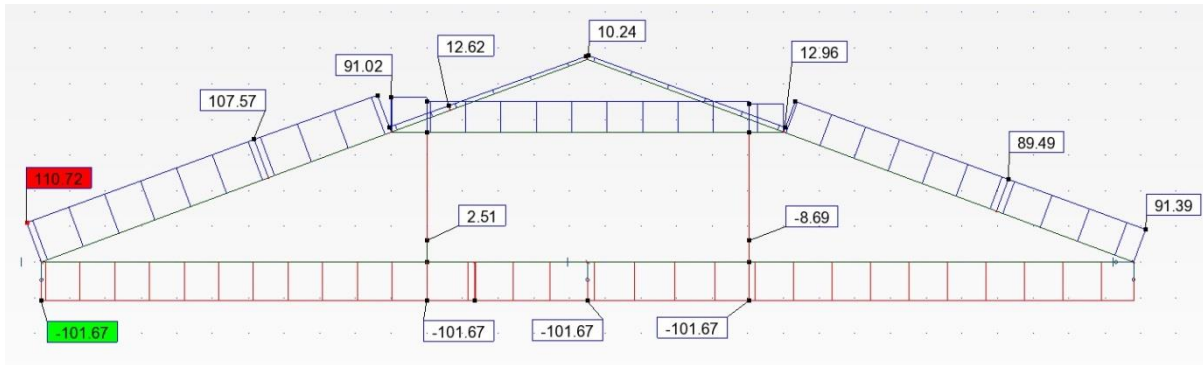
2) Domineeriv lumekoormus + tuul risti hoonet + vahelae kasuskoormus

$$1,2 \cdot G_{konstruktsioon} + 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{tuul_2} + 0,7 \cdot 1,5 \cdot Q_{kasus}$$

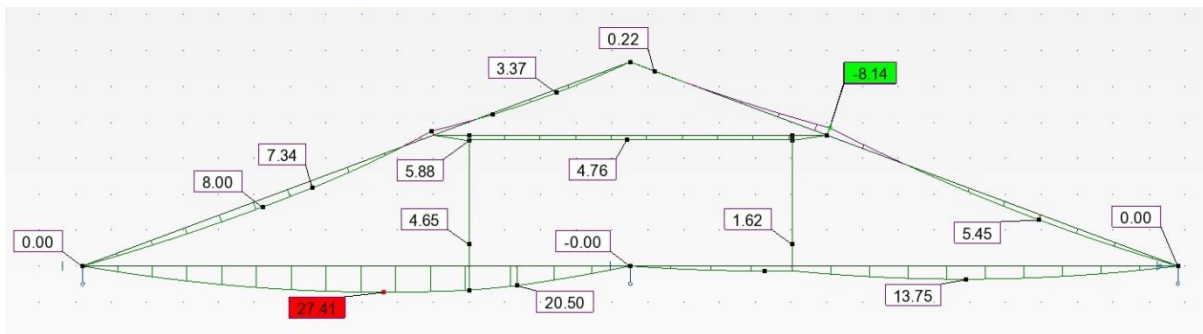
Joonistel 2.10.; 2.11. ja 2.12. on toodud kriitilise lõike teise koormuskombinatsiooni sisejõud ja toereaktsioonid.



Joonis 2.10. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



Joonis 2.11. Pikijõu epüür (kN)

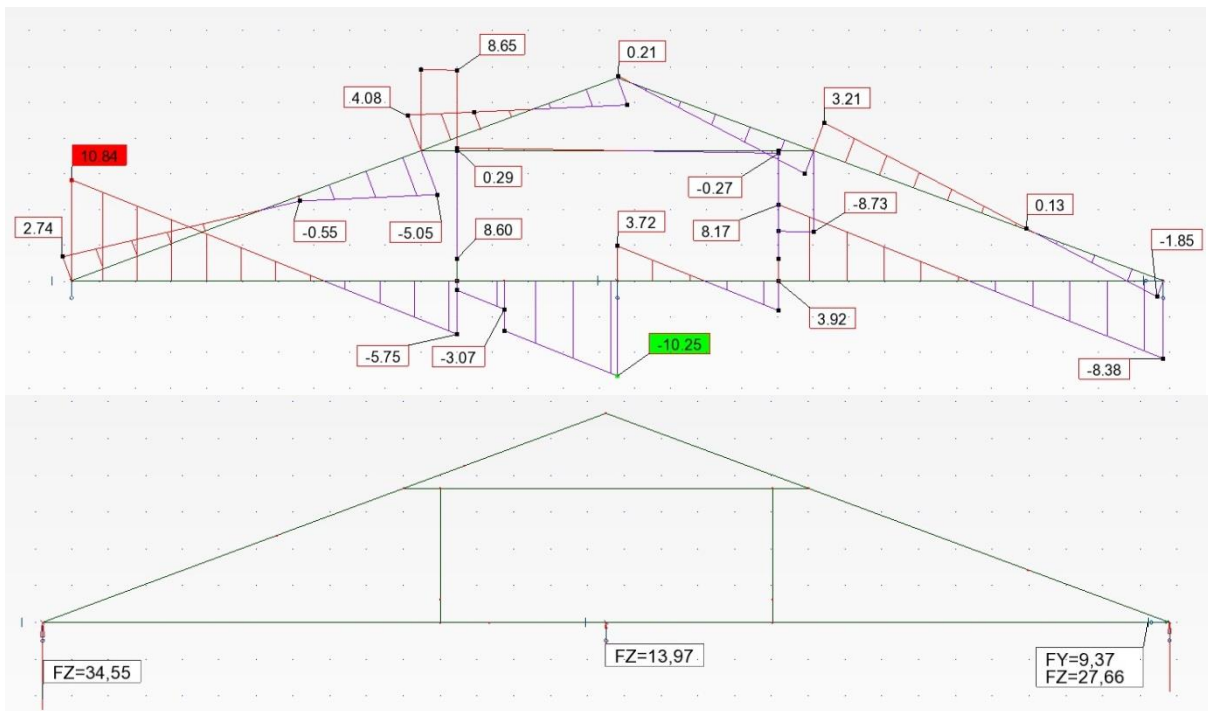


Joonis 2.12. Paindemomendi epüür (kNm)

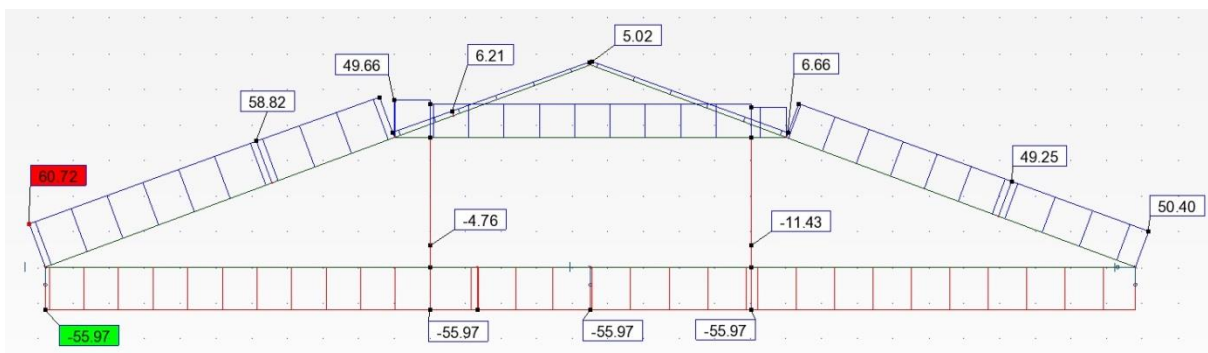
3) Domineeriv tuul piki hoonet + lumi + vahelae kasuskoormus

$$1,2 \cdot G_{konstruktsioon} + 1,5 \cdot Q_{tuul_1} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,7 \cdot 1,5 \cdot Q_{kasus}$$

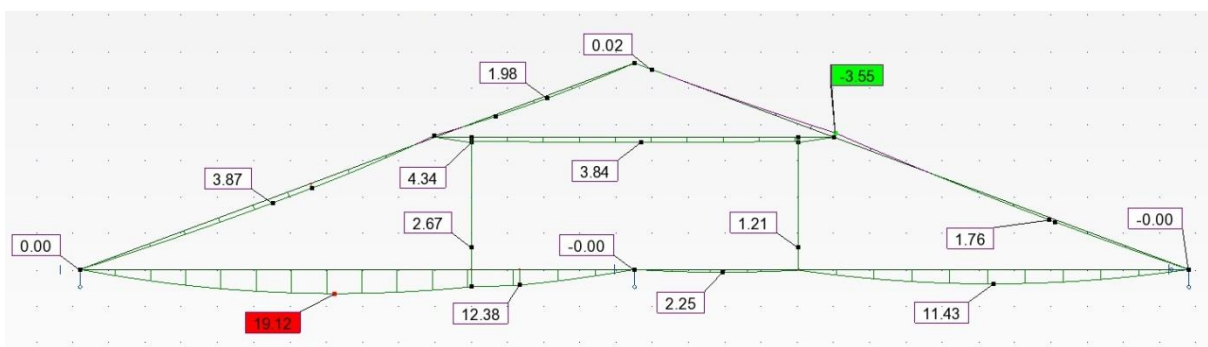
Joonistel 2.13.; 2.14. ja 2.15. on toodud kriitilise löike kolmanda koormuskombinatsiooni sisejõud ja toereaktsioonid.



Joonis 2.13. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



Joonis 2.14. Pikijõu epüür (kN)

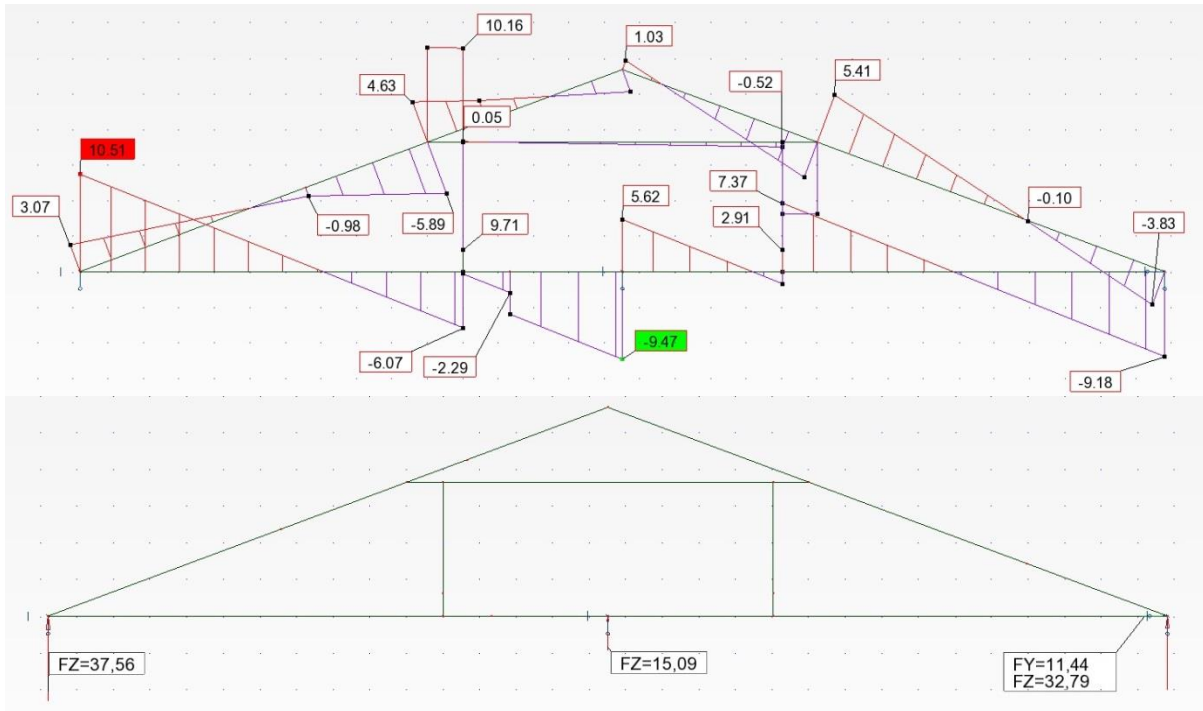


Joonis 2.15. Paindemomendi epüür (kNm)

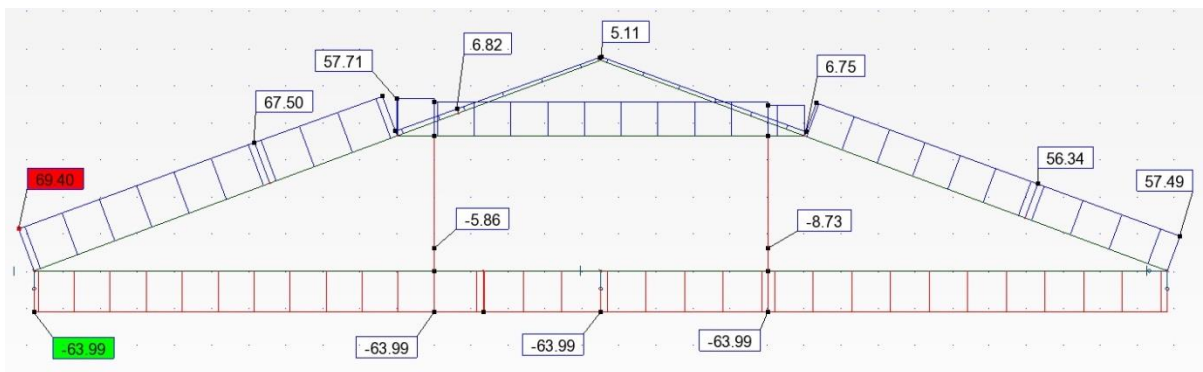
4) Domineeriv tuul risti hoonet + lumi + vahelae kasuskoormus

$$1,2 \cdot G_{konstruktsioon} + 1,5 \cdot Q_{tuul_2} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,7 \cdot 1,5 \cdot Q_{kasus}$$

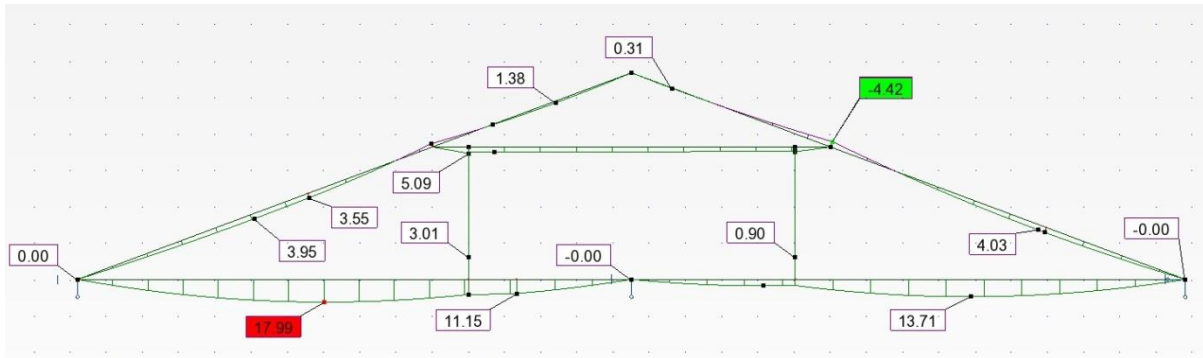
Joonistel 2.16.; 2.17. ja 2.18. on toodud kriitilise lõike neljanda koormuskombinatsiooni sisejõud ja toereaktsioonid.



Joonis 2.16. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



Joonis 2.17. Pikijõu epüür (kN)



Joonis 2.18. Paimdemomendi epüür (kNm)

2.6.2. Kasutuspiirseisundi (Normkombinatsioon) koormuskombinatsioonid

Kasutuspiirseisundis on sisejõud leitud nelja erineva koormuskombinatsiooni puhul, lähtudes valemist (3). Kasutuspiirseisundi kombinatsioonid on koostatud analoogselt kandepiirseisundi kombinatsioonidele.

- 1) Domineeriv lumekoormus + tuul piki hoonet + vahelae kasuskoormus

$$G_{konstruktsioon} + Q_{lumi} + 0,6 \cdot Q_{tuul_1} + 0,7 \cdot Q_{kasus}$$

- 2) Domineeriv lumekoormus + tuul risti hoonet + vahelae kasuskoormus

$$G_{konstruktsioon} + Q_{lumi} + 0,6 \cdot Q_{tuul_2} + 0,7 \cdot Q_{kasus}$$

- 3) Domineeriv tuul piki hoonet + lumi + vahelae kasuskoormus

$$G_{konstruktsioon} + Q_{tuul_1} + 0,5 \cdot Q_{lumi} + 0,7 \cdot Q_{kasus}$$

- 4) Domineeriv tuul risti hoonet + lumi + vahelae kasuskoormus

$$G_{konstruktsioon} + Q_{tuul_2} + 0,5 \cdot Q_{lumi} + 0,7 \cdot Q_{kasus}$$

2.7. Sarika kandevõime arvutus

Olemasolevad sarikad on tahatud puidust ristlõikega 180x230 mm ning tugevusklassiga C24. Koormuse kestusklass on lühiajaline, konstruktsiooni kasutusklass 2. Proteesimist vajavate sarikate pikkus jääb vahemikku 7,5...8 m. Asendamist vajavaid sarikapaare on kaks ja need asuvad hoone külglöövides. Nende sarikate pikkus on 4,5 m. Enamik kandvate puitelementide omavahelised ühendused on teostatud keeltapi ning puitnaagliga. Sarikate ühendus laetalaga on samuti teostatud tapiga, kuid info puitnaagli kasutamise kohta selles sõlmes puudub. Sarikad on omavahel ühendatud penniga, mis toetub pärlinile. Pärlin on teostatud postidega, millest osa on ühe- või kahe tugikäpaga. Sarika kandevõime arvutus teostatakse suurimate sisejõududega lõikele. Tugevusklassiga C24 saematerjali omadused on võetud Ehituskonstruktorigi käsiraamatu tabeli 14.5 alusel. [5, lk. 506]

Osavarutegur saepuidule - $\gamma_M = 1,3$

Modifikatsioonitegur - $k_{mod} = 0,9$

Normatiivne survetugevus pikikiudu - $f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$

Normatiivne survetugevus ristikiudu - $f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$

Normatiivne tõmbetugevus pikikiudu - $f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$

Normatiivne nihketugevus - $f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2$

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

Tihedus - $\rho_{mean} = 420 \text{ kg/m}^3$

Elastsusmoodul - $E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$

2.7.1. Nõrgestatud ristlõike kandepiiriseisundi survekandevõime pikikiudu koos paindega kriitilises lõikes

Määravaks saab teine kandepiiriseisundi koormuskombinatsioon (joonis 2.11. ja 2.12.), mille puhul esineb maksimaalne lumekoormus koos tuulega piki hoonet ning kasuskoormus vahelael. Sellisel juhul tekib sarika ja penni liitekohas (sarika nõrgestusega ristlõige) suurim paindemoment ning survejõud. Sarika ristlõike kontroll teostatakse vastavalt valemile: [18, lk. 40]

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (11)$$

Kus: $\sigma_{c,0,d}$ – arvutusliku survepinge väärtus pikikiudu, N/mm²;

$f_{c,0,d}$ – arvutusliku survetugevuse väärtus pikikiudu, N/mm²;

$\sigma_{m,y,d}$ – arvutusliku paindepinge väärtus y-telje suhtes, N/mm²;

$f_{m,y,d}$ – arvutusliku paindetugevuse väärtus y-telje suhtes, N/mm².

Arvutuslik survejõud pikikiudu

$$N_{c,sd} = 91,02 \text{ kN}$$

Arvutuslik paindemoment

$$M_{sd} = 8,15 \text{ kNm}$$

Arvutuslik paindetugevus avaldise (4) järgi

$$f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,61 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus pikikiudu avaldise (4) järgi

$$f_{c,0,d} = 0,9 \cdot \frac{21}{1,3} = 14,54 \text{ N/mm}^2$$

Nõrgestusega neto-ristlõikepindala

Kriitiline ristlõige on nõrgestatud tapiga, mille kõrgeim mõõde ristlõikes on 60 mm.

$$A_n = (230 - 60) \cdot 180 = 30600 \text{ mm}^2$$

Nõrgestusega ristlõike inertsimoment

$$I_{y,ef} = \frac{180 \cdot 230^3}{12} - \frac{180 \cdot 60^3}{12} - 180 \cdot 60 \cdot 85^2 = 101235000 \text{ mm}^2$$

Nõrgestusega ristlõike vastupanumoment

Nõrgestusega ristlõike vastupanumoment inertsimomendi ja ristlõike lokaalteljestikust y_e ekstreemsel kaugusel oleva punkti jagatise kaudu.

$$W_{y,ef} = \frac{I_{y,ef}}{|y_e|} = \frac{101235000}{85} = 1191000 \text{ mm}^3$$

Arvutuslik paindepinge y-telje suhtes leitakse avaldisega: [5, lk. 517]

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{sd}}{W_{y,ef}} \quad (12)$$

Kus: M_{sd} – paindemomendi arvutusväärtus y-telje suhtes, kNm;

$W_{y,ef}$ – ristlõike vastupanumoment y-telje suhtes, mm³.

Arvutuslik paindepinge avaldise (12) järgi

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{8,15 \cdot 10^6}{1191000} = 6,84 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survepinge leitakse avaldisega: [5, lk. 514]

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_n} \quad (13)$$

Kus: $F_{c,d}$ – tsentrilise survejõu arvutusväärtus, kN;

A_n – neto-ristlõikepindala, mm².

Arvutuslik survepinge pikikiudu avaldise (13) järgi

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{91,02 \cdot 10^3}{30600} = 2,975 \text{ N/mm}^2$$

Sarika paindekandevõime koos survega pikikiudu avaldise (11) järgi

$$\left(\frac{2,975}{14,54}\right)^2 + \frac{6,84}{16,61} = 0,454 \leq 1$$

Sarika kandevõime avaldise (11) järgi on tagatud.

2.7.2. Nõtkede kandepiiriseisundis

Määravaks saab teine kandepiiriseisundi koormuskombinatsioon (joonis 2.11. ja 2.12.), mille puhul esineb maksimaalne lumekoormus koos tuulega piki hoonet ning kasukoormus vahelael. Sellisel juhul tekib sarika sildeavas suurim paindemoment ja survejõud. Sarika kontroll nõtkete teostatakse vastavalt valemile: [18, lk. 40-41]

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (14)$$

Kus: $\sigma_{c,0,d}$ – arvutusliku survepinge väärtus pikikiudu, N/mm²;

$k_{c,y}$ – nõtketegur;

$f_{c,0,d}$ – arvutusliku survetugevuse väärtus pikikiudu, N/mm^2 ;

$\sigma_{m,y,d}$ – arvutusliku paindepinge väärtus y-telje suhtes, N/mm^2 ;

$f_{m,y,d}$ – arvutusliku paindetugevuse väärtus y-telje suhtes, N/mm^2 .

Arvutuslik paindetugevus avaldise (4) järgi

$$f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,61 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus pikikiudu avaldise (4) järgi

$$f_{c,0,d} = 0,9 \cdot \frac{21}{1,3} = 14,54 \text{ N/mm}^2$$

Nõtkepikkus

Sarika nõtkepikkus määratakse Ehituskonstruktori käsiraamatu järgi. Sarikat vaadeldakse jätkuva sõrestikuvardana, millel on põikkoormus, kuid pole kinnituspunkte. Vaadeldava sildeava pikkus on 5,2 m. Nõtkepikkus leitakse: [5, lk. 519]

$$l_{ef} = 0,8 \cdot s = 0,8 \cdot 5,2 = 4,16 \text{ m}$$

Kus: s – sildeava, m.

Ristlõike inertsimoment

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{180 \cdot 230^3}{12} = 182505000 \text{ mm}^4$$

Ristlõikepindala

$$A = b \cdot h = 180 \cdot 230 = 41400 \text{ mm}^2$$

Ristlõike inertsiraadius

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{182505000}{41400}} = 66,4 \text{ mm}$$

Paindesaledus

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{4160}{66,4} = 62,65$$

Suhteline saledus

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{62,65}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,06$$

$$\lambda_{rel,y} > 0,3$$

Nõtketegur $k_{c,y}$

$$\beta_c = 0,2$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2(1,06 - 0,3) + 1,06^2] = 1,141$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,141 + \sqrt{1,141^2 - 1,06^2}} = 0,643$$

Ristlõike vastupanumoment

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{180 \cdot 230^2}{6} = 1587000 \text{ mm}^3$$

Arvutuslik paindemoment sildeavas

$$M_{sd} = 8,0 \text{ kNm}$$

Arvutuslik paindepinge avaldise (12) järgi

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{8,0 \cdot 10^6}{1587000} = 5,04 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik tsentriline survejõud pikikiudu

$$N_{sd} = 108,2 \text{ kN}$$

Arvutuslik survepinge avaldise (13) järgi

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{108,2 \cdot 10^3}{41400} = 2,61 \text{ N/mm}^2$$

Sarika nõtkekandevõime avaldise (14) järgi

$$\frac{2,61}{0,643 \cdot 14,54} + \frac{5,04}{16,61} = 0,583 < 1$$

Sarika nõtkekandevõime y-telje suhtes on tagatud. Sarika nõtkekandevõime kontrolli z-telje suhtes ei teostata, kuna sarika külgsuunaline liikumine on takistatud roovidega.

2.7.3. Nihe kandepiir seisundis

Määravaks saab teine kandepiir seisundi koormuskombinatsioon (joonis 2.10.), mille puhul esineb maksimaalne lumekoormus koos tuulega piki hoonet ning kasuskoormus vahelael. Sellisel juhul tekib sarika ja penni liitekohas (sarika nõrgestusega ristlõige) suurim põikjõud. Sarika ristlõike kontroll teostatakse vastavalt valemile: [18, lk. 49-50]

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d} \quad (15)$$

Kus: τ_d – arvutuslik nihkepinge, N/mm²;

V_d – põikjõu arvutusväärtus, kN;

b – ristlõike laius, m;

h_{ef} – tala ristlõike kõrgus sisselõike kohal, m;

k_v – sisselõike kujust sõltuv vähendustegur;

$f_{v,d}$ – nihketugevuse arvutusväärtus, N/mm².

Arvutuslik nihketugevus valemi (4) järgi

$$f_{v,d} = 0,9 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,77 \text{ N/mm}^2$$

Tala kõrgus

$$h = 230 \text{ mm}$$

Tala kõrgus sisselõike kohal

$$h_{ef} = 230 - 60 = 170 \text{ mm}$$

Tala laius

$$b = 180 \text{ mm}$$

Põikjõu rakenduspunkti kaugus sisselõike servast

$$x = 170 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} = \frac{170}{230} = 0,739$$

Sisselõike kalle

$$\varepsilon = 70^\circ$$

$$i = \tan \varepsilon = \tan(70^\circ) = 2,748$$

$$k_n = 5$$

Tegur k_v

$$k_v = \min \left\{ \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \right.$$

$$k_v = \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} = \frac{5 \left(1 + \frac{1,1 \cdot 2,748^{1,5}}{\sqrt{230}} \right)}{\sqrt{230} \left(\sqrt{0,739(1-0,739)} + 0,8 \cdot \frac{170}{230} \sqrt{\frac{1}{0,739} - 0,739^2} \right)}$$
$$= 0,452$$

Põikjõu arvutusväärtus

$$V_{sd} = 11,43 \text{ kN}$$

Nihkekandevõime kontroll avaldise (15) järgi

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot 11,43 \cdot 10^3}{180 \cdot 170} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

$$k_v \cdot f_{v,d} = 0,452 \cdot 2,77 = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = 0,56 < 1,25$$

Sarika nihkekandevõime avaldise (15) järgi on tagatud.

2.7.4. Sarika piirläbipainde kontroll kasutuspiirseisundis

Sarika piirläbipainet kontrollitakse teises kasutuspiirseisundis, mil lumekoormus on domineerivaks muutuvkoormuseks. Muudeks muutuvkoormusteks on tuul risti hoonet ning vahelae kasuskoormus. Piirläbipainde kontroll teostatakse sarika suurimale sildele, milleks on pennist räästa suunas asuv osa. Sildeava pikkuseks on 5,2 m. Algdeformatsioonide väärtused on leitud Autodesk Robot Structural Analysis Professional programmi arvutusskeemi järgi. Lõplik deformatsioon saadakse vastavalt valemile: [18, lk. 20]

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + u_{fin,Q_i} \quad (16)$$

Kus: $u_{fin,G}$ – lõplik läbipaine alalise koormuse G korral, cm;

u_{fin,Q_1} – lõplik läbipaine domineeriva muutuvkoormuse Q_1 korral, cm;

u_{fin,Q_i} – lõplik läbipaine muude muutuvate koormuste Q_i korral, cm.

Tegur k_{def} [18, lk. 29]

Saepuidu korral kasutusklassis 2:

$$k_{def} = 0,8$$

Lõplik läbipaine alalise koormuse korral

$$u_{inst,G} = 0,3 \text{ cm}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G}(1 + k_{def}) = 0,3 \cdot (1 + 0,8) = 0,54 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine domineeriva muutuvkoormuse korral (lumekoormus)

$$u_{inst,Q_1} = 1,2 \text{ cm}$$

$$u_{fin,Q_1} = u_{inst,Q_1}(1 + \Psi_{2,1}k_{def}) = 1,2 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 1,2 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine mittedomineeriva muutuvkoormuse korral (tuul risti hoonet)

$$u_{inst,Q_2} = -0,1 \text{ cm}$$

$$u_{fin,Q_2} = u_{inst,Q_2}(\Psi_{0,2} + \Psi_{2,2}k_{def}) = -0,1 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = -0,06 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine valemi (16) järgi

$$u_{fin} = 0,54 + 1,2 - 0,06 = 1,68 \text{ cm}$$

Lubatud tala lõplik piirläbipaine Eesti rahvusliku lisa järgi [18, lk. 128]

$$w_{net,fin} = \frac{l}{300} = \frac{520}{300} = 1,73 \text{ cm}$$

$$u_{fin} < w_{net,fin}$$

Sarika lõplik läbipaine jääb lubatud piiridesse.

2.8. Laetala kandevõime arvutus

Olemasolevad laetalad on puidust ristlõikega 300x300 mm ning tugevusklassiga C24. Koormuse kestusklass on lühiajaline, konstruktsiooni kasutusklass 2. Laetalade pikkus on 7,5 m. Hoone keskosas koosnevad laetalad kahest omavahel otstest tappliitega ühendatud talast, mis on liitekohas müürile toetatud. Laetala kandevõime arvutus teostatakse suurimate sisejõududega lõikele. Tugevusklassiga C24 saematerjali omadused on võetud Ehituskonstruktori käsiraamatu tabeli 14.5 alusel. [5, lk. 506]

2.8.1. Nõrgestatud ristlõike kandepiiriseisundi tõmbekandevõime pikikiudu koos paindega kriitilises lõikes

Määravaks saab teine kandepiiriseisundi koormuskombinatsioon (joonis 2.11. ja 2.12.), mille puhul esineb maksimaalne lumekoormus koos tuulega piki hoonet ning kasuskoormus vahelael. Sellisel juhul tekib laetala ja toolvärgi posti liitekohas (laetala nõrgestusega ristlõige) suurim paindemoment. Lisaks paindemomendile ümber y-telje põhjustab toolvärk talas ka paindemomenti ümber z-telje, mis kantakse üle laetalade vahelisele laudisele. Seetõttu tala kandevõime seisukohalt võib selle mõju arvestamata jätta. Laetala ristlõike kontroll teostatakse vastavalt valemile: [18, lk. 39]

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (17)$$

Kus: $\sigma_{t,0,d}$ – arvutusliku tõmbepingi väärtus pikikiudu, N/mm²;

$f_{t,0,d}$ – arvutusliku tõmbetugevuse väärtus pikikiudu, N/mm²;

$\sigma_{m,y,d}$ – arvutusliku paindepinge väärtus y-telje suhtes, N/mm²;

$f_{m,y,d}$ – arvutusliku paindetugevuse väärtus y-telje suhtes, N/mm²;

Arvutuslik tõmbejõud pikikiudu

$$N_{t,sd} = 101,7 \text{ kN}$$

Arvutuslik paindemoment

$$M_{sd} = 26,4 \text{ kNm}$$

Arvutuslik paindetugevus avaldise (4) järgi

$$f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,61 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu avaldise (4) järgi

$$f_{t,0,d} = 0,9 \cdot \frac{14}{1,3} = 9,69 \text{ N/mm}^2$$

Nõrgestusega neto-ristlõikepindala

Kriitiline ristlõige on nõrgestatud tapiga, mille kõrgeim mõõde ristlõikes on 100 mm.

$$A_n = (300 - 100) \cdot 300 = 60000 \text{ mm}^2$$

Nõrgestusega ristlõike inertsimomendid

$$I_{y,ef} = \frac{300 \cdot 300^3}{12} - \frac{300 \cdot 100^3}{12} - 300 \cdot 100 \cdot 100^2 = 350000000 \text{ mm}^2$$

Nõrgestusega ristlõike vastupanumoment

Nõrgestusega ristlõike vastupanumoment inertsimomendi ja ristlõike lokaalteljestikust y_e ekstreemsel kaugusel oleva punkti jagatise kaudu.

$$W_{y,ef} = \frac{I_{y,ef}}{|y_e|} = \frac{350000000}{100} = 3500000 \text{ mm}^3$$

Arvutuslik paindepinge avaldise (12) järgi

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{26,4 \cdot 10^6}{3500000} = 7,54 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik tõmbepinge leitakse avaldisega: [5, lk. 514]

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{td}}{A_n} \quad (18)$$

Kus: F_{td} – tsentrilise tõmbejõu arvutusväärtus, kN;

A_n – neto-ristlõikepindala, mm².

Arvutuslik tõmbepinge pikikiudu avaldise (18) järgi

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{101,7 \cdot 10^3}{60000} = 1,695 \text{ N/mm}^2$$

Tala paindekandevõime koos tõmbega pikikiudu avaldise (17) järgi

$$\frac{1,695}{9,69} + \frac{7,54}{16,61} = 0,629 < 1$$

Tala kandevõime avaldise (17) järgi on tagatud.

2.8.2. Nihe kandepiir seisundis

Määravaks saab kolmas kandepiir seisundi koormuskombinatsioon (joonis 2.13.), mille puhul esineb maksimaalne tuulekoormus piki hoonet koos lumekoormusega ning kaskoormus vahelael. Sellisel juhul tekib laetala ja toolvärgi posti liitekohas (laetala nõrgestusega ristlõige) suurim põikjõud. Laetala ristlõike kontroll teostatakse vastavalt valemile: [5, lk. 520]

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{b_{ef} \cdot h} \leq f_{v,d} \quad (19)$$

Kus: τ_d – arvutusliku nihkepinge väärtus, N/mm²;

V_d – põikjõu arvutusväärtus, kN;

b_{ef} – tala ristlõike efektiivlaius, m;

h – tala ristlõike kõrgus, m;

$f_{v,d}$ – nihketugevuse arvutusväärtus, N/mm².

Arvutuslik nihketugevus valemi (4) järgi

$$f_{v,d} = 0,9 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,77 \text{ N/mm}^2$$

Tala kõrgus

Antud juhul arvestatakse tala kõrgusega nõrgestusega osas.

$$h = 300 - 100 = 200 \text{ mm}$$

Tala efektiivlaius

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 300 = 201 \text{ mm}$$

Põikjõu arvutusväärtus

$$V_{sd} = 8,17 \text{ kN}$$

Nihkekandevõime kontroll avaldise (15) järgi

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot 8,17 \cdot 10^3}{201 \cdot 200} = 0,305 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d}$$

Laetala nihkekandevõime avaldise (19) järgi on tagatud.

2.9. Sarika ühendusjätku kandevõime arvutus

Sarika ühendusjätku teostatakse kaldlukuga, mis töötab paindele, lõikele ja survele. Liitekohad tekivad erinevatesse sarika osadesse. Sellest tulenevalt arvutatakse liite kandevõime maksimaalse sarikas tekkiva survejõu järgi.

Määravaks saab teine kandepiirseisundi koormuskombinatsioon (joonis 2.11.), mille puhul esineb maksimaalne lumekoormus koos tuulega piki hoonet ning kasuskoormus vahelael.

2.9.1. Sarika otsa survekandevõime

Arvutustes eeldatakse, et survejõud võetakse vastu puiduga ning poldid on ühenduses vaid fikseerimiseks, mistõttu ei arvutata polte nihkele. Kaldluku puhul kantakse survejõud ühelt elemendilt teisele üle põhiliselt kiududega risti oleva pindala ulatuses. Kuna liites võivad tekkida ühendatavate pindade vahele tühimikud, teostatakse survekandevõime kontroll ühele kiududega risti olevale pindalale kogu survejõu mõjul vastavalt valemile: [5, lk. 514]

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (20)$$

Kus: $\sigma_{c,0,d}$ – arvutusliku survepinge väärtus pikikiudu, N/mm²;

$f_{c,0,d}$ – arvutusliku survetugevuse väärtus pikikiudu, N/mm²;

Arvutuslik survejõud pikikiudu

$$N_{c,sd} = 110,72 \text{ kN}$$

Arvutuslik survetugevus pikikiudu avaldise (4) järgi

$$f_{c,0,d} = 0,9 \cdot \frac{21}{1,3} = 14,54 \text{ N/mm}^2$$

Sarika otsa ristlõike pindala

Muinsuskaitseameti soovitude järgi: [19]

$$h_{ef} = \frac{h}{5} = \frac{230}{5} = 46 \text{ mm}$$

Ristlõike kõrguseks h_{ef} valitakse 50 mm.

$$A_{ef} = b \cdot h_{ef} = 180 \cdot 50 = 9000 \text{ mm}^2$$

Arvutuslik survepinge pikikiudu avaldise (13) järgi

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{110,72 \cdot 10^3}{9000} = 12,3 \text{ N/mm}^2$$

Sarika otsa survekandevõime pikikiudu avaldise (20) järgi

$$\frac{12,3}{14,54} = 0,846 \leq 1$$

Sarika otsa survekandevõime avaldise (20) järgi on tagatud.

2.9.2. Kinnitite valik

Liites hakkavad poldid suuremalt jaolt tööle tõmbele, mitte nihkele, nagu mehaanilistes liidetes tavaliselt. Polte tõmbele ei arvutata, vaid kasutatakse kogemuslikult M16 polte koos nende juurde kuuluvate DIN 436 nelikantseibidega. Kaldlukk on lahendatud lähtudes Muinsuskaitseameti soovitudest [19] ning selle lahendus on esitatud joonisel 13.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

Hoone katusearhindite tehnilise seisukorra hindamise osas avastati nende kahjustused, millest lähtuvalt esitatakse lahendused restaureerimis- ja renoveerimistöödeks. Kandekonstruksioonide tehnilise seisukorra võib uuringu käigus teostatud tugevus- ja niiskustehniliste katsetuste põhjal lugeda rahuldavaks, välja arvatud üksikud tõsisemad kahjustused, mis eeldavad elementide proteesimist või asendamist. Tarindite hävimise on kindlasti osalt ära hoidnud see, et mõis pole oma eluea jooksul kunagi seisnud päris tühjana.

Õisu mõisa peahoone katuse kandekonstruksiooni ning soojustatud vahelaekonstruksiooni lahenduse arvutuslikus osas arvestati omakaalukoormuse, lumekoormuse, tuulekoormuse ning kaskoormuse koosmõjusid. Kõik koormused leiti vastavalt Eesti Vabariigis kehtivatele EVS-standarditele (peatükid 2.2.; 2.3.; 2.4.1.; 2.5.1. ja 2.5.5.). Ehitusfüüsikaliselt võeti arvesse Eesti Vabariigis kehtivaid määruseid ning ET-kartoteegi materjale (peatükid 2.5.2. ja 2.5.3.). Konstruksiooni sisejõud arvutusteks leiti Autodesk Robot Structural Analysis Professional arvutiprogrammi abil (peatükk 2.6.), milles sisestatud koormuskombinatsioonid koostati vastavalt Eesti Vabariigis kehtivatele EVS-standarditele. Katuse kandekonstruksiooni kandevõime arvutusi kontrolliti EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 Puitkonstruksioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks standardi järgi. Katusekonstruksioonile teostati sarikate kandevõime arvutus (peatükk 2.7.), laetalade kandevõime arvutus (peatükk 2.8.) ning sarika jätkusõlme kandevõime arvutus (peatükk 2.9.).

3.1. Katusekonstruksiooni lahendus

Katusekonstruksiooni lahendamisel säilitatakse katuse räästa- ning harjajoon. Hoone katusealune tehakse tuulutatavaks, et parandada selle niiskusrežiimi.

3.1.1. Ettevalmistus- ja lammutustööd

Enne tööde algust tuleb konsulteerida ventilatsiooni projekteerijaga, et selgitada välja pööningul asuvate osaliselt lagununud tellistest ventilatsioonišahtide saatus. Kui šahtid leiavad kasutust, tuleb need puhastada ning taastada. Kui aga nähakse ette nende lammutamine, siis teostada see pööningu puhastustööde käigus.

Pööning tuleb puhastada sinna kogunenud prahist ning 50...100 mm paksusest linnusõnniku kihist. Lisaks puhastada ka pärlinkonstruksioonid nende peale kogunenud prahist ning sõnnikust. Praht

väljutada avatäidetesse paigutatud prügitorude kaudu. Selle tarbeks võib ajutiselt eemaldada avatäited ja need hoolikalt ladustada, kuna tegemist on kultuuriväärtuslike detailidega. Lisaks demonteeritakse kinni müüritud räästad, kuna eesmärgiks on teha pööning tuulutatavaks. Seda tehes tuleb aga pöörata tähelepanu sellele, et karniis vastukaalu puudumise tõttu ei laguneks. Räästad on kinni müüritud silikaattellistega ning seda ilmselt soojakadude vähendamise eesmärgil.

Lammutustööde käigus eemaldatakse katuse katteplekk, roovitis, neelu- ja katuseuukide laudis. Selle käigus tuleb jälgida võimalikke sarikate niiskuskahjustusi, seda eelkõige talveaia vahekatuse pealses osas, millele ligipääs hetkel puudub, ja kahjustused kaardistada.

Eelpool mainitud eemaldatavad osad ei oma kultuurilist väärtust ning kuuluvad seetõttu utiliseerimisele. Küll aga võib taaskasutada kolmanda ehitusjärgu 50x50 mm roove distantssliistudena, kuna need on küllaltki heas seisukorras.

3.1.2. Restaureerimistööd

Pärlinkonstruksioonide puhul vajab proteesimist kahe pärliini liitekoht alas 2. Proteesimine on soovitatav teostada Muinsuskaitseameti näidissõlme järgi hammasrööplukuga [20], kahe pärliini omavaheline jätkusõlm teostada olemasoleva lahenduse näitel. Lisaks asendatakse eemaldatud toolvärgi postid. Proteesimist või asendamist vajavate elementide asukohad on esitatud joonisel 02.

Hoone esimese ehitusjärgu osas puuduvad kohati sarikate külge paigaldatud räästatõstjad. Neile sarikatele tuleb tööde käigus räästatõstjad paigaldada.

Kõik sarikate kahjustused jäävad alla 40% ning piirduda võib elementide proteesimisega. Uurimise käigus avastati 17 proteesimist vajavat sarikat. Sarikad proteesitakse kaldlukuga, mille lahendus on esitatud joonisel 13. Alades 1 ja 2 lõigatud sarikapaarid asendatakse olemasolevate eeskujul. Proteesimist või asendamist vajavate elementide asukohad on esitatud joonisel 01.

Nii pärlinkonstruksioonide kui sarikate proteesimisel ja asendamisel kasutada võimalikult sarnase ristlõike ning töötusega uusi elemente. Juhul kui ilmnevad väiksemad sarikate kahjustused maksimaalse sügavusega kuni 20 mm, võib kahjustunud osad välja tahuda ning paigaldada uued vastava mõõduga täitetükid.

3.1.3. Renoveerimistööd

Räästatõstjate peale paigaldatakse distantssliist ristlõikega 50x50 mm, tugevusklassiga C16. Distantssliistude peale on ette nähtud aluskate. Aluskatte peale sarikatega paralleelselt kinnitatakse

tuulutusliist ristlõikega 40x25 mm, tugevusklassiga C16. Tuulutusliistudega risti paigaldatakse laudroovitis ristlõikega 100x25 mm, tugevusklassiga C16. Katusekattena on ette nähtud püstiste topeltvaltsidega tsingitud terasplekist katusekate traditsiooniliste tahvlimõõtudega 710x1420. Räästatõstjate külge mõlemale poole paigaldatakse kaks 25x50 mm liistu, mille vahele kinnitatakse tuuletõkkeplaat. Räästalahendus on toodud joonisel 08.

Esimese ehitusjärgu tõstmata räästaga osas paigaldatakse sarika külge mõlemale poole sarikat pruss ristlõikega 50x100 mm, tugevusklassiga C24, et säilitada katuse esialgne kuju. Tuulesuunajaks paigaldatakse nende prusside alumisele küljele tuuletõkkeplaat. Prussid toestatakse rajatavalte müürlatile. Räästasse paigaldatakse tuulesuunajad. Puistevilla ja tuulesuunaja ülemise serva kõrguse vahe peab olema vähemalt 200 mm. Räästalahendus tõstmata räästaga osas on toodud joonisel 09.

Katuse harja rajatakse liistud ristlõikega 50x60 mm, mille peale kinnitatakse harjaplekk. Sellega võimaldatakse katuse tuulutust harja kaudu. Harjapleki alla paigaldatakse 100 mm laiused veekindla vineeri ribad. Kuna katuse katteplekk on püstiste valtsidega, tuleb harjas see lamavaks valtsida. Harjasõlme lahendus on toodud joonisel 10.

3.2. Konstruksioonid hoone katusel

3.2.1. Vihmaveesüsteem

Hoonele rajatakse vihmaveesüsteem, mis koosneb katusepealsetest sottrennidest ning vertikaalsetest vihmaveetorudest. Vihmaveesüsteemi paiknemine on toodud joonisel 11 ning renni puidust toe põhimõttelist lahendust on näha joonistel 08 ja 09. Sottrennid paigaldatakse katusekate vahetamise käigus minimaalse kaldega $i=0,05$. Samuti paigaldatakse uued vihmaveelehtrid Ø300 mm ja vihmaveetorud Ø140 mm. [21] Vertikaalsete vihmaveetorude ja lehtri joonis on võetud hoone eelprojektist, mille on koostanud OÜ Vana Tallinn ning see on esitatud lisas 9.

3.2.2. Korstnad

Korstnaotstelt eemaldada defektne ja valesti profileeritud krohv, katteplekk ja juba lahtised või töö käigus lahti pudenevad kivid. Kivid ladustada taaskasutuse eesmärgil. Krohvi eemaldamine peab toimuma nii, et ei kahjustataks põhjendamatu korstnate konstruksiooni.

Korstnate puudulikud või lahtised kivid asendatakse, kusjuures uute kividenä kasutada võimalusel mõisakompleksis leiduvaid autentseid põletatud telliseid. Seejärel krohvitakse korstnad lubikrohviga, järgides algupärast profileeringut. Kesküttekorstnat ei profileerita, vaid krohvitakse ühtlase kihina.

Korstnaotsad kaetakse plekiga. Lubikrohviga viimistlemise tehnoloogia on täpsemalt esitatud hoone välisviimistluse põhiprojektis. [21] Korstnatele, mis on kõrgemad kui 1 m, tuleb rajada astmed. Profileeritava korstnaotsa lahendus on võetud hoone eelprojektist, mille on koostanud OÜ Vana Tallinn ning see on esitatud lisas 10.

3.2.3. Karniis

Karniisilt eemaldada vale profileeringuga ja defektne krohv. Samuti eemaldada lahtised või töö käigus lahti pudenevad karniisikivid. Kivid ladustada taaskasutuse eesmärgil. Krohvi eemaldamine peab toimuma nii, et ei kahjustataks põhjendamatu karniisi konstruktsiooni.

Karniisi kivide asendamisel tahuda kivid sarnaselt olemasolevale profiilile. Seejärel katta karniis lubikrohviga, järgides algupärast või hoone peasissekäigu kohal oleva restaureeritud kolmnurkfrontooni profiili. Lubikrohviga viimistlemise tehnoloogia on täpsemalt esitatud hoone välisviimistluse põhiprojektis. [21]

3.2.4. Katuseuugid

Katuseuukide avatäited teostatakse lähtuvalt olemasoleva ava mõõtmetest. Katuseuugi avatäite põhimõttelise lahenduse aluseks on võetud hoone eelprojekt, mille on koostanud OÜ Vana Tallinn ning see on esitatud joonisel 14.

3.3. Vahelaekonstruktsiooni lahendus

Vahelagi soojustatakse 300 mm paksuse puistevilla (tselluvilla) kihiga. Selleks eemaldatakse laetalade vahelt ~150 mm paksune liivakiht, mille all paikneb tihe laudis paksusega 40 mm. Niiskuskahjustustega laudis eemaldatakse ning asendatakse uuega. Laudise ja talade peale paigaldatakse aurutõkkekile, et vältida niiskuse tungimist villa sisse. Aurutõkke peale kantakse puistevill, mis katab ~100 mm paksuselt ka laetalasid. Vahelae konstruktsioon on toodud lisas 8. Pööningule on kavas rajada 600 mm laiused käiguteed, mille lahendus on esitatud joonisel 12.

Räästasse laetalade vahele on ette nähtud laduda karniisi vastukaal analoogselt alas 3 tehtule (asukoht joonistel 01 ja 02 ning teostus fotol 10).

3.4. Juhised edasiseks tegevuseks

Enne restaureerimistöid on vajalik teostada täiendavaid konstruktsioonide tugevus- ja stabiilsusarvutusi, mis mahulistel põhjustel käesolevast tööst välja jäid. Lisaks on mõistlik tuulekoormuse määramise käigus kontrollida olukorda, kui tuul puhub risti hoonet esifassaadi poolt. See on küll tuulele suletum külge kui tagafassaad, kuid sellele mõjuv tuulekoormus võib mingis olukorras tekitada konstruktsioonides suuremaid sisejõudusid.

Esimese ehitusjärgu osas vajavad kontrollimist pennid ja pärlkonstruktsioonid. Lahendada tuleb ka uurimise käigus avastatud kahjustunud pärlini proteesimine. Konstruktsioonide avamisel täpsustada hoone keskosa laetalade omavahelist jätkseotist ning kontrollida selle kandevõimet. Samuti kontrollida laetalade kinni müüritud otste seisukorda ning vajadusel teostada proteesimine. Kinni müüritud räästaid on enne lammutamist võimalik uurida boreskoobiga, et selgitada välja nende täpsem lahendus.

Kolmanda ehitusjärgu osas on vajalik kontrollida kõiki katuse kandekonstruktsioone, seda eelkõige kriitilises löikes kesküttekorstna läheduses.

Kolmanda ehitusjärgu talveaia osas tuleb enne edasisi arvutusi selgitada välja vahekatuse pealse ruumi kandekonstruktsioon ning tehniline seisukord. Samuti on vajalik täpsustada betoneeritud sarikaotste ning müürlati täpsem lahendus ning tehniline seisukord. Seda on võimalik teha boreskoobiga.

Kõik vajalikud proteesimised, elementide asendamised ning ristlõike suurendamised konstrueerida Muinsuskaitseameti nõudeid järgides.

Enne vahelae soojustamist on vajalik lahendada läbiviikude ümbrused, järgides tulekaitselisi nõudeid. Katuse kandekonstruktsioonide olemasoleva tulekaitselise võõba asendamise vajadust kontrollida tulepüsivuse arvutustega.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö tulemusena lahendati Õisu mõisa peahoone tuulutatava katuse ning soojustatud vahelae konstruktsioon esimeses etapis.

Tehnilise seisukorra hindamise käigus käsitleti hoone kõiki katusekonstruktsioone, uuriti nende kahjustusi ning toodi välja ja kaardistati neist katuse kandevõime ning hoone säilimise seisukohast kriitilisemad. Difusiooniarvutusega leiti lahendus vahelae soojustamiseks. Kogu hoone katusekonstruktsiooni kohta koostati arvutusmudel, kuhu sisestati kõik mõjuvad koormused ning neist moodustati koormuskombinatsioonid. Arvutusmudeli andmeid on võimalik kasutada edasistes konstruktsiooniarvutustes. Tugevus- ja stabiilsusarvutustega kontrolliti sarikate ja laetalade kandevõimet. Arvutuste tulemusel selgus, et olemasolevate konstruktsioonide kandevõime on piisav ning ristlõigete suurendamise vajadust ei ole. Katusekonstruktsiooni kahjustunud osade restaureerimiseks esitati lahendused, mis on kooskõlas hoone eelprojekti ning muinsuskaitseliste nõuetega. Kahjustunud sarikate jätkamiseks pakuti välja liide, mis vastab Muinsuskaitseameti nõuetele.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Õisu mõis [Online]. Kättesaadav: <http://www.mois.ee/vilj/oisu.shtml> [30.12.2014].
2. Praust, V. Viljandimaa mõisad. Tänapäev kirjastus. Tallinn. 2010. 280 lk.
3. Kultuurimälestiste riiklik register: Õisu mõisa peahoone [Online]. Kättesaadav: <http://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=14449> [30.12.2014].
4. Sova, E. Viljandimaa, Halliste vald, Õisu mõisa peahoone muinsuskaitse eritingimused. OÜ Vana Tallinn. 2008. 49 lk.
5. Masso, T. Ehituskonstruktori käsiraamat. Ehitame kirjastus. Tallinn. 2012. 577 lk.
6. Õisu mõisa peahoone remont-restaureerimise eelprojekt, OÜ Vana Tallinn.
7. Masso, T. Ekspert hinnang Õisu mõisa peamiste hoonete tehnilisele seisundile. 2001. MA arhiiv, säilik nr. P-11810.
8. EVS-EN 1991-1-3:2006 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus. 58 lk.
9. EVS-EN 1991-1-4:2007 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. 160 lk.
10. EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasukoormused. 51 lk.
11. Probex Eesti tooteleht [Online]. Kättesaadav: <http://www.probex.ee/osb.html> [30.12.2014].
12. Isover toodete koondtabel [Online]. Kättesaadav: <http://www.isover.ee/projekteerimine> [30.12.2014].
13. Ecovill tooteleht [Online]. Kättesaadav: <http://www.ecovill.ee/tooted/tselluvill/ekowool/> [30.12.2014].
14. Energiatõhususe miinimumnõuded [Online]. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105092012004> [30.12.2014].
15. Eesti Ehitusteave. Välisseina difusiooniarvutus. ET-2 0404-0764. 11 lk.
16. EVS-EN ISO 10456:2008 Ehitusmaterjalid- ja tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Projekteerimisel kasutatavad tabelväärtused. 29 lk.
17. EVS 908-1:2010 Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire. 38 lk.
18. EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks. 130 lk.
19. Muinsuskaitseameti näidissõlm. Kaldlukk [Online]. Kättesaadav: <http://www.muinas.ee/files/3%20-%20Kaldlukk.pdf> [30.12.2014].
20. Muinsuskaitseameti näidissõlm. Hammasrööplukk [Online] Kättesaadav: <http://www.muinas.ee/files/5%20-%20Hammasrooplukk.pdf> [30.12.2014].

21. Õisu mõisa peahoone välisviimistluse põhiprojekt, OÜ Vana Tallinn.

JOONISED

Jooniste nimekiri

- 01 Sarikate plaan ja kahjustused
- 02 Laetalade ja toolvärgi plaan ning kahjustused
- 03 Olemasoleva katuse plaan
- 04 Lõige 1-1
- 05 Lõige 2-2
- 06 Lõige 3-3
- 07 Lõige 4-4
- 08 Räästasõlm tõstetud räästaga osas
- 09 Räästasõlm tõstmata räästaga osas
- 10 Harjasõlm
- 11 Restaureeritava katuse plaan
- 12 Pööningu käigutee
- 13 Sarika ühendusjätk
- 14 Katuseuugi avatäide

LISAD