



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TARTU

Säästva tehnoloogia õppetool

TALLINNAS, LAI 25 PAIKNEVA LINNATEATRI
HOONE F KATUSEKONSTRUKTSIOONI
KONSTRUKTIIVNE LAHENDUS

ROOF'S STRUCTURAL SOLUTION FOR BUILDING F OF TALLINN CITY THEATRE
AT 25 LAI STREET IN TALLINN

Üliõpilane **Karl Koemets**

Juhendaja: **Ragnar Pabort**

Tartu, 2014.a.

ABSTRACT

Koemets, K. Roof's structural solution for building F of Tallinn City Theatre at 25 Lai street in Tallinn. Tartu 2013. 98 pages, 15 tables, 39 illustrations. 6 A3 format drawings. Master's thesis is written in Estonian language.

Keywords: main project, restoration, medieval architecture, structure calculations, strength calculations.

The purpose of this master's thesis is to offer an insulated structural solution for a medieval house which is a part of Tallinn City Theatre's building complex. The building complex is situated in medieval Tallinn's Old Town which is also listed as a UNESCO World Heritage Site and the building in question is building F. It is a one-storeyed building at the end of the real estate with one side facing to the inner yard and the other side to the Laboratooriumi street. The main goal of reconstructing the roof is to improve energy efficiency and to protect the historical facade of the building from weather conditions. Architectural project foresees the attic as a recreational room for actors and workers but at the moment there isn't enough efficient space. The solution for access to the attic needs to be reevaluated as well.

Drawings and construction details were designed with AutoCad 2014. Autodesk Robot Structural Analysis 2013 was used to calculate structure's internal forces. All the calculations were made according to standards which are valid in Republic of Estonia. Structural analysis offer a solution for rafters and supports. Rationality and historical essential value were taken account of while choosing the materials for the construction. The roof primarily consists of natural materials.

SISUKORD

Abstract.....	2
Sissejuhatus	6
1. Ajalooline ülevaade	8
1.1. Lai 25.....	8
2. Töö lahenduskaik.....	13
3. Materjal ja meetodika.....	17
3.1. Arvutusmetoodika ja põhimõtted	17
3.2. Kasutatavad normdokumendid	18
3.3. Kasutatud arvutiprogrammid.....	18
4. Hoone F soojustatud katusekonstruktsiooni lahendus.....	19
4.1. Lumekoormus.....	19
4.1.1. Lumekoormus normaalolukorras.....	20
4.1.2. Lumekoormus lume kuhjumisel tule müüri taha.....	20
4.1.3. Normatiivsed lumekoormused.....	22
4.2. Tuulekoormus.....	22
4.2.1. Hoone karakteristikud (tuul katuse külgedelt).....	22
4.2.2. Tippkiirusrõhk	24
4.2.3. Kahekaldelise katuse tuulerõhud (tuul hoovi poolt).....	26
4.2.4. Kahekaldelise katuse tuulerõhud (tuul Laboratooriumi tänava poolt)	27
4.2.5. Kahekaldelise katuse tuulerõhud (tuul katuse otsast).....	28
4.3. Katusekonstruktsiooni lahendus	30
4.3.1 Katusekonstruktsiooni omakaalukoormus.....	30
4.3.2. Katusekonstruktsiooni difusiooni arvutus	32
4.3.3. Katusekonstruktsiooni kogusoojustakistuse leidmine.....	35
4.4. Joonkoormused.....	38

4.5. Koormuskombinatsioonid ja sisejõudude epüürid kriitilises lõikes.....	40
4.5.1. Kandepiirseisundi koormuskombinatsioonid	40
4.5.2. Kasutuspiirseisundi (Normkombinatsioon) koormuskombinatsioonid	48
4.6. Sarikate kandevõime arvutus.....	49
4.6.1. Nõrgestatud ristlõike kandepiirseisundi tõmbekandevõime pikikiudu koos paindega kriitilises lõikes	50
4.6.2. Nõrgestatud ristlõike kandepiirseisundi survekandevõime pikikiudu koos paindega kriitilises lõikes	53
4.6.3. Nõtke kandepiirseisundis.....	54
4.6.4. Nihkekandevõime kandepiirseisundis	56
4.6.5. Kandepiirseisundi survekandevõime kiudude suhtes nurga all (muljumine)....	58
4.6.6. Sarikate piirläbipainde kontroll kasutuspiirseisundis	60
4.7. Toolvärgi kandevõime arvutus	61
4.7.1. Kriitilises lõikes paiknevate toolvärkide sisejõud	62
4.7.2. Ülemise vöö paindekandevõime.....	65
4.7.3. Posti kandevõime.....	65
4.7.4. Alumise vöö survekandevõime ristikiudu	67
4.7.5. Nihkekandevõime.....	68
4.7.6. Toolvärgi ülemise vöö piirläbipainde kontroll kasutuspiirseisundis.....	69
4.8. Sõlmede kandevõime arvutus	70
4.8.1. Harja sõlm	70
4.8.2. Toolvärkide sõlmed	74
4.8.3. Räästa sõlm.....	75
4.9. Vintskapi kandevõime arvutus	79
4.9.1. Lumekoormus	79
4.9.2. Tuulekoormus	80
4.9.3. Omakaalu koormused.....	82

4.9.4. Vintskapi lahendus	84
4.9.5. Kandepiirseisundis mõjuvad koormused.....	84
4.9.6. Vintskapi aluse topeltsarika kandevõime kandepiirseisundis	85
Arutelu	94
Kokkuvõte	95
Kasutatud kirjandus	96
Lisad	98

SISSEJUHATUS

Arhitektuuril on suur roll ühiskonna kujunemisel. Igal riigil ja rahvusel on omanäoline arhitektuur, mis on mõjutatud selle riigi või rahvuse ajaloost. Eesti Vabariigi käekäiku ning kindlasti ka arhitektuuri olemust on otseselt ja kaudselt mõjutanud läbi aegade mitmed välisvõimud. Sellest hoolimata on oluline meile jäetud kultuuripärandit, seal hulgas ka arhitektuuri hoida ning säilitada.

Antud magistritöö eesmärgiks on lahendada Tallinna Linnateatri (Tallinn, Lai 25) hoone F katusekonstruktsioon põhiprojekti staadiumis. Katusekonstruktsiooni restaureerimise eesmärgiks on hoone energiatõhususe tõstmine ning olemasoleva fassaadi kaitsmine ilmastiku tingimuste eest. Parima energiatõhususe saavutamiseks oleks vaja restaureerida ka hoone fassaad, kuid Linnateatri piiratud majanduslikud võimalused võimaldavad hetkel teostada ainult katusekonstruktsiooni restaureerimistöid. Kuna tegemist on muinsuskaitse aluse objektiga, on projekteerimisel lähtutud hoonekompleksile koostatud muinsuskaitse eritingimustest, mis seavad piirangud katuse ja vintskapi gabariitidele. Lisaks on arvesse võetud mõõdistusjooniseid ning arhitektuurset eelprojekti, mille on koostanud KOKO Arhitektid OÜ.

Arhitektuurses eelprojekti on pööningule ette nähtud puhkeruum, mis on ühendatud keerdtrepiga esimese korruse siseruumiga läbi vahelae endise mantelkorstna kohalt. Keerdtrepi asukoht on muinsuskaitse eritingimustega määratletud, kuid selle alune osa jääb välja ruumi kasulikust pinnast, mille kõrguseks on 1,6 meetrit. Olemasoleva vintskapi keha restaureeritakse, kuid ukse taha paigaldatakse aken ning vintskapp omab pigem dekoratiivset otstarvet. Seega pole hetke andmete põhjal võimalik pööningule rakendust leida, kuna ruumile puudub loogiline juurdepääs. Katus projekteeritakse nii, et jääb võimalus pööningu rakendamiseks olmeliste otstarvete jaoks, kui lahendatakse standardite ja ohutusnõuetega vastavuses olev juurdepääs ruumile.

Magistritöö põhieesmärgiks on muinsuskaitse eritingimusi ja nõudeid silmas pidades välja pakkuda soovustatud katuse konstruktiivne lahendus, mis rahuldab kõiki asjakohastes EVS-satandardites esitatud nõudeid ja tingimusi.

Käesoleva magistritöö autor soovib tänada Ragnar Pabortit (AS Resand) operatiivse koostöö ja asjakohaste ning professionaalsete konsultatsioonide eest lõputöö koostamise ajal. Samuti soovitakse tänu avaldada Annely Kuule (vanemteadur, TTÜ Tartu Kolledž), kes aitas lahendada kõiki vormistuslikku poolt puudutavaid küsimusi. Lisaks tänab autor

Aime Ruusi (dotsent, TTÜ Tartu Kolledž) ehitusfüüsikaliste nõuannete eest ning Maari Idnurme (OÜ Ehitusekspertiisibüroo) magistr töö idee ja konkreetset objekti puudutavate materjalide eest, mis sisaldasid muinsuskaitse eritingimusi ning OÜ KOKO arhitektid arhitektuuribüroo poolt koostatud arhitektuurse eelprojekti jooniseid.

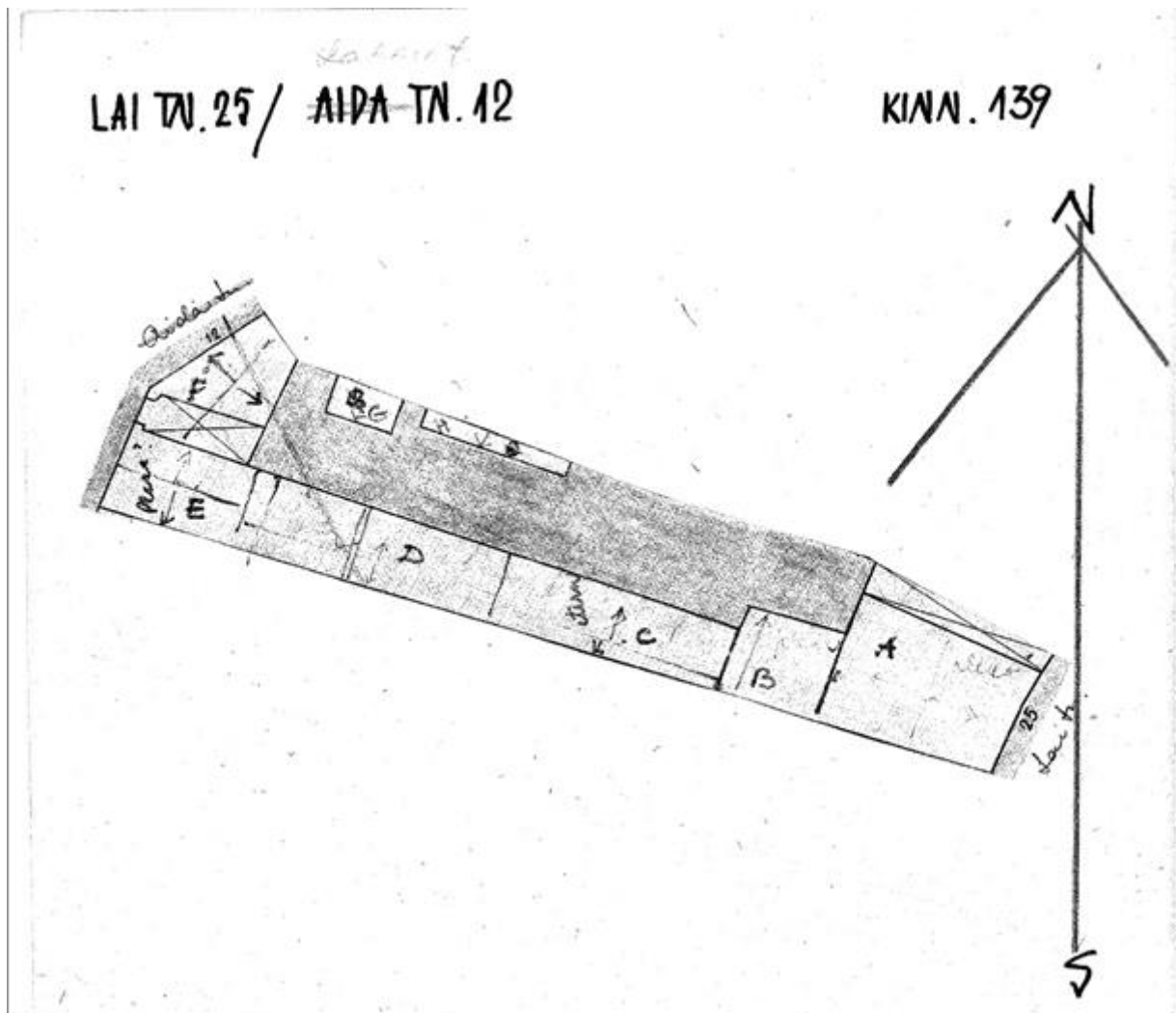
1. AJALOOLINE ÜLEVAADE

Tallinna vanalinn on Tallinna vanim linnaosa. Tallinna vanalinn kuulub alates 1997. aastast UNESCO maailmapärandi nimekirja. Tallinna vanalinna eriline väärtus seisneb eelkõige tänaseni püsinud keskaegses miljöö ja struktuuris, mis on teistest Põhja-Euroopa pealinnadest kadunud. Tallinna vanalinnas on peaaegu terviklikult olemas 11.-15. sajandil väljakujunenud tänavate võrk ja kruntide piirid. Tallinn kujutab endast Euroopa ühte paremini ja terviklikumalt säilinud keskaegset linna, olles Eesti arhitektuuri tõeliseks pärlis. [1]

1.1. Lai 25

Ajalooline kinnistu nr.139 (Lai 25) asub Tallinna vanalinna 9. kvartali keskosas ja ulatub pika (ca 80 meetrit) kitsa krundina läbi kvartali Laialt tänavalt Laboratooriumi tänavani (Joonis 1.1.). Laia tänava ääres on kinnistu määratletud kõigest hoone laiusega (ca 10 meetrit), Laboratooriumi tänaval kahe hoonega (ca 19 meetrit). Kinnistu kulgeb peaaegu paralleelselt külgiiridega, kuid laieneb viimasel kümnel meetril. Kinnistul paikneb kuus hoonet, kinnistu põhjapoolse vahemüüri ääres olnud väikesed abihooned on lammutatud. [2]

Kinnistu tänavatevaheline hoonestus (hooned A, B, C, D, E, F) paikneb krundi lõunaküljel, põhjaküljele jääb ainult hoone F (Joonis 1.1.). Hooviks jääb Lai 27 poolne ca 7,5 meetri laiune ala. Hoovi pääseb Lai 25 ajaloolise ümarkaarse paest tahatud väravaportaali kaudu. Suhteliselt madal läbikäik on rajatud peahoone alt ja läbib seda kogu pikkuses. Laboratooriumi tänavalt avanev kaarportaali on kõrgem, sealt avaneb võimalus hoovi sissesõiduks. 1970. aastatel, kui kinnistu oli Kommunaalprojekti kasutuses, on hoovi Lai 27 (kinnistu 140) poolsesse vahemüüri tehtud kaks väravat, mis rikub kruntide eraldatuse ajaloolist põhimõtet. [2]



Joonis 1.1. Kinnistu 139 plaan. [3]

Lai 25 krundi praeguse hoonestuse moodustavad Laiale tänavale avanev peahoone, mis koosneb kahest osast A ja B, nendega liituvast kahest pikast hoovitiivast C ja D ning Laboratooriumi tänavale avanevast kahest abihoonest E ja F. [2]

Kinnistu kohta on varaseimad andmed 1371. aastast, kui see kuulus raehärra Hermannus de Lippe'le (Lyppe, Lippia). Temale kuulus Laia tänava lääneküljel silmapaistvalt suur valdus, mis ulatus kuni Suurtüki tänavani. 1380. aastal eraldas härra Lippe oma valduse kõige lõunapoolsema osa (Lai 25) ja loovutas selle Nicolaus van Kolne'le. 1387.a. läks see viimase lesele. Linna kodanikeraamatus on valdust esmakordselt mainitud 1467.a., kui omanikuks oli raehärra Hinrick Schelewend. 15.sajandi II poolel Lai 23 krundiga kokkuliidetud valdus eraldus 1530. aastal uuesti. Ilmselt oli tegemist kõrge viiluga dieledornse süsteemis elamuga, mis oli iseloomulik hilisgootika perioodile. Kinnistu kuulus

kõrgel ühiskondlikul positsioonil olnud isikutele – nende seas raehärra Cort tor Telt (1530), raehärra ja Mustpeade vennaskonna liige Hans von Wangersen (1606). 1637 läks kinnistu Eestimaa vürstiriigi kubernerile ja Tartu õuekohtu presidendile Philip Scheidingile, kelle pärijad loovutasid selle 1751. aastal Tallinna linnale. 1764. aastal läks kinnistu “kõrgele kroonule”, s.t. riigi valdusse. [2]

1798. aastast on säilinud Lai 25 kinnistu 139 hoonete mõõtmis-fikseerimisjoonis, mis on teadaolevalt hoonestusest säilinud vanim joonis. Algselt diele-dornse süsteemis Laia tänava äärne hoone peafassaad on ümber ehitatud neljateljeliseks. Peafassaadi jooniselt võib välja lugeda ka varasemat arhitektuurilahendust - tõenäoliselt oli peahoone algselt kolmeteljeline ja kitsama viiluga. Peahoone kõrvale jäi väike ja kitsas hooneosa kangialuse ja selle peal olevate kambritega, millel oli omaette kitsas või poolik viil. 18.sajandi lõpus oli aga hoone kahe korruse osas neljateljeline, säilitades ka kõrge katuseviilu. Hoone peafassaadist avanes kaks keldripääsu ning siseõue viiv kangialune paremal tiival. Kangialusest avaneb pääs hoonesse. [2]

Plaanilahendusest näitab 1798. aasta joonis peahoonet kui varasemat diele-dornse tüüpi elamut, millel oli tänava pool avar eeskoda ja hoovipool köetav elutuba. Dornse lõunanurgast tõusis all köögikohaga ja ülal kõiki korruseid läbiv ning katusest kõrgele tõusev mahukas mantelkorsten. Kalorifeerahju keriseruum asus dornse all ja see on praeguseni säilinud. Ka hoone kapitaalseinad on tänaseni põhiliselt säilinud. [2]

Joonise eksplikatsioonis on kinnistu hoonestust nimetatud endiseks komissariaadi-kinnistuks. Kasarmu- või eluruumid asusid hoonete A, B, C esimesel korrusel ja hoone A, B, C, D teisel korrusel. Hoone C läänepoolse osa I ja II korrusel asus valvuriruum. Hoone D esimesel korrusel paiknesid moonalaod, hoones E asus köök ning hoones F käimla. Hoone F ja vahekäigu teisel korrusel paiknesid laod. Keldriruumidest olid neli võlvitud ja üks palklaega. [2]

Aastast 1800 pärineb kubermanguarhitekt P. N. Pauly Lai 25 kompleksi, endise komissariaadi, ümberehitusprojekt kasarmuks. See projekt sarnaneb üldjoontes 1798. aasta ülesmõõtmisjoonisega. On säilinud ka P. N. Pauly projekti kirjeldus 1799. aastast, kus kirjas, et endine komissariaat soovitakse ümber ehitada kasarmuks, kuhu saaks majutada 318 meest. [2]

R. Kangropoli arhiivimaterjalide hulgas on üks Lai 25 kasarmuid kujutav joonis, millel näha ka hoonete lõiked. Sellest selgub, et peahoonel A oli säilinud mantelkorsten ja kõrge

katusekonstruktsioon. Hoonel oli kaks elukorrust ja laokorruks nende peal. Ka hooneosa B oli kahekorruseline viilkatusega hoone. Sama situatsiooni kajastab üldjoontes ka 1825. aastast pärinev fassaadijoonis, kuigi sellele ei ole esimese korruse keldripääse peafassaadis märgitud. [2]

Kuni aastani 1887 kasutati vaadeldavaid hooneid sõjaväe kasarmuna, seejärel kohandati need kooli (grosse Töchterschule) tarbeks. 19. sajandi lõpukümnenditel (või 20. sajandi algul) teostati hoonetes ümberehitusi seoses kooli sisseseadmiseiga – hoonele A ehitati peale kolmas korrus. See on Lai 25 peafassaadi viimane oluline ümberehitus, mis on püsinud tänaseni. [2]

Rasmus Kangropooli arhiivimaterjalides on säilinud fotokoopia dateerimata ja signeerimata osaliselt lagunenuj joonistest, mis kajastab hoonete ümberehitamist koolimajaks. Ilmselt on tegemist 19. sajandi lõpukümnendite joonisega. Selle projektiga rajati hoonele (vana laokorruse asemele) kolmas korrus osaliselt kõrge katuse arvel. Fassaad sai klassitsistliku ilme aknaraamistuste ja esimese korruse krohvirsteeringutega. Esimese korruse keskteljele akende kohale paigutati 1585. aastast pärinev algselt siseportaali raidkivi peremärke KS ja HW kandvate vappidega. Ka värvaportaali raidkivi-osad säilitati uues fassaadis. Nimetatud projektis jäi teostamata rõdu III korrusel värvaportaali kohal ja katusefrontoon. Plaanide osas jäi teostamata hooneid A, B ja C ühendav koridor hoonete põhjafassaadis. Ilmselt just selle projektiga suurendati olemasolevaid treppe ja trepikodasid hoonetes A ja C. Hoone plaanstruktuuri muutus toimus uute kapitaalsete trepikodade ehitamisega. Peahoones leiti trepikojale koht diele tagaosas, kus varem oli lõunaseina ääres köök-mantelkorsten ja vastaspoolel ülakorrusele viinud trepp. See kolme korrust läbiv trepp on praegugi alles. Väiksema trepikojaga trepp ehitati ka hoovitiiva hoonesse C, seegi on säilinud. [2]

Lai 25 arhiivimaterjalide hulgas on märkus, et Carl Jacoby on projekteerinud koolihooneid (1910.). Kahjuks ei ole õnnestunud projekti leida. Võimalik, et eelpool vaadeldud ümberehituse projekt ongi insener Carl Jacoby (1844 – 1926) koostatud. Teada on, et Carl Jacoby kavandas sajandivahetusel nii kasarmuid kui ka koolihooneid. [2]

1913. aastast tegutses majades nii Tallinna I Tütarlasketekool kui ka Linna Tütarlaste Kaubanduskool. 1920. aastail kasutas hooneid Linna II Algkool. [2]

1925. aasta kinnisvara hindamise aktis nimetatakse Lai 25 “linna põliseks kinnisvaraks pindalaga 1264,16 m². Hoone A on plekk-katusega ehitis, esimene korrus on paekivist,

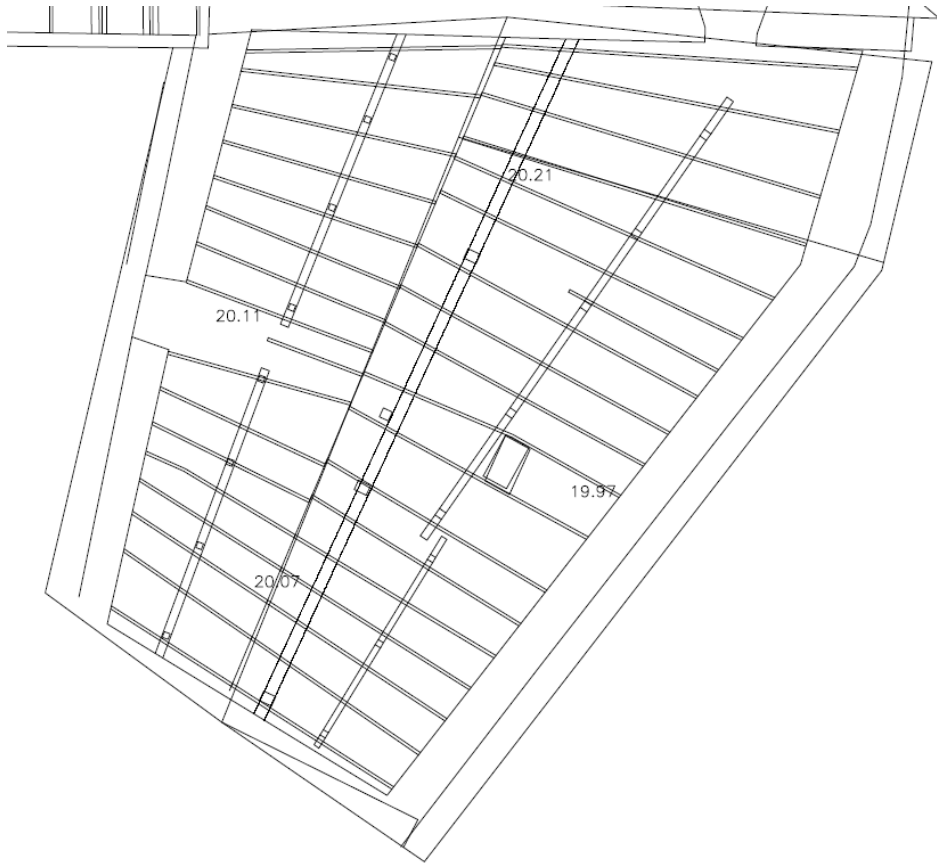
millele 1887. aastal ehitati tellistest peale II ja III korrus. Paekivist trepp viib kuni III korruseni, pööningule viib edasi puittrepp.” [2]

Hoone B on kahekordne paekivist seintega, plekk-katusega koolihoone, millel kelder puutaladest laega. Ka hooned C ja D olid koolihooned, hoone E oli kojamehe korter ja F pesuköök. [2]

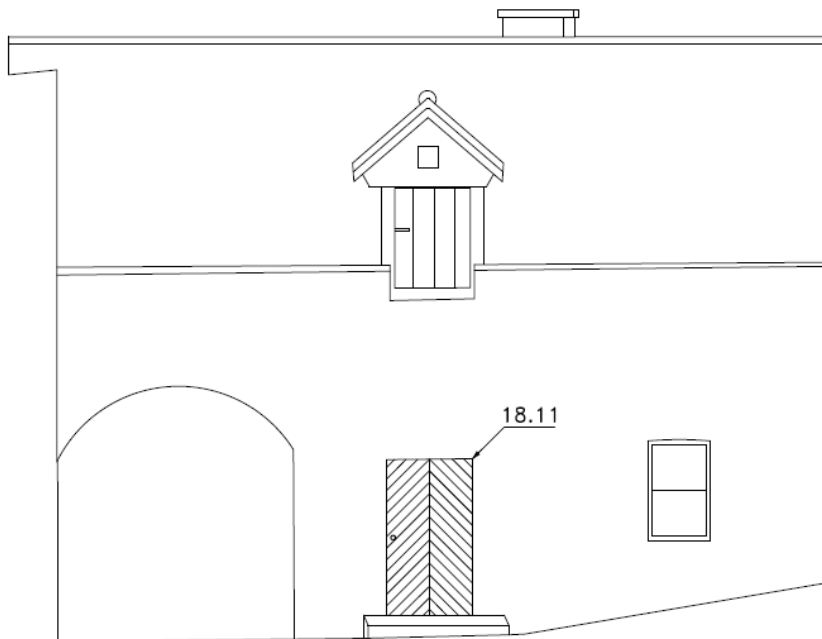
Peale II Maailmasõda tegutses hoonetes Õhtukeskkool. 1969. aastal kaaluti võimalust ka Lai 25 peahoones sisse seada Noorsooteatri 300 – 500 kohaga teatrisaal. Sellest loobuti ning 1972 – 1996 haldas hooneid PI “Kommunaalprojekt”, kellele kuulus ka naaberkiinnistu Lai 27. [2]

2. TÖÖ LAHENDUSKÄIK

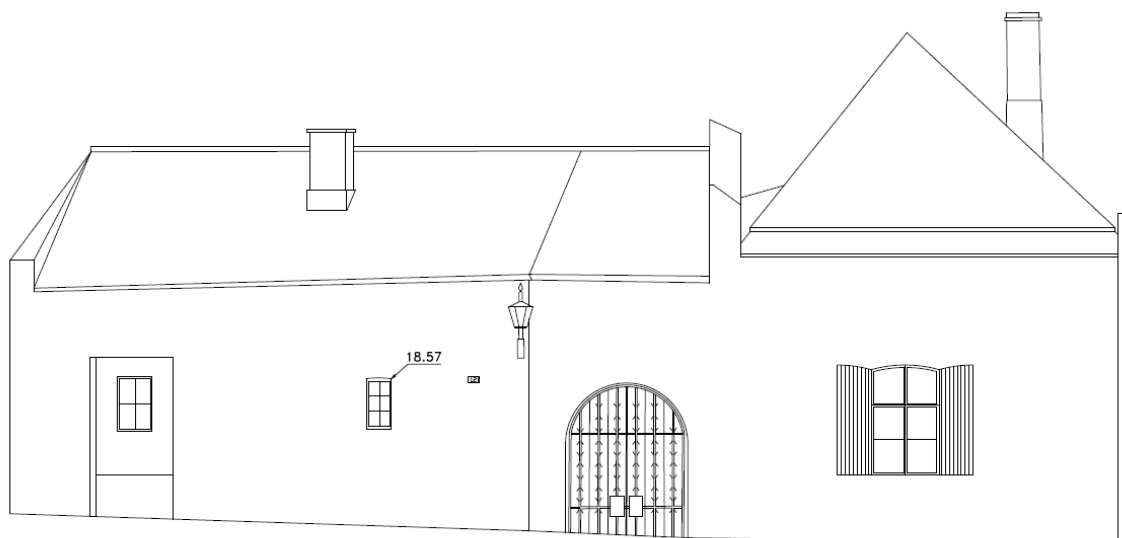
Hetkel on hoonel F 1989. aastast pärinev katusekonstruktsioon, kuna selleks hetkeks oli eelnev konstruktsioon 85% ulatuses kahjustunud. [4] Olemasolevaks konstruktsiooniks on penniga puitsarikad (150X50 mm), mis toetuvad kahele 20 aasta vanusele toolvärgile (100X100 mm kuni 120X120 mm) ning ühele vanemale toolvärgile (200X180), mis vajab muinsuskatise eritingimuste kohaselt säilitamist. Olemasolev vana toolvärk säilitatakse, kuna tegemist on ajaloolise käsitsi tahatud palgiga, millel on esteetiline väärtus. Katusealune põrand on ehitus- ja olmeprahti täis, mis tuleb täies mahus eemaldada. Katusekattematerjaliks on katusekivi ning katus on soojustamata. Ülejäänud konstruktsioon eemaldatakse ning asendatakse, kuna katust tahetakse soojustada, et tõsta hoone energiatõhusust ning kaitsta ajaloolise hoone välisfassaadi. Välistatud ei ole ka võimalus, et põõningule leitakse tulevikus olmeline otstarve. Arhitektuurse eelprojekti järgi on katuse alla ette nähtud puhkeruum. Muinsuskaitse eritingimused nõuavad aga vana toolvärgi säilitamist, mis asetseb keset kasulikku pinda. Lisaks on muinsuskaitse eritingimustega lubatud ühendada siseruum põõninguga läbi vahelae endise mantelkorstna kohalt, kuhu on arhitektuurses eelprojekti keerdtrepp ka ette nähtud. Probleem seisneb aga selles, et trepp paikneb kasulikust pinnast väljas ehk teisisõnu pole piisavalt ruumi trepist üles-alla liikumiseks. Olemasoleva konstruktsiooni soojustamine pole otstarbekas. Antud töö eesmärgiks on koostada Tallinna Linnateatri hoone F soojustatud katusekonstruktsiooni konstruktiivne projekt. Joonisel 2.1. on esitatud olemasolev sarikate plaan. Joonis 2.2. ja joonis 2.3. esitlevad graafilisi vaateid hoonest hoovist ja tänavalt. Joonistel 2.4. ja 2.5. on fotod hoonest hoovist ja tänavalt. Joonisel 2.6. on esitatud hoone lõige.



Joonis 2.1. Olemasolev sarikate plaan [5]



Joonis 2.2. Vaade hoovist [5]



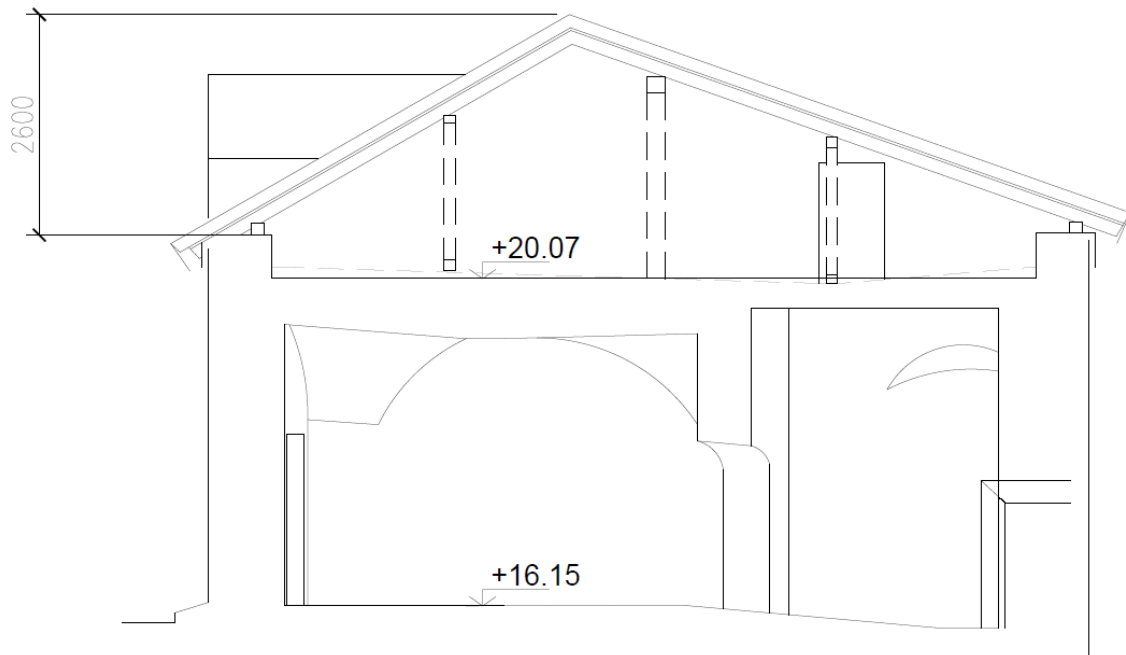
Joonis 2.3. Vaade Laboratooriumi tänavalt [5]



Joonis 2.4. Vaade hoovist [2]



Joonis 2.5. Vaade Laboratooriumi tänavalt [2]



Joonis 2.6. Hoone lõige [5]

3. MATERJAL JA METOODIKA

3.1. Arvutusmetoodika ja põhimõtted

Konstruksiooni arvutuste eesmärk on kontrollida piirseisundi tingimuste täitmist. Kontrollitakse kõiki võimalikke arvutusolukordi ja neile vastavaid võimalikke koormusjuhte ning koormuskombinatsioone. Kandepiirseisundi ületamiseks loetakse staatilise tasakaalu kaotust, stabiilsuse kaotust või muid kahjustusi, millest tulenevad konstruktsiooni kandevõime kaotus ja oht inimestele. Kasutuspiirseisundid lähtuvad konstruktsiooni normaalse kasutamise nõuetest, inimeste mugavusest ja ehitiste välimusest (deformatsioonid, vibratsioonid, mittekanvate elementide kahjustused). Piirseisundi kontrollimisel lähtutakse koormuse normväärtusest. Koormuse normväärtus 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 piirulukordadele. Koormuskombinatsioonis korrutatakse muutuvkoormus arvutusväärtus kombinatsiooniteguriga, mis arvestab samaaegselt mõjuvate muutuvkoormuste kõige ebasoodsamate väärtuste samaaegse mõjumise tõenäosust. [6, lk. 180]

Koormuse F arvutusväärtuse F_d üldkuju: [6, 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 kandepiirseisundi koormuskombinatsioonid: [6, lk. 181]

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

Normkombinatsioon rakendatakse taastumatute kasutuspiirseisundite puhul valemiga: [6, lk. 181]

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

Puitmaterjali omaduse arvutusväärtus X_d määratletakse kujul: [6, 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 osavarutegur.

3.2. Kasutatavad normdokumendid

Konstruktiiivne projekt koostatakse Eesti Vabariigis kehtivate EVS-standardite alusel.

Üldine

- EVS-EN 1990:2002/A1:2006 Eurokoodeks 1. Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused.
- EVS 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 kasukoormused.
- 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.

3.3. Kasutatud arvutiprogrammid

- ARSAP 2013 (Autodesk Robot Structural Analysis Professional)
- MathCad 14
- AutoCad 2014
- MS Excel

4. HOONE F SOOJUSTATUD KATUSEKONSTRUKTSIOONI LAHENDUS

Katusekonstruktsiooni lahendamisel tuleb meeles pidada, et tegemist on muinsuskaitse aluse objektiga, mille puhul tuleb säilitada katuse räästa- ning harjajoon. Lisaks tuleb veel taastada vintskapp võimalikult algupärasena ja säilitada muinsuskaitse eritingimustes mainitud vana toolvärk. Muinsuskaitsetelised nõuded seavad konstruktsiooni lahendusele selgelt määratletud piirid, millest üle minna ei tohi. Katusekonstruktsioon lahendatakse vastavalt muinsuskaitse eritingimustes esitatud nõuetele. Vintskapp soojustatakse ja taastatakse võimalikult originaali lähedasena. Katusekonstruktsiooni kandvaks osaks on 50X200 C24 ehituspuidust sarikad, mis toetatakse seinal asuvale müüriöööl karkassile ning kolmele toolvärgile (kaks uut ning üks säilitatav toolvärk).

4.1. Lumekoormus

Katus piirneb lumetõkkega ja hoone külgnab tulemüüri, mis eraldab hoonet kõrvalhoonest E. Kuhjunud lume koormus leitakse sellest tingituna kahel viisil: hangede kogunemine eendite ja takistuste ümbruses ning hangede kogunemine kõrgema hooneosaga külgnevale katusele. Kahest variandist valitakse suurem koormus, mis annab tulemuse varu kasuks. Lumekoormused on määratud vastavalt lumekoormust määratlevas standardis EVS-EN 1991-1-3:2006 Eurokoodeks 1. Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus esitatud tingimustele. [7]

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

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

μ_i – lumekoormuse kujutegur;

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

4.1.1. Lumekoormus normaalolukorras

Lumekoormus maapinnale (Tallinn)

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

Katuse serv lõpeb lumetõkkega, mille tõttu võetakse lumekoormuse kujuteguriks 0,8. [7, lk. 20]

$$\mu_1 = 0,8$$

Normatiivne lumekoormus katusele normaalolukorras vastavalt valemile (5)

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

4.1.2. Lumekoormus lume kuhjumisel tulemüüri taha

- **Kujutegurid hangede kogunemisel eendite ja takistuste ümbruses**

Kuhjunud lume kujutegur eendite ja takistuste ümbruses on määratud vastavalt standardile: [7, lk. 26]

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \frac{\gamma \cdot h}{s_k}$$

Tulemüüri kõrgus katuse harjast

$$h_h = 0,54 \text{ m}$$

Kuhjunud hange pikkus harjal

$$l_{sh} = 2h_h = 2 \cdot 0,54 = 1,08 \text{ m}$$

$$\gamma = 2 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\mu_{2h} = \frac{\gamma \cdot h_h}{s_k} = \frac{2 \cdot 0,54}{1,5} = 0,72$$

Kuhjunud lume kujutegur katuse harjal

$$\mu_{2h} = 0,72$$

Tulemüüri kõrgus katuse räästast

$$h_r = 3,17 \text{ m}$$

Kuhjunud hange pikkus räästal

$$l_{sr} = 2 \cdot h_r = 6,34 \text{ m}$$

$$\gamma = 2 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\mu_{2r} = \frac{\gamma \cdot h_r}{s_k} = \frac{2 \cdot 3,17}{1,5} = 4,22$$

μ_{2r} ületab lubatud väärtust, mistõttu tuleks valida maksimaalne väärtus.

Kuhjunud lume kujutegur katuse räästal

$$\mu_{2r} = 2,0$$

• **Kujutegurid hangede kogunemisel kõrgema hooneosaga külgnevale katusele**

Kuhjunud lume kujutegur kõrgema hooneosaga külgnevale katusele on määratud vastavalt:
[7, lk. 31-32]

Hange pikkus

$$l_s = \min \begin{cases} 5h = 5 \cdot 3,17 = 15,85 \\ b_1 = 15 \\ 15 \end{cases}$$

Tegur μ_3

$$\mu_3 = \min \begin{cases} \frac{2h}{s_k} = \frac{2 \cdot 3,17}{1,5} = 4,2267 \\ \frac{2b}{l_s} = \frac{2 \cdot 8}{15} = 1,067 \end{cases}$$

Lume kujutegur Laboratooriumi tänava pool ($\alpha_2=22^\circ$)

$$\mu_1 = \mu_3[(30 - \alpha_1)/15] = 1,067[(30 - 22)/15] = 0,569$$

$$\mu_2 = \mu_3 = 1,06$$

Lume kujutegur hoovi pool ($\alpha_1=32^\circ$)

$$\mu_1 = 0$$

$$\mu_2 = \mu_3[(60 - \alpha_1)/30] = 1,067[(60 - 32)/30] = 0,996$$

Arvutustes kasutatakse kujutegureid, mis on arvutatud EVS-EN 1991-1-3:2006 Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus standardis peatükis 6.2 (lk. 26) esitatud tingimusi järgides, kuna saadud lume kuhjumise kujutegurid on varu kasuks.

4.1.3. Normatiivsed lumekoormused

Normatiivne lumekoormus katusele lume kuhjumise kohas räästal vastavalt valemile (5)

$$s_{2r} = 2,0 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

Normatiivne lumekoormus katusele lume kuhjumise kohas harjal vastavalt valemile (5)

$$s_{2h} = 0,72 \cdot 1,5 = 1,08 \text{ kN/m}^2$$

4.2. Tuulekoormus

Tuulerõhkude väärtused katuse pinnale leitakse vastavalt valemile: [6, 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.

4.2.1. Hoone karakteristikud (tuul katuse külgedelt)

Joonisel 4.1. on välja toodud tuulrõhkude tsoonid. Joonisel 4.2. on esitatud katuse kalded kriitilises lõikes. Tuulerõhud hoone katusele on määratud vastavalt standardile EVS-EN

1991-1-4:2007 Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4:
Üldkoormused. Tuulekoormus: [8, lk. 42-44]

b – mõõde tuule ristisihis, hoone pikkus, m;

d – mõõde tuule pikisihis, hoone laius, m;

h – hoone kõrgus, m.

$$\theta = 0^\circ$$

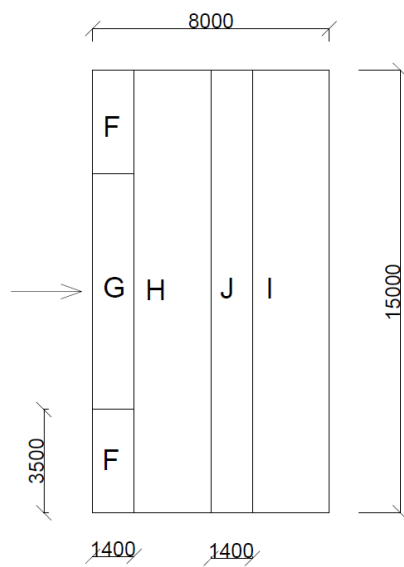
$$d = 8 \text{ m}$$

$$b = 15 \text{ m}$$

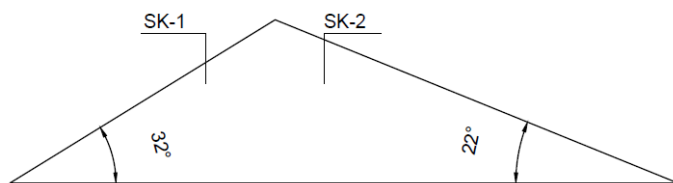
$$h = 7 \text{ m}$$

$$2h = 2 \cdot 7 = 14 \text{ m}$$

$$2h < b \Rightarrow e = 2h = 14 \text{ m}$$



Joonis 4.1. Tuulerõhkude tsoonid



Joonis 4.2. Katuse kalded kriitilises lõikes

Tabelis 4.1. on esitletud maastikutüüpide määratlus. [8, lk. 20] Hoone maastikutüübiks on IV, kuna hoone paikneb Tallinna vanalinnas.

Tabel 4.1. Maastikutüübid

Maastikutüüp	z_0 (m)	z_{\min} (m)
0 Meri või kaldapiirkond, 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

4.2.2. Tippkiirusrõhk

Tuule tippkiirusrõhk leitakse esialgu Ehituskonstruktori käsiraamatu lihtsustatud valemi järgi. [6, lk. 193] Seejärel leitakse tippkiirusrõhk EVS-EN 1991-1-4:2007 Tuulekoormus standardi järgi. [8, lk. 17-20; 22-23] Neid tulemusi võrreldes valitakse suurem väärtus, mis annab tulemuse varu kasuks.

- **Tippkiirusrõhk Ehituskonstruktori käsiraamatu järgi**

$$z_{min} = 10 \text{ m}$$

$$q_p = 15,15 \ln^2 z + 106,6 \ln z = 15,15 \cdot \ln^2 10 + 106,6 \cdot \ln 10 = 0,326 \text{ kN/m}^2$$

- **Tippkiirusrõhk EVS-EN 1991-1-4:2007 Tuulekoormus standardi järgi**

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

Keskmine tuulekiirus $v_m(z)$ kõrgusel z maapinnast [8, lk. 17-18]

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 21 = 21 \text{ m/s}$$

$$c_{dir} = 1,0$$

$$c_{season} = 1,0$$

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n = \left(\frac{1 - 0,2 \cdot \ln(-\ln(1 - 0,02))}{1 - 0,2 \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^{0,5} = 1$$

Kus:

$$K = 0,2$$

$$n = 0,5$$

$$p = 0,02$$

$$v_b = 21 \text{ m/s}$$

Keskmine tuulekiirus kõrgusel z [8, lk. 19-20]

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,54 \cdot 1,0 \cdot 21 = 11,331 \text{ m/s}$$

$$c_0(z) = 1,0$$

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

$$z = 10$$

$$z_0 = 1,0$$

$$z_{0,II} = 0,05$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

Karedustegur

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,234 \cdot \ln\left(\frac{10}{1}\right) = 0,54$$

Maastikutüübitegur

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{1,0}{0,05}\right)^{0,07} = 0,234$$

Turbulentsi intensiivsus kõrgusel z [8, lk. 22]

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

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{4,921}{11,331} = 0,434$$

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_I = 0,234 \cdot 21,0 \cdot 1,0 = 4,921 \text{ m/s}$$

$$k_r = 1,0$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,434] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 11,331^2 \\ = 0,324 \text{ kN/m}^2$$

Arvutustes kasutatakse tippkiirusrõhku, mis on saadud Ehituskonstruktori käsiraamatust, kuna see tulemus on varu kasuks.

4.2.3. Kahekaldelise katuse tuulerõhud (tuul hoovi poolt)

Tabelis 4.2. on esitletud tuulerõhud katusele juhul kui tuul puhub hoovi poolt. Tabelis 4.3. on välja toodud neli juhtu, mille puhul on kombineeritud tuulerõhkude suurimaid ja vähimaid väärtusi tsoonides F, G ja H suurimate ja vähimate väärtustega tsoonides I ja J, võttes ühel katuseküljel samamargilised väärtused. Tuulerõhud on leitud vastavalt valemile (6). [6, lk. 199] Tuulerõhutegurid on leitud interpoleerimise teel.

Tuulerõhutegurid

Tabel 4.2. Kahekaldelise katuse tuulerõhutegurid (hoovi poolt)

32°	F	G	H	I	J
	-0,446	-0,446	-0,179	-0,4	-0,766
C _{pe,10}	0,7	0,7	0,421	0	0

Tuulerõhud katusele

Tabel 4.3. Tuulerõhud katusele (hoovi poolt)

w_e (kN/m ²)	F	G	H	I	J
1)	-0,145	-0,145	-0,057	-0,13	-0,25
2)	0,228	0,228	0,137	0	0
3)	0,228	0,228	0,137	-0,13	-0,25
4)	-0,145	-0,145	-0,057	0	0

4.2.4. Kahekaldelise katuse tuulerõhud (tuul Laboratooriumi tänava poolt)

Tabelis 4.4. on esitletud tuulerõhud katusele juhul kui tuul puhub hoovi poolt. Tabelis 4.5. on välja toodud neli juhtu, mille puhul on kombineeritud tuulerõhkude suurimaid ja vähimaid väärtusi tsoonides F, G ja H suurimate ja vähimate väärtustega tsoonides I ja J, võttes ühel katuseküljel samamärgilised väärtused. Tuulerõhud on leitud vastavalt valemile (6). [6, lk. 199] Tuulerõhutegurid on leitud interpoleerimise teel.

Tuulerõhutegurid

Tabel 4.4. Kahekaldelise katuse tuulerõhutegurid (Laboratooriumi tänava poolt)

22°	F	G	H	I	J
$C_{pe,10}$	-0,713	-0,66	-0,253	-0,379	-0,479
	0,433	0,433	0,293	0	0

Tuulerõhud katusele

Tabel 4.5. Tuulerõhud katusele (Laboratooriumi tänava poolt)

w_e (kN/m ²)	F	G	H	I	J
1)	-0,232	-0,215	-0,082	-0,123	-0,156
2)	0,141	0,141	0,095	0	0
3)	-0,232	-0,215	-0,082	0	0
4)	0,141	0,141	0,095	-0,123	-0,156

Määravaks saab koormuste juht, mille puhul on tuulerõhkude vahe erinevatel katusekülgedel kõige suurem, kuna sellisel juhul on oht, et toimub katuse “ümber lükkamine”. Kõige kriitilisem on 32° kalde puhul kolmas koormuste juht, mille korral on tuulerõhkude vahe kõige suurem. 22° kalde puhul on kõige kriitilisem neljas koormuste

juht, mille korral on tuulerõhkude vahe kõige suurem. Kõige kriitilisemad juhud on tabelites esile toodud.

4.2.5. Kahekaldelise katuse tuulerõhud (tuul katuse otsast)

Hoone karakteristikud

Joonisel 4.3. on välja toodu tuulrõhkude tsoonid juhul kui tuul puhub katuse otsast. Tuulerõhud hoone katusele on määratud vastavalt standardile: [8, lk. 42-44]

$$\theta = 90^\circ$$

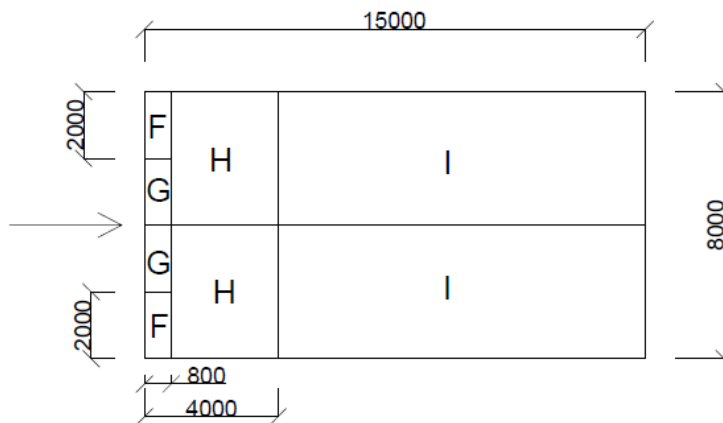
$$d = 15 \text{ m}$$

$$b = 8 \text{ m}$$

$$h = 7 \text{ m}$$

$$2h = 2 \cdot 7 = 14 \text{ m}$$

$$2h > b \Rightarrow e = b = 8 \text{ m}$$



Joonis 4.3. Tuulerõhkude tsoonid

Kahekaldelise katuse tuulerõhutegurid (hoovi pool)

Tabelis 4.6. on välja toodud tuulerõhu tegurid hoovi poolsele katuse küljele, kui tuul puhub katuse otsast.

Tabel 4.6. Kahekaldelise katuse tuulerõhutegurid (tuul katuse otsast)

32°	F	G	H	I
C _{pe,10}	-1,49	-1,2	-1	-0,9

Tuulerõhud katusele (hoovi pool)

Tuulerõhutegurid on leitud vastavalt valemile (6).

$$w_{e,F} = 0,326 \cdot (-1,49) = -0,486 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,326 \cdot (-1,2) = -0,391 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 0,326 \cdot (-1,0) = -0,326 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,326 \cdot (-0,9) = -0,293 \text{ kN/m}^2$$

Kahekaldelise katuse tuulerõhutegurid (Laboratooriumi tänava pool)

Tabelis 4.7. on välja toodud tuulerõhu tegurid Laboratooriumi tänava poolsele katuse küljele, kui tuul puhub katuse otsast.

Tabel 4.7. Kahekaldelise katuse tuulerõhutegurid (tuul katuse otsast)

22°	F	G	H	I
C _{pe,10}	-1,206	-1,346	-0,693	-0,5

Tuulerõhud katusele (Laboratooriumi tänava pool)

Tuulerõhutegurid on leitud vastavalt valemile (6).

$$w_{e,F} = 0,326 \cdot (-1,206) = -0,393 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,326 \cdot (-1,346) = -0,439 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 0,326 \cdot (-0,693) = -0,226 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,326 \cdot (-0,5) = -0,163 \text{ kN/m}^2$$

Katusele mõjuv tõstev tuulerõhk määravaks ei saa, kuna katuse omakaal sisuliselt neutraliseerib katust tõstva jõu.

$$1,5 \cdot w_{e,F} < 1 \cdot \Sigma_G$$

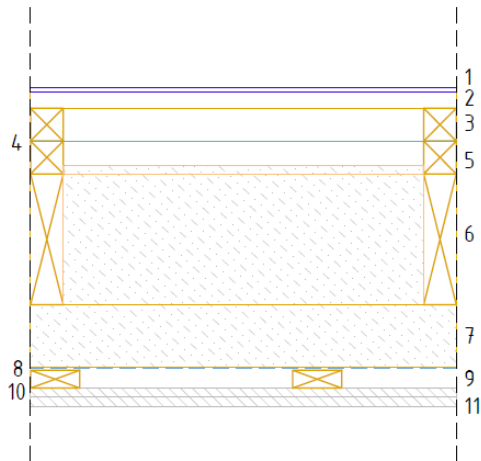
$$1,5 \cdot 0,486 = 0,729 \text{ kN/m}^2 \geq 0,7 \text{ kN/m}^2$$

4.3. Katusekonstruktsiooni lahendus

Katuse kandvaks konstruktsiooniks on 50X200 mm ristlõikega sarikas tugevusklassiga C24. Sarikate samm on varieeruv, kuid võimaluse korral on samm 600 mm. Sarikate peale, välja poole kinnituvad distantsliist ning tuulutusliist, mõlemad ristlõikega 50X50 mm ning tugevusklassiga C16. Valtspleki alla paigaldatakse roovi lauad ristlõikega 100X25 mm, sammuga 200 mm. Sarikatest sisse poole kinnitatakse lisasoojustuse karkass ristlõikega 100X50 mm ning sammuga 600 mm, millele omakorda kinnitub kipsi karkass koos kipsplaatidega. Oluline on jälgida, et sarika kaugus korstna välispinnast oleks vähemalt 100 mm. [9]

4.3.1 Katusekonstruktsiooni omakaalukoormus

Joonisel 4.4. on esitletud soojustatud katusekonstruktsiooni ristlõige. Tabel 4.8. sisaldab katuse omakaalu koormuseid kihtide kaupa. Ehitusmaterjalide omakaalud on võetud Ehituskonstruktori käsiraamatust, standardist EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused. või ehitusmaterjalide tootjate pakutavatest avalikest andmetest. [6, lk. 184-185] [10] [11] [12] [13]



1. Valfsplekk
2. Roovi laud 100X25 mm, C16, s.= 200 mm
3. Tuulutusliist 50X50 mm, C16
4. Aluskate
5. Tuuletõke VKL 13 mm/Distantisliist 50X50 mm, C16
6. Isover KL 35 200 mm/Sarikas 50X200 mm, C24
7. Isover KL 35 100 mm/Karkass 100X50, C16, s.=600 mm
8. Aurutõke 0,22 mm
9. Kipsi karkass 25 mm, C16, s.=400 mm
10. Kipsplaat 13 mm
11. Tuletõkkekips 15 mm

Joonis 4.4. Katusesoonstruktsiooni ristlõige

Lisasoojustus paigaldatakse 100x50 ristlõikega roovide vahele, mille samm on 600 mm.

Kipsplaadid (Gyproc) kinnituvad saepuidust laekarkassile. Laekarkassiks on 75X25 mm laudadest karkass sammuga 600 mm. Laekarkass kinnitub omakorda saepuidust roovidele, mis asetsevad sarikatega risti.

Katus viimistletakse seestpoolt kahe kipsplaadi kihiga. Esimene kiht on Gyproc GN 13 kipsplaat ning teine kiht on Gyproc GKF 15 Fire-line Plus tuletõkkeplaat.

Tabel 4.8. Katuse omakaalu koormus

Konstruksiooni kiht	Kõrgus (m)	Laius (m)	Samm (m)	Tihedus (kN/m ³)	Normatiivne koormus (kN/m ²)	Osavarutegur	Arvutuslik koormus (kN/m ²)
Valfsplekk	0,005				0,1	1,2	0,18
Roovitis	0,025	0,1	0,2	6	0,08	1,2	0,09
Tuulutusliist	0,05	0,05	0,6	6	0,03	1,2	0,03
Aluskate	0,0002			1	0,0002	1,2	0,0002
Distantisliist	0,05	0,05	0,6	6	0,03	1,2	0,03
Isover VKL	0,013			1,2	0,02	1,2	0,02
Isover KL 35	0,3			0,2	0,06	1,2	0,07
Sarikas	0,2	0,05	0,6	6	0,10	1,2	0,12
Roovitis (lisasoojustus)	0,1	0,05	0,6	6	0,05	1,2	0,06
Kipsi karkass	0,025	0,075	0,4	6	0,03	1,2	0,03
Kips	0,013			8	0,10	1,2	0,12
Tuletõkke kips	0,015			8	0,12	1,2	0,14
				G _k	0,7		

Omakaalukoormus kokku

$$\Sigma_G = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

4.3.2. Katusekonstruktsiooni difusiooniarvutus

Piirdetarindi difusiooniarvutusega kontrollitakse õhuniiskuse kondenseerumist tarindis. Katusekonstruktsiooni 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%). [14]

Tabelis 4.9. on esitletud tegelike veeauru rõhkude leidmine. Tabelis 4.10. on välja toodud piirde niiskusrežiimi arvutus. Materjalide niiskustehnilised näitajad on saadud standardist EVS-EN ISO 10456:2008 Ehitusmaterjalid ja -toted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. või Ehituskonstruktorigi käsiraamatust. [6] [15]

Tabel 4.9. Veeauru osarõhud

	Sees	Väljas
Temperatuur (C°)	20	-10
P _{max} (Pa)	2 338	260
RH, %	50	80
P _{teg} (Pa)	1169,09	207,90

Tabel 4.10. Piirdetarindi niiskusrežiimi arvutus Glaseri meetodil

Soojustatud katus	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	1,39	0,42	-9,58			207,90	270	0
Tuuletõke VKL	0,01	0,032	0,41	4,34	1,30	-8,28	1	0,013		302	0,013
Isover KL 35	0,30	0,035	8,57	91,60	27,48	19,20	1	0,3		2 225	0,313
Aurutõke	0,0002	1,000	0,000	0,00	0,00	19,20	333333,33	50		2 225	50,31
2X Kipsplaat	0,03	0,25	0,12	1,28	0,38	19,58	10	0,3		2 279	50,61
Sisepind			0,13	1,39	0,42	20,00			1169,09	2 338	
		$\Sigma R(m^2K)/W$	9,36	100,00							
Kus:		$U W/m^2K$	0,11								

d – materjali kihi paksus, m;

λ – soojuserijuhtivus, W/mK;

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

Δt – temperatuuridiferents, K;

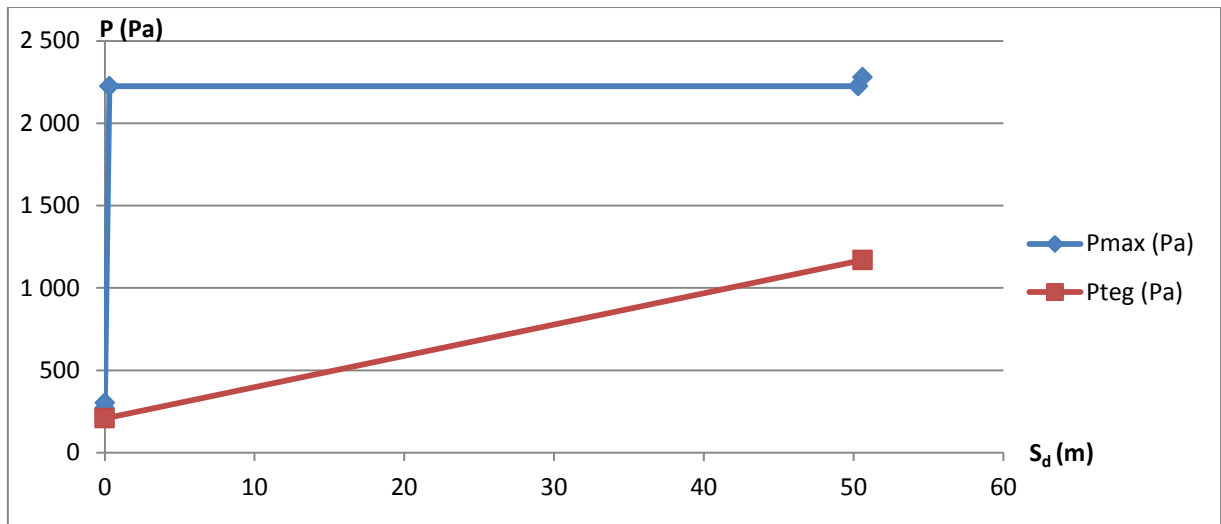
μ – difusioonitakistuskonstant;

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

P_{teg} – tegelik veeauru rõhk, Pa;

P_{\max} – küllastusrõhk, Pa.

Joonisel 4.5. on esitletud tegeliku veeauru rõhu ja küllastusrõhu graafikud. Joonte lõikumisel esineb veearu kondenseerumine. Kuna sirged graafikul ei ristu, võib järeldada, et veeauru kondenseerumist piirdes ei teki ja piire on niiskustehniliselt toimiv.



Joonis 4.5. Veeauru tegeliku osarõhu ja küllastusrõhu graafikud

4.3.3. Katusekonstruktsiooni kogusoojustakistuse leidmine

Soojuslikult mittehomogeense piirdetarindi kogusoojustakistus leidmisel on lähtutud standardist EVS 908-1:2010 Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire: [16]

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

Kus: R_T – piirdetarindi kogusoojustakistus, m²K/W;

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

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

Kandekonstruktsiooni (puit) sektsiooni soojustakistus

$$R_{T1} = 0,13 + \frac{0,013 + 0,2 + 0,1}{0,15} + 0,16 + \frac{0,03}{0,25} + 0,13 = 2,627$$

Soojustuse sektsiooni soojustakistus

$$R_{T2} = 0,13 + \frac{0,013}{0,032} + \frac{0,3}{0,035} + 0,16 + \frac{0,03}{0,25} + 0,13 = 9,53$$

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 (osakaalud), m²;

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

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile (8).

$$R'_T = \frac{0,025 + 0,55 + 0,025}{\left(\frac{0,025}{2,627}\right) + \left(\frac{0,55}{9,53}\right) + \left(\frac{0,025}{2,627}\right)} = 7,811$$

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 (osakaalud), m²;

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

Mittehomogeense materjalikihi soojustakistus leitakse vastavalt valemile (9).

$$R_{puit,soojustus} = \frac{0,025 + 0,55 + 0,025}{\left(\frac{0,200}{0,15}\right) + \left(\frac{0,55}{0,035}\right) + \left(\frac{0,200}{0,15}\right)} = 4,486$$

$$R_{puit,tuuletõke} = \frac{0,025 + 0,55 + 0,025}{\left(\frac{0,013}{0,15}\right) + \left(\frac{0,55}{0,035}\right) + \left(\frac{0,013}{0,15}\right)} = 0,292$$

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, $\text{m}^2\text{K/W}$;

R_{si} – piirde sisepinna soojustakistus, $\text{m}^2\text{K/W}$;

$R_1; R_x; R_n$ – iga kihi soojustakistus, mis arvutatakse soojuslikult homogeensena või mitte homogeensena, $\text{m}^2\text{K/W}$;

R_{se} – välispinna soojustakistus, $\text{m}^2\text{K/W}$.

Piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile (10)

$$R''_T = 0,13 + R_{puit,soojustus} + R_{puit,tuuletõke} + \frac{0,1}{0,035} + 0,16 + \frac{0,03}{0,25} + 0,13 = 8,175$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus vastavalt valemile (7)

$$R_T = \frac{7,811 + 8,175}{2} = 7,993$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga

$$e = \frac{R'_T - R''_T}{2 \cdot R_T} \cdot 100\% = \frac{7,811 - 8,175}{2 \cdot 7,993} \cdot 100 = -2,27\%$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus e. U-väärtus

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{7,993} = 0,125$$

U-väärtus vastab Energiatõhususe miinimumnõuetes toodud soovituslikele väärtustele.

[17]

4.4. Joonkoormused

Normaalolukorraks loetakse sarikaid (SN), mille samm on 600 mm ning mille kohal ei esine lume kuhjumist.

Kriitiliseks olukorraks loetakse sarikaid (SK), mis paiknevad tulemüüri poolses otsas, kuna seal esineb lume kuhjumine tulemüüri taha. Kõige kriitilisema sildega sarika puhul on sarikate samm Laboratooriumi tänava poolse katuse külje räästal 1200 mm ning harjal 600 mm. Hoovi poolse katuse külje sarikate sammu võib võrdseks võtta 600 mm-ga.

- Lumekoormus normaalolukorras (SN)

$$q_{lumi1} = s_1 \cdot s = 1,2 \cdot 0,6 = 0,72 \text{ kN/m}$$

- Lumekoormus Laboratooriumi tänava poolsel küljel kriitilises lõikes räästal (SK)

$$q_{lumi2r} = s_{2r} \cdot s = 3,0 \cdot 1,2 = 3,6 \text{ kN/m}$$

- Lumekoormus Laboratooriumi tänava poolsel küljel kriitilises lõikes harjal (SK)

$$q_{lumi2h} = s_{2h} \cdot s = 1,08 \cdot 0,6 = 0,648 \text{ kN/m}$$

- Lumekoormus hoovi poolsel küljel kriitilises lõikes harjal (SK)

$$q_{lumi3h} = s_{2h} \cdot s = 1,08 \cdot 0,6 = 0,648 \text{ kN/m}$$

- Lumekoormus hoovi poolsel küljel kriitilises lõikes räästal (SK)

$$q_{lumi3r} = s_{2r} \cdot s = 3,0 \cdot 0,6 = 1,8 \text{ kN/m}$$

- Tuulekoormus normaalolukorras (SN)

Tuul hoovi poolt:

Tsoonid F ja G: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,228 \cdot 0,6 = 0,137 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,137 \cdot 0,6 = 0,082 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,13 \cdot 0,6 = -0,078 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,25 \cdot 0,6 = -0,15 \text{ kN/m}$

Tuul Laboratooriumi tänava poolt:

Tsoonid F ja G: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,141 \cdot 0,6 = 0,085 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,095 \cdot 0,6 = 0,057 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,123 \cdot 0,6 = -0,0738 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,156 \cdot 0,6 = -0,094 \text{ kN/m}$

- Tuulekoormus kriitilises olukorras (SK)

Tuul hoovi poolt:

Tsoonid F ja G: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,228 \cdot 0,6 = 0,137 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,137 \cdot 0,6 = 0,082 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,13 \cdot 1,2 = -0,156 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,25 \cdot 0,6 = -0,15 \text{ kN/m}$

Tuul Laboratooriumi tänava poolt:

Tsoonid F ja G: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,141 \cdot 1,2 = 0,169 \text{ kN/m}$

Tsoon H: $q_{dw}^+ = q_{dw}^* \cdot s = 0,095 \cdot 0,6 = 0,057 \text{ kN/m}$

Tsoon I: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,123 \cdot 0,6 = -0,0738 \text{ kN/m}$

Tsoon J: $q_{dw}^- = q_{dw}^* \cdot s = -0,156 \cdot 0,6 = -0,094 \text{ kN/m}$

- Konstruksiooni omakaal normaalolukorras (SN)

$$G_{katus,N} = 0,7 \cdot 0,6 = 0,42 \text{ kN/m}$$

- Konstruksiooni omakaal kriitilises lõikes Laboratooriumi tänava poolsel küljel räästal (SK)

$$G_{katus,Lr} = 1,2 \cdot 0,7 = 0,84 \text{ kN/m}$$

- Konstruksiooni omakaal kriitilises lõikes Laboratooriumi tänava poolsel küljel harjal (SK)

$$G_{katus,Lh} = 0,6 \cdot 0,7 = 0,42 \text{ kN/m}$$

- Konstruksiooni omakaal kriitilises lõikes hoovi poolsel küljel (SK)

$$G_{katus,H} = 0,6 \cdot 0,7 = 0,42 \text{ kN/m}$$

4.5. Koormuskombinatsioonid ja sisejõudude epüürid kriitilises lõikes

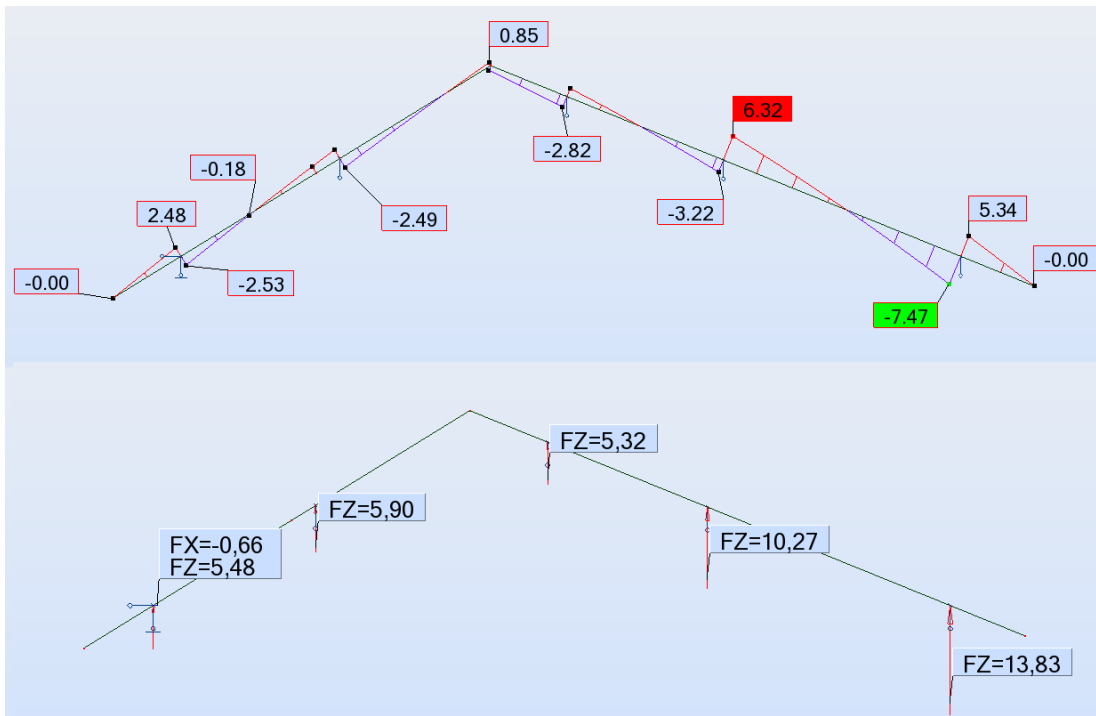
Arvutusskeemis on esitletud kõige suurema sildega sarikad kriitilises piirkonnas, kus esineb lume kuhjumine tule müüri taha. Harja sõlmes on ette nähtud liigend, kuna harja sõlme moment vastu ei võeta. Hoovi poolne räästa tugi lubab pöördumist ümber x-telje ja y-telje, ülejäänud sihid ja pöördumine on fikseeritud. Kõik teised toed on fikseeritud y-telje ja z-telje sihis, x-telje siht ning pöördumised ümber telgede on vabad. Kandepiir seisundis on läbi mängitud kuus erinevat koormuskombinatsiooni, mis on koostatud valemi (2) põhjal. Esimesed kaks kombinatsiooni arvestavad olukorda, mil esineb maksimaalne lumekoormus ning tuul ühelt poolt katust või teiselt poolt katust. Kolmanda ja neljanda kombinatsiooni puhul on kontrollitud olukorda, kui tuul on domineeriv muutuvkoormus ühel pool ja teisel pool katust. Viies ja kuues kombinatsioon kirjeldavad situatsiooni, kui ühel katuse poolel esineb maksimaalne lumekoormus koos tuulega ja teisel pool esineb pool lumekoormuse väärtusest.

4.5.1. Kandepiir seisundi koormuskombinatsioonid

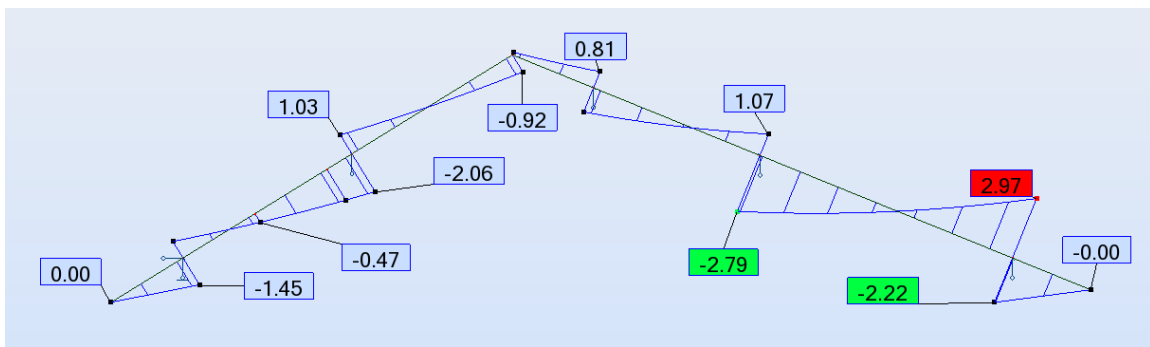
1) Maksimaalne lumekoormus + tuul hoovi poolt

$$1,2 \cdot G_{katus} + 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{tuul}$$

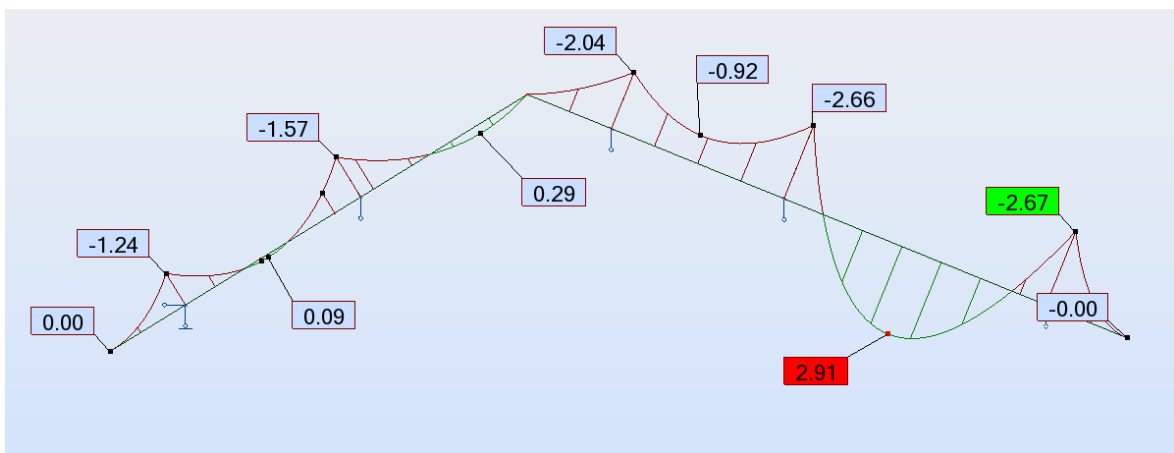
Joonistel 4.6.; 4.7. ja 4.8. on välja toodud sarika kriitilise lõike esimese koormuskombinatsiooni sisejõud ja toereaktsioonid.



Joonis 4.6. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



Joonis 4.7. Pikijõu epüür (kN)

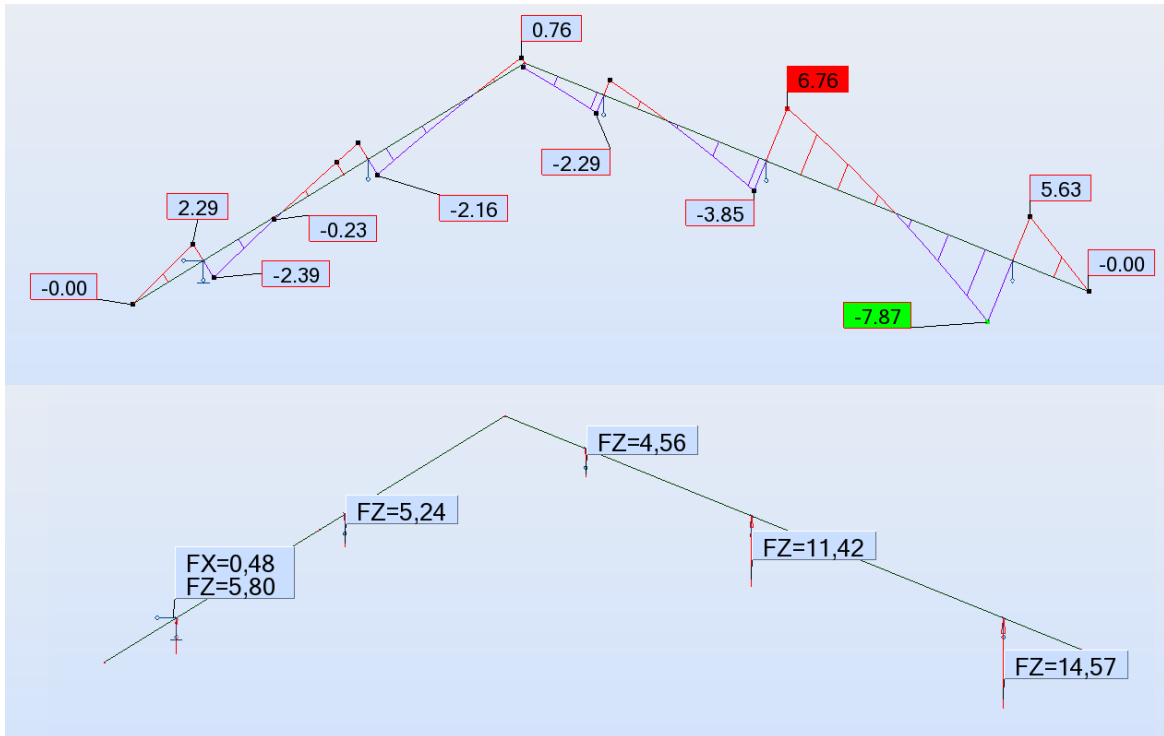


Joonis 4.8. Paindemomendi epüür (kNm)

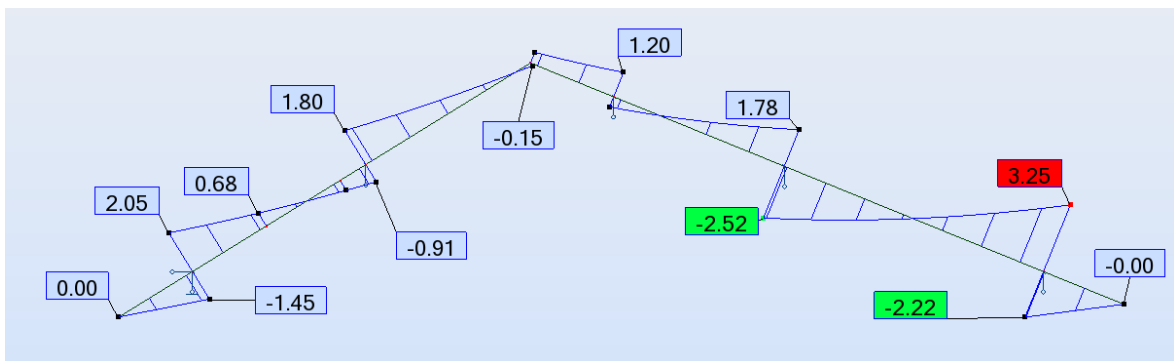
2) Maksimaalne lumekoormus + tuul Laboratooriumi tänava poolt

$$1,2 \cdot G_{katus} + 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{tuul}$$

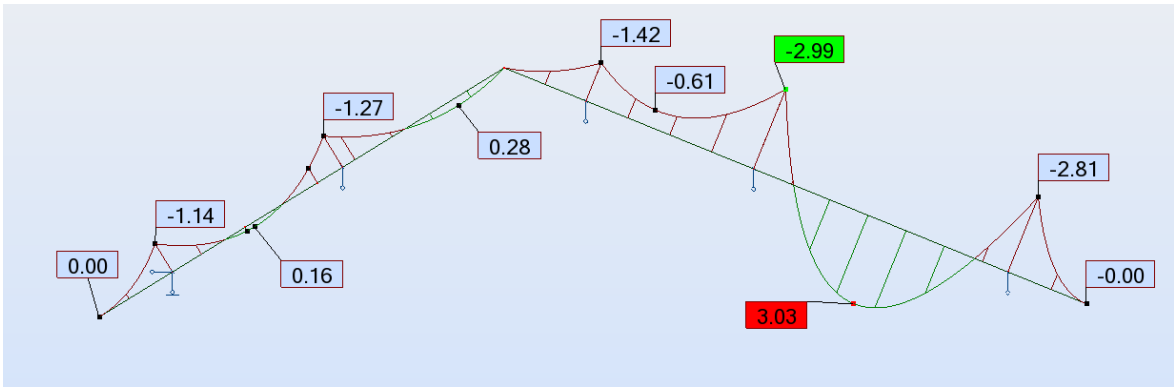
Joonistel 4.9.; 4.10. ja 4.11. on välja toodud sarika kriitilise löike teise kandepiiriseisundi koormuskombinatsiooni sisejõud ja toereaktsioonid.



Joonis 4.9. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



Joonis 4.10. Pikijõu epüür (kN)

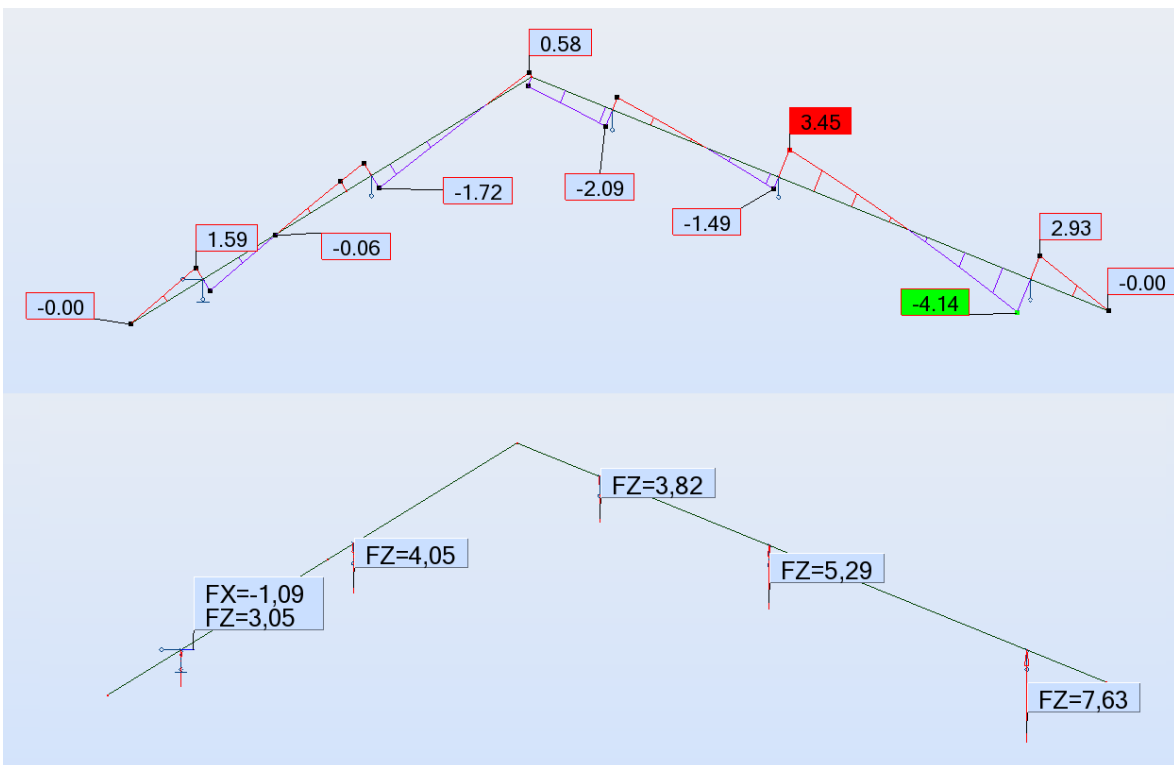


Joonis 4.11. Paindemomendi epüür (kNm)

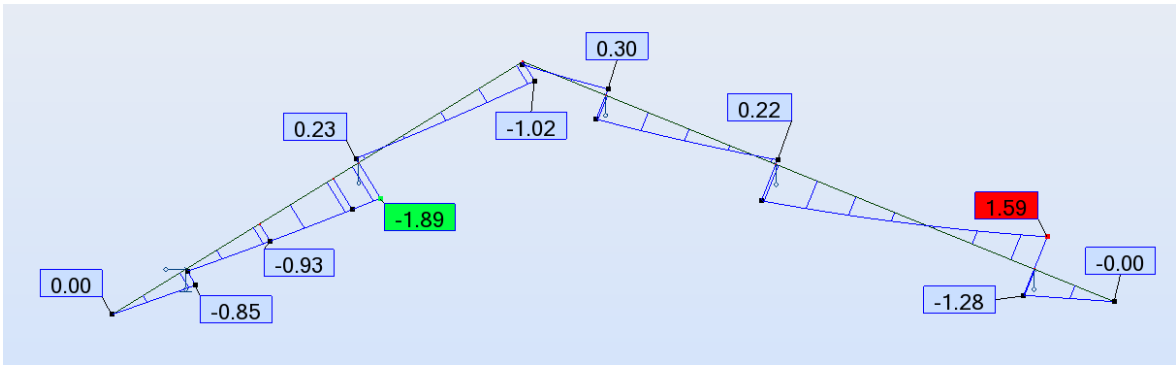
3) Tuul hoovi poolt (domineeriv)

$$1,2 \cdot G_{katus} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot Q_{lumi} + 1,5 \cdot Q_{tuul}$$

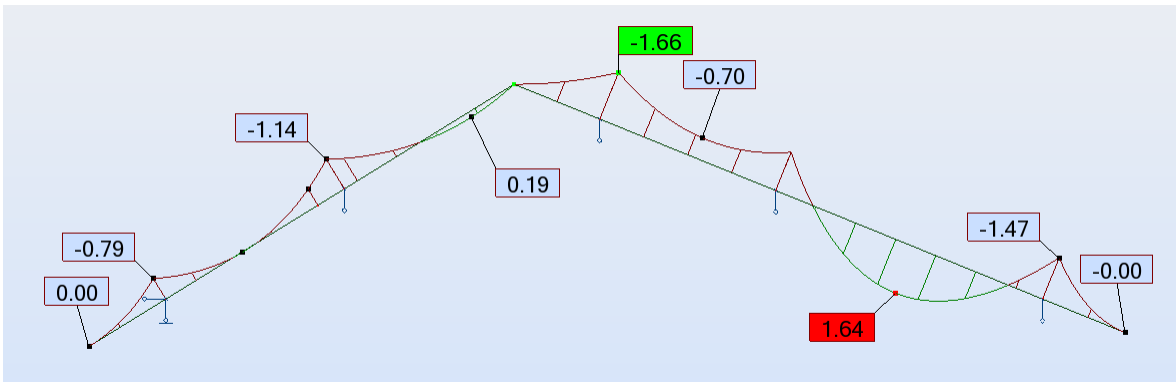
Joonistel 4.12.; 4.13. ja 4.14. on välja toodud sarika kriitilise löike kolmanda kandepiirseisundi koormuskombinatsiooni sisejõud ja toereaktsioonid.



Joonis 4.12. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



Joonis 4.13. Pikijõu epüür (kN)

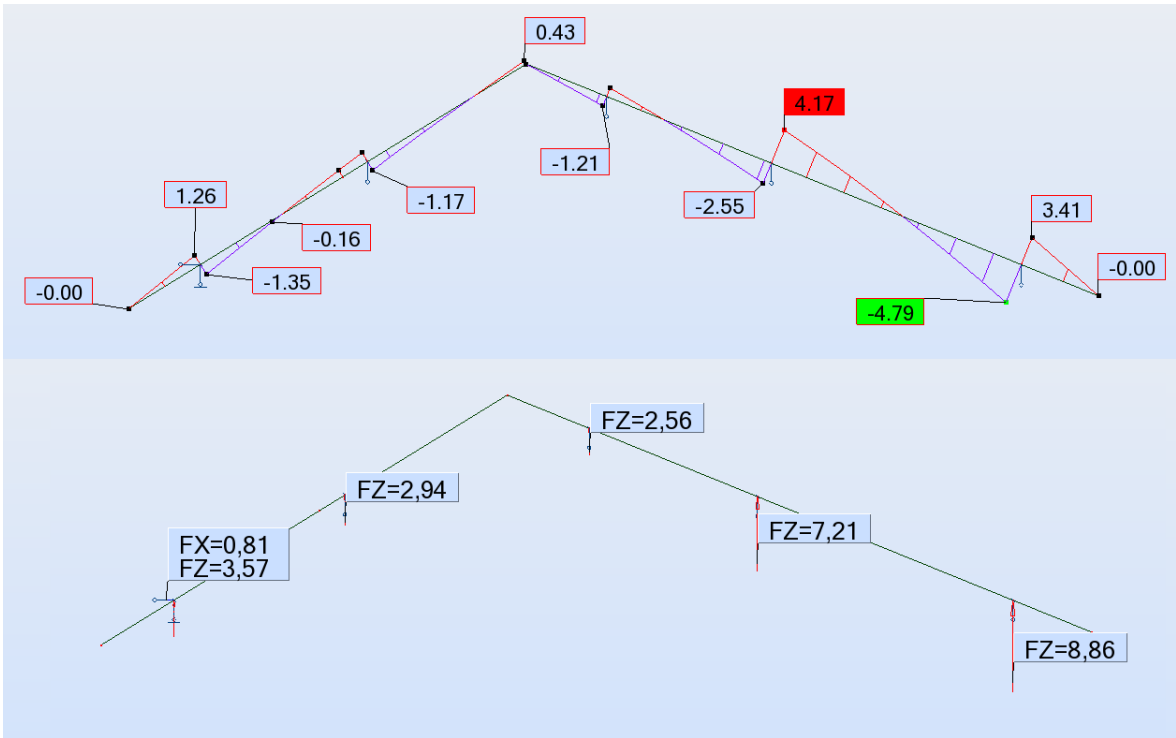


Joonis 4.14. Paindemomendi epüür (kNm)

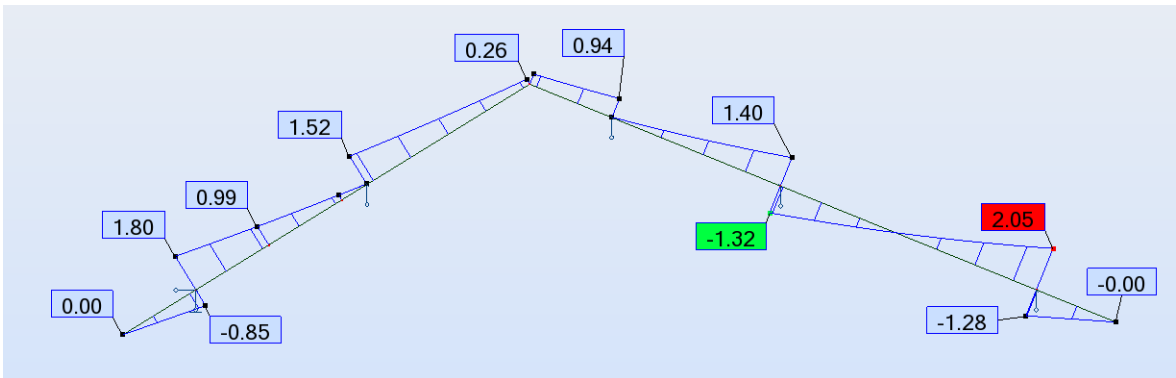
4) Tuul Laboratooriumi tänava poolt (domineeriv)

$$1,2 \cdot G_{katus} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot Q_{lumi} + 1,5 \cdot Q_{tuul}$$

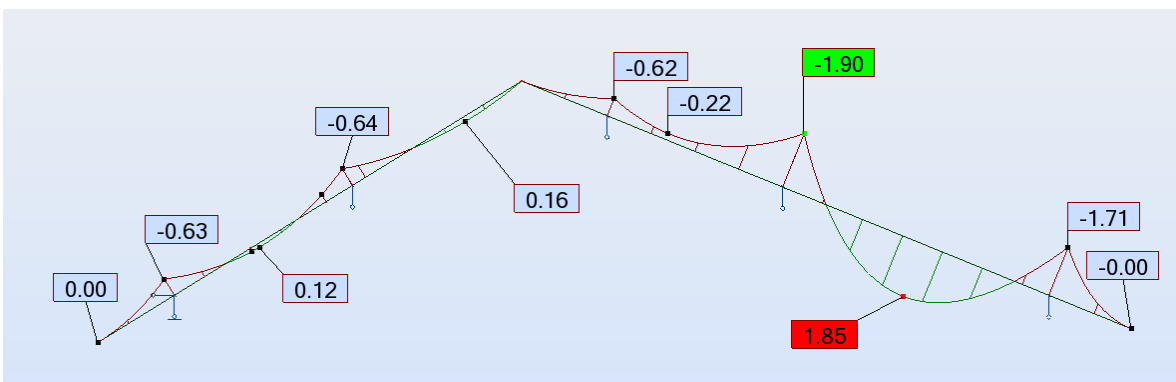
Joonistel 4.15.; 4.16. ja 4.17. on välja toodud sarika kriitilise löike neljanda kandepiiriseisundi koormuskombinatsiooni sisejõud ja toereaktsioonid.



Joonis 4.15. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



Joonis 4.16. Pikijõu epüür (kN)

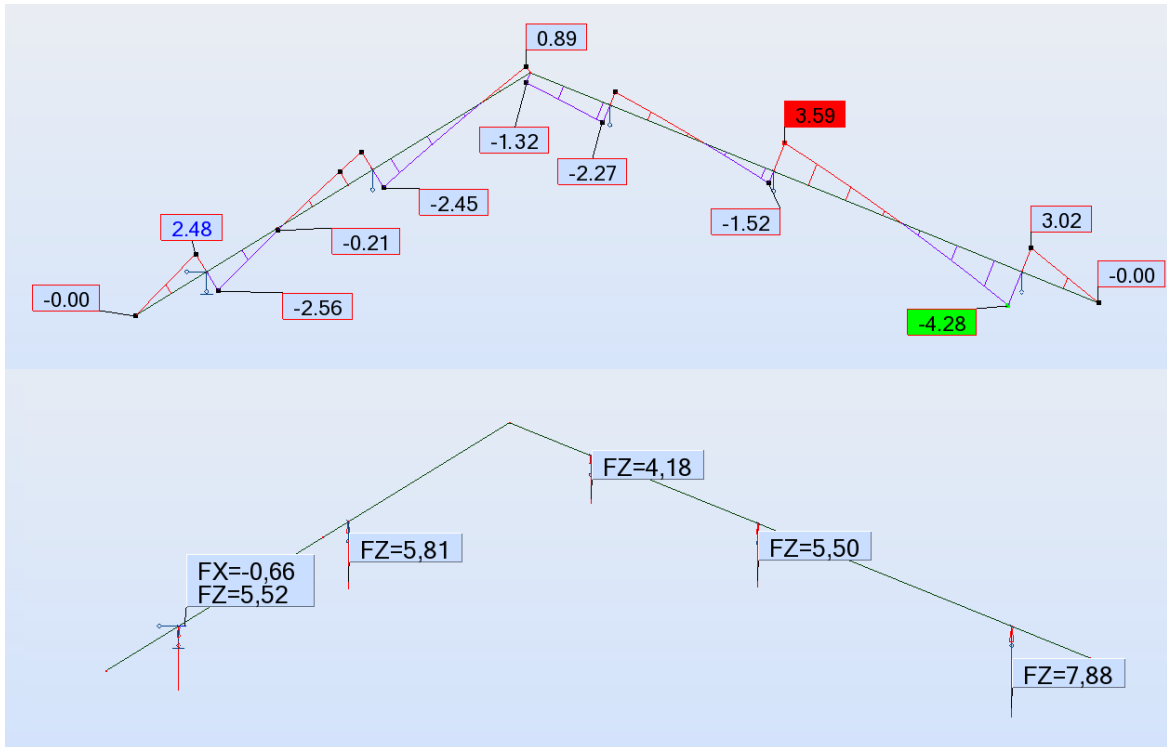


Joonis 4.17. Paindemomendi epüür (kNm)

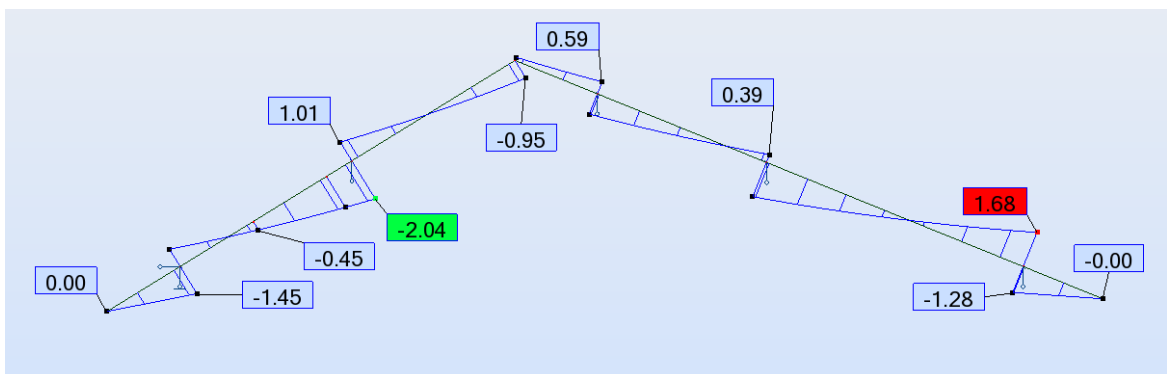
5) Täis lumi hoovi pool + pool lund Laboratooriumi tänava pool + tuul hoovi poolt

$$1,2 \cdot G_{katus} + 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{tuul}$$

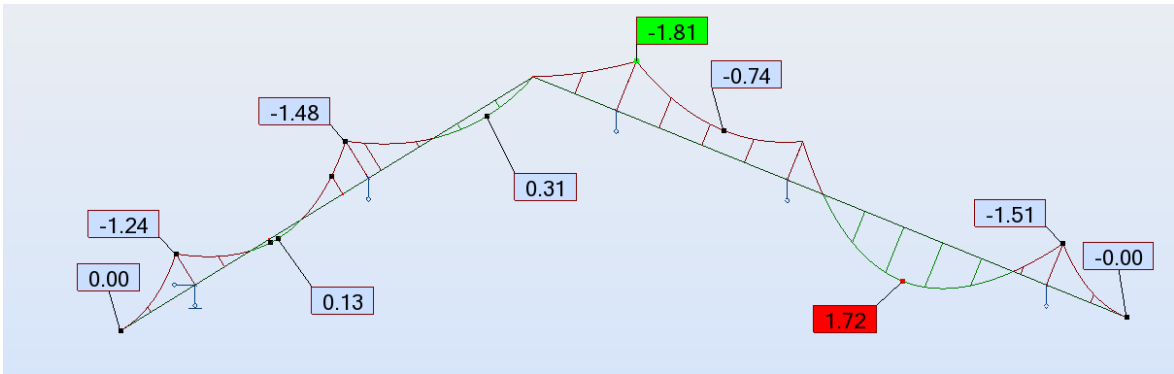
Joonistel 4.18.; 4.19. ja 4.20. on välja toodud sarika kriitilise löike viienda kandepiiriseisundi koormuskombinatsiooni sisejõud ja toereaktsioonid.



Joonis 4.18. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



Joonis 4.19. Pikijõu epüür (kN)

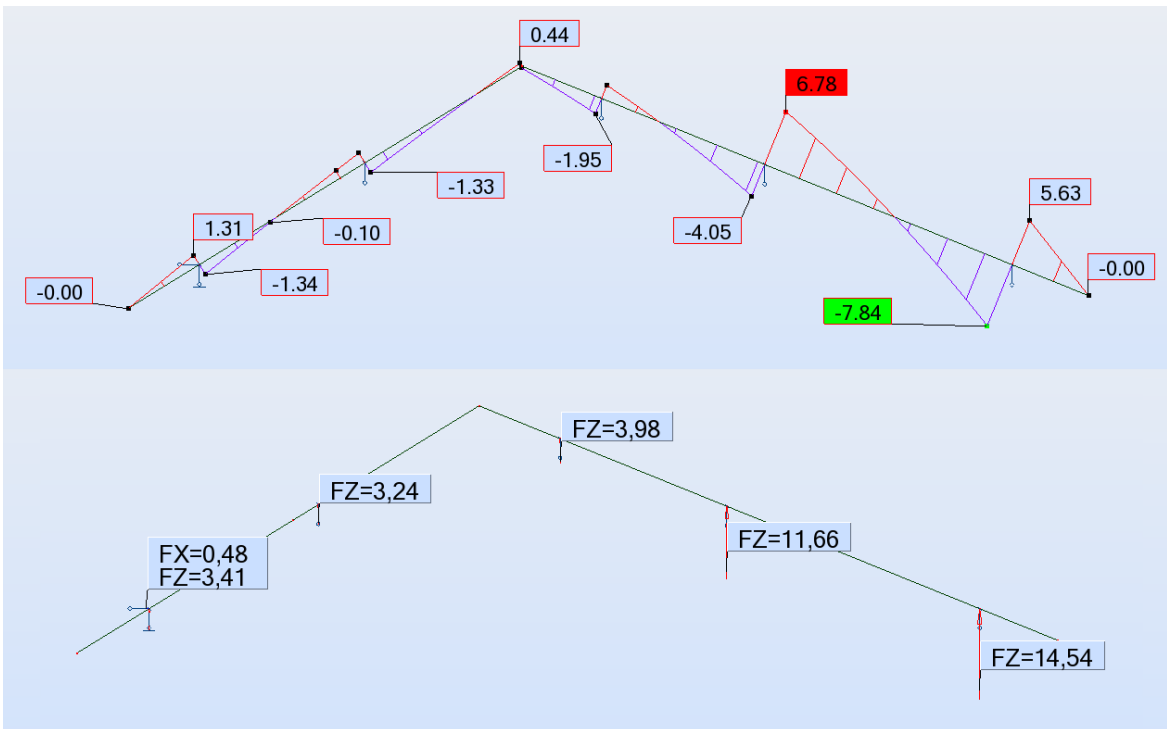


Joonis 4.20. Paindemomendi epüür (kNm)

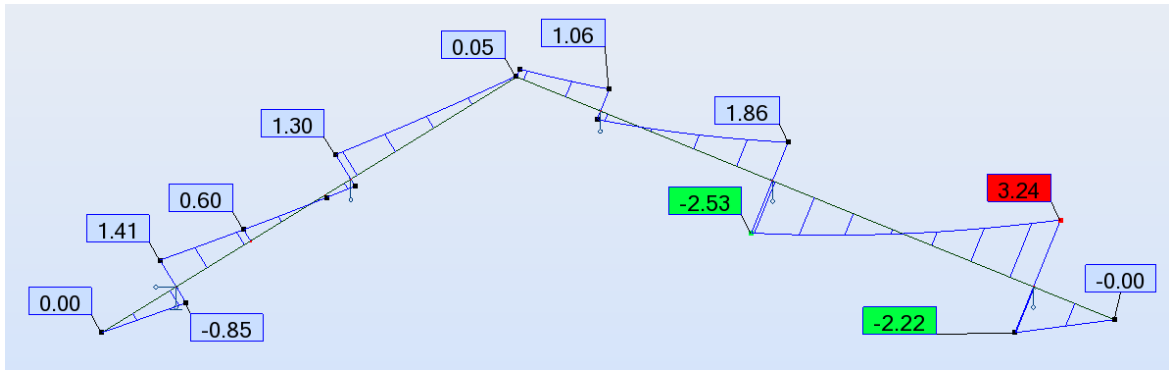
6) Täis lumi Laboratooriumi tänava pool + pool lund hoovi pool + tuul Laboratooriumi tänava poolt

$$1,2 \cdot G_{katus} + 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{tuul}$$

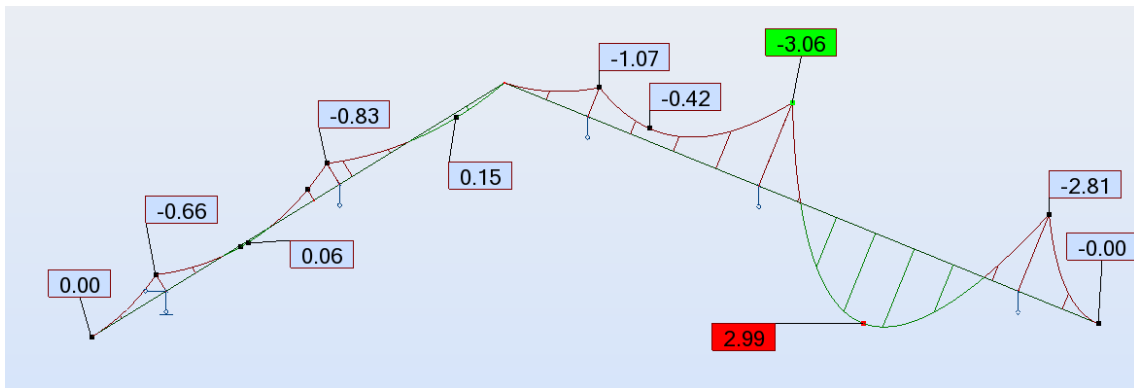
Joonistel 4.21.; 4.22. ja 4.23. on välja toodud sarika kriitilise löike kuenda kandepiirseisundi koormuskombinatsiooni sisejõud ja toereaktsioonid.



Joonis 4.21. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



Joonis 4.22. Pikijõu epüür (kN)



Joonis 4.23. Paindemomendi epüür (kNm)

4.5.2. Kasutuspiirseisundi (Normkombinatsioon) koormuskombinatsioonid

Kasutuspiirseisundis on leitud sisejõud nelja erineva koormuskombinatsiooni puhul, lähtudes valemist (3). Esimese kahe kombinatsiooni puhul arvestatakse lund domineerivalt ning tuulekoormust kas ühel pool katust või teisel pool katust. Kahes viimases kombinatsioonis on domineerivaks muutuvkoormuseks tuul ühele katuse küljele ja seejärel teisele katuse küljele.

1) Lumi (domineeriv) + tuul hoovi poolt

$$G_{katus} + Q_{lumi} + 0,6 \cdot Q_{tuul}$$

2) Lumi (domineeriv) + tuul Laboratooriumi tänava poolt

$$G_{katus} + Q_{lumi} + 0,6 \cdot Q_{tuul}$$

3) Tuul (domineeriv) hoovi poolt + lumi

$$G_{katus} + 0,5 \cdot Q_{lumi} + Q_{tuul}$$

4) Tuul Laboratooriumi (domineeriv) tänava poolt + lumi

$$G_{katus} + 0,5 \cdot Q_{lumi} + Q_{tuul}$$

4.6. Sarikate kandevõime arvutus

Sarikateks valitakse 50X200 ristlõikega C24 ehituspuidust talad. Koormuse kestusklass on lühiajaline ning konstruktsiooni kasutusklassiks on 2. Sarikate pikkus on varieeruv, mistõttu võib saematerjali leidmine keerukas olla. Lubatud on kasutada sõrmjätkatud konstruktsioonipuitu, juhul kui sarika pikkus on üle 6 meetri. Laboratooriumi tänava poolne sarikas on toetatud kahele toolvärgile (vana säilitatav toolvärk ja üks uus toolvärk). Hoovi poolse katuse külje sarikad on toetatud ühele toolvärgile. Olemasolevale paekivi müürile valatakse tasandus vöö, millele omakorda kinnitatakse keemiliste ankrutega müürilatt. Müürilatile ja toolvärgidele toetuvad sarikad 100 mm sisselõikega. Sarikad fikseeritakse sõlmedes nurkraudade ja kruvidega. Harja sõlm lahendatakse ühelõikelise puit-puiduga kruviliitena. Igas harja sõlmes kasutatakse 50 mm paksusega käsitsi tahatud C24 ehituspuidust lappi. Sarikate kandevõime arvutus tehakse suurima sildega sarikale kriitilises lõikes, kus esineb suurim sarikate samm ning lume kuhjumine tulemüüri taha. Juhul kui arvutused tagavad sarikate kandevõime kriitilises lõikes, on tagatud ka ülejäänud sarikate kandevõime. Ehituskonstruktori käsiraamatu tabeli 14.5. põhjal on tugevusklassiga C24 saematerjali omadused järgmised: [6, lk. 506]

$$\text{Osavarutegur saepuidule} - \gamma_M = 1,30$$

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

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

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

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

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

$$\text{Tihedus} - \rho_{g,k} = 420 \text{ kg/m}^3$$

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

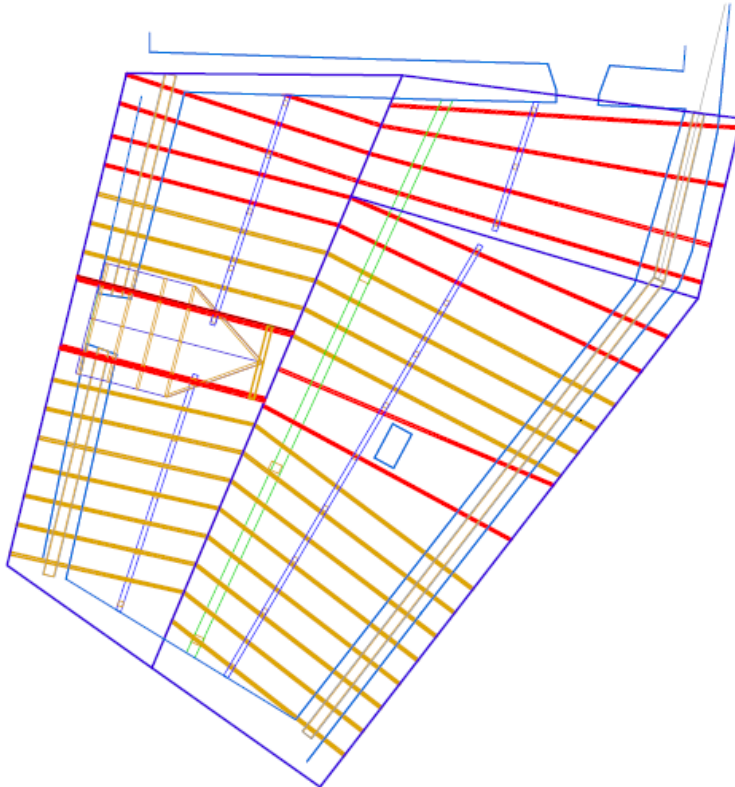
Liidete valmistamiseks kasutatakse kruvisid 6mm ja polte M8 (4.6):

$$\text{Pollliite tugevuse osavarutegur} - \gamma_{M,kinniti} = 1,25$$

Poldi tõmbetugevus - $f_{ub(4.6)} = 400 \text{ N/mm}^2$

Kruvi tõmbetugevus - $f_u = 600 \text{ N/mm}^2$

Joonisel 4.24. on illustratiivne sarikate plaan, kus punasega on välja toodu kriitilises lõikes asetsevad sarikad. Lisaks on hoone keskel roheline märgitud vana säilitatav toolvark ning sinisega uued toolvärgid.



Joonis 4.24. Hoone sarikate plaan

4.6.1. Nõrgestatud ristlõike kandepiirseisundi tõmbekandevõime pikikiudu koos paindega kriitilises lõikes

Määravaks saab kuues kandepiirseisundi koormuskombinatsioon (joonis 4.22. ja joonis 4.23.), mille puhul esineb maksimaalne lumekoormus Laboratooriumi tänava poolisel küljel, hoovi poolisel küljel esineb pool maksimaalsest lumekoormuse väärtusest ning tuul puhub Laboratooriumi tänava poolt. Sellisel juhul on toel (sarika nõrgestatud ristlõige) suurim paindemomendi väärtus. Sarika ristlõike kontroll tehakse vastavalt valemile: [18, lk. 39]

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (11)$$

Kus: $\sigma_{t,0,d}$ – arvutusliku tõmbepinge 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.

Tsentrilise tõmbejõu arvutusväärtus

$$N_{t,sd} = 2,53 \text{ kN}$$

Arvutuslik paindemoment

$$M_{sd} = 3,06 \text{ kNm}$$

Arvutuslik paindetugevus vastavalt avaldisele (4)

$$f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu vastavalt avaldisele (4)

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

Nõrgestatud netoristlõike pindala

Kriitiliseks saab ristlõige, mis on nõrgestatud tapiga, mille kõrgeim mõõde ristlõikes on 37,5 mm. Lisaks on ristlõige nõrgestatud kahe 6 mm kruviga, millest ühe võib välja jätta, kuna see asetseb samas kõrgustasapinnas nõrgestusega.

$$A_{net} = (200 - 37,5 - 6) \cdot 50 = 7825 \text{ mm}^2$$

Nõrgestatud ristlõike inertsimoment

$$\begin{aligned} I_{y,ef} &= \frac{50 \cdot 200^3}{12} - \frac{50 \cdot 37,5^3}{12} - 50 \cdot 37,5 \cdot 81,25^2 - \frac{50 \cdot 6^3}{12} - 50 \cdot 37,5 \cdot 11^2 \\ &= 20510000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Nõrgestatud ristlõike vastupanumoment

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

$$W_{y,ef} = \frac{I_{y,ef}}{|y_e|} = \frac{20510000}{82} = 250121,9 \text{ mm}^3$$

Nõrgestatud ristlõike vastupanumoment lihtsustatud avaldise kaudu, mille puhul on nõrgestuste kõrgused ristlõike kõrgusest maha lahutatud.

$$W_{y,ef} = \frac{50 \cdot (200 - 37,5 - 6)^2}{6} = 204100 \text{ mm}^3$$

Arvutustes kasutatakse lihtsustatud meetodi abil leitud vastupanumomenti, kuna saadud tulem on tagavara kasuks.

Arvutuslik paindepinge y – telje suhtes leitakse avaldisega: [6, lk. 517]

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

Kus: M_{sd} – paindemomendi arvutusväärtus y-telje suhtes, kN·m;

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

Arvutuslik paindepinge vastavalt valemile (12)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{3,06 \cdot 10^6}{204100} = 14,992 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik tõmbepinge leitakse avaldisega: [6, lk. 514]

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{td}}{A} \quad (13)$$

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

A – netoristlõike pindala, mm².

Arvutuslik tõmbepinge pikikiudu vastavalt valemile (13)

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{2,53 \cdot 10^3}{7825} = 0,323 \text{ N/mm}^2$$

Tala paindekandevõime koos tõmbega pikikiudu vastavalt avaldisele (11)

$$\frac{0,323}{9,69} + \frac{14,99}{16,6} = 0,936 < 1$$

Tala kandevõime on tagatud vastavalt tingimusele (11).

4.6.2. Nõrgestatud ristlõike kandepiiriseisundi survekandevõime pikikiudu koos paindega kriitilises lõikes

Määravaks saab kuues kandepiiriseisundi koormuskombinatsioon (joonis 4.22. ja joonis 4.23.), mille puhul esineb maksimaalne lumekoormus Laboratooriumi tänava poolisel küljel, hoovi poolisel küljel esineb pool maksimaalsest lumekoormuse väärtusest ning tuul puhub Laboratooriumi tänava poolt. Sellisel juhul on toel (sarika nõrgestatud ristlõige) suurim paindemomendi väärtus. Sarika ristlõike kontroll tehakse vastavalt valemile: [18, lk. 40]

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (14)$$

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

$$N_{c,sd} = 3,25 \text{ kN}$$

Arvutuslik paindemoment

$$M_{sd} = 2,81 \text{ kNm}$$

Arvutuslik paindetugevus vastavalt avaldisele (4)

$$f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus pikikiudu vastavalt avaldisele (4)

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

Nõrgestatud netoristlõike pindala

$$A_{net} = (200 - 37,5 - 6) \cdot 50 = 7825 \text{ mm}^2$$

Nõrgestatud ristlõike vastupanumoment

Kriitiliseks saab ristlõige, mis on nõrgestatud tapiga, mille kõrgeim mõõde ristlõikes on 37,5 mm. Lisaks on ristlõige nõrgestatud kahe 6 mm kruviga, millest ühe võib välja jätta,

kuna see asetseb samas kõrgustasapinnas nõrgestusega. Nõrgestatud ristlõike vastupanumoment lihtsustatud avaldise kaudu, mille puhul on nõrgestuste kõrgused ristlõike kõrgusest maha lahutatud.

$$W_{y,ef} = \frac{50 \cdot (200 - 37,5 - 6)^2}{6} = 204100 \text{ mm}^3$$

Arvutustes kasutatakse lihtsustatud meetodi abil leitud vastupanumomenti, kuna saadud tulem on tagavara kasuks.

Arvutuslik paindepinge vastavalt valemile (12)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{2,81 \cdot 10^6}{204100} = 13,768 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survepinge leitakse avaldisega: [6, lk. 514]

$$\sigma_{c,d} = \frac{F_{cd}}{A_{net}} \quad (15)$$

Kus: F_{cd} – tsentrilise survejõu arvutusväärtus, kN;

A_{net} – netoristlõike pindala, mm^2 .

Arvutuslik survepinge pikikiudu vastavalt avaldisele (15)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{3,25 \cdot 10^3}{7825} = 0,415 \text{ N/mm}^2$$

Tala paindekandevõime koos survega pikikiudu vastavalt avaldisele (14)

$$\left(\frac{0,415}{14,5}\right)^2 + \frac{13,768}{16,6} = 0,829 < 1$$

Tala kandevõime on tagatud vastavalt avaldisele (14).

4.6.3. Nõtkte kandepiiriseisundis

Määravaks saab teine kandepiiriseisundi koormuskombinatsioon (joonis 4.10. ja joonis 4.11.), mille puhul esineb katusel maksimaalne lumekoormus ning tuul puhub Laboratooriumi tänava poolt, kuna sellisel juhul esineb avas suurim paindemoment. Sarika nõtkumist kontrollitakse vastavalt valemile: [18, lk. 40-41]

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (16)$$

Kus: $\sigma_{c,0,d}$ – arvutusliku survepinge väärtus pikikiudu, N/mm^2 ;

$k_{c,y}$ – 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 vastavalt avaldisele (4)

$$f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus pikikiudu vastavalt avaldisele (4)

$$f_{c,0,d} = 0,9 \cdot \frac{21}{1,3} = 14,5 \text{ N/mm}^2$$

Suhteline saledus

$$l = l_{ef} = 3,2 \text{ m}$$

Terve ristlõike inertsimoment

$$I_y = \frac{a \cdot b^3}{12} = \frac{50 \cdot 200^3}{12} = 33333333,33 \text{ mm}^4$$

Terve ristlõike pindala

$$A = a \cdot b = 50 \cdot 200 = 10000 \text{ mm}^2$$

Terve ristlõike inertsiraadius

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{33333333,33}{10000}} = 57,7 \text{ mm}$$

Paindesaledus

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{3200}{57,7} = 55,46$$

Suhteline saledus

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{55,46}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,94$$

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

Nõtketegur $k_{c,y}$ leidmine

$$\beta_c = 0,2$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2(0,94 - 0,3) + 0,94^2] = 1,006$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,006 + \sqrt{1,006^2 + 0,94^2}} = 0,733$$

Terve ristlõike vastupanumoment

$$W_y = \frac{h^2 \cdot b}{6} = \frac{200^2 \cdot 50}{6} = 333333,33 \text{ mm}^3$$

Arvutuslik paindmoment avas

$$M_{sd} = 3,03 \text{ kNm}$$

Arvutuslik paindepinge vastavalt valemile (6)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{3,03 \cdot 10^6}{333333,33} = 9,09 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik tsentriline survejõud pikikiudu

$$N_{sd} = 0,13 \text{ kN}$$

Arvutuslik survepinge vastavalt valemile (15)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{0,13 \cdot 10^3}{10000} = 0,013 \text{ N/mm}^2$$

Tala nõtkumise kandevõime vastavalt valemile (16)

$$\frac{0,013}{0,733 \cdot 14,5} + \frac{9,09}{16,6} = 0,548 < 1$$

Vastavalt avaldisele (16) on nõtkumine välistatud.

4.6.4. Nihkekandevõime kandepiir seisundis

Määravaks saab teine kandepiir seisundi koormuskombinatsioon (joonis 4.9.), mille puhul esineb maksimaalne lumekoormus Laboratooriumi tänava poolisel küljel, hoovi poolisel küljel esineb pool maksimaalsest lumekoormuse väärtusest ning tuul puhub

Laboratooriumi tänava poolt. Sellisel juhul esineb toel (tala nõrgestatud ristlõige) suurim põikjõu väärtus. Sarika ristlõike kontroll tehakse vastavalt valemile: [18, lk. 49-50]

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d} \quad (17)$$

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 vastavalt valemile (4)

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

Tala kõrgus

$$h = 200 \text{ mm}$$

Tala kõrgus sisselõike kohal

$$h_{ef} = 200 - 37,5 - 6 = 156,5 \text{ mm}$$

Tala laius

$$b = 50 \text{ mm}$$

Põikjõu rakenduspunkti kaugus sisselõike servast

$$x = 50 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} = \frac{0,1565}{0,2} = 0,782$$

Sisselõike kalle

$$\varepsilon = 22^\circ$$

$$i = \tan \varepsilon = \tan(22^\circ) = 0,404$$

$$k_n = 5,0$$

Tegur k_v

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

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

$$= \frac{5 \left(1 + \frac{1,1 \cdot 0,404^{1,5}}{\sqrt{200}} \right)}{\sqrt{200} \left(\sqrt{0,782(1-0,782)} + 0,8 \cdot \frac{50}{200} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,782} - 0,782^2} \right)} = 0,626$$

Põikjõu arvutusväärtus

$$V_{sd} = 7,87 \text{ kN}$$

Nihkekandevõime kontroll vastavalt valemile (17)

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot 7,87 \cdot 10^3}{50 \cdot 156,5} = 1,509 \text{ N/mm}^2$$

$$k_v \cdot f_{v,d} = 0,626 \cdot 2,77 = 1,735 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = 1,509 \leq 1,735$$

Nihkekandevõime on tagatud vastavalt tingimusele (17).

4.6.5. Kandepiirseisundi survekandevõime kiudude suhtes nurga all (muljumine)

Suurim toereaktsioon esineb teises kandepiirseisundi koormuskombinatsioonis (joonis 4.9.), mille puhul esineb maksimaalne lumekoormus Laboratooriumi tänava poolsel küljel, hoovi poolsel küljel esineb pool maksimaalsest lumekoormuse väärtusest ning tuul puhub Laboratooriumi tänava poolt. Sarika ristlõike kontroll tehakse vastavalt valemile: [18, lk. 39]

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (18)$$

Kus: $\sigma_{c,\alpha,d}$ – arvutuslik survepinge kiudude suhtes nurga α all, N/mm²;

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

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

$k_{c,90}$ – tegur, mis arvestab ristikiudu pingete mõju.

Survejõu ning sarika kiudude suuna vahelise nurga suurus on 68° .

$$\alpha = 68^\circ$$

Teguri $k_{c,90}$ valik

Tegemist on kohttoega ning materjaliks on okaspuit (saepuit).

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$l_1 = 3200 \text{ mm}$$

$$2 \cdot h = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

$$l_1 > 2h$$

Seega tegur $k_{c,90}$:

$$k_{c,90} = 1,5$$

Arvutuslik toereaktsioon toel

$$F_{s,d} = 14,57 \text{ kN}$$

Toetuspinna pikkus

$$h_{ef} = 100 \text{ mm}$$

Arvutuslik survetugevus pikikiudu vastavalt valemile (4)

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

Arvutuslik survetugevus ristikiudu vastavalt valemile (4)

$$f_{c,90,d} = 0,9 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survepinge kiudude suhtes nurga all α vastavalt valemile (15)

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{14,57 \cdot 10^3}{100 \cdot 50} = 2,914 \text{ N/mm}^2$$

Kiudude suhtes nurga α all mõjuv survepinge peab rahuldama tingimust (18)

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{14,54}{\frac{14,54}{1,5 \cdot 1,73} \cdot \sin^2 68^\circ + \cos^2 68^\circ} = 3,087$$

$$2,914 < 3,087$$

Vastavalt avaldisele (18) on survekandevõime tagatud.

4.6.6. Sarikate piirläbipainde kontroll kasutuspiirseisundis

Sarikate piirläbipaindeid kontrollitakse teises kasutuspiirseisundi juhtumis, mille puhul on domineerivaks muutuvkoormuseks lumekoormus ning tuul esineb Laboratooriumi tänava poolt. Piirläbipainet kontrollitakse sarika suurima silde kohal, mis paikneb Laboratooriumi tänava poolses katuse küljes ning jääb vana säilitatava ning uue toolvärgi vahele, mille puhul on sildeava pikkuseks 3200 mm. Algdeformatsioonide väärtused saadakse Autodesk Robot Structural Analysis Professional arvutusskeemist. Lõplik deformatsioon leitakse vastavalt valemile: [14, lk. 20]

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + \sum u_{fin,Q_i} \quad (19)$$

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.

Teguri k_{def} määramine [18, lk. 29]

Kuna tegemist on kasutusklassiga 2 ning saepuiduga, siis:

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

Lõplik läbipaine alalise koormuse korral

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

$$u_{fin,G} = u_{inst,G}(1 + k_{def}) = 0,1 \cdot (1 + 0,8) = 0,18 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine domineeriva muutuvkoormuse korral (lumekoormus Laboaratooriumi tänava pool)

$$u_{inst,Q_1} = 0,3 \text{ cm}$$

$$u_{fin,Q_1} = u_{inst,Q_1}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) = 0,3 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 0,3 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine domineeriva muutuvkoormuse korral (lumekoormus hoovi pool)

$$u_{inst,Q_1} = -0,1 \text{ cm}$$

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

Lõplik läbipaine mittedomineeriva muutuvkoormuse korral (tuul Laboratooriumi tänava poolt)

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

$$u_{fin,Q_i} = u_{inst,Q_i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def}) = 0,1 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0,06 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine valemi (19) põhjal

$$u_{fin} = 0,18 + 0,3 - 0,1 + 0,06 = 0,44 \text{ cm}$$

Lubatud lõplik tala piirläbipaine [18, lk. 53]

$$w_{net,fin} = \frac{l}{250} = \frac{320}{250} = 1,28 \text{ cm}$$

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

Sarika lõplik läbipaine jääb lubatud piiridesse.

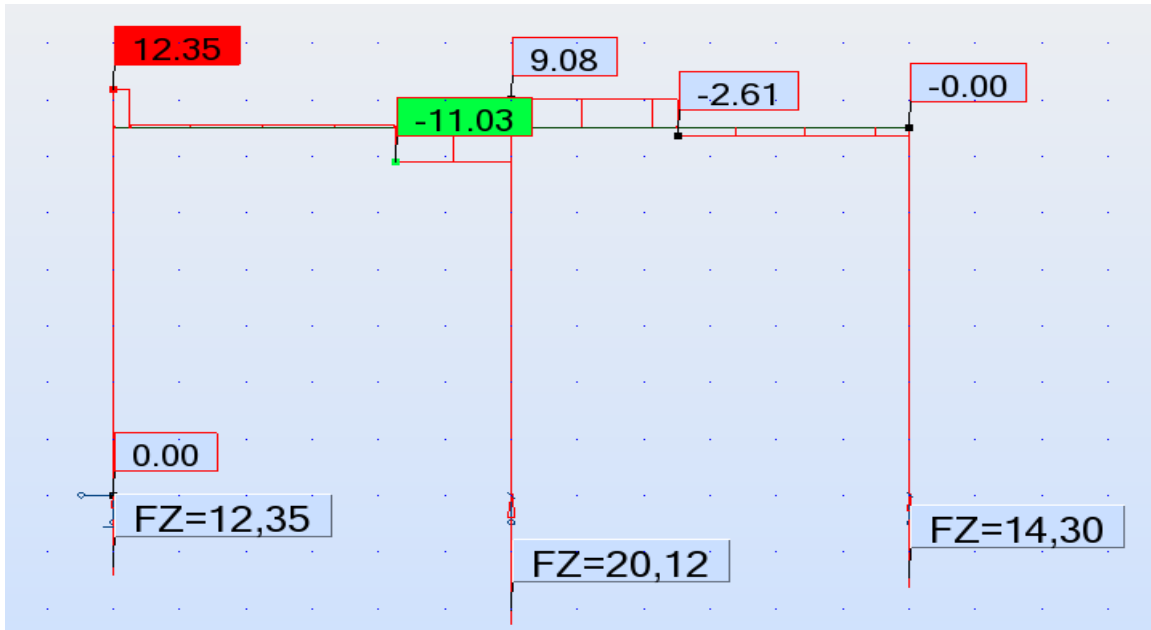
4.7. Toolvärgi kandevõime arvutus

Toolvärkide alumine vöö on 100X100 C24 saepuidust tala. Postideks on 1,2 meetrise sammuga 100X100 C24 saepuidust postid, postide kõrguseks on 1,2 meetrit. Toolvärkide ülemine vöö on 100X100 C24 saepuidust tala. Toolvärgi arvutus tehakse kriitilises lõikes, kus esineb lume kuhjumine. Juhul kui kriitilises lõikes on kandevõime tagatud, on kandevõime tagatud ka teiste toolvärkide puhul. Tulemüüri pool paiknevatele toolvärkidele mõjuvad suuremad koormused, kuna selles piirkonnas on sarikatel suurem samm ning esineb lume kuhjumine.

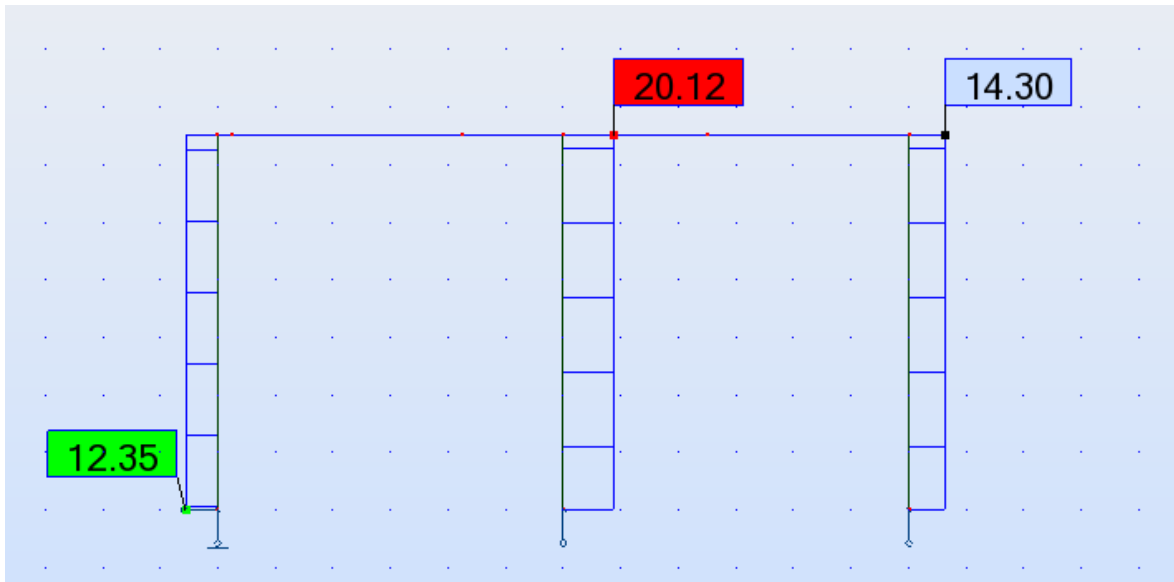
4.7.1. Kriitilises lõikes paiknevate toolvarkide sisejõud

Laboratooriumi tänava poolne toolvark

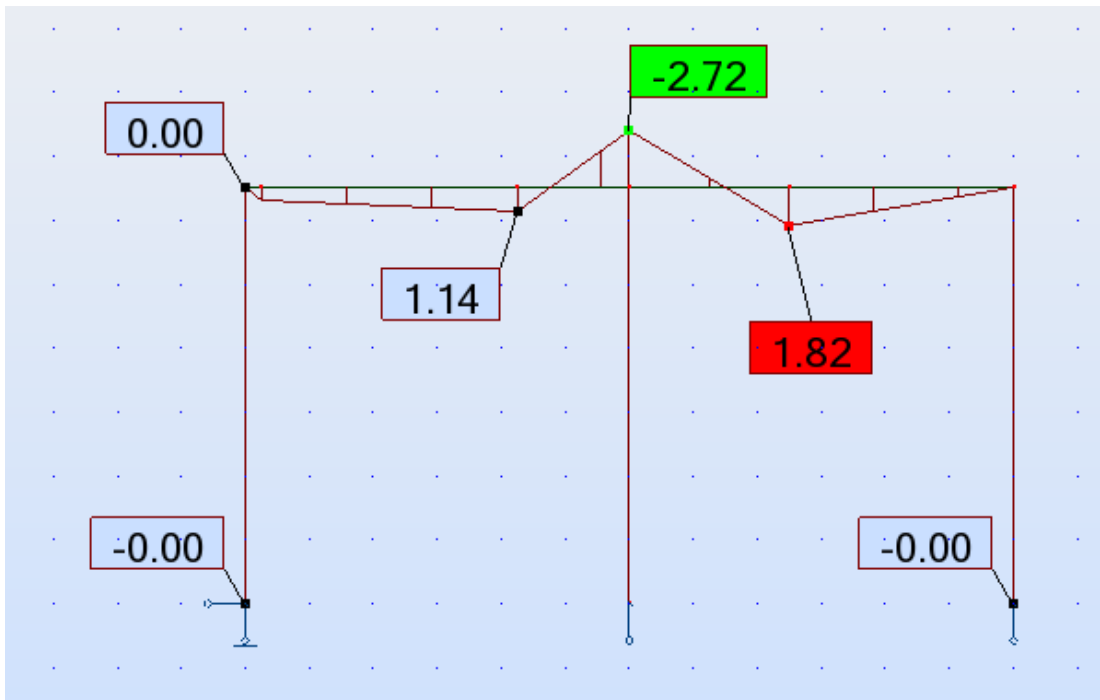
Joonistel 4.25.; 4.26. ja 4.27. on esitletud Laboratooriumi tänava poolse toolvärgi sisejõud ja toereaktsioonid kriitilises piirkonnas, kus esineb lume kuhjumine ning suurem sarikate samm.



Joonis 4.25. Põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)



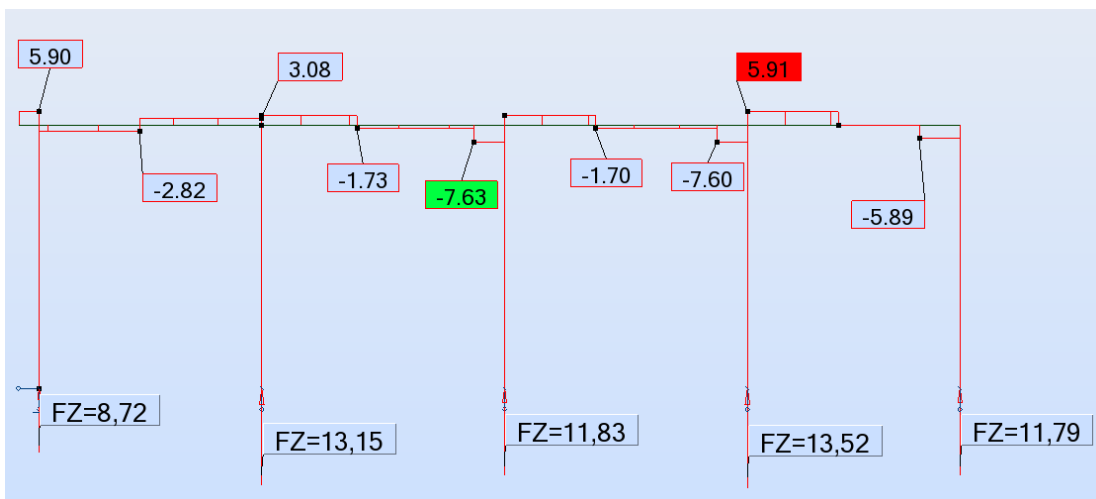
Joonis 4.26. Pikijõu epüür (kN)



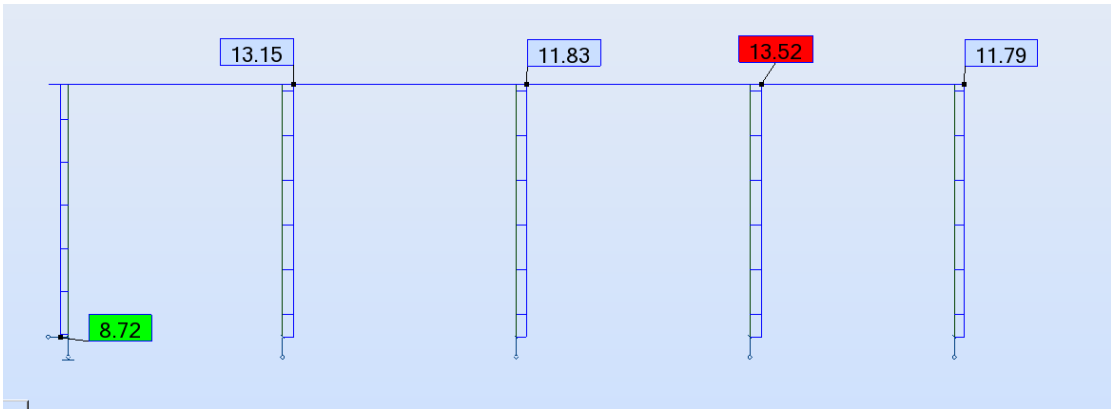
Joonis 4.27. Paindemomendi epüür (kNm)

Hoovi poolne toolvärk

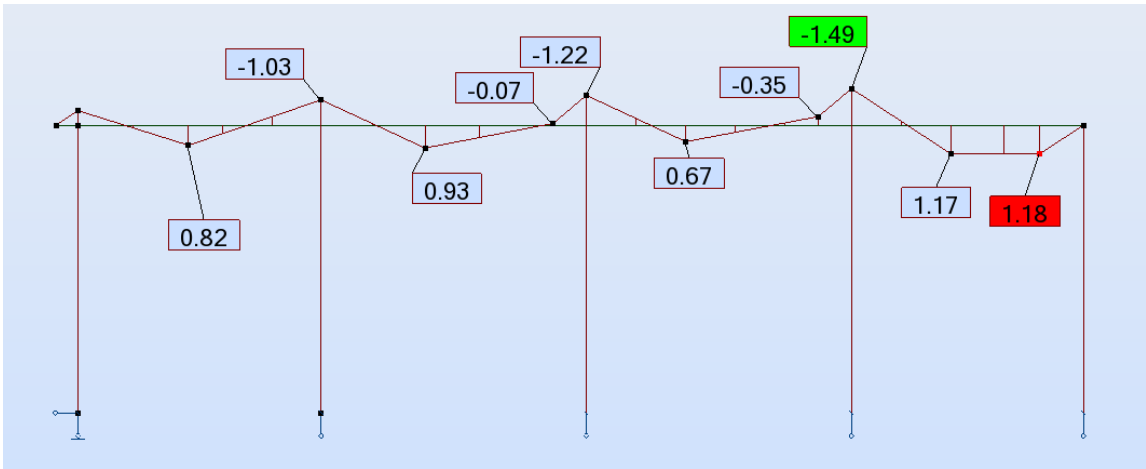
Joonistel 4.28.; 4.29. ja 4.30. on näidatud hoovi poolse toolvärgi sisejõud ja toereaktsioonid kriitilises piirkonnas, kus esineb lume kuhjumine ning suurem sarikate samm.



Joonis 4.28. Põikjõu epüür (kN)



Joonis 4.29. Pikijõu epüür (kN)



Joonis 4.30. Paindemomendi epüür (kNm)

4.7.2. Ülemise vöö paindekandevõime

Määravaks saab Laboratooriumi tänava poolses toolvärgis tekkiva paindemomendi arvutusväärtus (joonis 4.27.) Ristlõike paindekandevõime leitakse vastavalt valemile: [18, lk. 37]

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (20)$$

Kus: $\sigma_{m,y,d}$ – arvutuslik paindepinge, N/mm^2 ;

$f_{m,y,d}$ – arvutuslik paindetugevus, N/mm^2 .

Arvutuslik paindemoment

$$M_{sd} = 2,72 \text{ kNm}$$

Arvutuslik paindetugevus vastavalt valemile (4)

$$f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

Ristlõike vastupanumoment

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{100 \cdot 100^2}{6} = 166666,67 \text{ mm}^3$$

Arvutuslik paindepinge vastavalt valemile (12)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{2,28 \cdot 10^6}{166666,67} = 16,32 \text{ N/mm}^2$$

Paindekandevõime vastavalt valemile (20)

$$\frac{16,32}{16,6} = 0,982 < 1$$

Paindekandevõime ülemisele vööle on tagatud vastavalt valemile (20).

4.7.3. Posti kandevõime

Määravaks saab Laboratooriumi tänava poolse toolvärgi postis esinev survejõud (joonis 4.26.). Posti survekandevõimet kontrollitakse valemile (16). Kuna paindemomenti postis ei esine, võetakse paindepinge väärtuseks valemis 0.

Arvutuslik survejõud

$$N_{sd} = 20,12 \text{ kN}$$

Posti ristlõike pindala

$$A = a \cdot b = 100 \cdot 100 = 10000 \text{ mm}^2$$

Ristlõike telginertsimoment

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{100 \cdot 100^3}{12} = 8333333,3 \text{ mm}^4$$

Ristlõike inertsiraadius

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8333333,3}{10000}} = 28,87 \text{ mm}$$

Kuna sõlmedega momente vastu ei võeta, on posti nõtkepikkuseks $l_{ef}=1 \cdot l$.

Nõtkepikkus

$$l_{ef} = 1200 \text{ mm}$$

Saledus

$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_y} = \frac{1200}{28,87} = 41,6$$

Suhteline saledus

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{41,6}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,705$$

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

Nõtketeguri $k_{c,y}$ leidmine

$$\beta_c = 0,2$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2(0,705 - 0,3) + 0,705^2] = 0,789$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,789 + \sqrt{0,789^2 + 0,705^2}} = 0,875$$

Arvutuslik survetugevus pikikiudu vastavalt valemile (4)

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

Arvutuslik survepinge pikikiudu vastavalt valemile (15)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{20,12 \cdot 10^3}{10000} = 2,012 \text{ N/mm}^2$$

Posti survekandevõime vastavalt valemile (16)

$$\frac{2,012}{0,875 \cdot 14,5} = 0,158 < 1$$

Toolvärgi posti survekandevõime on tagatud vastavalt valemile (16).

4.7.4. Alumise vöö survekandevõime ristikiudu

Määravaks saab Laboratooriumi tänava poolses toolvärgis esinev toereaktsioon (joonis 4.25.). Alumise vöö surve kandevõimet kontrollitakse vastavalt standardile: [18, lk. 35-36]

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1 \quad (21)$$

Kus: $\sigma_{c,90,d}$ – efektiivse kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu, N/mm²;

$k_{c,90}$ – tegur, mis arvestab koormuse konfiguratsiooni, lõhestumisvõimalusi ning survedeformatsiooni taset;

$f_{c,90,d}$ – arvutuslik survetugevus ristikiudu, N/mm².

Teguri $k_{c,90}$ valik

Tegemist on kohttoega ning materjaliks on okaspuit (saepuit).

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$l_1 = 1200 \text{ mm}$$

$$2h = 2 \cdot 100 = 200 \text{ mm}$$

$$l_1 > 2h$$

$$k_{c,90} = 1,5$$

Efektiivne kontaktpikkus

$$l_{ef} = 100 + 30 + 30 = 160 \text{ mm}$$

Efektiivne kontaktpind

$$A_{ef} = l_{ef} \cdot b = 160 \cdot 100 = 16000 \text{ mm}$$

Arvutuslik toereaktsioon

$$F_{c,d} = 20,12 \text{ kN}$$

Efektiivse kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu vasavalt valemile (15)

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{20,12 \cdot 10^3}{16000} = 1,258 \text{ N/mm}^2$$

Survetugevus ristikiudu vastavalt valemile (4)

$$f_{c,90,d} = 0,9 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,731 \text{ N/mm}^2$$

Survekandevõime kontroll vastavalt valemile (21)

$$\frac{1,258}{1,5 \cdot 1,731} = 0,484 < 1$$

Toolvärgi alumise vöö survekandevõime on tagatud vastavalt valemile (21).

4.7.5. Nihkekandevõime

Määravaks saab Laboratooriumi tänava poolses toolvärgis esinev põikjõud (joonis 4.25.).

Nihkekandevõime kontroll tehakse vastavalt valemile: [18, lk. 37]

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (22)$$

Kus: τ_d – arvutuslik nihkepinge, N/mm^2 ;

$f_{v,d}$ – arvutuslik nihketugevus, N/mm^2 .

Ristlõike kõrgus

$$h = 100 \text{ mm}$$

Ristlõike efektiivlaid

$$k_{cr} = 0,67$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 100 = 67 \text{ mm}$$

Põikjõu arvutusväärtus

$$V = 12,35 \text{ kN}$$

Nihketugevuse arvutusväärtus vastavalt valemile (4)

$$f_{v,d} = 0,9 \cdot \frac{4,0}{1,3} = 2,769 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik nihkepinge vastavalt valemile (17)

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot 12,35 \cdot 10^3}{67 \cdot 100} = 2,765 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime kontroll vastavalt valemile (22)

$$\frac{2,765}{2,769} = 0,998 < 1$$

Toolvärgi ülemise vöö nihkekandevõime on tagatud vastavalt valemile (22).

4.7.6. Toolvärgi ülemise vöö piirläbipainde kontroll kasutuspiirsesundis

Toolvärgi ülemise vöö piirläbipaindeid kontrollitakse teises kasutuspiirsesundi juhtumis, mille puhul on domineerivaks muutuvkoormuseks lumekoormus Laboratooriumi tänava pool ning tuul esineb samuti Laboratooriumi tänav poolt. Hoovi poolse katuseosa lumekoormus on jäetud arvestamata, kuna see annab tulemuse varu kasuks. Piirläbipainet kontrollitakse toolvärgile, mis paikneb Laboratooriumi tänava pool tulemüüri poolses otsas, kuna seal esineb lume kuhjumine. Toolvärgi postide samm ja seega ka ülemise vöö sille on 1200 mm. Algdeformatsioonide väärtused saadakse Autodesk Robot Structural Analysis Professional arvutusskeemist. Lõplik deformatsioon leitakse vastavalt valemile (19).

Teguri k_{def} määramine [18, lk. 29]

Kuna tegemist on kasutusklassiga 2 ning saepuiduga, siis:

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

Lõplik läbipaine alalise koormuse korral

$$u_{inst,G} = 0,03 \text{ cm}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G}(1 + k_{def}) = 0,03 \cdot (1 + 0,8) = 0,054 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine domineeriva muutuvkoormuse korral (lumekoormus Laboaratooriumi tänava pool)

$$u_{inst,Q_1} = 0,11 \text{ cm}$$

$$u_{fin,Q_1} = u_{inst,Q_1}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) = 0,11 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 0,11 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine mittedomineeriva muutuvkoormuse korral (tuul Laboratooriumi tänava poolt)

$$u_{inst,Q_i} = 0,01 \text{ cm}$$

$$u_{fin,Q_i} = u_{inst,Q_i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def}) = 0,01 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0,006 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine valemi (19) põhjal

$$u_{fin} = 0,054 + 0,11 + 0,006 = 0,15 \text{ cm}$$

Lubatud lõplik tala piirläbipaine [18, lk. 53]

$$w_{net,fin} = \frac{l}{250} = \frac{120}{250} = 0,48 \text{ cm}$$

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

Toolvärgi ülemise vöö lõplik läbipaine jääb lubatud piiridesse.

4.8. Sõlmede kandevõime arvutus

4.8.1. Harja sõlm

Suurim jõud harja sõlmes esineb viienda koormuskombinatsiooni (joonis 4.18.) esinemise korral. Sõlm lahendatakse ühelõikelise puit-puiduga kruviliitega. Puidust käsitsi tahatud plaadi paksus on minimaalselt 50 mm ning tugevusklass C24. Kruvide läbimõõt on 6 mm. Kruviaugud puuritakse ette.

Erinevalt standardist rakendatakse valemite puidu muljumistugevuse ja kinnituselemendi voolavusmomendi normväärtuste asemel arvutusväärtusi, mis annavad tulemuse tagavara kasuks. Kinnitite kandevõime arvutus tehakse vastavalt ühelõikelise puit-puiduga kruviliite arvutusliku kandevõime valemile: [18, lk. 57-59]

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ \frac{f_{h,2,d} \cdot t_1 \cdot d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta(1+\beta) + \frac{4 \cdot \beta(2+\beta)M_{y,Rd}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d}{2+2 \cdot \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta(1+\beta) + \frac{4 \cdot \beta(2+\beta)M_{y,Rd}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rd} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} \end{array} \right. \quad (23)$$

Kus: $F_{v,Rd}$ – ühe kinnituselemendi arvutuslik kandevõime ühe nihkepinna kohta, N;

t_i – puidu või laua paksus või süvistussügavus, mm;

$f_{h,1,d}$ – muljumistugevuse arvutusväärtus puitelemendis, N/mm²;

d – kinnituselemendi läbimõõde, mm;

$M_{y,Rd}$ – kinnituselemendi voolavusmomendi arvutusväärtus, Nmm;

β – elementide muljumistugevuste suhe.

Resultantjõu väärtus harjas

$$N_{t,sd} = 0,95 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 1,32 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = \sqrt{N_{t,sd}^2 + V_{sd}^2} = \sqrt{0,95^2 + 1,32^2} = 1,626 \text{ kN}$$

• Ühelõikelise puit-puiduga kruviliite ühe kinnituselemendi normkandevõime ühe nihkepinna kohta

Kuna tegemist on 6mm läbimõõduga kruvidega, siis arvutatakse liidet kui naelliidet. Kõieefekti mõju võetakse võrdseks nulliga, kuna see annab kandevõime tulemuse varu kasuks.

$$t_1 = 50 \text{ mm}$$

$$t_2 = 50 \text{ mm}$$

$$d = 6 \text{ mm}$$

Puidu muljumistugevuse normväärtus leitakse valemiga: [6, lk. 532]

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} \quad (24)$$

Kus: $f_{h,k}$ – puidu muljumistugevuse normväärtus, N/mm^2 ;

ρ_k – puidu tihedus, kg/m^3 ;

d – kruvi läbimõõt, mm.

Puidu muljumistugevuse normväärtus vastavalt valemile (24)

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0,082 \cdot 350 \cdot 6^{-0,3} = 16,766 \text{ N/mm}^2$$

Puidu muljumistugevuse arvutusväärtus vastavalt valemile (4)

$$f_{h,1,d} = f_{h,2,d} = 0,9 \cdot \frac{16,766}{1,3} = 11,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} = \frac{11,6}{11,6} = 1$$

Kruvi voolupiirile vastava paindemomendi normväärtus leitakse valemiga: [6, lk. 533]

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} \quad (25)$$

Kus: $M_{y,Rk}$ – kruvi voolupiirile vastava paindemomendi normväärtus, Nmm ;

f_u – naela tõmbetugevus, N/mm^2 ;

d – kruvi läbimõõt, mm.

Kruvi voolupiirile vastava paindemomendi normväärtus lähtudes valemist (25)

$$f_u = 600 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot 600 \cdot 6^{2,6} = 18990 \text{ Nmm}$$

Kruvi voolupiirile vastava paindemomendi arvutusväärtus

$$\gamma_{M,kinniti} = 1,25$$

$$M_{y,Rd} = \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M,kinniti}} = \frac{18990}{1,25} = 15190 \text{ Nmm}$$

Ühelõikelise puit-puiduga kruviliite ühe kinnituselemendi normkandevõime ühe nihkepinna kohta vastavalt valemile (23)

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{11,6 \cdot 50 \cdot 6}{1+1} \left[\frac{11,6 \cdot 50 \cdot 6 = 3482 \text{ N}}{11,6 \cdot 50 \cdot 6 = 3482 \text{ N}} \sqrt{1 + 2 \cdot 1^2 \left[1 + \frac{50}{50} + \left(\frac{50}{50}\right)^2 \right] + 1^3 \left(\frac{50}{50}\right)^2} - 1 \left(1 + \frac{50}{50}\right) \right] = 961,57 \text{ N} \rightarrow \min \\ 1,05 \cdot \frac{11,6 \cdot 50 \cdot 6}{2+1} \left[\sqrt{2 \cdot 1(1+1) + \frac{4 \cdot 1(2+1) \cdot 15190}{11,6 \cdot 50 \cdot 6^2}} - 1 \right] = 1519 \text{ N} \\ 1,05 \cdot \frac{11,6 \cdot 50 \cdot 6}{2+2 \cdot 1} \left[\sqrt{2 \cdot 1(1+1) + \frac{4 \cdot 1(2+1) \cdot 15190}{11,6 \cdot 50 \cdot 6^2}} - 1 \right] = 1519 \text{ N} \\ 1,15 \cdot \frac{2 \cdot 1}{1+1} \cdot \sqrt{2 \cdot 15190 \cdot 11,6 \cdot 6} = 1183 \text{ N} \end{array} \right.$$

- **Kinnitite arv sõlmes**

Ühe nihkepinna kandevõime

$$F_{v,Rk} = 961,6 \text{ N}$$

Seega on ühe nihkepinna kandevõime tagamiseks vajalik kinnitite arv n:

$$n = \frac{F_{vd}}{F_{v,Rk}} = \frac{1,626}{0,9616} = 1,69 \rightarrow n=2$$

Kuna kinnitid paiknevad pikikiudu ühes reas, on oluline kontrollida kinnitite efektiivset arvu reas.

Kinnitite efektiivne arv reas [18, lk. 62-63]

$$a_1 = 200 \text{ mm}$$

$$14d = 14 \cdot 8 = 84 \text{ mm}$$

$$a_1 > 14d$$

$$k_{ef} = 1,0$$

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} = 2^1 = 2$$

Harja sõlme kandevõime tagavad 4 kinnitit, 2 kinnitit kummaski lõikes.

- **Kinnitite minimaalsed vahekaugused ja kaugused elemendi otsast või servast**

Kinnitite minimaalsete vahekauguste valemities esineva jõu resultandi ning puidu kiudude suuna vahelisest nurgast tingitud trigonomeetrilise teguri väärtus võetakse maksimaalne (võrdne ühega), kuna see annab tulemuse varu kasuks. Seega arvestatakse jõu resultandi ja puidu kiudude vahelist nurga asemel selle suuruse halvimat võimalikku väärtust. Kinnitite vahekaugused leitakse vastavalt standardile: [18, lk. 65]

Kinnitite vahekaugus pikikiudu

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|)d = (4 + 1) \cdot 6 = 30 \text{ mm}$$

Kinnitite vahekaugus ristikiudu

$$a_2 = (3 + |\sin \alpha|)d = (3 + 1) \cdot 6 = 24 \text{ mm}$$

Kaugus koormatud otsast

$$a_{3,t} = (7 + 5 \cdot \cos \alpha)d = (7 + 5 \cdot 1) \cdot 6 = 72 \text{ mm}$$

Kaugus koormamata otsast

$$a_{3,c} = 7d = 7 \cdot 6 = 42 \text{ mm}$$

Kaugus koormatud servast

$$a_{4,t} = (3 + 4 \cdot \sin \alpha)d = (3 + 4 \cdot 1) \cdot 6 = 42 \text{ mm}$$

Kaugus koormamata servast

$$a_{4,c} = 3d = 3 \cdot 6 = 18 \text{ mm}$$

4.8.2. Toolvarkide sõlmed

Sarikas toetub toolvärgile sisselõikega, mille tulemusena kantakse jõud toolvärgile üle muljumispinnaga. Tööde käigus fikseeritakse sarikad toolvarkidele nurgikute ja kruvidega. Toolvarkide postid fikseeritakse alumise ja ülemise vöö külge nurgikute ja kruvidega.

4.8.3. Räästa sõlm

Räästas lahendatakse monoliitse raudbetoon vööga, mis valatakse olemasoleva paekivist müüri peale. Raudbetoon vööle paigaldatakse hüdroisolatsioon ning seejärel ankurdatakse vööle sügavimmutatud pruss ristlõikega 200X50 ja tugevusklassiga C24, mis saab müürivöö karkassi alumiseks vöök. Müürivöö karkassi postideks on 200X50 ristlõikega C24 postid, mille samm on 600 mm. Müürivöö karkassi ülemine vöö on samuti 200X50 ristlõikega ehituspuit tugevusklassiga C24. Müürivöö karkassile kinnitatakse sarikad nurgikute ja kruvidega. Räästa sõlmes esineb horisontaalne toereaktsioon, mida arvesse võttes viiakse läbi sõlme kandevõime kontroll.

- **Ühelõikelise teras-puiduga liite normkandevõime**

Erinevalt standardist rakendatakse valemite puidu muljumistugevuse ja kinnituselemendi voolavusmomendi normväärtuste asemel arvutusväärtusi, mis annavad tulemuse tagavara kasuks. Ühelõikelise teras-puiduga liite arvutuslik kandevõime leitakse vastavalt valmile: [18, lk. 59]

$$F_{v,Rd} = \begin{cases} 0,4 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 d \\ 1,15 \sqrt{2 \cdot M_{y,Rd} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} \end{cases} \quad (26)$$

Kus: $F_{v,Rd}$ – ühe kinnituselemendi arvutuslik kandevõime ühe nihkepinna kohta, N;

t_i – puidu või laua paksus või süvistussügavus, mm;

$f_{h,1,d}$ – muljumistugevuse arvutusväärtus puitelemendis, N/mm²;

d – kinnituselemendi läbimõõde, mm;

$M_{y,Rd}$ – kinnituselemendi voolavusmomendi arvutusväärtus, Nmm.

Horisontaalse toereaktsiooni väärtus

Määravaks saab kolmas kandepiiriseisundi koormuskombinatsioon, mille puhul on horisontaalse toereaktsiooni väärtus kõige suurem (joonis 4.12.).

$$F_{vd} = 1,09 \text{ kN}$$

Puidu muljumistugevuse normväärtus vastavalt valemile (24)

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot 350 \cdot 6^{-0,3} = 16,766 \text{ N/mm}^2$$

Puidu muljumistugevuse arvutusväärtus vastavalt valemile (4)

$$f_{h,1,d} = 0,9 \cdot \frac{16,766}{1,3} = 11,6 \text{ N/mm}^2$$

Kruvi voolupiirile vastava paindemomendi normväärtus vastavalt valemile (25)

$$f_u = 600 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot 600 \cdot 6^{2,6} = 18990 \text{ Nmm}$$

Kruvi voolupiirile vastava paindemomendi arvutusväärtus

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$M_{y,Rd} = \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M,teras}} = \frac{18990}{1,25} = 15190 \text{ Nmm}$$

Ühelõikelise teras-puiduga liite arvutuslik kandevõime

Kuna $t=2,5 \text{ mm}$ ja $0,5d=0,5 \cdot 6=3 \text{ mm}$, siis rakendub tingimuse $t < 0,5d$ tõttu valem (26):

$$t = 2,5 \text{ mm}$$

$$0,5d = 0,5 \cdot 6 = 3 \text{ mm}$$

$$t < 0,5d$$

$$F_{v,Rk} = \begin{cases} 0,4 \cdot 11,6 \cdot 50 \cdot 6 = 1393 \text{ N} \\ 1,15 \sqrt{2 \cdot 15190 \cdot 11,6 \cdot 6} = 1673 \text{ N} \end{cases}$$

- **Kinnitite arv sõlmes**

Ühe nihkepinna kandevõime

$$F_{v,Rk} = 1393 \text{ N}$$

Seega on ühe nihkepinna kandevõime tagamiseks vajalik kinnitite arv n :

$$n = \frac{F_{vd}}{F_{v,Rk}} = \frac{1090}{1393} = 0,78 \rightarrow n=1$$

Kuna ühe kinnitiga sõlme ei paigaldata, kinnitatakse nurgikud sarika külge kahe kruviga.

- **Poldi arvutuslik kandevõime liites**

Müürivöö karkassi ja betoonist müürivöö sõlmes kasutatakse polti M8, tugevusklassiga 4.6 ja sammuga 600 mm. Poldi kandevõime lõikele leitakse vastavalt valemile: [6, lk. 446]

$$F_{v,Rd} = 0,6 \frac{f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (27)$$

Kus: $F_{v,Rd}$ – poldi arvutuslik kandevõime liites, N;

f_{ub} – poldi normatiivne tõmbetugevus, N/mm²;

A_s – poldi keermestatud osa netopindala, mm²;

γ_{M2} – poltliite tugevuse osavarutegur.

Poldi keermestamata osa brutopindala

$$A = 50,3 \text{ mm}^2$$

Poldi keermestatud osa netopindala

$$A_s = 35,5 \text{ mm}^2$$

Poldi normatiivne tõmbetugevus

$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2$$

Poldi kandevõime lõikele vastavalt valemile (27)

$$F_{v,Rd} = 0,6 \frac{400 \cdot 37,5}{1,25} = 7200 \text{ N}$$

$$\frac{F_{vd}}{F_{v,Rd}} = \frac{1090}{7200} = 0,15 < 1$$

Poldi lõikekandevõime sõlmes on tagatud.

- **Poldiaugu ääre muljumiskandevõime**

Sarikate kinnitamiseks müürivööle kasutatakse terasnurgikuid (tugevusklass S355) mõõtmetega 80X80X60mm. Teraslehe paksus on 2,5 mm. Poldiaugu ääre muljumiskandevõime leitakse vastavalt valemile: [6, lk. 446]

$$F_{b,Rd} = k_1 \alpha_b \frac{f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (28)$$

Kus: $F_{b,Rd}$ – poldiaugu ääre muljumiskandevõime, N;

f_u – terase normtõmbetugevus, N/mm²;

d – poldi läbimõõt, mm;

t – teraslehe paksus, mm;

γ_{M2} – poltliite tugevuse osavarutegur.

Terase normtõmbetugevus

$$f_u = 510 - 680 \text{ N/mm}^2$$

Poldi normatiivne tõmbetugevus

$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2$$

Poldiaugu läbimõõt

$$d_0 = 10 \text{ mm}$$

Poldiaugu kaugus nurgiku servast

$$e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 40 \text{ mm}$$

Tegurite α_b ja k_1 leidmine

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3d_0} = \frac{30}{3 \cdot 10} = 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400}{600} = 0,66 \rightarrow \min \\ 1,0 \end{array} \right.$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \frac{40}{10} - 1,7 = 9,5 \\ 2,5 \rightarrow \min \end{array} \right.$$

Poldiaugu ääre muljumiskandevõime vastavalt valemile (28)

$$F_{b,Rd} = 2,5 \cdot 0,66 \frac{600 \cdot 8 \cdot 2,5}{1,25} = 15,8 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{vd}}{F_{b,Rd}} = \frac{1090}{15800} = 0,069 < 1$$

Poldiaugu ääre kandevõime on tagatud.

4.9. Vintskapi kandevõime arvutus

4.9.1. Lumekoormus

- **Lumekoormus vintskapi katusel**

$$\alpha_1 = 56,8^\circ$$

Lumekoormus maapinnale (Tallinn)

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

Kuna katuse serv lõppeb lumetõkkega, võetakse lumekoormuse kujuteguriks 0,8. [7, lk. 20]

$$\mu_1 = 0,8$$

Normatiivne lumekoormus vintskapi katusele vastavalt valemile (5)

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

- **Lumekoormus neelusarika kohal (saagkatus)**

Lumekoormuse kujutegur leitakse vastavalt lumekoormuse standardile: [7, lk. 21-22]

$$\alpha_1 = 56,8^\circ$$

$$\alpha_2 = 32^\circ$$

$$\alpha = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{2} = \frac{(56,8 + 33,7)}{2} = 45,45^\circ$$

Lumekoormus maapinnale (Tallinn)

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

$$\mu_2 = 1,6$$

Normatiivne lumekoormus neelusarikale vastavalt valemile (5)

$$s_2 = 1,6 \cdot 1,5 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

- **Lumekoormus kujutegur lume kuhjumisest vintskapi seinä taha**

Lumekoormuse kujutegur lume kuhjumisest vintskapi seinä taha leitakse, lähtudes lume kuhjumisest takistite ja eendite taha: [7, lk. 26]

Vintskapi seinä kõrgus

$$h = 1 \text{ m}$$

Lumekoormus maapinnale (Tallinn)

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

Kuhjunud hange pikkus

$$l_s = 2h = 2 \cdot 1 = 2 \text{ m}$$

$$\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$$

$$0,8 \leq \mu_w \leq 2,0$$

$$\mu_w = \frac{\gamma h}{s_k} = \frac{2 \cdot 1}{1,5} = 1,33$$

Vintskapi seinä taha kuhjunud lume kujutegur

$$\mu_3 = \mu_w = 1,33$$

Normatiivne lumekoormus vintskapi seinä taga vastavalt valemile (5)

$$s_3 = 1,33 \cdot 1,5 = 2 \text{ kN/m}^2$$

4.9.2. Tuulekoormus

- **Tuulekoormus vintskapi katusele**

Tippkiirusrõhk Ehituskonstruktõri käsiraamatu järgi: [6, lk. 199]

$$z_{min} = 10 \text{ m}$$

$$q_p = 15,15 \ln^2 z + 106,6 \ln z = 15,15 \cdot \ln^2 10 + 106,6 \cdot \ln 10 = 0,326 \text{ kN/m}^2$$

Tabelis 4.10. on välja toodud tuulerõhutegurid vintskapi katusele. Tabelis 4.11. on esitletud tuulerõhkude väärtused vintskapi katusele. Tuulerõhud on leitud vastavalt valemile (6). Kuna vintskapi katuse pind on tühiselt väike, kasutatakse Autodesk Robot Structural Analysis Professional'i sisestatavas arvutuskeemis ekstreemseid tuulerõhkude väärtusi.

Tabel 4.10. Kahekaldelise vintskapi katuse tuulerõhutegurid

40°	F	G	H	I	J
	0,17	0,17	0,07	-0,13	-0,23
C _{pe,10}	0,70	0,70	0,67	0,00	0,00

Tabel 4.11. Tuulerõhud vintskapi katusele

w _e (kN/m ²)	F	G	H	I	J
1)	0,05	0,05	0,02	-0,04	-0,08
2)	0,05	0,05	0,02	0,00	0,00
3)	0,23	0,23	0,22	-0,04	-0,08
4)	0,23	0,23	0,22	0,00	0,00

Määravaks saab koormuste juht, mille puhul on tuulerõhkude vahe erinevatel katusekülgedel kõige suurem, kuna sellisel juhul on oht, et toimub katuse “ümber lükkamine”. Kõige kriitilisem on kolmas koormuste juht, mille korral on tuulerõhkude vahe kõige suurem.

- **Tuulekoormus vintskapi seinale**

Tuulekoormus vintskapi seintele leitakse vastavalt tuulekoormuse standardile: [8, lk. 36-37]

Algandmed

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

$$d = 1,4 \text{ m}$$

$$b = \frac{1,9}{2} = 0,95 \text{ m}$$

$$e = b = 0,95 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{2}{1,4} = 1,45$$

Tippkiirusrõhk Ehituskonstruktori käsiraamatu järgi: [6, lk. 199]

$$z_{min} = 10 \text{ m}$$

$$q_p = 15,15 \ln^2 z + 106,6 \ln z = 15,15 \cdot \ln^2 10 + 106,6 \cdot \ln 10 = 0,326 \text{ kN/m}^2$$

Tabelis 4.12. on välja toodud tuulerõhutegurid vintskapi seintele. Tabelis 4.13. on tuulerõhkude väärtused vintskapi seintele. Tuulerõhud on leitud vastavalt valemile (6). Kuna vintskapi seinte pind on tühiselt väike, kasutatakse Autodesk Robot Structural Analysis Professional'i sisestatavas arvutuskeemis ekstreemseid tuulerõhkude väärtusi.

Tabel 4.12. Tuulerõhutegurid vintskapi seintele

h/d	1,43
Tsoon	c _{pe}
A	-1,2
B	-0,8
C	-0,5
D	+0,8
E	-0,5

Tabel 4.13. Tuulerõhud vintskapi seintele

Tsoon	kN/m ²
A	-0,39
B	-0,26
C	-0,16
D	0,26
E	-0,16

4.9.3. Omakaalu koormused

Tabelis 4.14. on välja toodud vintskapi seinakihid ning seinakonstruktsiooni omakaal. Tabelis 4.15. on vintskapi katusekihid ja katusekonstruktsiooni omakaal. Ehitusmaterjalide omakaalud on võetud Ehituskonstruktori käsiraamatust või ehitusmaterjali tootja pakutavatest andmetest. [6, lk. 184-185] [10] [11] [12] [13]

Tabel 4.14. Vintskapi seina omakaal

Konstruksiooni kiht	Kõrgus (m)	Laius (m)	Samm (m)	Tihedus (kN/m ³)	Normatiivne koormus (kN/m ²)	Osavarutegur	Arvutuslik koormus (kN/m ²)
Laudis	0,025			6	0,15	1,2	0,18
Laudise karkass	0,1	0,05	0,6	6	0,05	1,2	0,06
Isover VKL	0,013			1,2	0,02	1,2	0,02
Isover KL 35	0,3			0,2	0,06	1,2	0,07
Seina karkass	0,1	0,05	0,6	6	0,05	1,2	0,06
Lisasoojustuse karkass	0,1	0,05	0,6	6	0,05	1,2	0,06
OSB plaat	0,008			7	0,056	1,2	0,07
Aurutõke	0,00005			1	0,0001	1,2	0,0001
Kipsi karkass	0,025	0,075	0,4	6	0,03	1,2	0,03
Tuletõkke kips	0,015			8	0,12	1,2	0,14
				G _k	0,58		

Tabel 4.15. Vintskapi katuse omakaal

Konstruksiooni kiht	Kõrgus (m)	Laius (m)	Samm (m)	Tihedus (kN/m ³)	Normatiivne koormus (kN/m ²)	Osavarutegur	Arvutuslik koormus (kN/m ²)
Valtsplekk	0,0005				0,10	1,2	0,12
Roovitis	0,025	0,1	0,2	6	0,08	1,2	0,09
Tuulutusliist	0,05	0,05	0,6	6	0,03	1,2	0,03
Aluskate	0,0002			1	0,00	1,2	0,00
Distantisliist	0,05	0,05	0,6	6	0,03	1,2	0,03
Isover VKL	0,013			1,2	0,02	1,2	0,02
Isover KL 35	0,3			0,2	0,06	1,2	0,07
Sarikas	0,2	0,05	0,6	6	0,10	1,2	0,12
OSB	0,008			7	0,06	1,2	0,07
Penn	0,1	0,05	0,6	6	0,05	1,2	0,06
Lisasoojustuse karkass	0,1	0,05	0,6	6	0,05	1,2	0,06
Aurutõke	0,00005			1	0,0001	1,2	0,0001
Kipsi karkass	0,025	0,075	0,4	6	0,03	1,2	0,03
Kips	0,013			8	0,10	1,2	0,12
Tuletõkke kips	0,015			8	0,12	1,2	0,14
				G _k	0,81		

4.9.4. Vintskapi lahendus

Vintskapp toetatakse kahele C24 ehituspuidust topeltsarikale ristlõikega 50X200, mis ühendatakse omavahel terasest keermelattidega (tugevusklassiga 4.6). Topeltsarikatele kinnitub kruvidega 100X50 C24 ehituspuidust pruss, millest saab vintskapi seina alumine vöö ning mille kaudu kantakse vintskapi koormus sarikatele. Kandepiirseisundi arvutusskeemis on arvestatud nelja erinevat lumekoormust: lumekoormus vintskapi katusele, lumekoormus hoone katusele, lumekoormus lume kuhjumisest vintskapi neelusarikale ning lumekoormus lume kuhjumisest vintskapi seina taha. Arvutusskeemis on arvesse võetud kolme tuulekoormust: tuulekoormus hoone katusele, tuulekoormus vintskapi katusele ning tuulekoormus vintskapi seinale. Vintskapi seina karkassiks on C24 ehituspuidust 50X100 ristlõikega postid sammuga 600 mm, mis kinnitatakse kruvidega vintskapi seina alumise vöö külge. Vintskapi katus lahendatakse sarnaselt hoone katusega ning sarikate sammuks on 600 mm. Jäikuse tagamiseks paigaldatakse vintskapi sarikatele C24 ehituspuidust 50X100 ristlõikega pennid ning pennide ristijäikuse tagavad C24 50X50 ristlõikega prussid, millele omakorda kinnitub OSB plaat. Seina lisasoojustuse karkassi külge kinnitatakse samuti OSB plaat, mis annab vintskapile parema jäikuse. Vintskapi neelusarikateks on C24 ehituspuidust 50X200 ristlõikega prussid, mis omakorda toetatakse C24 ehituspuidust 100X200 ristlõikega veksle talale. Vintskapi seina katab puitlaudis ning vintskapi uks restaureeritakse. Vintskapi uksele praktilist väärtust pole, kuna ukse taha paigaldatakse aken. Vintskapi konstruktsioonis esinevad sõlmed lahendatakse tööprojekti käigus.

4.9.5. Kandepiirseisundis mõjuvad koormused

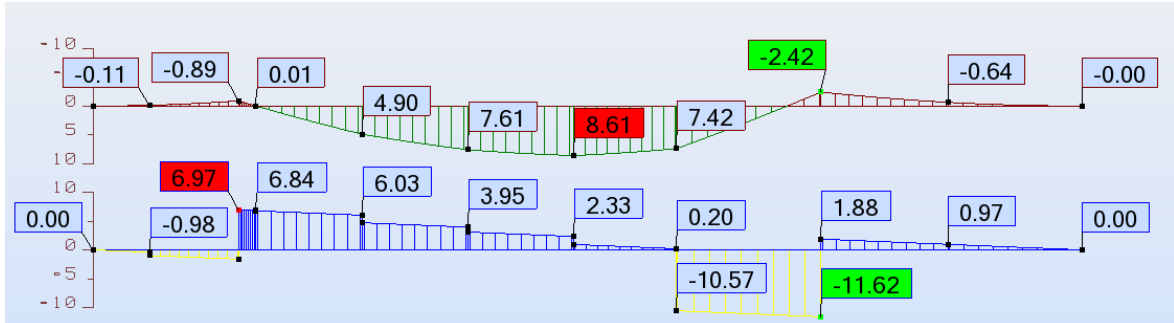
Kandepiirseisundis on vaadeldud olukorda, mille puhul domineerivaks muutuvkoormuseks on lumekoormus, kuna lume kuhjumisest tingituna on lumekoormuse väärtused oluliselt suuremad, kui tuulekoormuse väärtused. Kandepiirseisundi koormuskombinatsioon on koostatud vastavalt valemile (2).

Lumekoormus domineeriva muutuvkoormusena + tuul

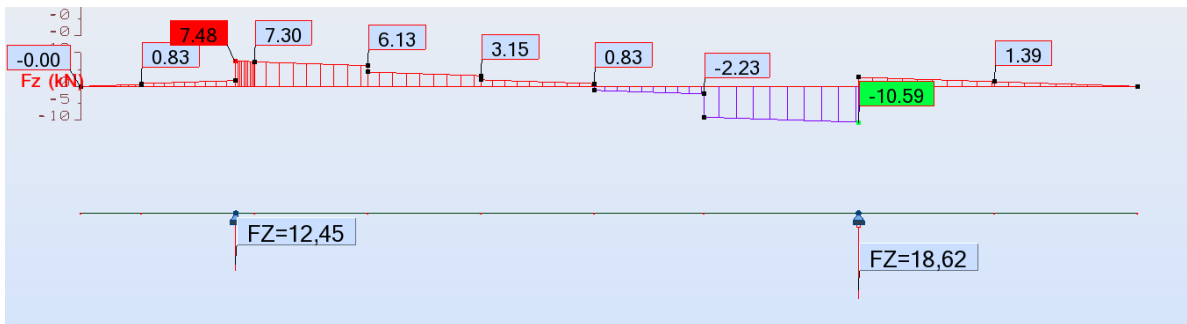
$$1,2 \cdot G_{katus} + 1,5 \cdot Q_{lumi} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{tuul}$$

Sisejõud topeltsarikale

Joonisel 4.31. on esitletud paindemomendi ja pikijõu epüürid topeltsarikale, millele toetub vintskapp. Joonisel 4.32. on esitletud topeltsarika põikjõu epüür ja toereaktsioonid.



Joonis 4.31. Topeltsarika paindemomendi (kNm) ja pikijõu (kN) epüür



Joonis 4.32. Topeltsarika põikjõu epüür ja toereaktsioonid (kN)

4.9.6. Vintskapi aluse topeltsarika kandevõime kandepiirseisundis

4.9.6.1. Nõrgestatud ristlõike kandepiirseisundi tõmbekandevõime pikikiudu koos paindega

Määravaks saab koht, kus sarikas toetub toolvärgile, mille puhul esineb ristlõikes suurim tõmbejõud ning sellele vastav paindemomendi väärtus (joonis 4.31.). Arvesse tuleb võtta, et tegemist on nõrgestatud ristlõikega. Kandevõime kontroll tehakse vastavalt valemile (11).

Tsentrilise tõmbejõu arvutusväärtus

$$N_{t,sd} = 11,62 \text{ kN}$$

Arvutuslik paindemoment

$$M_{sd} = 2,42 \text{ kNm}$$

Arvutuslik paindetugevus vastavalt avaldisele (4)

$$f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu vastavalt avaldisele (4)

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

Nõrgestatud netoristlõike pindala

Kriitiliseks saab ristlõige, mis on nõrgestatud tapiga, mille kõrgeim mõõde ristlõikes on 53 mm. Lisaks on ristlõige nõrgestatud kahe 6 mm kruviga, millest ühe võib välja jätta, kuna see asetseb samas kõrgustasapinnas nõrgestusega.

$$A_{net} = 2(200 - 53 - 6) \cdot 50 = 14100 \text{ mm}^2$$

Nõrgestatud ristlõike vastupanumoment lihtsustatud avaldise kaudu, mille puhul on nõrgestuste kõrgused ristlõike kõrgusest maha lahutatud.

$$W_{y,ef} = \frac{50 \cdot (200 - 53 - 6)^2}{6} = 331300 \text{ mm}^3$$

Arvutustes kasutatakse lihtsustatud meetodi abil leitud vastupanumomenti, kuna saadud tulem on tagavara kasuks.

Arvutuslik paindepinge vastavalt valemile (12)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{2,42 \cdot 10^6}{14100} = 7,303 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik tõmbepinge pikikiudu vastavalt valemile (13)

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{11,62 \cdot 10^3}{7825} = 0,824 \text{ N/mm}^2$$

Tala paindekandevõime koos tõmbega pikikiudu vastavalt avaldisele (11)

$$\frac{0,824}{9,69} + \frac{7,303}{16,6} = 0,525 < 1$$

Tala paindekandevõime koos survega on tagatud vastavalt avaldisele (11).

4.9.6.2. Nõrgestatud ristlõike kandepiirseisundi survekandevõime pikikiudu koos paindega

Määravaks saab topeltsarika sildes esinev suurim paindmoment ning sellele vastav survejõu arvutusväärtus (joonis 4.31.). Kandevõime arvutus tehakse vastavalt valemile (14).

Arvutuslik survejõud pikikiudu

$$N_{c,sd} = 2,33 \text{ kN}$$

Arvutuslik paindemoment

$$M_{sd} = 8,61 \text{ kNm}$$

Arvutuslik paindetugevus vastavalt avaldisele (4)

$$f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus pikikiudu vastavalt avaldisele (4)

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

Ristlõike pindala

$$A_{net} = 200 \cdot 100 = 20000 \text{ mm}^2$$

Ristlõike vastupanumoment

$$W_{y,ef} = \frac{100 \cdot 200^2}{6} = 666666,66 \text{ mm}^3$$

Arvutustes kasutatakse lihtsustatud meetodi abil leitud vastupanumomenti, kuna saadud tulem on tagavara kasuks.

Arvutuslik paindepinge vastavalt valemile (12)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{8,61 \cdot 10^6}{666666,66} = 12,95 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survepinge pikikiudu vastavalt avaldisele (15)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{2,33 \cdot 10^3}{20000} = 0,116 \text{ N/mm}^2$$

Tala paindekandevõime koos survega pikikiudu vastavalt avaldisele (14)

$$\left(\frac{0,116}{14,5}\right)^2 + \frac{12,95}{16,6} = 0,777 < 1$$

Tala paindekandevõime koos survega on tagatud vastavalt valemile (14).

4.9.6.3. Nõtkke kandepiir seisundis

Määravaks saab situatsioon, mille puhul esineb suurim avamoment ning sellele vastav survejõu arvutusväärtus (joonis 4.31.). Nõtkumist kontrollitakse vastavalt valemile (16).

Arvutuslik paindetugevus vastavalt avaldisele (4)

$$f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus pikikiudu vastavalt avaldisele (4)

$$f_{c,0,d} = 0,9 \cdot \frac{21}{1,3} = 14,5 \text{ N/mm}^2$$

Suhteline saledus

$$l = l_{ef} = 2,25 \text{ m}$$

Terve ristlõike inertsimoment

$$I_y = \frac{a \cdot b^3}{12} = \frac{100 \cdot 200^3}{12} = 66666666,67 \text{ mm}^4$$

Terve ristlõike pindala

$$A = a \cdot b = 100 \cdot 200 = 20000 \text{ mm}^2$$

Terve ristlõike inertsiraadius

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{66666666,67}{20000}} = 57,7 \text{ mm}$$

Paindesaledus

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{2250}{57,7} = 38,99$$

Suhteline saledus

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{38,99}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,661$$

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

Nõtketegur $k_{c,y}$ leidmine

$$\beta_c = 0,2$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2(0,66 - 0,3) + 0,66^2] = 0,754$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,754 + \sqrt{0,754^2 + 0,66^2}} = 0,894$$

Terve ristlõike vastupanumoment

$$W_y = \frac{h^2 \cdot b}{6} = \frac{200^2 \cdot 100}{6} = 666666,66 \text{ mm}^3$$

Arvutuslik paindmoment avas

$$M_{sd} = 8,61 \text{ kNm}$$

Arvutuslik paindepinge vastavalt valemile (12)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{8,61 \cdot 10^6}{666666,66} = 12,95 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik tsentriline survejõud pikikiudu

$$N_{sd} = 2,33 \text{ kN}$$

Arvutuslik survepinge vastavalt valemile (15)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{2,33 \cdot 10^3}{20000} = 0,116 \text{ N/mm}^2$$

Tala nõtkumise kandevõime vastavalt valemile (16)

$$\frac{0,116}{0,894 \cdot 14,5} + \frac{12,95}{16,6} = 0,786 < 1$$

Tala nõtkumine on välistatud vastavalt valemile (16).

4.9.6.4. Nihkekandevõime kandepiirseisundis

Määravaks saab topeltsarika toetus toolvärgile, mille puhul on tegemist nõrgestusega ning esineb suurim põikjõu arvutusväärtus (joonis 4.32.). Nihkekandevõime kontroll tehakse vastavalt valemile (17).

Arvutuslik nihketugevus vastavalt valemile (4)

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

Tala kõrgus

$$h = 200 \text{ mm}$$

Tala kõrgus sisselõike kohal

$$h_{ef} = 200 - 53 - 6 = 141 \text{ mm}$$

Tala laius

$$b = 100 \text{ mm}$$

Põikjõu rakenduspunkti kaugus sisselõike servast

$$x = 50 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} = \frac{0,141}{0,2} = 0,705$$

Sisselõike kalle

$$\varepsilon = 32^\circ$$

$$i = \tan \varepsilon = \tan(32^\circ) = 0,624$$

$$k_n = 5,0$$

Tegur k_v

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

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

$$= \frac{5 \left(1 + \frac{1,1 \cdot 0,624^{1,5}}{\sqrt{200}} \right)}{\sqrt{200} \left(\sqrt{0,705(1-0,705)} + 0,8 \cdot \frac{50}{200} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,705} - 0,705^2} \right)} = 0,567$$

Põikjõu arvutusväärtus

$$V_{sd} = 10,59 \text{ kN}$$

Nihkekandevõime kontroll vastavalt valemile (17)

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot 10,59 \cdot 10^3}{100 \cdot 141} = 1,127 \text{ N/mm}^2$$

$$k_v \cdot f_{v,d} = 0,567 \cdot 2,77 = 1,569 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = 1,127 \leq 1,569$$

Tala nihkekandevõime on vastavalt avaldisele (17) tagatud.

4.9.6.5. Kandepiirseisundi survekandevõime kiudude suhtes nurga all (muljumine)

Määravaks saab sarika toetuspunkt toolvärgil, kus esineb suurim toereaktsioon (joonis 4.32.). Survekandevõimet kiudude suhtes nurga all kontrollitakse valemile (18).

Survejõu ning sarika kiudude suuna vahelise nurga suurus on 58° .

$$\alpha = 58^\circ$$

Teguri $k_{c,90}$ valik

Tegemist on kohttoega ning materjaliks on okaspuit (saepuit).

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$l_1 = 2250 \text{ mm}$$

$$2 \cdot h = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

$$l_1 > 2h$$

Seega tegur $k_{c,90}$:

$$k_{c,90} = 1,5$$

Arvutuslik toereaktsioon toel

$$F_{s,d} = 18,62 \text{ kN}$$

Toetuspinna pikkus

$$h_{ef} = 100 \text{ mm}$$

Arvutuslik survetugevus pikikiudu vastavalt valemile (4)

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

Arvutuslik survetugevus ristikiudu vastavalt valemile (4)

$$f_{c,90,d} = 0,9 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survepinge kiudude suhtes nurga all α vastavalt valemile (15)

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{18,62 \cdot 10^3}{100 \cdot 100} = 1,862 \text{ N/mm}^2$$

Kiudude suhtes nurga α all mõjuv survepinge peab rahuldama tingimust (18)

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{14,54}{\frac{14,54}{1,5 \cdot 1,73} \cdot \sin^2 58^\circ + \cos^2 58^\circ} = 2,627$$

$$1,862 < 2,627$$

Tala survekandevõime on tagatud vastavalt valemile (18).

4.9.6.6. Topeltsarikate piirläbipainde kontroll kasutuspiirsisundis

Topeltsarikate piirläbipaindeid kontrollitakse kasutuspiirsisundis, mille puhul domineerivaks muutuvkoormuseks on lumekoormus. Algdeformatsioonide väärtused saadakse Autodesk Robot Structural Analysis Professional arvutusskeemist. Lõplik deformatsioon leitakse vastavalt valemile (19).

Teguri k_{def} määramine [18, lk. 29]

Kuna tegemist on kasutusklassiga 2 ning saepuiduga, siis:

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

Lõplik läbipaine alalise koormuse korral

$$u_{inst,G} = 0,2 \text{ cm}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G}(1 + k_{def}) = 0,2 \cdot (1 + 0,8) = 0,36 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine domineeriva muutuvkoormuse korral (lumekoormus)

$$u_{inst,Q_1} = 0,4 \text{ cm}$$

$$u_{fin,Q_1} = u_{inst,Q_1}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) = 0,4 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 0,4 \text{ cm}$$

Lõplik läbipaine valemi (19) põhjal

$$u_{fin} = 0,36 + 0,4 = 0,76 \text{ cm}$$

Lubatud lõplik tala piirläbipaine [18, lk. 53]

$$w_{net,fin} = \frac{l}{250} = \frac{400}{250} = 1,6 \text{ cm}$$

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

Topeltsarika lõplik läbipaine jääb lubatud piiridesse.

ARUTELU

Tallinna Linnateatri hoone F katusekonstruktsiooni soojustatud lahenduse arvutuslikus osas arvestati katusele omakaalukoormuse, lumekoormuse ja tuulekoormuse koosmõjusid. Kõik koormused leiti vastavalt Eesti Vabariigis kehtivatele EVS-standarditele (peatükid 4.1.; 4.2. ja 4.3.1.). Ehitusfüüsikalise poole pealt võeti arvesse Eesti Vabariigis kehtivaid määruseid ning ET-kartoteegi materjale (peatükid 4.3.2. ja 4.3.3.). Konstruktsiooni sisejõud arvutusteks leiti Autodesk Robot Structural Analysis Professional arvutiprogrammi abil (peatükk 4.5.), milles sisestatud koormuskombinatsioonid koostati vastavalt Eesti Vabariigis kehtivatele EVS-standarditele. Katuse konstruktsiooni kandevõime arvutusi kontrolliti EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks. standardi järgi. Katusekonstruktsioonile tehti sarikate kandevõime arvutus (peatükk 4.6.), toolvärgi kandevõime arvutus (peatükk 4.7.), peamiste sõlmede kandevõime arvutus (peatükk 4.8.) ning vintskapi aluse topeltsarika kandevõime arvutus (peatükk 4.9.6.).

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö tulemusena lahendati põhiprojekti staadiumis Tallinna Linnateatri hoone F soojustatud katusekonstruktsioon. Tallinna Linnateater asub Tallinna vanalinnas, mis on üks paremini säilinud keskaegseid südalinnaid Euroopas, mistõttu omab töös käsitletud hoone esteetilist väärtust nii eestlaste kui ka eurooplaste silmis. Töö tegemisel on arvestatud hoonele esitatud muinsuskaitse eritingimusi. Projekteerimise aluseks võeti arhitektuurne eelprojekt ning Eesti Vabariigis kehtivad seadused, standardid ning määrused. Töö käigus on minetatud katuslaele olmeliste rakenduste leidmine, kuna muinsuskaitse eritingimuste järgi säilitamist vajav vana toolvärk paikneb kasuliku pinna keskel ning muinsuskaitse eritingimuste järgi on siseruumi lubatud ühendada põõninguga läbi vahelae endise mantelkorstna kohalt, mis on kasulikust pinnast väljaspool ja muudab seetõttu lahenduse ebapraktiliseks. Siiski pakutakse töö tulemusena välja katusekonstruktsiooni soojustatud lahendus, mis jätab võimaluse katuslaele alternatiivsete olmeliste rakenduste leidmiseks.

Hoone on ebakorrapärase seinte plaaniga, mis on tingitud keskaegsest tänavavõrgustikust. Seetõttu on sarikate samm, pikkus ja paigutus varieeruvad. Sarikad toetatakse müüri- või karkassile ning toolvärkidele. Katus soojustatakse ja kaetakse valtsplekiga ning olemasolev vintskapp taastatakse võimalikult algupäraste mõõtmetega.

Konstruktiiivses töös osas määrati sarikate ja toolvärkide ristlõiked ning sarika sõlmede kandevõime. Arvutustes on arvesse võetud omakaalu koormust, tuulekoormust ning lumekoormust. Arvutused on vastavuses kõikide asjakohaste EVS-standardites esitatud nõuete ja tingimustega. Konstruktiiivsed arvutused on tehtud kriitilisele lõikele, mille puhul on sarikate sille kõige suurem ja esineb lume kuhjumine. Elementide ristlõiked on läbivalt konstantsed, mille tõttu on enamus elemendid üle dimensioneeritud.

Antud magistritöö lisades on välja toodud autori poolt projekteeritava katusekonstruktsiooni joonised ja konstruktiiivsed põhilahendused.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Vanalinn [Online]. Kättesaadav:
<http://www.tourism.tallinn.ee/est/esi/vaatamis/vaatamis/vanalinn> [04.01.2014].
2. Muinsuskaitse eritingimused Tallinnas, Lai 25 kinnistu hoonete restaureerimiseks ning osaliseks sidumiseks Linnateatri Lai 23 kinnistu hoonetega. 12 lk.
3. Kinnistu 139 plaan. ENSV Riiklik Ehituskomitee Kultuurimälestiste RPI. Tallinna Vanalinn Riiklik Kaitsetsoon. Lai 25, Laboratooriumi12. Kinnistu nr. 139. T-76.1.16586 Kvartal nr. 9. Muinsuskaitse Arhiiv. A-4153. 1.
4. Aruanne. Tallinna Arhitektuuri Mälestusmärkide Kaitse Inspektsiooni Teaduslik Tehniline Arhiiv. Kaitsetoimik, Lai 25. H. Luik. 1989. Kultuuriväärtuste Amet. N.3.936. 5-6.
5. Büroohoone eelprojekt, Lai tn. 25/Laboratooriumi tn. 12, Tallinn, KOKO Arhitektid OÜ.
6. Masso, T. Ehituskonstruktori käsiraamat. Ehitame kirjastus. Tallinn. 2012. 577 lk.
7. EVS-EN 1991-1-3:2006 Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus. 58 lk.
8. EVS-EN 1991-1-4:2007 Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. 160 lk.
9. Eesti Projekteerimismid. EPN 10.4. Ehitise tuleohutus. Osa 4. Väikesed Suitsulõõrid. 12 lk.
10. Gyproc paigaldusjuhised [Online]. Kättesaadav:
<http://espak.ee/vvfiles//0/Gyproc%20paigaldusjuhised.pdf> [04.01.2014]
11. EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused. 51 lk.
12. Isover toodete koondtabel [Online]. Kättesaadav:
<http://www.isover.ee/projekteerimine> [05.01.2014]
13. Ruukki valtsprofiili paigaldusjuhend [Online]. Kättesaadav:
<http://www.ruukkikatus.ee/~media/Estonia/Files/Building-solutions/Roofs/Installation%20instructions/Ruukki-valtsprofiili-paigaldusjuhend.pdf> [05.01.2014]
14. Eesti Ehitusteave. Välisseina difusiooni arvutus. ET-2 0404-0764. 11 lk.

15. EVS-EN ISO 10456:2008 Ehitusmaterjalid ja -tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Projekteerimisel kasutatavad tabelväärtused. 29 lk.
16. EVS 908-1:2010 Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire. 38 lk.
17. Energiatõhususe miinimumnõuded [Online]. Kättesaadav:
<https://www.riigiteataja.ee/akt/105092012004> [05.01.2014]
18. EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreegliid ja reegliid hoonete projekteerimiseks. 130 lk.

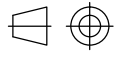
LISAD

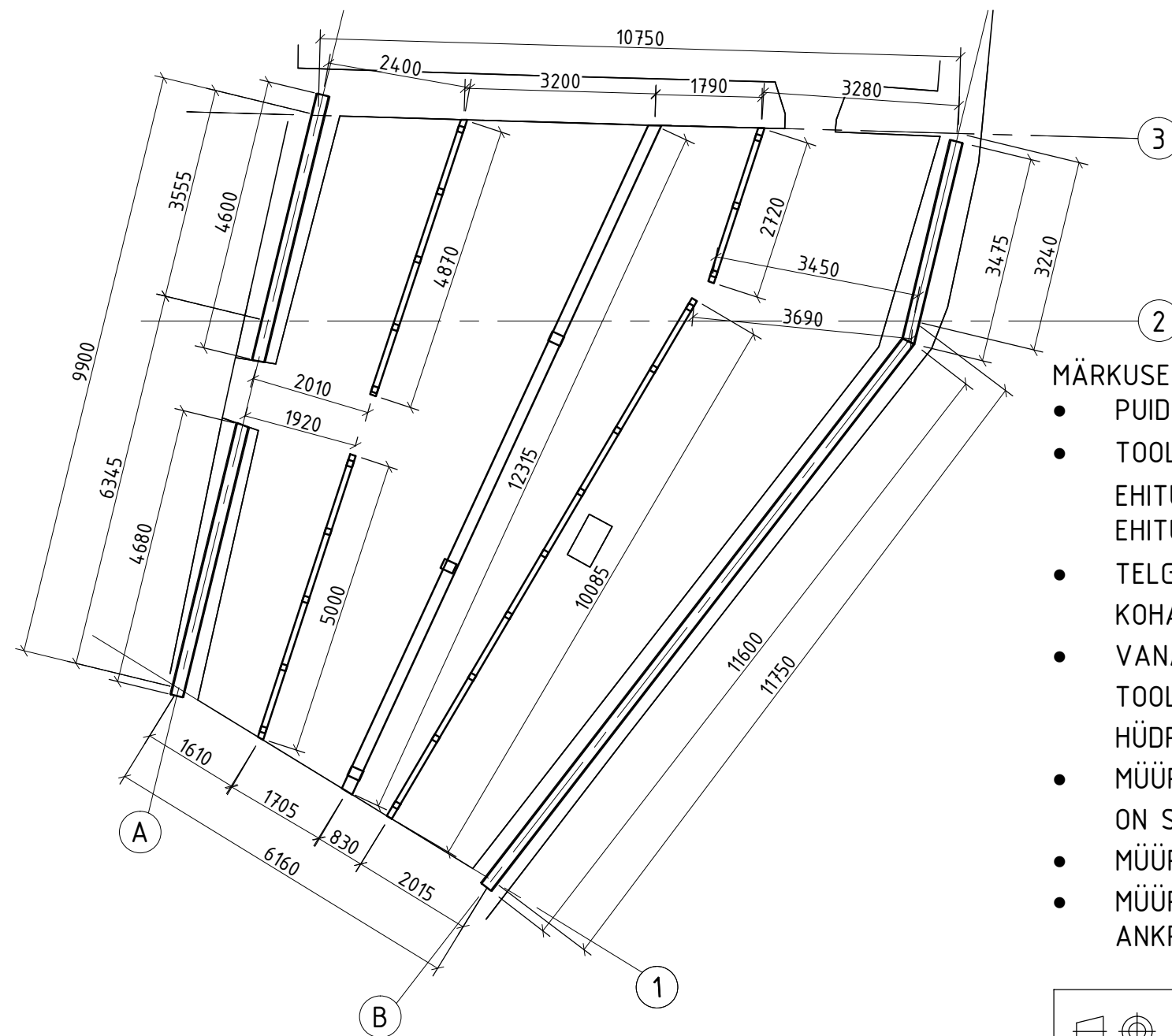


SARIKATE PLAAN
1:100

MÄRKUSED:

- PUIDU TUGEVUSKLASS C24
- TELGESID A JA B ON VÕRRELDDES ARHITEKTUURSE PROJEKTIGA KOHANDATUD NING VIIDUD MÜÜRIVÖÖ TSENTRISSE
- VANA TOOLVÄRGI POSTID, MÜÜRIVÖÖ KARKASSI ALUMINE VÖÖ NING TOOLVÄRKIDE ALUMINE VÖÖ ERALDADA KIVIST HÜDROISOLATSIOONIGA

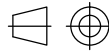
		Tellija:		Objekt:		
				Tallinna Linnateatri hoone F		
		Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus:	
Koostas	K. Koemets				Sarikate plaan	
Juhendas	R. Pabort					
TTÜ Tartu Kolledž				Leht	Lehti	Mõõtkaava
				1		1:100

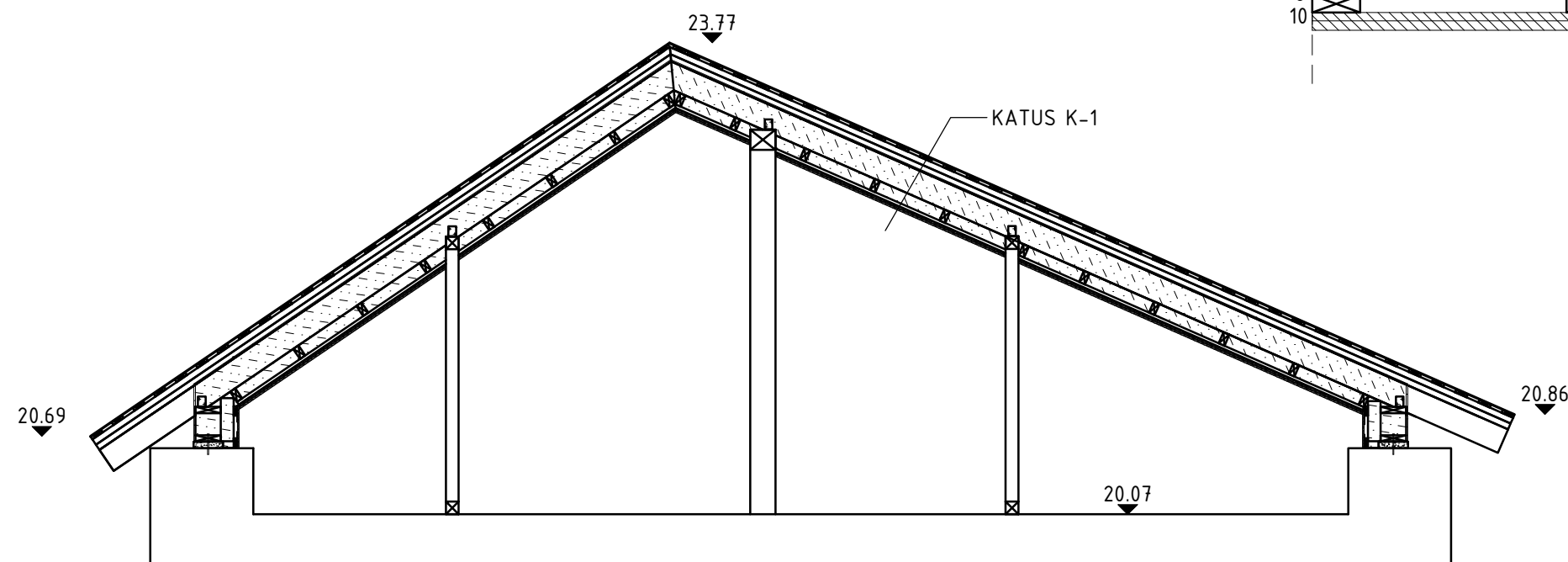


TOOLVÄRKIDE PLAAN
1:100

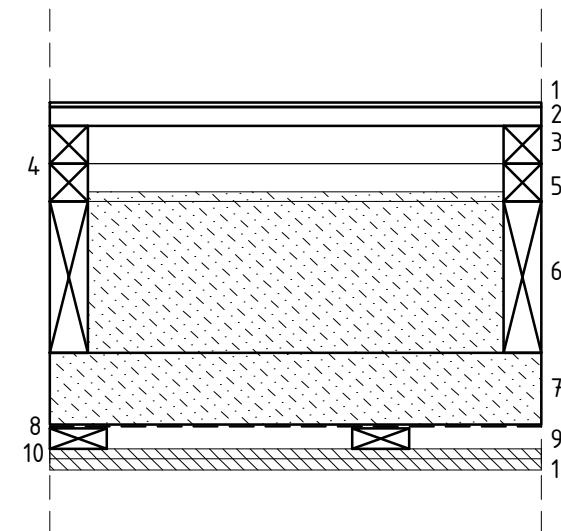
MÄRKUSED:

- PUIDU TUGEVUSKLASS C24
- TOOLVÄRGI ALUMINE JA ÜLEMINE VÖÖ ON 100X100 RISTLÕIKEGA EHITUSPUIDUST, TOOLVÄRGI POSTID ON 100X100 RISTLÕIKEGA EHITUSPUIDUST, s=1200 mm, l=1200 mm.
- TELGESID A JA B ON VÕRRELDDES ARHITEKTUURSE PROJEKTIGA KOHANDATUD NING VIIDUD MÜÜRIVÖÖ TSENTRISSE
- VANA TOOLVÄRGI POSTID, MÜÜRIVÖÖ KARKASSI ALUMINE VÖÖ NING TOOLVÄRKIDE ALUMINE VÖÖ ERALDADA KIVIST HÜDROISOLATSIOONIGA
- MÜÜRIVÖÖ KARKASSI ALUMINE VÖÖ JA TOOLVÄRKIDE ALUMINE VÖÖ ON SÜGAVIMMUTATUD PUIDUST
- MÜÜRIVÖÖ BETOONI KLASSE C25/30
- MÜÜRIVÖÖ KARKASS KINNITATAKSE BETOONI M8 KEEMILISE ANKRUGA, TUGEVUSKLASS 4.6

		Tellija:		Objekt:		
				Tallinna Linnateatri hoone F		
		Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus:	
Koostas	K. Koemets				Toolvärkide plaan	
Juhendas	R. Pabot					
TTÜ Tartu Kolledž				Leht	Lehti	Möötkava
				2		1:100



SARIKA LÕIGE A-A
1:50



KATUS K-1

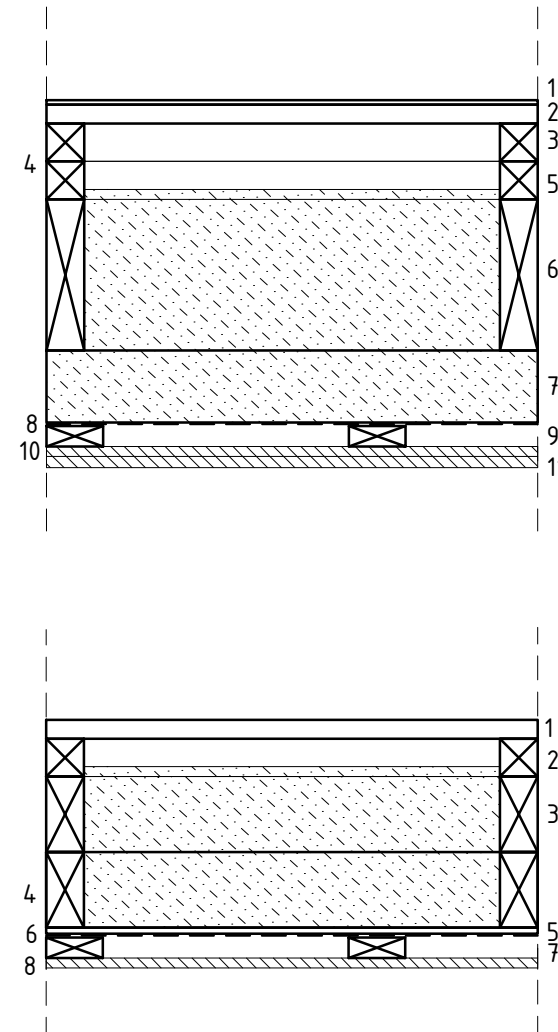
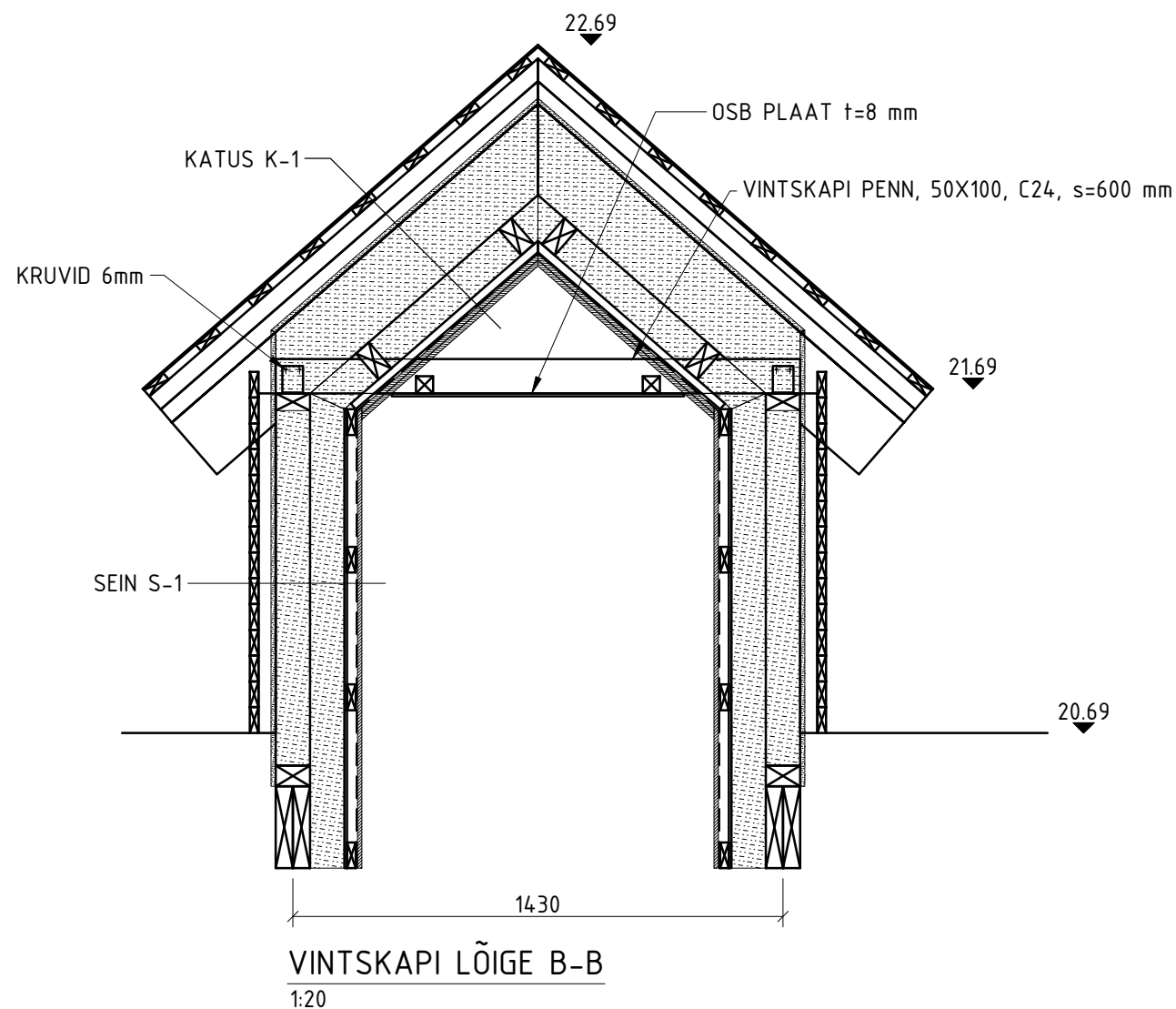
1:10

1. Valtsplekk
2. Roovi laud 100X25 mm, C16, s= 200 mm
3. Tuulutusliist 50X50 mm, C16
4. Aluskate
5. Tuuletõke VKL 13 mm/Distanttsliist 50X50 mm, C16
6. Isover KL 35 200 mm/Sarikas 50X200 mm, C24
7. Isover KL 35 100 mm/Karkass 100X50, C16, s=600 mm
8. Aurutõke 0,22 mm
9. Kipsi karkass 25 mm, C16, s=400 mm
10. Kipsplaat 13 mm
11. Tuletõkkekips 15 mm

MÄRKUSED:

- SARIKATE, TOOLVÄRKIDE JA MÜÜRIVÖÖ KARKASSI PUIDU TUGEVUSKLASS ON C24
- SARIKATE FIKSEERIMISEKS KASUTATAKSE NURGIKUID 80X80X60X2,5; S355
- VANA TOOLVÄRGI POSTID, TOOLVÄRKIDE ALUMISED VÖÖD JA MÜÜRIVÖÖ KARKASSI ALUMINE VÖÖ TULEB ERALDADA KIVIST HÜDROISOLATSIOONIGA
- MÜÜRIVÖÖ KARKASSI ALUMISE VÖÖ KINNITAMISEKS BETOONI KASUTATAKSE M8 KEEMILISI ANKRUID TUGEVUSKLASSIGA 4.6
- KATUSE KONSTRUKTSIOONI KIHID ON ESITLETUD FRAGMENTINA KATUS K-1, MÕÕTKAVA 1:10
- NURGIKUTE FIKSEERIMISEKS KASUTATAKSE KRUVISID, d=6 mm

	Tellija:			Objekt:		
				Tallinna Linnateatri hoone F		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus:		
Koostas	K. Koemets			Sarika lõige A-A		
Juhendas	R. Pabot					
TTÜ Tartu Kolledž				Leht	Lehti	Mõõtkava
				3		1:50



KATUS K-1

1:10

1. Valtsplekk
2. Roovi laud 100X25 mm, C16, s= 200 mm
3. Tuulutusliist 50X50 mm, C16
4. Aluskate
5. Tuuletõke VKL 13 mm/Distantliist 50X50 mm, C16
6. Isover KL 35 200 mm/Sarikas 50X200 mm, C24
7. Isover KL 35 100 mm/Karkass 100X50, C16, s=600 mm
8. Aurutõke 0,22 mm
9. Kipsi karkass 25 mm, C16, s=400 mm
10. Kipsplaat 13 mm
11. Tulefõkkekips 15 mm

SEIN S-1

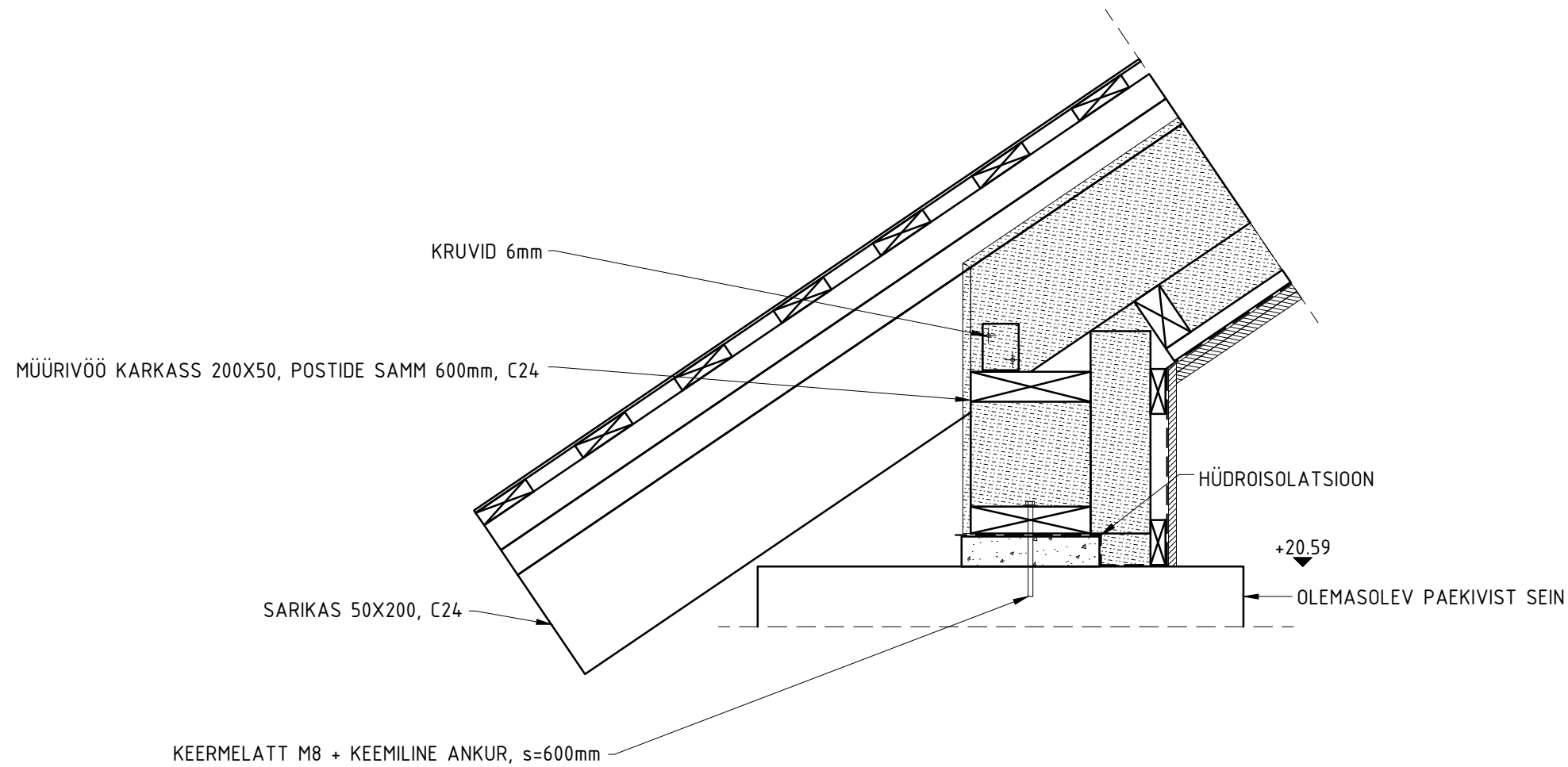
1:10

1. Laudis
2. Tuuletõke VKL 13mm/Laudise karkass, 50X50, C16, s=600 mm
3. Isover KL 35 200 mm/Seina karkass 50X100 mm, C24, s=600 mm
4. Isover KL 35 100 mm/Karkass 100X50, C16, s=600 mm
5. OSB plaat, t=8 mm
6. Aurutõke 0,22 mm
7. Kipsi karkass 25 mm, C16, s=400 mm
8. Tulefõkkekips 15 mm

MÄRKUSED:

- SARIKATE, NEELUSARIKATE, VEKSELTALA JA VINTSKAPI SEINA KARKASSI PUIDU TUGEVUSKLASS ON C24
- TOPELTSARIKAD ÜHENDATAKSE KEERMELATTIDEGA M8, TUGEVUSKLASSIGA 4.6
- SARIKATE FIKSEERIMISEKS KASUTATAKSE NURGIKUID 80X80X60X2,5, S355
- NURGIKUTE FIKSEERIMISEKS KASUTATAKSE KRUVISID, d=6 mm
- KATUSEKONSTRUKTSIOONI KIHID ON ESITLETUD FRAGMENDINA KATUS K-1, MÕÕTKAVAS 1:10
- SEINAKONSTRUKTSIOONI KIHID ON ESITLETUD FRAGMENDINA SEIN S-1, MÕÕTKAVAS 1:10

	Tellija:			Objekt:		
				Tallinna Linnateatri hoone F		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus:		
Koostas	K. Koemets			Vintskapi lõige B-B		
Juhendas	R. Pabot			Leht	Lehti	Mõõtkava
TTÜ Tartu Kolledž				4		1:20

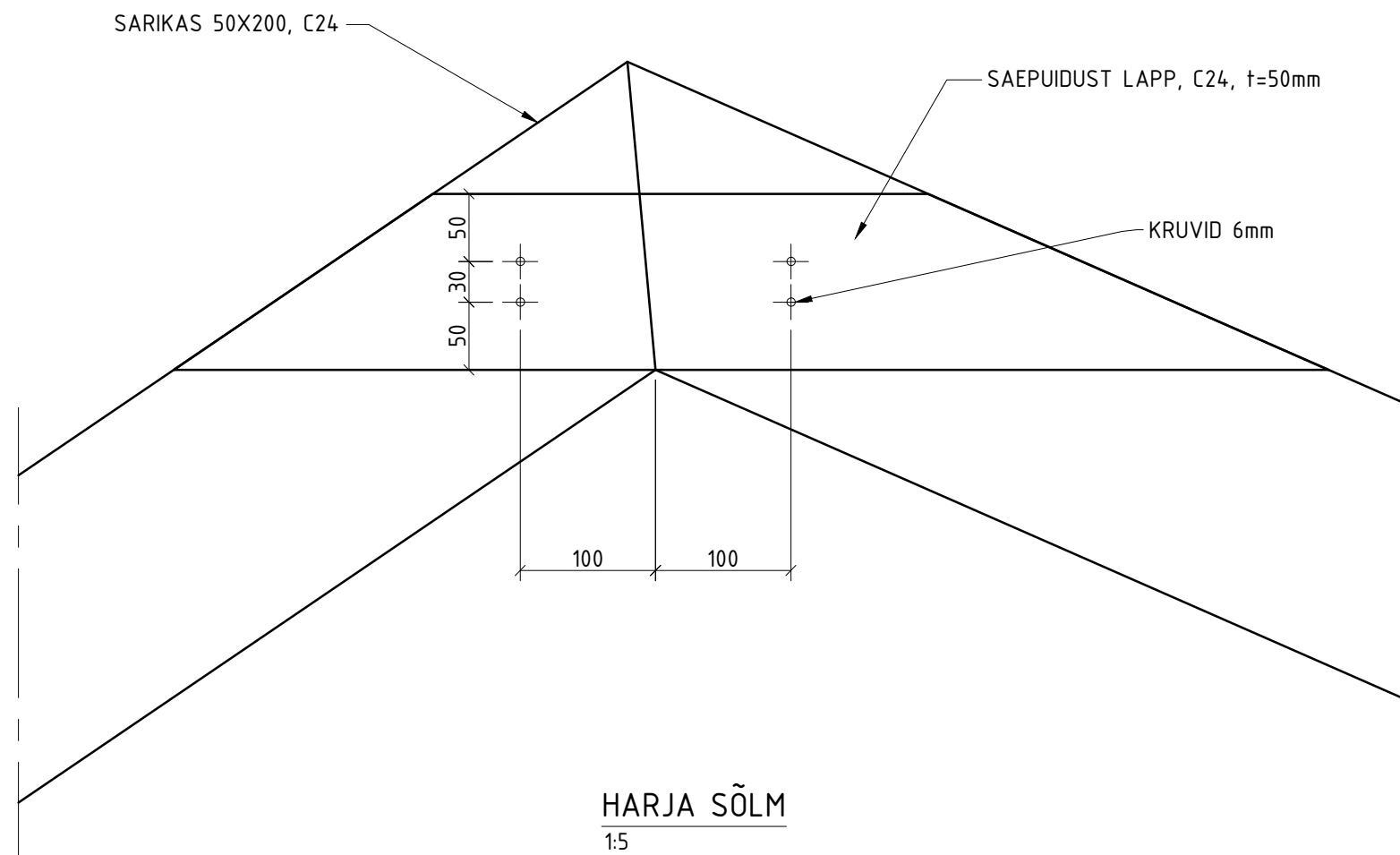


RÄÄSTA SÕLM
1:10

MÄRKUSED:

- SARIKATE JA MÜÜRIVÖÖ KARKASSI PUIDU TUGEVUSKLASS ON C24
- SARIKATE FIKSEERIMISEKS KASUTATAKSE NURGIKUID 80X80X60X2,5; S355
- NURGIKUD FIKSEERITAKSE KRUVIDEGA, d=6 mm
- MÜÜRIVÖÖ KARKASSI ALUMINE VÖÖ TULEB ERALDADA BETOONIST HÜDROISOLATSIOONIGA
- MÜÜRIVÖÖ KARKASSI ALUMINE VÖÖ ON SÜGAVIMMUTATUD PUIDUST
- MÜÜRIVÖÖ KARKASSI ALUMISE VÖÖ KINNITAMISEKS BETOONI KASUTATAKSE M8 KEEMILISI ANKRUID, TUGEVUSKLASSIGA 4.6

	Tellijä:			Objekt:		
				Tallinna Linnateatri hoone F		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus:		
Koostas	K. Koemets			Räästa sõlm		
Juhendas	R. Pabot			Leht	Lehti	Mõõtkaava
TTÜ Tartu Kolledž				5		1:10



MÄRKUSED:

- TEGEMIST ON KONSTRUKTIIVSE JOONISEGA
- HARJA SÕLMES KASUTATAKSE KÄSITSI TAHUTUD PUIDUST LAPPI TUGEVUSKLASSIGA C24, t=50 mm
- HARJA SÕLME FIKSEERIMISEKS KASUTATAKSE KRUVISID, d=6 mm

	Tellija:			Objekt: Tallinna Linnateatri hoone F		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus: Harja sõlm		
Koostas	K. Koemets					
Juhendas	R. Pabot					
TTÜ Tartu Kolledž				Leht 6	Lehti	Mõõtkaava 1:5