

Puidust kooriktarindid

Puuinfo üritab igas numbris avaldada mõne põhjalikuma ja teoreetilisema artikli. Selles numbris on teemaks puitkoorikud. Soome Puuinfo loal avaldame lühendatud tõlke nende tellimisel teostatud uuringust. Tõlkinud Eve Osa, redigeerinud Elmar Just.

Eesti pakub soomlastele head eeskju, kuidas eelarvamusteta suuremõõtmelisi kooriktarindeid teostada. Soomes, nii nagu mujalgi maailmas, suhtutakse sellistesse tarinditesse üsna ettevaatlikult, ent õigesti konstrueerituna on need ometi turvalised ja majanduslikult kasulikud.

Minu erilised tänusõnad ja austusavaldused kuuluvad professor Karl Õigerile, kes on Eestis teostanud märkimisväärseid kooriktarindeid ning teenekalt arendanud koorikuteooriat.

Mul on Eesti ja Soome koostööst tarindite kavandamises ja uurimises üksnes häid kogemusi. Seda kõike tuleb hoida ja tõhusalt edasi arendada.

RISTO MÄKIPURO,

uuringu autor, Nuvo Engineering OY
Pildid: Pook Arkkitehtitoimisto Oy, täpsemad andmed piltide kohta pildiallkirjades

SISUJUHT

Sissejuhatus

1. Hüperboolne paraboloid
2. Kuppel ja sellest afinsete muudatustega saadavad vormid ja toruspind
3. Rippkoorikud
4. Massiivkoorikud
5. Vineerist suurpaneelid
6. Vineerist lipukujulised elemendid
7. Vineerist väikekoorikud
8. Kergliikluse kooriksillad
9. Koorikute puhul kasutatavad liited

SISSEJUHTATUS

Loodus ehitab meisterlikke koorikuid, ja teeb seda soodsalt. Inimene on eelajaloolistest aegadest saadik ehitanud koorikehitisi, algselt näiteks kivivõlvide ja haopunutiskatete vormis. Viimastel

aastakümnetel on ehitatud nõudlikke ja märkimisväärseid koorikehitisi, ent nende muutumist «kogu rahva ehitisteks» tuleb veel oodata.

Väikesemõõtmelised kooriktarindid on materjali kulu poolest vaieldamatult soodsad, kuid ometi vaadatakse nende teostamisele võõristusega nagu valgele varesele.

See uurimus on mõeldud hajutama teadmatusest tekkinud eelarvamusi ning kaardistama puidust koorikehitiste võimalusi, eelkõige just Soomes.

Sobivate uurimisvaldkondade valik ei ole kerge ülesanne: kirjalikes allikates leidub kohe alguses sadu viiteid ja koorikvorme, mida võiks lisaks olemasolevatele arendada – nii et kui lasta fantaasia vabalt lendama, on oht libiseda ebaloogiliste ja ebamajanduslike konstruktsioonide alale üpris suur.

Uurimuse juhtlõngaks on ratsionaalne majandusliku kasulikkusega arvestamine, unustamata sealjuures esteetilisi väärtusi. Pürgimine vormi ja struktuuri lihtsuse suunas on tee mõlema eesmärgi poole, kui vaid peetakse silmas aine eriomadusi. Iga materjal: ümarpuit, saepuit, vi-

neer, spoonliimpuit (kertopuu) ja liimpuit, nõuab oma tehnikat. Esimesena nimetatud on sellest uurimusest välja jäetud täiesti omalaadse ehitustehnoloogia ja omavaheliste liidete tõttu. Tarinditüüpidest on uurimistöö tõhustamiseks välja jäetud ka ruumilised sõrestikud, sest need on väga töömahukad.

Puitelementidest saab valmistada soovitud kujuga risti lamineerimisel eriti soodsaid võlvikujulisi koorikkonstruktsioone. Seda tehnikat on kasutatud laialt ulatuslikult mööbli ja paatide valmistamisel, kuid ehitustehnikas väga vähe. Põhjused on selged: ehitustehnikas on hinnal palju kesksam tähendus kui toote omakaalul ning ehituses ei ole võimalik saavutada ka sellist seeriatootmist nagu mööblitööstuses. Sestap see uurimus ei käsitlegi iseenesest huvitavat võimalust



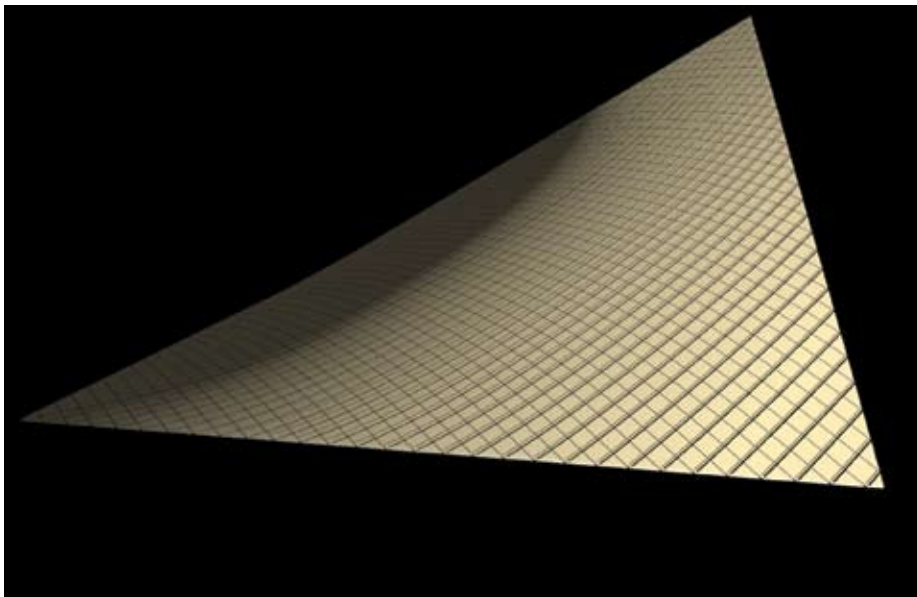
Foto: Jussi Tainen

Korkeasaari vaatetorn Kupla (Mull), vabakujuline puitsõrestikust moodustuv koorik. TKK Puustudio / Ville Hara, arhitekt.



Foto: Arja Lampinen

Sõrestiktüüpi puittarind, fragment esinemislava hüperboolse paraboloidi kujulisest katusekandekonstruktsioonist.



Pilt 1: Ruudukujulise põhiplaaniga paraboolne hüperboloid. See on puitehituses üks põhikooriguid, sest sobib selleks puidule iseloomulike vormi- ja vastupidavusomaduste poolest suurepäraselt.

valmistada kahe kõverusega väikekooriguid selleks otstarbeks ehitatud vineeripressi abil, niisamuti paadiehituses üldlevinud käsitsi lamineerimistehnikat.

Koorikute mastaapsema kasutamise puhul tuleb arvesse võtta ka paljusid selles uurimuses käsitlemata küsimusi, nagu ehitusfüüsikalised ja tulepüsivuse aspektid. Need ei ole lahendamatud ega kujuta endast teab mis suurt probleemi – neid tuleb üksnes projekteerimisel ja kulueelarves arvestada.

1. Hüperboolne parabolooid (hüpar)

Selle koorikvormi tüüpilisim omadus on pinna kõveruste erimärgilisus kahes üksteise vastas olevas suunas, teisiti öeldes – kõverusraadiused on kooriku pinna vastaspooltel. Kooriku «naha» puhul tähendab see seda, et kooriku materjal, nt lauad, on ühes suunas tõmmatud ja teises surutud.

Sellest johtub kasulikke omadusi: tõmmatud osa stabiliseerib surutud osa pikipaindel ja ääretalale mõjuvad koormused kompenseerivad teineteist suurel määral.

Hüperboolne parabolooid on sadulpind: see moodustub paralleelselt ääreliikmega sirgjoontest. Nende suhtes diagonaalsuundades kõverad on ülespoole avanev hüperbool ja allapoole parabool. Kandekonstruktsioonide toetus paigutatakse kooriku peateljel parabooli suunas, jäikusdiafragmad ja koorikuraketised

ääreliikme suunas.

Hüperboolset parabolooidi on kõige enam kasutatud ruudukujulise põhiplaani puhul (vt pilt 1), kus vähemalt üks ruudu nurkadest on ülespoole tõstetud või allapoole viidud.

Ruudukujulise põhiplaaniga koorikuid ühendades võib ehitada põnevaid ja soodsaid katusekombinatsioone (vt pilt 2).

Paigutades koordinaatide nullpunkti ruudupõhise kooriku keskpunkti ning x- ja y-teljed ruudu külgede suunaliseks, saame pinna matemaatilise põhivõrrandi $z = cxy$. Pöörates xy-koordinaadistikku 45 kraadi, jõuame ehk veelgi praktilisema võrrandini $x^2 - y^2 = kz$.

Paigutades võrranditesse sobivaid koefitsiente, mis ei pea tingimata olema konstantsed suurused, saab koorikut vormida näiteks nii, et nõgususe suunas kasutatakse suuremat tõusu kui kumera lõike suunas. Kooriku põhiplaani vormi võib konstrueerida näiteks teatud lõikes ristkülikukujuliseks.

1.1.1 Konstruktsioon

Uurimisobjektiks on väiksemad ja keskmise suurusega koorikud, mida saab ehitada mõõdukate mõõtmetega sõrmjätakatud saepuidust.

Maksimumsuuruseks on eeldatud põhiplaan mõõtmetega 17×17 m, kus diagonaalsuunalise laua maksimumpikkuseks tuleb umbes 24 m, mispuhul umbes 25×150 mm lauad on veel kasutatavad.

Niisugune koorik võeti ka näidisaruvestuste objektiks.

Kooriku lauad asetsevad diagonaalidel kahekihiliselt. Surutud lauakihi võib suuremates koorikutes edukalt asendada sobivate vahemaade järel paiknevate liimpuitkaartega, mispuhul, tõsi küll, tuleks muuta ka kooriku nimetust.

Lauad kinnitatakse kooriku ääretaladele näiteks naeltega. Ääretaladele mõjuvad koorikpinnalt normaaljõud ning horisontaalsed ja vertikaalsed paindemomendid. Ääretalad on tulus teha liim- või spoonliimpuidust (*kertopuu*). Viimatinimetatu liitetehnika vajab veel arendamist, sest spoonliimpuidu maksimumlaius ei ole naelutamiseks piisav.

Ääretalad saab soodsalt teostada ka puit-betoon-liittaladena: sel juhul ei pea puidust ääretala ülapinda töötleva koorikpinna kaldele vastavaks, kuid jäikus paraneb oluliselt ja liite koorikpinna saab teha ilma naeltega.

Kooriku põhiplaan on ruut, mis talle mõjuvate jõudude mõjul kipub muutuma rööpkülilikuks. Seepärast tuleb kaks vastastikust tuge horisontaaljõudude ohjeldamiseks kas ankurdata nurgapiilariite abil või ühendada tõmbevardaga.

Hüparkoorik on joonpind, mille sirgete suunas on raketist lihtne ehitada. Väheasti suured koorikud vajavad ebasümmeetriliste koormuste tarvis jäikusdiafragmasid, kuid sel eesmärgil saab ära kasutada ka raketistalad, jättes need oma kohale.

1.1.2 Tehnilised eelised

Koorik, mille kõverusraadiused paiknevad koorikpinna vastaspooltel, on stabiilne, sest tõmmatud kiht takistab surutud kihi stabiilsuse kaotust. Rippkoorigu plussiks võib pidada seda, et jõudu ei rakendata samal määral ebaloogiliselt algul üles ja siis piilareid mööda alla.

Üldiselt on väikesemõõtmelise hüparkoorigu teostus lihtne ja selge ning õnnestub vähestegi ametioskuste puhul. Ehitusmaterjalid on tavapärased.



Pilt 2. Vineerist kombineeritud väikekoorigud. Sõrestiktüüpi puitkonstruktsioonide uurimus (Verkkomaisten Puurakenteiden Tutkimus 98–99).



Pilt 2.1. Hüparkoorikute ehituslikke võimalusi. Parem ja vasakul ülal fragmendid on vaated erinevatest üldgeomeetrilistest variantidest. Sõrestiktüüpi puitkonstruktsiooni-
de uurimus (Verkkomaisten Puu-
rakenteiden Tutkimus, 98–99).



Pilt 2.2. Hüparkoorikute ehituslikke võimalusi: ühekatteliste hüperboolsete osade (joonpinna geomeetria) lõikumisel põhinev konstruktsioon. Puun Talo (Puidu Maja) Kitee linnas. Arhitektuurne lahendus ja kujundus: Pook Arkhitektitöimisto Oy.

1.1.3 Probleemid ja võimalused

Õhukese membraaniga kooriku põhiprobleemiks on suured vormimuutused ebasümmeetriliste koormuste korral, st ühele poolele sadava lume / mõjuva tuule jõul. Soomes tuleb peamiselt arvestada lumekoormust. Kui vormimuutused ei kujuta endast probleemi, saab kooriku ehitada üpris soodsalt – puidunorm annab selleks võimaluse. Kui sellise kooriku projekteerimine ja ehitus muutub üldiseks, n-ö rutiiniks, siis kujuneb ka selle maksumus mõõdukalt soodsaks – materjalikulu on väike. Hüparkoorikute arhitektuurist on rohkesti näiteid maailma eri paikades. Siin käsitletud väikevormiline koorik võiks olla märkimisväärne arhitektooniline konstruktsioonelement. Võimalusi on nii fantaasial lennata lasta kui ka objekte leida.

Kui toode saab tuttavaks, siis leidub väikevormilistele katustele ja varikatustele kindlasti turgu. Peaasjalikult kohapeal kokkupandava konstruktsiooni probleemiks on ehk kaubastaja/turustaja ja toote määratlemine: kas see peaks olema kindla kujuga ühenduselementidega varustatud tööstuslik toode või tõhusalt tegutsev töövõtja?

Ehitusliku konstruktsioonijuhendi koostamine puittoodete kasutamise kohta hüparkoorikutes on igal juhul nende leviku eelduseks.

1.1.4 Katsearvutus

FEM-programmiga arvatati välja 17×17 m saepuitkoorik. Selle paraboolset diagonaalid pikkusega umbes 24 m said eeltõusuks 2,4 m. Koorik nakk toetub äärtest liimpuittaladele, mis omakorda toetuvad kooriku nurkade kohal ole-

vatele tugele. Kaks alumist vastastikust tuge on ühendatud tõmbevardaga; toed võivad olla ka fikseeritud, horisontaaljõudusid vundamenti suunavatena (kontraforsid).

Arvutusmudeli elementide jaotus on kaks meetrit mõlema diagonaali suunas. Sümmeetrilise koormuse arvutus tulemus oli praktiliselt sama mis eelnevalt tehtud lihtsa ligikaudse käsitsiarvutusega. Mõistliku pingelokorra puhul osutus suur ja õhuke koorik pingete, läbipainete ja liidete suhtes väga hästi toimivaks.

Ebasümmeetrilist koormuse jaotust ei üritatudki käsitsi analüüsida. Suurte läbipainete vältimine osutus võimalikuks, ent nende suurusklass üllatas ometi. Lume kuhjudes ainult kooriku ühele neljandikosale on kohalik läbipaine, võrreldes niisama suure, ent ühtlaselt üle kogu kooriku jaotuvast lumekogusest põhjustatava läbipaindega, umbes sajakordne. Arvudes väljendatuna ulatub maksimaalne läbipaine meetri klassi.

On selge, et normaaltarindites ei tohi nii suuri kõrvalekaldeid lubada. Kooriku membraani saab suhteliselt lihtsalt jäigastada, varustades selle sirgete talade või survesuunaliste kaartega. Jäigastusvardad on samuti üks võimalus, samuti jäikuse lisamine, teostades kooriku kihtkonstruktsioonis.

Ressursside puudumisel jäi eri tüüpi jäigastussüsteemide mõju uurimata.

1.2 Sadulakujulised hüperboolsed paraboloidid

1.2.1 Konstruktsioon

Suurte hallide või varikatuste konstruktsioonitüübiks sobib hüperboolne

paraboloid, mille puhul rippehituslik osa paistab selgemini välja ja mille kõverused on eespool kirjeldatud mudelist sageli jõulisemad (vt pilt 2, sadulavorm). See on enamasti lõigatud horisontaalselt ning kahe y- ja kahe x-telje suhtes ristloodselt. Sellise kooriku ehitamisel on kasutatud ka vertikaalset silindrit, nagu näiteks Karl Õigeri kavandatud Tartu laululava puhul (vt Karl Õigeri artikkel Puuinfo eelmises numbris, joonised 13 ja 14). Suurte ehitiste puhul kaalutakse tihti kooriku nn tõmbesuunas teraskaablite kasutamist. Survepool ja jäigastus jäävad sel juhul selgelt puudu ülesanneteks.

1.2.2 Tehnilised eelised

Viilhall (sadulhall) on suuremõõtmeliste ehitiste puhul üsna loogiline lahendus: ripp- ja kaare funktsioone saab hallata kõverusi varieerides ning leida tasakaalus terviku – nii survepoole pikipainet kui tõmbepoole loogikat arvestades. Kuju saab hõlpsasti matemaatiliselt modelleerida.

1.2.3 Probleemid ja võimalused

Selline tüüp sobib ainulaadsuse tõttu õigupoolest üksnes suurte hallikonstruktsioonide teostamiseks. Kui suur osa koormusest rakendatakse tõmbe-

suunas, siis võib ankurdamine aluspinnal külge põhjustada lisakulusid. Sellist konstruktsiooni võib tõmbesuunas antava stabiilsuse tõttu pidada suurte hallide puhul soodsamaks kui kuppelehitist. Terase kasutamine tõmbesuunas on suurtes ehitistes igati soovitatav. Katusekonstruktsiooni materjalivajadus on sel juhul ilmselt väiksem. Oma eripära tõttu esitab viilhall arhitektoonilisele kujundusele nõudmisi, ent seda ei tuleks võtta kui piirangut. Arhitektuuri saab rikastada kooriku kuju matemaatiliselt varieerides ning koorikut eri viisil lõigates. Suurte hallide turu osas on raske prognoose teha, ent viilhallid on konkurentsivõimelised.

1.2.4 Eriarendus

Seda uurimust tehes kerkis küsimus, kas viilhali saab ehitada selliselt, et matemaatilise hüperboolse paraboloidi liivakel-lakujulise põhjakujundi asemel oleks ristkülik. Sellisel juhul oleks halli ruumikasutus põrandatasemel ratsionaalsem.

Ülesanne osutus võimalikuks, võrrand on selline:

$$x^2 - c^2 x^2 y^2 = kz$$

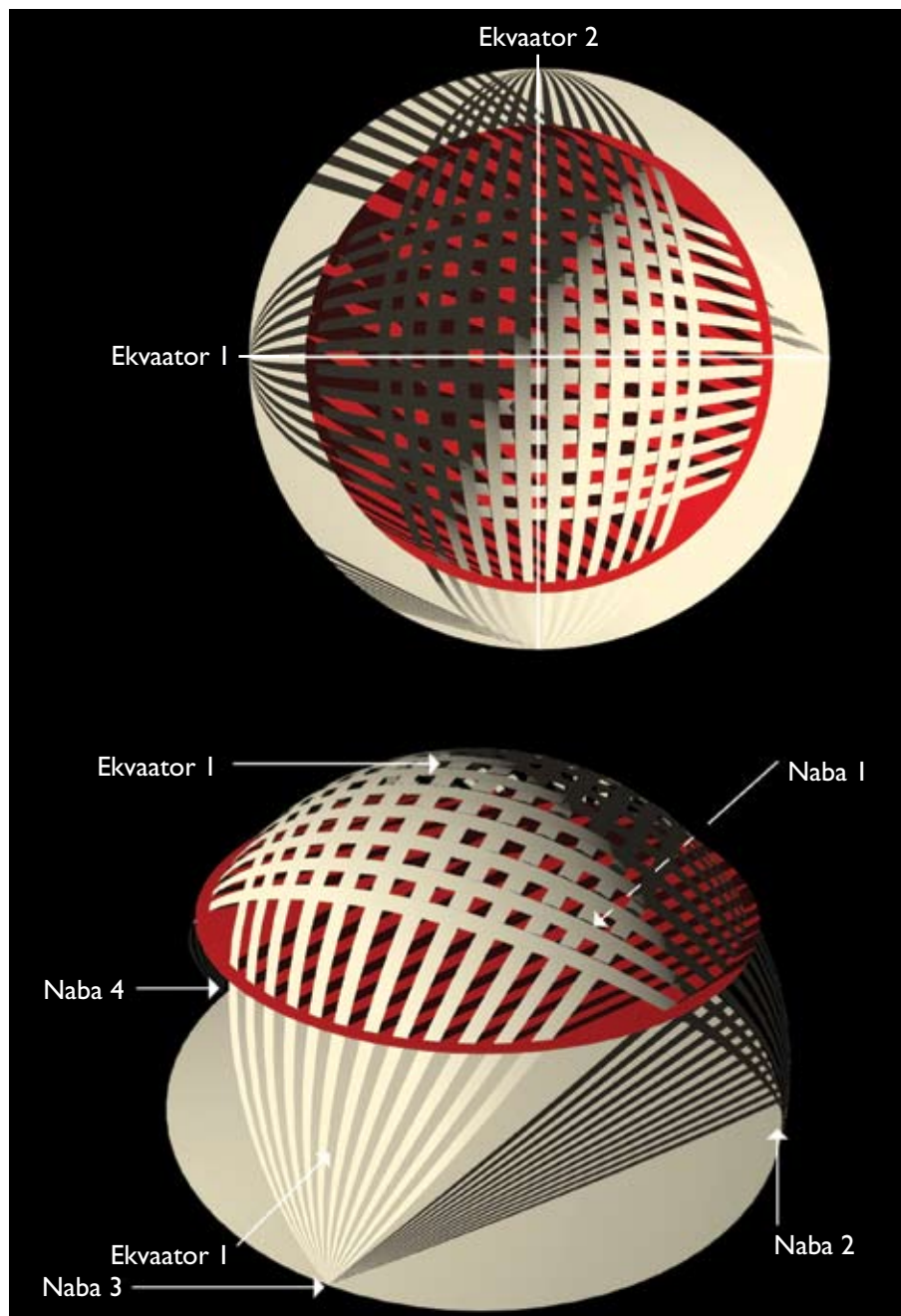
$$\text{kus } c = 1/y_0$$

y_0 = kooriku keskpunkti ja põrandataseme vaheline kaugus

Ehituslikke või teostusjärgus lisanduvaid probleeme niiviisi kujundatud hüperboolse paraboloidi kasutamisel ei ole.

2. Kuppel ning selle puhul afiinsete muudatustega saadavad vormid ja toruspind

Need on ehk kõige levinumad koorikud, ka puitkonstruktsioonide valdkonnas. Neid on teostatud ka väga mitmesuguste suurte võrk-tarinditena. Algupäraseim konstruktsioon on ilmselt kuppel, mille tugipunktist, n-ö nabast, väljuvad meridiaanid moodustavad kooriku peastruktuuri, horisontaalsed laiuskraadidesuunalised kaared toimivad kooriku teise suuna jäigastajana. Kerakoorku teooria viitab, et selline lahendus ei ole majanduslikult tingimata parim, sest kaarte pinged kuhjuvad kõige alumisse ossa. Lisaks tu-



Pilt 3. Kupli kaarte paigutus, mispuhul toepunktid (nabad) paiknevad kooriku suhtes allpool. Skeemilaadne alumise toepunktiga kooriku vaade. Punane tasapind kujutab võimalikku maapinda vms lõikuvat tasandit.

leb arvestada meridiaankooriku suhteliselt rasket paigaldamist, sest tugipunkti suur liitkonstruktsioon, mis on sageli terasest, tuleb paigaldada eraldi.

2.1 Alumise toepunktiga koorik

Käesolevas uurimuses on edasi arendatud mõtet kaarte paigutamises selliste meridiaanide suunda, mis väljuvad kooriku allosa kujuteldavaist toepunktidest (nn nabadest; vt pilt 3). See viib kaared ühtlasemale pingegaotusele kui lagipunktist lähtuv paigutus. Paigutust saab kohandada vähemasti kera- ja ellipsoidpindadele.

Toepaare võib olla palju, mis on kooriku funktsioneerimise seisukohast soodne. Üks kaartelevik võib olla peakandetarind ning ristuvad kaared võivad olla lamedamat koorikupinda moodustavad võlvid.

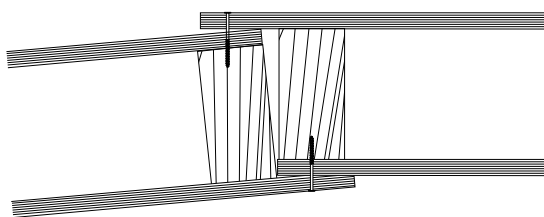
Süsteemi plussiks on ka vundamentide koondamine kitsamatele aladele, mis üldiselt hoiab kokku ehituskulusid. Lõigates koorikut nelja vertikaaltasandiga, saab vormida põhiplaani rohkem ristkülikusarnaseks, mis on ruumikasutuse seisukohast soodsam ja avarab fassaadi arhitektoonilise kujundamise võimalusi.

Konstruktsiooni kokkupanek on lihtne, sest kaared saab terviklikult ühelt kooriku küljelt teisele välja sirutada.

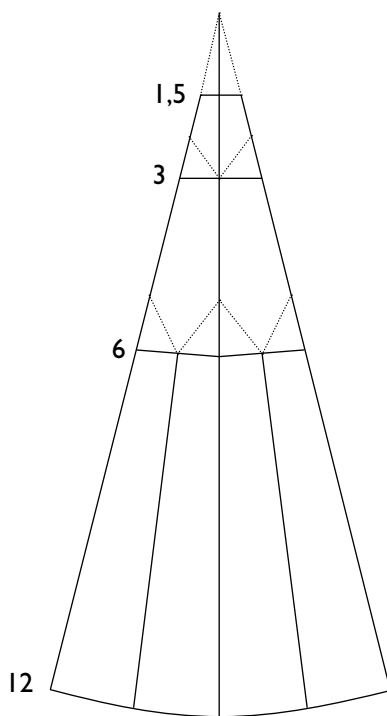
2.2 Vineerelementid suurtes koorikutes

Lähtepunktiks on lagipunktis paiknevast toepunktist väljuv meridiaanistik. Pingeaotus on märgatavalt parem tänu jäikuselementide allapoole suurenevale hulgale ja plaatide mõjule.

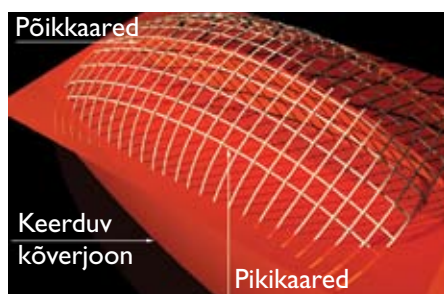
Süsteem põhineb normaalsuurusega vineerplaatidest elementidel, millest tehakse koorik niimoodi, et puitelement suunab kuplile mõjuvad peamised ehk survejõud eemale. Plaadi pinnad tagavad kooriku paindejäikuse ja stabiilsuse. Plaatidele mõjuvad pinnajõud jäävad võrdlemisi väikeseks ja plaate võib ühen-



Pilt 4: Vineerelementliite põhimõte, kui tõmbejõud jäävad väikeseks.



Pilt 5. Skeem koonuskatuse Ø 24 m vineerelementide jaoks. Kuplis kontuurid kaarduvad.



Pilt 6. Toruspinna geometria näitlikustatud kujul.



Pilt 6.1: Torusel rajanev konstruktsioon K2-klassi jalgpallihallis, põikisuunaline kaarseteeria moodustub sirbikujulistest kaartest, mida seovad pikisuunalised kaared. Skanska Etelä-Suomi Oy. Arhitektitöö ja kujundus: Pook Arkhitektitoimisto Oy, ehitusplaan: Nuvo Engineering Oy.

dada lihtsa liimjätukuga (vt pilt 4).

Rakendusobjektid oleks mõistlik valida pöördpindade seast, et eri elementide hulk püsiks mõistlikus suurusjärgus.

Elementid saab vineeri valmistusmõõte silmas pidades vormida pikergusteks või peaaegu ruudukujulisteks põhiaruutu järgivaiks elementideks (vt punktis 5 üksikasjalikumalt käsitletud konstruktsiooni).

Pildil 5 on kujutatud koonuskatuse elementipaigutus pikerguste vineerelementide korral.

2.3 Toruspind

Kui ringjoon keerdub omal tasemel ümber endast väljaspool asetseva sirge, sünnib auto rehvi mustrit meenutav neljanda astme pind torus (vt pilt 6). Seda vormi saab kasutada näiteks suuremõõtmeliste hallide koorikumudelina.

Pildil 6 on näha, et nii põiki- kui pikisuunalised kaared on olemuselt identsed, seega valmistustehnoloogia on

teoorias ideaalne. Pikisuunaliste kaarte ülapinnad ei ole siiski risti vastu koorikpinda, vaid need tuleb vormida sobivaks kas hõõveldades või räidiste abil.

Teine toruse kasutamist häiriv seik on pikisuunaliste kaarte ebatõhusus. Nende kumerus on sageli väike ja nende toestamine horisontaalsete toereaktsioonide vastuvõtuks raske.

Neil põhjustel on toruse funktsioon koorikuna sageli küsitav: need toimivad peaaegu täiesti põikkaarte abil.

Torust saab kujundada, lõigates seda eri viisil; matemaatiliselt võib keerduv kõverjoon olla ka ringjoonest erinev.

3. RIPPKOORIKUD

3.1.1 Konstruktsioon

Rippkoorikute all mõeldakse siin pindkonstruktsioone, mille puhul tõmbepinged on märkimisväärselt suuremad kui survepinged.

Liblikavõrgu kombel rippuvaid kahte suunda tõmmatud puitkoorikuid küll ei esine, ent tegelikult on needki võimalikud, vähemasti sõrestikutüübiliste konstruktsioonidena. Muud tüüpi rippkoorikutel mõjub surve üldjuhul mingis suunas, vähemalt ebasümmeetriliste koormuste puhul.

Tuntuimad puidust rippkoorikud on ilmselt Austrias ehitatud keskpilari rippuvad ringikujulise põhjaga hallitarindid, millest suurimat, 170-meetrise läbimõõduga, on kirjanduses nimetatud maailma suurimaks puitehitiseks.

3.1.2 Tehnilised eelised

Rippkonstruktsioonid on teadaolevalt eriti stabiilsed, sest vormimuudatused lisavad kandevõimet teisiti kui kokkusurutud struktuuride puhul. Mahukate objektide puhul saab hõlpsasti appi võtta terase, tänu millele tulemus majanduslikus mõttes on parem kui ainult puidu kasutamisel.

3.1.3 Probleemid ja võimalused

Peaaegu kõigi rippkonstruktsioonide puhul ilmneb sama ebaloogilisus: riputamisel kulgevad mõjuvad jõud ülespoole, samas kui ehitamisel on üldine põhimõte suunata need maa keskpunkti. Sellest johtub vajadus ehitada piilareid või seinu, mis suunavad jõud alla. Kokkusurutud osadena on need ebastabiilsemad, mis iseenesest ei ole probleem.

Kuigi vigadeta puidu tõmbetugevus on suurem kui survetugevus, tuleb tarbepuidu puhul puidu vigade tõttu arvestada vastupidisega. Seepärast ei pruugi puit tõmmatud konstruktsioonina ehk päris omal kohal olla, eriti kui toimivate tõmbejätkede loomine on töömahukas.

Ripptarindite kõige omasem kasutusvaldkond on suured silded, mille stabiilsusküsimused kipuvad tõusma olulisteks. Majanduslikuks ülempiiriks võiks pidada liim- ja spoonliimpuidu valmistus- ja transporditehnilisi piire, sest suurte tarindite veoga kaasnevad märkimisväärsed kulud. Teisalt – väiksemat mõõtu ripptarindid, mille puhul saab hakkama ka sõrmjätkatud saepuiduga, võiksid olla majanduslikult päris soodsad.

Rippkoorikute kasutusvaldkond on märkimisväärne, mistõttu ei tohiks neid sugugi arhitektoonilistest uurimistest välja jätta. Kulutused pole probleemiks, kui vaid vormi on võimalik teostada eesmärgipäraselt. Rippkoorikute kasutamine sõltub individuaalsetest soovidest ja vajadustest. Kui arendada välja ankurduseks vajaminevad liited, avaneks võimalus luua ka rippkoorikkatuste või -varikatuste turg.

4. MASSIIVKOORIK

4.1.1 Konstruktsioon ja tehnilised eelised

Sellele põhimõttele vastavaks saab kohandada kõiki koorikutüüpe. Põhiidee on suuremamõõtmeliste koorikute valmistamine ühtse pinnana, kas spoonliim- või liimpuidust.

Paksu massiivkonstruktsioonitarindi pinged jäävad loomulikult väikeseks, mistap stabiilsus kujuneb üldiselt kõrgeks. Vormimuutused määravad ka proportsioonid.

4.1.2 Probleemid ja võimalused

Niiskustehniline kontroll on vältimatu, kui koorikule ei ole tuulutusega katet ette nähtud.

Puidu kulu on massiiv (konstruktsioonides) tarindites suur. Ometi on neid viimasel ajal ehitama hakatud, sest neil on häid eriomadusi – ja miks siis mitte ka koorikkonstruktsioonides?

Ühtsel massiivsel puitkoorikul võib olla mitmeks otstarbeks piisav soojusisolatsioonivõime, mispuhul ei lähe tarvis mingit lisasoojustamist, mis tähendab

nii töö- kui materjalikulude suurt kokkuhoidu.

Ühes tükis liimpuit- või spoonliimpuitpind ilma seesmistele «tugirootsude» mõjub arhitektooniliselt ainulaadselt. Teadlikkust tarindi massiivsusest võib pidada ka esteetiliseks kogemuseks.

5. VINEERIST SUURPANEEL

5.1.1 Konstruktsioon

Selles uurimuses on arenenud mõte peaaegu ruudukujulise vineerplaadi koolutamise sellisel viisil, et nurgad pööratakse silinderpinnaks (vt pilt 7). Nii saaks elemendid vormida soovitud, näiteks kahte suunda kaarduvaks koorikpinnaks.

Elemendid võivad olla kihilised (*sandwich*-tüüpi) või üksnes vineeri ja saepuidust jäikuselemente sisaldavad.

Kooriku membraanjõude saab vineeri ja selle liidete abil otseselt üle kanda vineeri ja selle liidete abil. Suurim koormus näiteks kuplis meridiaani suunas on kasulik kanda üle peajasalikult jäikade elementide kaudu, mis hoiavad ka kooriku stabiilsust.

Jäigastuselementide jätkud võivad koorikutüübist sõltuvalt olla sageli lihtsad surveühendused; vineeri puhul tulevad suuremõõtmeliste tarindite/konstruktsioonide korral kõne alla ennekõike hõõrd- ja liimliited.

Väiksemamõõtmeliste objektide puhul saab hakkama hariliku kruviliitiga (vt pilt 4).

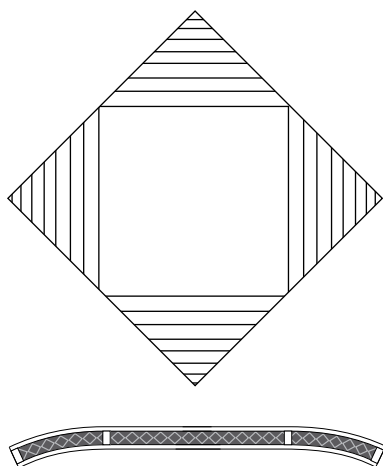
Selles uurimuses on lähemalt edasi arendatud suurpaneelide kasutamist kupli ehitamisel (vt pilt 8).

5.1.2 Tehnilised eelised

Vineer on eriti tõhus membraanijõudude siirdaja, õigupoolest kooriku ideaalmaterjal. Selle põhiprobleem – kahte suunda koolutamine – on siin lahendatud ilma vineeripressi vajava tehnikata.

5.1.3 Probleemid ja võimalused

Puittarindite igavene probleemide valdkond – liitekohad – tõuseb siingi esile. Hõõrdliide pakub selgeima lahenduse, ent objektliimimise seadustamine peab ilmselt veel oma aega ootama. Ratsionaalselt teostatuna on hõõrdliide eriti praktiline ja liimliitega võrreldav jätkamisvõimalus.



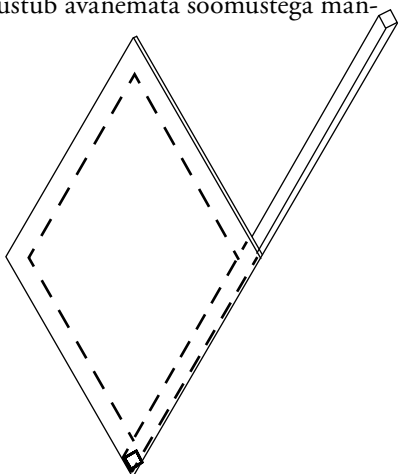
Pilt 7: Kahte suunda kaarduva kooriku vineerelement (*sandwich-tüüpi*). Koolutatud osa on viirutatud. Koolutuse ulatusega mõjutatakse kooriku suurust.

Vähemalt kihiliste lahenduste puhul tuleb erilist tähelepanu pöörata niiskuse küsimustele. Tuulutuse korraldamine võib olla kulukas, kuid niiskuskahjustused lähevad samuti kalliks maksma.

Suurpaneelide suur pluss on elementehitusele üldomane kiirus ja lihtsus.

Konstruksiooni saab sageli püstitada ka tellinguid üles panemata. Ehitustehnoloogias saavutatav majanduslik kokkuhoid on kindlasti suurem kui näiteks vineeri hinnast johtuv kuluvahe.

Suurpaneelidest võiks kujuneda arhitektile kasutuskõlblik töövahend. Moodustuv viltune «salmiaagilaadne» kujund on püsti paigutatuna edasiarendamist väärt element. Elementidest moodustub avanemata soomustega män-



Pilt 9. Element kohandatuna Zolli süsteemi.



Pilt 8. Suurpaneelidest kupli saab ehitada käbi soomustikku meenutava pöördkujundina.

nikäbi laadne pöördkujund (vt pilt 8). Esteetiliselt on selline kujund huvitav, olgu ehitise välis- või sisepinnana.

Londonis on valminud 180-meetrine tornmaja, mille seina võrkkonstruktsioon meenutab kuusekäbi.

Elementide kasutusala võiks ulatuda ka traditsioonilistest koorikutest väljapoole, näiteks arhitektuurilisel huvitavate fassaadilahendusteni.

(vt pilt 9), milles on ette arvestatud ja teostatud kooriku kujust tulenevad kaared ja avad.

6.1.2 Tehnilised eelised

Eelmise punkti omadustele võiks lisada ehitamise selguse ja lihtsuse: lipu vars juhhib järgmise elementikihhi kokkupanekut.

Muudele punktidele on viidatud eelmise tarindi puhul.

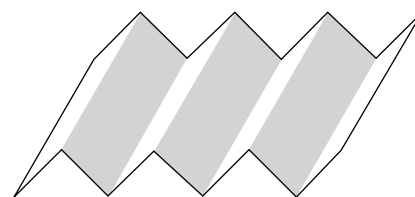
6. VINEERIST LIPUKUJULINE ELEMENT

6.1.1 Konstruktsioon

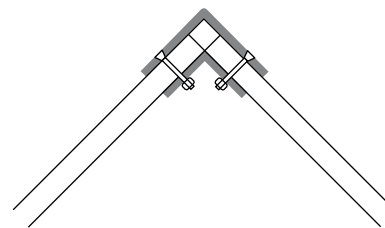
Peaaegu sada aastat vana rombi ehk Zolli süsteemi teostatakse eelkõige saepuidust või ka ümarpuidust. Aegajalt seda ikka kasutatakse, üsna hiljuti näiteks Prantsusmaal Robert Lourdini projekteeritud objektide puhul.

Tarindi puitvarda pikkus on kaks rombi külge, ja neid saab kokku panna ka ilma tellinguteta. Kõigepealt ehitatakse äärmiselt lihtsat ühe poldiga liidet kasutades plankkate, seejärel tehakse saepuidust pinnakiht.

Siin väljapakutud meetodi puhul pannakse koorik kokku vineeriga jäigastatud lipukujulistest elementidest



Pilt 10. Voltkoorik. Sobib katuse- ja seinatarindiks.



Pilt 11. Voltkooriku tühusa hõõrdliite põhimõtteline ehitus. Nurkterased toimivad paindel täisvõimsusega.

7. VINEERIST VÄIKEKOORIKUD

7.1.1 Konstruktsioon

Järgnevalt kirjeldatavate tarindite uurimine põhineb vineeritööstuse standardsetel plaatidel, mille maksimummõõtmed on 1525×3660 mm ja suuremõõtmelistel kaldtapp-jätkatuna tarinditel näiteks $3000 \times 13\,000$ mm.

Tasapinnalise plaadi vormimiseks koorikuks ei ole just väga rohkesti võimalusi. Voltkoorik, mille puhul osapinnad on tasapinnad, on üks variant. Kooriku kokkupanek on geometriliselt lihtne, kandevõime on väikekoorikule omaselt suurepärase, kuid osapindadevahelised nihkejõud võivad kasvada haldamatult suureks.

Vineerist saab hõlpsasti voltida lauge silinderkooriku. Kui silindrit tahetakse sügavamaks muuta, võib kaks osa kaarega gooti vormiks ühendada. Silinderkoorikus kaar-ristlõike tüvisosa kuuluva tala võib teha puidust (liimides) või profiilterasest näiteks hõõrdpoltühendusega. Liited tuleb tugevdada tavapäraste mehaaniliste

ühendusdetailide – naeltega.

Kui silinderkooriku kõverus pikkuskoordinaadi funktsioonina muutub, sünnib konoid. Teises otsas võib kaar teiseneda ka sirgeks. Konoidi (vt pilt 12) saab vineerist hõlpsasti painutada.

Muudki joonpinna vormid, nagu näiteks hüperboolse paraboloidi, saab vineerist teha suhteliselt hõlpsasti (vt pilt 13). Ruudukujulise põhiplaani hüperboolse paraboloidi puhul kipuvad kujumuutused vineeri suhteliselt väikese paksuse tõttu kergesti haldamatuks muutuma, nagu võisime tõdeda ka saepuitkoorikute puhul punktis 1.1.4.

Kuplikujulisena saab teostada ka väikekoorikuid, mainigem näiteks vineertelke, mida juba ammustest aegadest on kasutatud katastroofiolukordades ja sõjaväe majutamiseks.

7.1.2 Tehnilised eelised

Saepuidust kõrgema hinna kompenseerib vineeri loomupärane sobivus teatud koorikvormideks ning suurepärase vastupidavus- ja elastsusomadused. Eriti väikekoorikuteks, mis

võivad konstruktsioonist sõltuvalt olla üpris mahukad, sobib vineer eriti hästi. Selliste tarindite projekteerija peab üksnes silmas pidama vineerplaatide valmistusmõõtmete piiratust nii pakuses kui külgede pikkuse osas.

Koorikkonstruktsioonide puhul ei ole vineeri eriomadusi suudetud mingil põhjusel tõhusalt ära kasutada. Ehk on otsustav seos tehnilise vormi, ehitusmehaanika ja materjaliomaduste vahel veel lihtsalt leidmata.

7.1.3 Probleemid

Kui vineeri tuleb kooriku vormi saavutamiseks painutada, peab arvestama, et vineeri algkuju on tasapind ning et vorm üritab seda tagasi võtta. Näiteks konoid- ja silinderkooriku vormi säilitamiseks tuleb konstruktsioon jäigastada tõmbevarraste või jäikade ribidega. Soovitud kuju on võimalik ka saavutada, liimides vähemalt kaks plaati üksteise peale.

Hüperboolse paraboloid on joonpind, seega põhimõtteliselt sobib vineer sellisesse vormi painutamiseks väga hästi. Arvestada tuleb siinjuures siiski seda, et vineer võib painduda muudekski vormideks, näiteks omal kombel mõlki minna – seega peab hoolitsema vähemalt sirgete ääreelementide piisava jäigastuse eest.

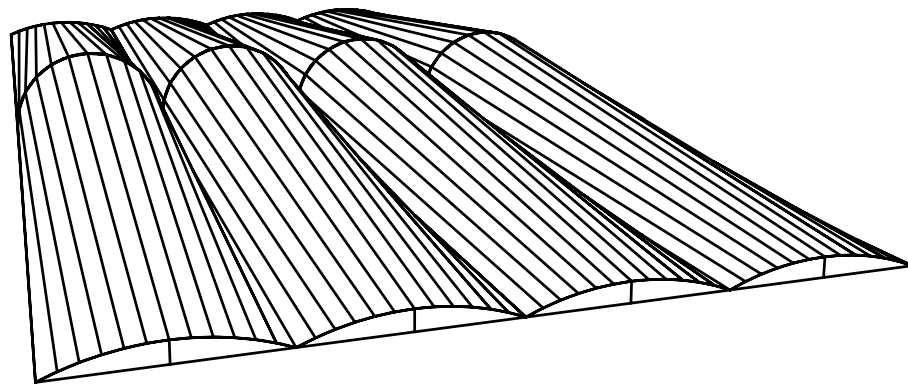
Suuremõõtmeliste koorikute puhul võivad liited osutada vineeri suhteliselt õhukese paksuse tõttu kriitilisteks kohtadeks. Liim- või hõõrdliite abil saab selle probleemi lahendada.

7.1.4 Võimalused

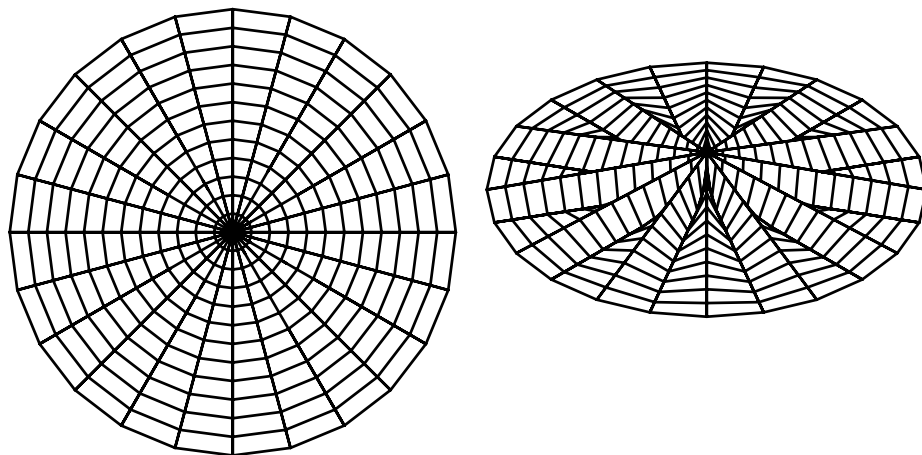
Väikekoorikute konkurentsivõime sõltub oluliselt nende kasutusastmest. Teisisõnu: tuleks välja töötada teatud põhitüübid, mida saaks kohandada erinevate objektide puhul, näiteks neid moodulitena järjestades.

Üksiku väikekooriku puhul on nii selle kavandamine kui ehitamine n-ö harrastuslik rätseptöö, mis ei ole majanduslikus mõttes kaugeltki tulus. Ent olukord on hoopis teine, kui tootmine muutub seeriaviisiliseks. Materjalikulu on kooriktarindite puhul üldiselt väike, ning kavandamis- ja teostuskulusid saab mahtude kasvatamisega vähendada. Majanduslikud võimalused võivad osutada väga heaks.

Ka väikekoorikutega saab luua võr- ratut arhitektoonikat. Isegi lihtne voltkoorik võib oskuslikult vormitu-



Pilt 12. Konoidiks vormitud väljaulatuv silinderkoorik.



Pilt 13. Hüperboloidse parabooli kujuliseks vormitud vineerist voldikkoorik. Vasemal aksonomeetriline vaade ja paremal pealtprojektsioon.

na mõjuda väga huvitavalt. Tasub meeles pidada sedagi, et väikekoorikutest saab soodsalt ja efektselt koostada ka seinapindu.

Unustada ei tohiks veel akustilisi võimalusi, mida saab väikekoorikute paigutamise ja luua. Vineeripinna akustiline perforeerimine on võimalik ka nii, et kooriku kandevõime ei vähene.

Väikekoorikutele ei ole praegu turgu, ent see tuleks luua. Potentsiaalseid kasutusalasid on võimalik leida õige mitmest suunast. See eeldab tootmise ja kavandamise ratsionaliseerimist. Arendusobjektiks võiks võtta majanduslikult soodsa ja arhitektooniliselt efektse vineerelemendi, mida masstootmisel saaks paindlike tappühenduste ja muude liiteviiside abil kohandada paljude erivormiliste toodete jaoks.

8. KERGLIIKLUSE KOORIKSILLAD

Sildade katmisega kaitstakse konstruktsioone ja pakutakse varju jalakäijatele. Sildade katted on praktilisest aspektist vaadates ikka olnud peakandekstruktsioonidest eraldiseisvad tarindid. Koorikuna võivad kattestruktuurid toimida peakandekstruktsioonidena 60...80-meetrise silde korral, kõite või kaartega jäigastatuna rohkemgi.

Kaetud sild on kallim kui katmata sild. Ühendades pea- ja kattetekon-

ruktsoonid, saab kulusid kõvasti kokku hoida, mõnel puhul isegi kuni katmata silla tasemeni – tänu sellele, et konstruktsiooni kõrgus tehakse lahedalt suureks.

Selles uurimuses on arendatud kahte kooriksillalahendust, kuid võimalusi on volt-, torus- või konoidikoorikute valdkondadeski.

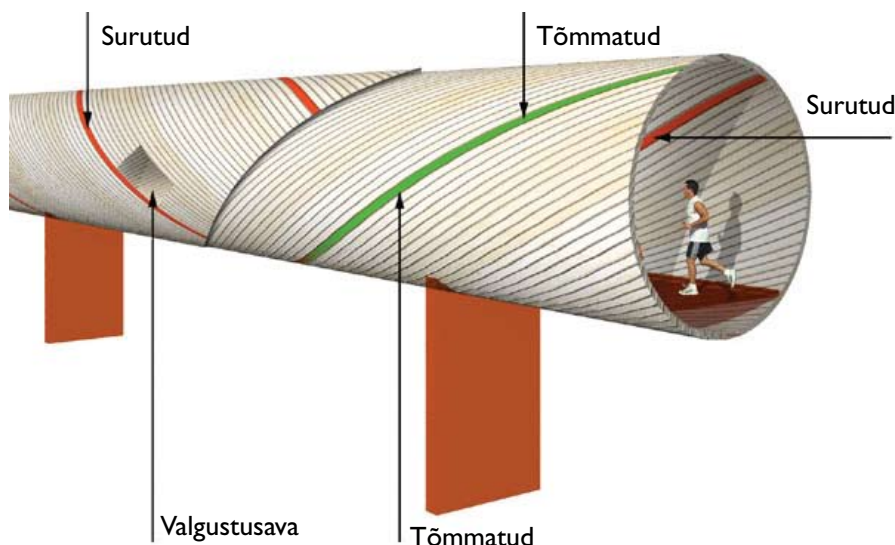
8.1 Võrkтору

8.1.1 Konstruktsioon

Selle arenduse idee tekkis, uurides Lapi aihki ehki igimändi. Mõte arenes edasi vabalt toetatud või jätkuva sõrestik-tala algteooriat kohandades. Aihki süü tõuseb mööda karkassi spiraalselt ja eri kihtides keerdumissuunda vahetades. Nii juhatab looduse tarkus meid painde seisukohast ideaalse, kohati 800 aastat koormustele ja ilmastikumõjudele vastu pannud tarinditeni. Järeldus ilmingust: kui sõrestiku kokkusurutud ja tõmmatud diagonaalid saaks pöörata toruja sillakoorigu loomuliku kaarepinda mööda vastavalt surutud ja tõmmatud vöödeks, saaks ratsionaalselt korraldada ka tuule- ja väändejäigastust.

Kandev peakanstruktsioon võib olla nii pikast sõrmjätkatud saepuidust, kui transport võimaldab.

Pildil 15 on kahe näidisriba abil kujutatud, kuidas mitmesildelise jätkuva talasilla laud pöörduvad koorikus erimärgilise pinge alas ja säilitavad pea-aegu oma pingetaseme. Tõmmatud ribad kulgevad kooriku välispinnas, sidudes kokkusurutud enda sisse ja taastades nende nõtkumist.



Pilt 14. Võrkтору

8.1.2 Tehnilised eelised

Ehituslikud eelised on vaieldamatud, konstruktsioon on nii jätkude kui puitmaterjali kulu seisukohast ideaalne. Puidu kandevõime kasutatakse täielikult ära, kui kiudude suund järgib loomu poolt kooriku peatõmbe- ja survepingete suundi. Puitribasid saab hõrendada vastavalt pinge jagunemisele, millega välditakse tarbetut ülemõõdulisust ja materjalikulu. Samas pääseb kooriku küljeosadest sisse valgus.

Esialgsetes arvutustes on pisut kontrollitud 30-meetrist sillet ja tõdetud, et konstruktsioon on probleemivaba. Pingetase üritab jääda madalaks, mis paraneb, kui jõutakse pikemate «korralike» silleteni.

8.1.3 Probleemid

Võimalike raskustega tuleb ehk kokku puutuda järgmistes valdkondades:

- Kohapeal ehitamisel võivad peavalu valmistada tellingud. Kui kooriku saab kokku panna siledal maapinnal või tehases, siis ei peaks probleeme tekkima.
- Teostus võib olla töövõtjale võõras, mis võib hinna liiga kõrgele tõsta.
- Pikkade spagetilaadsete puitmaterjalitükkide töötlemine nõuab eritehnikat.
- Kooriku sisse tuleb ehitada käigupind. Kumera toru alumine pind rahuldaks kindlasti rulasõitjaid ja teatud osa jalgrattureid.

8.1.4 Võimalused

Ratsionaalselt teostatuna on see soodsaim viis ehitada kergliikluse jaoks mõeldud kaetud sildu: ülemääraseks lisakuluks hinnatud katustekonstruktsioon toimib silda kandva konstruktsiooniosana ja võib toimida ka otse katusekatte aluspinnana. Katte kaitsvast mõjust johtuv kokkuvõtte väljendub kas või tarindi elutsükli pikenedes või puidu mittepehasumises.

Ümmargune toru võib läbikäiguteena olla ebameeldiv ja rõhuv. Väljastpoolt vaadates mõjub toru üpris tööstusliku ja tõntsi tarindina. See esitabki väljakutse: valgusavade, kate, räästastega jne võib arhitektooniline kujundaja imesid teha: ristlõige ei pea tingimata olema ringjoon, toru ei tarvitse olla sirge ega ühtlase läbimõõduga – kujundusvõimalusi jätkub küllaga.

Nõudlus kaetud kergliiklussildade järele kasvab maailma eri paigus. Kaitset vajatakse nii päikeseleitsaku kui vihma, lume ja vinge tuule eest. Kaetud sildu on hakatud kasutama ka puhke-, turva- või suhtlemiskohtadena.

Keemiline kaitse on paljudes riikides piiratud. Kaetud sild peab aga vastu ka keemiaga küllastamata. Seda tõestavad kas või sadu aastaid vanad sillad Šveitsis, Saksamaal ja USA-s.

8.2 Kooriku ja sõrestiku kombinatsioon

8.2.1 Konstruktsioon

Kooriku ja sõrestiku kombinatsioon, mille tehnilised omadused on ligilähedased samasugused kui päris torukoorikul. Nähtavus teisele poole on tänu sõrestikkonstruktsioonile suurepärase, samal ajal kui teisel pool moodustub müra või külma eest kaitset pakkuv varjestussein.

Üldiselt on sel tüübil samasugused omadused kui eelnevalt käsitletud võrktorul. Lahendus on mõnevõrra kallim.

8.3 Vineerkooriksild

Eespool nimetatud kooriksildu võib väga edukalt ehitada lamineeritud vineerist. Et vineeri saab jätkata hõõrdliidete abil, osutub tehniline teostus mitmesuguste silletega suhteliselt lihtsaks.

Vineerist saab konstrueerida äärmiselt kergeid tarindeid. See asjaolu osutub äärmiselt oluliseks helikopterite komplekteerimisel.

Vineeri ja saepuidu kombinatsioonis võiks teatud objektide puhul saavutada kõige soodsamaid ehituslikke lahendusi.

9. KOORIKUTE PUHUL KASUTATAVAD LIITED

9.1 Uurimisvaldkonna eesmärk

Kooriktarinditele sobivate efektiivsete, osalt majanduslikust seisukohast vältimatutegi liidete parandus- või arendusvõimaluste ideoloogiat on tähtsaks peetud juba selle uurimuse algetapis.

Nii nagu puittarindite puhul üldse, on ka koorikute puhul kogu tarindi toimimise üldises mehaanikas liited raskeim, kulusuhtelt ja konstruktsiooniliselt märki-

misvääraseim tegur. Liidete arendamine teenib ka muude puitehitiste innovatsiooni huve.

Tähtsaima objektina nähakse kasutusel olevatele liiteviisidele täienduseks arendatavaid tehnikaid, sest vanade meetoditega ei suudeta koorikehitiste puhul esilekerkivaid nõudmisi sageli täita.

9.2 Edasiarendatavaid liitetüüpe

Kava

- *Vineerist tarindite hõõrdpoltliidete arendamine.* Hõõret on ära kasutatud näiteks puittarindite põiki pingestatud pealisehitiste staatikas – vastavaid rakendusi leidub rohkesti USA-s, Rootsis ja Soomeski. Teisalt on hõõrdpolte kasutatud juba pikka aega terastarindite liidete puhul.

Vineer sobib hõõrdpoldi kasutuskohaks eriti hästi, sest materjali suhteliselt väikese paksuse tõttu jäävad pingekaod silla kandevõimest väga väikeseks. Taldrikvedru-alusplaatide puhul on kaod veelgi väiksemad. Pildil 11 on kujutatud üht hõõrdpoldi kasutusvõimalust voltkooriku liitejõudude haldamisel.

Punktis 9.3 esitatavate näitliku iseloomuga arvutuste kohaselt on hõõrdpoldliite tugevus 15 mm paksuse vineeri puhul, võrreldes niisama paksu tavalise kruviliitega, mitmekordne. Nii suur tugevuse lisandumine on kulude puhul väga märkimisväärne tegur.

- *Liimitud terasplaadi jätku-uuring varraskoorikute ja ruumilise sõrestiku puhul.* Sel teemal on TKK sillaehituslaboris tehtud algne uuring.
- *Puidust ja betoonist liittarindi liide hüparkooriku ühendamisel ääretalaga.* Suhteliselt väike uurimisobjekt.
- *Põkkliide laudkooriku survejätkuna.* Suhteliselt väike uurimisobjekt.

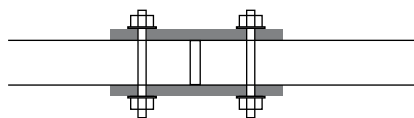
9.3 Vineeri hõõrdliide

Võrdlus traditsioonilise varrasliitega

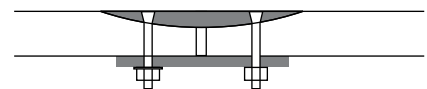
Lähteandmed:

- Kahelõikeline tõmbliide: terasplaat 5 mm, kahel pool 15 mm vineer
- Varras Ø 8 mm: sile polt, läbiv tapp, puit- või kuuskantpeakruvi
- Variandid: kase/okaspuitvineer
 - kruviterase kvaliteet: 4.6/8.8/12.9
 - koormuse kestusklass: keskkestev $k_{mod} = 0,8$
alaline $k_{mod} = 0,6$
 - kasutusklass: 2
 - normid: varrasliide [1] RIL 205 (Eurocode 5)
 - hõõrd-kruviühendus [2] RIL 90 (Teraskonstruktsioonid)

A. VARRASLIIDE, põiksuunas kandevõime liite ja löike kohta



Pilt 15. Hõõrdliite põhimõtteline mudel



Pilt 16. Tasapinnaline, hõõrdsoontega varustatud liide

[1] valemid 6.2.1 h ja j (alaindeks d muudetud k-ks mahu kontrolli jaoks):

$$R_k = 0,5 f_{h,2,k} t_2 d = \frac{0,5 \times 32,4 \times 15 \times 8}{23,6} = 1\,944 \text{ N kasevineer}$$

$$= 1\,416 \text{ N okaspuitvineer}$$

$$R_k = 1,1 \sqrt{2} M_{y,k} f_{h,2,k} d = 1,1 \sqrt{2} \times 7,3 \times 23,6 \times 8y = 3\,532 \text{ N okaspuitvineer, kruvi 4.6}$$

Teise valemiga kohaldamine on nõrgim juhtum, mille puhul esimene joonis mõjutab arvutusi, kuid varda terase kvaliteediklass neid ei mõjuta.

Koormuskestuse ja kasutusklassidest sõltuva k_{mod} -koefitsiendi kohaldamise järel saadakse kasutusklassis 2 (kasutusklassis 3 on kandevõimed märgatavalt väiksemad):

$$\text{- püsiv koormus, kasevineer: } R_k = 1\,166 \text{ N}$$

$$\text{- püsiv koormus, okaspuitvineer: } R_k = 850 \text{ N (1)}$$

$$\text{- kasulik koormus, kasevineer: } R_k = 1\,555 \text{ N}$$

$$\text{- kasulik koormus, okaspuitvineer: } R_k = 1\,133 \text{ N}$$

B. HÖÖRDLIIDE, põiksuunas kandevõime liite ja lõike kohta

Kruvi eelpingejõud arvutatakse [2] järgi valemiga

$$P_v = 0,8 \sigma_s A_j = 0,8 \times 640 \times 36 = 18\,432 \text{ N kruvi 8.8}$$
$$1080 = 31\,104 \text{ N kruvi 12.9}$$

Järgmised hõõrdväärtused põhinevad oletusväärtustel, sest täiesti ühtelangevaid katsetelisi uurimusi terase ja puidu vahelisest hõõrdest ei ole. Siiski võib eeldada, et kareda kuumtsingitud terasplaadi ja puitviilu vaheline hõõrdetegur on märgatavalt suurem kui kahe puitpinna vaheline. Edasi võib oletada, et karestatud või soontega varustatud (vt pilt 16) teraspinna läbipainded suunduvad pingestamisel puitpinna sisse, mispuhul hõõre kasvab kergesti ka üle ühe.

Arvestuslikult eeldatav hõõrdetegur: - kuumtsingitud teras – vineer $\mu = 0,6$
- rihvelteras – vineer $\mu = 1,2$

Pingekaod:

- vineeri paksuse kokkutõmbumine on 0,3...0,4% / 1% niiskuse muutusel; →5% niiskuse muutusele vastab 0,26 mm;
- roomavuse (ja isegi mitte elastsusmooduli) suurust ei ole normis antud, kuid see on puidu üldistele väärtustele tuginedes oletatavasti umbes 0,34 mm, eeldusel, et tehakse järelpingestamine.
- teraskruvi pikenedamine pinge all:
 $v = \sigma \times l/E = 864 \times 30/210\,000 = 0,123 \text{ mm}$
- taldrikvedrusid, kummipatju või muid elastseid liikumapanijaid saab hõlpsasti kasutada sellisel määral, et pingekaod jäävad alla 30%.

Kui koormuse kestus- ja kasutusklass ei peaks hõõrdväärtusi mõjutama, võib kirjutada liite lõikemahuks $R_k = \text{kao koefitsient} \times \mu \times P_v$:

Kruvile 8.8 ja siledale jätkuplaadile: $R_k = 0,7 \times 0,6 \times 18\,432 = 7\,741 \text{ N}$

Kruvile 8.8 ja soontega jätkuplaadile: $R_k = 0,7 \times 0,6 \times 31\,104 = 13\,064 \text{ N (2)}$

Kruvile 12.9 ja siledale jätkuplaadile: $R_k = 0,7 \times 1,2 \times 18\,432 = 15\,483 \text{ N}$

Kruvile 12.9 ja soontega jätkuplaadile: $R_k = 0,7 \times 1,2 \times 31\,104 = 26\,127 \text{ N}$

Vineeri rebenemiskindlus:

Kõigepealt arvutatakse puhas tõmbetugevus alusplaadi ribal D 50 mm:

kasevineer: $41,6 \times 15 \times 50 = 31\,200 \text{ N}$

okaspuitvineer: $16,4 \times 15 \times 50 = 12\,300 \text{ N}$

Need väärtused tuleb korrutada koefitsientidega k_{mod} , kuid on ilmne, et vineeri rebenemiskindlust ei tule mõõta, vähemalt kasevineeri puhul, kui väärtustele lisada ka vineeri lõiketugevus.

Näidiste (A) ja (B) kokkuvõte: hõõrdliite kandevõime on võrreldes tavapärase varslitega 5...31-kordne.

Pildimaterjal:

Sõrestiktüüpi puitkonstruktsioonide uurimus (Verkkomaisten Puurakenteiden Tutkimus)

Projektijuhtimine:

Eero Paloheimo

Arhitektitöö:

Pook Arkkitehtitoimisto Oy

Katariina Rautiala, SAFA arhitekt

Pentti Raiski, SAFA arhitekt

Konstruktsioonikavand:

Nuvo Engineering Oy

Väikemudelid:

Heinola Instituut / peenpuusepad

Fotod:

Arja Lampinen

Pilt 7.1

Puit-koorikkonstruktsiooniga jalgpallihall (Jalkapallohalli)

Tellija:

Skanska Etelä-Suomi Oy

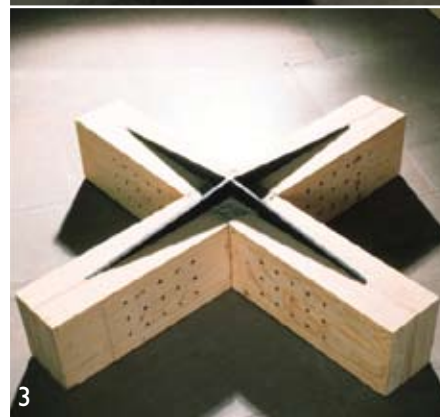
Arhitektitöö:

Pook Arkkitehtitoimisto Oy

Konstruktsioonikavand:

Nuvo Engineering Oy

Risto Mäkipuro DI



Pilt 17: Sõrestiktüüpi puitkonstruktsioonide uurimus (Verkkomaisten Puurakenteiden Tutkimus), mitmesugused liitemudelid.

1. terasplaatidega liide; 2. surverangid, 3. surveviide terassarruse ja betoonivaluga, 4. elastse kummipunutisega tehtud liide