

MASSIIVIPUURAKENTEINEN UIMAHALLI

Selvitys puurakenteiden mahdollisuuksista ja edellytyksistä uimahallirakentamisessa

Case Elmon uimahalli



Sisällys

1	Yleistä tietoa puusta uimahalliympäristössä.....	4
1.1	Puun kosteuskäyttäytyminen.....	4
1.2	Puun lämpötekniset ominaisuudet.....	7
1.3	Hankkeisiin soveltuva puumateriaali.....	7
1.4	Puu ja paloturvallisuus.....	12
1.5	Yhteenveto	13
2	Uimahallien runkorakenteet	14
2.1	Massiivipuorakennesuunnittelun perusteita	14
2.2	Runkorakenneratkaisut.....	25
3	Uimahallien sisärakenteet.....	44
3.1	Kosteiden tilojen rakenteet.....	44
3.2	Kuivien tilojen rakenteet.....	45
4	Puun käyttö julkisivuissa	46
4.1	Modifioitu puutavara.....	48
4.2	Puun pintakäsittelymenetelmiä	51
5	Soveltaminen muihin puurakenteisiin halleihin.....	55
6	Yhteenveto	56

Johdanto

Tätä selvitystä on laadittu erillisenä hankkeena rinnan Elmon urheilupuistoon Vantaalle toteutettavan Elmon uimahallin suunnittelutyön kanssa. Elmon hankesuunnitelmavaiheen rakennustapaselostuksen mukaan uimahallissa on käytetty mahdollisimman paljon puuta *”siellä missä se on rakenteellisesti ollut mahdollista ja järkevää.”* Tämän tutkimuksen lähtökohtana on ollut selvittää voisiko puun käyttö uimahallirakentamisessa olla perusteltua muuallakin kuin allashallien kantavissa rakenteissa ja sisä- ja ulkopintojen verhoiluissa. Selvityksen keskeisenä lähtökohtana on ollut avata puu-uimahallirakentamisessa huomioon otettavia seikkoja. Rakennratkaisut on valittu sillä perusteella, että ne olisivat sovellettavissa Elmon ja muidenkin uimahallien suunnitelmiin.

Selvityksen referenssikohteena toiminut Elmon uimahalli on laajuudeltaan noin 5800 kem² ja halli käsittää suuren 50 metriä pitkän 10-rataisen pääaltaan (1300 m²). Lisäksi halliin toteutetaan pienemmät terapia-, opetus- ja lasten altaat (n. 100 m²/kpl) sekä hyppytornin yhteyteen hyppyalas (n. 90 m²), tornista laskeutuvan liukumäen päätepisteenä toimiva liukumäkiallas sekä kylmävesiallas (molemmat n. 10 m²). Uimahallissa on symmetriset puku- ja pesutilat, joissa on yhteensä neljä löylyhuonetta, kaksi höyrysaunaa ja noin 40 suihkupisteen pesutilat.

Elmon uimahallin suunnitelmien pohjalta on tunnistettu uimahallin rakennustypologiaan liittyviä erityisiä kohtia, joissa puurakenteiden käyttö vaatii erityisosaamista ja huomiota, niin suunnittelu- kuin rakennusvaiheessa. Puurakenteiden käytöllä on merkittävä ilmastovaikutus rakennuksen käyttötarkoituksesta riippumatta. Selvitys ei kuitenkaan keskity puurakentamisen yleisiin hyötyihin vaan uimahallirakennuksien erityispiirteisiin. Keskeiset rakenteisiin liittyvät havainnot ovat hyödynnettävissä myös muissa pitkiä jännevälejä tai vaativia kosteusolosuhteita sisältävissä rakennuskohteissa.

Ensimmäinen luku käsittelee yleisesti puun ominaisuuksia materiaalina uimahallirakentamisen kontekstissa. Puu ja vesi eivät ole ollenkaan huono yhdistelmä. Seuraavat luvut esittelevät keskeiset havainnot ja edellytykset uimahallin rakennusosien toteuttamiseksi puisina. Yhteenvedoon on tiivistetty selvitykset keskeisimmät havainnot.

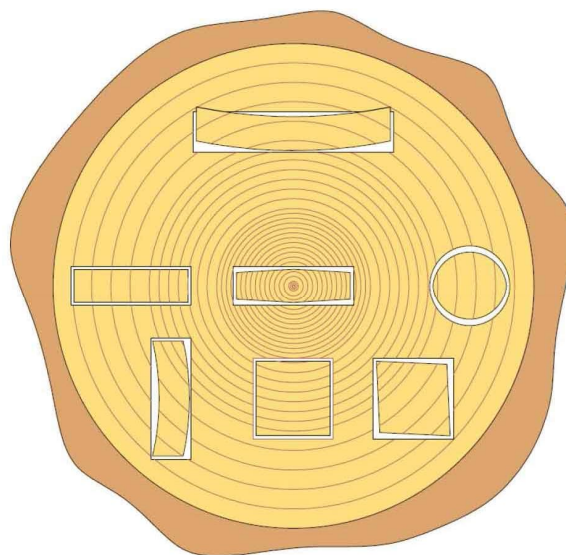
Selvityksen tekijät ovat Planetary Architecture / Pekka Pakkanen ja Antti Mikola sekä Maatammi Developers / Pekka Koskela. Työn tilaaja on Vantaan kaupunki. Työ on tehty osin Ympäristöministeriön Puurakentamisen edistämishjelman tuella.

1 Yleistä tietoa puusta uimahalliympäristössä

Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi puulle materiaalina ominaisia piirteitä. Puun ominaisuudet kuten puuaineksen tiheys ja kovuus vaihtelevat puulajeittain ja myös saman puukappaleen eri suunnissa. Lisäksi puuaines reagoi ympäröivään ilmankosteuteen, muuttaen näin muotoaan ja rakenteellisia ominaisuuksiaan ympäristönsä mukaan.

1.1 Puun kosteuskäyttäytyminen

Materiaalina puulla on kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta. Puulle ominainen turpoaminen ja kutistuminen johtuvat juuri puun sisältämän kosteuden muutoksista: kuivuessaan puuaines kutistuu ja puun soluseinämien sitoessa sisäänsä vettä, puuaines turpoaa. (lisätietoa www.puuinfo.fi/puutieto)

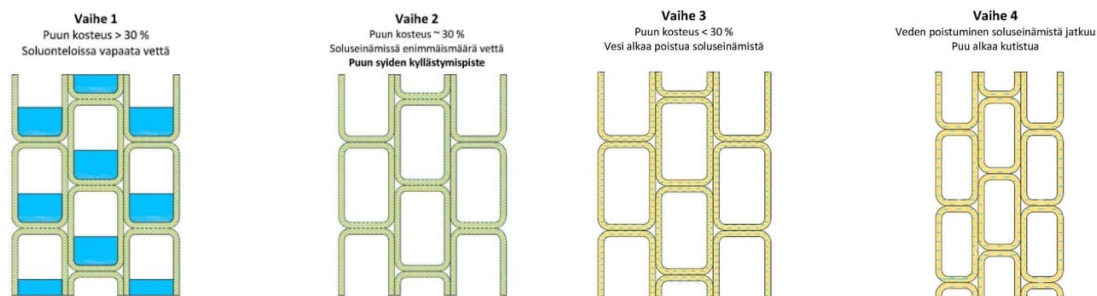


Kuva 1. Säännölliseen muotoon sahatun puutavaran kosteuselämisestä aiheutuvat muodonmuutokset riippuvat sahatavaran alkuperäisestä sijainnista puun rungossa. (kuvalähde & lisätietoa: www.puuinfo.fi)

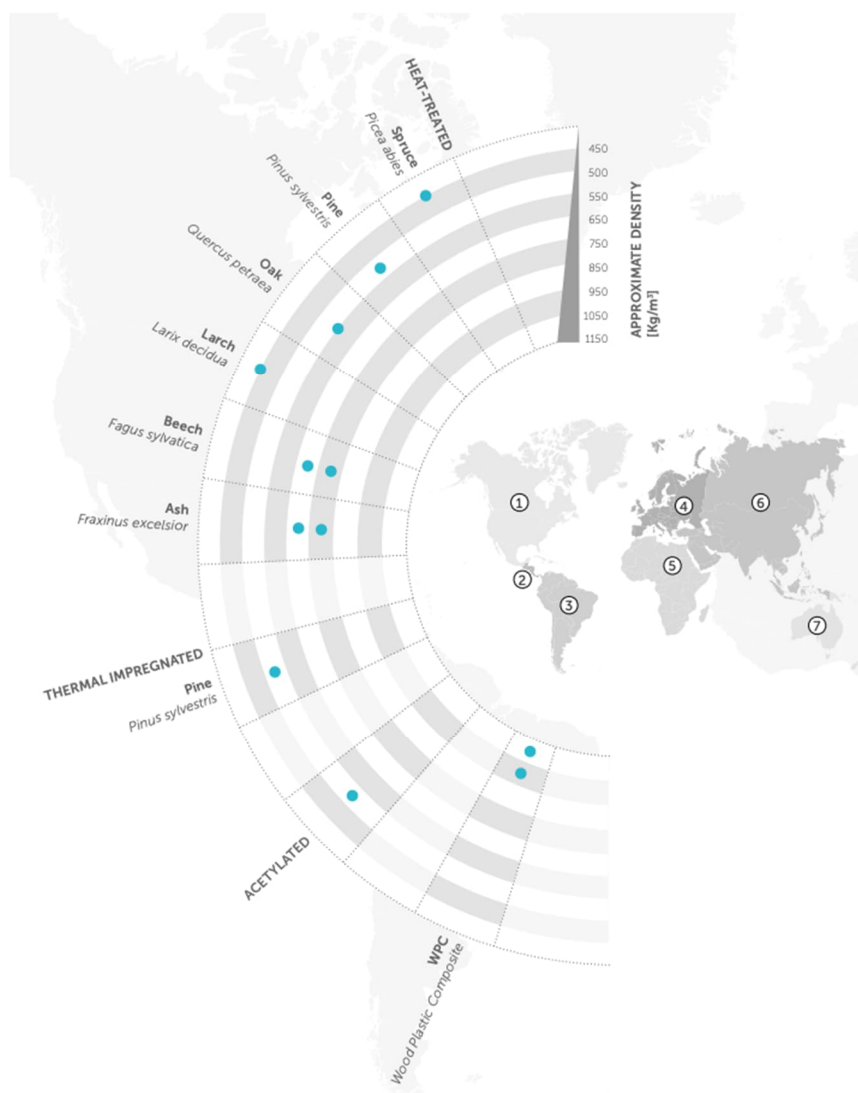
Muodonmuutokset eivät vaadi suoraa kosketusta veden kanssa, vaan puu laajenee ja kutistuu jo ympäröivän ilmankosteuden vaihtelun vaikutuksesta. Koska puu on anisotrooppinen materiaali (eli aineen ominaisuudet ovat keskenään erilaisia eri suunnissa) on myös sen kosteuskäyttäytyminen erilaista eri suuntiin (ks. kuva 1.)

Kaadetun puun kuivuessa ensimmäisenä soluonteloista poistuu vapaa vesi. Kun ontelot ovat tyhjentyneet vedestä mutta soluseinämät sisältävät enimmäismäärän vettä, tuoreen havupuun kohdalla puun kosteus on noin 30 %. Soluseinämien ollessa yhä täynnä vettä, puuaines ei ole vielä altistunut muodonmuutoksille. Soluseinämien sisältämän veden poistuessa puuaines kuivuu ja kutistuu, kunnes se saavuttaa ympäröivän ilmankosteuden mukaisen tasapainokosteuden. Puun kuivauksessa pyritään eri kosteusarvoihin käyttötarkoituksesta riippuen: esimerkiksi runkopuutavaran suositusarvona on $\leq 20\%$ kun sisätilojen lattiaverhouksille arvo on 10 %. Puun kosteuden ollessa alle 20 % sen katsotaan yleisesti olevan turvassa lahottajasieniltä, homeilta ja muilta biologisilta tuholaisilta. Puuaineksen pitkäikäisyyteen ja ominaisuuksiin vaikuttaa myös

käytetty puulaji: Trooppiset kovapuut kestävät huomattavasti pohjoismaisia havupuita paremmin kosteusrasitusta. Kotimaisten lajien välillä on myös merkittäviä eroja, esimerkiksi koivu lahoaa ulkokäytössä nopeasti mutta lehtikuusi kestää hyvin ulkoilmaa ja vettä. (www.puuinfo.fi/puutieto)

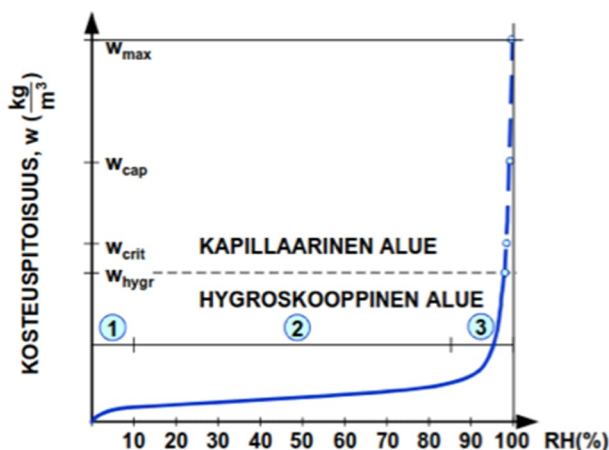


Kuva 2. Puun soluonteloiden ja soluseinämien kuivumisen vaiheita. (kuvalähde ja lisätietoa www.puuinfo.fi)



Kuva 3. Puulajit tiheyden mukaan. Rothoblaas screws and connectors for timber. 244

Uimahalleille tyypillisessä allashallin sisäilmassa puun tasapainokosteus ei todennäköisesti nouse yli 14 prosentin, joka on turvallisesti alle lahoamiselle altistavan 20 % rajan. Näin ollen puun lahoamiselle altistavan kosteusriskin muodostavat uimahalleissa lähinnä kondenssivesi ja suora kastuminen. (WIS 0-1, s.2)



Hygroσκοoppinen alue puumateriaalin sisäisen kosteuspitoisuuden (w) ympäröivään ilmakeuuden (RH%) suhteen, kuvaa materiaalin solurakenteelle kohdistuvia muutoksia. Hygroσκοoppinen alue kuvaa puun termodynaamista tasaavaa ominaisuutta materiaalina. Lämpötilan ja kosteuden erot tasoittuvat materiaalin sisällä ja asetetuissa ulko-olosuhteissa materiaalin huokoisuuden johdosta. w_{crit} kuvaa kriittistä rajaa ilmakeuuden ja materiaalikosteuden suhteen, jolloin puun solukko kyllästyy ja kapillaarinen kosteuden siirtyminen materiaalin sisällä alkaa. Kapillaarisen alueen vaikutusolosuhteissa mahdollistuvat homekasvustot ja lahottajien edistymisen, kun puu altistuu olosuhteelle yli kaksi viikkoa.

Kuva 4. Huokoisen materiaalin (puu) hygroσκοoppisuuden kuvaaja. Vihna et al. 2017

1.1.1 Kondenssivesi

Kondenssivettä syntyy, kun lämpimän ilman sisältämä vesihöyry tiivistyy ilmaa kylmemmälle pinnalle, kuten esimerkiksi kylmän lasin tai tölkin pinnalle kuivana kesäpäivänä. Tyypillisessä uimahallissa veden lämpötila on 26 °C ja sisäilman lämpötila 28°C. Näiden vaikutuksesta sisätilan vesihöyryn paine on selvästi tyypillisiä sisäilmaolosuhteita suurempi ja kondenssiveden tiivistyminen pinnoille todennäköisempää. Tästä syystä uimahalleissa on huolehdittava riittävästä ilmanvaihdosta, jotta sisäilman suhteellinen ilmakeu pisyä alle 65 prosentissa. 70 % ja sen ylittävä ilmakeu altistaa puun pinnan homekasvustoille, vaikka varsinaista kondenssivettä ei muodostuisikaan. Kontrolloidulla ilmanvaihdolla tulee myös määrittää ilmakeuden minimiksi 45 %, jotta puurakenteet eivät pääse kuivumaan ja altistumaan muodonmuutoksille. Altaista sisäilmaan haihtuvan kosteuden minimoimiseksi altaan lämpötilan tulisi olla 1–2 °C sisäilmaa kylmempää. (WIS 0-1, s.2) Vesihöyryn tiivistyminen seinärakenteiden sisään eri materiaalien välisiin rajapintoihin on myös todellinen riski, joka tulee huomioida. Massiivipuorakenteiden kyky vastaanottaa ja luovuttaa kosteutta tekeekin niistä myös erityisen hyviä rakenteita.

Pohjoismaisen vaalean puun hygroσκοoppisuus tiheys allas- ja suihkutilassa on huomioitava aina massiivipuutuotteita käytettäessä kosteissa sisätiloissa, joissa ilmakeuden ylärajaksi asetetaan RH% 70. (Käytännössä ilmakeu ei ylitä pitkäaikaisesti arvoa RH% 65.) Rakennusautomaatiolla ja ilmanvaihtojärjestelmän oikealla säätö- ja laitemitoituksella saavutetaan riittävä ilmakeuvasukapasiteetti uimahallien allastilojen yleisissä sisäkorkeuksissa. Mahdolliset katvealueet rakenteiden onteloissa tai väliköissä huomioitava, ilman liikkeestä ja konvektiosta huolehdittava näissä tilanteissa.

1.1.2 Suora kastuminen

Puupintojen suoraa ja usein toistuvaa kastumista tulee välttää. Uimahalliolosuhteissa kastumista kuitenkin tapahtuu ja tämä tulee huomioida suunnittelemalla vedelle altistuvat puupinnat siten, ettei vesi jää pinnalle imeytymään puun solukkoon, vaan valuu hallitusti pois. (WIS 01, s.2) Lisäksi ajoittain suoralle kastumiselle altistuvat puupinnat on suositeltua suojata vedenpitävällä pintakäsittelyllä. (WIS 0-1, s. 04)

Puurakenteet voivat siis hetkellisesti kastua, kunhan puu pääsee aina myös kuivumaan. Ennen pitkäkestoisempien materiaalien kehittämistä, puusta tosin rakennettiin myös jatkuvalla kosteusrasitukselle altistuvat rakenteet kuten veneet ja kylpytynnyrit.

1.2 Puun lämpötekniset ominaisuudet

Puun lämmönjohtavuus (suunnitteluarvo 0,12 W/(mK)) on useaan muuhun rakennusmateriaaliin verrattuna suhteellisen alhainen puuaineksen huokoisuuden vuoksi. Näin puulla on hyvä lämmöneristävyys verrattuna moniin muihin runkomateriaaleihin, eikä puu muodosta kylmäsiltoja esimerkiksi teräksen tapaan, jonka lämmönjohtavuus on yli 400-kertainen puuhun verrattuna. Puuaineksen anisotrooppisuuden takia myös lämmönjohtavuus vaihtelee puuaineksen eri suunnissa; lämmönjohtavuus syiden suunnassa on noin kaksinkertainen verrattuna lämmönjohtavuuteen kohtisuoraan syihin nähden. Männyn tapauksessa syiden suuntainen lämmönjohtavuus on 0,22 W/mC ja kohtisuoraan syihin nähden 0,14W/mC. (www.puuinfo.fi/puutieto)

Rakennusmateriaali	Normaalinen lämmönjohtavuus
Puu, mänty, kuusi	0,12
Reikätiillimuuraus	0,6–0,7
Betoni	1,2–1,7
Rauta, teräs	50

(Taulukko 1.1. Rakennusaineiden lämmönjohtavuuksia. Lähde: Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä, Lämmöneristys, ohjeet 2003)

Puun lämmönjohtavuus ja lämmönvaraamiskyky ovat myös sidoksissa puuaineksen kosteuspitoisuuteen. Koska veden lämmönjohtavuus ja -varaamiskyky ovat puuta suuremmat, puun sisältämän kosteuden lisääntyessä molemmat arvot kasvavat. (www.puuinfo.fi)

Puun ominaisuuksien ansiosta vesihöyry ei kondensoidu puun pinnalle samalla tavalla kuin esimerkiksi teräksen, betonin, lasin tai keraamisten laattojen.

Puurakenteille on kuitenkin tarpeen määritellä hallitut kuivumisolosuhteet rakennuksen käyttöjakson alussa, ja varmistaa ettei myöskään liiallinen kosteus vahingoita rakennuksen osia.

1.3 Hankkeisiin soveltuva puumateriaali

1.3.1 Käyttöluokat

Puun rakenteelliset ominaisuudet riippuvat materiaalin sisäisestä kosteuspitoisuudesta. Tästä syystä puun lujuusominaisuuksien määrittämiseksi on otettava huomioon myös puurakennetta ympäröivät olosuhteet. Käyttöluokilla saadaan määriteltyä kolme ilmankosteudeltaan toisistaan poikkeavaa

ympäristöä, ja puurakenteet tulee aina suunnitella johonkin näistä. Rakenteen käyttöluokka vaikuttaa suoraan rakennesuunnittelussa käytettyihin laskentakaavoihin ja niissä esiintyviin muunnoskertoimiin (ks. taulukot 2.1 ja 1.3).

Käyttöluokkien sanalliset määrittelyt löytyvät Eurokoodien SFS EN 1995-1-1 standardin kansallisesta liitteestä (2016, 10–11), jonka mukaan käyttöluokka 1 on tyypillisesti kuiva sisätila, johon lasketaan myös lämpöeristeen sisällä sijaitsevat rakenteet, kun näiden vedetty puoli on eristeen sisällä. Käyttöluokkaan 2 kuuluvat rakenteet, jotka sijaitsevat ulkotiloissa, mutta ovat säältä suojattuna. Tällöin rakenteen tulee olla kosteudelta hyvin suojattu myös alta ja sivulta. Esimerkkeinä käyttöluokasta 2 mainitaan esimerkiksi rossipohjan ja kylmän ullakkotilan kantavat puurakenteet. Käyttöluokka 3 käsittää taas säälle alttiit ulkotilat ja muut kosteat tilat, joissa kosteusarvot ylittävät käyttöluokassa 2 määritellyt olosuhteet. Taulukossa 1.2 on esitetty kullekin käyttöluokalle tyypilliset kosteusolosuhteet.

Käyttöluokka	Tyypilliset piirteet	Tyypilliset käyttötilanteet
KL1	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaalien kosteus tyypillisesti lämpötilaa + 20 °C vastaava. - Ilmankosteus ylittää arvon 65 %RH enintään muutamana viikkona vuodessa. Ilmankosteuden ylärajaksi säädetty koneellisesti usein 70 %RH. - Havupuun kosteus tyypillisesti ≤ 12 %. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lämmitetyt sisätilat, tai vastaavat olosuhteet. - Lämpöeristekerros, siinä sijaitsevat puurakenteet (pilarit ja palkit) joissa vetopuoli eristeen sisäpuolella.
KL2	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaalien kosteus tyypillisesti lämpötilaa + 20 °C vastaava - Ilmankosteus ylittää arvon 85 %RH enintään muutamana viikkona vuodessa. - Havupuun kosteus tyypillisesti ≤ 20 %. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ulkoilmassa olevat suojatut puurakenteet. Rakenne sijaitsee katetussa ja tuuletetussa tilassa, sekä on suojattu suoralta kastumiselta. - Kylmä ullakkotila ja rossipohjan rakenteet.
KL3	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaalien kosteusarvot suuremmat kuin käyttöluokassa 2. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ulkona säälle alttiina olevat rakenteet - Kosteassa tilassa tai veden välittömän vaikutuksen alaisena olevat puurakenteet.

Taulukko 1.2. Puun käyttöluokkien tyypillisiä piirteitä

Puun käytölle säälle alttiina olevissa rakenteissa on myös säärasitusta tarkemmin kuvaava EN 335 standardin mukainen luokittelu. Standardin mukaan käyttöluokka 4 käsittää sateelle altistumisen lisäksi myös suoran kosketuksen maahan tai makeaan veteen ja käyttöluokka 5 altistumisen suolavedelle (ks. kuva 5).

Uimahallirakenteet ovat standardimäärittelyltään verrattavissa ulkokäyttöluokkaan (EN 335 Luokka 3 ja 4). Mikäli jatkuva kosteusolosuhde nousee 80 %-painoyksikön tasolle, käyttöluokkavaatimus on 5.

Tasaista kosteutta haitallisempaa on kosteuden vaihteluiden vaikutus puuainekseen, joten myös kosteuden vaihteluihin tulee kiinnittää huomiota käyttöluokan määrittämisessä. (RIL 205-1-2017 2019, 33).

Biologinen kestävyys

Puun ja puutuotteiden tulee kestää myös biologista rasitusta. Tämä varmistetaan joko riittävällä standardin EN 350-2 mukaisella luontaisella biologisella kestävyydellä EN 335 standardin mukaisessa biologisen rasituksen käyttöluokassa (riskiluokka) tai puutuotteiden suojakäsittelyillä standardien EN 351 ja EN 460 mukaan. Suojakäsittelyvaatimukset on määritetty tarkemmin standardeissa EN 350-2, EN 351 ja EN 599-1 ja -2. Puun suojakäsittelyt voivat vaikuttaa materiaalin lujuuskestävyyteen, joten niille edellytetään ETA / CE –hyväksyntä.

1.3.2 Puutavaralle asetetut standardit

Sahatavaran tulee olla standardin EN 14081-1 mukaista ja sormijatkettujen tuotteiden standardin EN 15497 mukaisia. Havupuutuotteiden "solid" -sahatavaran lujuusluokka on C24, silloin kun kyseessä Suomessa kasvanut puu, tai tähän vertautuva.

Käytettäessä kokonaan veden kyllästämää tuoretta tai kastunutta sahatavaraa, lisätään taulukossa 3.1. esitettyihin virumalukuihin k_{def} arvo 1,0.



Liimapuun tulee täyttää laatustandardi EN 14080 vaatimukset. Taulukossa 2.3. on esitetty sahatarakaupan yleisimmät lujuusluokat ominaisuuksineen.

LVL-tuoteosien on oltava standardissa EN 14374 esitetyn mukaisia. Erot Kerto-S, Kerto-T sekä ristiviilutetun Kerto-Q tuotteiden lujuus- ja jäykkyysominaisuuksissa on otettava huomioon. Tarkat taivutuslujuudet LVL-tuoteosille määritetään toteutussuunnittelun yhteydessä.

Puulevyille asetetut vaatimukset on kuvattu standardissa EN 13986, joka käsittää suomalaiset ohut- ja paksuviiluiset havuvanerit, koivuvanerit sekä lastu- ja OSB-levyt. Puulevyjen pääasiallinen käyttötapa on puurakenteiden jäykistävinä osina. Huokoisten levyjen tulee olla ETA-hyväksyttyjä tai ympäristöministeriön kohde-/ tyyppihyväksyttyjä suunnittelustandardin EN 1995 mukaan. Laajemmat ominaisuustiedot suomalaisista vanerituotteista *Vanerikäsikirjasta* (Metsäteollisuus ry, 2001).

Kuva 5. Puun käyttöluokat EN 335- standardissa.
Kuvälähde: Rothoblaas screws and connectors for timber 2021. 247

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu		Halkaistu liimapuu
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL24c	GL30c	GL30cs ¹⁾
Ominaislujuudet (N/mm ²)							
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	24	30	28
Veto	$f_{t,0,k}$	10	14,5	19	17	19,5	18,7
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	24	21,5	24,5	23,3
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,5	2,5	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)							
Kimmo-moduuli	$E_{0, \text{mean}}$	9000	11000	12000	11000	13000	12500
	$E_{90, \text{mean}}$	300	370	400	300	300	300
Liukumoduuli	$G_{0, \text{mean}}$	560	690	750	650	650	650
Tiheydet (kg/m ³)							
Ominastiheys	ρ_k	320	350	380	365	390	390
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	380	420	460	400	430	430

Taulukko 1.3. Sahatavaran ja liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet yleisimmissä lujuusluokissa. ¹⁾ Vakioluokka Suomessa. (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020, 17.)

Kuten oheisesta taulukosta näkyy, puun materiaaliset ominaisuudet vaihtelevat sekä puun laatuluokan että puukappaleen suunnan mukaan.

1.3.3 Erityishuomiot liimapuun käytöstä

Liimapuutuotteita käytettäessä liimatuotteiden valintaan tulee kiinnittää huomioita. Valinnassa on tarpeellista huomioida

- tuoteosatoimittajan liimausmenetelmien sertifiointi ja tyyppivaatimusten täyttäminen: *European Technical Assessment issued in accordance with regulation (EU) No 305/2011 (CE – tuotehyväksyntä)*
- puurakenteille asetettujen määräysten mukaisuus: *SFS-EN 1995 YHTENÄISTETTY EUROKOODI 5*

Lisäksi hankinnoissa on huomioitava kansantaloudellisen ja ekologisen näkökulman johdosta tuotannon kotimaisuus ja vastuullisuus.

Liimojen ja sidosaineiden on saavutettava kosteuskestävyysvaatimukset sisätilassa jatkuvana allastiloissa RH% 70 ± 10 sekä suihkuhuoneissa RH% 90 ± 10. Saunatiloissa rakenteellisen sidosaineen tulee kestää min. 150 asteen lämpötilassa vähintään 8 tunnin ajan. Käytettäessä liimoja ja liitosaineita käyttäjän tulee aina tutustua käyttöturvallisuustiedotteeseen ja noudattaa valmistajan ohjeita ja varotoimia rakenteellisiin liima- ja sidosaineisiin liittyen. (EUROFINS ETA Expert Report. 2020)

Kotimainen toimija Kiilto tuottaa suorituskykyisiä massiivipuuosien liitosaineita, PUR-liimoista ETA –sertifioituna tuotteena valikoimassa mm. Kestopur G10. *Declaration of Product*:sta ilmenee tuotteen käyttösoveltuvuus. Kiilto Oyj jatkokehittää ja valvoo tuotteiden asianmukaista käyttöä ja

suorituskykyä. Tuoteosatoimittajilta on saatavissa liimauspöytäkirjat ja sahatavaran alkuperävahvistukset, tuotantoajankohdan kosteuspitoisuuksien kirjauksineen. Rakennusurakan valvoja ja projektinjohtaja voivat pyytää nähtäville toimituksen yhteydessä asiakirjat koskien kyseisen hankkeen tuoteosatoimitusta.

Rakenteellisten liimojen pääominaisuudet

Lujuus – Sidosaineen riittävä rakenteellinen lujuus.

Kestävyys – Ympäristön tyyppi, jolle sidos altistuu (nestemäinen vesi, kosteus, lämpö, kylmyys, kemikaalit, valo, kuormitustaso) ja altistuksen pituus määräävät sidoksen kestävyys.

Kostuttaminen – Öljyisellä pinnalla oleva vesiohenteinen liima ei todennäköisesti leviä, ellei liima sisällä pinta-aktiivisia aineita, orgaanisia liuottimia tai muita aineita, jotka helpottavat sen leviämistä ja muodostavat molekyylikosketuksen pinnan kanssa.

Ajoitus – Useita ajoitustekijöitä on otettava huomioon. Käyttöaika liittyy siihen aikaan, jonka jälkeen liima levitetään puuhun. Avoin aika on aika liiman levittämisen ja kappaleiden liittämisen välillä. Suljettu aika tarkoittaa aikaa kappaleiden liittämisen ja paineen välillä. Kiinnitysaika määräytyy sen ajan mukaan, joka on asetettu siihen asti, kunnes valmis kappale voidaan purkaa. Lämpötilan nostaminen yleensä lyhentää kovettumis- ja kovettumisaikaa.

Viskositeetti – Viskositeetin on oltava yhteensopiva levityslaitteiston kanssa, olipa se sitten sivellin, lasta, pursotin, verhosuutin, ruisku tai jauheen annostelulaite. Lisäksi liiman tulee olla riittävän juoksevaa päästäkseen puun tyhjiin tiloihin, mutta ei niin juoksevaa, että suurin osa liimasta puristuu ulos sidoslinjasta aiheuttaen vajaan liitoksen.

Sekoitus – Jos vettä, kovetinta, katalyyttiä, täyteainetta tai jatkeainetta on sekoitettava hartsin kanssa, on käytettävä asianmukaisia laitteita.

Paine – Liitoksiin kohdistetaan painetta osien välisen tiiviin kosketuksen varmistamiseksi. Yleensä useimmat puuliimat eivät täytä rakoja hyvin ja vaativat siksi korkeaa painetta. Paine auttaa myös liimaa levittymään ja tunkeutumaan puun pintaan pakottamalla sen puun tyhjiin tiloihin tasaisen ainekerroksen aikaansaamiseksi. Liian korkeaa painetta, jonka seurauksena liima pursuu suurelta osin puristettavan kappaleen sivupinnasta ulos, tulee kuitenkin välttää. Puristuksessa käytetään tarpeen mukaisesti myös sivupuristusvaihetta.

Lämpötila – Liiman tulee toimia erilaisissa lämpötiloissa. Ympäröivä lämpötila voi vaikuttaa liiman käyttöikänsä, aukioloaikaan ja kovettumiseen. Fenoli-formaldehydi-, melamiini-formaldehydi-, urea-formaldehydi- ja isosyanaattiliimat on kovetettava korkeissa lämpötiloissa ja ne vaativat kalliita, kuumennettuja puristimia. Jotkut näistä liimoista kovettuvat muutamissa minuuteissa. Emulsiopolymeeri-isosyanaatit, poly(vinyylisetaatti), epoksi, polyuretaanit ja resosinolia sisältävät liimat kovettuvat hyvin huoneenlämmössä.

Kosteuspitoisuus – Monet liimat tarvitsevat alhaisen puun kosteuspitoisuuden tunkeutuakseen puuhun. Isosyanaatit ja polyuretaanit ovat kuitenkin vähemmän herkkiä ja voivat jopa toimia paremmin korkeammissa kosteuspitoisuuksissa.

Väri- ja viimeistely – Sisätiloissa, joissa ulkonäkö on kriittinen, liiman väri, kyky imeä tahroja ja pintakäsittelyvaihtoehdot sekä vuototahrattomuus ovat tärkeitä tekijöitä.

Helppous ja yksinkertaisuus – Yksiosaiset liimat, kuten poly(vinyylisetaatti), yksiosainen polyuretaani, sulateliima ja fenoli-formaldehydi, ovat yksinkertaisimpia käyttää, koska komponenttien punnituksessa ja sekoittamisessa ei ole mahdollisuutta tehdä virheitä. Vesiohenteiset liimat on helppo puhdistaa. Kaksi- tai monikomponenttiset liimat vaativat komponenttien huolellisen mittauksen ja sekoittamisen ja vaativat usein erityisiä liuottimia liimauksen jälkeiseen puhdistukseen. Korkea vedenkestävyys tarkoittaa usein vaikeampaa puhdistamista kovettuessaan.

Kustannukset – Koska liimat ovat kalliimpia kuin puu, liiman hinta sekä siihen liittyvien levityslaitteiden kustannukset ja työvoimakustannukset on otettava huomioon.

Turvallisuus ja ympäristö – Monet liimat kovettuvat kemiallisissa reaktioissa ja ovat siksi vaarallisia kovettumattomassa tilassa. Jopa vesiohenteisissa liimoissa voi olla orgaanisia kemiallisia komponentteja, jotka haihtuvat aiheuttaen terveysongelmia työntekijöille ja kuluttajille. Liimat ovat usein myrkyllisiä iholle tai niistä vapautuu myrkyllisiä huuruja. Formaldehydikovetin resorsinoli-, fenoli-, melamiini- ja urealiimoille on voimakas ärsyttävä aine. Joissakin epoksiliimoissa olevat amiinikovatimet ovat voimakkaita ja ihoa herkistäviä. Kemiallinen herkkyys voi johtua toistuvasta altistumisesta kovettumattomille liima-aineille. Viime vuosina orgaanisten liuottimien kustannukset ja haihtuvien aineiden talteenoton kustannukset ilman pilaantumisen ehkäisemiseksi ovat lisääntyneet. Korvaavat vesiohenteiset liimoitusjärjestelmät voivat olla halvempia vesiliuottimen alhaisen hinnan vuoksi; Puun syyn kohoaminen, hitaampi kuivuminen ja lopputuotteen suorituskyky on kuitenkin otettava huomioon.

1.3.4 Poikkeamat massiivipuutuotteissa

Massiivipuutuotteissa voi tapahtua mitoitus- tai tuotantovirheiden johdosta tai sahatavaran kosteuselämisestä johtuvaa delaminointia eli liimapuisen tuoteosan liimaliitoksen irtoamista, jolloin liiman impregmentointi epäonnistuu tuotantoprosessissa liiman avoimena olevan reagointiajan ja puristuksen yhteydessä. Tällöin lamellikerrosten välinen puu-liima-puu-sidos irtoaa, eikä materiaalien lujaa liitosta synny suunnitellusti, tai puukerroksessa tapahtuu merkittävää tarkoituksetonta halkeilua. Puutuoteosa voi tällöin menettää kuorman kantokykynsä tai muita merkittäviä ominaisuuksia. Useimmiten virheet ja viat ovat näkyviä, ja niitä todetaankin säännöllisten visuaalisten tarkastusten yhteydessä.

Tuotevirheet ovat harvinaisia sertifioitujen tuotantomenetelmien ja valvonnan johdosta. Delaminoinnin tai liiallisen rakenteellisen halkeilun ilmetessä tehdään rakennekuvaus. Massiivipuusiin on mahdollista toteuttaa paikallisia korjauksia puumateriaalin hyvän työstettävyyden ansiosta.

1.4 Puu ja paloturvallisuus

Rakennusten vaadittu paloturvallisuus osoitetaan suunnittelemalla rakennus joko:

- a) ympäristöministeriön rakennusten paloturvallisuutta koskevan asetuksen luokka- ja lukuarvoihin perustuen (ns. taulukkomitoitus)

- tai b) tapauskohtaisesti kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyviin palotilanteisiin perustuen (toiminnallinen palomitoitus).

Tapauskohtainen oletettuun palonkehitykseen perustuva mitoitus määrittää kohteen paloluokaksi aina P0. Palomääräysten paloluokkiin ja lukuarvoihin perustuvassa suunnittelussa rakennukset jaetaan luokkiin P1, P2 ja P3. Rakennuksen eri osat voivat myös olla keskenään eri paloluokassa, mikäli niiden välillä on palon leviämisen estävä palomuri.

Paloluokat sisältävät keskenään eritasoisia vaatimuksia rakennuksissa käytetyille rakenteille, joiden riittävä paloturvallisuus varmistetaan REI-luokkien avulla. Kirjainyhdistelmän R merkitsee rakenteen kantavuutta, E tiivyyttä ja I eristävyyttä. Puuhallirakentaminen asettuu tyypillisesti paloluokkaan P1 tai P2, ja hallien runkorakenteita koskevat vastaavasti vaatimukset REI60 ja REI90. Suurten kokoontumusrakennusten (sis. uimahallit) kohdalla palo-osastojen suuri koko edellyttää usein tapauskohtaista suunnittelua ja P0 paloluokkaa.

REI-luokkien lisäksi rakennusmateriaaleille ja rakennusosille määritetään tarvikeluokka A1, A2, B, C, D, E tai F sen mukaan, missä määrin materiaalin tai rakennusosan sallitaan osallistuvan tulipalon leviämiseen. Käsittelemätön puu osuu yleensä luokkaan D – ”osallistuminen hyväksyttävää”, eikä sitä siksi voida käyttää esimerkiksi palo-osastoitujen poistumisteiden seinäpinnoilla. Palonsuoja-aineilla tai -käsittelyillä puupinnat voidaan nostaa luokkaan B – ”osallistuu hyvin rajoitetusti”. Tarvikeluokkaa B-s1, d0 kutsutaan usein turvallisimmaksi puumateriaalille mahdolliseksi paloluokitukseksi. Lisämääre s1 kertoo materiaalin tuottavan erittäin vähäisesti savua. Merkintä d0 tarkoittaa, ettei materiaali levitä paloa tuottamalla palavia pisaroita tai muita irtoavia osia.

Mikäli puurakenteiden halutaan olevan oleellinen ja näkyvä osa rakennuksen ilmettä, tulee niiden mitoituksessa huomioida hiiltymisvara. Palosuunnittelun perusteita puurakennuksissa on avattu tarkemmin luvussa 2.1.6.

1.5 Yhteenveto

Oikein toteutettuna massiivipuurakenteet soveltuvat hyvin myös selvästi tavanomaisia sisätiloja kosteampien uimahallitilojen toteuttamiseen. Hallitulla ilmanvaihdolla ja roiskeille altistuvien alueiden tarkalla suunnittelulla puurakenteiden tasapainokosteus saadaan pidettyä lahottajasienille liian kuivana.

Kondenssiveden tiivistyminen rakenteiden pinnoille asianmukaisen ilmanvaihdon mitoituksen sekä hallitun sisäilmalämpötilan myötä on vähäistä myös uimahalliolosuhteissa. Konvektion katvealueet voivat johtaa tällaiseen tilanteeseen. On tärkeää huolehtia kastepisteen muodostumisen ehkäisemisestä yläpohjarakenteen sisään eri rakennekerrosten väliin. Lähelle huonetilaa sijoitettu yläpohjan höyrynsulkukerros sekä sen toiselle puolelle osoitettu riittävä lämmöneristys ulkopuolista kylmää ilmaa vastaan ehkäisevät tätä ongelmaa, normaalisti vedeneristysjärjestelmän toimivuuden lisänä.

Uimahallirakenteet ovat verrattavissa ulkokäyttöluokkaan KL3.

2 Uimahallien runkorakenteet

Luvussa esitellään lyhyt tiivistys massiivipuorakennesuunnittelusta ja puorakenteiden hallitilojen perusratkaisuista. Mukana on myös valikoima selvityksen ohessa laaditun *Puun käyttö uimahalleissa -referenssikartoituksen* kohteista. Lisäksi esitetään runkorakenteisiin liittyviä erityishuomioita.

2.1 Massiivipuorakennesuunnittelun perusteita

Puurakenteiden perusvaatimukset täytetään standardin EN 1990:2002, sekä kansallisten liitteiden mukaisesti. Puorakenteet toteutetaan rajatilamitoitus- ja osavarmuuslukumenetelmien Eurokoodi 0 ja kansallisen liitteen mukaisesti. Kuormitusyhdistelmät määritetään Eurokoodi 1:n sekä kansallisen liitteen perusteella. Kestävyyden, käyttökelpoisuuden ja säilyvyyden osalta noudatetaan Eurokoodi 5:ttä ja kansallista liitettä. Suomen Rakennusinsinöörien liiton julkaisuja *RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat*, sekä *RIL 205-1-2017 Puorakenteiden suunnitteluohje* voidaan käyttää ohjeena.

2.1.1 Murtorajatilamitoitus

Lähtöoletukset tässä esitettyyn murtorajatilamäärittelyyn ovat:

- 1) Geometrisesti mallinnetut voimasuureet, lineaarista kimmoteoriaa noudattaen
- 2) Virumaluku on rakenteen kaikilla sauvoilla yhtenevä
- 3) Seuraamusluokka CC2 tai CC1 pätee (ks. RIL 205-1-2017)
- 4) Rakennetta kuormittaa omapaino, lumi, tuuli ja vain yksi A, B tai C -luokan hyötykuorma (asuin-, toimisto- tai kokoontumistila)

Murtorajatilassa vaikuttavalle liitokselle siirtymäkertoimen arvo on $K_u = 2/3K_{ser}$, jossa K_{ser} on liitoksen käyttörajatilan siirtymäkerroin, (ks. RIL 205-1-2017 taulukko 7.1.)

Pysyvän rakenteen kestävyyttä ja statiikkaa tarkastellaan aikaluokittain. Eri aikaluokissa käytetty mitoituskuorma saadaan seuraavilla kuormitusyhdistelyillä:

Pysyvä aikaluokka:	Keskipitkä aikaluokka:	Hetkellinen aikaluokka:
$1,35G_{kj}$	$1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2}$	$\max \left\{ \begin{array}{l} 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,t} + 1,05Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} \\ 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} + 0,9Q_{k,t} \end{array} \right.$

missä

G_{kj} on pysyvien kuormien ominaisarvo,

$G_{k,1}$ on lumi- ja hyötykuorman suurempi ominaisarvo,

$G_{k,2}$ on lumi- ja hyötykuorman pienempi ominaisarvo,

$G_{k,t}$ on tuulikuorman ominaisarvo.

(Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje)

Mikäli pysyvien kuormien yhteisvaikutus lisää rakenteen kestävyyttä, korvataan ominaisarvon G_{kj} kerroin 1,15 luvulla 0,9.

2.1.2 Käyttörajatilamitoitus

Uimahallirakennuksessa kuormat ja kosteuden vaikutukset rakenteeseen on arvioitava muodonmuutostilan riskiarviossa. Muodonmuutosten on pysyttävä mahdollisimman vähäisinä, ja ne on arvioitava pintamateriaaleihin, pohjarakenteisiin, kevyille väliseinille, sekä pinnoitteille syntyvien toiminnallisten ja ulkonäöllisten haittavaikutusten kannalta katsoen käyttötapauksissa erillisesti.

Käyttörajan pätämiseksi oletukset ovat:

1. Virumaluku on rakenteen kaikilla sauvoilla yhtenevä
2. Rakennetta kuormittaa korkeintaan omapaino, lumi, tuuli ja vain yksi A-, B- tai C-luokan hyötykuorma (asuin-, toimisto- tai kokoontumisrakennus)

Hetkellinen kuormasta aiheutuva taipuma w_{inst} tai muodonmuutostila u_{inst} lasketaan kuormien ominaisyhdistelmille käyttämällä kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien keskiarvoja:

Hyöty- tai lumikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma, kuormien ominaisyhdistelmä on:

$$G_{kj} + Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2}$$

Tuulikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma ominaisyhdistelmä on:

$$G_{kj} + Q_{k,t} + 0,7Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2}$$

missä

G_{kj} on pysyvien kuormien ominaisarvo,

$G_{k,1}$ on lumi- ja hyötykuorman suurempi ominaisarvo,

$G_{k,2}$ on lumi- ja hyötykuorman pienempi ominaisarvo,

$G_{k,t}$ on tuulikuorman ominaisarvo.

Ominaisyhdistelyä käytetään rakennelujuuden ja statiikkamallin käyttörajan määrittämisessä, mikä kuormatyyppi on määräävä kulloisessa käyttötapauksessa.

Kuorman aiheuttama kokonaistaipuma w_{fin} saadaan kaavalla:

$$w_{fin} = \max \left\{ \begin{aligned} &(1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} + (0,7 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} \\ &(1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} + (0,7 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} \end{aligned} \right.$$

missä

k_{def} on virumaluku, ks. taulukko 2.1

$w_{inst,G}$ on pysyvän kuorman G_{kj} aiheuttama hetkellinen taipuma

$w_{inst,lumi}$ on lumikuorman $Q_{k,l}$ aiheuttama hetkellinen taipuma ja

$w_{inst,hyöty}$ on hyötykuorman $Q_{k,h}$ aiheuttama hetkellinen taipuma

2.1.3 Sallitut taipumat

Kokonaistaipuma eli lopputaipuma $w_{net,fin}$ rakenteelle muodostuu esikoroituksesta, hetkellisestä taipumasta ja viruman aiheuttamasta lisätaipumasta:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c, \text{ jossa}$$

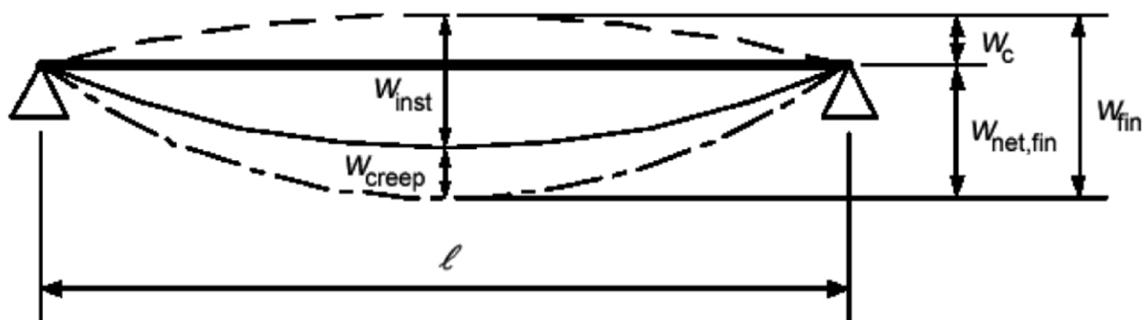
w_c on esikoroitus (jos sellainen on käytössä)

w_{inst} on hetkellinen taipuma ¹⁾

w_{creep} on viruman aiheuttama lisätaipuma

$w_{net,fin}$ on lopputaipuma

¹⁾ Huom. Hetkellinen taipuma ei riipu käyttöluokasta



Kuva 6. Taipumakuvaus. Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje, s.21

Kohdekohtaiset taipumarajatilat ja vaakasiirtymien rajoitukset määritetään toteutussuunnittelun aikana. Rakennuksen ulokkeiden taipumat voivat olla kaksinkertaiset suhteessa jännevälien taipumiin.

Materiaali	Standardit	Käyttöluokka		
		1	2	3
Sahatavara, pyöreä puu	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Liimapuu	EN 14080	0,80	1,00	2,50
LVL, CLT syrjällään	EN 14374	2,25	-	-
Vaneri, Kerto-Q lappeellaan, CLT lappeellaan	EN 636, VTT 184/03	1,50	2,25	-
OSB-levy	EN 300 OSB/2	2,25	-	-
	EN 300: OSB/3, OSB/4	1,50	-	-
Lastulevy	EN 312: P4	2,25	3,00	-
	EN 312: P6	3,00	4,00	-
Kova kuitulevy	EN 622-2: HB.LA, HB.HLA	2,25	3,00	-
Puolikova kuitulevy	EN 622-3: MBH.LA, MBH.HLS	3,00	4,00	-
MDF-levy	EN 622-5: MDF.LA, MDF.HLS	2,25	3,00	-

Taulukko 2.1. Virumaluvun k_{def} arvot puulle ja puutuotteille. (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020, 17.)

Lattian värähtelyt

Värähtelymitoituksen erityistarkastelu toteutetaan käyttörajoitilamitoitukseen sisältyen, sekä silloin jos lattiarakenteen ominaistaajuus on alle 9 Hz. Värähtelymitoituksen tarkastelu tehdään RIL 205-1-2017 mukaisesti. Lisätietoa Puuinfo, www.puuinfo.fi.

2.1.4 Kuormat

Hyötykuormat käsitellään joko pistekuormina, tasan jakautuneina kuormina tai vaakasuorina viivakuormina (välipohjan päällä olevat viivamuotoiset rakenteet, esimerkiksi kaiteet).

Hyötykuorman oletetaan aina vaikuttavan epäedullisimmassa osassa tarkasteltavaa rakennetta.

Pistekuorman vaikutusalan oletus on $50 \times 50 \text{ mm}^2$, kun $Q_k \leq 2,0 \text{ kN}$, muulloin $100 \times 100 \text{ mm}^2$.

Käsijohteen vaakasuuntainen viivakuorma oletetaan kohdistuvan $h_{\max} = 1,2 \text{ m}$. Eurokoodi 5 suunnitteluohjeen mukaiset uimahallien tilojen hyötykuormien ominaisarvot on esitetty alla.

Kuormitettujen tilojen luokka	$q_k [\text{kN/m}^2]$			$Q_k [\text{kN}]$ (portaattien suluissa)
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
Luokka C: kokoontumistilat				
C4 – Liikuntatilat ja näyttämöt	5,0	3,0	5,0	4,0 (2,0)
Luokka E: Varastotilat E1 Tavarain säilytys ja vastaanottotilat	7,5	3,0	-	7,0 (2,0)

Taulukko 2.2. Liikuntatilojen hyötykuormien ominaisarvot. (Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje. 11.)

Lumikuorma rakennuksen kattopinnoilla vaikuttavien ominaislumikuormien q_k vaikutus on aina tarkasteltava maantieteellisen sijainnin ja maanpinnan muotokertoimen mukaisesti. Tuulikuorman määrittämisessä on huomioitava maastoluokka, rakennuksen korkeus ja maaston pinnan muoto, joista saadaan suurennuskerroin.

Tavanomaisten rakennusten osalta tuulikuorma määritetään kaavalla:

$q_p(h) = \gamma_D q_p(h)$, missä suurennuskerroin $\gamma_D = 1,0$ kun maaston kaltevuus on pieni $\Phi < 0,05$.

Muissa tapauksissa tuulikuorman suurennuskerroin γ_D voidaan määrittää varmalle puolelle yksinkertaistettuna lausekkeesta:

$$\gamma_D = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 2,8\Phi \\ 1,84 \end{array} \right.$$

missä Φ on maaston kaltevuus (rad) rakennuspaikassa tuulen suunnassa, kun kaltevuus määritetään rinteen pituuden ja mäen tai harjanteen lakikorkeuden mukaan.

Rakenteen osapinnoille kohdistuvan paikallisen tuulenpaineen avulla mitoitetaan kiinnitykset ja verhousten taivutukset. Nettotuulenpaineen tarkastelu on tehtävä toteutussuunnittelun yhteydessä.

Kuormien aikaluokat

Kuormien vaikutus rakenteeseen riippuu kuorman ajallisesta kestosta. Tämän huomioimiseksi rakenteeseen vaikuttavat kuormat on jaettava aikaluokkiin. Muuttuvan kuorman kohdalla aikaluokan määrittämiseen käytetään arviota kuormalle tyypillisestä kestosta. Kuorma voidaan nimetä vain yhteen aikaluokkaan, oheisen tyyppitaulukon mukaan.

Kuormien aikaluokat	Vaikutusajan suuruusluokka	Kuorman tyyppi
Pysyvä	>10 v	<ul style="list-style-type: none"> - Rakennuksen omapaino - Maanpaine - Pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja rakenteet
Keskipitkä	1 vk – 6 kk	<ul style="list-style-type: none"> - Lumikuorma - Hyötykuormat luokissa A–D (lattiat ja parvekkeet) - Hyötykuormat luokissa F–G (autotallit ja liikennöintialueet) - Kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormat
Hetkellinen		<ul style="list-style-type: none"> - Tuulikuorma - Onnettomuus

Taulukko 2.3. Kuormien aikaluokat. (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje. 15)

Osavarmuuslukumenetelmät

Materiaalien lujuusominaisuuksien mitoitusarvot lasketaan materiaalien lujuusominaisuuksien ominaisarvojen, Suomessa käytettävien rakennusmateriaalien osavarmuuslukujen sekä kuorman keston ja kosteuden vaikutuksen huomioivan muunnoskertoimen avulla.

Materiaalin lujuusominaisuus X_d lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}, \text{ missä}$$

X_k on lujuusominaisuuden ominaisarvo

γ_M on materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

k_{mod} on kuorman keston ja kosteuden vaikutuksen huomioimiseksi käytetty muunnoskerroin. Ks. taulukko 2.5.

Kuormayhdistelmän muodostuessa eri aikaluokkiin kuuluvista kuormista, valitaan muunnoskerroin k_{mod} arvo lyhytkestoisimman kuorman perusteella. Esimerkki: Pysyvän kuorman ja lumikuorman yhdistelmälle käytetään keskipitkän aikaluokan kerrointa. Pitkäaikaisen taipuman laskennassa käytetään virumalukuja.

Perusyhdistelmät	Varmuuskerroin
Saha- ja pyöreä puutavara	1,3
Liimapuu ja CLT	1,25
LVL, vaneri ja OSB –levy	1,2
Muut lastu-, kuitulevyt	1,3
Liitokset	1,3
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Taulukko 2.4. Suomessa käytetyt materiaalien osavarmuusluvut.
Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020, 15.

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, pyöreä puutavara, liimapuu, LVL, vaneri, CLT.	KL1	0,60	0,80	1,10
	KL2	0,60	0,80	1,10
	KL3	0,50	0,65	0,90
Lastulevy P4 ¹⁾ , OSB/2 ¹⁾ , kovakuitulevy	KL1	0,30	0,65	1,10
	KL2	0,20	0,45	0,80
Lastulevy P6 ¹⁾ , OSB/3 ja OSB/4	KL1	0,40	0,70	1,10
	KL2	0,30	0,55	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA ¹⁾ , MBH.HLS, MDF.LA ¹⁾ ja MDF.HLS	KL1	0,20	0,60	1,10
	KL2	-	-	0,80

Taulukko 2.5. Kuorman keston ja kosteuden vaikutuksen arvioimiseksi käytetyn muunnoskerroimen k_{mod} arvot.

¹⁾ Saadaan käyttää vain käyttöluokassa 1. (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020, 17)

2.1.5 Rakenteelliset liimat ja liitokset

Rakenteellisilla liimoilla täytyy saavuttaa sellainen lujuus ja säilyvyys, että saumat pysyvät ehjänä koko rakenteen suunnitellun käyttöiän.

Standardin EN 301 tyypin I vaatimukset täyttävät liimat soveltuvat käytettäväksi kaikissa käyttöluokissa. Käyttöluokissa 1 ja 2 voidaan käyttää saman standardin EN 301 tyypin II vaatimukset täyttäviä liimoja, kunhan rakenne ei altistu yli +50 °C lämpötiloille pitkäkestoisesti. Rakenteellisilta liimauksilta edellytetään ilmoitetun liimauslaitoksen antamaa tuotteiden suoritustason pysyvyyden sertifikaattia AVCP / 1. Suomessa laitosten pätevyyden toteaa Ympäristöministeriö.

Metalliliittimet

Teräsosien ja muiden rakenteellisiin liitoksiin osallistuvien osien pitää olla standardin EN 14592 mukaisia. Vaarna- ja naulausosien tulee olla standardin EN 14545 mukaisia. Naulalevyjä voidaan käyttää rakenteellisissa liitoksissa vain tehdasvalmisteisissa EN 14250 tai ETA:n mukaan CE-merkittävissä tai kansallisen tyyppihyväksynnän tai varmennustodistuksen mukaisissa tuotteissa. Näistä standardeista poikkeavien metallisten liitososien tulee olla CE/ETA –hyväksynnän tai VTT:n sertifioinnin saaneita tyyppihyväksytyjä tuotteita.

Liitososien korroosionkestävyys täytyy tarvittaessa toteuttaa taulukossa 2.6. esitettyjen luokitusten perusteella. Käyttöluokassa 3 tulee kaikkien kyllästetystä puutavarasta toteutettujen kantavien ja henkilöturvallisuuteen vaikuttavien rakenteiden liitososien ja liittimien olla ruostumatonta terästä, ellei käytetylle kyllästysaineelle ole annettu muuta ohjetta. Ruostumattomaksi teräkseksi soveltuvat laadut EN 1.4301, AISI 304 tai A2. Ruostumattomaan teräkseen verrattavissa olevia sekoitepinnoitteisia kiinnikkeitä on kehitetty vastaavilla ominaisuuksilla.

Liitin	Käyttöluokka ¹⁾		
	1	2	3
Naulat ja ruuvit, joiden $d \leq 4$ mm	Ei mitään	Fe/Zn 12c, 39 µm	Fe/Zn 12c, 49 µm
Pultit, naulat ja ruuvit, joiden $d > 4$ mm	Ei mitään	Ei mitään	Fe/Zn 12c, 49 µm
Teräslevyt, joiden paksuus ≤ 3 mm	Fe/Zn 12c, Z275	Fe/Zn 12c, Z275	Ruostumaton teräs
Teräslevyt, joiden paksuus on 3...5 mm	Ei mitään	Fe/Zn 12c, Z275	Fe/Zn 25c, Z350
Teräslevyt, joiden paksuus > 5 mm	Ei mitään	Ei mitään	Fe/Zn 25c, Z275
¹⁾ Erityisen syövyttäviin olosuhteisiin on syytä harkita paksumpaa kuumasinkitystä tai ruostumatonta terästä			

Taulukko 2.6. Liittimien korroosionsuojausta koskevia vähimmäisvaatimuksia. Sähkösinkityksen Fe/Zn -luokitus standardin ISO 2081 mukaan, kuumasinkityksen Z-pinnoitteet määriteltä standardin EN 10346 mukaisina ja puikkomuotoisten liitososien minimipaksuudet mikrometreinä ISO 1461 mukaan. (Eurokoodi 5 Lyhennetty Suunnitteluohje 2020. 20.)

Mekaaniset liitokset

Yleisimmät mekaaniset liitostyypit ovat yksi- ja kaksileikkeiset naula-, ruuvi- ja pulttiliitokset. Mekaanisten liitosten määrittäminen on toteutussuunnitteluun kuuluva osasuunnittelutehtävä. Jotta liitoksen oletettu kestävyys ja jäykkyys saavutetaan, tulee liitinten koko ja sijoittelu suhteessa

toisiinsa ja liitoksen osiin arvioida tarkasti. Usein liitososien yhteenlaskettu kestävyys on suurempi kuin liitoksen todellinen kestävyys. Liitosten mitoituskestävyys R_d lasketaan kaavalla:

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \times R_k, \text{ missä}$$

k_{mod} on taulukon 2.5. mukainen liitospuun aikavaikutuskerroin

γ_M on liitoksen materiaaliosavarmuusluku, ks. taulukko 2.4.

Kahta erilaista puulajia liittäessä käytetään aina sen materiaalin aikavaikutuskerrointa k_{mod} , joka on pienempi.

Jos eri aikaluokan, pitkän ja keskipitkän, liitosvoimat voivat vaihdella vedon ja puristuksen välillä, liitos on mitoitettava sekä veto- että puristusvoimille.

Liiman ja mekaanisen liittimen yhdistelmäliitoksissa liitoksen kokonaistoimivuus ja lujuusmitoitus lasketaan erillisinä, erityyppisillä liittimillä voimia siirrettäessä.

Erilaisia mekaanisia liitostapoja ovat: Naulaliitokset, teräslevylliset liitokset, ruuviliitokset, pulttiliitokset, joista voidaan eritellä edelleen päätypuuliitokset, naulattu puulevyn liitos, naulattu puulevyn ja teräksen liitos. Ruuviliitoksissa on huomioitava kansiruuvien ja itseporautuvien ruuvien käyttötapojen eroavaisuudet.

Liitososien määritykset ja mitoitus toteutetaan varsinaisen suunnittelun työtehtävänä. Pulttien minimivälit ja ruuvien porauskaaviot puun halkeamisominaisuuden johdosta on tarkasti määriteltävä. Ruuvien, naulojen ja pulttien pituussuuntainen kuormitus, leimapaineet ja käytettyjen osien standardinmukaisuus sekä vetolujuudet on tarkistettava.

Massiivipuuliitoskomponentit

Liitoskomponentteja on saatavilla monipuolisesti näkyviin jäävien korroosionkestävien materiaalien ja pinnoitteiden valikoimana ja piilokiinnikkeisten vahvojen liityntämenetelmien muodossa.

Kiinnikkeitä on jatkuvaan ulkokäyttöön soveltuvia, sekä tavanomaisia sinkittyjä tuotteita.

Kiinnikkeiden osalta määrittely on toteutettava tarkasti, hintateknisiin syihin perustuen. Piiloon jäävien tuoteosien hankinta konepajalta suoraostona, kohteeseen suoraan mitoitettuna voi olla merkittävä hankintaratkaisu, kuten isojen erien kertahankintakin.

SPIDER

CONNECTION AND REINFORCEMENT SYSTEM FOR COLUMNS AND FLOORS

MULTI-STORY BUILDINGS

It allows the construction of multi-storey buildings with a column-to-floor structure. Certified, calculated and optimised for glulam, LVL, steel and reinforced concrete columns. New architectural and structural horizons.

COLUMN-TO-COLUMN

The steel core of the system prevents the CLT panels from being crushed and allows more than 5000 kN of vertical load to be transferred between the columns.

REINFORCEMENT SYSTEM FOR CLT

The arms of the system ensure the punching shear reinforcement of the CLT panels, allowing exceptional shear strength values. Column spacing greater than 7.0 x 7.0 m structural mesh.



CHARACTERISTICS

FOCUS	multi-storey buildings
COLUMNS	from 200 x 200 mm to 280 x 280 mm
STRUCTURAL MESH	greater than 7.0 x 7.0 m
STRENGTH	R_{yk} compression greater than 5000 kN

VIDEO

Scan the QR Code and watch the video on our YouTube channel



MATERIAL

S355-S690 zinc plated steel.

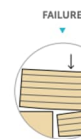
FIELDS OF USE

Multi-storey buildings with column-to-floor system. Solid timber, glulam, high density timber, CLT, LVL, steel and concrete columns.

292 | SPIDER | PANELS AND BUILDING JOINTS

01

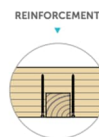
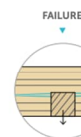
REINFORCEMENT FOR TENSION PERPENDICULAR TO THE FIBRES - NOTCH



Resistance influenced above all by cracks, knots, resin channels. **Markedly fragile behaviour.**

02

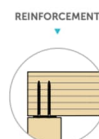
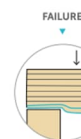
REINFORCEMENT FOR TENSION PERPENDICULAR TO THE FIBRES - HANGING LOAD



Failure can occur in the case in which the load applied affects a height limited by the main beam ($a/h \leq 0.7$). **Markedly fragile behaviour.**

03

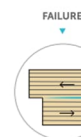
REINFORCEMENT FOR COMPRESSION PERPENDICULAR TO THE FIBRES - RESTING



Crushing and severing of the fibres in the area where the forces are introduced (e.g. supports). **Sufficiently ductile behaviour.**

04

REINFORCEMENT FOR LONGITUDINAL SHEAR

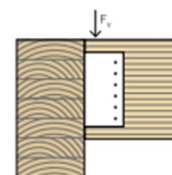
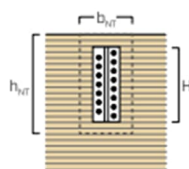
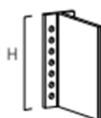


Collapse near the neutral axis, mutual sliding of the two parts of the section. Beam subject to flexion: tense area or support area. **Markedly fragile behaviour.**

STATIC VALUES - CONCEALED ALU BRACKET

ALUMINI - TIMBER-TO-TIMBER JOINT

ALUMINI



ALUMINI		secondary beam			main beam	characteristic values
CODE	H	b _{NT}	h _{NT}	dowels SBD Ø7,5 ⁽¹⁾	screw HBS P EVO Ø5	EN 1995:2014 R _{yk}
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[pcs Ø x L]	[pcs]	[kN]
ALUMINI65	65	60	90	2 - Ø7,5 x 55	7	2,3
ALUMINI95	95	60	120	3 - Ø7,5 x 55	11	5,7
ALUMINI125	125	60	150	4 - Ø7,5 x 55	15	10,4
ALUMINI155	155	60	180	5 - Ø7,5 x 55	19	16,3
ALUMINI185	185	60	210	6 - Ø7,5 x 55	23	23,2

Kuva 7. Rothoblaasin valmistamia liitososia puurakenneosien välille. Lisätietoa ja tuotekatalogeja: www.rothoblaas.com

2.1.7 Palomitoitussuunnittelun perusteita

Palomitoitussuunnittelussa määritellään riittävä rakenteellinen kestävyys rakennuksen käyttötarkoitukseen perustuvien määrättyjen säädösten täyttämiseksi, turvallisen käytön takaamiseksi. Tässä selvityksessä on esitetty Eurokoodi 5 Lyhennetyn suunnitteluohjeen mukaisia palomitoituksen kannalta oleellisia, tavanomaisiin runkoratkaisuihin soveltuvia yksinkertaistettuja palomitoitusohjeita. Vaatimustenmukaisuus täytyy osoittaa käyttötapauskohtaisesti (rakennuskohtaisesti) laskennallisen palomitoituksen tapoja tai kokeellisia tuloksia käyttäen. Myös yhdistämällä näitä periaatteita, voidaan varmistaa esitettyjen ratkaisujen käyttösoveltuvuus. Kaikkien puupintojen hiiltymisen on huomioitava palomitoituksessa, jotka joutuvat palorasitukselle alttiiksi tai alkavat hiiltymä.

Onnettomuustilanteena käsiteltävät tulipalot käsitellään kuormitusyhdistelyinä:

$$\max \left\{ \begin{array}{l} G_{k,j} + 0,5Q_{k,l} + 0,3Q_{k,h} \\ G_{k,j} + 0,2Q_{k,t} + 0,3Q_{k,h} + 0,2Q_{k,l} \end{array} \right.$$

missä

$G_{k,j}$ on pysyvien kuormien ominaisarvo

$Q_{k,l}$ on lumikuorman ominaisarvo

$Q_{k,h}$ on hyötykuorman ominaisarvo ja

$Q_{k,t}$ on tuulikuorman ominaisarvo.

Materiaalien palonaikainen lujuusominaisuuksien mitoitusarvo $f_{d,fi}$ lasketaan kaavalla:

$$f_{d,fi} = k_{fi} \times f_k$$

missä

$f_{d,fi}$ on lujuuden mitoitusarvo palotilanteessa

f_k on lujuuden ominaisarvo normaalilämpötilassa, (sahatavaran ja liimapuun osalta esitetty taulukossa 1.3.)

k_{fi} on materiaalienkohtainen kerroin (taulukko alla)

Materiaali	kerroin k_{fi}
Sahatavara	1,25
Liimapuu, puulevyt	1,15
LVL (kertopuu)	1,1

Taulukko 2.7. Kertoimen k_{fi} arvot. (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020, 44)

Palonkestävyyden mitoitus suojaamattomissa palkeissa ja pilareissa

Tulipalon edetessä palolle ja kuumuudelle altistuvat puurakenteet hiiltyvät. Hiiltynyt puuaines menettää lujuus- ja jäykkyysominaisuutensa, joten rakenteelta vaaditun REI-luokituksen takaamiseksi tämä on huomioitava rakenteiden mitoituksessa. Puurakenteen palonaikainen tehollinen poikkileikkaus saadaan vähentämällä hiiltymissyvyys alkuperäisestä poikkileikkausdimensiosta. Hiiltymiskerroksessa, sekä lähellä hiiltymärajaa sijaitsevassa puukerroksessa asetetaan lujuus- ja jäykkyysominaisuudet nolaksi.

Hiiltemissyvvyys d_{char} lasketaan palorasituksen keston ja kyseessä olevan hiiltemisnopeuden β_0 tai β_n tulona:

$$d_{\text{char}} = \beta_0 t, \text{ tai } d_{\text{char}} = \beta_n t, \text{ jossa}$$

β_0 on yksidimensionaalisen hiiltemisnopeuden mitoitusarvo
 β_n on nimellisen hiiltemisnopeuden mitoitusarvo
 t on palorasituksen kesto.

Tyypillisten puisten rakennusmateriaalien hiiltemisnopeuksia on esitetty taulukossa 2.8. Hiiltemisrajan sijaintina pidett 300 asteen isotermiä. Puupinnan hiiltemisnopeus riippuu myö pinnan suojauksesta ja suojan palonkestosta. Erilaisia tapauksia ovat:

- Suojaamattomat pinnat, jotka ovat alttiina palolle koko palorasituksen ajan
- Suojatut pinnat, jotka alkavat hiiltä lämmön vaikutuksesta jo ennen suojauksen putoamista
- Suojatut pinnat, suojauksen putoamisen jälkeen

Puumateriaalien hiiltemisnopeuden mitoitusarvoja	β_0 [mm/min]	β_n [mm/min]
Havupuu		
Liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Sahatavara, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
Lehtipuu		
Sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
LVL		
Kerto-S / Kerto-Q, jonka ominaistiheys $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Kerto-T / Kerto-L, jonka ominaistiheys $\geq 410 \text{ kg/m}^3$	0,7	0,75
Levyt ja laudoitukset ¹⁾		
Laudoitukset (lauta- ja paneeliverhoukset)	0,9	-
Vaneri	1,0	-
Lastulevy, OSB-levy, kovalevy, MDF-levy	0,9	-
¹⁾ Arvot pätevät, kun ominaistiheys on 450 kg/m^3 ja levyn tai laudoituksen paksuus on 20 mm;		

Taulukko 2.8. Sahatavaran, liimapuun, LVL:n, laudoituksen ja puulevyjen hiiltemisnopeuden mitoitusarvot β_0 ja β_n . (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020, 46)

Hiiltemissyvvyden määrityksessä tasomaisille levypinnoille käytettä yksidimensionaalista hiiltemisnopeutta β_0 . Rakenteen altistuessa palolle useammalta sivulta – kuten esimerkiksi profiililtaan suorakaiteen muotoiset pilarit ja palkit – käytettä hiiltemissyvvyden laskentaan nimellistä hiiltemisnopeutta β_n . Nimellisess nopeudessa on huomioitu puun halkeamien vaikutus ja kulmapyritykset. Riittävän leveiden poikkileikkausten kohdalla voidaan mitoituksessa kytt yksi-dimensionaalista hiiltemisnopeutta β_0 (taulukko ohessa).

Palonkestoluokka	b_{min} [mm]
R15	80
R30	119
R60	158
R90	197
R120	236

Taulukko 2.9. Suorakaidepoikkileikkauksen leveyden vähimmäisarvot b_{min} eri palonkestoluokissa kyttttess yksidimensionaalista hiiltemisnopeutta. (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020, 45)

Mikäli rakenneosan poikkileikkaus on pyöreä, on käytettävä nimellistä hiiltymänopeutta β_n . Lisäksi, jos levyn tai laudoituskerroksen ominaistiheys poikkeaa 450 kg/m^3 :stä tai paksuus on alle 20 mm, hiiltymisnopeus $\beta_{0,p,t}$ lasketaan oheisen kaavan mukaisesti:

$$\beta_{0,p,t} = \beta_0 k_p k_h, \text{ missä } k_p = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \text{ ja } k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}}, \text{ missä}$$

ρ_k on puulevyn tai laudoituksen ominaistiheys [kg/m^3]

h_p on levyn tai laudoituksen paksuus ohuimmalta kohdaltaan [mm]

2.1.8 Esimerkki rakenneosien mitoituksista

Puurunkorakenteita mitoittaessa osien puristusvoimat eli tuotteen puristuslujuus, leikkausvoimat sekä taivutusjännitys on määritettävä. Sauvarakenteissa kiepahdus- ja nurjahdusvoimat ovat riippuvaisia tehollisesta massiivipuukomponentin pituus/leveys -suhteesta, sekä kuormituksen epäkeskisyydestä. Kiepahdus- ja nurjahdustuet on mitoittava myös poikittaiskuormista johtuvia kuormitusyhdistelyjä varten. Rakenneosat mitoitetaan kohdekohtaisesti toteutussuunnittelun yhteydessä.

Kohdekuvaus	Palkit	Pilarit	Jäykistävät rakenteet
<ul style="list-style-type: none"> - Urheiluhalli, harjakatto, käyttöluokka 1 - Liimapuurunko pääkannattajilla - Peltiuretaanielementti US 1300 X 5950 mm - Kattoelementti 2-aukkoinen puukasetti 	Bumerangipalkit L= 29500 mm H ₀ = 1100 mm T= 198 mm Kaltevuus = 1:6	Sivuseinäpilarit LP 576 x 222 mm Jako k 6000 mm	<ul style="list-style-type: none"> - Tuulen maastoluokka 3 - Kiepsahdustuki ja tuuliristikko kattotasoon
<ul style="list-style-type: none"> - LVL ristikko harjapalkit, käyttöluokka 2 - Palosuojaus sivelty ala- ja yläpaarteisiin. Liitokset tapitettu, ja teräsosat porattu puun sisään, ja naulalevyt ruostumattomin teräsnauloin kanta puun sisään 20 mm. 	Sauvan dimensiot L: 30500 mm H ₀ : 3550 mm, T: 198 mm Alapäärre 198 x 255 mm	Seinäpilarit LP 480 x 198 mm Jako k 5950 mm Päätyseinäpilarit LP 480 x 376 mm	<ul style="list-style-type: none"> - Tuulen maastoluokka 3 - Rakennekentän jäykistävinä ristivetotankoina, maalattu teräs.

Taulukko 2.10. Esimerkkejä rakenneosien mitoituksista.

2.2 Runkorakenneratkaisut

2.2.1 Runkotyypit ja tyypilliset kattokannattajat

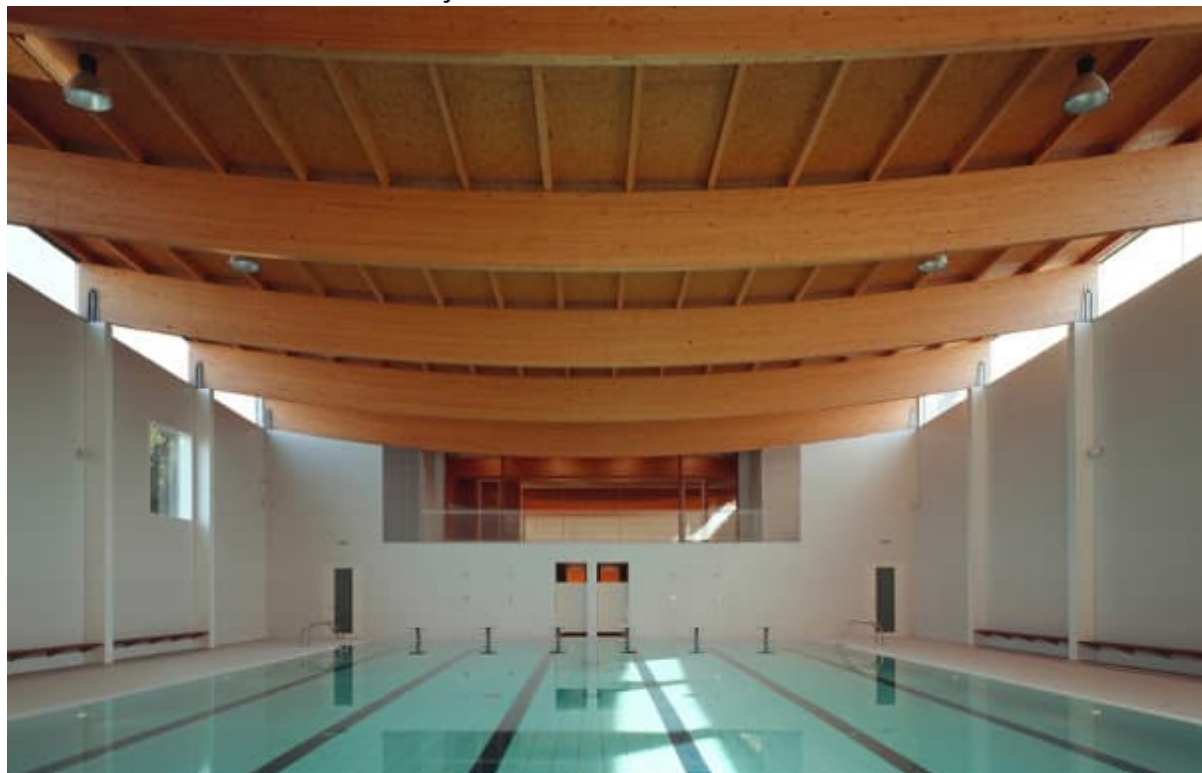
Puurakenteiset hallitilat voidaan jakaa runkotyyppinsä ja rakenteelle suositellun jännevälin perusteella viiteen ryhmään:

Runkotyyppi	Jänneväli
Palkkikannattajat	alle 30 m
Ristikkokannattajat	25–65 m
vetotankokannattajat	15–50 m
Kaarirungot	40–100 m
Kehärungot	10–30 m

Taulukko 2.11. Runkotyypeille soveltuvia jännevälejä. (Puuhallin suunnittelu, 2019, s. 68)

Kattokannattajiin perustuvissa ratkaisuissa katto- ja seinärakenne on yleensä erotettu toisistaan, kun taas kaari- ja kehärungoissa kattorakenteen vaakavoimat tuodaan maantasoon asti.

Esimerkkitoteutuksia kattokannattajista:



Kuva 8. Espanjalaisen La Corunan allashallin kaarevat liimapuupalkit lepäävät pilareiden päällä. Palkkien korkeutta vastaava nauhaikkuna tuo tilaan runsaasti ylävaloa ja korostaa rakenteen selkeyttä. Valokuva: Roland Halbe (<https://www.archdaily.com/479646/swimming-pool-prototype-in-la-coruna-francisco-mangado>)



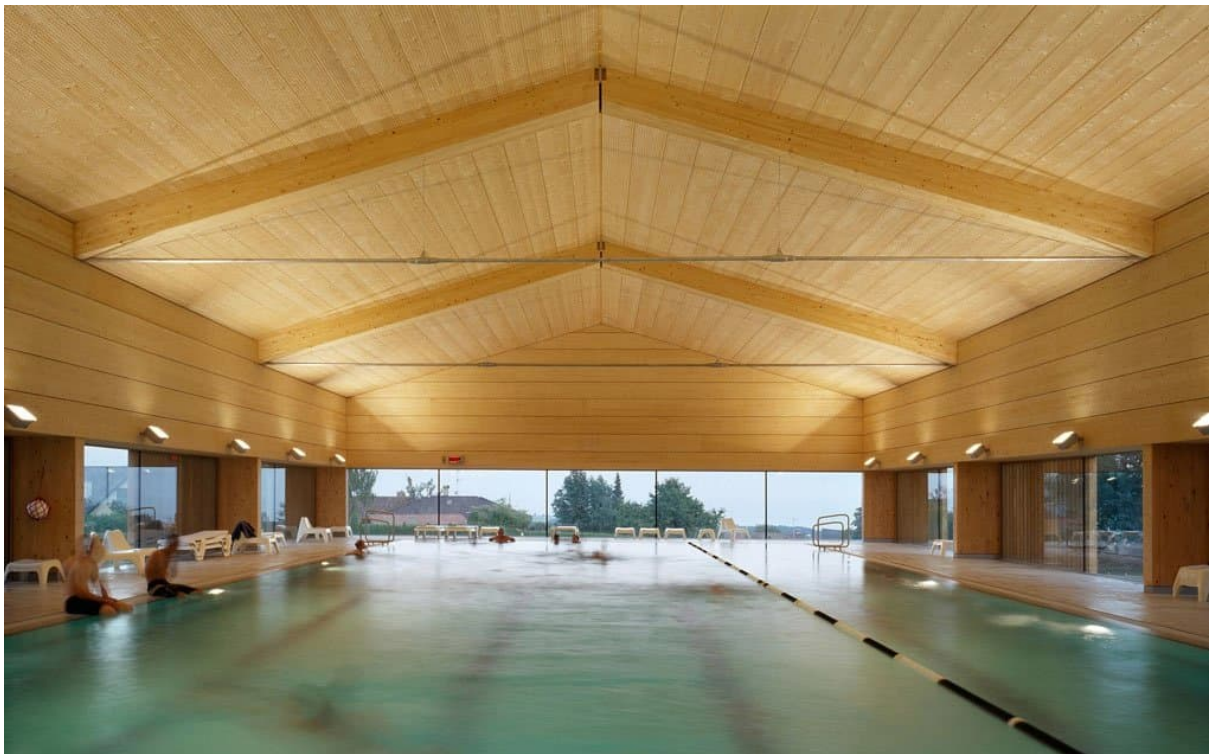
Kuva 9. Sveitsin Frutigenin allashallin suorien kattopalkkien alta avautuu näyttävä maisemaikkuna vuoristomaisemaan. (<https://architizer.com/projects/hallenbad-frutigen-be>)



Kuva 10. Centre des Sports Belair -urheilukeskuksen ristikkomainen kattopalkisto. Liimapuurakenteen massiivisuus (palkkien korkeus noin 2 metriä) suhteessa sitä kannatteleviin pilareihin luo rakenteelle lähes leijailevan vaikutelman. (<https://www.auer-weber.de/en/projects/details/belair-sports-centre-luxembourg.html>)



Kuva 11. Geusseltbad -uimahallin puurakenteisia ristikkopalkkeja. Valokuva: Marcel van der Burg
(www.archdaily.com/518897/multifunctional-swimming-pool-complex-de-geusselt-slangen-koenis-architects)



Kuva 12. Vetotankokannattajat tuovat sisätilaan ilmavuutta.
(www.charpente-concept.com/realisations/piscine-en-structure-bois-de-bassins/)

Esimerkkitoteutuksia kehä- ja kaarirungoista:

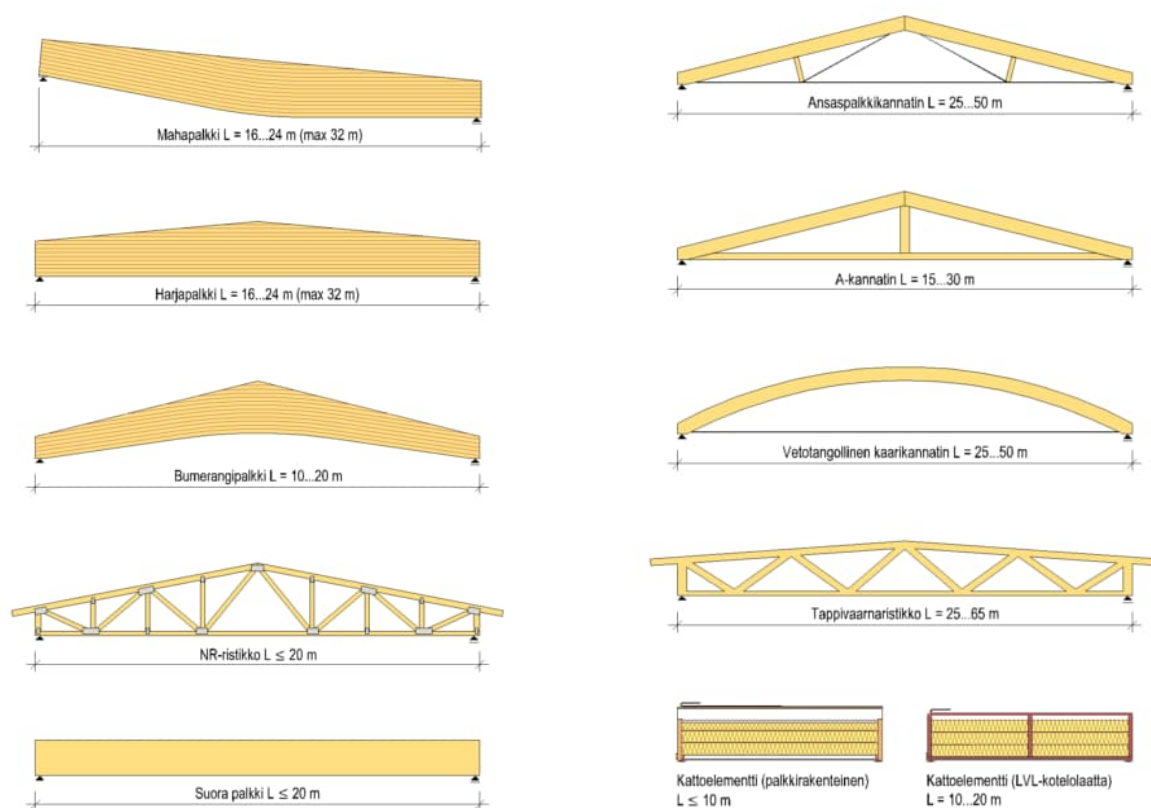


Kuva 13. Sveitsiläisen Gstaadin urheilukeskuksen kehämäinen rakenneratkaisu. Valokuva: Alexander Gempeler
<https://www.kl-architekten.ch/index/liste/sportzentrum-gstaad.html>



Kuva 14. Tokyossa sijaitsevan New Physical Education Centerin uimahallin kaareva kattorakenne on tuettu seinälinjaan. (archello.com/nl/project/icu-new-physical-education-center)

Vaihtoehdot urheilu- ja uimahallin puukannattajavalintaan:



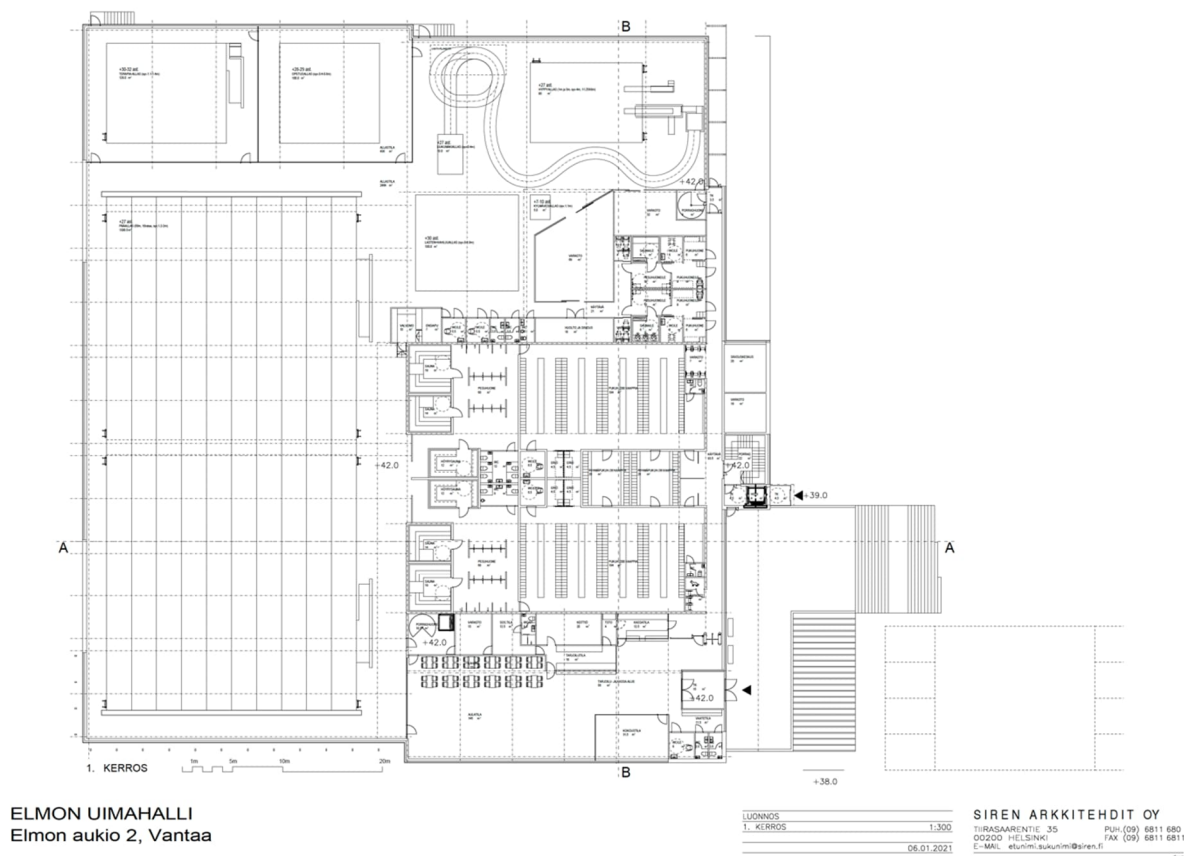
Kuva 15. Tyypilliset jännevitat Suomen olosuhteissa. <https://puuinfo.fi/rakenteet/suurten-jannevalien-rakenteet/kattokannattajilla-saavutettavat-jannevitat/>

Pääkannattimien jänneväliä valittaessa tulee tarkastella myös kantavan rakenteen stabiiliteettituenta (kiepahdus, nurjahdus). Esimerkiksi palkkia mitoittaessa jännevälän kasvaessa palkin poikkileikkauksen korkeus luonnollisesti kasvaa. Mitä suurempi on palkin poikkileikkauksen korkeus suhteessa poikkileikkauksen leveyteen, sitä enemmän palkki tarvitsee kiepahdustuentarakenteita poikkileikkauksen heikommassa suunnassa. Myös stabiiliteettituentarakenteiden voimat kasvavat jännevälän kasvaessa, jolloin haasteeksi tulee tuentarakenteiden liitosten kestävyys.

Erityisesti NR-ristikoita käyttäessä edellä mainitut tekijät korostuvat. Mitä suurempaa NR-ristikoiden jänneväliä käytetään sitä enemmän ristikon yläpaarre tarvitsee nurjahdustuentarakenteita yläpaarten poikkileikkauksen heikommassa suunnassa. Jossakin tapauksessa saatetaan ajautua tilanteeseen, jossa liitosvoimat kasvavat niin suuriksi, että käytettävät liittimet eivät mahdu reuna- ja keskinäisetäisyyksien puitteissa niille varattuun tilaan. (Puuinfo.fi 2022).

Hallirakennuksen ulkomitat eivät suoraan määritä soveltuvia rakennevaihtoehtoja, sillä usein myös rakennuksen sisälle saadaan sijoitettua kantavia pilarilinjoja. Esimerkiksi Elmon uimahallin viitesuunnitelmissa on nähtävissä selkeä keskilinja, jonka avulla jänneväli saadaan puolitettyä.

Uimahallien kohdalla runkorakennetta määrittävä kriittinen tekijä on yleensä pääallas, jonka sisälle tai välittömästi reunojen läheisyyteen ei voida sijoittaa pilareita tai kantavia seinälinjoja. Toinen sisätilan arkkitehtuurille ja hallin rakenteelle määrittävä tekijä on hallin vapaa korkeus. Uiminen ei edellytä vapaata tilaa yläpuolelleen, mutta uimahalleissa harrastettavat uimahypyt edellyttävät: hyppyihin käytetyt ponnahduslaudat sijaitsevat yhden tai kolmen metrin korkeudella vedenpinnasta ja hyppytornin kerrosten korkeudet ovat 5, 7,5 ja 10 metriä. Elmon hallin viitesuunnitelmissa hyppyaltaan yläpuolella on esitetty vapaaksi korkeudeksi 8 metriä.



Kuva 16. Elmon uimahalli on ulkomitoiltaan noin 60 metriä x 70 metriä. Elmon uimahallissa allashalliin ja aulatiloihin on esitetty kantavat liimapuupalkit, muilta osin rakennuksen yläpohjan kantavana rakenteena toimivat ontelolaatat.

Elmon hallin kattokannattajat

Elmon hallin toisen kerroksen osuudella käyttämällä yläpohjassa liimapuukannattajia olisi saavutettavissa viihtyisyyttä, jännevälillä säilyessä edelleen hyvin tehokkaana LP-vaihtoehdolle. Tehokas, korkeudeltaan matala ja painossa kevyehkö kannattajatyyppe soveltuisi käyttötapaukseen mainiosti. Kannattajat voisivat kulkea myös ulkotilaan muodostaen räystään yhtenäisen kannattajapurakenteen avulla.

Seuraavassa on esitetty vaihtoehtoisia puisiin kattokannattajiin perustuvia rakenneratkaisuja Elmon hallin allastilojen kattamiseksi:

Pääallasalue, 50 metrin kilpa- allas:

- Runkosyvyys 30 metriä
- Pääkannattajajako 4,8 m – 5,5 m
- Runkopituus 65 metriä, joka saavutetaan 5 kpl kaksoispääkannattajilla ja 6 kpl pääkannattajilla.
- Pääkannattajatyypit: Liimapuukannattaja,

o VE1

Eritasomahapalkki tuetaan kantavan väliseinärakenteen päälle ja liimapuumastopalkki ulkoseinälinjassa.

o VE2

Liimapuinen tai LVL –kaarikannattaja, jossa seinärakenne ja rakennuksen ulkokattomuoto toteutetaan sekundaari pilari–palkilla, ks. kuva alla.



Kuva 17. Ardefors building. Swedishwood.com

o VE3

CLT –konsolipalkit, liimapuisten konsolipilarien päälle asennettuna. Jäykkä kaarirakenne, lukuisin muotomahdollisuuksineen. Ontelot mahdollistavat tekniikan asennukset, varmistettava tuuletus pintojen

Allastila, hyppy- ja lastenallas

- Runkosyvyys 30 metriä,
- Pääkannattajajako 5 metriä,
- Runkopituus 30 metriä, joka saavutetaan 5 kpl pääkannattajilla ja keskellä sijaitsevalla kantavalla poikkilinjalla.
- Pääkannattajatyypit: Liimapuukannattaja

o VE1 mahapalkkijärjestelmä, kattolape laskeva ulkoseinän tasoon. Esim. Kaksilaivainen kolminivelkehä

Aulatila

- Runkosyvyys 15 metriä,
- Pääkannattajakoko 5 metriä,
- Runkopituus 30 metriä, joka saavutetaan 5 kpl pääkannattajilla.
- Pääkannattajatyypit: Kaariliimapuukannattaja, erillisellä sekundäärirakenteella ulkoseinän ripustuksen mahdollistamiseksi.

Runkorakenteen määrittäminen

Runkorakennetyypin tilakohtaiset rakennemitoitusparametrit ovat tavanomaisesti: vapaa sisäkorkeus, maksimijänneväli (pääkannattajasuunta tilaohjelman mukainen), kaava-alueen ulkomitoitukselliset rajoitteet sekä käyttöolosuhteet. Ympäristövaikutusten erityisarviointi on aina tarpeen toteuttaa suurivolyymisten rakennushankkeiden kohdalla. Huomattavaa on painottaa rakennusaikaisen hiilen varastoinnin mahdollisuus, sekä oikeanlaiset mitoitus- ja laadukas rakennustapa. Massiivipuurunkoisen hallirakenteen etuja ovat hiilen varastointikykyyn lisäksi tehokkaat rakenteet tuoteosapainoonsa verrattuna, jolloin saavutetaan sama rakennusvolyymi pienemmin pistekuormin sekä säästetään kohteesta riippuen perustuskustannuksissa. Runkorakennemäärittämisessä massiivipuutuotteita käytettäessä on useita mahdollisuuksia, ja valinta perustuukin kustannustehokkuuden lisäksi pystytysperiaatteen valinnan mahdollisuuksiin ja tehokkaisiin mitoitusjännävieliin.

Markkinavaihteluiden vaikutukset voivat edelleen ohjata tuoteosavalintoja, jolloin runkorakennetyypien valittavissa olevat kustannustehokkaat vaihtoehdot vähenevät.

Vaakarakenteiden valinnassa selvitysvaruus on ulotettava tavanomaisten reunajäykistettyjen paikallavali-teräsbetonilaatta -ratkaisujen, deltapalkki betonisten holvivalujen sekä betoniontelolaattojen lisäksi puurakenteisiin LVL -ristikkoelementteihin, sekä CLT -massiivipuisiin sandwich tuotteisiin. Kattorakenteissa kustannustehokkaita puuelementtiratkaisuja voidaan pitää vakioituina ja yleistyneinä, jolloin valinta perustuu runkosyvyyden ohjaamana 1-, 2- tai 3-aukkoisiin elementteihin.

Välipohjat

Välipohjarakenteissa puuelementtituotteet mitoitetaan sekundäärijänteen kuormankantovaatimuksen, käyttötarkoituksen ja yleisten suunnittelumääräysperusteiden mukaisesti, tällöin CLT -sandwich, levyjäykistävät ripalaatat ja LVL -tuotteisiin perustuvat sekundäärikannattajatuotteet ovat tavanomaiset vaihtoehdot.

Elmon uimahallin kohdalla värähtely kuntosalin välipohjassa on mahdollisesti merkittävää, jonka takia välipohjan toteuttamista LVL -elementeillä ei suositella. Soveltuva vaihtoehtoinen ratkaisu on määriteltävissä massiivipuuvaihtoehdoista CLT-laatta toteutuksella ripajäykistyksin. Riittävä paksuus ja massa huomioitava, jolloin akustiikkaominaisuus myös paranee.

2.2.2 Allashallien seinärakenteet

Ulkoseinät

Puurakenteisen uimahallin sisälämpötila tulee pitää tarpeeksi korkealla, jotta seinien sisäpinnan lämpötila pysyy tarpeeksi korkeana kondenssiveden muodostumisen estämiseksi.

Energiatohokkuuden kannalta tämä edellyttää seinärakenteilta hyvää lämmöneristävyyttä.

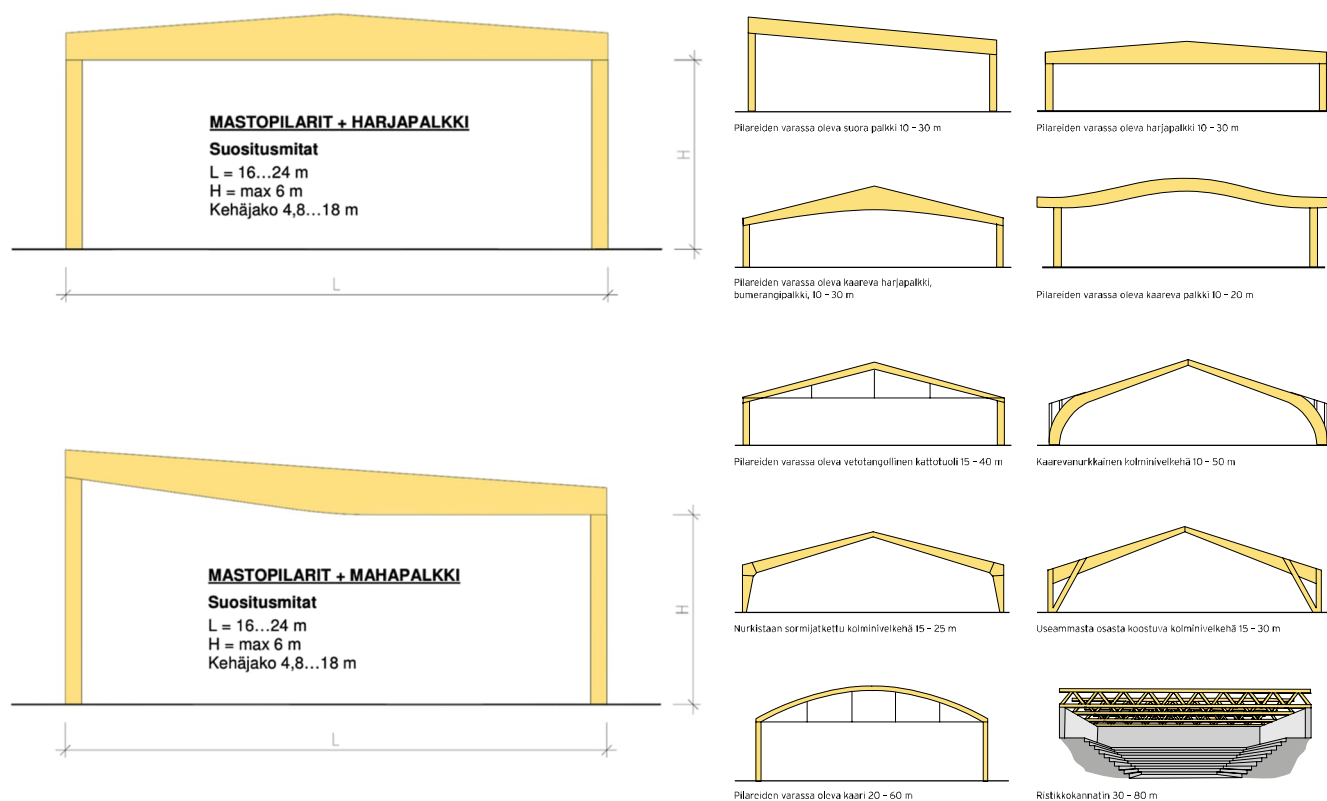
Rakenteen on myös oltava tarpeeksi höyrytiivis, ettei kondenssivettä tiivisty rakenteiden sisään.

Rungon pystyosa

Kokonaisrunkojärjestelmän pystyrakenneosuus on tavanomaisesti mastopilari ja liimapuupalkkiliitos.

Yleiset pidemmät jännevälit vaativat edelleen erikoismitoitussuunnittelua pilari-palkkirakenteelle.

Ulkoseinäksi jäykistävä levyrakennevaihtoehto on myös CLT-massiivipuulevy, jolloin ulkovaipparakenteessa saavutetaan yksiaineisuuden asennettavuushyödyt, ja riittävä lämmöneristyskyky massiivilevytuotteella, esim. CLT 7–30–260.



Kuva 18. Finnish wood research, Puuinfo 2022

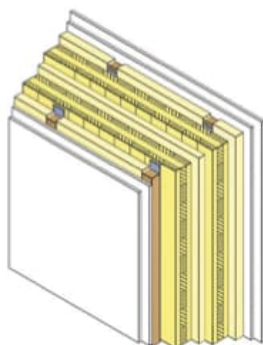
External walls

Noise levels from laboratory and construction site measurements.

Details about the construction of connection nodes are available on request.

$D_{nT,w} (C; C_{tr})$: 67 (-1; -4) dB

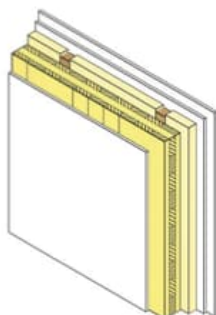
Double-layer facing panel



- 12.5 mm plasterboard
- 12.5 mm plasterboard
- 50 mm separate facing panel (CW-profile including 50 mm mineral wool)
- 5 mm glazing gasket
- 100 mm Stora Enso CLT
- 40 mm mineral wool
- 100 mm Stora Enso CLT
- 5 mm glazing gasket
- 50 mm separate facing panel including 50 mm mineral wool
- 12.5 mm plasterboard
- 12.5 mm plasterboard

$D_{nT,w} (C; C_{tr})$: 60 (-2; -8) dB

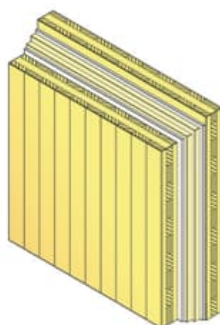
Single-layer facing panel



- 12.5 mm plasterboard
- 100 mm Stora Enso CLT
- 5 mm glazing gasket
- 50 mm separate facing panel (CW-profile including 50 mm mineral wool)
- 12.5 mm plasterboard
- 12.5 mm plasterboard

$D_{nT,w} (C; C_{tr})$: 61 (-3; -10) dB

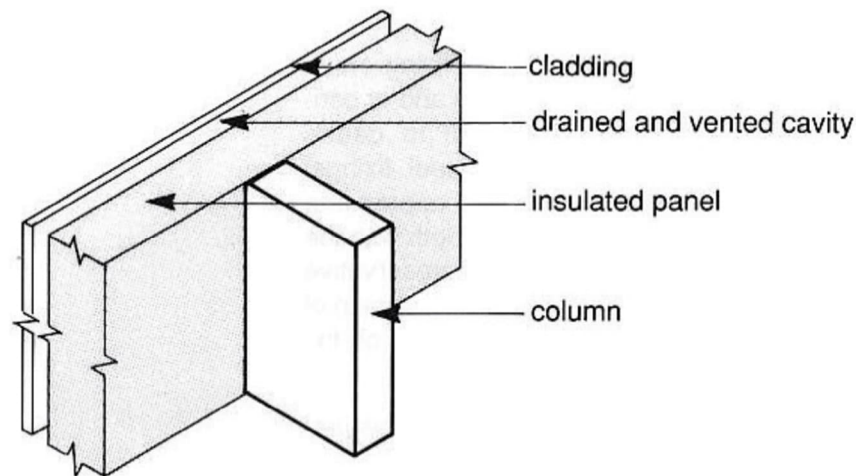
Double-layer visible CLT panel



- 100 mm Stora Enso CLT
- 12.5 mm plasterboard
- 30 mm mineral wool
- 30 mm mineral wool
- 5 mm layer of air
- 100 mm Stora Enso CLT

Kuva 19. Esimerkkejä vaihtoehtoisista seinärakenteista. Stora Enso v. 2022 Building division.

Rakenteen perustueessa eriytettyyn kantavaan runkoon ja eristävään vaippaan, on selkeintä sijoittaa kantava rakenne kokonaan eristeen sisäpuolelle. (WIS 01, s. 3)



Kuva 20. Turvallisin ratkaisu kondenssiveden muodostumisen ehkäisyksi on sijoittaa kantavat pilarit kokonaan eristekerroksen sisäpuolelle. (lähde: Wood Information Sheet: Timber in swimming pool hall construction)

Seinärakenteen suojaus

Huomioitavaa seinärakenteissa puutuotteita käytettäessä, uimahallien pystyrakenteet tulee suojata vedeltä 1,5 m korkeuteen asti, sekä kantavat pilarit suojattava epoksisivellyllä pilarijuurista. (Puuinfo 2020) Massiivipuuseinärakenteen päälle asennetaan kipsilevy ja vesieristejärjestelmä, tai kostean tilan eristelevy. Kumpikin ratkaisu tulee toteuttaa ilmaraon kanssa, koolattuna irti seinärunko-osan pinnasta pystykoolauksin.

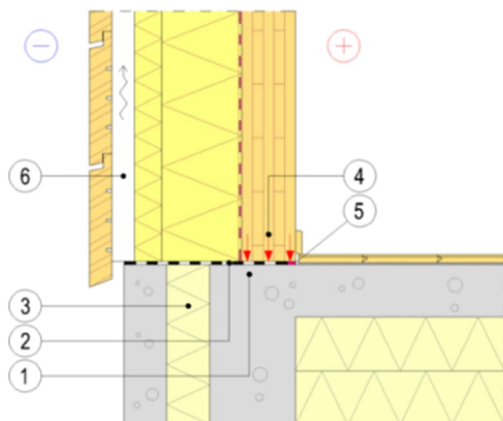
Pilarien alapinta on nostettava irti lattiasta, tyypillisesti metalli- tai betonijalustan varaan. (WIS 01, s.3)

Rakennusosien liittymien suunnittelussa keskeisimpinä aihealueina ovat seuraavat:

- Lujuustekniikka (voimien siirtoreitti vaaka- ja pystysuunnassa, voimaliitokset, tukipinnat jne.)
- Muodonmuutokset (vaakasiirtymä, painuma jne.)
- Lämpö- ja kosteustekniikka (lämpö- ja kosteuskatko, ilman- ja höyrönsulku jne.)
- Äänitekniikka (ilmatiiviys, sivutiesiirtymä jne.)
- Palotekniikka (palokatkot, kantavuus, osastoivuus, tiiviys jne.)
- Työmaatekniikka (rakennettavuus jne.)

Seuraavissa kuvissa (kuva 21.) on esitetty tyypillisiä massiivipuulevyrunгон liittymien suunnittelussa huomioitavia seikkoja liityntätyyppikohtaisesti. Esitetyt kuvat ovat suuntaa antavia periaatetasolla esitettyjä ratkaisuja.

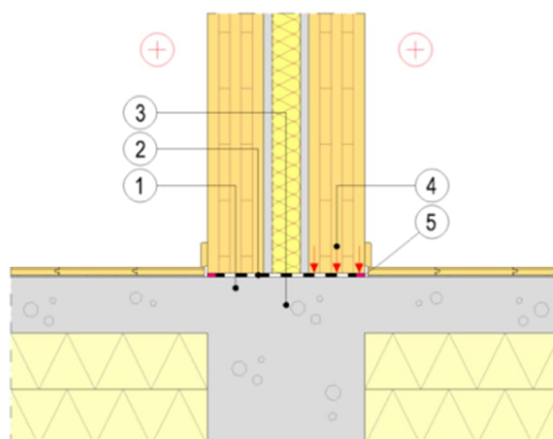
US - AP



Liittymän suunnittelussa huomioitavia seikkoja

- 1) Perustuksen tasaisuus (tarvittaessa tasausvalu)
- 2) Kosteus- ja radonkatko
- 3) Perustuksen lämpökatkon sijainti
- 4) Pysty- ja vaakakuormien siirto perustukselle (tukipinta, liitoselimet)
- 5) Tiiviys
- 6) Ulkoverhouksen tuuletus (tarvittaessa ontelon palokatkot)

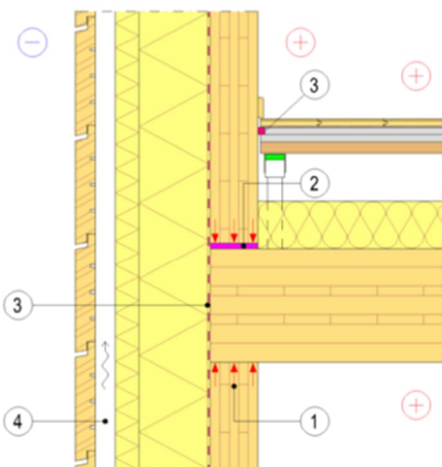
HVS - AP



Liittymän suunnittelussa huomioitavia seikkoja

- 1) Perustuksen tasaisuus (tarvittaessa tasausvalu)
- 2) Kosteus- ja radonkatko
- 3) Tarvittaessa laatan katkaisu äänitekniikan takia
- 4) Pysty- ja vaakakuormien siirto perustukselle (tukipinta, liitoselimet)
- 5) Tiiviys

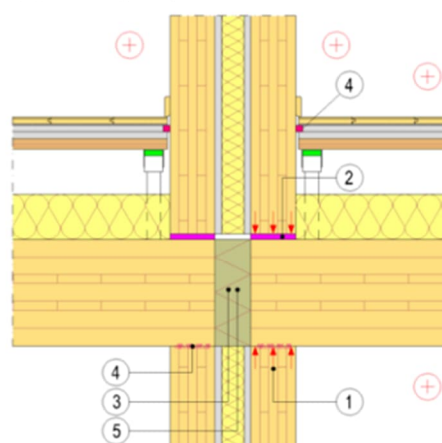
US - HVP



Liittymän suunnittelussa huomioitavia seikkoja

- 1) Pysty- ja vaakakuormien siirto alemmalle seinälle (tukipinta, liitoselimet, painuma)
- 2) Äänen sivutesiirtymän vähentäminen (tarvittaessa tärinäeristimet)
- 3) Tiiviys
- 4) Ulkoverhouksen tuuletus (tarvittaessa ontelon palokatkot)

HVS - HVP



Liittymän suunnittelussa huomioitavia seikkoja

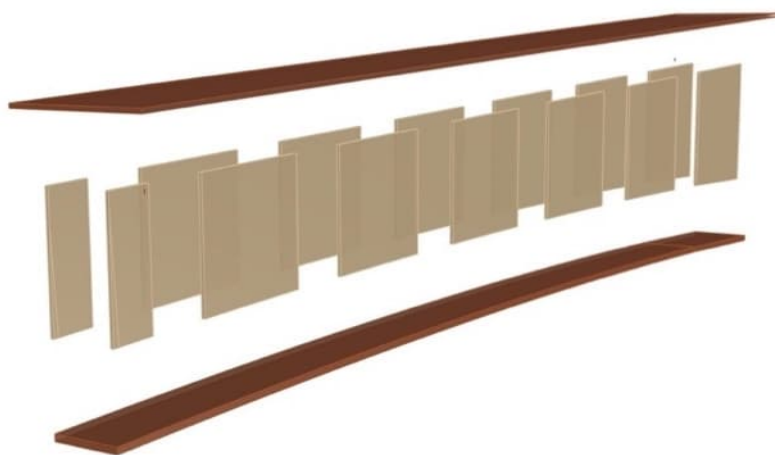
- 1) Pysty- ja vaakakuormien siirto alemmalle seinälle (tukipinta, liitoselimet, painuma)
- 2) Äänen sivutesiirtymän vähentäminen (tarvittaessa tärinäeristimet)
- 3) Värähtelyn siirtymisen ja äänen vaakasuuntaisen sivutesiirtymän estäminen (välipohjan katkaisu)
- 4) Tiiviys
- 5) Ontelon palokatko kerroksittain

Kuva 21. Rakenneliittymien suunnittelussa huomioitavia seikkoja.
ePuu -portaali. Puuinfo.fi

2.2.3 Edistyneet runkoratkaisut (kokonaisuus tarkistettava – sisältää ehkä paljoo toistoa)
Edistynyttä keskipitkien- ja pitkien jännevälien runkorakentamista edustavat esivalmistetut moduulikannattajien järjestelmät. Edullisuus rakennuskohtaisen räätälöidyn massiivipuisen ontelojärjestelmän kohdalla saavutetaan puutuoteosien integroinnista kokonaisrakenteeksi, jossa primäärikannattajat vastaavat samalla sekundäärikannatustarpeeseen. Moduulikannattajien hyöty perustuu jäykkyysominaisuuksiin, myös nurjahdussuunnan tuki toteutuu samalla, edistyksellisen optimoinnin seurauksena. Ontelo-/kotelokannattajissa käytettävien tuoteosien korkeiden lujuuskestävyysuuntien hallinnan kautta voidaan ohjata voimat tehokkaasti perustuksiin, samalla kun levyrakenteiset komponentit voidaan kiinnittää toisiinsa jäykin ruuvi- ja liimaliitoksien.

”Vierendeel” -runkokannattajat

Tavanomaisten GLT- ja LVL –kannattajien rinnalla vaihtoehtoinen runkokannattajaratkaisu keskipitkien ja pitkien jännevälien hallirakentamiseen on ”Vierendeel” –pystylevykomponenttien kehäjäykistykseen perustuva pääkannattajamoduuli. Räjätyskuva kokoonpanoluonnoksesta (kuva 22) systeemisen suunnittelukonseptin hallirakennusreferenssinä. Tarkasteltu esimerkkiratkaisu koostuu yhteensä neljästä osamoduulista, joista syntyy yhteensä 80 metrin pääkannattaja. Näistä kaksi ovat toistensa kaltaisia, joten kahta erilaista moduulia käyttämällä toteutetaan yksi pääkannattaja, joka on integroituna myös sekundäärikannattaja, jolloin myös kiepahdus-/nurjahduskuormat hallitaan. Pääkannattajan osamoduulin yläpaarilevy toimii sekä puristus-, että venytyskuormien välittäjänä ja lisäksi myös erinomaisena höyrynsulkukerroksena sekä jäykkänä levymateriaalina yläpohjan rakennekerroksille. Palosuojaosavely kiinnitetään levykomponentteihin ennen kokoonpanoa. Palosuojaavaatimus toteutukselle laskennallisen palomitoituksen mukaisesti.



Kuva 22. Moduulikannattaja ”Vierendeel”. Levykomponentit liitetään mekaanisin rakenneliitoksien PUR-liiman ja teräsosien käyttöluokkavaatimus (2).

Pääkannattajat	Jänneväli vakio-suunnittelulla Halli PES1.0	Lisätarkennus
Massiivipuupalkit GLT:		
- Mahapalkit, harjapalkit - Bumerangipalkki, suora palkki ja NR -ristikot	L = 16...24 m L = 20 m	Erikoismitoitus max. 32 m
Vetotangolliset GLT:		
- Ansaspalkki, vetotangollinen kaarikannatin	L _{max} = 50 m	
Massiivipuu: A -kannatin	L _{max} = 30 m	
Tappivaarnaristikko	L _{max} = 65 m	
CLT / LVL -ontelokannattaja: Vierendeel-periaate	L _{max} = 82 m	Esivalmistetut moduulit

Taulukko 2.12. Pääkannattajien vertailua. Esivalmistettuihin moduleihin perustuvilla CLT/LVL-ontelokannattajilla saavutetaan selvästi pidempi jänneväli.

Järjestelmän etuina voidaan pitää tehokasta materiaalien käyttöä, matalampia kattorakenteita, lyhyttä asennuksen "on-site" -aikaa, yleistä asennettavuutta lyhyemmissä jänneväleissä, ja täydentävien rakenteiden (esim. yläpohjaeristeet, höyrynsulku, vedeneristys) helppoa kiinnitettävyyttä ja asennettavuutta.

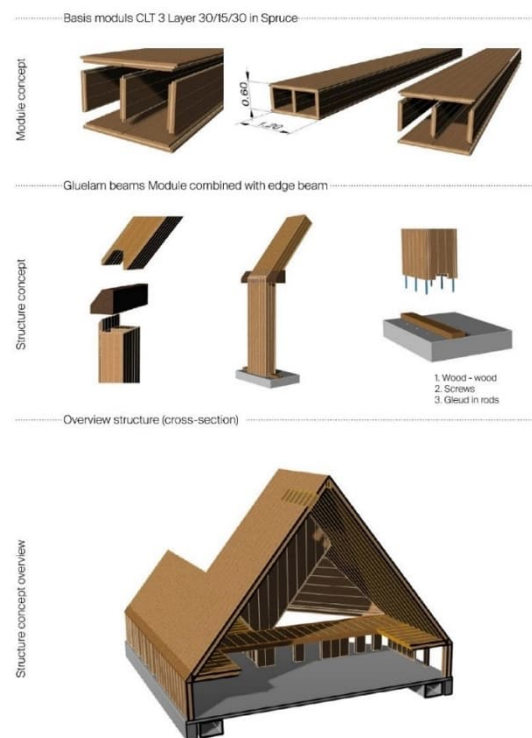
Teknisesti katsoen kannattajamoduulijärjestelmän etuja ovat taloteknisten laitteiden ja komponenttien asennusmahdollisuus höyrynsulkukerroksen sisäpuolelle. Höyrynsulkukerros saavutetaan pääkannattajien asennuksen yhteydessä, kun liimapuuosat muodostavat kahden PUR – liimakerroksen ja puun tiheyden myötä höyrytiiviin vaipan/kuoren. Massiivipuuta käytettäessä 45 mm (sis. väh. 3 lamellikerrosta) saavuttaa höyrynsulkutiiveyden. Akustoiva sisäkattomuoto rakenteessa vähentää jälkikaikua, ja samalla puun pehmeys pintamateriaalina pääsee oikeuksiinsa.

Systeemis suunnittelu mahdollistaa integroidut rakennevaihtoehdot, jolloin kannattajat ja yhtenäiset jäykistävät seinä- ja välipohjakerrokset voidaan rakentaa modulaarisina. Massiivipuun (GLT:n), CLT:n ja LVL:n pääkannattajien yhteisoptimoidulla ontelopalkkijärjestelmällä on tutkittu saavutettavan tehokkaasti jopa 80 metrin vapaajännevälin. Tutkitussa hallirungossa edellytettiin yksilaivaisuus jäykällä pysty–vaakarungon nivelliitoksella. (Myllypuron jääurheilukeskuksen hallin puurunkokonseptisuunnittelu, Ympäristöministeriö 2020.)

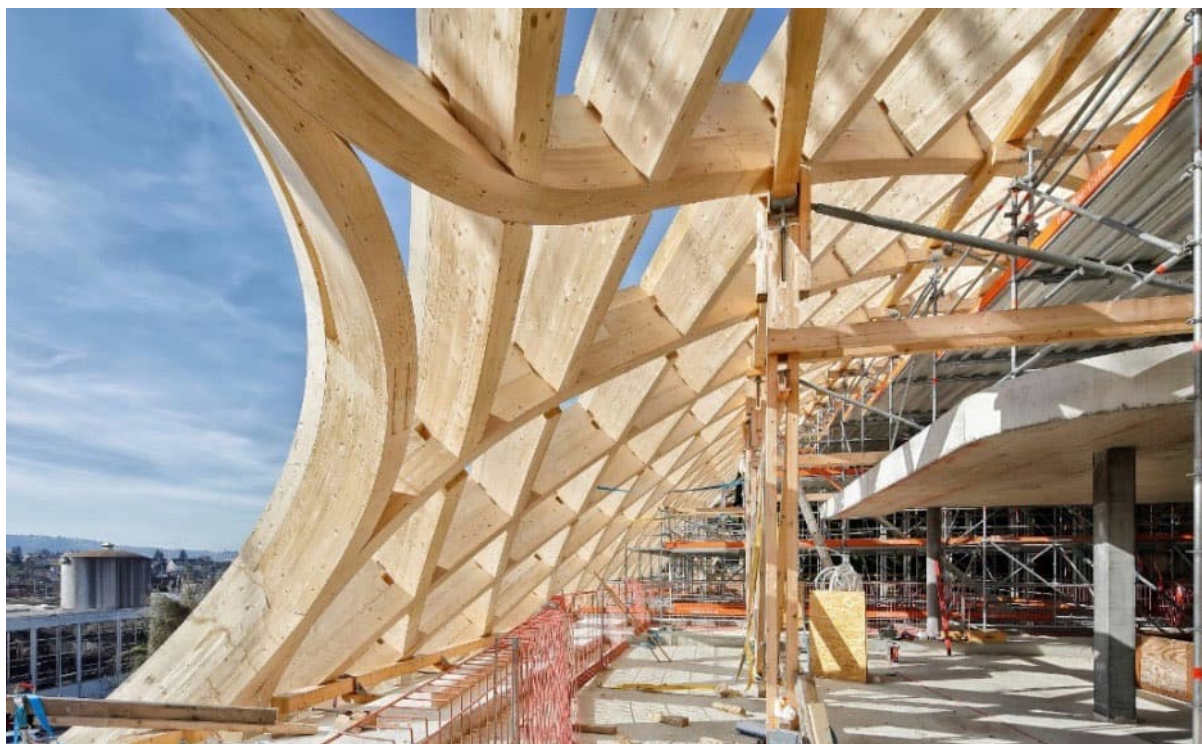
Modulijärjestelmän etuja

Moduulijärjestelmässä asennusaika työmaaolosuhteissa on lyhyt (on-site). Tällöin säärisi vähenee, ja ratkaisu avaa mahdollisuuden saavuttaa kustannussäästöjä paremman hallittavuuden myötä. Materiaalimenekki voidaan näin optimoida. Materiaalivirtojen hallinta ja hyvän projektinjohton merkitys on huomioitava. Rakennuksen näyttävyys ja käytännöllisyys ovat hyötyjä, joita on usein hankalampi saavuttaa perinteisin menetelmin ilman integroituja rakennekerroksia runko- ja kuoriratkaisuissa.

Järjestelmämallinnuksen etuja
 Järjestelmämallinnus mahdollistaa
 mielenkiintoiset signaalirakennuksille ominaiset
 pyöreät ja morfologirakenteet tehokkaasti.
 Suunnitteluosuuden painotus on merkittävä,
 kokoonpanosuunnittelun kuuluessa
 toteutussuunnitteluprojektin keskeisiin
 elementteihin. Uimahallirakentamisen toivotaan
 ottavan pohjoismaissa vapaa-
 ajanviettopaikkoina uusia askeleita puu- ja
 systeimirakentamisen saralla. Eurooppalainen
 massiivipuurakentaminen on merkittävästi
 yleisempää kylpylä- ja uimahallirakennuksissa, ja
 Keski-Euroopassa koetaankin viihtyvyyden
 lisääminen olennaisena osana materiaalivalintoja
 kylpylä-/hallirakennuksissa.



Kuva 23. Esimerkki kolminivelisen hallimaisen rakennuksen
 systeemis suunnittelusta: Ylivieskan kirkon
 moduulirakenteinen suunnittelukonsepti. CRH 2018.



Kuva 24. Swatch pääkonttori. CRH 2019.

2.2.4 Runkorakenteen kustannuslaskenta
Puun menekin mitoitus määrittyy kannattajien ladontaperiaatteesta, sekä palkin varsinaisesta kokoluokasta, joka optimoidaan rakennettavan katetun alan perusteella.

Pääkannattajatyypeissä on eroja, jolloin yksikköhintakustannus sekä ajankohtainen markkinahintaymmärrys tulee taata kustannusarviota tehdessä. Optimointipanostus suunnittelussa usein johtaa kustannustehokkaaseen vaihtoehtoon.

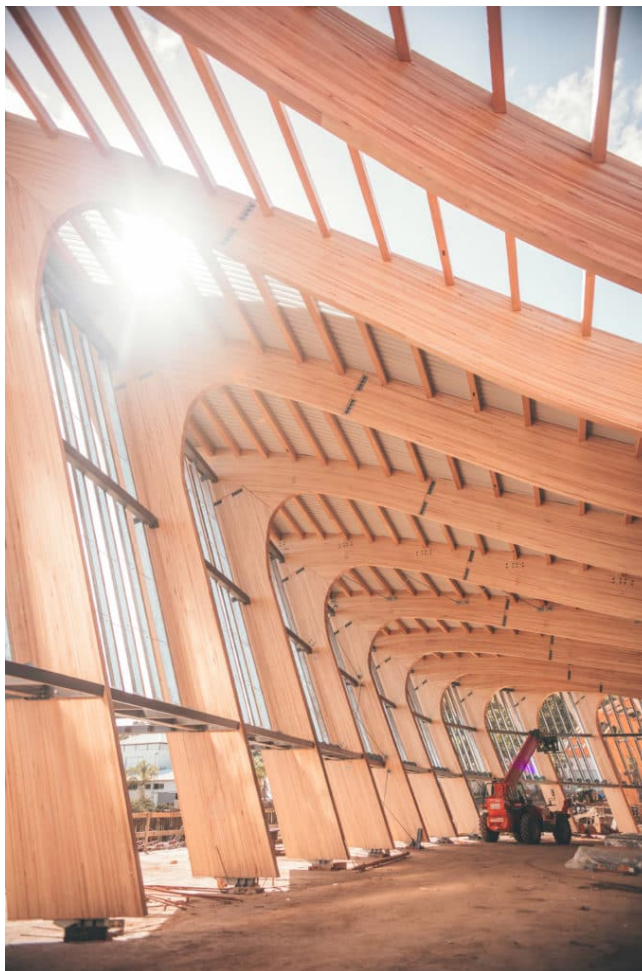
Viimeaikainen sahatavararaaka-aineen suuri hintavaihtelu mannertenvälisten sahaus- ja kauppasopimusten myötä on johtanut massiivipuukaupan luontaisen hankintasyklin lyhenemiseen. Suurten hallirakennuskohteiden sahatavaratilavuus runko- ja kuorirakenteissa muodostaa merkittävän kustannuserän, runkotuoteosahankinnat määrittävät yleisesti 10–15 % hankkeiden kokonaiskustannuksista.

Tuoteosien valmistuksen yksikkökustannukset sisältävät kertahankintaisia hintamäärittelykomponentteja.

Mekaanisen puunjalostustekniikan kustannusrakenteen sisältäessä vain vähän manuaalista ihmistyöosuutta, sahatavaran jalostuksen arvoketjussa tuotantoketjun kokonaistehokkuus ohjaa paljon yksikkökustannustasoa. Kotimainen markkina on pirstoutunut useampaan pieneen tuottajaan massiivipuisten tuoteosien suhteen, ja nämä tuottajat ovatkin keskittyneet varsin vähäisesti hankekohtaisiin erikoistarpeisiin markkinassa.

Asennusurakointivaihe ja mahdolliset moduulikokoonpanon vaiheet ovat myös oleellinen osa hankintamenettelyn tarjousprosessia, konsultointitoimijat ovat usein ratkaisu massiivipuisten hankkeiden runkohankinnoissa. Skandinaviassa ja Keski-Euroopassa ko. toteutusmenetelmä on usein ratkaisu. Massiivipuukomponenttien monipuolinen tarjoama ja räätälöidyt ratkaisut edellyttävät usein projektinjohtamisen ja tilaajan edustajan asiantuntijuutta.

Liimapuisten runkotuotteiden ja CLT:n tuoteosatoimittajat ylläpitävät detaljikirjastoa tyypillisten toteutettujen kohteiden vertailuja varten. Hankesuunnitteluvaiheessa on usein hyödyllistä tehdä selvitystyötä ja määrittelyä periaateratkaisuista, budjetäärisiä laskelmia ja massamäärälaskentoja kustannusvertailujen toimenpiteinä. Puurunkorakenteiden toteutussuunnittelussa päästään tällöin hyvin vauhtiin, kun esisuunnittelua on jo toteutettu. Tuoteosien hintavaihtelut ovat tuolloin myös



Kuva 25. Atchugarry Foundation Museum of Contemporary American Art (MACA) – Uruguay. Valokuva: Agustin Mazzei
<https://www.simonin.com/en/>

selkeästi paremmin hallittavissa, sekä saatavuuden / toimitusriskin hallinta, että tuoteosien optimointi pidemmälle on mahdollista. Hyötynä on kustannustehokkaampi, ja tarkoitukseen parhaiten soveltuvin tuoteosatoteutus.

2.2.5 Runkorakenteisiin liittyvät erityishuomiot:

- Massivipuiset levy-, pilari- ja palkkirakenteet toimivat umpisolukkoisten eristemateriaalien kanssa yhdessä (PUR- levyt), Huomioitava tuuletusvälin määritykset rakenteessa, ja toteutus varmistettava.
- Yläpohjan matalat kattokaltevuudet edellyttävät usein tuuletusvälien toimivuuden varmistukseksi alipainepuhaltimia.
- Markkinoilla saatavilla olevien moninaisten eristemateriaalien vettymisenesto-ominaisuuksista on varmistuttava. Huokoisten puukuitueristeiden lämmöneristävyyskyky heikkenee huomattavasti suhteellisen eristeen sisällä olevan ilmankosteuspitoisuuden lisääntyessä, kun taas umpisolukkoisten eristeiden eristävyyskykyyn ei eristeen ulkopuolisella kosteuspitoisuudella ole juurikaan vaikutusta.
- Kiinnikkeiden ja liitososien käyttöluokkavaatimus on asetettava luokkaan 3, sekä näkyviin jäävien komponenttien kosteuskuorman alttiiksi saattamisen tilanteissa käyttöluokkavaatimus 4 on perusteltu.
- Voimaliitokset ovat toteutettavissa usein myös piiloon jäävien järjestelmien tavoin, jolloin puutapitus ja korroosiokestävien teräsosien liimapuukomponenttien työstöt määritellään tuotantosuunnitelmiin ja kokoonpanokuviiin moduulitoteutuksissa. Näissä tilanteissa käyttöluokkavaatimus 2 on mahdollinen, tällöin ilmatiiviyden varmistaminen tärkeää. Ilmankosteuden kondensoituminen teräsosien pinnalle allastiloissa, ja kosteissa tiloissa on estettävä eristämällä ruuvi- ja pulttiupotukset paikallisesti esimerkiksi epoksimassatäytöillä.
- Palovaatimukset puurungon osalta kokoontumistiloissa P1, toiminnallinen palomitoitus P0/REI60 ja palokuorma määritetään kohdekohtaisesti. Kohdekohtainen erillinen palomitoitus tarvitaan. Lisätietoja Halli PES 1.0.
- Allastilan runkoratkaisun liimapuupääkannattajien (GLT) palovaatimukset, HalliPES 1.0 ja mukaan.
- EN ja ISO standardien mukaiset laskentamallit edellytetään, jolloin tuoteosamitoitukset määritetään ja kokonaisrakennetta optimoidaan.
- Palosimulaatiot toteutetaan, mikäli vastaavia referenssitoteutuksia ei ole, sekä usein myös rakenneoptimoinnin edellytyksenä.
- Mastopilarin nurjahduspituuden määrittäminen
- Kosteusmuodonmuutosten huomioiminen pääkannattajalinjojen pituussuunnassa
- Muuntojoustavuus Elmon uimahallin käyttötarkoituksessa
- Kehärakenteiden hallirunkojen elinkaaren myöhemmässä vaiheessa laajennus pituus- ja leveyssuunnassa on mahdollista ja runkomuutokset on helppo toteuttaa. Perustusten muuttaminen ja vaippaan tehtävien muutosten osuus voi olla merkittävä.

Rakennusosakohtaiset huomiot:

Pitkät jänneväli, taipumat, värähtely

- Jänneväliden kasvaessa huomionarvoista on vapaa-ajan ja liikuntatiloissa tilojen käyttötapausten asettamat erityisvaatimukset. Esimerkiksi alueelliset hyötykuormat riiputettavien näyttötaulujen tai muun tarpeellisen (AV –tekniikan) aiheuttamana.

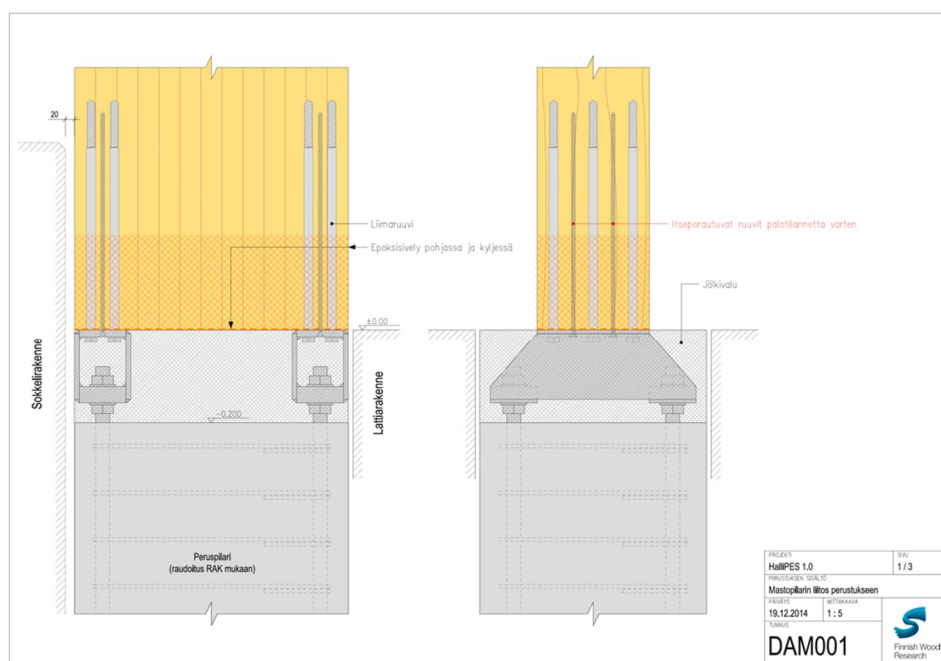
- o Liiallisen värähtelyn ehkäiseminen, sekä tilojen välisten rakenteiden akustointivaatimukset huomioitava statiikkamallinnuksen menetelmin. Rakennetyyppivalinta tehtävä soveltuvalla välipohjarakenteella. Esimerkkinä painonnostoharjoittelun asettamat pistekuormat välipohjarakenteisiin, painojen tiputtamisen yhteydessä. ($F=2000N$; $h=2,3\text{ m}$) Perinteisen välipohjaan soveltuvan LVL –puuelementin värähtelyominaisuudet eivät useinkaan täytä ko. esimerkin käyttötapausvaatimusta.

Kosteudenhallinta, kosteuseläminen

- o Pitkien jännevälien kannattajien kohdalla huomioitava toimitettavan massiivipuutuotteiden kosteusvaatimusmäärittely. Mikäli tuoteosat toimitetaan ulkokuivana (rahtikuiva) tai kosteana, on pitkissä liimapuukannattajissa merkittävä riski halkeilulle puun kutistumisominaisuuden johdosta puuosan hakeutuessa ominaiskosteuteen. Massiivipuutuoteosien delaminointiriski kasvaa erityisesti liitosalueilla osien päiden läheisyydessä, joissa vetolujuuskestävyyttä edellytetään ja läpiporauksia sekä työstöuria sijaitsee paikallisesti enemmän.
- o Liitosmenetelmien tarkka määrittelytyö sekä liitososien ja kiinnikkeiden valikointi varmistaa riskittömän lopputuloksen. Erikoissuunnitteluosaamisen vaatimus on ilmeinen.
- o Rakennusaikaisen kosteuden riittäväksi kuivumistahdiksi on määritelty 6 %-tasapainoyksikköä ero puuosan ja vallitsevan olosuhteen välillä. (SFS 5978 2014)

Sekundäärirakenteiden mahdollisuudet

- o Rakennuksen kiinnostavat sisätilat, ja perinteinen US-, VP- ja YP-kasettielementtien sarjaladonnan mahdollistava ulkomuotoilu on mahdollista toteuttaa sekundäärisillä kolmiokannattajilla pääkannattajarytmissä tai tiheämmin.
- o Kustannustehokkuus varmistetaan kaarevien muotojen vähäisyydellä, sekä elementtituotannon toistettavuudella. Toisioripustus on tehokasta asentaa, ja riittävä eräkohtainen tuotantolukumäärä takaa kustannustehokkuuden.
- o Liitosdetaljien määrittelyssä huomioitava asennusolosuhteet ja työjärjestys.
- o Kosteiden tilojen sovelluksissa huomioitava olosuhde ja alumiini–teräsosien korroosioriskit.



Kuva 26. Esimerkki voimaliitosten mitoitusohjeista. Kuvalähde: HalliPES 1.0 - Osa 14: Voimaliitokset.

Voimaliitokset

Mitoitusohjeet puupilari–palkkijärjestelmille standardeista ja mitoitusohjeista:

- Kantavat puurakenteet Eurocode 5
- Teräsosat mitoitetaan Eurocode 3, sekä voimaliitosten suunnitteluohjeen mukaisesti. (VTT–S–05701–14 lausuntoon perustuvat *HallIPES 1.0 - Osa 14 Voimaliitokset* -mitoitushjeet ladattavissa Puuinfon verkkosivuilta)
- Päätypalkin liitos nivelpilariin ref: DYN001 (HallIPES -ohjeen esimerkkiliitoksia)
 - Liitosteräket piiloon jääden
 - Ruuvien kannat senkataan (5 cm) ja tulpataan puutulpalla korroosion ehkäisemiseksi.
 - Ruuviryhmät DYN001 mukaisesti
- Pääkannattimen liitos mastopilariin ref: DYM001 tai DYM002 (HallIPES -ohjeen esimerkkiliitoksia)
 - Ruuviryhmien kannat upotetaan 5 cm ja tulpataan puutulpalla
 - Liitos vahvistetaan täysin piiloon jäävillä liimatangoilla
 - Hankolautaliitoksen mitoitus tapauskohtaisesti, tässä tapauksessa mitoitus ylisuurena, jolloin ruuvikantojen upotus mahdollinen
 - Ruuvien kannat upotetaan ja tulpataan puutulpalla korroosion ehkäisemiseksi.
- Mastopilarin liitos perustukseen ref: DAM001 (HallIPES -ohjeen esimerkkiliitoksia)
 - Sisällytetään epoksisively pohjaan ja kylkiin, sekä 2 metrin korkeuteen allastiloissa, runko-osan osan ollessa altis toistuville korkeille huoneilman kosteuspitoisuuksille.
 - Itseporautuvat ruuvit, jääden piiloon.

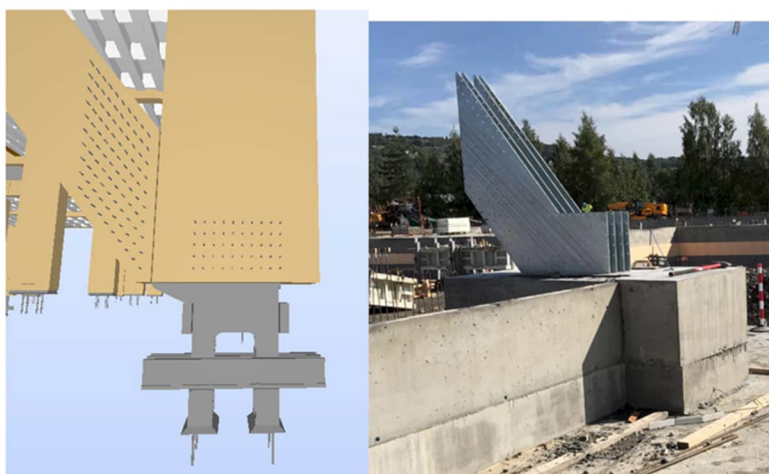


Figure 4 Corner column foot detail from 3D-model and building site

Kuva 56. Referenssi mastopilarin perustusliitoksesta.



Kuva 47. Hasslacher Ltd. beam

3 Uimahallien sisärakenteet

3.1 Kosteiden tilojen rakenteet

3.1.1 Altaat

Elmon uimahallin pää-, terapia-, opetus- ja hyppyaltaat ovat alustavan rakennustapaselostuksen mukaan betonitason varaan asennettavia jaloteräsaltaita. Allasrakenteen toteuttaminen puurakenteisena olisi teknisesti mahdollista, mutta edellyttäisi tammen tai muiden jalopuulajien käyttöä, poikkeuksellisen korkeaa työn laatua ja jatkuvaa ylläpitoa.



Kuva 28. Hurlimann Bad -kylpylän tammialtaita Zürichissä. (Kuvälähde ja lisätietoa: <https://www.aqua-spa-resorts.ch/en/hurlimannbad-spa-zurich/architecture>)

3.1.2 Alakatot ja seinäverhoukset

Toteutettaessa hallitiloihin ripustettuja alakattoja, tulee kiinnittää erityistä huomioita niiden hengittävyYTEEN. Alakatot muodostavat aina riskin riittämättömästä ilmanvaihdosta alakaton yläpuolella, joka altistaa alakaton yläpuoliset pinnat uimahalleille tyypilliselle kondenssiveden muodostumiselle. (WIS 01, s.4)

Kosteiden tilojen alakatoissa on huomioitava riittävä hengittävyys ja ilmanvaihto kondenssiveden muodostumisen ehkäisemiseksi. Lisäksi kaikki puiset seinäpinnat, jotka altistuvat säännöllisesti roiskeille, tulee suojata vedenpitävällä käsittelyllä.



Kuva 29. Puinen alakatto, New FINSA Headquarters by Spigo Group
<https://spigogroup.com/en/decorative-wood-strips/>

3.1.3 Lattiat

Jatkuvan kosteusrasituksen takia uimahallien alapohjiin ei suositella puukannattajiin tai -laattaan perustuvia ratkaisuja. Vesieristeen pitkäikäisyyden takaaminen olisi hyvin vaikeaa, eikä lattiarakenteen alapuolinen tuuletus välttämättä riittäisi mahdollisten vuotojen aiheuttaman kosteuden poistamiseen puurakenteesta. Tällöin puun kosteusprosentti pääsisi nousemaan yli turvallisena rajana pidetyn 20 prosentin. (WIS 01, s.03)

Puuta voidaan kuitenkin käyttää ritilämäisillä kulkutasoilla irrotettuna kantavasta betonilattiasta. Tällöin puulajiksi on määriteltävä kosteutta kestävä puulajin (luokitus *durable* standardin *BS EN 350:2016 Durability of wood and wood based products.*) sydänpuu. Lisäksi laudoituksen pintaan määritetään liukastumista ehkäisevä tekstuuri. (WIS 01, s.4)

3.2 Kuivien tilojen rakenteet

Elmon uimahallin toiseen kerrokseen on suunniteltu yhteensä yli 560 m² voimistelu-, voimailu- ja kuntosalitilaa. Tämä luku käsittelee usein uimahallien yhteyteen toteutettavia kuivia tiloja, joiden rakenteille tilojen käyttö asettaa erityisiä vaatimuksia. Esimerkiksi voimailussa käytettyjen suurten painojen käsittely aiheuttaa välipohjarakenteille suuria hetkellisiä kuormia. Ei ole erityisiä esteitä miksei näiden tilojen seinä- ja kattopintoja voitaisi toteutua apurakenteisina. Massiivipuiset seinä- ja mahdollisesti alakattorakenne lisäävät tutkitusti tilojen viihtyisyyttä. Painonnostolaitteita ja -telineitä olisi käytännöllistä kiinnittää puihin seinä- ja kattopintoihin.

Lattiarakenteessa kriittisiä ovat äänten ja värähtelyiden johtuminen.

4 Puun käyttö julkisivuissa

Puun käyttö julkisivumateriaalina edellyttää hyvää suunnittelua ja mahdollisesti huolellisesti toteutettua määrääjoin toistettavaa pintakäsittelyä. Myös rakennuksen paloluokka ja julkisivumateriaalilta vaadittu paloluokitus tulee ottaa huomioon julkisivuratkaisua suunniteltaessa.

Puufinon ohjeiden mukaisella ulkoverhouksen toteutuksella tavoitellaan 10–15 vuoden uudelleen käsittelyväliä. Hyvällä huollolla puujulkisivu säilyy hyväkuntoisena jopa yli 100 vuotta. Keskeisimmät tekijät tyypillisen lautaverhoillun julkisivun pitkäikäisyyden kannalta ovat:

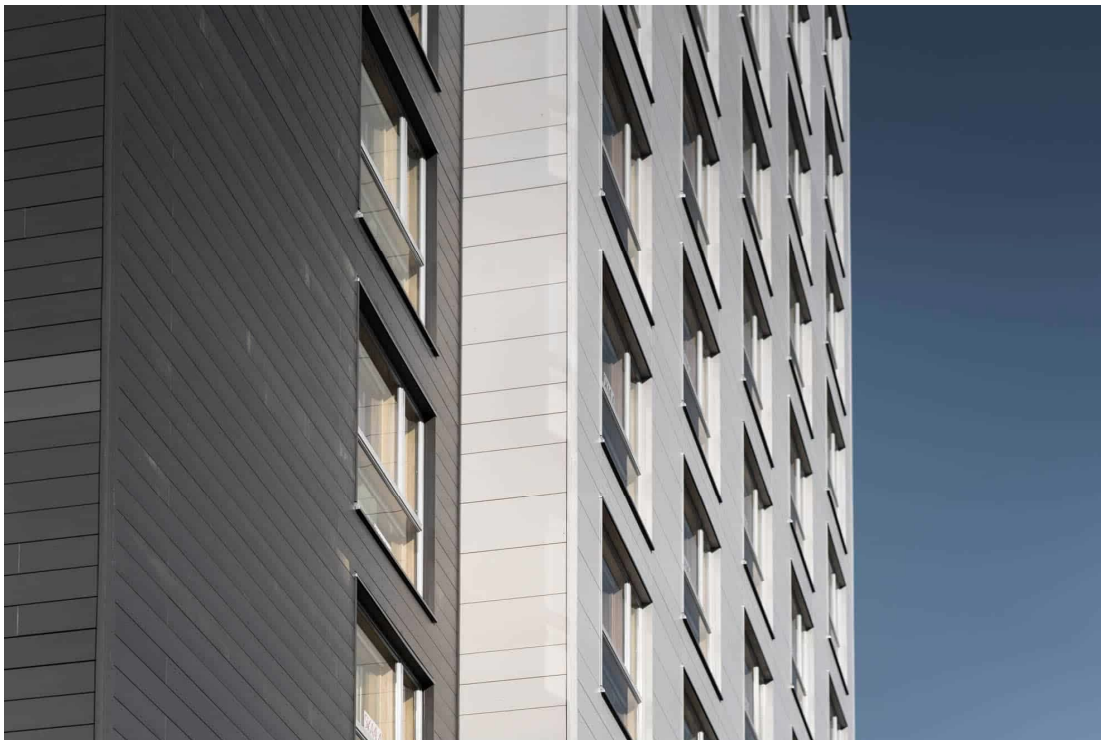
- riittävän paksu ulkoverhouslauta (min. 28 mm)
- käytetyn puun mahdollisimman hyvä laatu
- käytetyn puun riittävä kuivuus (kosteus < 18 %)
- verhouksen rakenteellinen suojaus, esim. räystäät ja riittävä etäisyys maanpinnasta (suositus > 500 mm)
- lautojen jatkosten ja säälle altistuvien laudanpäiden välttäminen
- liitosten, jatkosten ja kiinnityskohtien suojaus
- sadeveden hallittu ohjaaminen viistojen pintojen, tippanokkien ja suojaPELLITYSTEN avulla sekä hyvät edellytykset kastuneen puun kuivumiselle
- asennusten, kiinnitysten ja pintakäsittelyiden huolellinen toteutus
- ulkoverhouksen tarkastus, korjaus ja huolto riittävän usein
- Lisätietoa ja tarkemmat ohjeet pitkäikäisen puujulkisivun toteuttamiseksi: Kestävät puujulkisivut, 2020

Vakiintuneiden ulkoverhouslautaprofiilien lisäksi nykyään markkinoilla on tarjolla erilaisia teollisesti valmistettuja puutuotteita, kuten esimerkiksi Verso Kuningaspaneeli ja Siparilan Platta-julkisivulevy. Yksittäistä ulkoverhouslautaa suuremmat julkisivupaneelit mahdollistavat nopeamman rakentamisen ja perinteisestä lautaverhouksesta poikkeavan ilmeen.

Kuusiliimapuusta valmistetulla Kuningaspaneelilla saadaan valmistajan mukaan jopa 12-metristä yhtämittaista kieroutumatonta seinäpintaa. Seitsemästä rimasta liimatut paneelit ovat maksimissaan 12 m pitkiä, 42 mm paksuja ja 312 mm leveitä. Paneelien lopullinen pintakäsittely suositellaan tehtäväksi työmaalla. (Verso Kuningaspaneeli -tuotekortti). Siparilan Platta-julkisivupaneeleissa käytetään ristiinliimattua 3-kerroksista kuusiliimapuulevyä. Kerroksellisen rakenteen ansiosta Platta -julkisivulevyjen peittoleveys on 595 mm vaikka levyjen paksuus on vain 20 mm. Ympäripontattuja paneeleita on saatavissa kolmessa eri pituudessa. (<https://www.siparila.fi/tuote/platta-julkisivulevy/>)



Kuva 30. Yli 30 cm leveät Kuningaspaneelit soveltuvat hyvin suurten julkisten rakennusten kuten urheiluhallien kustannustehokkaaseen rakentamiseen. Liimapuurakenteen paksuuden ja tasaisuuden ansiosta paneelit säilyttävät muotonsa tavanomaista ulkoverhouslautaa paremmin.



Kuva 31. Espoon Tapiolan HOAS Tuuliniityssä päädyttiin Siparilan CLT-rakenteeseen perustuviin Platta -julkisivupaneeleihin. Piilokiinnityksillä ripustettu kevyt julkisivuratkaisu soveltuu hyvin säälle alttiiseen korkeaan rakentamiseen.

4.1 Modifioitu puutavara

Erilaisten käsittelyprosessien avulla puuaineksen ominaisuuksia voidaan parantaa, jolloin puuta voidaan käyttää ulkotiloissa myös suorassa maakosketuksessa. Puun painekyllästämällä tarkoitetaan tyypillisesti puuaineksen suojaamista tekemällä siitä haittaeliöille myrkyllistä biosidien avulla. Nykyään puuainesta voidaan kyllästää myös täysin myrkyttömällä käsittelyaineilla, jotka puuainekseen imeytyttyään muuttavat puun ominaisuuksia pysyvästi. Puun ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa myös erilaisten lämpökäsittelyjen avulla.

Kebony

Kebony -puutuotteet läpi- tai pintakyllästetään paineen ja lämmön avulla. Käsittelyaineena toimii biopohjainen alkoholi, furfuryli. Patentoidun käsittelyn ansiosta "kebonysoitun" puun mittapysyvyys paranee eikä puuainekseen enää juurikaan imeydy kosteutta. Käsittelyn jälkeinen puun ruskea sävy harmaantuu tasaisesti ajan myötä ja näin saadaan täysin huoltovapaa tuote. Kebonypuutuotteita on saatavilla myös FSC-sertifioidusta puusta. Elinkaarensa päässä myrkytön kebonytuote voidaan hävittää polttamalla kuten käsittelemätön puu.

(Puun uudet käsittelymenetelmät & puuinfo.fi)



Kuva 32. Kelluva sauna Norjan Tromssan satamassa. Rakennuksen julkisivuverhous ja terassitaso on toteutettu Kebony-puusta. (kuvalähde & lisätietoa: www.kebony.com)

Accoya

Accoya-puuta valmistetaan asetyloimalla vastuullisesti tuotettua mäntyä teollisuusetikalla. Asetyloinnin ansiosta puun solukko muuttuu vettähylyväksi ja puuaineksesta tulee lujempaa, kestävämpää ja mittapysyvämpää. Koska puuhun ei enää imeydy lahottajasienien tarvitsemää kosteutta, accoya-puu on myös lahonkestävää. Accoyalle tarjotaan maanpäällisissä rakenteissa 50 vuoden takuu eikä tuotteiden hävittäminen poikkea käsittelemättömästä puusta.

(Puun uudet käsittelymenetelmät & puuinfo.fi)



Kuva 33. Accoya -puulla verhoiltu toimistorakennus Latviassa. (kuvalähde ja lisätietoa: accoya.com)

Kivipuu

Puun fossiloitumista muistuttava erityinen kyllästysmenetelmä, jossa luonnonkiven silikaatteja imeytetään puuainekseen. Puuhun imeytyvä kiviaines parantaa puun lahonkestävyyttä, puristuslujuutta ja kulutuskestävyyttä. Käsittely toimii myös vahvana pysyvänä palosuojauksena (B-s1, d0), jota ei tarvitse tavanomaisten suojakäsittelyiden tapaan toistaa määräajoin uudelleen. Kivipuukäsiteltyä puuta voi työstää sahaamalla ja hiomalla mutta ei veistäen. Kevyempi versio käsittelystä on silikaattinesteen sively puun pinnalle. (rakennusmaailma.fi)



Kuvat 34. Olympiastadionin katsomon katoksen alapinta on verhoiltu Aureskosken kivipuulla. (kuvalähde ja lisätietoa: aureskoski.fi/kivipuu)



Kuva 35. Olympiastadionin katoksen puuverhoilua. (kuvalähde ja lisätietoa: aureskoski.fi/kivipuu)

Lämpökäsittely

Puun lämpökäsittelyprosessi perustuu korkean lämpötilan ja vesihöyryn käyttöön. Puuainekseen ei lisätä mitään kemikaaleja. Lämpökäsittely tutkitusti parantaa puuaineksen lahonkestävyyttä ja yleisiä käyttökohteita ovat kosteudelle altistuvat saunatilojen sisäverhoukset sekä rakennusten ulkoverhoukset. (www.puuinfo.fi)



Kuva 36. Lämpökäsittelyyn perustuvia julkisivuratkaisuja tarjoaa mm. Thermory. Kuvassa oksattomasta männystä toteutettu kevyesti sävytetty ulkoverhous. Kuvalähde ja lisätietoa: thermory.com/fi/inspiration/koti-jacks-pointissa/

Shou Sugi Ban / Yakisugi

Perinteinen puun hiillostamiseen perustuva lahon- ja sääsuojausmenetelmä. Suomessa esimerkiksi maahan upotettavien seipäiden päitä on suojattu hiillostamalla puunpintakerros mustaksi. Japanissa hiillostamisesta kehittyi suojausmenetelmä kokonaisten puujulkisivujen käsittelyyn. Japanilaiselle perinteisesti käsityöhön pohjaavalle tekniikalle on etsitty myös kotimaisia teolliseen valmistukseen soveltuvia valmistustapoja (Kestävä puujulkisivu hiiltämällä - pintamod -hanke 2017–2018).



Kuva 37. Shou-sugi-ban -käsittelyjä ulkoverhousmateriaaleja toimittaa Novenberg. (novenberg.fi/shou-sugi-ban)

4.2 Puun pintakäsittelymenetelmiä

Käsittelemätön puupinta harmaantuu ulkotiloissa UV-säteilyn vaikutuksesta. Puun sävyn säilyttämiseksi, peittämiseksi tai muuttamiseksi haluttuun suuntaan puupinnat voidaan suojata pintakäsittelyllä. Usein puupinnat joudutaan myös käsittelemään palomääräysten takia.

Puun pintakäsittelyyn on tarjolla lukuisia eri ratkaisuja: vuosisatoja käytössä olleita menetelmiä kuten terva tai punamultamaali, puuöljyt, kuultavat ja peittävät puunsuojat sekä ulkokäyttöön tarkoitetut maalit. Pinnalle mahdollisesti muodostuvaa homekasvustoa voidaan ehkäistä homeenestokäsittelyllä. (puuinfo.fi)

Tervaus

Perinteinen suoja-aine puun käsittelyyn ulkotiloissa. Syttymisherkkyytensä vuoksi ei sovellu julkiseen rakentamiseen.

Maalit ja lakat

Maalit ovat nestemäisinä levitettäviä päällystysaineita, jotka kuivuttuaan muodostavat kiinteän kerroksen. Sideaineesta, ohenteesta, pigmenteistä ja mahdollisista apuaineista koostuvat maalit jaotellaan usein pigmenttiä sisältäviin peittäviin maaleihin ja läpinäkyviin lakkoihin. Toinen yleinen lajittelu on jakaa maalit vesiohenteisiin ja liuotinohenteisiin maaleihin.

Maalin sideaineen tehtävänä on sitoa maali tai lakka ja sen mahdollisesti sisältämät pigmenttihiukkaset kiinni maalattavaan pintaan sekä muodostaa suojaava kalvo, jonka avulla pinnan säänkesto, vedenkestävyys ja kemikaalien sekä kulutuksen kesto paranee.

Maalista riippuen sideaine muodostaa kalvon joko kemiallisen reaktion tai liuotinnesteen haihtumisen kautta. Sideaineesta riippuen maalin muodostaman suojaavan kalvon ominaisuudet vaihtelevat suuresti. Maalin kuivuessa liuotinnesteenä toimiva vesi, tärpätti tai lakkabensiini haihtuu kaasuksi ympäröivään ilmaan. Liuotinnesteen osuuden kasvattaminen (maalin ohentaminen) tekee maalista juoksevampaa ja helpottaa sen imeytymistä huokosiin materiaaleihin. Öljymaalien kohdalla liuotinnesteen lisääminen myös nopeuttaa kuivumista.

Keittomaalit

Sideaine: Kasvitärkkelys; liuotin: vesi

Perinteisten keittomaalien sideaineena toimii ruis- tai vehnäjauhoista keitetty tärkkelysliisteri. Maalit ovat vesiohenteisia ja pigmenttinä on toiminut perinteisesti rautapitoinen maaväri, punamulta. Punamultamaaliin lisättiin myös rautavihtrilliä parantamaan värin kiinnittymistä ja tuomaan lahonsuojaa. Maaliin on myös lisätty vernissaa sideaineen vahvikkeeksi. Sideaineena toimiva tärkkelysliisteri muodostaa lujuudeltaan heikon ja lähes täysin vettä läpäisevän kalvon, joten puun hengittävyys ei kärsi maalauksen johdosta. Sideaineen muodostaman kalvon heikkouden takia punamullalla maalatusta seinästä irtoaa helposti väriä eikä pinta kestä pesemistä. Samasta syystä maalipinta kuitenkin ikääntyy kauniisti: Keittomaalit eivät hilseile irti suurina levyinä paljastaen pinnan sään armoille vaan kuluvat vähitellen pölyämällä pois. Näin äkilliselle huoltomaalaukselle ei synny tarvetta ja julkisivu voidaan huoltomaalata 10–50 vuoden välein, makumieltymysten mukaan. (korjauskortti 12 – Keittomaali, Museovirasto)

Vesiohenteiset muovidispersiomaalit (Akrylaatti- ja lateksimaalit)

Sideaine: polymeerihiukkaset; liuotin: vesi

Maalien sideaineena toimivat pienet muovipartikkelit, jotka tarrautuvat toisiinsa maalin sisältämien vesimolekyylien haihtuessa pois. Dispersiomaalit muodostavat usein pesunkestävän kalvon, joka vaikuttaa voimakkaasti puun kykyyn luovuttaa ja vastaanottaa kosteutta. Tämä voi aiheuttaa ongelmia, mikäli maalatun pinnan tulisi pystyä luovuttamaan kosteutta ulospäin. Lateksimaalit ovat surullisen kuuluisia tilanteista, joissa sisäilman ilmankosteus on päässyt siirtymään eristekerroksen läpi puiseen ulkoverhoukseen muttei enää haihtumaan ulkoilmaan. Tällöin puun kosteuspitoisuus on noussut liian korkealle ja materiaali on altistunut lahottajasienille.

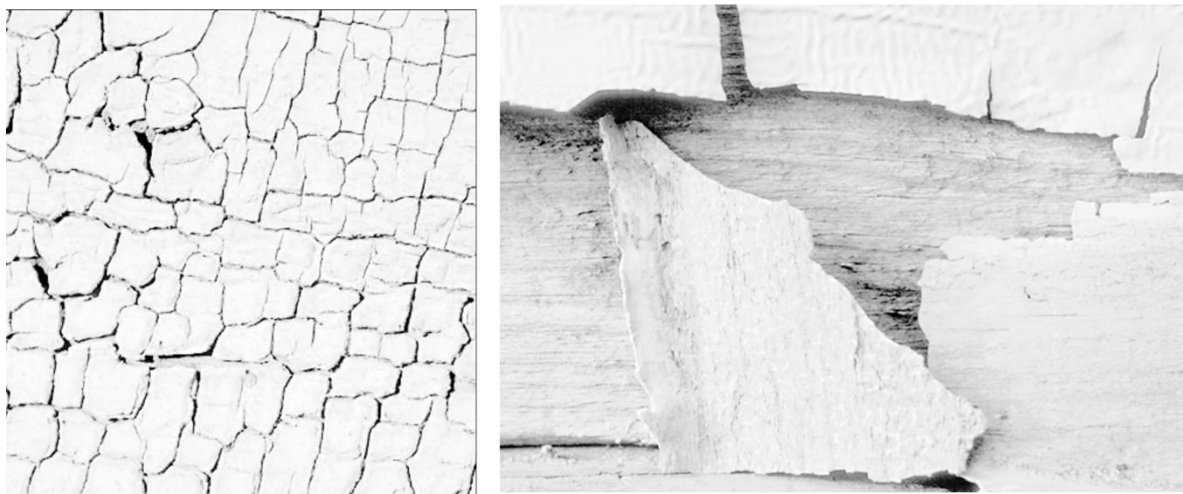
Vesiohenteiset maalit kuivuvat nopeasti, pääasiassa haihtumalla. Pinnat ovat pölykuivia jo tunneissa ja päälle maalattavissa 1 vrk kuluttua.

Öljymaalit

Sideaine: esim. pellavaöljy; liuotin: puutärpätti

Perinteisen ulkomaalina käytetyn öljymaalien sideaineena toimii pellavaöljy ja sen keitetty muoto, vernissa. Nykyaikaisten öljymaalien sideaineena toimii usein modifioitu pellavaöljyvernissa, jolla on saavutettu maalipinnalle parempi säänkestävyys. Kovempi maalipinta voi kuitenkin tehdä uusintamaalauksesta ongelmallista.

Öljymaalit kuivuvat hapettumalla pellavaöljyn reagoidessa hapen kanssa. Kuivuminen on hidasta ja voi kestää jopa viikkoja. Öljymaalien muodostama suojakalvo on säänkestävä ja maalit soveltuvat ulkokäyttöön. Perinteinen öljymaali halkeilee pienipiirteisesti vanhetessaan mutta pysyy kuitenkin kiinni puussa suojaten sitä mm. uv-säteilyltä. Kovemman kalvon muodostavaa sideainetta sisältävät maalit voivat lohkeilla irti suurempina palasina. (korjauskortti 13 – Öljymaali, Museovirasto)



Kuva 38. Lähikuva vanhan öljymaalin halkeilleesta pinnasta, joka on täysin hengittävä, mutta edelleen suojaa puuta. Vieressä kovemman kalvon muodostanut alkydiöljymaali, joka irttoilee paikallisesti suurina lastuina. (Lisätietoa ja kuvalähde: Museoviraston korjauskortisto – öljymaali)

Alkydimaalit

Sideaine: esim. alkydiharts; ohenne: lakkabensiini

Alkydihartsit muodostavat kestävä kalvon maalatulle pinnalle. Sideaineen muodostaman kalvon kovuus voi toisaalta johtaa haastavaan huoltomaalaukseen, mikäli maalipinta lohkeilee suurina lastuina eikä halkeile perinteisen öljymaalin tapaan.

Palonsuoja-aineet

Palonsuojamaalausjärjestelmät, esim. Tikkurilan Fontefire WF ja Teknoksen Teknosafe ovat teolliseen käyttöön suunniteltuja ratkaisuja. Kummankin tuotteen palon etenemistä hidastava vaikutus perustuu palonsuojamaalin turpoamiseen palotilanteessa. Näin puun pinnalle muodostuu suojaava eristävä pintakerros, joka estää puumateriaalin syttymisen. Kummankin järjestelmän avulla on mahdollistaa saavuttaa puulle paloluokitus B-s1, d0. (lisätietoa: www.teknos.com & www.tikkurila.fi)



Kuva 39. Nordtreatin myrkyttömän NT Deco palonsuoja-aineen "Nordic Hues" värikartta. Tuotteella voidaan saavuttaa B-s1, d0-luokitus. (nordtreat.com)

Palonsuojakäsittely voi olla myös väritön ja puuainekseen sisään tunkeutuva. Tanskalainen patentoitu BurnBlock-palonsuojaus estää hapen pääsyn puun pintaan asti, jolloin puuaines ei syty. Teollisesti toteutettuna kyllästyskäsittely suojaa puuta läpikotaisin, eikä työmaalla asennettuja puutuotteita ole enää tarpeen käsitellä uudestaan. BurnBlock-palonsuojaa voidaan käyttää sahatun ja höylätyn puutavaran, teollisesti valmistettujen CLT-, LVL-, ja MDF-tuotteiden ja erilaisten puukuitulevyjen ja eristeiden kanssa. Myös Accoya-käsiteltyjä julkisivupaneeleja on saatavilla Burnblock-palonsuojattuna. 100 % luonnollisella ja biohajoavalla suoja-aineella saavutetaan paloluokaksi B-s1, d0. (lisätietoa: novenberg.fi/burnblock)

Puuöljyt

Puuöljyt imeytyvät puun solukkoon ja kyllästävät sen pintakerrokset tehden näin pinnasta vettä ja likaa hylkivän. Öljykäsittely ei kuitenkaan muodosta lakkojen tapaan kovaa kalvoa, vaan puun pinta säilyy hengittävänä ja huokoisena. Öljykäsittelyn pinnan osittainen huoltokäsittely on myös mahdollista. (www.osmocolor.com & puuproffa.fi)

Vahat

Vaha levitetään tai hierotaan puun pintaan useina ohuina kerroksina, kyllästäen pintasolukko sekä vettä että likaa hylkiväksi. Vahalla kyllästetty puuaines hylkii myös muita pintakäsittelyaineita, ja vahat voivat imeytyä puun solukkoon jopa 2 cm:n syvyyteen. Vahauksen tulisikin olla pinnan lopullinen käsittelyvaihtoehto. (puuproffa.fi)

Petsit

Puun pinta voidaan värjätä myös petsaamalla. Petsattu pinta tulee kuitenkin yleensä suojata joko lakkaamalla tai öljyämällä. Lakatun pinnan sävytys voidaan tehdä myös sekoittamalla petsiväri suoraan lakkaan. (puuinfo.fi)

5 Soveltaminen muihin puurakenteisiin halleihin

Selvityksen puurakenneratkaisut soveltuvat muihinkin pitkien jänneväliden rakenteisiin kuin uimahalleihin. Rakenteelliset ominaisuudet käyttöluokkaan 1 ovat usein saavutettavissa edullisemmilla tuoteosilla.

Tavanomaisen ilmankosteuden tiloissa tulee kuitenkin huomioida massiivipuulle ominainen kuivumishalkeilu. Tietyissä kohteissa voi olla tarpeen harkita raaka-aineena erikoiskuivaa sahatavaraa. Liimapuutuotteiden tuotantoprosessiin on mahdollista hankkia kosteudeltaan erikoiskuivana (EK) 8–10 %-vol. tavanomaisen laivauskuivan sijaan. Tällöin on pidettävä huoli liimaolosuhteiden soveltuvuudesta. On suositeltua tehdä pintakostutus sumulla ennen liiman levitystä höylätyn puun liimapintaan PUR –liimoja puristaessa. Raaka-aineena EK 8 %-vol. käytettäessä levyrakenteissa voidaan ehkäistä pintalamellien halkeilua ensimmäisten kahden lämmityskauden aikana. Samalla voidaan ennaltaehkäistä myös liimapuisten palkkien liitosten halkeiluongelmia. Erikoiskuivaa sahatavaraa käytettäessä on liimauksessa varmistettava liimauksen onnistuminen ja impregmentointi tarkoitetulla tavalla.

6 Yhteenveto

Uimahalli soveltuu hyvin puurakennekohteeksi. Puun kosteuseläminen on ennakoitavaa ja hallittavaa eikä se ruostu. Näkyvien puupintojen viihtyisyyttä lisäävästä ja rentouttavasta vaikutuksesta on näyttöä. Puupinnat toimivat hallitilassa akustisesti pehmentävänä tekijänä. Materiaalin hygroskooppinen luonne tasaa kosteuseroja ja vähentää sisäilman mikrobiongelmia. (Puuinfo 2020) Puurakenteissa tulee ottaa huomioon ilmankosteuteen ja suoraan kontaktiin veden kanssa liittyvät seikat.

Uimahallien pitkäkestoinen sisäilman ilmankosteus tulee pitää välillä 45–65 %. Kondenssiveden muodostumisen riskiä sisäpinnoille voidaan vähentää pitämällä pintalämpötilat 2–3 asteen sisällä uimaveden lämpötilasta. Esimerkkinä veden lämpötilan ollessa 26 astetta ilman lämpötila stabiloidaan 28 asteeseen C, 65 %RH kosteudessa. Tällöin sisäinen höyrypaine on 2,4 kPa (vertailuarvona 1,2 kPa normaali asuintila). Ilmanvaihto ja tuuletus ovat uimahalleissa aina merkittävässä roolissa. Uimahalliympäristön klooripitoinen vesi aiheuttaisi teräsrakenteille korroosioriskin, jota puurakenteilla ei ole.

Ulkokuorirakenteen tiiviyyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota runko–kuorirakenne-liitoksissa. Detaljit on suunniteltava siten, että höyrynsulku- ja eristekerrokset jatkuvat yhtenäisinä ilman vähäisiäkin riskejä kylmäsiltojen muodostumiselle.

Massiivipuun sisäkosteusprosentti ei saa ylittää 20 %:a merkittävän pitkien ajanjaksojen aikana. Puun pintakosteus imeytyy massiivipuusaan noin 1 sentin syvyyden verran viikossa.

Alapohjan lattiarakenteisiin ei suositella käytettävän puurakenteisia kantavia komponentteja. Altaiden merkittävät vesimäärät mahdollistavat puurakenteiden vaurioitumis- ja vuotoriskejä, jotka ovat vaikeasti korjattavia.

Pintamateriaalina puu tuulettuvin eli avoimin liitoksin sopii käyttöluokka 3:n mukaisesti käytettäväksi myös uimahallitiloissa. Puulajin ja -käsittelyn soveltuvuus tulee varmistaa. Soveltuvia ovat esim. kestopuu ja sydänpuumateriaalit kuten suomalainen sydänmänty.

Pystyrunkorakenteet on suojattava suoralta veden kosketukselta ja vaakapintoihin pitää järjestää riittävä kallistus ja vedenpoisto, mikäli suora vesikosketus on mahdollista.

Alakattojen rakenteiden riittävä tuulettavuudesta tulee huolehtia. Halliin ei pidä suunnitella umpinaisia alakattorakenteita, joihin pääsisi muodostumaan ilmataskuja. Ripustetuissa rakenteissa tulee huolehtia riittävästä ilman kierrosta.

Uimahalleissa ilmankosteuden ylärajavaatimus 65 %RH on huomioitava toteutussuunnittelussa. Erikoiskäyttöjaksojen aikana tulee yhtä lailla huolehtia uimahallin ilmankosteuden alarajavaatimuksen 45 %RH ylittämisestä. Tällöin puurakenteiden pinnalle ei muodostu kondenssivettä eikä kuivana pysyvä puuaines tarjoa kasvualustaa mahdollisille home- tai lahottajasierille. Riittävä ilmankosteus estää toisaalta liiallisesta kuivumisesta johtuvia muodonmuutoksia ja halkeamia puurakenteissa.

Lähteet:

Yleistietoa puusta, sen käytöstä ja käsittelystä:

puuinfo.fi

puuproffa.fi

Puurakenteiden suunnitteluohjeita:

Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje – Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, 2020. Puuinfo

Hallipes 1.0 osa 14: Voimaliitokset, 2015. Finnish Wood Research

Puuhallin suunnittelu – Esisuunnittelu ja arkkitehtoniset valinnat, helmikuu 2019. Puuinfo

Muita pdf-julkaisuja:

Kestävät puujulkisivut, kesäkuu 2020. Puuinfo

Korjauskortisto KK12 – Keittomaali, 2000. Museovirasto

Korjauskortisto KK13 – Öljymaali, 2000. Museovirasto

Puun uudet käsittelymenetelmät, tammikuu 2017. Puuinfo

WIS 0-1 – Wood information sheet: Timber in swimming pool hall construction, 2021. Trada

Kuvalähteet mainittu kuvien yhteydessä.