

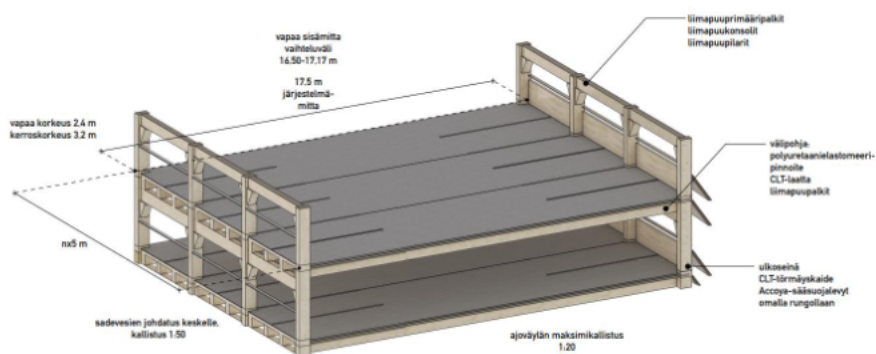
Vastaanottaja
Mervi Abell, Helsingin kaupunki

Asiakirjatyyppi
Lausunto

Päivämäärä
21.4.2021

PUURAKENTEINEN PYSÄKÖINTILAITOSJÄRJESTELMÄ - KEHITTÄMISHANKE

**RAKENNESUUNNITTELUN ULKOPUOLISEN TARKASTAJAN LAUSUNTO,
RAKENNUSFYSIKKA**



PLANETARY

**PUURAKENTEINEN PYSÄKÖINTILAITOSJÄRJESTELMÄ -
KEHITTÄMISHANKE
RAKENNESUUNNITTELUN ULKOPUOLISEN TARKASTAJAN
LAUSUNTO, RAKENNUSFYYSIIKKA**

Projekti **Puurakenteisen pysäköintilaitosjärjestelmän
rakennusfysikaalinen toimivuus – Kolmannen osapuolen
lausunto**

Projekti nro **1510062919**

Vastaanottaja **Mervi Abell**

Asiakirjatyyppi **Lausunto**

Versio **1**

Päivämäärä **21.4.2021**

Laatija **Klaus Viljanen**

Tarkastaja **Leif Wirtanen**

Hyväksyjä **Leif Wirtanen**

Ramboll
PL 25
Itsehallintokuja 3
02601 ESPOO

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201
<https://fi.ramboll.com>

SISÄLTÖ

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Tausta | 2 |
| 2. | Rakennetyypit | 3 |
| 3. | Julkisivurakenteet | 3 |
| 4. | Pinnoitettu välipohjarakenne | 5 |
| 5. | Muut puupinnat rakennuksen sisällä | 7 |
| 6. | Savunpoistolaitteiston aiheuttama kosteusriski | 8 |
| 7. | Rakenteelliset yksityiskohdat | 9 |
| 8. | Kosteudenhallinnan erityispiirteet | 10 |
| 9. | Yhteenveto | 11 |

1. TAUSTA

Toimeksiannon mukaisesti olemme tarkastaneet pysäköintilaitosten rakennussuunnitelmia niiden rakennusfysikaalisen toimivuuden kannalta. Tämä lausunto kohdistuu Planetary Architecture Oy:n ja Rakennuskonsultointi T Kekki Oy:n laatimiin suunnitelmadokumentteihin koskien Kuninkaantammen ja Puu-Kivistön puurakenteisia pysäköintilaitoksia. Suunnitelmien viimeisimmät versiot on ladattu Kotopro järjestelmästä aikavälillä 12.4. – 13.4.2021.

Koska lausunnon tarkoitus on myös esittää näkemys puurakenteisen modulaarisen pysäköintilaitoksen toteutettavuudesta Suomen ilmasto-olosuhteissa, otetaan lausunnossa kantaa aiheeseen myös yleisellä tasolla. Pysäköintilaitokset toteutetaan Suomessa tyypillisesti betonirakenteisina tai teräs- ja betonirakenteisina (RT-kortti 98-11237 Pysäköintilaitokset).

Puurakentaminen yleistyy tänä päivänä julkisessa rakentamisessa valtion, kuntien ja kaupunkien pyrkiessä kestävään kehitykseen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Suomessa ei ole aiemmin toteutettu puurakenteisia pysäköintitaloja, joten niiden rakennusfysikaalisesta toimivuudesta ei ole aiempaa kokemusta. Puurakenteisia pysäköintitaloja on rakennettu, on rakenteilla tai kehitteillä ainakin Ruotsissa ja Yhdysvalloissa, Sveitsissä, Saksassa ja Ranskassa mutta kohteista on saatavilla tietoa vain rajoitetusti niiden rakenteiden pitkäaikaistoimivuuden kannalta. Tanskassa ensimmäinen puurakenteinen pysäköintitalo on suunnitteilla [1].

Ruotsissa Skellefteåssa rakennettiin vuonna 2009 CLT-rakenteinen pysäköintitalo [2], jonka välipohjat olivat pinnoitettu polyuretaanilla. Polyuretaanipinnoitteessa havaittiin kulumaa, kun nastarenkaita käännettiin auton ollessa paikoillaan [3]. Julkisivussa on laajoilla alueilla harvaan asennettu vaakarimoitus. Ratkaisu altistaa välipohjat merkittävässä määrin lumen pääsulle niiden päälle [4].

Ruotsissa Gävlessa rakennettiin kesä-elokuussa 2018 CLT-rakenteinen pysäköintitalo [5]. Välipohjien pinnoitemateriaali oli polyuretaani, joka asennettiin työmaalla. Projektissa tiedostettiin, että pinnoitteen kannalta kriittistä oli sen kestävyys autoja ja niiden nastarenkaita vastaan. Pinnoitteen kitkaa nostettiin levittämällä asennusvaiheessa pinnoitteen päälle hiekkaa.

Sveitsissä toteutettiin vuonna 2018 puurakenteinen pysäköintitalo, missä CLT-laatan päällä oli kosteuseristys ja kaksi kerrosta asfalttia [6]. Myös Saksassa Rüsselsheimissa toteutetussa puisessa pysäköintitalossa välipohjan puulaatan pinnassa oli asfalttikerros [6]. Malmöön rakennettavaan pysäköintitaloon harkitaan myös asfalttia välipohjien pintakerrokseksi.

Saksassa Münchenin yliopisto on kehittänyt pysäköintitalojärjestelmän, missä rakennuksen runko on puusta ja laatat ovat teräsbetonia [6]. Tässä järjestelmässä laatan materiaalin perusteena oli palo-osastointi ja kosteudeneristys. Myös Ranskassa Rives du Bohrien pysäköintitalon välipohja tehtiin teräsbetonista [6].

Yhdysvalloissa Glenwoodissa rakennettavan CLT-rakenteisen pysäköintitalon julkisivu on lasirakenteiden [7]. Teräsrunkoinen lasijulkisivu suojaa CLT-rakenteita saderasitukselta, minkä arvioidaan olevan projektissa kaikkein tärkein näkökulma rakenteiden kestävyuden kannalta. Välipohjissa CLT-laatan päällä on 76 mm vahvuinen betonikerros [8].

2. RAKENNETYYBIT

Kehityshankkeen pysäköintilaitoksien rakennetyypit on esitetty mm. piirustuksissa Kuninkaantammi, ARK: 004 01 Leikkaus A-A, pvm. 10.3.2021 ja Puu-Kivistö, ARK: 004 001 Leikkaus A-A, pvm. 10.3.2021.

Lämmittämättömien pysäköintitalojen rakenteissa ei ole käytetty avohuokoista lämmöneristekerrosta, joten rakenteissa ei ole riskiä vesihöyryn haitallisesta sisäisestä kondensoitumisesta. Kosteusteknisen toiminnan kannalta rakenteiden toiminta perustuu niiden suojaamiseen ulkoilman säärasituksia (lämpösäteily, kosteus, vesi, lumi, jää, UV-säteily) vastaan. Liiallinen homeenkasvu puun pinnalla tai puun lahovaurioituminen tulee estää.

Rakennusten yläpohjarakenteena on viherkatto (YP1), jossa vedeneristys juurisuojakermeineen on asennettu CLT-laatan päälle. Kuninkaantammessa kasvukerros on 30 mm korkea ja Puu-Kivistössä 200 mm korkea. Kattokaltevuus on pääosin 1:50, joka on sopiva viherkatolle. CLT-laatta on lämmöneristämättömässä viherkatossa pääosin vastaavissa olosuhteissa, kun kylmien rakennusten vesikaton kantava puu-/vanerialusta. Lämpimänä vuodenaikana viherkaton vedeneriste altistuu vähemmän säärasituksille, kuten auringon säteilylle. Yläpohjarakennetta voidaan pitää kosteusteknisesti toimivana, kun CLT:n alapinta on suojattu ulkoilman kosteudelta ja epäsuoralta UV-säteilyltä palonsuojakäsittelyllä.

Rakennetyypin YP1 pääasiallisen kattokaltevuuden 1:50 (veden valumasuunta vedenpoistojärjestelmään) mukainen katerakenteen käyttöluokka on VIHVE 80 (RT 85-11205 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet), jonka mukaan vedeneristyksessä tulee käyttää kermiyhdistelmää TL2+TL2+TL2 tai TL2+TL2+TL1, joiden lisäksi kumpikin yhdistelmä edellyttää lisäksi erillistä juurisuojakermiä. Suunnitelmissa (ARK, RAK: Rakennedetaljit, pvm. 10.11.2020) on esitetty tästä poiketen kermiyhdistelmät TL2 + juurisuoja tai TL2+TL2 +juurisuoja.

Rakennusten välipohjarakenne (VP1) on PU-elastomeerilla pinnoitettu CLT-laatta, jonka alapinta on suojattu palonsuojakäsittelyllä. Rakennetyypin toiminnan kannalta pinnoitteen säilyminen rakennuksen elinkaaren aikana ehjänä ja vesitiiviinä on ratkaisevaa. Asiaa on käsitelty kappaleessa 4. Lisäksi alapinnan suojakäsittely on tarpeellista, mitä on käsitelty kappaleessa 5.

Ulkoseinärakenne (US1/US2) on CLT-levy. Seinärakenteen toiminta perustuu sen suojaamiseen säärasitukselta tai sisäpuoliselta kosteudelta. Suojakäsittelyä on käsitelty kappaleessa 3. Sisäpuolisen kosteuden kannalta suunniteltu PU-elastomeeripinnoitteen ylösnosto CLT:n pinnalle estää veden pääsyn seinään.

Kellarikerroksen ulkoseinä (US3) vastaa perinteistä lämpimän tilan kellarinseinän rakennetta ja sitä voidaan pitää toimivana myös kylmässä rakennuksessa. Vastaavasti alapuolelta EPS:llä lämmöneristetty teräsbetoni-laatta (AP1) on tyyppinen alapohjarakenne, jonka kosteusteknisen toimivuuden kannalta oleellisinta on betonin riittävä kuivuminen ennen vedeneristeen asennusta.

3. JULKISIVURAKENTEET

Julkisivupaneeleina käytetään viistosti asennettuja "Accoya" mäntypaneeleita (Kuninkaantammi, ARK: 005 05 Julkisivuote - tyyppiratkaisu, pvm. 5.3.2021 ja Puu-Kivistö, ARK: 005 005 Julkisivuote - tyyppiratkaisu, pvm. 5.3.2021). Paneelien pituus ja asennuskulma (54,7° vaakatasosta, piirustuksen ARK 004 01, leikkaus A-A mukaan laskettu) suojaa rakennusta viistosaderasitukselta ja myös pystysuoraan tai lähes pystysuoraan tippuvalta sateelta. Tämä

ratkaisu on oleellinen ulkoseinälinjan puumateriaalien pitkäaikaiskestävyydelle, sillä puumateriaalien vaurioitumisen (home- tai lahovauriot) estämisessä tärkein keino on rakenteellinen suojaus, joka alentaa puun kosteuspitoisuutta [9].

Kaikki paneelit ulottuvat ulkoseinälinjasta samalle etäisyydelle. Suosittelemme, että ylin Accoya-paneeli ulottuisi vähintään 5 cm ulommaksi ulkoseinälinjasta verrattuna alempiin paneelisiin, jolloin ylin paneeli toimii räystään lailla suojaten alemmaa julkisivua sateelta.

Viistosade, jonka tippumiskulma rakennuksen seinäpinnan välillä on vähintään 49° voi päästä satamaan CLT-levyn ja primääripalkin välistä välipohjan päälle. Vuoden aikana suurin osa sateesta ei siis pääse rakennuksen sisään, joten julkisivurakennetta voidaan pitää tarkoituksenmukaisena. Rakennuksen puuosien kosteussuojauksen kannalta rakennuksen julkisivun kauttaaltaan peittävä lasijulkisivu olisi käytettyyn ratkaisuun verrattuna vielä parempi ratkaisu.

Betonirakenteisissa pysäköintitaloissa yleinen tapa on verhota julkisivut ilmaa läpäisevillä metallirakenteilla, kuten vaakaan tiheään asennetuilla metalliprofiileilla. Pyrittäessä toteuttamaan pysäköintitalo pääosin puusta, on mahdollista myös käyttää vastaavatyypistä verhousta, jossa metalliprofiilit on korvattu esim. puurimoilla. Puurakenteisen pysäköintitalon tapauksessa on pyrittävä julkisivun rimojen tiheään asennusväliin, jotta vain vähäinen osa sateesta pääsee rakennuksen ulkoseinälinjan sisäpuolelle. Toinen vaihtoehto on rei'itetyn levyn käyttö julkisivussa (kuvat 1-2). Sisätilojen suojaus tällä tavoin sateelta vähentää rakenteiden lämpenemistä kesällä auringon säteilyn vaikutuksesta heikentäen rakenteiden nopeaa kesäajan kuivumista, mikä on tyypillistä auringon säteilylle alttiilla julkisivulla. Arviomme mukaan kylmissä pysäköintitaloissa rakennuksen suojaaminen sateelta on kuitenkin tärkeämpää verrattuna tähän lämpenemisvaikutukseen.

Accoya-paneelin pinnalle voi syntyä pinnan epäpuhtauksien ja kosteuden yhteisvaikutuksesta mikrobikasvustoa, joka on lähinnä ulkonäöllinen haitta. Accoya-paneelien tehdaskäsittely muuttaa puun solurakennetta tiiviimmäksi, joten on mahdollista, että paneelien palosuojakäsittely ei toimi normaalilla tavalla, kuten käsittelemättömän sahatavaran pinnalla.

Täten rakennuksen sijainti vaikuttaa pinnalle syntyvän kasvuston määrään. Sijainniltaan Puu-Kivistön pysäköintilaitos sijaitsee lähempänä suuria metsäalueita, joten se on sijainniltaan enemmän altis tällaiselle kasvustolle. Huomioiden pysäköintilaitosten koko, voidaan julkisivun puhdistamista pitää merkittäviä kustannuksia synnyttävä toimenpiteenä ja puhdistusväli tulisikin olla mahdollisimman pitkä. Sijainti vaikuttaa myös julkisivun viistosaderasitukseen ja kohteiden sijainti sisämaassa ei altista niiden julkisivuja niin suurelle viistosaderasitukselle, jolle aivan rannikolla sijaitsevat rakennukset altistuvat.

Ulkoseinälinjan liimapuupilarit ja CLT-kaiderakenteet altistuvat myös ulkoilman säärasitukselle, mutta primääripalkit ovat enemmän suojassa Accoya-levyjen takana. Julkisivurakenteiden puuosien kosteuspitoisuus tulisi pysyä alle 20 paino-%, mikä estää pääosin homeenkasvun puun pinnoilla [10]. Puun lahovaurioitumisen kannalta puun optimaalinen kosteuspitoisuus on välillä 25–30 paino-% [11], joten myös tästä syystä on perusteltua pyrkiä pitämään rakennuksen puuosien kosteuspitoisuus keskimäärin alle 20 paino-%. Ulkoilman lämpötilalla on kuitenkin merkittävä vaikutus puun lahoamiseen [12]. Alle 0 °C ulkolämpötilalla lahon kehittyminen puussa kestää kuukausia tai vuosia puun kosteusalueella 25-30 paino-% [12], joten lahon kannalta rakentaminen lämpimänä vuodenaikana on kriittisempää. On kuitenkin otettava huomioon, että rakenteet kuivuvat lämpimänä vuodenaikana merkittävästi nopeammin (ulkoilman korkea lämpötila ja auringon lämpösäteily) kuin kylmänä vuodenaikana. Huomioon ottaen modulaarisen

paikoituslaitoksen nopea rakennusaika, lahovaurioiden syntyminen rakentamisaikana on epätodennäköistä ja huomio keskittyykin puuosien käytönajan kosteuspitoisuuksiin.

Kosteuspitoisuuden liiallisen nousun estämiseksi suosittelemme julkisivun kaikkien rakenteiden pintojen käsittelyä (pohjustus, pohjamaalaus ja pintamaalaus) kauttaaltaan. Tavanomaiset puun maalaus- ja käsittelyt soveltuvat CLT-pinnoille. Paksumpi käsittelyjen kokonaiskalvopakkuus estää tehokkaasti kosteuden pääsyä puuhun [10], mutta edellyttää asianmukaista huoltoa. Rakenteiden pitkäaikaiskestävyyden kannalta oikeaoppinen ja -aikainen huoltokäsittely onkin keskeistä [9, 10], minkä rooli on korostunut julkisivun saderasitetuissa puurakenteissa.

Accoya-paneelien asennuskulma 54,7° voi johtaa tilanteeseen, missä lumi kertyy niiden päälle, koska puupinta ei ole erityisen liukas. Tätä tukee myös se, että rakenteiden mitoituksessa käytettävän lumikuorman arvo lähteessä [13] on nolla vasta kun katon kaltevuuskulma vaakatason välillä on 60° tai enemmän. Lumen kertymiseen voi vaikuttaa myös kasvattavasti paneelien viilentymisen ns. yön vastasäteilyn vaikutuksesta huomioon ottaen, että paneelien taivaan näkökerroin on verrattain suuri. Lumen mahdollinen kertyminen paneelin päälle on huomioitava lumen putoamisen estämisessä tai siihen muutoin varautumisessa. Paneelien asennuskulmaa jyrkentämällä tai lisäämällä paneelin yläpinnan liukkautta pintakäsittelyaineella voidaan vähentää lumen kertymistä niiden päälle.

Rakennusten pienellä osuudella julkisivurakenne on CLT-levy, jonka kohdalla ei ole lainkaan viistoon asennettuja Accoya-levyjä (Kuninkaantammi, ARK 005 01 Julkisivu pohjoiseen, Kuninkaantammi, ARK 005 02 Julkisivu Paletinkierrolle, Kuninkaantammi, ARK 005 03 Julkisivu Etelään, Kuninkaantammi, ARK 005 04 Julkisivu länteen sekä Puu-Kivistö, ARK 005 001 Julkisivu Lumikvartsinkadulle (matala osuus katutasolla) ja ARK 005 003 Julkisivu Ruusupuunpihalle (matala osuus katutasolla)). Nämä osat julkisivusta ovat hyvin alttiita saderasitukselle. On suositeltavaa tehdä julkisivun em. CLT-osuuksille vähintään pieni ulkoseinälinjan ulkopuolella ulottuva räystäslippa, jolla voidaan merkittävästi suojata julkisivua saderasitukselta ja näin pidentää rakenteiden käyttöikää.

4. PINNOITETTU VÄLIPOHJARAKENNE

Pysäköintitalojen lattiarakenne on polyuretaanielastomeerilla pinnoitettu CLT-laatta (Loppuraportti luonnos, kappale 4.1.6 Rakentamistapa, pvm. 8.3.2021). Suosittelemme elastomeeripinnoitteen asennusta työmaalla, jotta siitä saadaan mahdollisimman yhtenäinen. CLT:n pinta tulee hioa työmaalla huolella ennen lopullista pintakäsittelyä, jotta pohjuste saadaan imeytettyä alustaan mahdollisimman hyvin.

Pysäköintitaloissa lattian pinnoite altistuu autojen renkaiden nastoille, jotka kuluttavat pinnoitetta. Pinnoitteen merkittävä vaurioituminen johtaisi CLT-laatan kastumiseen ja todennäköisesti pitkäaikaisena rasituksena vaurioittaisi CLT-laattaa merkittävästi. Ruotsissa tehtyjen havaintojen [3] perusteella on todennäköistä, että PU-elastomeeripinnoite vaurioituu myös Suomessa autojen nastarenkaista. Epävarmaa on se, että voidaanko pinnoitteen vaurioituminen pitää riittävän vähäisenä esim. pinnoitepaksuutta kasvattamalla. Nykytietämyksen valossa on suositeltavaa tutkia PU-elastomeeripinnoitteen kulutuskestävyyttä ennen täysimittaisen pysäköintitalon toteuttamista ko. pinnoitteella.

Pysäköintitalojen ramppien kaarteet on suositeltavaa toteuttaa mahdollisimman loivina. Tämä vähentää nastojen aiheuttamaa rasitusta PU-elastomeeripinnoitteelle.

Välipohjan pinnoitteen pitkäaikaiskestävyyteen voi vaikuttaa myös tiloihin kulkeutuva hiekka, kivet yms., jotka kuluttavat pinnoitetta auton renkaiden alla. Täten rakennuksen ylläpidossa on huomioitava lattiapintojen puhdistaminen riittävän usein. Sisäänajoreitti on suositeltavaa varustaa autojen pyöristä lunta ja hiekkaa poistavalla järjestelmällä (RT-kortti 98-11237 Pysäköintilaitokset).

CLT-laatan pinta voi halkeilla johtuen puun kosteuselämisestä [14], [15]. Halkeilua on havaittu lämmitetyissä rakennuksissa levyn sisäpinnalla, kun sisäilman kosteus on alhainen. Halkeilu riippuu toisaalta CLT-levyn valmistusprosessista [16]. Syrjäliimatussa CLT-levyissä levyn kuivuminen voi aiheuttaa levyn pinnan halkeamista, joten on suositeltavaa käyttää Suomessa syrjäliimaamatonta CLT-levyä.

Kylmässä ulkoilmaan avoimessa pysäköintitalossa CLT:n pinnan halkeilu on alhaisempaa kuin lämmitetyissä rakennuksissa. CLT-laatan yläosan voidaan olettaa olevan laatan kuivin kohta. Pinnoitevaihtoehdoksi on esitetty MasterSeal M 811 ainetta, jonka Sd-arvo on välillä 5–50 m (SFS-EN 1504-2, class II). Pinnoitteen suojaksi asennetaan vielä MasterSeal TC 269, jonka Sd-arvo ei ollut saatavilla valmistajan dokumenteissa. Pintakäsittelyjen korkea yhteenlaskettu Sd-arvo hidastaa kosteuden siirtymistä puun ja ulkoilman välillä, jolloin puun halkeilu on merkittävästi vähempää verrattuna lämpimiin tiloihin. PU-pinnoite estää laatan yläpinnan voimakkaan kuivumisen auringonsäteilylle alttiilla välipohjien alueilla.

Rakennusten ylimmät pysäköintikerrokset ovat katettuja, joten lumi ei pääse vapaasti kertymään ylimmille pysäköintitasoille. Julkisivujen avoimuus Kuninkaantammen ja Puu-Kivistön pysäköintitaloissa ulkoilmaan nähden kuitenkin mahdollistaa lumen pääsyn erityisesti pysäköintitasojen reuna-alueille. Tilannetta voidaan verrata Ekorren pysäköintitaloon Skellefteåssa, jossa lumi pääsee pysäköintitasoille huolimatta harvaan asennetusta julkisivurimoituksesta [4]. Lumenpoiston tarve tulisi pyrkiä poistamaan PU-elastomeeripinnoitetun CLT-laatan päältä, jotta voidaan välttyä pinnoitteen vaurioitumiselta. Tämä voidaan aikaansaada peittämällä nykyinen avoin julkisivu osittain avoimella verhoilulevyllä (reikälevy tms.), joka kuitenkin estää suurimman osan lumen pääsystä rakennuksen lattiapinnoille. Tällöin koneellisen ilmanvaihdon tarve ja julkisivun vaikutus rakennusten paloturvallisuuteen on arvioitava uudelleen.

Ramboll Finland Oy:n Suomen pääkonttorin Ramboll Villagen pääosin lämmittämätön betonirakenteinen pysäköintitalo on verhoiltu teräsrunkoon kiinnitettyllä rei'itettyllä teräsohutelvyllä (kuvat 1-2). Reiän koko levyssä on noin 5 mm. Pysäköintitalon lämmittämättömässä osassa ei ole koneellista ilmanvaihtojärjestelmää. Julkisivun verhoumateriaali estää tehokkaasti lumen pääsyn pysäköintitasoille, eikä rakennuksessa näin ollen ole tarvetta lumenpoistolle. Lumen pääsyn estyminen perustuu rei'itetyn teräsohutelvyn kykyyn rajoittaa ilmavirtausta, kun reiän koko on karkeasti 10 mm tai vähemmän. Vertailun vuoksi mainittakoon, että verkkomaiset pinnat eivät rajoita ilmavirtausta juuri lainkaan, ja niitä käytetäänkin tyypillisesti esimerkiksi tuuletusvälien suojaukseen pieneläimiltä ja hyönteisiltä.

CLT-laatan pinnoittaminen voidaan toisaalta korvata liittorakenteella, jossa CLT-laatan päällä on betonivalu. Ratkaisua on käytetty esimerkikohteessa [8]. Liittorakenteen käyttäminen voi tulla kyseeseen erityisesti porrastorneissa, missä hissikuilun mahdollinen lämmittäminen voi sulattaa lunta ja muodostaa jäätä esim. hissien oviaukkoihin. Tällöin liittorakenteeseen voitaisiin asentaa hissien edustalle tai myös ajorampeihin sulatuslämmitys. Ajorampeissa tulee olla sulatuslämmitys, jos PU-elastomeeripinnoitteella ei saavuteta riittävää pinnan karheutta (RT-kortti 98-11237 Pysäköintilaitokset). Liittorakennetta voidaan harkita siis tietyille alueille pysäköintitaloja. PU-elastomeeripinnoite voidaan tarvittaessa korvata myös muilla kappaleessa 1 esitetyillä vaihtoehdoilla (vedeneriste+asfaltti, teräsbetoni-laatta).



Kuva 1. Rambollin Suomen pääkonttorin, Ramboll Villagen pysäköintitalo Espoossa.



Kuva 2. Ramboll Villagen pysäköintitalon julkisivun pintana on käytetty rei'itettyä teräsohutelevyä.

5. MUUT PUUPINNAT RAKENNUKSEN SISÄLLÄ

Lämmittämätön ulkovaipaltaan ulkoilmaan avoin pysäköintitalo altistuu ulkoilman lämpö- ja kosteusolosuhteille. CLT:n vesihöyryn diffusiovastuskerroin, ns. μ -arvo, on samaa tasoa tai hieman korkeampi verrattuna umpipuun μ arvoon [17], [18]. Lähteissä [17] ja [18] CLT:n μ -arvoksi on esitetty 50 ja 488, kun suomalaisella havupuulla vastaava arvo on 8 ja 290 suhteellisilla kosteuksilla 93% ja 25% [19]. CLT:n ja liimapuun liimakerrokset ovat suhteellisen ohuita, jolloin materiaalien vesihöyrynläpäisevyys ei muutu merkittävästi liimakerrosten vaikutuksesta verrattuna pelkkään puumateriaaliin. Yhteenvetona voidaan sanoa, että CLT ja liimapuu sitoo ja luovuttaa kosteutta ympäristön välillä tehokkaasti, mutta vesihöyrytiivit pintakäsittelyt heikentävät hygroskooppista kosteuden vaihtoa ympäristön kanssa. CLT:n ja liimapuun pinnat (erityisesti reunapinnat) imevät kosteutta kapillaarisesti yhtä tehokkaasti kuin höylätty

sahatavara, mutta puun pintakäsittely heikentää tehokkaasti myös sen kapillaarista vedenimua. Esimerkiksi CLT:n kosteuspitoisuus voi sateisella säällä nousta nopeasti yli 25 paino-% tasolle, jonka kuivuminen voi kestää viikkoja [20].

Suojaamaton havupuupinta homehtuu Suomen sääolosuhteissa jo pelkästään korkean ulkoilman suhteellisen kosteuden vaikutuksesta verrattain lyhyessä ajassa (alle vuodessa). Toisaalta puupintojen suojaustarve aiheutuu myös UV-säteilyltä, joka voi vahingoittaa puun pintaosaa [10]. Tämän vuoksi kaikki pysäköintitalon sisäosien puupinnat on käsiteltävä puun suoja-aineella (pohjustus, pohjamaalaus ja pintamaalaus). Näitä pintoja ovat välipohjien alapinta, pilarien pinnat ja palkkien pinnat. Tavanomaiset puun maalaus- ja pintakäsittelyt soveltuvat sisäosien CLT- ja liimapuupinnoille. Rakennuksen sisäosien pinnoilla, jotka eivät altistu sadevedelle voidaan käyttää ohuempaa pintakäsittelyä verrattuna kappaleen 3 saderasitettuihin pintoihin. Puupintojen pitkäaikaiskestävyys edellyttää oikeaoppista ja oikea-aikaista huoltokäsittelyä [9].

Rakenteiden ulkopinnan säteilylämmönsiirron viilentävä vaikutus sisäpintojen lämpötiloihin voidaan katsoa olevan vähäinen. Ulkoseinissä säteilylämmönsiirto on yleensä alemmalla tasolla verrattuna kattoihin, minkä lisäksi julkisivun vinot levyt estävät seinien viilenemisen. Yläpohjarakenteessa viherkatto ja CLT-laatan paksuus vähentävät katon ulkopinnan viilenemisen vaikutusta sisäpintojen lämpötiloihin. Ilman kosteuden tiivistyminen sisäpinnoilla on näistä syistä todennäköisesti vähäistä, joten tästä ei aiheudu rasitusta sisäpintojen pintakäsittelyille.

On huomioitava, että hyvin ulkoilmaan avoimissa ja lämmöneristämättömissä pysäköintilaitoksissa vähäinen mikrobikasvu puupinnoilla on mahdollista myös asianmukaisesti pintakäsitellyissä puumateriaaleissa, mutta sitä voidaan pitää hyväksyttävänä, sillä sen ei voida katsoa aiheuttavan rakennuksen käyttäjille (lyhytaikainen oleskelu ulkoilmaan avoimissa tiloissa) terveyshaittaa.

6. SAVUNPOISTOLAITTEISTON AIHEUTTAMA KOSTEUSRISKI

Rakennus varustetaan automaattisella sammutuslaitteistolla standardin SFS-EN 12845 OH-luokan (normaali sprinkleriluokka) vaatimusten mukaisesti [21]. Lauetessaan sprinklerit levittävät sammutusvettä vaikutusalueelleen. Sprinklerien mahdollisen laukeamisen jälkeen se rakennuksen osa, jolla laitteisto on suihkuttanut vettä, pitää kuivattaa nopeasti kosteusvaurioiden välttämiseksi. Suojakäsitellyt puupinnat kestävät sprinklerien laukeamisen, sillä veden kapillaarinen imeytyminen näkyviin pintoihin on vähäistä. Kuivatus on erityisen tärkeää, jos vesi pääsee rakenteiden liitoskohtiin, josta sen kuivuminen voi olla hidasta.

Tällaiset yksittäiset kastuneet liitoskohdat voidaan sulkea ja kuivattaa paikallisesti. Kuivatusaluetta voidaan tarvittaessa laajentaa sulkemalla ulkovaipan aukot, eli pystyyn asennetun CLT-levyn ja primääripalkin välit, ja paikoitustiloja osastoimalla sekä lämmittämällä sisätilaa. Kuivatuksen aikana voidaan mahdollisesti hyödyntää ilman nousua rakennuksen keskiosassa ylöspäin ja ulos savupiippuvaikutuksesta. Näin ollen voidaan todeta, että rakennuksen rungon muoto ja käytönaikainen ilmanvaihtoratkaisu tukee valmistautumista mahdolliseen sprinklerien laukeamiseen.

7. RAKENTEELLISET YKSITYISKOHDAT

Kuninkaantammi / Puu-Kivistö, RAK: Rakennedetaljit, pvm. 10.11.2020:

Tulisiko DET 104:ssä olla vastaava vedenpoistoreitti pilariliittymässä kuin DET 103:ssa varmistukseksi sille, jos vesi pääsee pilarin ylösnostosta rakenteen sisään?

Detaljissa DET 107 on esitetty pystyyn asennetun CLT-levyn ja käsijohteen toteutusperiaate. Suosittelemme kiinnittämään käsijohteen CLT-levyn sisäpintaan, jolloin CLT-levyä suojaavaan pellitykseen ei tule käsijohteen kiinnitysreikiä. Käsijohteen leveä vaakapintaa on suositeltavaa pienentää, sillä vaakapinnalle helposti jäävä vesi voi pitkäaikaisessa rasituksessa vaurioittaa puuta. CLT-levyn pellitys on suositeltavaa kallistaa ulospäin, sillä se osallistuu julkisivun vedenpoistoon veden valuessa alaspäin julkisivun pinnoilla.

Suositlemme räystäsrakenteen (DET 109) toteutusta siten, että ylimmän Accoya -paneelin ja räystään väli on vesitiivis, mikä suojaa hieman alapuolista rakennetta alaspäin valualta sadevedeltä. Myös alempien Accoya -paneelien ja seinän väliset raot voi olla kosteusteknisesti edullista muuttaa vesitiiviiksi, mikä kuitenkin edellyttää riittävän korkeaa ylösnostoa CLT kaiteeseen välipohjien kohdalla. Ratkaisu voi myös toisaalta hidastaa tulipalon leviämistä julkisivussa ylöspäin [21].

Suositlemme vesikatteen ylösnoston (DET 109) muuttamista siten, että vedeneristekerros ulotetaan räystään ulkopuolelle ns. tulvakermiksi (Toimivat Katot 2019, sivu 53). Tulvakermirakenne on nykypäivänä yleisempi ratkaisu ja sen käyttöä tukee myös se, että lumi voi kinostua korkeaksi kerrokseksi kattotyypin huomioiden (pystyräystäät muodostavat kaukalon).

Ulkoräystään toteutusperiaatteessa (DET 109) bitumikermien ylösnostokorkeus itsessään on riittävä. Kermien ylösnostoisissa vesikaton muilla alueilla on suositeltavaa käyttää tavanomaista (RIL 107-2012: kermikatteen ulottuma vähintään 300 mm valmista kattopintaa ylempänä) korkeampaa ratkaisua, esimerkiksi 500–700 mm. Ylösnostoisissa on varmistuttava siitä, että vesi ei pääse kermin ja puun väliin.

Detaljiiirustuksissa ei ole esitetty aurinkopaneelien kiinnitystapaa kattorakenteeseen. Huomioon ottaen yläpohjan kantavan CLT-levyn kosteuserkkyys, on suositeltavaa kiinnittää aurinkopaneelit katolle siten, että kiinnitys ei läpäise katon vedeneristyskerrosta.

Detaljiiirustuksissa ei ole esitetty rakennuksen puurungon liittymistä sokkeliin tai kellarikerroksen betonirakenteisiin tai leikkausta 1. kerroksen ulkoseinästä. Näissä kohdissa on varmistuttava siitä, että betonirakenteiden kosteus tai pintavedet rakennuksen ulkopuolella eivät pääse haitallisesti vaikuttamaan puurakenteisiin.

Huolellinen detaljisuunnittelu on tarpeen hissien ja porrashuoneiden kohdalla, sillä kosteuden (vuotovedet yms.) kuivuminen voi olla hitaampaa suljetummasta tilasta, minkä lisäksi lattiassa ei ole kaatoja.

Puu-Kivistön pysäköintilaitoksessa Accoya paneelien päälliset istutuskaualot voivat jossain tilanteissa tulvia sadeveden kertyessä kaukaloon. Detaljisuunnitelmilla on varmistuttava siitä, että tulvavedet eivät pääse vahingoittamaan CLT-levyä tai muita rakenteita esimerkiksi siten, että kaukalon ulkopuolisen levyn yläreuna madalletaan alemmaksi kuin kaukalon sisäpuolisen levyn yläreuna (sama periaate kuin räystäskouruissa, ks. RT-kortti 85-11020 Metalliset sadevesijärjestelmät).

Mikäli paikoitustaloihin tulee betonin ja puun välisiä liikuntasauvoja, voi näissä kohdissa syntyä pintojen tasoero. Liikuntasauvojen saumarakenne tulee suunnitella siten, että betonin ja puun erilaiset liikkeet eivät johda saumakohdassa materiaalien reunojen vaurioitumiseen.

8. KOSTEUDENHALLINNAN ERITYISPIIRTEET

Kustannusarviossa (Loppuraportti luonnos, kappale 4.4.4 Järjestelmän rakennuskustannukset, pvm. 8.3.2021) on esitetty kosteudenhallinnan osalta, että rakentaminen toteutetaan huputtamatta rakennusta, mutta rakentamisessa noudatetaan kuitenkin Kuivaketju 10 toimintamallia. Valinta on järkevä (rakentamisen kustannustehokkuus vs. mahdolliset rakenteiden kosteusriskit tai käyttäjien terveysriskit) lämmittämättömässä rakennuksessa, jossa ei oleilla pitkäaikaisesti kuitenkin ottaen huomioon alla esitetyt näkökulmat.

Kehitysprojektissa ei ole vielä laadittu pysäköintilaitoksille kosteudenhallintasuunnitelmaa. Kosteudenhallintasuunnitelmalla voidaan vaikuttaa merkittävästi moduuleista rakennettavan rakennuksen työnaikaiseen altistumiseen kosteudelle. Kosteudenhallinnan puutteet johtavat vähintään pintojen esteettisiin vaurioihin, joten kosteudenhallinnan huolellinen toteutus on perusteltua. Rakentamisvaiheessa sade voi päästä merkittävässä määrin suojaamattomien tilaelementtien sisään, kun rakennuksen julkisivun sateelta suojaavat rakenteet ovat asentamatta. Moduulien suunnittelussa kiinnittää huomiota niiden suojaamiseen kosteudelta (esimerkiksi kauttaaltaan muovilla) jo tehtaalla. Mikäli muovisuojaus tehtaalla ei ole tarpeen on kuitenkin suositeltavaa käyttää suojapeitteitä kuljetuksessa. Aukkojen suojaus työmaalla on tarpeellista ennen julkisivulevyjen asennusta.

Olosuhdehallinta ja puurakenteiden kuivatus pinnoituskosteuteen niiden kastuessa työmaalla on hankalaa ja kallista kylmässä ulkoilmaan avoimessa rakennuksessa. CLT-kaiteiden ja liimapuuosien pintakäsittely on suositeltavaa asentaa jo tehtaalla niin laajalti kuin mahdollista. Tehdasolosuhteissa pintakäsittelyjen toteutuksen laatu on parempi kuin työmaaolosuhteissa. Tehtaalla CLT-laattojen yläpintaan asennettu suoja-aine vähentää vaakarakenteiden kastumista työmaalla. Rakennusten ylimmissä moduuleissa, jotka ovat työmaalla kaikkein altteimpina saderasitukselle, tulee pyrkiä mahdollisimman korkeaan esivalmistusasteeseen, siten että viherkaton vedeneristekerros on asennettuna jo tehtaalla sisältäen vedeneristeen ylösnostot räystääs- ja muihin rakenteisiin.

PU-elastomeeripinnoitteen ylösnostokohdat on suojattava jo tehtaalla siten, että veden pääsy pilarien, palkkien ja laattojen liittymäkohtiin estyy, mistä kosteuden kuivuminen on hidasta ja joka voisi johtaa kosteusvaurioihin. Haasteeksi jää veden valuminen moduulien sivu- ja sisäreunoille ja imeytyminen siellä osittain puupintoihin. Moduulien detaljisuunnittelulla voidaan mahdollisesti vähentää tätä esimerkiksi tehdasasennetuilla tippanokkapelleillä moduulien sisäreunoilla. Talvella ulkolämpötilan ollessa alle nollan em. kosteus riskit ovat alhaisemmat, sillä moduulien päälle satava ja siinä pysyvä lumi voidaan poistaa hallitusti asennustyön aikana. Kylmässä rakennuksessa lumen sulaminen on myös vähäisempää verrattuna lämmöneristettyihin rakennuksiin, jossa alempia tiloja usein lämmitetään työn aikana.

Mikäli porrastorneissa on pinnoittamattomia puupintoja tai puupintoja, joiden pintakäsittelyä ei ole tarkoitettu suoraan altistukseen ulkoilmalle, on suositeltavaa suojata tällaiset elementit jo tehtaalla esimerkiksi suojamuoveilla.

Rakentamisen kosteudenhallinnan onnistumista on suositeltavaa seurata jatkuvatoimisilla puun kosteuspitoisuuden mittalaitteilla, joiden avulla voidaan todentaa rakenteiden hyväksyttävä

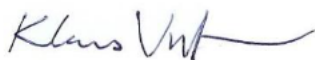
kosteustaso rakennustyön aikana. Kosteusantureita voidaan asentaa esimerkiksi puurungon liitoskohtien sisään, mistä kosteuden mittausta työmaalla on muulloin haastavaa. Koska puurakenteisia paikoituslaitoksia ei ole toteutettu Suomessa aiemmin, kosteusmonitorointia on perusteltua jatkaa myös rakennuksen käyttövaiheessa vähintään muutaman vuoden ajan. Tähän liittyen CLT-laatan kosteuspitoisuutta mittaamalla voidaan varmistaa lattian pinnoitteen oikeaoppinen toiminta ja kestävyys käyttötilanteessa.

9. YHTEENVETO

Tarkasteltujen asiakirjojen ja muun selvitystyön perusteella puurakenteinen modulaarinen lämmittämätön pysäköintirakennus on mahdollista toteuttaa rakennusfysikaalisesti toimivasti ja turvallisesti. Tarkastuksessa ei tullut ilmi sellaisia kosteuteen tai muihin rakennusfysikaalisiin tekijöihin liittyviä riskitekijöitä, joita ei huolellisella suunnittelulla, toteutuksella ja ylläpidolla voida hallita. Välipohjarakenteiden yläpinnan jatkuva vedeneristys ylösnostoiheen mahdollistaa puumateriaalin käytön rakennuksen välipohjarakenteena. PU-elastomeeripinnoitteen pitkäaikaiskestävyyttä on kuitenkin suositeltavaa tutkia mm. nastarenkaiden rasituksien kannalta ennen täysimittaisen pysäköintitalon toteutusta ko. pinnoitteella. PU-elastomeeripinnoitetta käytettäessä lumenpoiston tarpeen välttäminen voi edellyttää julkisivun aukkojen pienentämistä, siten että lumen kulkeutuminen suuressa määrin pysäköintitasoille estyy. Rajoitetulla alueella voi olla joka tapauksessa tarvetta käyttää välipohjarakenteena CLT-betoni -liittolaattaa tai teräsbetoni-laattaa esimerkiksi ajorampeissa, mikäli ajoväylän sulatustarve on välttämätön. Lisäksi kosteudenhallinnan huolellinen suunnittelu ja toteutus sekä puupintojen pinta- ja huoltokäsittelyt ovat korostetussa roolissa paikoitustalon rakennusfysikaalisen toimivuuden kannalta puun kosteusherkkyiden vuoksi.

Kolmannen osapuolen suorittama suunnitelmien ulkopuolinen tarkastus ei vähennä tai poista rakenteiden suunnittelijan vastuuta.

Ramboll Finland Oy



Klaus Viljanen
suunnitelmien tarkastaja,
Rakennusfysiikka



Leif Wirtanen
suunnitelmien tarkastaja,
Rakennusfysiikka

Lähteet

1. Harrouk, C (2020) Online artikkeli, Open Platform ja JAJA Arkkitehdit voittivat kilpailun Tanskan ensimmäisen puurakenteiden pysäköintitalon suunnittelusta. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/931430/open-platform-and-jaja-architects-win-competition-to-design-denmarks-first-wooden-parking-house>
2. Swedish Wood. Internet-sivut, Infrarakentaminen ja pysäköintitalot. Saatavilla. <https://www.swedishwood.com/building-with-wood/construction/the-age-of-wooden-high-rises/infrastructure-parking-garages/>
3. Kehitysprojektin KotoPro-aineisto. Riihiaineistot. 2. Ruotsin excursio 12.10.2020.
4. Swedish Wood. Internet-sivut, Valokuvia Ekorren pysäköintitalosta Skellefteåssa. Saatavilla: https://www.swedishwood.com/inspired_by_wood/architecture/ekorren-in-skelleftea/

5. Heimdall Industrigolv AB. Projektiesittely, Pysäköintitalo Briggen, Gävle. Saatavilla: <https://www.heimdall.se/briggen-gavle>
6. Puurakenteisen pysäköintitalon kehityshanke. Kansainvälisiä referenssikohteita. 21.9.2020. Kehityshankkeen KotoPro-aineisto.
7. Architect lehti (2017) Projektikuvaus Glenwood CLT-rakenteinen pysäköintitalo. Saatavilla: <https://www.architectmagazine.com/project-gallery/glenwood-clt-parking-garage>
8. TallWood Design Institute. Poster, Puurakenteisen pysäköintitalon elinkaariarviointi. Saatavilla: http://tallwoodinstitute.org/sites/twi/files/Glenwood%20CLT%20Parking%20Garage_RV2.pdf
9. Virta, J (2000) Puu-ulkoverhousien suunnittelu-, rakentamis- ja pintakäsittelyohje. Teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikan laboratorio.
10. Brischke et al. (2007) Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. Wood Material Science and Engineering 1: 3-4.
11. Viitanen, H et al. (2010) Towards modeling of decay risk of wooden materials.
12. Viitanen, H (1997) Modelling the Time Factor in the Development of Brown Rot Decay in Pine and Spruce Sapwood – The Effect of Critical Humidity and Temperature Conditions. Holzforschung (51) 99-106.
13. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry (2015) Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3 Yleiset kuormat. Lumikuormat.
14. Pasanen, J (2019) CLT-rakenteiden kosteuskäyttäytyminen rakennuksen käytön aikana. Opinnäytetyö, Karelia-Ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma.
15. Jansson, E (2015) CLT-rakennuskomponentin halkeilun hallinta urittamalla ja toiminta pientalon sisäilmastossa
16. Monikerroslevy (CLT), puuinfon internet-sivut. Saatavilla: <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööri tuotteet/monikerroslevy-clt>
17. Stora Enso (2012) Stora Enso Building and Living, Building Solutions. (CLT-käsikirja).
18. Eurofins Expert Services (2019) Tuotesertifikaatti C-11272-14, CrossLam Kuhmo CLT massiivipuulevy. Saatavilla: <https://www.crosslam.fi/suunnittelijat/materiaalipankki.html>
19. Viljanen, K ja Lu, X (2019) An Experimental Study on the Drying-Out Ability of Highly Insulated Wall Structures with Built-in Moisture and Rain Leakage. Applied Sciences 9(6) 1222.
20. Liisma, E et al. (2019) A Case Study on the Construction of a CLT Building Without a Preliminary Roof. Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering 25(2): 53-62.
21. Mikkola, E ja Holopainen, S (2021) P0-paloluokan autosuoja, Paloturvallisuussuunnittelun perusteet. Puurakenteisen pysäköintilaitoksen konsepti. Helsinki, Kuninkaantammi. Vantaa, Kivistö. KK-Palokonsultti Oy, 2.3.2021.