

Massiivipuukoulun suunnittelun erityispiirteet

Kyrkfjärdens skola, Inkoo
13.12.2021



Massiivipuukoulun suunnittelun erityispiirteet

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	2
1.1	Työryhmä.....	3
2	Massiivipuiset rakennustuotteet	4
3	Kosteudenhallinta	5
3.1	Määräykset ja lainsäädäntö	5
3.2	Massiivipuukurakentamiselle ominaiset toimintatavat	5
3.3	Sääsuojaus	5
4	Paloturvallisuus	7
4.1	Määräykset ja lainsäädäntö	7
4.2	Paloluokan määrittäminen	7
4.3	Suojaverho	8
4.4	Massiivipuun käyttäytyminen palotilanteessa	9
5	Tiiveys	9
5.1	Määräykset ja lainsäädäntö	9
5.2	Massiivipuukurakentamiselle ominaiset toimintatavat	10
5.3	Akustiikka.....	11
6	Sisäilmakysymykset	11
6.1	Määräykset ja lainsäädäntö	11
6.2	Massiivipuukurakentamiselle ominaiset toimintatavat	11
7	Miten massiivipuukurakentamisen erityiskysymyksiä on ratkottu Inkoon hankkeen suunnittelussa...12	
7.1	Kosteudenhallinta.....	12
7.1.1	Sääsuojaus kohteessa	12
7.2	Paloturvallisuus.....	13
7.2.1	Massiivipuukurakentamisen erityispiirteet kohteessa	13
7.2.2	Esimerkkejä suunnitteluratkaisuista	13
7.3	Tiiveys	14
7.3.1	Massiivipuukurakentamisen erityispiirteet kohteessa	14
7.3.2	Esimerkkejä suunnitteluratkaisuista	14
7.4	Sisäilmakysymykset	15
7.4.1	Massiivipuukurakentamisen erityispiirteet kohteessa	15
7.4.2	Esimerkkejä suunnitteluratkaisuista	15
8	Yhteenveto	16
9	Lähteet.....	17

Kansikuva: Inkoo Kyrksfjärdens skola, Arkkitehdit Frondelius+ Keppo+ Salmenperä

Kuva 1. CLT on ristiinliimattu massiivipuulevy, (CrossLam Kuhmo CLT).....	4
Kuva 2. Esivalmistettu CLT-elementin työmaa-asennus, (CrossLam Kuhmo CLT).....	4
Kuva 3. Sääsuojauksen suojaustasot. [3]	5
Kuva 4. Riittävän tilavassa telttasuojauksessa onnistuu elementtien asennus nosturilla sekä materiaalien välivarastointi.	6
Kuva 5. Suojakatto elementtitalon päällä. [3]	7
Kuva 6. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P1-paloluokassa. [8]	8
Kuva 7. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P2-paloluokassa. [8]	8
Kuva 8. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P3-paloluokassa. [8]	8
Kuva 9. Suojaverhousvaatimukset P2-paloluokan rakennuksessa. [8]	9
Kuva 10. Hiiltynyt kerros hidastaa puun sisäosien lämpenemistä ja samalla puun palamista. [7].....	9
Kuva 11. Työstetty CLT-elementti tehtaalla. (Lähde, Hoisko Oy)	10
Kuva 12. Äänitasoeroluvun ohjearvot mm opetustiloissa. [10].....	11
Kuva 13. Inkoon kohteessa päädyttiin vastaavanlaiseen telttasuojaukseen.	13
Kuva 14. Onnistuneen suunnitelmien yhteensovituksen tuloksena tekniikan tilavaraukset saadaan elementteihin valmiiksi jo tehtaalla.	15

Kuvat 4, 12 ja 13 Rakennuspartion päiväkotityömaalta Helsingin verkkosaaresta. 30.11.2021. Kuvaaja: Timo Vehmanen

Taulukko 1. Sääsuojauksen tunnistettavat hyödyt ja haitat kohteen rakennesuunnittelussa	13
Taulukko 2. Sääsuojauksen tunnistettavat hyödyt ja haitat kohteen rakentamisessa	13
Taulukko 3. Paloluokan valinnan vaikutukset kokoontumisiloissa	15

Massiivipuukoulun suunnittelun erityispiirteet

1 Johdanto

Kunnilla on merkittävä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä. Ympäristöministeriön Puurakentamisen ohjelman (2016-2022) yksi painopistealueista on puun käytön edistäminen julkisessa rakentamisessa. Ohjelmalle myönnettyä rahoitusta on kohdistettu erityisesti julkisen rakentamisen sekä osaamisen ja koulutuksen kehittämiseen, mm. lisäämällä yleistä tietoisuutta puurakentamisen eduista. Tämä raportti on laadittu ympäristöministeriön tuella osana ohjelmaa.

Inkoon kunta teki kesällä 2020 päätöksen noin 3000 k-m² suuruisen massiivipuurunkoisen alakoulun, rakentamisesta arvokkaaseen kulttuuriympäristöön kuntakeskukseen. Hanke on pienelle kuntaorganisaatiolle haastava, eikä soveltuvia esimerkkejä puun käytöstä julkisessa rakentamisessa läntisellä Uudellamaalla ole ollut tarjolla. Raportin on tarkoitus tukea Inkoon kuntaa massiivipuurakenteisen kouluhankkeen läpiviennissä.

Laajemman mittakaavan tavoitteena raportilla on tuoda lisätietoa massiivipuurakenteiden erityispiirteistä sekä hyvistä toimintatavoista. Raportista saatavan kokemukseräisen tiedon toivotaan rohkaisevan puurakenteisten hankkeiden aloittamiseen. Oppaassa käsitellään koulurakennusta, mutta se soveltuu suurimmalta osin myös muuhun massiivipuuseen rakentamiseen.

Raportin laatiminen ajoittuu syksyyn 2021. Koulun rakentaminen alkoi lokakuussa 2021, joten raportissa ei ole huomioitu rakentamisvaiheen vaikutuksia. Tästä johtuen raportti käsittelee ainoastaan kohteen suunnitteluvaihetta tai rakentamista yleisellä tasolla.

Raportin teoriaosassa tarkastellaan massiivipuurakennusta erityisesti seuraavilta osa-alueilta: Kosteudenhallinta, paloturvallisuus, tiiveys ja sisäilmakysymykset. Jokaisen osa-alueen osalta selvennetään massiivipuurakentamiselle ominaisia piirteitä, poikkeavuuksia, määräyksiä ja lainsäädäntöä.

Jälkimmäisessä osiossa raportoidaan mihin erityisosa-alueiden asioihin on kiinnitetty huomiota Inkoon massiivipuurakenteisen kouluhankkeen suunnittelussa. Raportoinnissa pyritään tuomaan esiin suunnitteluratkaisuja sekä miten niihin on päädytty. Käytettyjä suunnitteluratkaisuita pohditaan yhteistyössä kohteen suunnittelijoiden ja rakennusurakoitsijan kanssa.

Raportti on tarkoitettu sekä kuntaorganisaatioille että rakentamisen ammattilaisille. Käytettyä termistöä selitetään auki ja teoriaosassa asiat pyritään kuvaamaan helposti ymmärrettävästi. Suunnitteluratkaisusta raportoidessa asioista käytetään ammattikieltä, mutta teoriaosiossa ratkaisut selvennetään myös ei-ammattilaisille ymmärrettäviksi.

1.1 Työryhmä

Raportin on laatinut Timo Vehmanen, A-insinöörit.

Kohta 7 on laadittu yhteistyössä kohteen rakennuttajan, rakennusurakoitsijan ja suunnittelijoiden kanssa.

Rakennuttaja Taru Suominen, A-insinöörit

Rakennusurakoitsijan työpäällikkö Sebastian Hallén, Rakennuspartio

Arkkitehti Juha Salmenperä, Arkkitehdit Frondelius+ Keppo+ Salmenperä

Rakennesuunnittelija Susanna Friman, Sweco

Akustiikkasuunnittelija Pekka Latvanne, A-insinöörit

Raportin ohjaus Aija Aunio, Inkoon kunta

2 Massiivipuiset rakennustuotteet

Massiivipuulla tarkoitetaan rakentamisen kielessä yleensä sahatavarasta valmistettavia insinööri tuotteita, kuten monikerroslevy CLT, lamellihirsi tai Liimapuu. Myös viilutetusta puusta valmistettu LVL kuu-luu massiivipuurakenteisiin.



Kuva 1. CLT on ristiinliimattu massiivipuulevy, (CrossLam Kuhmo CLT).

CLT levyt soveltuvat rakennuksen pysty- ja vaakarakenteisiin. Tehtaalla esivalmistellut levyt toimitetaan työmaalle valmiina elementteinä. CLT soveltuu hyvin myös tilaelementtirakentamiseen, jolloin elementtien esivalmistusaste on korkea. Näin saadaan kuivissa olosuhteissa tehtyä esimerkiksi eristystyöt.



Kuva 2. Esivalmistettu CLT-elementin työmaa-asennus, (CrossLam Kuhmo CLT).

3 Kosteudenhallinta

Rakennuksen kosteudenhallinta on kokonaisuus. Hyvään lopputulokseen päästäkseen tulee hankkeessa käyttää muun muassa turvallisia suunnitteluratkaisuita, rakennusaikaista kosteudensuojausta, rakenteiden hallittua kuivattamista sekä oikeanlaista rakennuksen käyttöä ja huoltoa. [3]

3.1 Määräykset ja lainsäädäntö

Rakennusten terveellisyyttä ja rakennusten kosteuden hallintaa ohjataan kattavasti lailla, asetuksilla ja viranomaismääräyksillä. [1]

”Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen.”[2]

3.2 Massiivipuurakentamiselle ominaiset toimintatavat

Rakentamisen kosteudenhallinta tulee aina huomioida. Rakennetaan sitten mitä tahansa, jokaisella kohteella on omanlaiset kosteudenhallinnan erityispiirteet. Massiivipuurakentamisella on omat huomioitavat asiat perinteisempien asioiden lisäksi.

Massiivipuelementtien kosteudenhallinta alkaa jo tehtaalla, kun CLT-elementtien raaka-aine kuivataan hallituissa olosuhteissa haluttuun puun kosteuspuiteeseen. Valmiiden elementtien kosteudenhallintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota varastointien, kuljettamisen sekä työmaa-asennusten osalta.

Puurakenteiden kuivaamisen tulee olla riittävän hidasta sekä tehdasolosuhteissa, että työmaaolosuhteissa. Liian nopea kuivattaminen aiheuttaa halkeilua. Mitä massiivisempi puukappale on, sitä helpommin halkeamia syntyy kosteuden poistuessa. Mitä nopeammin puu kuivuu, sitä todennäköisemmin puuhun syntyy halkeamia. Onkin tärkeää huomioida työmaavaiheessa tehtävän kuivatuksen toteutus sekä työmaaolosuhteiden suhteellinen kosteus. Toteutusaikataulun luomisessa tulee huomioida puurakenteiden hidas kuivuminen. [3]

Esimerkiksi isoissa liimapuupalkeissa halkeamilla voi olla lujusteknistä vaikutusta. Yleensä kuitenkin kuivumishalkeamista puhuttaessa puhutaan esteettisestä tekijästä. [3]

3.3 Sääsuojaus

Osana kosteudenhallintasuunnitelmaa määritetään rakennusaikainen sääsuojaustaso. Suojaustason valinnassa on varauduttava poikkeuksellisiin sääolosuhteisiin ja muun rakennustoiminnan tuottamaan kosteuteen. [4]

Suojaustaso ST0, ei suojasta puun kosteuspuiteisuus riippuu ilmastosta ja sitä ei voida taatasuositeltava vain talvikausina ja lyhyinä jaksoina, ei kuitenkaan maakosketusta
Suojaustaso ST1, muovi- tai pressusuojaus rakenteiden päällä puun kosteuspuiteisuus alle 20 %varmistettava pakattujen tuotteiden tuuletus
Suojaustaso ST2, katesuoja puun kosteuspuiteisuus alle 20 %varmempi kuin ST 1
Suojaustaso ST3, sisäolosuhteet tai lämmitetty telttasuojaus puun kosteuspuiteisuus alle 15 %

Kuva 3. Sääsuojausten suojaukset. [3]

Yleisesti sääsuojauksena käytetään telttasuojausta, kun rakennetaan suurelementeistä tai paikalla rakentaen. Teltta voi olla niin suuri, että nosturi mahtuu sen sisään tai teltan rakenteissa voi olla oma silta-nosturi. On myös vaihtoehto, että teltassa on avattava katto. Kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa mahdollistavat elementtien asennuksen sääsuojassa olosuhteista riippumatta. Myös materiaalien välivarastointille on hyvä jättää sääsuojauksen sisään tilaa (kuva 4). Telttasuojaus täyttää suojastason 2.[3]



Kuva 4. Riittävän tilavassa telttasuojauksessa onnistuu elementtien asennus nosturilla sekä materiaalien välivarastointi.

Sääsuojauksen voi toteuttaa myös ilman telttaa esimerkiksi siirrettävällä suojakatolla, jota käytetään esimerkiksi tilaelementtirakentamisen yhteydessä. Suojakatto nostetaan pois elementtien asennuksen ajaksi ja takaisin paikalleen kerroksen noustua. Suojaustapa suojaa rakentamisen aikana vain ylhäältä päin sekä altistaa rakennuksen alttiiksi säälle elementtiasennuksen aikana.



Kuva 5. Suojakatto elementtitalon päällä. [3]

Ilman sääsuojaa rakentaminen on myös mahdollista. Esimerkiksi pilari-palkkirunkoinen rakennus, johon saadaan rungon pystytysvaiheessa nopeasti vesikatto päälle sääsuojaksi. Tapaa voidaan soveltaa esimerkiksi hallirakentamisessa.

4 Paloturvallisuus

4.1 Määräykset ja lainsäädäntö

Ympäristöministeriön asetus 848/2017 rakennusten paloturvallisuudesta sallii rakennusten paloturvallisuuden osoittamiseen kaksi vaihtoehtoista menettelytapaa. Voidaan käyttää ns. taulukkomitoitusta, joka perustuu luokka- ja lukuarvoihin, tai vaihtoehtoisesti tapauskohtaista toiminnallista palomitoitusta. Taulukkomitoituksessa rakennukset jaetaan eri paloluokkiin muun muassa käyttötarkoituksen ja koon mukaan. Paloluokkia ovat P1, P2 ja P3, joista P1 on tiukin. Mitoitustapaa käytettäessä rakennuksen tulee kaikissa yksityiskohdissaan täyttää asetuksen 848/2017 mukaiset vaatimukset. [6]

Toiminnallista palomitoitusta käytettäessä paloluokka on P0. Tällöin rakennus suunnitellaan osin tai kokonaan perustuen oletettuun palonkehitykseen. Toiminnallisen palomitoituksen tekee erillinen palokonsultti.

Yleisesti ottaen puurakentamisen paloturvallisuuden määräysviidakko on moninainen. Onkin suositeltavaa käyttää rakennushankkeen alkumetreillä, esimerkiksi hankesuunnitteluvaiheessa, asiantuntijaa selvittämään puurakentamisen mahdollisuuksia.

4.2 Paloluokan määrittäminen

Kohteen paloluokka määrittyy mm. rakennuksen käyttötarkoituksen, korkeuden ja henkilömäärän mukaan. Paloluokka lukitaankin hyvin usein jo hankesuunnitteluvaiheessa, kun pohditaan rakennuksen kokoa. Seuraavat taulukot osoittavat mitä voidaan rakentaa mihinkin paloluokkaan taulukkomitoituksen mukaan.

Koulurakennukset luokitellaan pääkäyttötarkoituksen perusteella kokoontumistiloiksi. Puurunkoisena pystytään toteuttamaan P1 luokan oppilaitosrakennuksia, jos kerroksia on 2 tai vähemmän.

P1	Nimitys	Käyttö	Palokuormaryhmä	Sprinklaus ¹⁾	Palo-osasto [m ²]	Krs. [kpl]	Runko ²⁾
	Päiväkot (päiväkäytössä) Koulu Ravintola	Kokoontumistila	alle 600 MJ/m ²	-	≤ 2400	1...2	R 60
				pakollinen	≤ 24000	1	R 60
				pakollinen	≤ 12000	2	R 60

Kuva 6. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P1-paloluokassa. [8]

Puurakenteiset, omakotitaloja isommat rakennukset luokitellaan yleensä paloluokkaan P2. Luokassa voidaan tehdä esimerkiksi 4-kerroksinen oppilaitosrakennus, jos se varustetaan automaattisella sammutusjärjestelmällä. [6]

P2	Nimitys	Käyttö	Sprinklaus ⁵⁾	Kerrosala [m ²]	Palo-osasto [m ²]	Kork. [m]	Krs. [kpl]	Hlö ⁶⁾ [kpl]	Runko ⁷⁾
	Päiväkot (päiväkäytössä) Koulu Ravintola	Kokoontumistila	-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 9600	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	2	≤ 250	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 4800	≤ 9	2	≤ 500	R 30
			pakollinen	≤ 12000	≤ 1200	≤ 14	3...4	≤ 1000	R 60

Kuva 7. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P2-paloluokassa. [8]

Yksikerroksiset koulut voidaan toteuttaa myös paloluokkaan P3.

P3	Nimitys	Käyttö	Sprinklaus ⁵⁾	Kerrosala [m ²]	Palo-osasto [m ²]	Kork. [m]	Krs. [kpl]	Hlö ⁶⁾ [kpl]	Runko ⁷⁾
	Päiväkot (päiväkäytössä) Koulu Ravintola	Kokoontumistila	-	≤ 2400	≤ 400	≤ 9	1	≤ 500	-
			pakollinen	≤ 4800	≤ 1200	≤ 9	1	≤ 1000	-
			-	≤ 1600	≤ 400	≤ 9	2	≤ 50	-
			pakollinen	≤ 2400	≤ 600	≤ 9	2	≤ 50	-

Kuva 8. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P3-paloluokassa. [8]

Määräykset määrittävät lisäksi myös mm. rakenteiden palonkestovaatimukset ja palo-osastojen koon. Taulukkomitoitus rajoittaa eri materiaalien käyttöä eri osissa rakenteita sekä pintoja. Materiaalit luokitellaan tarvikeluokkiin sen perusteella, miten materiaali osallistuu paloon. [6]

4.3 Suojaverhous

Suojaverhouksen tarkoitus on palon kehittymisen rajoittaminen suojaamalla puun pinta palamattomalla materiaalilla. Esimerkiksi kipsilevytyksellä estetään lämpötilan nousua levyn takana olevassa kantavassa puurungossa. Taulukkomitoitus asettaa P2 luokan rakenteille suojaverhousvaatimuksia seuraavasti.

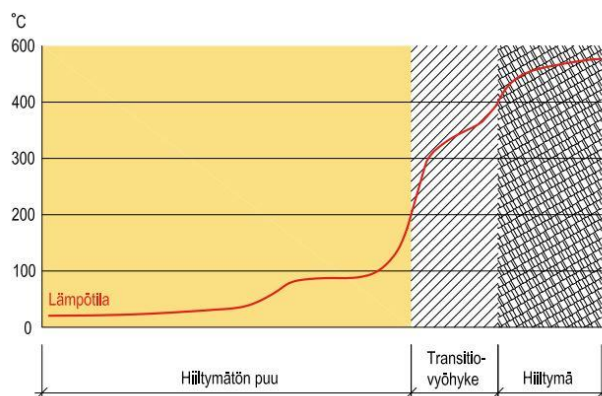
3...4-kerroksinen rakennus, korkeus enintään 14 m			
Nimitys (käyttötarkoitus)	Rakennusosa	Suojaverhous	Palo-osastossa saa olla suojaverhoamatonta seinä- ja kattopintaa (ks. kuva 22)
Päiväkotii ³⁾ (kokoontumistila)	Seinäpinnat	K ₂ 30, A2-s1, d0	<ul style="list-style-type: none"> ei-kantavat väliseinät ≤ 20 %, ilman erityisvaatimuksia > 20 % ... ≤ 80 %, jos rakennusosat R 90 ja EI 90 > 80 %, jos rakennusosat R 120 ja EI 120
Koulu (kokoontumistila)	Kattopinnat	K ₂ 30, A2-s1, d0	
Ravintola (kokoontumistila)			
Myyrmälä (liiketila)	Lattiapinnat	K ₂ 30, A2-s1, d0	
Kirjasto (kokoontumistila)	Ulkoseinän rungon ulkopinnat (tuuletusraon sisäpinta)	K ₂ 10, A2-s1, d0	

Kuva 9. Suojaverhousvaatimukset P2-paloluokan rakennuksessa. [8]

Eli lopputulos taulukkomitotetulla P2 luokan koulurakennuksessa on, että suurin osa seinien ja kattojen sisäpinoista on kipsilevytettyä pintaa eikä puuta voida juurikaan jättää näkyviin.

4.4 Massiivipuun käyttäytyminen palotilanteessa

Puu on palava materiaali, mutta samalla paloturvallinen materiaali. Massiivipuuraakenne hiiltäyty palotilanteessa. Hiiltäytyminen on siinä mielessä turvallista, että se on ennakoitavaa eikä rakenne menetä kantavuuttaan äkillisesti. Puun hiiltäyessä, hiiltynyt kerros hidastaa puun sisäosien lämpenemistä ja puun palamista. Hiiltymätön osa massiivipuusta säilyttää lujuutensa ja toimii edelleen kantavana rakenteena. Jos hiiltymistä ei sallita, paloa vastaan puuraakenne voidaan suojata osittain tai kokonaan kipsilevytyksellä.



Kuva 10. Hiiltynyt kerros hidastaa puun sisäosien lämpenemistä ja samalla puun palamista. [7]

Määräysten mukaan P1 ja P2 luokan rakennusten kantavien rakenteiden paloluokka on yleensä R30 tai R60. Eli rakennuksen tulee säilyttää kantavuutensa 30 tai 60 minuutin ajan. Massiivisilla puurakenteilla, tämä ei ole mitenkään haasteellista. Suunnitteluvaiheessa tulee huomioida myös liitosten palonkesto sekä läpivientien toteutustapa.

5 Tiiveys

5.1 Määräykset ja lainsäädäntö

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuus 1010/2017 määrittää massiivipuuraakenteisen ulkoseinän u-arvovaatimukseksi <0,40 W/(m²*K) kun tavallisen ulkoseinän vaatimus on <0,17 W/(m²*K). Tällä mahdollistetaan massiivipuusta rakennettavien yksiaineisten seinien toteutus. [9]

Uudisrakennuksille määritetään E-luku eli laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku. Opetusrakennukseksi tarkoitetun rakennuksen E-luvun raja-arvo on 100. Massiivipuuraakenteisissa opetusrakennuksessa sallitaan E-lukuun 10% ylitys. [9]

Rakennuksen E-lukua laskettaessa käytetään rakennuksen vaipan ilmanvuotolukua q_{50} , joka kuvastaa vuotoilmavirtaa tunnissa 50pa:n paine-erolla pinta-alaa kohden. Laskennassa käytetään teoreettisena lukuna arvoa 4. Jos käytetään pienempää arvoa, on tiiveys osoitettava mittaamalla.

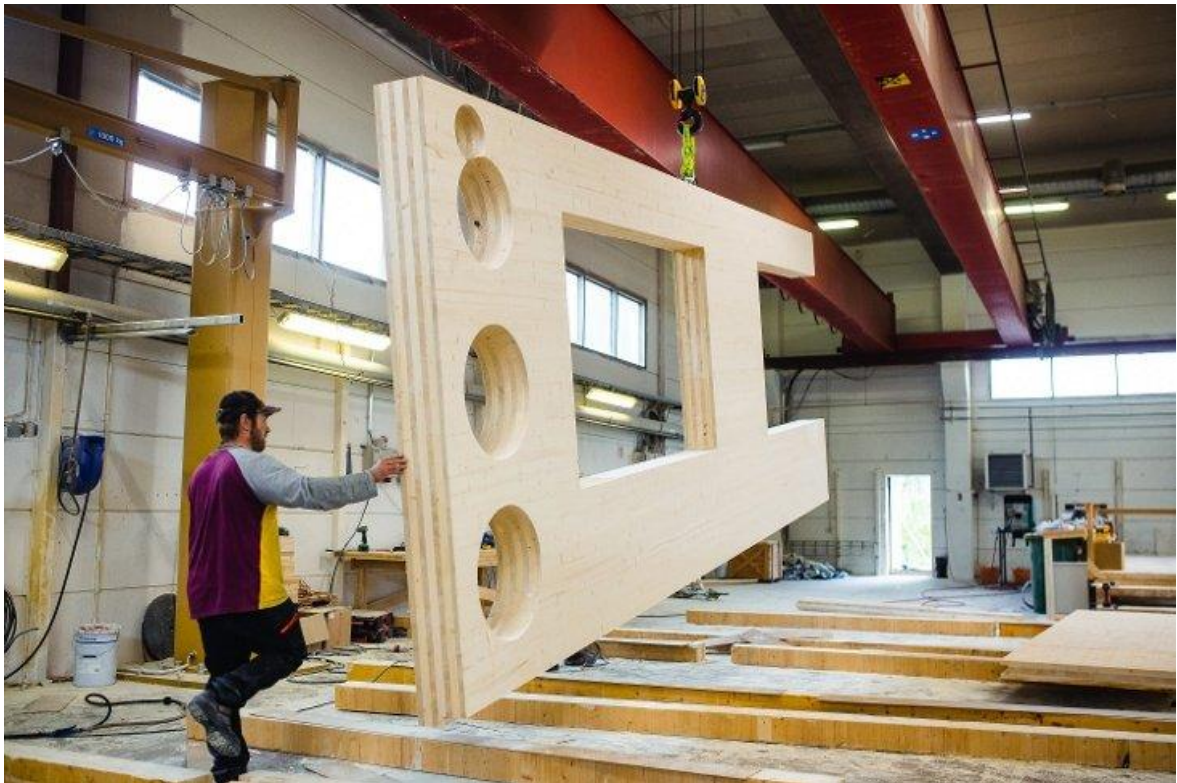
Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017 määrittää rakennusten ääniympäristön vaatimukset. Asetus määrittää raja-arvot mm. opetustilojen ääneneristävyys ja huoneakustiikan osalta. Asetusta täydentää Ympäristöministeriön erillinen ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018. Määräyksistä tulee myös esimerkiksi liikennemelua koskevia ohjearvotasoja sisä- ja ulkotiloille. [10] [11]

5.2 Massiivipuukurakentamiselle ominaiset toimintatavat

Yleisesti ottaen hyvän tiiveyden saavuttaminen CLT rakenteilla ei ole ongelma. CLT:n rakenne itsessään on tiivis ja se toimii rakenteen höyrynsulkuna. Tiiveyden haasteet eivät kohdistu itse CLT levyyn vaan enemmänkin liitoksiin ja läpivienteihin. Oikein suunniteltuna ja toteutettuna nämäkin haasteet ovat voitettavissa ja CLT rakennuksista saadaan yleisesti ottaen rakennettua tiiviitä rakennuksia. Hyvin suunnitelluissa ja toteutetuissa rakennuksissa on mitattu alle 1:n ilmanvuotolukuja.

Seiniä voidaan tehdä pitkistä, esivalmistetuista elementeistä, jolloin mahdollisesti vuotavia saumoja tulee mahdollisimman vähän. Liitoskohdissa käytetään tarkoituksenmukaisia tiivistyskumeja, jolloin liitoksesta saadaan mahdollisimman tiivis.

CLT elementeillä on korkea esivalmistusaste, eli tehdasolosuhteissa työstetään elementteihin kaikki urat, kolot ja läpiviennit. Kaikki varaukset ovat mittatarkkoja ja halutuissa paikoissa, eikä tarvita työmaalla soveltamista. Mittatarkkoihin aukkoihin asennetaan jo joko tehtaalla tai työmaalla valmiit läpivientikappaleet.



Kuva 11. Työstetty CLT-elementti tehtaalla. (Lähde, Hoisko Oy)

5.3 Akustiikka

Puurakennuksissa yleisesti akustinen suunnittelu on merkittävässä osassa ja liittyy oleellisesti tiiveyteen. Rakenteissa tulee huomioida esimerkiksi ilmajäeneneristävyyden eli miten ääni kulkee rakenteen läpi. Välipohjissa tulee huomioida askelääneneneristävyyden. Määräykset asettavat rakenteille minimitasoin ilma- ja askelääneneneristävyydelle. Ilmajäeneneristävyyden mittalukuna käytetään äänitasoerolukua (Kuva 11)

Tilatyypit	Ohjearvo Äänitasoeroluku $D_{nT,W}$ (dB)		
	Ympäristöön tiloihin yleensä	Toiseen käyttötarkoitukseen saman tyyppiseen tilaan ^{b)} , kun välissä on ovi	Käytävään tai aulaan, kun välissä on ovi
Opetustila ^{a)}	44	42	34
Musiikinopetustila	60	52	44
Varhaiskasvatuksen opetustila	44	42	34
Neuvottelutila	48	42	34

Kuva 12. Äänitasoeroluvun ohjearvot mm opetustiloissa. [10]

Koulurakennuksissa on yleisesti akustisesti haastavia tiloja kuten esimerkiksi musiikkitiloja. Nämä edellyttävät aina erikoisempia ratkaisuita kuten huone-huoneessa rakenteita. Eli sisäpintojen verhoukset ja runko irrotetaan muusta rakenteesta äänensiirtymien ehkäisemiseksi.

Ääneneristävyyden on yksi rakenteita määrittävä tekijä mm rakenteellisen kantavuuden lisäksi. Akustiikka on myös huomioitava mm tilojen sijoittelussa, rakenteiden liitoksissa sekä läpivienneissä. Tämä tarkoittaa yleensä sitä, että akustiset haasteet on hyvä tunnistaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnittelua. Akustiikka on oma suunnittelualansa, joten onkin suositeltavaa puurakenteisiin kohteisiin kiinnittää akustiikkasuunnittelija.

Yksittäisillä massiivipuilla CLT-rakenteilla on haastavaa täyttää ääneneristävyyden vaatimukset. Yleensä seiniä joudutaan verhoilemaan villa- ja kipsirakentein, jotta määräysten taso täyttyy. Esimerkiksi yksittäisen massiivipuuseinän paksuuden tulisi olla 600mm, jotta saavutettaisiin sama ilmanääneneneristävyyden kuin 180mm paksuisella betoniseinällä.[12]

6 Sisäilmakysymykset

6.1 Määräykset ja lainsäädäntö

Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 määrittää ettei sisäilmassa saa esiintyä terveydelle haitallisia määriä hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä viihteyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja. [13]

6.2 Massiivipuurakentamiselle ominaiset toimintatavat

Puu hygroskooppisena materiaalina sitoo kosteutta itseensä ja luovuttaa sitä pyrkien tasapainokosteuteen ympäristön kanssa. Eli puiset sisäpinnat tasaavat huoneilman kosteuspitoisuuksien muutoksia. Tämän mielletään parantavan sisäilman laatua. Puun käyttöä sisätiloissa on paljon tutkittu ja saatu positiivisia tuloksia. Näihin tutkimuksiin tai tuloksiin ei sen tarkemmin tässä raportissa mennä. [14]

Kun puhutaan sisäilman laadusta niin merkittävässä osassa on rakentamisen laatu. Jotta tilat olisivat turvallisia ja terveellisiä käyttää, tulee ne suunnitella ja rakentaa laadukkaasti. Massiivipuurakentamisen ominaispiirteet tulee huomioida esimerkiksi rakenteiden vauriosietokykyä arvioitaessa.

Massiivipuurakennetta ei kannata käyttää joka paikassa vaan esimerkiksi betonirakenteinen alapohja on kokonaisuuden kannalta järkevämpää.

7 Miten massiivipuurakentamisen erityiskysymyksiä on ratkottu Inkoon hankkeen suunnittelussa

Osio on laadittu yhteistyössä kohteen suunnittelijoiden sekä rakennusurakoitsijan kanssa.

7.1 Kosteudenhallinta

7.1.1 Sääsuojaus kohteessa

Sääsuojauksen osalta kohteessa tunnistettiin suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä hyötyjä ja haittoja seuraavasti. Pääpaino painottuu sääsuojausta puoltavien asioiden puolesta.

Hyödyt	Haitat
Laajempi rakennekirjasto käytettävänä	Sääsuojan sijainti ja sen aiheuttamat reunaehdot asennusjärjestykselle ja nostokaluston sijainnille huomioitava suunnittelussa hyvin aikaisessa vaiheessa
Kosteudenhallinnan vaatima detaljisuunnittelu vähäisempää	

Taulukko 1. Sääsuojauksen tunnistettavat hyödyt ja haitat kohteen rakennesuunnittelussa.

Hyödyt	Haitat
Riski haitallisten sääolosuhteiden vaikutuksesta aikataulun viivästymiseen minimoidaan.	Sääsuojarakenteiden kondensoituminen huomioitava
Sääolosuhteet ei vaikuta työntekoon. Ei tarvita rakenteiden tilapäisiä suojauksia vesisateelta eikä talvella lumitöitä. Pressujen levittäminen jää pois.	Sääsuojan rakentaminen vie aikaa ja tahdistaa aikataulua mm rungon pystytyksen sekä reunatyöjen osalta
Saapuvan materiaalin varastointi voi tapahtua sääsuojauksen alla, eikä erillisiä suojauksia tarvita. Tilantarve huomioitava sääsuojaukselta.	Sääsuojauksen kestävyyttä seurattava ja reagoitava esimerkiksi myrskyisissä olosuhteissa.
Sääsuojaus hengittäville peitteillä viilentää työskentelyolosuhteita kesäheleillä.	Sääsuojauksen rakenteiden vaikutus julkisivurakentamiseen
Nousutiet ja kaiteet ovat valmiina ainakin niiltä sivuilta, joissa telineet ovat rakennuksessa kiinni.	
Sääsuojauksen rakenteita pystytään hyödyntämään telineinä julkisivun rakentamisessa	

Taulukko 2. Sääsuojauksen tunnistettavat hyödyt ja haitat kohteen rakentamisessa.



Kuva 13. Inkoon kohteessa päädyttiin vastaavanlaiseen telttasuojaukseen.

7.2 Paloturvallisuus

7.2.1 Massiivipuुरakentamisen erityispiirteet kohteessa

Palomääräysten taulukkomitoitus katsottiin soveltuvaksi kohteeseen. Taulukkomitoitus soveltuu tämän kaltaisiin koulurakennuksiin sekä sen käyttö on suunnittelijoille tuttua. Taulukkomitoituksen käyttö helpottaa myös rakennuslupavaihetta, kun viranomainen käyttää samoja taulukoita. Jos mennään toiminnalliseen palomitoitukseen eli P0 paloluokkaan, on syytä varata lupaprosessille pidempi aika. Toiminnallinen palomitoitus tulee hyväksyttävä viranomaisella ennen rakennusluvan myöntämistä.

7.2.2 Esimerkkejä suunnitteluratkaisuista

Kohde olisi voitu toteuttaa taulukkomitoituksen mukaan sekä paloluokassa P1 ja P2. Päädyttiin valitsemaan paloluokaksi P1, jotta mm. CLT:n puupintaa pystytään jättämään merkittävästi näkyviin sekä sprinklaus voitiin jättää pois.

Paloluokan valintaa ja sen vaikutuksia on kuvattu seuraavassa taulukossa, kun on kyseessä

- Koulurakennus
- Oppilasmäärä 360 hlö
- 2 kerroksinen
- Kerrosala 3000m²
- palotekninen korkeus 6,5m

	Vaatus		Vaikutukset kohteessa kun valittiin toteukseen palo-luokka P1
	Paloluokka P1	Paloluokka P2	
Henkilömäärä	Ei rajoitusta	Max 250 tai max 500 jos sprinklaus	
Sprinklaus	Ei tarvita, kun palo-osasto alle 2400m2.	Ei tarvita jos henkilömäärä alle 250	Suunnittelussa rakennus rajataan alle 2400m2 palo-osastoihin (EI60)
Rungon palonkesto	R60	R30, ellei suojaverhousvaatimusta haluta kompensoida	Runko kestää tunnin palon säilyttäen kantavuutensa ja stabiliteettinsa.
Suojaverhous	Ei tarvita	20% kantavien seinien ja katon sisäpinnoista saa jäädä näkyviin.	CLT:tä voidaan jättää näkyviin.
Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimus, seinät ja katon	C-s2, d1 kun ei sprinklausta	C-s2, d1 kun ei sprinklausta	CLT palosuojakäsittellään, jolloin pintaluokkavaatimus täyttyy

Taulukko 3. Paloluokan valinnan vaikutukset kokoontumisiloissa. [15]

7.3 Tiiveys

7.3.1 Massiivipuurakentamisen erityispiirteet kohteessa

Yksiaineisten massiivipuurakenteiden eli tässä tapauksessa CLT-rakenteiden suunnittelu koettiin yksinkertaisemmaksi kuin monikerroksisilla rakenteilla. Liitosmaailma ja detaljiikka ovat yksinkertaisempia, kun liittyviä rakennekerroksia on vähemmän. Rakenteiden tiiveyden kannalta on oleellista liitosten hyvää suunnittelua, jotta työmaalla pystytään toteuttamaan kuten suunniteltu.

Kohteen suunnittelun alkuvaiheessa tiedostettiin tiiveyteen liittyvänä haasteena akustiikka, joten hankkeeseen kiinnitettiin akustiikan erikoissuunnittelija heti alussa. Liitosten, läpivientien sekä rakenteiden tulee olla suunniteltu vastaamaan akustisia vaatimuksia.

7.3.2 Esimerkkejä suunnitteluratkaisuista

Hyvä suunnittelu antaa hyvät lähtökohdat tiiviiden rakenteiden toteuttamiselle. CLT-rakenteet suunnitellaan mallintamalla, siten että kaikki talotekniikan reiät ja varausreitit mallinnetaan oikeille sijoille. Varaukset tehdään CLT-elementteihin tietokoneavusteisesti koneistamalla eli mittatarkkuus on taattua.

Kohteen reikävarausten suunnitteluun kiinnitettiin erityistä huomiota. Kohteessa pidettiin viikoittaisia suunnittelupalavereita suunnittelijoiden kesken, joissa törmäyksiä ja teknisiä ongelmakohtia ratkottiin yhdessä. Kun asiat on keskenään ratkottu ja yhteensovitettu niin tekniikoille saadaan tarkat reitit. Näin tekniikkavarausten suunnittelu rakenteisiin helpottuu ja välttyään viime hetken muutoksilta. Jotta tekniikan yhteensovitusta rakenteisiin voidaan tehdä, talotekniikkasuunnittelu tulee aikatauluttaa etupainoisemmaksi mitä ehkä rakennushankkeissa yleisesti.



Kuva 14. Onnistuneen suunnitelmien yhteensovituksen tuloksena tekniikan tilavaraukset saadaan elementteihin valmiiksi jo tehtaalla.

Kun ongelmat ratkotaan suunnittelupöydällä eikä kesken rakentamisen työmaalla, niin rakentamisen laatu paranee tiiveyden sekä muiden asioiden saralla.

Akustisia haasteita pyrittiin ratkomaan suunnittelun alkuvaiheessa. Kohteen arkkitehti, rakennesuunnittelija sekä akustikko kävivät keskenään läpi suunnittelun rajapintoja. Mitä aikaisemmassa vaiheessa haasteet saadaan ratkottua, sen kustannustehokkaampia ratkaisuita päästään yleensä käyttämään.

7.4 Sisäilmakysymykset

7.4.1 Massiivipuurakentamisen erityispiirteet kohteessa

Kohteessa käytettiin osana kosteudenhallintajärjestelmää kuivaketju 10 toimintamallia. Malli ohjaa koko hankkeen kosteudenhallintaa tilaamisesta käyttöönottoon. Riskilistauksen avulla rakennuksen riskipaikkoja tunnistetaan ja niille on selkeät toimintaratkaisut. Kuivaketju 10 auttaa kosteudenhallinnan todentamista sekä dokumentaatiota.

7.4.2 Esimerkkejä suunnitteluratkaisuista

Rakenteissa päädyttiin täysin muovittomaan höyrynsulkuun eli kaikki vaipparakenteet toteutettiin CLT-rakentein. Liittymäpintojen suunnittelu ja toteutus yhtenäistyy koko rakennuksessa, kun ei tarvita höyrynsulkumuoveja joissain tietyissä paikoissa. CLT massiivipuu on höyrynsulkuna mekaanisesti vika-
sietoisempi kuin esimerkiksi ohut höyrynsulkumuovikalvo. Höyrynsulkua ei pääse vaurioittamaan esimerkiksi talotekniikkaa asennettaessa työmaalla.

Ulkoseinissä CLT on julkisivun osalta verhoiltu. CLT ei sellaisenaan sovellu käyttöluokan 3 rakenteeksi eli se ei saa esimerkiksi olla suoraan säälle alttiina. Julkisivuverhouksen ja CLT:n väliin tulee jättää riittävä tuuletusrako, jottei kosteus siirry rakenteisiin.

8 Yhteenveto

Massiivipuurakentaminen on ihan tavallista rakentamista siinä missä betoni- ja teräsrakentaminenkin. Massiivipuurakentamisella on hyötyjä ja haasteita, jos sitä halutaan muihin rakennustapoihin verrata. Osaava toteuttaja huomioi haasteet ja korostaa hyötyjä. Massiivipuurakentamisen erityispiirteinä tunnistetaan mm kosteudenhallinta, paloturvallisuus, tiiveys sekä sisäilma-asiat. Kaikki näistä on tänä päivänä täysin ratkottavissa hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella.

Osaavat toteuttajat ovat avainasemassa massiivipuurakentamisen hankkeen onnistumisessa. Suunnittelun osalta varsinkin arkkitehti-, rakenne ja pääsuunnittelijalta vaaditaan puurakentamiseen liittyvää erityisosaamista. Lisäksi puurakentamisessa korostuu erikoisalojen suunnittelu kuten palo- ja akustiikkasuunnittelu. Talotekniikan suunnittelussa tulee huomioida puurakenteisen kohteen vaikutus muun muassa suunnitteluaikatauluun sekä käytettäviin ratkaisuihin.

Inkoon hankkeen suunnittelussa korostui suunnittelijoiden välinen yhteistyö. Viikoittaiset tekniset palaveri ja yhteensovitukset mahdollistivat haasteiden ratkomisen jo suunnitteluvaiheessa. Tietomallinnus luo hyvät lähtökohdat eri alojen suunnitelmien yhteensovitukselle sekä muutenkin parantaa suunnittelutyön laatua. Massiivipuurakenteisten rakenteiden suunnittelussa tietomallinnusta tulee vaatia.

Puurakentamisen suunnittelun osaaminen suomessa on vielä vähäisempää verrattuna betoni- ja teräsrakenteiden suunnitteluun. Osaamisen vähyys toisaalta tarkoittaa, että samat tekijät ovat suunnittele-massa eri kohteita. Myös Inkoon hankkeen suunnitturyhmä oli entuudestaan toisilleen tuttua. Kun ihmiset ovat tuttuja, yhteistyö on yleensä helpompaa heti alusta alkaen. Tuttu suunnitteluryhmä parantaa suunnittelun onnistumisen mahdollisuutta.

Hyvällä suunnittelulla annetaan työmaalle hyvät lähtökohdat laadukkaan rakennuksen rakentamiseen. Rakentajilta vaaditaan myös omaa erikoisosaamista puurakentamiseen. Muun muassa sääsuojaukseen ja massiivipuuelementteihin liittyvä osaaminen ovat onnistumisen kannalta tärkeitä.

Inkoon hanke toteutettiin KVR-urakkamuodolla eli urakoitsija vastaa kohteen kokonaiskoordinoinnista sekä suunnittelusta. Hankemuoto mahdollistaa urakoitsijan osaamisen hyödyntämisen suunnittelussa. Urakoitsija valitsee käyttämänsä suunnittelijat, joten se pystyy valitsemaan haluamansa toimijat. Tämä mahdollistaa tutun ja osaavan suunnitteluryhmän käyttämisen eikä suunnittelijoiden valintaa ohjaa julkisen hankintalain pykälät.

Laadukkaan suunnittelun ja rakentamisen lisäksi laadukas rakennus vaatii laadukasta ylläpitoa. Massiivipuinen, sekä mikä tahansa muukin rakennus vaatii huoltamista, ylläpitoa ja oikeanlaista käyttöä. Massiivipuurakennuksessa korostuu käytön aikainen kosteudenhallinta. Esimerkiksi sadevesien osalta tulee olla rännit toiminnassa tai märkätilat tulee remontoida, kun ne ovat käyttöikänsä päässä.

9 Lähteet

- [1] RIL 250-2020, Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen
- [2] Ympäristöministeriön asetus, Rakennusten kosteustekninen toimivuus 2020
- [3] Kosteudenhallinta puurakentamisessa, Puuinfo 9.7.2020, <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekni-set-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/>
- [4] SFS-5978 Puurakentamisen toteuttaminen
- [5] <https://www.crosslam.fi/uutiset/uutiset/syrjaliimaamaton-clt-paras-suomen-olosuhteisiin.html>
- [6] Paloturvallisuus, Puuinfo 13.7.2020, <https://puuinfo.fi/suunnittelu/maaraykset/paloturvallisuus/>
- [7] Paloturvallinen puutalo, Puurakenteiden palomitoitus, Puuinfo 2020
- [8] Paloturvallinen puutalo, Asuin- ja toimitilarakentaminen, Puuinfo 2021
- [9] Ympäristöministeriön asetus, Uuden rakennuksen energiatehokkuus 1010/2017
- [10] Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä, Ympäristöministeriö 2018
- [11] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017
- [12] Ääneneristys puutalossa, Puuinfo 26.8.2021 <https://puuinfo.fi/2021/08/26/aaneneristys-puutalossa/>
- [13] Ympäristöministeriön asetus, uuden rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto 1009/2017
- [14] <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/puu-sisailman-kosteuden-tasaajana/>
- [15] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen paloturvallisuudesta 848/2017