

Puumoduulituotteen laatuvaatimukset tehtaalla



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäen kampus, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)

18. elokuuta, 2020

Juuso Pfaler

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Visamäki

| | | |
|-----------------------|---|-------------------|
| Tekijä | Juuso Pfaler | Vuosi 2020 |
| Työn nimi | Puumoduulituotteen laatuvaatimukset tehtaalla | |
| Työn ohjaaja/t | Harri Moilanen - YIT Suomi Oy, Riku Hyttinen - HAMK | |

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa YIT Suomi Oy:lle selvitys P2-paloluokan moduulirakentamiseen kohdistuvista standardeista ja asetuksista sekä selvittää miten ne vaikuttavat tuotannon sujuvuuteen ja toimintamenetelmiin. Opinnäytetyön avulla voidaan kartoittaa mahdollisia riskejä ja haasteita moduulirakentamisessa, kuinka riskitekijöiden haittoja voidaan minimoida, taikka estää.

Opinnäytetyö rajautuu raakamateriaalin vastaanotosta valmiiden moduulien luovutukseen tehtaalta. Työssä selvitettiin valmiiksi olemassa olevista tietokannoista mitkä standardit ja lait liittyvät puumoduulirakentamisen tuotantovaiheeseen. Työn avulla voitiin kehittää laadunvarmistuksen raportoinnin tuote, josta ilmenee mitä asioita on mitattu ja seurattu tuotannon edetessä.

Koska moduulirakentaminen on hyvin uusi rakennusmenetelmä, eikä läpikotaisin tutkittu, opinnäytetyössä mietitään mahdollisia jatkokehitysideoita aiheelle. Kaikkia tuotannossa huomioon otettavia asioita ja ratkaisuehdotuksia ei pystytä vielä tunnistamaan, ennen kuin tuotantoa on tapahtunut riittävän kauan.

Avainsanat elementtirakentaminen, laadunvarmistus, moduulirakentaminen, tuotanto

Sivut 34 sivua

Degree Programme in Construction Engineering
Hämeenlinna University Centre

| | | |
|--------------------|---|------------------|
| Author | Juuso Pfaler | Year 2020 |
| Subject | Quality requirements of wooden modules in a factory | |
| Supervisors | Harri Moilanen - YIT Suomi Oy, Riku Hyttinen - HAMK | |

ABSTRACT

The goal of this Bachelor's thesis was to provide a review of the laws and standards that concern manufacturing P2-fire class wooden modules for YIT Suomi Oy. Another aim was to find out how they affect the production flow and building methods. The thesis helps to survey the possible challenges and find out elements of risk and how can they be minimized or prevented.

The thesis covers the reception of the raw material and sending the complete wooden modules to the construction site for installation. All laws and standards concerning wooden module building are listed. This helps to develop a quality assurance report which includes all the measurements and monitored parts of the wooden module.

As wooden module production is a new building method not investigated thoroughly, the thesis also discussed possible further development ideas. All possible challenges and risks cannot be recognized yet, since the method is rather new.

Keywords production, quality, quality assurance, wood, wooden module

Pages 34 pages

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 1 |
| 2 | PUUMODUULIRAKENTAMISEN VAATIMUKSET | 2 |
| 3 | MATERIAALISTANDARDIT | 3 |
| 3.1 | Materiaalien yhteenveto..... | 3 |
| 3.2 | Puumateriaalit..... | 4 |
| 3.2.1 | Lujuuslajiteltu sahatavara..... | 4 |
| 3.2.2 | Liimapuu | 5 |
| 3.2.3 | Ristiinlaminoitu massiivipuulevy (CLT) | 6 |
| 3.2.4 | Viilupuu (LVL)..... | 7 |
| 3.2.5 | Naulalevyrakenteet | 8 |
| 3.2.6 | Suurlastulevy (OSB) | 9 |
| 3.3 | Muut rakennusmateriaalit | 10 |
| 3.3.1 | Kartonkipintaiset kipsilevyt | 10 |
| 3.3.2 | Palokatkot..... | 11 |
| 3.3.3 | Ilman- ja höyrynsulku- ja tuulensuojatuotteet..... | 11 |
| 3.3.4 | Lämmöneristeet | 11 |
| 3.3.5 | Liittimet ja liitososat | 12 |
| 3.4 | Materiaalin pintakäsittely | 14 |
| 3.4.1 | Materiaalin home- ja kosteussuojaus | 14 |
| 3.4.2 | Palosuojatuotteet | 14 |
| 4 | ALIKOKOONPANOT | 15 |
| 4.1 | Puurakenteiset elementit..... | 15 |
| 4.2 | Valmistus- ja asennustarkkuudet..... | 15 |
| 4.3 | Runko- ja ulkopuolen työt..... | 18 |
| 4.4 | Liimalla kasatut rakenneosat | 20 |
| 4.5 | Ikkunat ja ovet..... | 21 |
| 4.6 | Märkätilat..... | 21 |
| 4.6.1 | Kylpyhuonevalmistila..... | 21 |
| 4.6.2 | Tarkastukset ja mittaukset | 22 |
| 4.7 | Eriyiset rakenteet ja ratkaisut..... | 23 |
| 5 | MODUULIN KOKOONPANO | 24 |
| 5.1 | Sisäpuolen työt..... | 24 |
| 5.2 | Koekäytöt, tarkastukset ja mittaukset | 24 |
| 6 | TALOTEKNIikka- JA SÄHKÖASENNUKSET | 26 |
| 7 | TUOTANNON LOGISTIIKKA JA RAHTI..... | 27 |
| 8 | KOSTEUDENHALLINTA TEHTAALLA..... | 27 |
| 9 | LAADUNVARMISTUKSEN YHTEENVETO..... | 29 |
| 9.1 | Tuotannon jatkuva kehittäminen..... | 29 |

| | | |
|-----|-------------------------------------|----|
| 9.2 | Laadunvarmistuksen raportointi..... | 29 |
| 9.3 | Yhteenvetotaulukko | 31 |
| 10 | JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINNAT..... | 32 |
| 11 | LÄHTEET..... | 33 |

1 JOHDANTO

Moduulirakentaminen on noussut rakennusalan otsikoihin viime aikoina. Aihe on mielenkiintoinen ja ajankohtainen, uskon sen olevan ennemmin tai myöhemmin merkittävän suuri osa kaikesta uudisrakentamisesta. Opinnäytetyössä käsitellään P2-paloluokan puumoduulirakenteisia asuinrakennuksia. Opinnäytetyö keskittyy moduulien tehdastuotantoon kohdistuviin vaatimuksiin, määräyksiin ja laadunvarmistuksen raportointiin, ottamatta kantaa tuotannon työturvallisuusasioihin.

Moduulirakentamisella tarkoitetaan tehdasolosuhteissa esivalmistettuja ja kokoonpantuja tilaelementtejä. Tämä käsittää rungon, ikkunoiden, väliseinien, kiintokalusteiden sekä valmiiden pintojen lisäksi myös talotekniikan. Valmiit moduulit kuljetetaan tehtaalta asennusjärjestyksessä työmaalle, jossa ne nostetaan paikoilleen ja talotekniikan liitokset kytketään.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ja selvittää, mitä määräyksiä, vaatimuksia ja toleransseja puumoduulirakentamiselle on asetettu ja mitä edellytyksiä ne tuovat tehtaalle. Kuinka moduulirakentaminen saadaan sujuvaksi ja toisteiseksi, jotta moduulirakentamisen mahdollistamat edut saataisiin hyödynnettyä.

Tehdastuotantoinen tuote on laadultaan tasaista ja optimiolosuhteissa tuotettua, kun taas paikalla rakennettu ”kertatuotettu” on aina laadultaan vaihtelevaa. Tehdastuotanto on tehokkaampaa, sekä tuote on teknisesti ja esteettisesti laadukkaampaa, kun tuotantoon löydetään tavat, joilla noudatetaan opinnäytetyössä käsiteltäviä vaatimuksia ja määräyksiä. Opinnäytetyö toimii ikään kuin muistilistana puumoduulien kehittämisessä, josta voi tarkistaa eri rakennusosia koskevat standardit ja näin taata puumoduulien tekninen laatu.

Opinnäytetyön tilaaja on YIT Suomi Oy. YIT toimii asunto-, toimitila-, sekä infrarakentamisen sektoreilla. Yritys toimii Suomessa, Venäjällä, Tsekeissä, Slovakiassa, Puolassa, sekä Baltian maissa.

”YIT on johtava rakennusalan yritys Suomessa. YIT luo houkuttelevampia sekä kestävämpiä kaupunkiympäristöjä rakentamalla asuntoja, liiketiloja, infrastruktuuria sekä kokonaisia alueita.” (YIT, 2020)

2 PUUMODUULIRAKENTAMISEN VAATIMUKSET

Puumoduulirakentaminen noudattaa pääsääntöisesti Eurokoodi 5:n määräyksiä (EN 1995-1-1, EN 1995-1-2 ja SFS 5978).

Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja. Eurokoodiyhteensopivat säädökset tulivat voimaan 1.9.2014. Tämän jälkeen suunnittelussa käytetään eurokoodeja yhdessä ympäristöministeriön vahvistamien kansallisten liitteiden kanssa. (SFS, 2014)

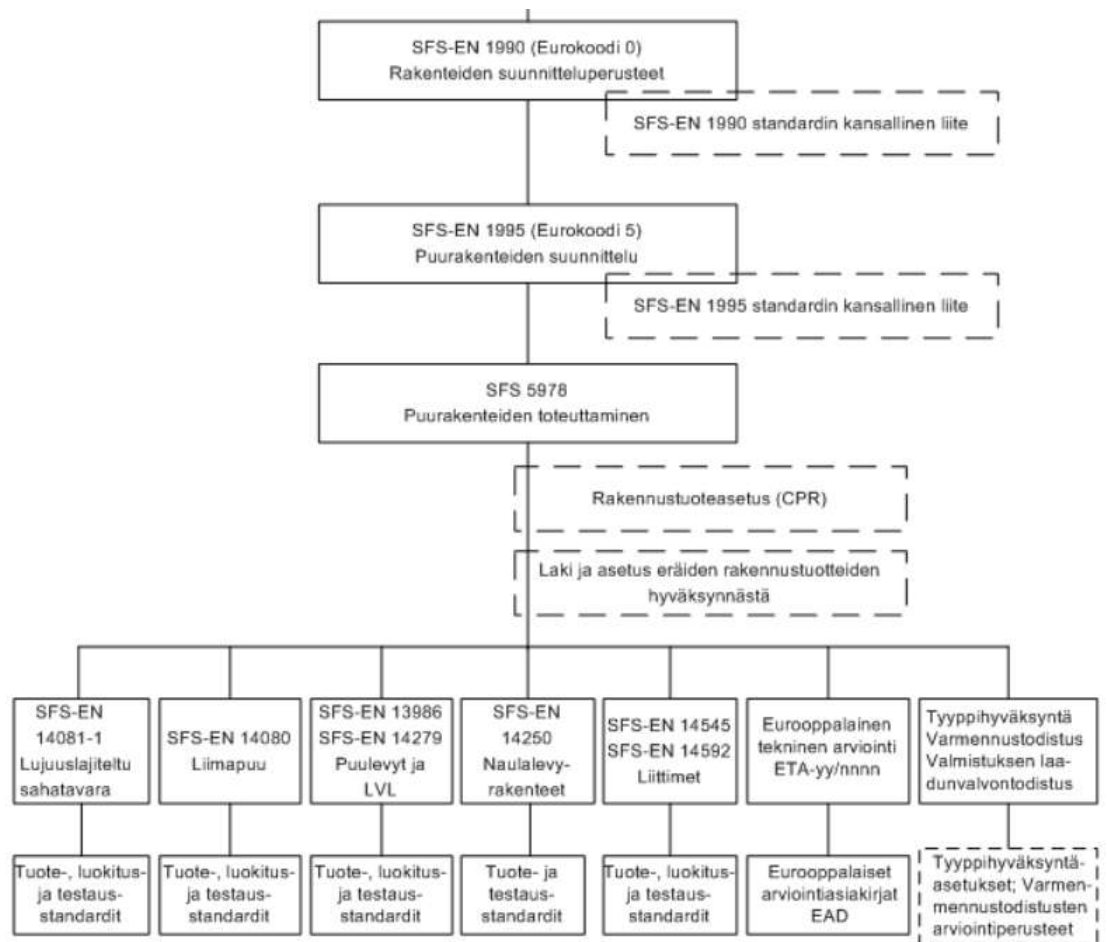
SFS-standardit taas noudattavat Ympäristöministeriön asettamia lakeja, koskien rakenteiden ja materiaalien:

- lujuutta ja vakautta
- paloturvallisuutta
- terveellisyyttä
- käyttöturvallisuutta
- esteettömyyttä
- meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä
- energiatehokkuutta

Rakennustuotteiden on oltava turvallisia ja kestävän kehityksen periaatteiden mukaisia eivätkä ne saa aiheuttaa haittaa terveydelle. Rakennustuotteet ovat kelpoisia rakentamisessa käytettäväksi silloin, kun ne täyttävät maankäyttö- ja rakennuslaissa tai sen nojalla säädetyt olennaiset tekniset vaatimukset. (Ympäristöministeriö, 2017)

Opinnäytetyö käsittelee valmistusprosessin laadunvarmistusta pääosin vaatimusten ja määräysten kannalta, eikä niinkään tuotantotapojen. Käsiteltävät vaatimukset ja määräykset kohdistuvat siis materiaaleihin ja rakenteisiin.

Rakennusneuvos Teppo Lehtinen on laatinut vuonna 2016 ohjeen, jossa paneudutaan puurakenteiden toteutukseen ja valvontaan. Koska puurakenteille ei ole eurooppalaista toteutusstandardia, ohjeessa sovelletaan standardia SFS 5978. Toteutuksen valvonnan tarkastukset tehdään SFS 5978 toteutusasiakirjojen sanelemassa laajuudessa.



Kuva 1 Puurakentamisen toteuttaminen standardi (Toratti, 2006, sivu 9)

3 MATERIAALISTANDARDIT

3.1 Materiaalien yhteenveto

Kaikki hankittavat materiaalit ovat lähtökohtaisesti CE-merkittyjä ja noudattavat niille asetettuja standardeja. Mikäli hankitulla materiaalilla ei ole CE-merkintää, niiden ominaisuudet osoitetaan Suomen kansallisia hyväksyntämenetelmiä noudattaen.

Varastoidessa materiaaleja, ne suojataan aina kosteudelta, mekaaniselta vahingoittumiselta, sekä likaantumiselta. Valmistajan ohjeistukset säilönästä tulee aina myös huomioida.

Puumateriaalien kosteuspitöisuuden olisi hyvä olla RunkoRYL 2010 ohjeistusta alhaisempi, sillä kuivumiskutistuma saattaa aiheuttaa rakenteissa ongelmia. Tehdas voi asettaa tavarantoimittajalle tilausehdoksi puumateriaalin alhaisemman kosteuspitöisuuden ja säätää tehtaalla olosuhteita, niin että puun kosteuspitöisyys on optimaalinen sen työstämiselle. On kuitenkin huomioitava myös liian alhaisen kosteuspitöisuuden mahdolliset haitat puun työstettävyydelle.

Materiaalit, joiden säilyttämisessä on huomioitava kosteus, mitataan ja dokumentoidaan vastaanottaessa. Mikäli materiaali on liian kostea vastaanotossa, siitä ilmoitetaan materiaalin toimittajalle ja tavaraerä lähetetään takaisin.

3.2 Puumateriaalit

”Puurakenteissa käytettävien rakennustuotteiden, aineiden ja tarvikkeiden ominaisuudet osoitetaan CE-merkinnällä, jos ne kuuluvat harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalan tai jos valmistaja on hankkinut tuotteelleen eurooppalaisen teknisen hyväksynnän/arvioinnin. Muutoin ne osoitetaan eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä annetun lain 954/2012 mukaisesti.” (Rakenteiden lujuus ja vakaus, Teppo Lehtinen 2016)

Lehtinen on ohjeessaan listannut keskeisimmät tuotteet puurakenteiden luotettavuuden kannalta:

- sahatavara, liimapuu, LVL ja ristiin liimattu massiivipuu (CLT)
- rakenteelliset puulevyt
- kiinnikkeet
- mekaanisesti yhdistetyt tai liimatut palkit ja -pilarit ja ristikot
- puuelementit
- muotolevykiinnikkeet
- tuulijäkistykseen käytettävät rakennuslevyt
- puu-betoniliittolaatat
- palosuojaustuotteet

Tehdasolosuhteet ovat optimaaliset puun työstämiselle, joten erityistä huomiota on kiinnitettävä kosteudenhallintaan materiaalin vastaanotossa, sekä valmiiden moduulien varastoinnissa ja kuljetuksessa työmaalle.

Puutuotteet tulee suojata kuljetuksessa kosteudelta, jotta kosteus ei lisääntyisi haitallisesti. Raakamateriaali täytyy säilyttää kuivalla, tukevalla ja tasaisella alustalla, jotta vältetään puun mahdolliselta kiertymiseltä ja esteettisiltä haitoilta.

3.2.1 Lujuuslajiteltu sahatavara

Kantavissa ja jäykistävässä rakenteissa sahatavaran tulee olla vähintään C14 lujuusluokaltaan, sekä ominaisuuksiltaan SFS-EN 14081-1 kriteereiden mukaista. Mikäli puuhun tehdään sormiliitoksia, niiden tulee olla SFS-EN 385 mukaisia. Jos puutavaran ominaisuuksia ei ole osoitettu CE-merkinnällä, puutavaran ominaisuudet osoitetaan Suomen kansallisia

hyväksyntämenetelmiä noudattaen. (RT 14-11016, s. 217) Tehtaalla käytetään kantavissa rakenteissa aina vähintään C24 lujuusluokan puutavaraa.

RunkoRYL 2010 mukaan, vastaanottaessa puutavaraa, sen kosteus saa olla enintään 25 % puun kuivapainosta. Puutavaraa pintakäsiteltäessä, sen kosteus saa olla enintään 18 % puun kuivapainosta. (RT 14-11016, s. 218)

Taulukko 1. Sahatavaran merkintöjen tiedot (RunkoRYL 2010)

Taulukko 711:T4. Sahatavaran merkintöjen tiedot.

- | |
|--|
| a) Valmistajan nimi tai tunnusmerkki |
| b) Joko alla olevat tiedot tai viitenumero, jonka perusteella alla olevat tiedot sisältävä dokumentti on tunnistettavissa: <ul style="list-style-type: none"> – yhden puulajin tapauksessa lajin koodi standardin <i>SFS-EN 13556</i> mukaisesti – puulajien yhdistelmän tapauksessa lajin koodi standardin <i>SFS-EN 14081-1</i> taulukon 4 mukaisesti – sahatavarastandardin numero eli <i>SFS-EN 14081-1</i> – jos sahatavara on lajiteltu koneella, koodi joka identifioi alkuperämaan tai -alueen standardin <i>SFS-EN ISO 3166-1</i> mukaisesti – jos sahatavara on lajiteltu visuaalisesti ja merkitty lujuusluokkaan, lajitteluluokka ja lajittelustandardi |
| c) Jos sahatavara on lajiteltu koneen avulla, kirjain M ja standardin <i>SFS-EN 338</i> mukainen lujuusluokka jos se tulee kyseeseen, muussa tapauksessa kirjain M ja lajitteluluokka ja lajittelustandardi |
| d) Jos sahatavara on lajiteltu visuaalisesti, standardin <i>SFS-EN 1912</i> mukainen lujuusluokka, tai lajitteluluokka ja lajittelustandardi, jos <i>SFS-EN 1912</i> :ssa ei ole vastaavaa lujuusluokkaa. |
| e) Kaikki rajoitukset liittyen erityiseen käyttöön |
| f) Sanat "KUIVANA LAJITELTU", mikäli tulee kyseeseen |
| g) Jos sahatavara on käsitelty suoja-aineilla, lisämerkintä standardin <i>SFS-EN 15228</i> mukaisesti |

Lujuuslajiteltujen sahatavaratuotteiden merkinnöistä tulee ilmetä taulukon 711:T4 (Taulukko 1) tiedot, jos sahatavaralla on CE-merkintä, tietojen esittäminen ei ole välttämätöntä. Mikäli puutavara tulee esimerkiksi julkisivulle lopulliseksi pinnaksi ja CE-merkintä halutaan jättää pois, tällöin joko kaisen puutavaraerän mukana täytyy toimittaa kaupalliset dokumentit, joista ilmenee em. taulukon tiedot. (RT 14-11016, s. 218)

3.2.2 Liimapuu

Liimapuun ominaisuudet ilmoitetaan CE-merkinnällä. Ominaisuuksien on täytettävä kansalliset vaatimustasot tuotteen käyttökohteessa. Jos liimapuun ominaisuuksia ei ole osoitettu CE-merkinnällä, sen ominaisuudet osoitetaan Suomen kansallisia hyväksyntämenetelmiä noudattaen. (RT 14-11016, s. 219)

Liimapuun tulee täyttää standardin SFS-EN 14080 ehdot ja sen täytyy olla valmistettu standardin SFS-EN 386 mukaisesti. Taulukossa 711:T7 (Taulukko 2) on esitetty eri käyttöluokkien vaatimukset liimapuulle. (RT 14-11016, s. 219)

RunkoRYL 2010 mukaan, vastaanottaessa liimapuuta, sen kosteus saa olla enintään 20 % puun kuivapainosta. Pintakäsiteltäessä liimapuuta, sen kosteus saa olla enintään 18 % puun kuivapainosta. (RT 14-11016, s. 220)

Taulukko 2. Käyttöluokan vaatimukset liimapuulle (RunkoRYL 2010)

Taulukko 711:T7. Käyttöluokan asettamat vaatimukset liimapuulle.

| Käyttöluokka SFS-EN 335-1 mukaan | Vaatimukset |
|-------------------------------------|--|
| 2 | – Valmistuksessa on käytettävä ulkokäyttöön soveltuvaa liimaa |
| 3 | – Käyttöluokan 2 vaatimukset – Lamellin paksuus saa olla enintään 35 mm – Standardin SFS-EN 387 mukaisia sormijatkoksia ei saa käyttää, jos syysuunta muuttuu liitoksen kohdalla ¹⁾ |

¹⁾ Esimerkiksi sormijatkostekniikalla tehdyssä kolminivelkehän nurkkaliitoksessa syysuunta muuttuu liitoksen kohdalla ja näin ollen tällaisessa liitoksessa ei saa käyttää standardin SFS-EN 387 mukaisia sormijatkoksia, kun rakenteen käyttöluokka on 3.

3.2.3 Ristiinlaminoitu massiivipuulevy (CLT)

Puulevyjä säätelee standardit SFS-EN 13986 ja 14279. CLT:n ominaisuudet ilmoitetaan CE-merkinnällä. Ominaisuuksien on täytettävä kansalliset vaatimustasot tuotteen käyttökohteessa. Jos CLT:n ominaisuuksia ei ole osoitettu CE-merkinnällä, sen ominaisuudet osoitetaan Suomen kansallisia hyväksyntämenetelmiä noudattaen. (RT 14-11016, s. 221)

Jos CLT:n ominaisuuksia ei ole osoitettu CE-merkinnällä, tai merkintä jätetään pois esteettisistä syistä, tuote-erässä tulee esittää taulukon 711:T12 (Taulukko 3) tiedot. CLT:n sormijatkosten tulee täyttää standardin SFS-EN 385 ehdot. (RT 14-11016, s. 221)

Taulukko 3. CLT:n merkintöjen tiedot (RunkoRYL 2010)

Taulukko 711:T12. Ristiinlaminoitun massiivipuulevyn merkintöjen tiedot.

- Valmistajan nimi tai tunnusmerkki
- Valmistuspäivä
- Puulaji ja liimatyyppi
- Viittaus tyyppihyväksyntäasiakirjaan

RunkoRYL 2010 mukaan, vastaanottaessa CLT:tä, sen kosteus saa olla enintään 12 % (+/- 3 %) puun kuivapainosta. Pintakäsiteltäessä CLT:tä, sen kosteus saa olla enintään 15 % puun kuivapainosta. (RT 14-11016, s. 221)

3.2.4 Viilupuu (LVL)

Puulevyjen tulee täyttää standardien SFS-EN 13986, 14279, sekä 14374 asettamat vaatimukset. LVL:n ominaisuudet ilmoitetaan CE-merkinnällä. Ominaisuuksien on täytettävä kansalliset vaatimustasot tuotteen käyttökohteessa. Jos LVL:n ominaisuuksia ei ole osoitettu CE-merkinnällä, sen ominaisuudet osoitetaan Suomen kansallisia hyväksyntämenetelmiä noudattaen. Mikäli LVL:n ominaisuuksia ei ole osoitettu CE-merkinnällä, tai merkintä jätetään pois esteettisistä syistä, tulee tuote-erässä esittää taulukon 711:T13 (Taulukko 4) vaatimukset. (RT 14-11016, s. 222)

Taulukko 4. Käyttöluokan vaatimukset LVL:lle (RunkoRYL 2010)

Taulukko 711:T13. Käyttöluokan asettamat vaatimukset viilupuulle.

| Käyttöluokka SFS-EN 335-1 mukaan | Vaatimukset |
|-------------------------------------|--|
| 2 | – Valmistuksessa on käytettävä ulkokäyttöön soveltuvaa liimaa |
| 3 | – Käyttöluokan 2 vaatimukset – Standardin SFS-EN 387 mukaisia sormijatkoksia ei saa käyttää, jos syysuunta muuttuu liitoksen kohdalla ¹⁾ |

¹⁾ Esimerkiksi sormijatkostekniikalla tehdyssä kolminivelkehän nurkkaliitoksessa syysuunta muuttuu liitoksen kohdalla ja näin ollen tällaisessa liitoksessa ei saa käyttää standardin SFS-EN 387 mukaisia sormijatkoksia, kun rakenteen käyttöluokka on 3.

Vastaanottaessa viilupuuta, sen kosteus saa olla enintään 20 % puun kuivapainosta. Pintakäsiteltäessä viilupuuta, sen kosteus saa olla enintään 18 % puun kuivapainosta. Alle liitetyssä taulukossa (Taulukko 5) on esitetty LVL:n mekaaniset perusominaisuudet eri profiileille. Suomalaiset LVL:n toimittajat tuottavat taulukon 5 mukaisia tuotteita. (RT 14-11016, s. 222)

Taulukko 5. LVL:n perusominaisuudet (LVL Handbook Europe 2020, s. 45)

Table 1.11. Basic mechanical properties of common LVL strength classes.

| Typical use | | LVL 48 P Beam | LVL 32 P Stud | LVL 36 C Panel | LVL 25 C Panel |
|--|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Characteristic strength values, N/mm² | | | | | |
| Bending strength edgewise, $h = 300$ mm | $f_{m,0,edg,k}$ | 44 | 27 | 32 | 20 |
| Bending strength flatwise | $f_{m,0,flat,k}$ | 48 | 32 | 36 | 25 |
| Bending strength flatwise perpendicular to grain | $f_{m,0,flw,k}$ | - | - | 8 | - |
| Compression parallel to grain | $f_{c,0,k}$ | 29 | 21 | 21 | 15 |
| Compression perpendicular to grain edgewise | $f_{c,0,edg,k}$ | 6 | 4 | 9 | 8 |
| Tension parallel to grain | $f_{t,0,k}$ | 35 | 22 | 22 | 15 |
| Shear edgewise parallel to grain | $f_{v,edg,0,k}$ | 4,2 | 3,2 | 4,5 | 3,6 |
| Shear flatwise parallel to grain | $f_{v,flat,0,k}$ | 2,3 | 2,0 | 1,3 | 1,1 |
| Size effect parameter | $s, [-]$ | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Mean stiffness values, N/mm² | | | | | |
| Modulus of elasticity parallel to grain | $E_{0,mean}$ | 13800 | 9600 | 10500 | 7200 |
| Modulus of elasticity perpendicular to grain in flatwise bending | $E_{m,0,flw,mean}$ | - | - | 2000 | - |
| Shear modulus edgewise | $G_{0,edg,mean}$ | 600 | 500 | 600 | 500 |
| Density, kg/m³ | | | | | |
| Mean value | ρ_{mean} | 510 | 440 | 510 | 440 |
| Characteristic value | ρ_k | 480 | 410 | 480 | 410 |

3.2.5 Naulalevyrakenteet

Naulalevyrakenteiden tulee täyttää standardin SFS-EN 14250 tuotevaatimukset. Naulalevyrakenteiden ominaisuudet ilmoitetaan CE-merkinnällä. Ominaisuuksien on täytettävä kansalliset vaatimustasot tuotteen käyttökohteessa. Jos naulalevyrakenteiden ominaisuuksia ei ole osoitettu CE-merkinnällä, sen ominaisuudet osoitetaan Suomen kansallisia hyväksyntämenetelmiä noudattaen. (RT 14-11016, s. 241)

Mikäli naulalevyrakenteiden ominaisuuksia ei ole osoitettu CE-merkinnällä, tai merkintä jätetään pois esteettisistä syistä, tulee tuoteerässä esittää taulukon 721:T3 (Taulukko 6) vaatimukset. (RT 14-11016, s. 241)

Taulukko 6. Naulalevyrakenteen merkintöjen tiedot(RunkoRYL 2010)

Taulukko 721:T3. Naulalevyillä kootun rakenneosan merkintöjen tiedot.

-
- a) Ulkoisen laadunvalvonnan merkki ja valmistajan nimi tai tunnusmerkki
 - b) Valmistuserän tunnusmerkintä (piirustuksen numero)
 - c) Valmistusviikko ja -vuosi
 - d) Sisäsaavojen sivuttaistuennat
-

RunkoRYL 2010 mukaan, vastaanottaessa naulalevyillä koottuja rakenteita, niiden kosteus saa olla enintään 22 % puun kuivapainosta. Pintakäsittelyssä naulalevyillä kasattuja rakenteita, niiden kosteus saa olla enintään 18 % puun kuivapainosta. (RT 14-11016, s. 241)

3.2.6 Suurlastulevy (OSB)

OSB-levyjen ominaisuudet ilmoitetaan CE-merkinnällä. Ominaisuuksien on täytettävä kansalliset vaatimustasot tuotteen käyttökohteessa. Jos OSB-levyjen ominaisuuksia ei ole osoitettu CE-merkinnällä, sen ominaisuudet osoitetaan Suomen kansallisia hyväksyntämenetelmiä noudattaen. Mikäli OSB-levyillä ei ole CE-merkinnällä, levyjen tulee olla merkittävät taulukon 741:T1 (Taulukko 9) mukaisesti. (RT 14-11016, s. 257)

OSB-levyt ovat standardin SFS-EN 300 mukaisia. Käyttöluokassa 1 saa käyttää OSB/2-luokan OSB-levyjä. Käyttöluokissa 1 ja 2 saa käyttää OSB/3- ja OSB/4-luokan OSB-levyjä. Käytettävissä levyissä ei ole halkeamia tai muita rikkoumia. (RT 14-11016, s. 257)

Varastoidessa OSB-levyjä, ne tulee suojata kosteudelta, huomioiden myös riittävä tuulettuminen. Levyjen varastoinnissa täytyy huolehtia, etteivät levyt kostu tai kuivu haitallisesti, eikä säilöntä saa aiheuttaa levyihin muodonmuutoksia. RunkoRYL 2010 mukaan, vastaanottaessa levyjä, niiden kosteus on 5...13 % levyjen kuivapainosta. (RT 14-11016, s. 257)

Taulukko 7. OSB-levyjen merkintöjen tiedot (RunkoRYL 2010)

Taulukko 741:T1. Lastu- ja OSB-levyjen merkintöjen tiedot.

-
- a) Valmistajan nimi tai tunnusmerkki
 - b) Levystandardin numero
 - c) Levyn mitat
 - d) Levyn laatuluokka
 - e) Levyn päästöluokka
 - f) Valmistusnumero
 - g) Tuotantoviikko ja -vuosi
-

3.3 Muut rakennusmateriaalit

3.3.1 Kartonkipintaiset kipsilevyt

Kipsilevyjen tulee täyttää standardien SFS-EN 520 ja 14190 asettamat vaatimukset. Kipsilevyjen tulee olla virheettömiä ja sävyerottomia. Kartonkipintaisia kipsilevyjä ei saa käyttää tiloissa, joiden lämpötila ylittää 50 °C tai ilman RH on yli 90 %, ilman asianmukaista eristystä ja tuuletusta. (RT 14-11016, s. 260)

SisäRYL 2013 taulukossa 742:T8 on ilmoitettu kartonkipintaisten kipsilevyjen mittatarkkuudet. Kipsilevyt säilytetään aluspuita käyttäen tasaisella alustalla, jottei levyjen reunat vahingoitu. (RT 14-11103, s. 187)

Taulukko 8. 742:T8, SisäRYL 2013

Taulukko 742:T8. Kartonkipintaisten kipsilevyjen mittatarkkuudet alle 18 mm paksuille standardin SFS-EN 520 mukaisille levytyypeille A, H, D, E, F, I ja R.

| Ulottuvuus | Suurin sallittu poikkeama, mm |
|------------|-------------------------------|
| Pituus | +0...-5 |
| Leveys | +0...-4 |
| Paksuus | ± 0,5 |

3.3.2 Palokatkot

Palokatkotöiden yleisenä laatuvaatimuksena on palokatkotuotteen CE-merkintä tai valmistajakohtainen eurooppalainen tekninen arviointi (ETA). Mikäli palokatkotuotteella ei ole edellä mainittuja merkintöjä, säännösten mukaisuus voidaan osoittaa tuotehyväksyntälain mukaisella kansallisella hyväksynnällä.

Materiaaleiden ja tuotteiden tulee olla suunnitelmien asettamien vaatimusten mukaiset. Palokatkotuotteita valittaessa on tärkeää selvittää eri valmistajien palokatkotuotteiden yhteensopivuus valmistajien ohjeista ja tuotteiden ETA-hyväksyntäpäätöksistä. Palokatkotuotteiden käyttöä ohjaa ensisijaisesti maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 luku 17 117 b § sekä Suomen palokatko yhdistys ry (Palokatko-opas 2019).

Palokatkotuotteet varastoidaan siten, että ne ovat suojassa kosteudelta, kolhiintumiselta, likaantumiselta. Palokatkotuotteita varastoidessa huomioidaan erityisesti valmistajan ohjeistukset koskien lämpöolosuhteista.

Palokatkoille on laadittava suunnitelma, jonka vaatimukset on esitetty RIL:n julkaisemassa oppaassa (270-2018 Palokatkojen suunnittelu, toteutus ja huolto). Suunnitelmassa on oltava liitteenä työselostus, palokatko-detallit, sekä sijaintikaavio. Sijaintikaaviossa jokaisen palokatkon tulee olla yksilöity tunnuksin.

3.3.3 Ilman- ja höyrynsulku- ja tuulensuojatuotteet

Tuotteiden ominaisuudet osoitetaan yhdenmukaistetun tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän CE-merkinnällä. Käytettävät tuotteet täyttävät valmistajan ilmoittamat laatu- ja mittatarkkuudet. Mikäli käytettävällä tuotteella ei ole CE-merkintää, sen ominaisuudet osoitetaan Suomen kansallisia hyväksyntämenetelmiä noudattaen. Tuotteiden valmistusta ohjaa standardit SFS 4225, SFS 2376, SFS-EN 13970 ja SFS-EN 13984. Varastoidessa tuotteita, ne suojataan kolhiintumiselta, kosteudelta, likaantumiselta. (RT 14-11016, s. 277)

3.3.4 Lämmöneristeet

Käytettävien lämmöneristystuotteiden tulee täyttää standardin SFS-EN ISO 10456 asettamat vaatimukset. Lämmöneristetuotteiden ominaisuudet osoitetaan yhdenmukaistetun eurooppalaisen tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän (ETA) CE-merkinnällä. (RT 14-11016, s. 277)

Varastoidessa lämmöneristeitä, ne suojataan kolhiintumiselta, likaantumiselta, sekä kosteudelta. Eristystarvikkeiden varastoinnissa huomioidaan valmistajan ohjeistukset.

3.3.5 Liittimet ja liitososat

Liittimien ja liitososien tulee täyttää standardien SFS-EN 14545 ja 14592 asettamat vaatimukset. Taulukko 711:T22 (Taulukko 7) osoittaa eri liittimien kohdalla noudatettavia standardeja. (RT 14-11016, s. 226)

Liittimien ja liitososien ominaisuudet ilmoitetaan CE-merkinnällä. Ominaisuuksien on täytettävä kansalliset vaatimustasot tuotteen käyttökohdassa. Jos liittimien ja liitososien ominaisuuksia ei ole osoitettu CE-merkinnällä, sen ominaisuudet osoitetaan Suomen kansallisia hyväksyntämenetelmiä noudattaen. Alle liitetyissä taulukoissa (Taulukko 7 ja 8) on esitetty erilaisten liitosten tuotestandardit sekä asennustarkkuudet. (RT 14-11016, s. 226)

Taulukko 9. Liittimien ominaisuuksien standardeja (RunkoRYL 2010)

Taulukko 711:T22. Puurakenteiden liittimiä ja näiden ominaisuuksia kuvaavia standardeja ja muita ohjeita (lähde: RIL 240-2006).

| | |
|-------------------------------|--|
| Naulat | SFS-EN 14592 Timber structures. Dowel-type fasteners. Requirements. SFS-EN 10230-1 Teräsnaulat. Osa 1: Irtonaulat yleiseen käyttöön. |
| Ruuvit | SFS-EN 14592 Timber structures. Dowel-type fasteners. Requirements. SFS-EN ISO 10666 Itseporautuvat levyruuvit. Mekaaniset ja toiminnalliset ominaisuudet. SFS-ISO 1891 Fasteners – Terminology |
| Pultit, mutterit ja aluslevyt | SFS-EN 14592 Timber structures. Dowel-type fasteners. Requirements. SFS-EN ISO 4014 Hexagon head bolts. Product grades A and B (ISO 4014:1999). SFS-EN ISO 4016 Hexagon head bolts. Product grade C (ISO 4016:1999). SFS-EN 4032 Hexagon nuts, style 1. Product grades A and B (ISO 4032:1999). SFS-EN 4034 Hexagon nuts, style 1. Product grade C (ISO 4034:1999). SFS-EN ISO 887 Pyöreät aluslaatat metrisiin ruuveihin ja muttereihin. Yleistä. SFS-EN ISO 7094 Pyöreät aluslaatat. Erittäin suurikokoiset. Tarkkuusaste C. DIN 436 Neliölaatat. |
| Tappivaarnat | SFS-EN 14592 Timber structures. Dowel-type fasteners. Requirements. Lujuusluokka vähintään S235, halkaisija 6...30 mm, pää viistetty, läpimitan toleranssi -0/+0,1 mm. |
| Naulauslevyt | SFS-EN 14545 Timber structures – Connectors – Requirements. |
| Muotolevykiinnikkeet | Kiinnikkeen Eurooppalainen tyyppihyväksyntä ETA tai VTT:n lausunto. |
| Vaarnalevyt | SFS-EN 14545 Timber structures – Connectors – Requirements.SFS-EN 912 Timber fasteners – Specifications for connectors for timber. |
| Naulalevyt | SFS-EN 14545 Timber structures – Connectors – Requirements. Tuotekohtaiset VTT:n naulalevylausunnot tai CE-merkityn naulalevyn valmistajan ilmoittamat ominaisuudet (käyttöluokassa 3 vain ruostumaton teräs). |

Taulukko 10. Liittimien asennustarkkuudet (RunkoRYL 2010)

Taulukko 711:T25. Liittimien asennustarkkuudet (lähde: RIL 240-2006).

| Liitostekniikka | Asennustarkkuus | Erittely/ohjearvo | Sallittu poikkeama / rako |
|--|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Naulaliitos puu-puu Ruuviliitos puu-puu | Liittimien sijoitus | Liitinväli a_1, a_2 ¹⁾ | $\pm \max(10\%; d)$ |
| | | Päätyetäisyys a_3 | 0/+10 mm |
| | Kannan upotus | Reunaetäisyys a_4 | - d/+10 mm |
| | | Kanta puun pintaan | 0/+3 mm |
| Naulauslevyliitos (myös ruuvattavat) | Reiän sijainti | Reiät metallilevyssä | ± 3 mm |
| | Naulauslevyn sijoitus | Molemmissa suunnissa | ± 5 mm |
| Muotolevykiinnikliitos (hyväksytyt teolliset kiinnikkeet) | Kiinnikkeen sijoitus | Yleensä | ± 5 mm |
| | | Kontaktipinnassa | ± 2 mm ⁹⁾ |
| | Liittimien etäisyys puun reunasta ja päädyistä | | - d |
| | Rako puun pintaan | Kiinnike kontaktissa | vino rako max 3 mm |
| Pulttiliitos | Pultin sijainti | Samanaikainen poraus ²⁾ | ± 5 mm ⁵⁾ |
| | Reiän sijainti | Erikseen poraus | $\pm 1,5$ mm ³⁾ |
| | Kiristys | Osat kontaktiin | vino rako max 3 mm |
| Tappivaarna | Halkaisija | d | 0/+0,1 mm |
| | Pituus | L | ± 2 mm |
| | Pään viiste 30° | Viisteen pituus 0,15d | $\pm 0,05d$ |
| Tappivaarnaliitos | Liittimen sijainti ⁴⁾ | Samanaikainen poraus | ± 3 mm |
| | Reiän sijainti ⁴⁾ | Erikseen poraus | ± 1 mm ⁶⁾ |
| | Tappivaarnan sileän osan pituus puulamellisissa t | | - max (2 mm; 0,05t) ⁷⁾ |
| | Rako liitosleikkeissä | Urat tai listoitettut sauvat | < min (3 mm; 0,25t) ⁸⁾ |
| Vinoruuvaus | Ruuvauskulma | | $\pm 5^\circ$ |
| Liimatankoliitos Liimaruuviliitos | Tangon sijainti | Asema ulostulon kohdalla | ± 5 mm |
| | Reiän vinous | Porauspituudella L_a | $\pm L_a/50$ |
| Kontaktiliitokset | Rako | Kontakti vaaditaan | vino rako max 3 mm |

3.4 Materiaalin pintakäsittely

3.4.1 Materiaalin home- ja kosteussuojaus

Puutavaran tulee täyttää suunnitteluasiakirjojen vaatimukset. Taulukko 711:T21 (Taulukko 11) esittää käytettävät menetelmät home- ja kosteussuojaukselle. RunkoRYL 2010 mukaan, puumateriaalin pintakäsittelyssä materiaalin kosteus saa olla enintään 18 % puun kuivapainosta. (RT 14-11016, s. 225)

Taulukko 11. Home- ja kosteussuojausmenetelmät (RunkoRYL 2010)

Taulukko 711:T21. Puutavaran home- ja kosteussuojausmenetelmät.

| Puutavara | Käyttöluokka 2 SFS-EN 335-1 | Käyttöluokka 3 SFS-EN 335-1 |
|---------------------------------|---|---|
| Sahatavara, pyöreä puutavara | | Vaihtoehtoisia menetelmiä – suolakyllästys (paineekyllästys) – pintakäsittely-yhdistelmä – lämpökäsittely |
| Liimapuu | | Vaihtoehtoisia menetelmiä – suolakyllästys (paineekyllästys) – pintakäsittely-yhdistelmä |
| Viilupuu | Tarvittaessa homesuojaus pintakäsittelyllä | Vaihtoehtoisia menetelmiä – suolakyllästys (paineekyllästys) – pintakäsittely-yhdistelmä |
| Vaneri | Tarvittaessa homesuojaus pintakäsittelyllä | Vaihtoehtoisia menetelmiä – maalauskalvopinnoite + reunasuojaus + pintakäsittely-yhdistelmä – fenolifilmpinnoite + reunasuojaus tai vastaava muu pinnoite |

3.4.2 Palosuojaustuotteet

Moduuleissa käytettävien palosuojaustuotteiden tulee täyttää standardien SFS EN 13501-1 ja SFS-EN 1363-1 asettamat edellytykset. Tuotteet varastoidaan kosteudelta, kolhiintumiselta ja likaantumiselta. Palosuojaustuotteiden ominaisuudet heikentyvät vaurioiden myötä. (RT 14-11016, s. 294)

4 ALIKOKOONPANOT

4.1 Puurakenteiset elementit

Puurakenteisien elementtien tulee täyttää niille asetetut vaatimukset rungon, käytettävien rakennuslevyjen, sekä sisä- ja ulkoverhouksen osalta. Edellä mainittujen osa-alueiden suunnitelma-asiakirjoissa on huomioitu kunkin osa-alueen vaatimukset lämmön-, äänen-, ja paloeristyksille, jotka on asetettu standardissa SFS 5978. Elementtien eristystöitä ohjaa ensisijaisesti 911 Lämmöneristys, RunkoRYL 2010, sekä SFS-EN ISO 10456. Kun rakennetyypit ovat tiedossa, tulee myös huomioida kiinnitys- ja liitostapoihin liittyvät vaatimukset.

Alla mainitut (Taulukot 12-15) valmistus- ja asennustarkkuudet ovat esitetty elementeille, joiden puuosien kosteus on 15 % puun kuivapainosta. Kosteuspoikkeamat tulee huomioida valmistuksen yhteydessä. (RT 14-11016, s. 239)

4.2 Valmistus- ja asennustarkkuudet

Puurakenteiden toteutusstandardin valmistuttua noudatetaan sen valmistus- ja asennustarkkuuksia. Kappaleen liitteenä SFS 5978 taulukot 8.1, C2. ja C3. SFS 5978 esittää toiminnalliset toleranssit kolmessa toleranssiluokassa:

- **Toleranssiluokka 3:** Rakennusosat, joilta vaaditaan erityistä mittatarkkuutta ja joille asetetaan erityisen korkeat ulkonäkövaatimukset
- **Toleranssiluokka 2:** Asuin-, liike- ja toimistorakennusten tai niitä vastaavien rakennusten rakennusosat. Luokka 2 on yleisimmin käytetty asennustarkkuusluokka
- **Toleranssiluokka 1:** Hallirakennusten yms. tilojen rakennusosat, joille voidaan sallia luokkaa 2 alhaisemmat mittatarkkuus- ja ulkonäkövaatimukset.

Taulukko 12. Seinäelementtien valmistusluokkien toleranssit (SFS 5978, 2014)

**Taulukko C.2 Seinäelementtien valmistusluokkien toleranssit
(puun kosteuspitoisuus 15 %, mitataan tehtaalla)**

| Ulottuvuus | Valmistusluokka 3 | Valmistusluokka 2 | Valmistusluokka 1 |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Pituus (rakennuksen pituussuunnassa) | | | |
| < 3 m | ±3 mm | ±4 mm | ±7 mm |
| 3-10 m | ±0,10 % | ±0,15 % | ±0,25 % |
| > 10 m | ±10 mm | ±15 mm | ±25 mm |
| Korkeus (rakennuksen korkeussuunnassa) | | | |
| < 3 m | ±3 mm | ±4 mm | ±7 mm |
| 3-10 m | ±0,10 % | ±0,15 % | ±0,25 % |
| > 10 m | ±10 mm | ±15 mm | ±25 mm |
| Paksuus | | | |
| — ilman tuuletusrakoa ja ulkoverhousta | ±3 mm | ±3 mm | ±5 mm |
| — julkisivuverhouksen kanssa | ±6 mm | ±6 mm | ±8 mm |
| Nurkkapisteiden välisten ristimittojen ero | | | |
| < 3 m | ±3 mm | ±4 mm | ±7 mm |
| 3-10 m | ±0,10 % | ±0,15 % | ±0,25 % |
| > 10 m | ±10 mm | ±15 mm | ±25 mm |
| Suoruus (koko elementin pituus) | | | |
| — pituus (rakennuksen pituussuunnassa) | ±0,1 % | ±0,15 % | ±0,25 % |
| — korkeus (rakennuksen korkeussuunnassa) | ±0,1 % | ±0,15 % | ±0,15 % |
| Ovi- ja ikkuna-aukkojen sijainti | ±5 mm | ±10 mm | ±15 mm |
| Liittyvien rakenteiden loveus | | | |
| — loven pituus, syvyys, leveys | +2 mm | +4 mm | +6 mm |

Taulukko 13. Vaakarakenne-elementtien valmistusluokkien toleranssit (SFS 5978, 2014)

**Taulukko C.3 Vaakarakenne-elementtien valmistusluokkien toleranssit
(puun kosteuspitoisuus 15 %, mitataan tehtaalla)**

| Ulottuvuus | Valmistusluokka 3 | Valmistusluokka 2 | Valmistusluokka 1 |
|---|--------------------|-------------------|-------------------|
| Pituus | | | |
| ≤ 6 m | ±5 mm | ±0,15 % | ±0,25 % |
| > 6 m | | ±10 mm | ±20 mm |
| Leveys | | | |
| ≤ 3 m | ±5 mm | ±0,15 % | ±0,25 % |
| > 3 m | | ±10 mm | ±20 mm |
| Paksuus | min (±5 mm; 1,5 %) | ±5 mm | ±7 mm |
| Nurkkapisteiden välisten ristimittojen ero | | | |
| ≤ 6 m | ±0,10 % | ±0,15 % | ±0,25 % |
| > 6 m | ±10 mm | ±15 mm | ±25 mm |
| Suoruus (koko elementin pituus) | | | |
| — pituus, leveys | ±0,1 % | ±0,15 % | ±0,25 % |
| Aukkojen sijainti | ±5 mm | ±10 mm | ±15 mm |
| Liittyvien rakenteiden loveus | | | |
| — loven pituus, syvyys, leveys | +2 mm | +4 mm | +6 mm |

Taulukko 8.1 Puurakenteiden asennustoleranssit.
Olellaiset toleranssit on esitetty harmaalla taustalla

| Ulottuvuus ja sijainti | Suurin sallittu poikkeama | | |
|--|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Toleranssiluokka 3 | Toleranssiluokka 2 | Toleranssiluokka 1 |
| <i>Seinät</i> | | | |
| Sivusijainti perussuorasta | ±3 mm | ±5 mm | ±10 mm |
| Runkotolppien väli | ±3 mm | ±5 mm | ±10 mm |
| Ikkuna- ja oviaukon koko | ±3 mm | ±5 mm | ±10 mm |
| Ikkuna- ja oviaukon sijainti | ±3 mm | ±5 mm | ±10 mm |
| Vapaa väli (vastakkaiset seinät) | ±3 mm | ±5 mm | ±10 mm |
| Seinärunгон suoruus ¹⁾ | ±1,5 ‰ | ±1,5 ‰ | ±1,5 ‰ |
| Seinärunгон poikkeama pystysuorasta | | | |
| — korkeus enintään 3 m | ±5 mm | ±5 mm | ±5 mm |
| — korkeus yli 3 m | ±8 mm | ±8 mm | ±8 mm |
| <i>Ala- ja välipohjakannatteet</i> | | | |
| Kannatteiden väli | ±3 mm | ±5 mm | ±10 mm |
| Porrasaukon tms. koko | ±3 mm | ±5 mm | ±10 mm |
| Porrasaukon tms. sijainti | ±3 mm | ±5 mm | ±10 mm |
| Palkiston ylä- tai alapinnan suoruus ¹⁾ | ±1,5 ‰ | ±1,5 ‰ | ±1,5 ‰ |
| <i>Yläpohjakannatteet</i> | | | |
| Kannatteiden väli | ±3 mm | ±5 mm | ±10 mm |
| Palkiston ylä- tai alapinnan suoruus ¹⁾ | ±1,5 ‰ | ±1,5 ‰ | ±1,5 ‰ |
| <i>Pilarirunko</i> | | | |
| Sivusijainti | ±6 mm | ±12 mm | ±20 mm |
| Vapaa väli | ±6 mm | ±12 mm | ±20 mm |
| Pilarin yläpäähän ja/tai tukipintojen korkeusasema | ±4 mm | ±8 mm | ±12 mm |
| Suoruus ¹⁾ | ±1,5 ‰ | ±1,5 ‰ | ±1,5 ‰ |
| Poikkeama pystysuorasta | | | |
| — korkeus enintään 6 m | ±3 mm | ±5 mm | ±8 mm |
| — korkeus yli 6 m | ±4 mm | ±8 mm | ±2 mm |
| <i>Palkkirunko</i> | | | |
| Sivusijainti perussuorasta | ±6 mm | ±12 mm | ±20 mm |
| Vapaa väli | ±6 mm | ±12 mm | ±20 mm |
| Korkeusasema tuella | ±4 mm | ±8 mm | ±12 mm |
| Suoruus ¹⁾ ja poikkeama esikorotuksesta, kun palkkia kuormittaa sen oma paino | ±1,5 ‰ | ±1,5 ‰ | ±1,5 ‰ |
| <i>Seinäelementtien asennustarkkuus</i> | | | |
| Seinän sivusijainti perussuorasta | ±5 mm | ±8 mm | ±12 mm |
| Vapaa väli (vastakkaiset seinät) | ±5 mm | ±8 mm | ±12 mm |
| Seinän poikkeama pystysuorasta | | | |
| — korkeus enintään 3 m | ±3 mm | ±5 mm | ±8 mm |
| — korkeus yli 3 m | ±5 mm | ±8 mm | ±12 mm |
| Sauman leveys, poikkeama nimellimitasta | ±3 mm | ±5 mm | ±8 mm |
| Elementtisauman hammastus | 3 mm | 5 mm | 8 mm |

¹⁾ 1,5 ‰ mittauspituudesta, kun mittauspituus on vähintään 2 m.

(jatkuu)

Taulukko 14. Puurakenteiden asennustoleranssit (SFS 5978, 2014)

Taulukko 8.1 (päättyy)

| Ulottuvuus ja sijainti | Suurin sallittu poikkeama | | |
|---|--|-------------------------|-------------------------|
| | Toleranssiluokka 3 | Toleranssiluokka 2 | Toleranssiluokka 1 |
| <i>Ala-, väli- ja yläpohjaelementtien asennustarkkuudet</i> | | | |
| Elementtien sivusijainti perussuorasta | ±5 mm | ±8 mm | ±12 mm |
| Elementtisauman hammastus | 3 mm | 5 mm | 8 mm |
| Sauman leveys, poikkeama nimellismitasta | ±3 mm | ±5 mm | ±8 mm |
| <i>Asennusalusta ja asennusalustassa olevat kiinnikkeet</i> | | | |
| — sivusijainti koko asennusalustan pituudella | ±3 mm | ±5 mm | ±8 mm |
| — korkeusasema koko asennusalustan pituudella | ±3 mm | ±5 mm | ±8 mm |
| <i>Peruspultit</i> | | | |
| — pulttiryhmän sijainti keskilinjan suhteen | ±5 mm | ±10 mm | ±10 mm |
| — pulttien keskinäinen etäisyys ryhmässä | ±3 mm | ±3 mm | ±3 mm |
| — pultin korkeusasema | | | |
| — pultin kallistus pystytasosta (<i>L</i> on pultin näkyvä pituus) | +20 mm <i>L</i> /100 | +20 mm <i>L</i> /100 | +20 mm <i>L</i> /100 |
| Muut kiinnikkeet, sivusijainti (teräslevyt, tangot yms.) | ±3 mm | ±5 mm | ±8 mm |
| <i>Naulalevyrakenteet</i> | | | |
| Suurin käyryys rakenteen tasosta | | | |
| — sauvan käyryys liitosvälillä | 15 mm | | |
| — paarteen käyryys koko paarteen pituudella | min(<i>L</i> /300, 50 mm), kun <i>L</i> on paarteen pituus | | |
| Poikkeama pystyasennosta | min(10 mm + <i>H</i> /200, 25 mm), kun <i>H</i> on rakenteen korkeus [mm] tarkasteltavassa kohdassa. | | |

Taulukko 15. Puurakenteiden asennustoleranssit (SFS 5978, 2014)

4.3 Runko- ja ulkopuolen työt

Runkotyöt tehdään suunnitelmien mukaisesti, noudattaen materiaaleille ja tarvikkeille asetettuja laatustandardeja, sekä valmistus- ja asennustarkkuuksia. Valmistus-, ja asennustarkkuudet, sekä standardit listattu opinnäytetyön kappaleissa 3 ja 4.2

Runkotöiden työskentely-, liitos-, sekä siirtomenetelmät eivät saa heikentää valmiin rungon lujuusominaisuuksia. Mahdollisten poikkeuksien tai muutosten ilmetessä on oltava yhteydessä rakennesuunnittelijaan ennen töiden jatkamista.

- 711 Puurunkotyö, RunkoRYL 2010
- 741 Levytyö runkorakenteissa, RunkoRYL 2010

Julkisivu täyttää suunnitelmien ja laatukorttien vaatimukset.

Verhoilussa käytettävän puutavaran tulee täyttää RunkoRYL 2010 taulukon 712:T1 (Taulukko 17) laatuvaatimukset, sekä taulukon 712:T2 (Taulukko 12) vähimmäispaksuudet.

- 712 Puujulkisivutyö, RunkoRYL 2010
- YIT:n laatukortit

Taulukko 16. Ulkoverhouslautojen vähimmäispaksuus (RunkoRYL 2010)

Taulukko 712:T2. Ulkoverhouslautojen vähimmäispaksuus.

| Laudan leveys, mm | Laudan vähimmäispaksuus, mm |
|-------------------|-----------------------------|
| ≤ 120 | ≥ 23 |
| > 120 ≤ 195 | ≥ 28 |
| > 195 | peittävä leveys / 7 |

Taulukko 17. Näkyväksi jäävän pinnan laatuvaatimukset (RunkoRYL 2010)

Taulukko 712:T1. Ulkoverhouslautojen lautamateriaalierän sydänlapepintojen (näkyviin jäävä pinta) laatuvaatimukset¹⁾.

| Ominaisuus tai vika | Laatuvaatimus |
|------------------------|--|
| Oksat | Sallitaan oksia, joiden koko on enintään 50 % laudan leveydestä. Kiinteä oksa voi olla terve (tuore) tai kuollut (kuiva) oksa. |
| Oksalohkeamat | Sallitaan enintään kolme kappaletta 10 mm:n suuruisia oksalohkeamia kahden metrin matkalla. |
| Oksanreiät | Ei sallita. |
| Korot ja kaarnarosot | Sallitaan enintään yksi 6 mm leveä ja 100 mm pitkä koro ja kaarnaroso yhden metrin matkalla. Sallitaan 5 %:ssa ulkoverhouslautaerästä. |
| Pihkakolot | Sallitaan pihkakoloja, joiden yhteenlaskettu pituus on enintään 200 mm yhden metrin matkalla. Yksittäisen pihkakolon pituus saa olla enintään 100 mm. Läpimeneviä pihkakoloja ei sallita. |
| Halkeamat | Laudan keskialueella sallitaan halkeamia, ei kuitenkaan läpimeneviä halkeamia, joiden pituus on enintään 15 % laudan pituudesta. Laudan päissä sallitaan enintään laudan leveyden mittainen läpimenevä halkeama. Päätypontatun laudan päissä sallitaan kiinni oleva halkeama, jonka pituus on enintään 50 % laudan leveydestä. |
| Lyly ja muut muotoviat | Sallitaan ainoastaan siinä määrin, että lautojen kiinnittäminen ei sen vaikutuksesta olennaisesti vaikeudu. Lapevääritys: 30 mm kahden metrin matkalla. Syrjävääritys: 4 mm kahden metrin matkalla. Kierous: 20 mm kahden metrin matkalla. |
| Sydänjuova | Sallitaan sydänjuova, jonka pituus on enintään 50 % laudan pituudesta. |
| Sinistymä | Ei sallita. |
| Värivika | Ei sallita. |
| Laho | Ei sallita koskaan. |
| Hyönteisvahingot | Ei sallita koskaan. |
| Paikat | Ei sallita. |
| Sormijatkokset | Sallitaan. |

4.4 Liimalla kasatut rakenneosat

Liimaamalla kasattuja rakenneosia ohjaa pääsääntöisesti Laki rakennustuotteiden hyväksynnästä 3§, Ympäristöministeriön valtuutus päätös (YM19/629/2009) sekä liimapuun tuotestandardi EN 14080. Edellä mainittu tuotestandardi on myös edellytys CE-merkinnälle.

Liimalla kasattuja palkkeja ja pilareita käyttämällä päästään osassa kantavuutta vaativissa paikoissa riittäviin lujuuksiin sirommilla rakenteilla. Alla olevassa taulukossa käytetty lujuusarvojen yksikkönä N/mm² ja tiheyden yksikkönä kg/m³.

Taulukko 18. Liimapuun lujuusluokat (Liimapuukäsikirja osa 2, luku 1 – 12, 2015)

| Ominaisuus ^a | Merkintä | Liimapuun lujuusluokka | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | GL20c | GL22c | GL24c | GL26c | GL28c | GL30c | GL32c |
| Taivutuslujuus | $f_{m,g,k}$ | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 |
| Vetolujuus | $f_{t,0,g,k}$ | 15 | 16 | 17 | 19 | 19,5 | 19,5 | 19,5 |
| | $f_{t,90,g,k}$ | 0,5 | | | | | | |
| Puristuslujuus | $f_{c,0,g,k}$ | 18,5 | 20 | 21,5 | 23,5 | 24 | 24,5 | 24,5 |
| | $f_{c,90,g,k}$ | 2,5 | | | | | | |
| Leikkauslujuus | $f_{v,g,k}$ | 3,5 | | | | | | |
| | $f_{r,g,k}$ | 1,2 | | | | | | |
| Kimmokerroin | $E_{0,g,mean}$ | 10400 | 10400 | 11000 | 12000 | 12500 | 13000 | 13500 |
| | $E_{0,g,05}$ | 8600 | 8600 | 9100 | 10000 | 10400 | 10800 | 11200 |
| | $E_{90,g,mean}$ | 300 | | | | | | |
| | $E_{90,g,05}$ | 250 | | | | | | |
| Liukkerroin | $G_{g,mean}$ | 650 | | | | | | |
| | $G_{g,05}$ | 542 | | | | | | |
| | $G_{r,g,mean}$ | 65 | | | | | | |
| | $G_{r,g,05}$ | 54 | | | | | | |
| Tiheys ^b | $\rho_{g,k}$ | 355 | 355 | 365 | 385 | 390 | 390 | 400 |
| | $\rho_{g,mean}$ | 390 | 390 | 400 | 420 | 420 | 430 | 440 |

4.5 Ikkunat ja ovet

Ympäristöministeriön tekniset vaatimukset ikkunoille ja oville koskevat niiden palo-, ja käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, akustisia ominaisuuksia ja energiatehokkuutta.

Kappaleet 1242 Ikkunat ja 1243 Ulko-ovet, RunkoRYL 2010 käsittelee tarkemmin ikkunoiden ja ulko-ovien:

- rakennetta ja laatua
- murronkestävyyttä
- henkilöturvallisuutta
- lämmön- ja ääneneristävyyttä
- paloturvallisuutta
- tiiveyttä ja liittymistä ympäröiviin rakenteisiin
- käyttöikä

Puu-, puualumiini- ja metalli-ikkunoiden CE-merkinnän perustana ovat standardit tuotestandardi SFS-EN 14351-1 ja laadunvarmistuksen standardi SFS 4433. (RT 14-11016, s. 251)

Metalli- ja puu-ulko-ovien CE-merkinnän perustana ovat standardi SFS-EN 14351-1. Tyyppi hyväksytty palo-ovi noudattaa standardin SFS-EN 13501-2 vaatimuksia. (RT 14-11016, s. 251)

Vastaanottaessa ja varastoidessa ikkunoita ja ovia, ne on suojattava mekaaniselta vahingoittumiselta, kosteudelta, sekä likaantumislta. Toimittajan ohjeistuksia varastoinnissa on myös noudatettava.

4.6 Märkätilat

4.6.1 Kylpyhuonevalmistila

Puumoduuleissa tullaan todennäköisesti käyttämään kylpyhuonevalmistiloja, joille on hyväksytty esimerkiksi VTT:n sertifikaatti nro 160/1. Kylpyhuonevalmistilat sisältävät suunnitelmien mukaan räätälöidyt talotekniikkavalmiudet. YIT on käyttänyt kylpyhuonevalmistiloja paljon aiemmissa kohteissaan, joka on osoittautunut toimivaksi ja aikaa säästäväksi ratkaisuksi.

Kylpyhuonevalmistilat ovat valmistettu vaatimuksia noudattaen ulkopuolisen yrityksen puolesta, jolloin vastuu- ja takuuasiat eivät ole moduulitehtaan harteilla. Tehtaan tulee siis ainoastaan huolehtia asianmukaisesta valmistilan kiinnityksestä ja sen dokumentoinnista puumoduulin runkoon. Tällöin tulee huomioida RunkoRYL 2010 asettamat vaatimukset rakenteiden liitoksista. Alla on havainnollistavia kuvia kylpyhuonevalmistiloista.

4.6.2 Tarkastukset ja mittaukset

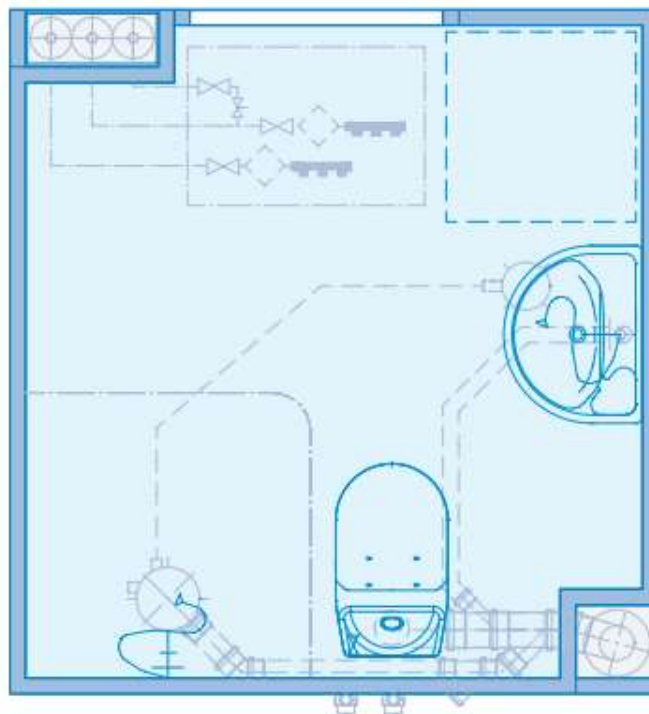
Kylpyhuonevalmistiloille tehdään vastaanottotarkastukset. Tarkastuksessa huomioidaan suunnitelmien mukaisuus talotekniikkavarauksien osalta, tilaelementin suoruus, sekä YIT:n laatu- ja työohjekortin asettamat vaatimukset. Kylpyhuonevalmistilan tuottaja antaa tehtaalle talotekniikkaan liittyvät tarkastuspöytäkirjat.

Kylpyhuonevalmistilaa koskevat laatu- ja työohjekortit:

- Paneelialakatto
- Laatoitus ja saumaus
- Kalustus ja heloitus
- Putkiasennukset
- Lattialämmitys



Kuva 1 Kylpyhuonevalmistila, Parmarine Oy



Periaatepiirustus, asuntokylpyhuone

Kuva 2 Kylpyhuonevalmistila, Parmarine Oy

4.7 Erityiset rakenteet ja ratkaisut

Erityisissä rakenteissa, kuten LVL-jäykistysseinissä ja hissijohteissa on aina osoitettava joko laskennallisesti tai testikokemuksin ratkaisun toimivuus. Selvitys tuotannon työnjohdolle ja -tekijöille käytettävistä menetelmistä. Moduulirakentamisessa tulee varmasti useita hankalia ja erityisiä asioita vastaan. Tuotannon kehittyessä tunnetuille haasteille luodaan ohjekortit toimiviksi osoitetuille menetelmille, näin tuotanto kehittyy jatkuvasti.

5 MODUULIN KOKOONPANO

Moduulituotanto on moniammatillista ja valmistus sisältää paljon eri työvaiheita. Eri työvaiheiden ja osa-alueiden työvuorototeutumien erot (T3) hankaloittavat moduulien kokoonpanon sujuvuutta. Tuotanto on siis suunniteltava siten, että esimerkiksi talotekniikka-asentajat pääsevät tekemään mahdollisimman paljon töitä valmiiksi kerralla siten, ettei talotekniikka-asentajien tarvitsisi tehdä puolittaisia työvaiheita useassa eri moduulissa samanaikaisesti.

Tarkoituksena on siis löytää sopivat työjärjestykset ja -tavat, että kaikilla tehtaan työntekijöillä mukaan lukien talotekniikka-asentajilla on jatkuvasti töitä, eikä työtehtävien suoritukset olisi täysin riippuvaisia muiden tehokkuudesta. Suunnitelmien ja muiden kirjallisten ohjeiden on oltava työntekijöiden luettavissa tarvittaessa.

5.1 Sisäpuolen työt

Sisäpuolen työt koostuvat:

- talotekniikka-asennuksista
- lattiapäällystetöistä
- maalaus- ja tasoitustöistä
- kiintokalusteasennuksista
- listoituksista
- oviaennuksista
- palokatkotöistä

Sisäpuolen töitä ohjaa pääosin YIT:n laatukortit eri osa-alueilla, sekä talotekniikan ja kodinkoneiden toimivuuksien osoittaminen toimintakokein. Talotekniikkaa koskevat tarkastukset ja kokeet käydään läpi opinnäytetyön kohdassa 5.2 Itselleluovutukset.

- SisäRYL 2013
- YIT:n laatukortit

5.2 Koekäytöt, tarkastukset ja mittaukset

Alla mainitut koekäytöt, tarkastukset ja mittaukset dokumentoidaan laadunvarmistusjärjestelmään. Tarkistukset dokumentoidaan kirjallisesti, sekä piiloon jäävien rakenteiden ja tekniikoiden valokuvat tuodaan järjestelmään. Töiden laatukriteerit on asetettu YIT:n laatu- ja työohjekorteissa sekä Sisä-, Runko- ja Talotekniikka RYL:ssä.

Lattia-/alapohjaelementti

- Lattialämmitysputkien huolellinen asennus siten, että putket ovat uravarauksissa.
- EPS-lattialämmityslevyn ja lattiakipsilevyn tiiveydet.
- Riittävästi lattialämmitysputkea jakotukeille.
- Muiden mahdollisten johtojen/putkien asennus ja sijainti
- Eristykset

Runkoseinät

- Ulkokierron seinien asennuksessa huomioitavaa:
 - Väliin jäävien seinien ennakkomittaus
 - Kantavien seinien tiivistys pohjalaattaan
 - Seinien välisten liittymien puristuminen
- Seinien rakenteellisten kiinnityksien suunnitelmien mukaisuudet
- Rungon suoruuden tarkistus esim. takymetrillä

Kattoelementti

- Kattolaatan asennuksessa huomioitavaa:
 - Paikalle nosto
 - Sähköputkien jatkot
 - Asennusreikien sulkeminen

Lain velvoittamat itselleluovutukset:

- LL- ja KV-painekoe
- Viemäritarkastukset
- IV-säädöt
- Sähköjen käyttöönottomittaukset
- Palokatkot osastointien välillä
- Ilmativeyskoe

YIT:n laatuvaatimusten velvoittamat itselleluovutukset:

- Tarkastuskriteerien virheetön hyväksyntä
- Tilat ja kalusteet suunnitelmien mukaan
- Kodinkoneiden koekäytöt
- Tasoitus- ja maalaustöiden tarkastukset
- Laatoituksien ja saumauksien tarkastukset
- Akryyli- ja silikonisaumojen tarkastukset
- Julkisivut (Tarkastetaan jo elementtivaiheessa)
- Ikkunoiden pellitykset ja smyygit (Tarkastetaan jo elementtivaiheessa)
- Ovien säädöt ja toimivuudet

6 TALOTEKNIikka- JA SÄHKÖASENNUKSET

Luku käsittelee talotekniikan kohdistuvia asetuksia ja määräyksiä puumoduulirakentamisessa. Talotekniikassa pääsääntönä on toiminta Ympäristöministeriön asetusten mukaan. Ympäristöministeriön asetukset, joihin tuotannossa erityisesti tulee kiinnittää huomioita:

- 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta, luvut 2-4
- 1047/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistoista, luvut 2-7

Ympäristöministeriön asetukset koskevat rakennuksen terveellisyyttä, paloturvallisuutta, sekä energiatehokkuutta. Talotekniikan asennusta ohjataan Talotekniikan RYL 2002 mukaisesti. Kuten muissakin rakennusmateriaaleissa ja -tarvikkeissa, talotekniikka- ja sähkötuotteet ovat ensisijaisesti CE-merkittyjä.

Rakennushankkeeseen ryhtyvä huolehtii siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten mukaisesti. LVI-järjestelmien toteuttamista koskevia vaatimuksia ovat mm. hygieniä-, terveys-, meluntorjunta-, käyttöturvallisuus-, paloturvallisuus-, energiatalous-, ympäristö-, korjattavuus- ja huollettavuusvaatimukset. (LVI 01-10356, G00)

Sähköasennuksia taas sääntelee sähköturvallisuuslaki ja sen soveltaminen SFS 6000 mukaan. LVI-, automaatio- ja sähköurakkaan laitetoimituksineen, sisältyy aina työ-, kytkentä-, ja asennussuunnitelma. Edellä mainittuja suunnitelmia laaditaan mm. sähkökeskuksille, teknisille tiloille, IV-koneille. Talotekniikka-asentajille tehdään ohjekortit työvaiheille, joissa on asetettu laatuvaatimusten vakioidut toimenpiteet.

7 TUOTANNON LOGISTIIKKA JA RAHTI

Vaikka tehtaan logistiikkaa ei säädellä standardein, on se silti merkittävässä osassa tuotantoa. Tehdas laatii aluesuunnitelman, jossa esitetään varastointi, tehtaan työpisteet, lastaus- ja purkupisteet, pysäköinti ja pe-lastustiet.

Tuotannon logistiikka tulee olla suunniteltu niin, että tehtaan yhdestä päästä vastaanotetaan raakamateriaali, sekä tarvikkeet ja toisesta päästä valmiit moduulit nostetaan varastoon tai rekan lavetille kuljetettavaksi.

Tehtaan sisäisen logistiikan tulee olla järjestetty siten, ettei eri työvaiheet häiritse toisiaan. Tarkoittaen esimerkiksi elementtien nostoja työpisteiden yli. Työpisteiden olisi hyvä olla tapahtumajärjestyksessä lineaarisesti.

Valmiille moduuleille, sekä elementeille on suunniteltava nostopisteet ja -tavat, etteivät rakenteiden lujuusominaisuudet kärsi. Moduulien nostomenetelmät tulee myös selvittää logistiikkayhtiölle, joka kuljettaa moduulit tehtaalta työmaalle. Tehdas laatii nosto- ja asennussuunnitelman siten, ettei moduuleja nostella turhaan, vaan siirrot tehtäisiin siirtopöytien avulla. Moduulit varastoidaan asennusjärjestyksessä, nosto- ja rahtivalmiudessa, huomioiden tieliikennelain asettamat vaatimukset.

8 KOSTEUDENHALLINTA TEHTAALLA

Kosteusvaurion riski tehtaalla on lähes olematon, mutta riski kasvaa valmiiden moduulin lähtiessä tehtaalta, mikäli esimerkiksi sääolosuhteiden aiheuttamia muuttujia ei huomioida. Tuote valmistetaan ja varastoidaan tehtaalla siten, että se noudattaa ympäristöministeriön asetusta 782/2017 117 c § Rakennusten kosteustekninen toimivuus.

Hankkeelle on aina laadittava kosteudenhallintaselvitys, joka sisältää:

- hankkeen yleistiedot
- kosteudenhallinnan vaatimukset eri työvaiheissa
- kosteudenhallinnan menetelmät
- henkilöresurssit (kosteudenhallinnasta vastaava henkilö)

Oikeanlaisilla ratkaisuilla rakennusaikainen kosteus saadaan hyvin hallintaan ja siihen on keskityttävä jo tehtaalla. Vaikkei moduuleja säilytettäisi ulkona, on silti tärkeää suojata moduuli niin päältä, kuin sivuiltakin. Tehtaan ja työmaan välimatka on saattaa olla hyvinkin pitkä, jolloin lumi- ja vesisade voivat koitua ongelmiksi. Valmiisiin moduuleihin asennetaan kosteusanturit ennen niiden paketoitua, jotta tehdas pystyy tarvittaessa todentamaan, ettei moduuleissa ole ollut kosteutta varastoinnin taikka rahdin aikana.

Huolellisella katon- ja seinien suojauksella voidaan ehkäistä lumen ja veden kulkeutuminen holville, joka aiheuttaa turhaa työtä ja mahdollisia kosteudenhallintaongelmia. Esimerkki ratkaisuna tähän ongelmaan olisi kahden suojamuovin asettaminen moduulin päälle, niin että muovit ovat keskellä moduulin kattoa limittäin. Näin lumi tai vesi saataisiin poistettua jo kuorma-auton lavetilla, eikä holville aiheutuisi turhaa työtä/riskiä.

Myös rakennusaikaiset vedenpoistojärjestelmät vesikatolla ja niiden oikeanlainen sijoittelu on tärkeää, ettei vesi lammikoituisi vesikatolle ja etsi reittiä rakenteisiin. On myös selvää, rakennuksen on oltava kosteusteknisesti toimiva myös rakennusajan jälkeen. Puumoduulirakenteisten asuin-kerrostalojen kriittisimpiä kosteusriskejä ovat mm.:

- Sadeveden tunkeutuminen rakenteisiin, joko vesikatolta, ulkovaipan seinistä, tai ikkunoiden ja ovien liitoskohdista
- Huonosti toteutettu sadevesien poistojärjestelmä
- Huonosti toteutettu ilmanvaihtojärjestelmä pakottaa sisäilman kosteuden rakenteisiin
- Huonosti toteutettu märkätilojen lattiakaato ja vedeneristys
- Huonosti toteutettu perusmuurin kapillaarikatko
- Vesiputkien rikkoutuminen
- Sprinklerijärjestelmän käytön jälkeiset seuraukset
- Lattiakaivojen tukkeutuminen (puutteellinen huolto)

Tuotannon kehittyessä, mahdolliset kosteudenhallintariskit voidaan karvoittaa paremmin ja ennaltaehkäistä esimerkiksi Kuivaketju10 -toimintamallin mukaisesti. Kuivaketju10 on rakennusprosessin kosteudenhallinnan toimintamalli, jolla vähennetään kosteusvaurioiden riskiä rakennuksen koko elinkaaren ajan. Kosteusriskien hallinta perustuu ketjuun, jossa riskit torjutaan rakennusprosessin kaikissa vaiheissa ja torjunnan onnistuminen todennetaan luotettavalla tavalla. (Kuivaketju10, 2020)

Toimintamallin käyttö edellyttää tilaajan sitoumuksesta toteuttaa hanke toimintamallin mukaisesti. Prosessiin liittyy puolueeton kosteuskoordinaattori, joka ohjaa ja seuraa toimintamallin toteutusta koko hankkeen ajan. Kuivaketju10 suunnitteluvaiheessa hankkeelle laaditaan lista kymmenestä keskeisimmästä kosteusriskistä, perustuen yleisimpiin rakentamisen ongelmiin. Riskilistassa käydään läpi keskeisimpien riskitekijöiden ennaltaehkäisymenetelmät. Tämän pohjalta laaditaan todentamishoje, jossa esitetään riskitekijöiden mahdolliset torjuntatavat. Kuivaketju10 mukaan, toimintamallia noudattamalla voidaan välttyä yli 80 % kosteusvaurioiden seurannaiskustannuksilta.

9 LAADUNVARMISTUKSEN YHTEENVETO

9.1 Tuotannon jatkuva kehittäminen

Tehtaan tuotanto toimii Lean-prosessijohtamisen mukaisesti, Lean-mallissa pyritään kartoittamaan ja poistamaan hukka, kuten ylimääräiset kuljetukset ja työpisteiltä liikkumiset. Käytännössä se tarkoittaa työvaiheiden standardisoimista rutiininomaisiksi, jotta tuotannon virtaustehokkuus parantuu. Näin voidaan vähentää ennakoimattomia tapahtumia tuotannossa. Opinnäytetyössä mainitut valmistustoleranssit ovat RYL-kirjojen mukaisia. On kuitenkin muistettava, ettei YIT tyydy lueteltuihin arvoihin, vaan asettaa tuotannolle tavoitetason. Tavoitetasojen asettamisella taataan tuotannon progressiivisuus tehokkuuden ja laadun kannalta. Kun asetetut tavoitteet ovat saavutettu, kartoitetaan uudet kehittämisen kohteet, jotka pyritään taklaamaan - tällä periaatteella tuotanto kehittyy jatkuvasti.

9.2 Laadunvarmistuksen raportointi

Optimaalista olisi, että tuotannon sujuvuuden varmistamisen ja laadunvarmistuksen loppuraportin/-dokumentin välillä olisi korrelaatio. On todennäköistä, että jokaiselle tehtaan työpisteelle mahdollistetaan sähköinen tuotannonvalvontajärjestelmä, esimerkiksi tablet-tietokoneen, tai muun mobiililaitteen avulla.

Mobiililaitteeseen suunnitellaan käyttöliittymä, jossa on jokaiselle tuotannon työvaiheelle työpohja. Työpohjaan sisällytettäisiin mm. tarkistuslista työvaiheille, valokuvan lisäys mahdollisuus piiloon jääville rakenteille ja tekstikenttä mitatuille/tarkistetuille arvoille. Näin minimoidaan virheiden määrä ja ne pystytään korjaamaan pienellä ajallisella, sekä rahallisella haitalla. Mikäli valtaosa tarkastuksista tehtäisiin moduulin ollessa valmis, olisi vahingonkorjaus paljon kalliimpi.

Jos valmiista moduulista täytyy tarkistaa jotain, sen dokumentit ovat kätevästi haettavissa käyttöliittymästä moduulitunnuksella. Tämän jälkeen moduulin dokumentteja voidaan selata kronologisessa järjestyksessä, josta on helppo löytää valokuva, mittaustulos tmv. haluttu tieto.

Aiemmat kappaleet pohjustavat opinnäytetyön lopullista tavoitetta. Selvitystä siitä, mitä standardeja tulee noudattaa kullakin osa-alueella, mahdolliset haasteet tehdasolosuhteissa, kuinka laadunvarmistus toteutetaan ja mikä on siitä kätevä jäävä tuote. Kunkin moduulin lopputuote olisi tulostettavissa suoraan käyttöliittymästä. Tuloste sisältäisi moduulin RAK- ja LVIS-piirustukset, rakennetyypit, suoritusasoilmoitukset, sekä suoritettujen mittaukset ja tarkistukset päivämäärineen.

Moduulien on oltava virheetömiä itseluovutuksessa. Virheetömät moduulit kuvataan raporttiin, jonka jälkeen moduulit paketoidaan varastointia ja kuljetusta varten.

Alle on laadittu malli tuotannonvalvontajärjestelmän käyttöliittymän näkymästä työpisteellä. Esimerkki työvaiheena on käytetty tasoelementin levytystä.

Työvaihekortissa on kolme saraketta, työvaiheen aloitukselle, suoritukseksi, sekä luovutukselle. Jokaiselle sarakkeelle on laadittu työvaihekohtaiset kyselyt binäärijärjestelmällä, jossa vastausvaihtoehdot ovat kyllä tai ei. Esimerkiksi työn aloitusvaiheessa ohjelma kysyy työntekijältä ”Täyttääkö työstettävä rakenne edellytykset levytystyölle?”. Tavoitteena lähtökohtaisesti on saada vain ”kyllä” vastauksia, mutta mikäli esimerkiksi suoritusvaiheessa kysyttäessä EPS-lattialämmityslevyjen ja lattiakipsilevyjen onnistuneesta tiiveydestä vastaus on ei, työntekijä dokumentoi syyn kirjallisesti ohjelmistoon ja liittää valokuvan. Binäärikyselyn avulla on helppo havaita toistuvat ongelmat ja selvittää niiden syyt ja ratkaisut yhdessä työntekijöiden kanssa.

Näkymän oikeassa laidassa on linkit rakennetyyppi-, detalji-, sekä elementtikuviin. Tarkastuksiin, mittauksiin ja muihin dokumentointeihin on hyvä liittää valokuva havainnollistamaan työvaiheeseen liittyvää kommenttia poikkeavuudesta tmv. Kohdassa 5.2 Lattia-/alapohjaelementti on lueteltu työvaiheessa tehtäviä tarkastuksia ja mittauksia. Työvaiheen valmistuttua työvaiheeseen osallistuneet työntekijät kuittaavat työn.

Taulukko 19. Esimerkki mallinnus työvaiheen näkymästä työpisteellä

| TYÖVAIHE: | | | Tasoelementin levytys | | |
|----------------------|----------|----------|-----------------------|--|--|
| Aloitus | Suoritus | Luovutus | Rakennetyypit | | |
| 1. OK | 1. OK | 1. OK | Detaljit | | |
| 2. OK | 2. X | 2. OK | Elementtikuvat | | |
| 3. OK | 3. OK | 3. OK | | | |
| 4. OK | 4. OK | 4. OK | | | |
| Työvaiheen kuittaus: | | | Liitteet ja kommentit | | |
| Nimet: | | PVM: | Kamera | | |

9.3 Yhteenvetotaulukko

Taulukko 20. Yhteenvetotaulukko ohjaavista standardeista

| Puurakenteiden toteutus SFS 5978 | | | |
|---|--|---|--------------------------|
| Puumateriaalit | Ohjaus | Täytettävä ehto | Kosteus vast.ott. |
| Lujuuslajiteltu sahatavara | SFS-EN 14081-1 | Lujuusluokka | maks. 25 % |
| Liimapuu | SFS-EN 14080 SFS-EN 386 | Lamellien paksuus Käytettävä liima Sormijatkokset | maks. 20 % |
| Ristiinlaminoitu massiivipuulevy (CLT) | SFS-EN 13986 SFS-EN 14279 | Käyttöluokka | maks. 12 % |
| Viilupuu (LVL) | SFS-EN 13986 SFS-EN 14279 SFS-EN 14374 | Käytettävä liima Sormijatkokset Lujuusluokka | maks. 20 % |
| Naulalevyrakenteet | SFS-EN 14250 | Ulk. laadunvalvonnan merkki | |
| Suurlastulevy (OSB) | SFS-EN 300 | Käyttöluokka | maks. 13 % |
| Muut rakennusmateriaalit | Ohjaus | Täytettävä ehto | |
| Kartonkipintaiset kipsilevyt | SFS-EN 520 SFS-EN 14190 | Tuotteiden virheettömyys | |
| Palokatkot | YM/132/1999 Palokatko-opas 2019 | P2-paloluokan ehdot | |
| Ilman- ja höyrynsulku- ja tuulensuojatuotteet | SFS 4225 SFS 2376 SFS-EN 13970 SFS-EN 13984 | Tuotteiden virheettömyys | |
| Lämmöneristeet | SFS-EN ISO 10456 | Tuotteiden virheettömyys | |
| Liimalla kasatut rakenneosat | YM19/629/2009 SFS-EN 14080 | Lujuusluokka | |
| Ikkunat ja ovet | SFS-EN 14351-1 SFS 4433 | Tuotteiden virheettömyys | |
| Liittimet ja liitososat | SFS-EN 14545 SFS-EN 14592 | Taulukko 711:T22 - sivu 12 | |
| Materiaalin pintakäsittely | Ohjaus | Täytettävä ehto | |
| Home- ja kosteussuojaus | SFS-EN 335-1 | Materiaalin kosteus max 18% | |
| Palosuojatuotteet | SFS EN 13501-1 SFS-EN 1363-1 | P2-paloluokan ehdot | |
| Talotekniikka ja sähkö | Ohjaus | Täytettävä ehto | |
| | TaTe RYL 2002, G00 SFS 6000 YM/1009/2917 YM/1047/2017 | | |

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINNAT

Puisten ja muiden materiaalien standardit ja laatuvaatimukset ovat melko yksiselitteisesti säänneltyjä. On kuitenkin huomioitava esimerkiksi liimarakenteisten elementtien työstämisestä johtuvat mahdolliset muutokset niiden ominaisuuksissa. YIT on kuitenkin kehittänyt puuelementtituotantoon vuosikymmenien ajan, joten käytettävien materiaalien lainvoimaisuuksissa ei varmasti ole epäselvyyksiä.

Tilattavat kylpyhuonevalmistilaelementit ovat aikaa ja resursseja säästävää vaihtoehto. Opinnäytetyön jatkokehityksenä olisi hyvä olla selvitys ulkopuolisen kylpyhuonevalmistilan kannattavuudesta sen eri näkökulmista. Oma valmistiset kylpyhuoneet olisivat varmasti helpommin muokattavissa tarvittaessa, eikä aiheuttaisi selvityksiä esimerkiksi takuuasioissa. Mikäli tehdas valmistaisi itse kylpyhuoneensa, tehtäisiinkö ne erillisenä tuotantona valmistilaelementeiksi, vai samassa tuotantolinjassa muun moduulin kanssa?

En usko, että kokoonpano tuo liitoksien kannalta kovin suuria haasteita, luulen haasteiden tulevan pääosin logistisista seikoista. Tehtaalla on tietenkin lähtökohtaisesti riittävän jyrkät siirtopöydät ja korkea halli, mutta saadaanko moduulit kasattua niin ripeästi, ettei se aiheuta pullonkaulaimiötä kokoonpano osastolla? Vaikka moduulien ja elementtien ylimääräisiä nostoja pyritään välttämään, tulee tehtaalla olla myös vahva nosturi mahdollisia poikkeustapauksia varten.

Talotekniikka tuo varmasti paljon haasteita, esimerkiksi läpivientivarauksissa, toimintakokeissa ja säädöissä. Tehdäänkö tarvittavat tarkastukset yksittäisille moduuleille tehtaalla, vai suoritetaanko tarkastukset asennuksien jälkeen työmaalla ja siten tarvittavat korjaukset tehtäisiin myös työmaalla?

Kuten opinnäytetyössä aiemmin todettiin, tehdasolosuhteissa kosteusvaurionriski on lähes olematon, mutta riski kasvaa merkittävästi valmiiden moduulien lähtiessä tehtaalta. Hyvä jatkokehitysidea opinnäytetyölle olisi kattava kosteudenhallintaselvitys moduulien kuljetukselle ja asennukselle. Mikä on esimerkiksi moduulien kuljetuksen aikainen suojaus menetelmä ja voitaisiinko suojat uusiokäyttää materiaalihävikin minimoimiseksi. Varastoitaviin moduuleihin tulee mahdollistaa väliaikainen kulku tarkistuksia varten esimerkiksi kestoiteovella. Väliaikaiskulku suunnitellaan siten, ettei kosteus pääse moduulin rakenteisiin taikka sisälle.

YIT:n ollessa suuri ja erittäin kokenut puuelementtituottaja, koen että valmiudet puumoduulien tuotantoon on hyvät. On kuitenkin selvää, että tuotannon tehokkuus ja kannattavuus hakee paikkaansa pitkälle tuotannon alkamishetkestä ja toivon saavani olla siinä prosessissa mukana.

11 LÄHTEET

Kuivaketju10. Haettu 9.5.2020

Osoitteesta: <http://kuivaketju10.fi/>

LVI 01-10355 ja 01-10356. TalotekniikkaRYL 2002. Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset osa 1 ja 2.

Helsinki, Rakennustietosäätiö RTS. Haettu 9.5.2020

Osoitteesta: <https://kortistot.rakennustieto.fi> (Vaatii käyttäjälisenssin)

RT 14-11016. RunkoRYL 2010, Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset.

Helsinki, Rakennustietosäätiö RTS. Haettu 9.5.2020

Osoitteesta: <https://kortistot.rakennustieto.fi> (Vaatii käyttäjälisenssin)

RT 14-11103. SisäRYL 2013, Talonrakennuksen sisätyöt.

Helsinki, Rakennustietosäätiö RTS. Haettu 9.5.2020

Osoitteesta: <https://kortistot.rakennustieto.fi> (Vaatii käyttäjälisenssin)

SFS 5978. Puurakenteiden toteuttaminen, Rakennuksien kantavia rakenneosia koskevat säännöt 2014.

Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS. Haettu 23.4.2020

Osoitteesta: <https://online.sfs.fi/fi/index/> (Vaatii käyttäjälisenssin)

Tomi Toratti, Puurakentamisen toteuttaminen standardi

Haettu 9.5.2020

Osoitteesta: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puurakentamisen%20toteutus-standardi%20ver%20web.pdf>

YIT Suomi Oy (2020), Intranet

Laki rakennusten vesi- ja viemärilaitteistoista 1047/2017

Haettu 9.5.2020

Osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171047>

Laki asetus rakennustuotteiden hyväksynnästä 1245/2003

Haettu 9.5.2020

Osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20031245>

Laki uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017

Haettu 9.5.2020

Osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>