



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TUUKKA TYNKKYNNEN
TERVEEN TALON RAKENTAMISEN PROSESSI

Diplomityö

Tarkastajat: professori Kalle Kähkönen ja yliassistentti Olli Teriö
Tarkastajat ja aihe hyväksytyy
Talouden ja rakentamisen tiedekuntaneuvoston kokouksessa 3. kesäkuuta 2015

TIIVISTELMÄ

TUUKKA TYNKKYEN: Terveen talon rakentamisen prosessi

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 70 sivua, 0 liitesivua

Syyskuu 2015

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto ja -talous

Tarkastajat: professori Kalle Kähkönen ja yliassistentti Olli Teriö

Avainsanat: terve, talo, rakentaminen, prosessi, olosuhteet, kosteus, puhtaus, tiiviyt, talotekniikka, hallinta, energiatehokkuus

Suomen rakennuskannassa on jo pitkään ilmennyt eri tekijöiden aiheuttamia sisäilmaongelmia. Merkittävimmät sisäilmaongelmien aiheuttajat ovat puutteellinen ilmanvaihto sekä erilaiset kosteuden vaikutuksesta syntyvät sisäilman epäpuhtaudet. Näiden ongelmien juurisyinä ovat usein rakentamisprosessin hallinnan puutteet. Sisäilmaongelmien aiheuttamat sairaudet ovat merkittävä kansantaloudellinen rasite, mikä osaltaan tuottaa vaatimuksia myös rakentajille laadukkaampien lopputuotteiden toteuttamiseksi.

Rakennusten energiatehokkuudelle asetettavat vaatimukset tulevat lisäämään rakentamisen laadun varmistuksen merkitystä terveiden ja turvallisten talojen tuotannossa. Tässä tutkimuksessa on kehitetty laadun hallinnan prosessit terveiden talojen rakentamisen kannalta merkittävimmille rakennuksen tuotantovaiheen osakokonaisuuksille. Tutkimuksessa tehdyn kirjallisuusselvityksen ja tapaustutkimuksen perusteella merkittävimmiksi terveiden talojen toteutuksen kokonaisuuksiksi määritettiin kosteuden, olosuhteiden ja puhtauden hallinta sekä rakennuksen tiiviiden varmistaminen ja talotekniikan mitta- ja säätötyöt.

Energiatehokkaat rakenteet ovat rakennusfysikaalisesti haastavia toteuttaa ja aiempaa paksummat rakenteet myös kuivuvat hitaammin. Muutoksesta johtuen rakennusaikaisen kosteuden pääsyn estäminen rakenteisiin ja vallitsevat olosuhteet vaikuttavat korostetusti rakenteiden kuivumiseen, mikä aiheuttaa lisähaasteita ja -vaatimuksia työmaan kosteuden ja olosuhteiden hallinnan toteutukselle. Matalaenergiarakentaminen edellyttää tiiviitä rakenteita. Tästä johtuen rakennuksen tiiviiden varmistamiseen tullaan kiinnittämään aiempaa suurempaa huomiota. Tiiviiden lisääntyessä myös rakennuksen talotekniikan, erityisesti ilmanvaihdon, toiminnalle on asetettava uusia vaatimuksia.

Hyvällä lopputuotteen laadun hallinnalla voidaan parantaa yrityksen kilpailukykyä ja parantaa yrityksen imagoa. Terveen talon rakentaminen edellyttää rakennushankkeen organisaatiolta riittävää tietotaitoa, toimivia laadun hallinnan prosesseja ja selkeää vastuunjakoja. Uusien määräysten mukaisia rakennuksia ja rakenteita ei voida rakentaa vanhoilla toimintatavoilla.

ABSTRACT

TUUKKA TYNKKYENEN: The process of building a healthy house

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 70 pages, 0 Appendix pages

September 2015

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Construction Management and Economics

Examiners: Professor Kalle Kähkönen and Assistant Professor Olli Teriö

Keywords: healthy, building, process, conditions, moisture, cleanness, condensation, service, technology, controlling, energy, efficiency

Finnish building construction has been battling indoor air quality issues for a long time. The most significant causes to indoor air problems are usually associated with insufficient ventilation and different types of humidity-related impurities, which are most often caused by poor management of the construction process. The physical illnesses caused by indoor air problems are a notable strain on national economy, which correspondingly sets a demand for constructors to deliver higher-quality end products.

The standards for energy efficiency will add to the urgency of quality control in the production of healthy and safe houses. This survey has contributed to the development of quality control processes that focus on the most central stages in the construction of a healthy house. The background section and the case study of this thesis revealed that the most significant entities in the production of a healthy house rely on controlling humidity, general conditions, purity, insulation as well as technical measurements and adjustments.

Energy efficient structures are technically demanding to produce and the structures used today are also thicker than before, which causes them to dry more slowly. Due to the change it is increasingly important to prevent humidity accessing the structures while constructing, and to observe the prevailing conditions that eventually affect the drying of the material. This sets additional challenges and demands for the application of the construction site humidity and condition control processes. Low-energy construction requires well-insulated structures. For this reason, insulation and sealing will be targeted to increased attention in the future. When a building is well insulated, especially ventilation technique must be set new demands.

Well-managed quality control of the end products is an effective way to boost the competitiveness and image of construction companies. Building a healthy house requires sufficient know-how, functioning quality control processes and straightforward sharing of tasks. Buildings and structures that follow the new regulations cannot be constructed with outdated methods.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on tehty opinnäytteenä Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen rakennustuotannon ja -talouden koulutusohjelman diplomi-insinööritutkintoon kevään ja kesän 2015 aikana. Tutkimuksen on mahdollistanut ja rahoittanut SRV Rakennus Oy:n alueyksikkö SRV Keski-Suomi.

Opinnäytteen tekeminen on polku kohti diplomi-insinööriksi valmistumista. Tällä polulla minua ovat tukeneet SRV:n Timo Kauppi, Miika Savo ja Petteri Savola sekä TTY:ltä työtä ansiokkaasti ohjannut Olli Teriö. Heille osoitan kiitokseni.

Kiitos myös perheelleni ja ystäväilleni tuesta ja ymmärryksestä elämän polulla.

Jyväskylässä, 26.8.2015

Tuukka Tynkkynen

SISÄLLYSLUETTELO

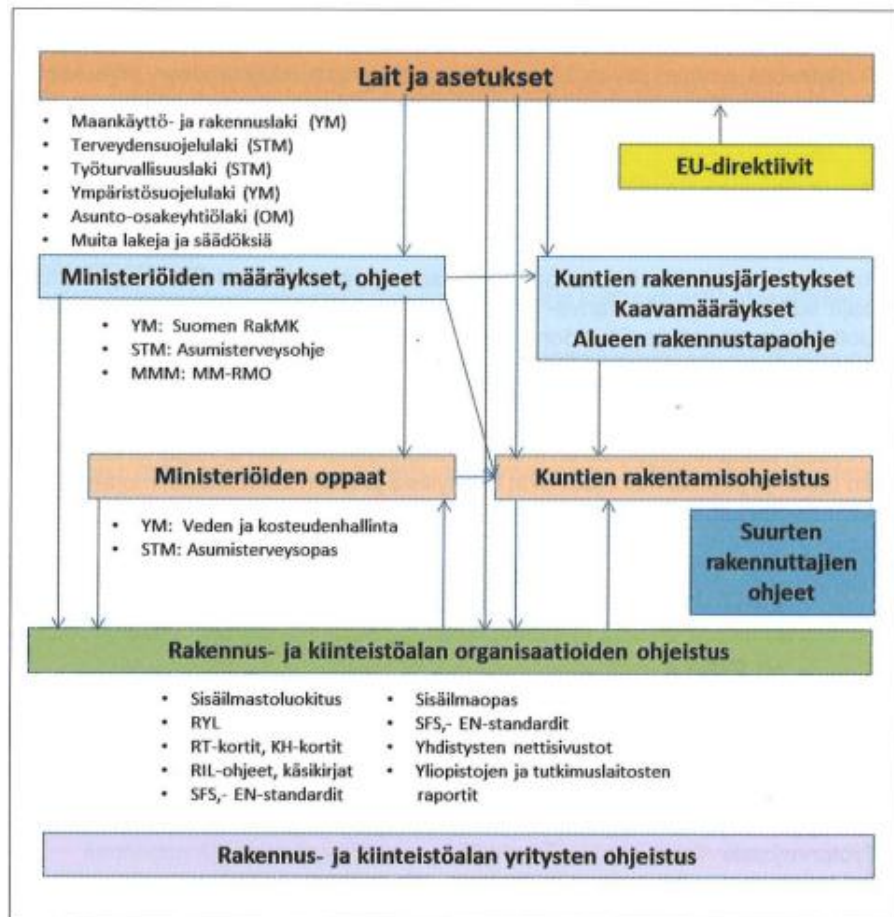
1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta.....	1
1.2	Tavoitteet ja rajaukset.....	2
1.3	Tutkimuksen toteutus.....	3
2.	TERVEEN TALON RAKENTAMINEN KIRJALLISUUSSELVITYS	4
2.1	Rakennusten sisäilmaongelmat ja kosteusvauriot	4
2.2	Terve talo -rakentaminen ja sisäilmastoluokitukset	6
2.2.1	Terve talo.....	6
2.2.2	Sisäilmastoluokitukset.....	7
2.2.3	Rakennusmateriaalien päästöluokat (M).....	8
2.2.4	Rakennustöiden ja ilmanvaihdon puhtausluokitus (P).....	9
2.3	Kosteuden hallinta terveen talon rakentamisessa	11
2.3.1	Kosteuden hallintasuunnitelma rakennusvaiheessa	13
2.3.2	Kosteusriskien hallinta	14
2.4	Sopimukset terveen talon rakentamisessa.....	16
2.4.1	Urakkaohjelma ja urakkarajaliite.....	16
2.4.2	Hankintasopimukset.....	17
2.5	Aikataulu ja ajoitus terveen talon rakentamisessa.....	17
2.6	Rakenteiden kuivuminen.....	20
2.7	Kosteusmittaukset.....	23
2.8	Olosuhteiden hallinta	24
2.8.1	Säältä suojautuminen	25
2.8.2	Materiaalien suojaaminen ja varastointi.....	26
2.8.3	Kuivattaminen ja lämmittäminen.....	28
2.9	Puhtauden hallinta	29
2.10	Rakennuksen tiiveyden merkitys ja varmistaminen	31
2.11	Painesuhteet rakennuksen sisäilman ja ulkoilman välillä	33
3.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS	35
3.1	Tutkimusmenetelmät	35
3.2	Tutkimuksen suoritus.....	36
4.	TAPAUSTUTKIMUS.....	37
4.1	Tutkimuskohde.....	37
4.2	Aikataulu	38
4.3	Ilmanvaihdon asennustyöt.....	39
4.4	Työmaan olosuhteiden hallinta	41
4.4.1	Olosuhteiden hallintasuunnitelma.....	41
4.4.2	Työmaan kosteuden hallinta	42
4.4.3	Kuivumisolosuhteiden hallinta	47
4.4.4	Rakenteiden kosteusmittaukset.....	49

4.4.5	Puhtauden hallinta työmaalla.....	51
4.4.6	Puhtaustarkastukset.....	53
4.5	Tiiviysmittaukset	55
4.6	Ilmanvaihdon säätö ja mittaus.....	56
5.	TUTKIMUKSEN TULOKSET	57
5.1	Terveen talon rakentamisen prosessi.....	57
5.2	Aliprosessit.....	58
6.	POHDINTA.....	65
6.1	Tulosten tarkastelu.....	65
6.2	Tutkimuksen tarkastelu.....	66
	LÄHTEET.....	67

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Kestävän kehityksen trendit sekä kansainväliset hiilidioksidipäästöjen ja energian kulutuksen pienentämisen tavoitteet ohjaavat rakentamista kuvan 1. mukaisesti lainsäädännön keinoin matalaenergiarakentamisen suuntaan. Uusien energiamääräystenmukaiset rakenneratkaisut ovat rakennusfysikaalisesti haastavia toteuttaa. Aiempaa paksummat rakennekerrokset kuivuvat aiempaa hitaammin. (RIL ry, 2011) Parempi energiatehokkuus edellyttää myös tehokkaampaa kosteusriskien hallintaa. (Seppälä, 2013.)



Kuva 1. Rakentamista ohjaava lainsäätö ja ohjeet (RIL ry, 2011.)

Muutoksesta johtuen rakennekosteuden kuivumiseen vaikuttaa korostetusti rakennusaikeisen kosteuden pääsyn estäminen rakenteisiin sekä rakennusaikainen ulkoilmasto. Myös rakennusten tiivydelle ja ilmanvaihdon toimivuudelle on asetettava tiukempia vaatimuksia rakenteiden terveellisyyden varmistamiseksi. Edellä mainitut seikat asetta-

vat luonnollisesti uudenlaisia vaatimuksia rakennusten suunnittelulle ja toteutukselle sekä niiden ohjaukselle ja valvonnalle. (RIL ry, 2011.)

Ilmastonmuutoksen vaikutusten tuottamat työmaiden kosteuden hallinnan ja terveiden talojen rakentamisen kannalta epäedulliset ilmasto-olosuhteet aiheuttavat myös omat haasteensa tulevaisuuden rakentamiselle. On arvioitu, että tällä vuosisadalla Suomessa lämpötila nousee, suhteellinen kosteus kasvaa, talvet ovat lauhempia, sateet, tuulet ja tulvat lisääntyvät ja veden pinta nousee. (RIL ry, 2011.)

Näihin riskeihin varautumiseen ja homevaurioiden estämiseen on esitetty systemaattisia menettelytapoja ja ratkaisuja. Tavoitteena on tuoda esille, miten kosteusongelmat ja -riskit hallitaan ja tunnistetaan hyvillä rakentamisen keinoilla ja laadunvarmistusmenetelmillä. Yhtenä tulevaisuuden tavoitteena on luoda rakennuksille selkeä ja kattava energiatodistusta vastaava kosteuslaatu luokitus, joka perustuu yleisesti hyväksyttäviin mittaamenetelmiin. Luokitus esitetään esimerkiksi RIL-250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen –ohjeessa. (Seppälä 2013.)

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on esittää yksi rakentamisen tulevaisuuden näkymät huomioiva toimiva terveen talon rakentamisen prosessi, jolla parannetaan työn tilaajan laaduntuotto- ja kilpailukykyä. (Kuva 2.) Tutkimuksessa selvitetään terveen talon rakentamisen keskeisiä kriteerejä ja niiden vaikutuksia rakennustuotannon ohjaukseen. Lisäksi kerätään tiedot terveen talon toteuttamisen kannalta oleellisista tuotantosunnitelmista ja dokumentoinnista sekä määritetään terveen talon toteutuksen toimivia käytäntöjä rakennuksen toteutusvaiheessa.



Kuva 2. Tutkimuksen tavoite.

Tutkimus käsittelee rakentamisen ajanjaksoa tuotannon suunnittelusta rakennuttajan vastaanottotarkastukseen. Tuloksia voidaan käyttää uudis- ja korjausrakentamisessa. Tutkimuksessa terve talo –rakentaminen käsitetään Rakennustieto Oy:n (2003 ja 2004)

Terveen talon toteutuksen kriteerit –ohjeiden mukaisena prosessina. Tämän lisäksi käsitellään myös muun muassa rakennuksen tiiviyyteen liittyviä tekijöitä. Tutkimuksessa ei käsitellä kosteusvaurioiden korjaamista eikä rakennuksen suunnittelua ja talotekniikan toteuttamista yksityiskohtaisella tasolla.

1.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus sisältää kirjallisuusselvityksen, joka käsittelee tutkimuksen rajausten puitteissa kirjallisuuden ja tutkimusten näkemyksiä terveen talon toteutukseen kannalta keskeisistä tekijöistä. Tutkimuksen toisena osana on tapaustutkimus, joka kuvaa yhden terveen talon toteutuksen kriteerien mukaisesti toteutetun työmaan toteutuksen.

Tutkimuksen tuloksina esitetään terveen talon toteuttamisen prosesseja ja niihin liittyvät tuotannon suunnitelmat ja dokumentointi.

2. TERVEEN TALON RAKENTAMINEN KIRJALLISUUSSELVITYS

2.1 Rakennusten sisäilmaongelmat ja kosteusvauriot

Sisäilmaongelmat aiheuttavat erilaisia terveyshaittoja tilojen käyttäjille. Työterveyslaitoksen mukaan sisäilmaongelmia voivat aiheuttaa esimerkiksi:

- puutteellinen ilmanvaihto
- uusista tai kosteista materiaaleista vapautuvat VOC-yhdisteet
- tupakansavu
- eristemateriaaleista peräisin olevat mineraalikuidut
- kosteusvaurioihin liittyvät mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet
- pöly, lika, ilman kuivuus ja työskentelyä haittaava lämpötila. (Työterveyslaitos, 2015.)

Suomessa rakentamisen ja kiinteistönpidon suurimpia laatuongelmia ovat olleet kosteus- ja homeongelmat. Niitä esiintyy useimmissa rakennustyypeissä. Hometta ja mikrobikasvustoja syntyy rakenteeseen, kun sen sisällä tai pinnassa on riittävästi kosteutta, lämpöä ja ravinteita riittävän kauan. Homeongelmat ovat kansantaloudellisesti merkittäviä erityisesti niiden aiheuttamien sairauksien ja työstä poissaolojen vuoksi. Useimpien yksittäisenä syynä on puutteellinen ilmanvaihto. Ongelmien taustasyinä ovat:

- hankkeen kokonaishallinnan puutteet
 - Tilaajat eivät kiinnitä kosteuden hallintaan ja valvontaan riittävästi huomiota.
- suunnitteluun ei panosteta ja suunnittelua ei arvosteta
 - Kosteuden hallinnan kannalta kriittiset kohdat voivat jäädä kokonaan suunnittelematta.
- rakentamisen sääsuojaus ja olosuhteidenhallinta on puutteellista
 - Materiaalit kastuvat, kosteusmittaukset ovat puutteellisia, rakenteiden kuivumisajat laiminlyödään yms.
- käytön ja ylläpidon puutteet
 - Rakennuksen huoltokirjaa ei noudateta. (RIL ry, 2011.)

Puhakka et al. (1996) mukaan yleisimpiä kosteusvaurioiden syitä ovat:

- riittämätön kuivatus rakennusaikana
- vesivuodot
- maakosteuden ja valumavesien pääsy rakenteisiin puutteellisesta salaojituksesta tai märästä tai kapillaarisesta alusmaasta johtuen
- puumateriaalien suora kosketus maahan tai betoniin
- puutteelliset kosteuseristykset ja saumat
- ryömintätilan, yläpohjan ja julkisivujen riittämätön tuuletus
- sisäilman vuotaminen viileisiin rakennusosiin
- puutteellinen ilmanvaihto suhteessa kosteusrasitukseen tai virheellinen ilmanvaihdon käyttö ja huolto
- liian pitkäksi aikaa kylmilleen jätetty lämmöneristetty rakennus
- kosteusvaurion puutteellinen korjaus tai korjauksen laiminlyönti. (Puhakka et al. 1996.)

Salmen ja Kemoffin (1996) mukaan rakenteisiin huolimattoman rakentamisen ja puutteellisen suunnittelun takia ajautuva maaperästä, sateista ja rakentamisesta peräisin oleva vesi on merkittävin kosteusvaurioiden aiheuttaja. Kosteusongelmien lisääntyminen johtuu myös rakennusten sisäisistä kosteuslähteistä. Näitä ovat esimerkiksi putki- ja laitevuodot, ilman kostuttaminen sekä runsas veden käyttö peseytymisessä, ruuanlaitossa ja siivouksessa. Rakennusten käytössä tapahtuneet muutokset ja lisääntyneet ja jälkikäteen tehdyt sauna- ja pesutilat lisäävät omalta osaltaan rakenteiden kosteusriskejä. (Salmen Kemoff, 1996.)

”Eräs merkittävä syy kosteus- ja homeongelmien syntymiseen ovat asenteet. Ongelman laajuutta ja merkitystä ei ole haluttu ymmärtää. Muutosvastarinta uusia laadukkaampia rakentamistapoja vastaan on suuri ja kosteudenhallinnan uudet ja toimivat menettelytavat ohitetaan toteamalla, että ”näin on aina ennenkin tehty ja niin tehdään nytkin”. Asennemuutoksen pitäisi lähteä erityisesti rakennuttajasta, jonka hankkeen tavoiteasetelussa tulisi asettaa kosteudenhallintaan liittyviä selkeitä laatumäärittäjä ja omilla keinoillaan huolehtia niiden toteuttamisesta.” (Seppälä, 2013.)

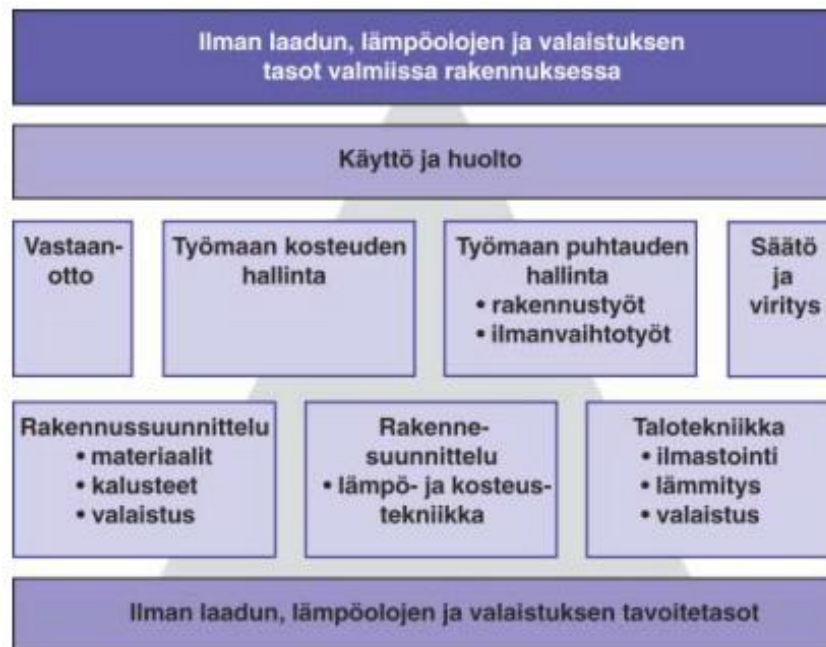
Teriö et al. (2013) mukaan näihin ongelmiin on olemassa toimivia ratkaisuja, mutta niiden käyttöön otto ja toteuttaminen edellyttää asennemuutosta kaikilta hankkeen osapuolilta.

2.2 Terve talo -rakentaminen ja sisäilmastoluokitukset

2.2.1 Terve talo

Hyvä tapa lähestyä laajahkoa terveen talon käsitettä on Rakennustieto Oy:n Terveen talon toteutuksen kriteerit ja ohjeet toimitilarakentamiselle (2003) ja asuntorakentamiselle (2004) –julkaisujen näkemys. Niiden mukaan terveessä talossa käyttäjät ovat tyytyväisiä olosuhteisiin, ja viihtyisyys, työssä jaksaminen ja tuottavuus ovat korkealla tasolla. Ohjeet täydentävät ja selkeyttävät terve talo -asioilla tulkintoja hyvästä rakennustavasta.

Terve talo -asioilla tarkoitetaan kaikkia kuvan 3. mukaisia kosteus- ja sisäilma-asioita, joilla on vaikutusta rakennuksen käyttäjien terveyteen, oireiluun, viihtyvyyteen ja tuottavuuteen. (Rakennustieto Oy, 2003.)



Kuva 3. Terveen talon peruspilarit (Rakennustieto Oy, 2003.)

Terve talo –ohjeet perustuvat Rakennustieto Oy:n (2001) julkaisuun Sisäilmastoluokitus 2000, jossa on määritelty sisäilmaston tavoitetasot. Ohjeet kuvaavat tärkeimmät suunnitteluun ja toteutukseen liittyvät vaatimukset, jotka toteuttamalla aikaansaadaan toimiva, terveellinen ja vaaditut sisäilmasto-olosuhteet täyttävä rakennus. (Rakennustieto Oy, 2003.)

2.2.2 Sisäilmastoluokitukset

Vuonna 2009 julkaistiin päivitetty sisäilmasto-ohje Sisäilmastoluokitus 2008. (Rakennustieto Oy 01/2009) Sisäilmastoluokitus on kolmitasoinen. Laatulokat ovat:

- S1: yksilöllinen sisäilmasto
 - Sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllilämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja valaistusolosuhteita on tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.
- S2: hyvä sisäilmasto
 - Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllilämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.
- S3: tyydyttävä sisäilmasto
 - Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset.



Kuva 4. Terveen talon tavoitetasot ja osakokonaisuuksien vaatimustasot (Rakennustieto Oy, 2003.)

Rakennushankkeessa tavoitteeksi asetettu sisäilmastoluokka määrittää muun muassa suunnitteluarvoja, rakennus- ja ilmanvaihtotöiden puhtausvaatimuksia ja materiaalien päästövaatimuksia kuvan 4. mukaisesti. Sisäilmastoluokitus on tarkoitettu rakennushankkeen tilaajan, rakennuttajan ja suunnittelijoiden sisäilmaston tavoitetasojen määrittämisen apuvälineeksi. Luokituksen tavoitearvot kuvaavat nykytiedon mukaan viranomaisvaatimuksia korkealaatuisempia terveellisyyden ja viihtyisyyden kannalta turvallisia sisäilmasto-olosuhteita. Toisaalta on huomattavaa, että tavoitearvoja pienemmätkin pitoisuudet voivat aiheuttaa oireita herkille ihmisille. (Rakennustieto Oy, 01/2009.)

2.2.3 Rakennusmateriaalien päästöluokat (M)

Rakennus- ja sisustusmateriaalien päästöluokat M1, M2 ja M3 esittävät vaatimukset materiaalien kemikaalipäästöille. M1-luokka on paras eli emissiot ovat pienimmät. Vaatimusten täyttämiseksi materiaaleista mitataan TVOC-, formaldehydi-, ammoniakki- ja karsinogeeniemissioita sekä hajuja. Laastit, tasoitteet ja siloitteet eivät saa sisältää kaseiinia luokissa M1 ja M2. Myös ilmanvaihtotuotteille on oma puhtausluokituksensa. (Rakennustieto Oy, 01/2009.)

Järnströmin ja Saarelan (2005) tutkimuksen mukaan uusissa rakennuksissa ei luovutusvaiheessa saavuteta Sisäilmaluokituksen määrittämiä TVOC- ja ammoniakkipäästöjen tavoitearvoja. Mitatuissa kohteissa on noudatettu hyvää rakennustapaa ja kosteuden hallintaa. Rakennusmateriaaleina käytettiin M1-luokan tuotteita. TVOC-pitoisuus saavutti sisäilmastoluokkien tason keskimäärin puolen vuoden aikana asunnon käyttöönotosta ammoniakkipitoisuuksien vaihdellessa eri vuodenaikojen ulkoisten olosuhteiden mukaan. Tutkimustuloksissa korostui ilmanvaihdon toimivuus hyvän sisäilmaston saavuttamisessa. Järnströmin (2005) mukaan M1-luokan tuotteita käyttämällä kemiallisten yhdisteiden vuoksi tehdyssä sisäilmakorjauksessa saavutetaan tavoitearvojen mukaiset päästöarvot ja oireilun vähentyminen.

Merikallio et. al. (2007) mukaan se, että lattiamateriaali on vähäpäästöinen ei takaa sitä, etteikö lattiamateriaalista emittoituisi haitallisia yhdisteitä. Betonin alkalinen kosteus voi aiheuttaa päällystemateriaalin kemiallista hajoamista. Betonin emissioiden ja suhteellisen kosteuden välillä on selkeä korrelaatio. Suhteellisen kosteuden kasvaessa myös emissioiden määrä kasvaa. Betonin suhteellisen kosteuden ollessa alle 85 % ja käytössä matala-alkalisia tasoitteita, on lattiamateriaalin turmeltumisen ja liiallisten emissioiden synty epätodennäköistä.

2.2.4 Rakennustöiden ja ilmanvaihdon puhtausluokitus (P)

Rakennustöiden puhtautta tavanomaisissa työ- ja asuinrakennuksissa kuvataan puhtausluokilla P1 ja P2. Erityistiloille määritetään omat vaatimukset. Puhtausluokitusten tavoitteena on varmistaa, että tilat ovat rakennuksen vastaanottovaiheessa puhtaat ja ettei rakennusaikaista pölyä ja epäpuhtauksia kulkeudu sisäilmaan rakennuksen käytön aikana. (Rakennustieto Oy, 01/2009.)

P2-luokka vastaa normaalia hyvää rakennustapaa. P1-luokkaa käytetään rakennustöissä, kun sisäilmastoluokaksi on valittu luokka S1 tai S2 ja ilmanvaihdon asennustöissä, kun luokkana on S1. Erilaisille tiloille voidaan valita omat puhtausluokkansa. Luokassa S2 suunnittelija voi valita ilmanvaihdon puhtausluokaksi P1 tai P2. Ilmanvaihdon puhtausluokitus asettaa vaatimuksia käytettäville järjestelmäosille, asennustavalle, järjestelmän tiiviydelle ja sallitulle pölykertymälle. (Rakennustieto Oy, 01/2009.)

Sisäilmastoluokan ollessa S1 tai S2 puhtausluokka P1 tulee saavuttaa:

- ennen ilmanvaihdon toimintakokeita ilmanvaihtokoneen palvelualueella
- ennen rakennuksen vastaanottoa
- ennen lohkon ilmanvaihdon asennustöiden aloittamista ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokituksen ollessa P1. (Rakennustieto Oy, 01/2009.)

Rakennustöiden puhtautta arvioidaan silmämääräisesti lattia-, seinä-, kaluste- ja kattopinnoista sekä alakaton yläpuolisista tiloista. Tarvittaessa pintojen pölyn määrää voidaan mitata geeliteippimenetelmällä. Tarkastus tulisi suorittaa aikaisintaan kaksi tuntia siivouksen päättymisestä, jotta ilmassa oleva pöly ehtii laskeutua. P1-puhtausluokan sallitut pölykertymät on esitetty taulukossa 1. (Rakennustieto Oy, 01/2009.)

Taulukko 1. Sallitut pölykertymät P1-puhtausluokassa. (Rakennustieto Oy, 01/2009.)

Tarkastusajan-kohta	Arvioitavat pinnat	Pölykertymä %
Ennen ilmanvaihdon toimintakokeita	<ul style="list-style-type: none"> • Alakaton yläpuoli • Pinnat yli 180 cm korkeudella • Pinnat alle 180 cm korkeudella (pl. lattiapinnat) 	5,0
Ennen rakennuksen luovutusta	<ul style="list-style-type: none"> • Pinnat yli 180 cm korkeudella • Pinnat alle 180 cm korkeudella 	1,0
	<ul style="list-style-type: none"> • Lattiapinnat 	3,0

Terveen talon toteutuksen kriteerien (Rakennustieto Oy, 2003) mukaan P1-puhtausluokan käytännön toteutuksessa huomioitavia asioita ovat erityisesti:

- rakennusmateriaalit tulee suojata lialta ja kosteudelta riittävän pitkään
- tilan ilmanvaihdon ja jäähdytyksen päätelaitteiden on oltava suojattuina siihen asti, kunnes tila on saavuttanut toimintakoevalmiuden
- P1-puhtausluokkaan tarkastuksessa hyväksytyt lohkot on erotettu likaisista tiloista osastoimalla ja tarvittaessa ali- tai ylipaineistusta käyttäen
- P1-puhtausluokan saavuttaneet tilat on merkittävä selkeästi ja niiden kautta läpikulku on rajoitettua
- P1-luokassa tilojen siivous tulee suorittaa keskuspölynimuria tai hienopölysuodattimella varustettua imuria käyttäen. Suodattimien vaihdossa on noudatettava valmistajien ohjeita
- alakattotilojen loppusiivous tehdään aikaistettuna P1-siivouksena ennen alakattojen sulkemista
- mikäli puhtausluokan P1 saavuttaneessa tilassa joudutaan tekemään pölyviä töitä, on käytettävä kohdepoistolla varustettuja työvälineitä
- pääurakoitsijan on laadittava valittujen puhtausluokkien asettamat vaatimukset täyttävä rakennus- ja ilmanvaihtoasennustöiden puhtaus suunnitelma
- terve talo –rakentamisesta ja puhtausluokasta P1 on tarvittaessa annettava koulutusta työnjohdolle ja työntekijöille.

Paitsi että P1-puhtausluokka voi osaltaan mahdollistaa sisäilmaongelmien välttämiseen, Timo Korven (2011) ja Hermannin Rintakosken (2012) P1-puhtausluokasta tekemien opinnäytetöiden tulokset osoittavat sillä saavutettavan myös tuotannollista hyötyä. Molempien tuloksena on, että P1-luokkaa noudattavassa rakentamisessa rakennustöiden tuottavuus ja turvallisuus paranee ja työntekijöiden pölylle altistuminen vähenee oleellisesti. Systemaattisella puhtauden hallinnalla rakennusyritys voi saada myös maineen parantumisen johdosta taloudellista hyötyä. Molemmat arvioivat saavutettavat hyödyt ja säästöt selvästi aiheutuvia kustannuksia suuremmiksi erityisesti työturvallisuuden näkökulmasta.

Risto-Matti Oinonen (2013) osoittaa omassa opinnäytetyössään harjasiivouksen olevan sopimaton rakennussiivouksen menetelmä P1-puhtausluokan kohteissa. Harjasiivous nostaa pölyä hengitysilmaan, jolloin tasoite- ja betonipölyn määrä ylittää reilusti turvallisen työskentelyilman raja-arvon (5 mg/m^3). Pölyn poistoon imuripuhdistus on oikea menetelmä, kun suodattimien riittävästä vaihtamisesta huolehditaan.

2.3 Kosteuden hallinta terveen talon rakentamisessa

Rakennushankkeessa kosteuden hallintaprosessi on jatkuva ja tietoa kumuloiva laadun hallintaprosessi. Kosteuden hallinnan pitäisi alkaa jo alueen kaavoitusvaiheessa. Prosessissa vaikutetaan hankkeen kosteustekniseen suunnitteluun ja rakentamisvaiheen kosteusrasitusten hallintaan. Hyvän ja vaatimusten mukaisen rakennuksen aikaansaamiseksi kosteuden hallinnan tulee olla luonnollinen osa tuotannon suunnittelua ja toteutusta. (RIL ry, 2011) RIL:n vuoden 2014 rakennusalan diplomi-insinööri TkL Pekka Seppälä toteaa, että kosteuden hallinta ymmärretään usein pelkästään työmaan sääsuojauksena. Toimivan ja terveen rakennuksen aikaan saamiseksi on tärkeää ymmärtää, että kosteuden hallinta koskee koko rakentamisprosessia. (Seppälä 2013) Taulukosta 2. käyvät ilmi kosteuden hallinnan keskeiset toimenpiteet rakennushankkeessa.

RIL-250 mukaan kosteuden hallinnan tavoitteina ovat erityisesti:

- rakennusmateriaalien ja -osien kastumisen estäminen
- rakenteiden riittävän kuivumisen varmistaminen ilman aikatauluviiveitä
- kuivatustarpeen vähentäminen. (RIL ry, 2011.)

Sisäilmayhdistys lisää edellä mainittuun listaan myös materiaalihukan vähentämisen ja ennen kaikkea kosteusvaurioiden syntymisen ehkäisemisen. Työmaan kosteuden hallinnalla varmistetaan rakennuksen käyttäjille terveellinen ja turvallinen ympäristö sekä saadaan rakentamiskustannuksissa säästöjä. (Sisäilmayhdistys, 2015)

Rakennusmääräyskokoelman osassa C2 todetaan kosteudenhallinnasta: ”*Rakennusaineet ja –tarvikkeet sekä rakennusosat on suojattava haitalliselta kastumiselta kuljetusten, varastoinnin ja rakentamisen aikana. Kosteiden rakenteiden ja rakennuskosteuden on annettava kuivua tai rakenteita on kuivatettava riittävästi, ennen kuin ne peitetään kuivumista hidastavalla aine kerroksella tai pinnoitteella.*” (Ympäristöministeriö, 1998)

FRAME –loppuraportissa työmaan rakennusaikaista kosteuden hallintaa käsittelevässä osiossa Olli Teriön, Anssi Koskenvesan ja Tuomas Palolahden (2013) mukaan kosteuden hallinnasta tulisi työmailla pikemminkin siirtyä kuivana pitoon. Kuivassa rakentamisessa rakennusosat ja –materiaalit pidetään kosteudelta suojattuina tehtaalta rakennuksen lopullisen vesikatton ja vaipan valmistumiseen saakka. Kuivaa rakentamista tulisi käyttää ainakin puu- ja korjausrakentamisessa, sisävalmistusvaiheessa ja eristeasennuksissa. Rakenteet pidetään olosuhteissa, joissa lämpötila on yli +15 °C ja ilman suhteellinen kosteus maksimissaan 70 % ja tavoitearvona on 50 %. Kuivana pidon toteutukseen on nimettävä vastaavat työnjohtajat rakennusvaiheittain. Seppälä esittää ratkaisuksi elintarvikkeiden kylmäketjulle analogista rakentamisen kuivaketjua. Sen toteuttaminen vaatii alalla yhteistyötä ja asenne muutosta (Seppälä, 2013).

Taulukko 2. Rakentamisen kosteuden hallinnan ja kuivana pidon keskeiset toimenpiteet hankkeen erivaiheissa (Teriö et al. 2013.)

Hankkeen vaihe	Hankesuunnittelu	Suunnittelu	Työvaihe-suunnittelu	Viikkosuunnittelu, rakentaminen
Toimenpide	<p>Päätös vaaditusta kosteuden hallinnan laatutasosta</p> <p>Budjettivaraus toteutukselle</p> <p>Rakentamisen aikataulu</p>	<p>Rakenteiden rakentamis- ja käytönaikaisen toimivuuden suunnittelu</p> <p>Kosteudenhallinnan ohjeet suunnitelmiin</p> <p>Riskien arviointi</p> <p>Kosteustekninen suunnitelmien tarkastus ulkopuolisella asiantuntijalla</p>	<p>Kosteuden hallinnan suunnittelu osana koko työmaan toteutus-suunnittelua</p> <p>Tehtävä-suunnitelmat Yleisaikataulu</p>	<p>Kuivanapidon toteutus, tarkastukset ja huolto</p> <p>Kuivanapidon käsittely kokouksissa ja palavereissa</p> <p>Olosuhteiden seuranta</p>
Tekijä	Rakennushankkeeseen ryhtyvä, rakennuttaja	Suunnittelijat, päärakennesuunnittelija koordinoi	Päätöteuttaja, päärakennesuunnittelija avustaa	Päätöteuttaja ja urakoitsijat

Rakentamisen aikainen ja sen jälkeinen rakennuskosteus voi olla merkittävin rakenteiden kosteusrasitus. Rakentamisvaiheen kosteuden hallintaan voidaan vaikuttaa muun muassa järkevillä rakennesuunnittelun ja tuotannon ratkaisuilla ja suojaustoimenpiteillä, toisin sanoen riskejä pienentämällä ja poistamalla huomioimalla erilaiset kosteuslähteet. (RIL ry, 2011.)

Kosteuden hallinnan toteutuksen pääkeinoja ovat:

- kosteusriskien kartoitus
- tavoitekosteuksien määrittäminen
- rakenteiden kuivumisaika-arviot
- olosuhteiden hallinnan ja suojausten toteutus
- kosteus- ja tiiviysmittausuunnitelma
- kosteuden hallinnan organisointi, seuranta, raportointi ja valvonta. (RIL ry, 2011.)

Olli-Pekka Toivarin (2011) diplomityön tulokset osoittavat, että rakentamisen kosteuden hallinnan laiminlyöntiin sisältyy taloudellisia riskejä. Toisaalta liian järeillä kosteuden hallinnan keinoilla voidaan aiheuttaa turhia kustannuksia. Tästä johtuen riskien hallinnan osaaminen korostuu kosteuden hallinnan suunnittelussa. Toivarin tulosten perusteella on kuitenkin ilmeistä, että erityisesti syksyllä sääsuojaukseen ja lämmitykseen panostaminen on kannattavaa. Säästöjä voidaan saavuttaa kuivumisaikojen lyhentymisestä sekä laadun, työtehon ja turvallisuuden parantumisesta. Laadun parantamisella voidaan esimerkiksi takuutyökustannusten pienemisen lisäksi saavuttaa myös imagon

parantumista, mikä osaltaan voidaan lukea merkittäväksi taloudelliseksi tekijäksi. Myös Teriö (2003) esittää vastaavanlaisia tuloksia ja toteaa, että kosteuden aiheuttamien muodon muutosten vähentyessä esimerkiksi ikkunoiden säätötarve vähentyy ja laatoitusten kiinnipysyminen paranee.

Johanna Lahtisen (2012) mukaan työmailla on vielä paljon haasteita kosteuden hallinnan toteutuksessa. Syynä tähän on osittain tietotaidon puute, osittain se että suunnittelijat suunnittelevat rakenteita, joiden rakennusaikainen kosteuden hallinta on liki mahdotonta. Tutkimuksessaan Lahtinen pohtii, että kosteuden hallinnan kehitys tulee tulevaisuudessa vastaamaan viime vuosien työturvallisuuden kehittymistä.

Kosteusteknisesti hallittu rakentamisen prosessi edellyttää osapuolten yhteistyötä ja turvallisten rakenteiden ja suojausmenetelmien kehittämistä. Rakennushankkeet ovat aina yksilöitä eikä kosteuden hallintaan ole yhtä toimivaa ratkaisumallia. Kosteuden hallinnan hankekohtaiset vaatimukset, tarpeet ja keinot vaihtelevat rakentamisen ajoituksen, rakennusvaiheen ja rakenteiden mukaan. (Teriö et. al. 2013)

2.3.1 Kosteuden hallintasuunnitelma rakennusvaiheessa

Kosteuden hallinnan toteutuksessa tärkeänä työkaluna on työmaan kosteuden hallintasuunnitelma. Suunnitelma pohjautuu hankkeen alkuvaiheessa asetettuihin kosteudenhallinnan tavoitteisiin, jotka toteutetaan hankkeen suunnittelussa ja toteutuksessa. Suunnitteluvaiheessa kosteuden hallintasuunnitelmaa täydennetään muun muassa alustavilla rakenteiden kuivatussuunnitelmilla työmaan olosuhdevaatimuksilla. (RIL ry, 2011) Uudemmissa julkaisuissa kosteudenhallintasuunnitelmaa nimitetään myös kuivanapito-suunnitelmaksi. (esimerkiksi Teriö et. al. 2013, Rakennustieto Oy, 2013.)

Rakentamisvaiheessa suunnitteluvaiheen kosteuden hallintasuunnitelma päivitetään käytettävien työtapojen mukaiseksi kosteuden hallinnan tavoitteista tinkimättä. Suunnitelman toteuttaminen vaatii pääurakoitsijalta selkeää vastuunjakoa ja organisointia kosteuden hallintaan liittyen. Kosteuden hallintasuunnitelman laadintaa vaaditaan myös Rakennustieto Oy:n Terveen talon toteutuksen kriteerit -ohjeissa. Työmaan kosteusriskien arviointia ja suunnitelman täydentämistä varten lähtötiedoiksi kirjataan hankkeen yleistiedot sisältäen työmaan kosteuden hallinnasta vastaavat osapuolet sekä tilaajan että suunnittelijoiden määrittämät kosteuden hallinnan laatutavoitteet. (RIL ry, 2011.)

Eri lähteistä löytyvät kosteuden hallintasuunnitelmien rungot ovat sisällöltään hyvin samankaltaisia, sillä ne perustuvat muiden systemaattisten kosteuden hallinnan keinojen tavoin Oulun rakennusvalvonnan vuonna 2001 kehittämään työmaan kosteuden hallinnan mallirunkoon. (Seppälä 2013) Sisäilmastoluokitus 2008 –julkaisuun (Rakennustieto Oy, 01/2009) koostetussa luettelossa esitetään, että työmaan kosteuden hallinnassa tulee suunnitella muun muassa seuraavat asiat:

- kosteusriskien kartoitus
- kuivumisaika-arviot
- lämmitys, kuivatus, suojaus ja osastointisuunnitelma
- varasuunnitelma aikataulussa pysymiseksi
- materiaalien ja tarvikkeiden käsittely
- kastumisen estäminen (runkovaiheessa)
- kuivumisolosuhteiden järjestäminen
- kosteuden hallinnan organisointi
- kosteuden mittaussuunnitelma
- päällystämisperusteet
- dokumentointi
- tiedotus ja valvonta.

Edellä mainittujen lisäksi esimerkiksi RIL-250-2011 –ohjeen mukaan kosteudenhallintasuunnitelmaan sisällytetään myös:

- erityisohjeita märkätilojen ja muiden vesieristettävien rakenteiden toteuttamiseen ja materiaalivalintoihin
- tiiviysmittaussuunnitelma.

Teriö et al. (2013) mukaan erillistä kosteuden hallintasuunnitelmaa ei välttämättä tarvita, vaan urakoitsijan noudattaessa sopimuksia ja suunnittelijoiden ohjeita tämä suunnittelee kosteuden hallinnan osana koko työmaan tuotannon suunnittelua.

2.3.2 Kosteusriskien hallinta

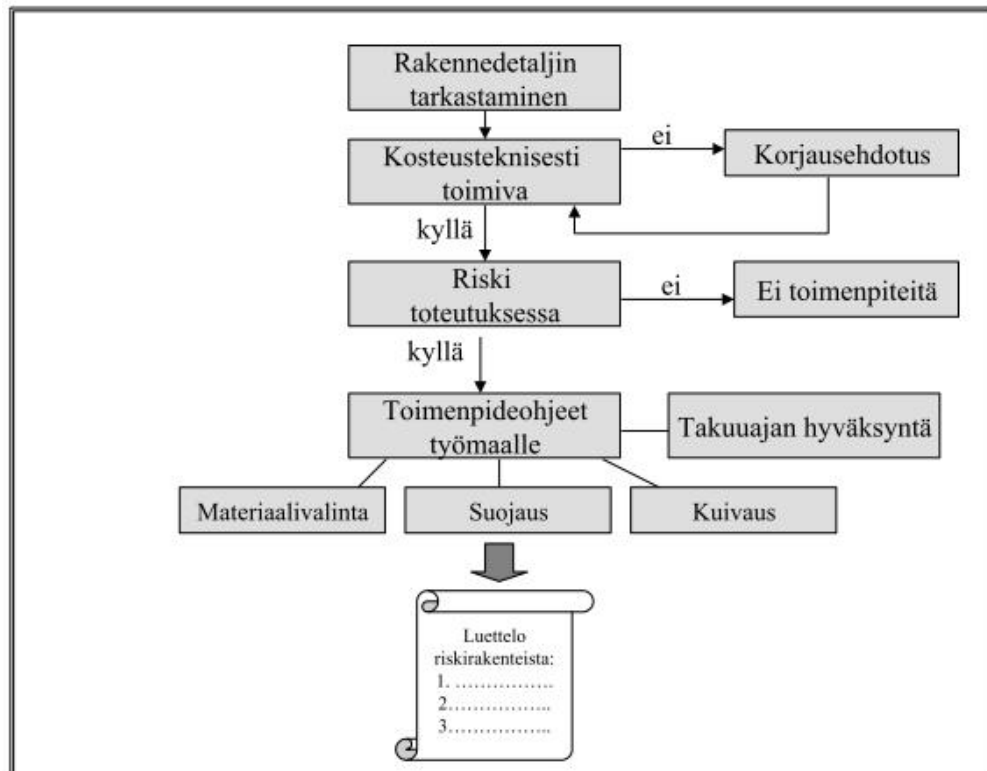
Riskien hallinta on prosessi, jonka kautta tunnistetaan ja arvioidaan riskejä sekä valitaan ja toteutetaan niiden seurauksia vähentäviä toimenpiteitä. Riskiä määritettäessä on arvioitava epätoivotun seuraamuksen haitallisuutta ja todennäköisyyttä. Riskien hallinnan toimenpiteinä ovat riskin kantaminen, rajoittaminen, poistaminen tai siirtäminen. (Kuusela & Ollikainen, 2005.)

Teriön et al. (2013) mukaan rakennustyömaalla erityisen huomion arvoisia kosteusriskejä ovat:

- rakenteiden ja materiaalien kastuminen vesisateen tai lumen takia
- suojausten puutteellisuus, rikkoutuminen tai unohtuminen
- putkivuodot, laiterikot ja työvirheet LVI-asennuksissa
- työvirheet vesikaton läpimenoissa ja jiirien ja vesieristeiden ylösnostoissa
- maanalaisten rakenteiden vesieristykset ja perus- ja valumavesien rasitukset rakenteille
- vesieristysten tai pinnoitusten teko epäpuhtaille tai kosteille alustoille

- suunnitteluratkaisut, jotka eivät ota huomioon rakennusaikaisia ja käytön aikaisia kosteusrasituksia.

Rakentamisessa riskien arvioinnin laadintatapa ja laajuus valitaan kohteen laajuuden ja vaativuuden mukaan. Suunnitteluvaiheessa kohteelle voidaan määrittää sen kosteusteknisen vaativuuden perusteella kosteusriskiluokka asteikolla 1-3. Kosteusriskiluokkaan vaikuttavat muun muassa kohteen koko, olosuhteet ja rakenteiden haastavuus. Luokassa 1 kosteusriskien hallintaan riittää normaali kokemukseen perustuva riskien arviointi ja niiden mukaisten suunnittelun, rakentamisen ja valvonnan toimenpiteiden määrittely. Vaativammissa hankkeissa noudatetaan tehostettua kosteuden hallinnan menettelyä ja syvällisempää riskien hallintaa esimerkiksi teknisten ratkaisujen tarkemmalla suunnittelulla (kuva 5.) ja käyttämällä ulkopuolista suunnitelmien ja rakennusosien laadun tarkastusta sekä tehostettua tiedon kulkua. (RIL ry, 2011)



Kuva 5. Rakennedetaljin tarkastaminen osana kosteusriskien hallintaa. (RIL ry, 2011.)

Rakennusvalvontaviranomaiset voivat vaatia kosteusriskien hallinnan osoittamista rakennuslupaehdoissa. Esimerkiksi Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto (2014) edellyttää rakennuslupahakemuksen liitteeksi selvitystä työmaan kosteuden hallinnan tavoitteista, laadun varmistuksesta, sääsuojauksen suunnittelusta ja toteutuksesta, kuivumisen ja kuivatuksen sekä kuivumisen todentamisen toteuttamisesta. Kohteissa, joissa on erityinen riski sille, että terveellisyyden vaatimuksia ei saavuteta, voidaan edellyttää erityismenettelyjä, kuten tarkennettua riskien hallintaa tai kosteusvastaavan asettamista sekä viranomaisten laadunvalvontaa. Kosteusvastaavan tehtävä on varmistaa suo-

jausten ja kuivumisen suunnitelmien mukainen toteutuminen. Erityismenettelyn piirissä oleviksi kohteiksi Helsingin rakennusvalvontavirasto lukee kaikki uudisrakennukset, joissa asutaan tai työskennellään pysyvästi. Suojaamisen ja kuivumisen hallinnan tasosta riippuen erityismenettelyä ja kosteusvastaavaa voidaan edellyttää myös korjauskoh-teissa. (Helsingin kaupunki, 2014.)

Rakennustyömaiden kosteusriskit on arvioitava tapauskohtaisesti ja merkittävimmät riskit on hallittava hankkeen toimijoiden yhteistyöllä. Työmaalle on toimitettava ja vaadittava riittävän yksityiskohtaiset toteutussuunnitelmat. Myös muutossuunnitelmia laadittaessa muutosten vaikutus kosteusasioihin on huomioitava. Kosteusteknisesti kriittisissä töissä työn suorittajien ammattitaito on varmistettava. Riskien haltuunotto vaatii työmaaorganisaatiolta selkää vastuunjakoa ja kokonaisuuden ymmärtämistä. (Teriö et al. 2013.)

2.4 Sopimukset terveen talon rakentamisessa

2.4.1 Urakkaohjelma ja urakkarajaliite

Terveen talon toteutuksen kriteerit –ohjeen mukaan urakkaohjelmaan sisällytetään valitut sisäilmasto- ja puhtausluokat ja velvoitetaan pääurakoitsija laatimaan kosteudenhallinta suunnitelma ja P1-puhtausluokan kohteissa myös puhtauden hallintasuunnitelma. Urakkaohjelmassa pääurakoitsijalta vaaditaan myös laatusuunnitelman ja laadunvarmistusmenettelyjen esittäminen erikseen määritellyistä työvaiheista. Pääurakoitsijalle esitetään myös sanktiot velvoitteiden laiminlyönnistä ja annetaan vaatimuksia aikataulun nimikkeistölle ja välitavoitteiden saavuttamiselle. Ohjeessa todetaan: ”*Urakoitsijoille on syytä korostaa, että välitavoite ”toimintakoevalmis saavutettu” tarkoittaa P1-puhtausluokan kohteissa, että tilat ovat siihen mennessä pitkälti valmiita ja asianmukaisesti siivottu.*” (Rakennustieto Oy, 2003.)

Urakkarajaliitteessä kuvataan vastuut ja vaatimukset, jotka liittyvät rakenteiden suojaamiseen haitallisilta sääolosuhteiden vaikutuksilta sekä P1-puhtausluokasta aiheutuvista työmaajärjestelyistä. Valituista tavoitetasoista aiheutuvat työmaajärjestelyt, laatusuunnitelmat ja vastaanottomenettelyt kirjoitetaan auki urakkarajaliitteeseen. Urakkarajaliitteessä mainitaan, kenen tehtävänä on huolehtia aikataulukysymyksistä esimerkiksi rakenteiden kuivumisesta, talotekniikan toimintakokeista ja säädöistä ja niitä ennen saavutettavasta puhtauden tasosta. (Rakennustieto Oy, 2003.)

2.4.2 Hankintasopimukset

Terveen talon toteuttamisen ja erityisesti työmaan kosteuden hallinnan onnistumisen kannalta on tärkeää, että urakoitsijat ja tuoteosien toimittajat saadaan sitoutettua noudattamaan hankkeen kosteuden hallinnan pelisääntöjä. Tämän varmistamiseksi voidaan käyttää sopimusteknisiä keinoja eli sisällytetään kosteudenhallinta osaksi hankinta-asiakirjoja. (RIL ry, 2011)

Teriö et. al. (2013) toteavat, että kuivanapidon ja kosteuden hallinnan kannalta aliurakoiden valvonta ja ohjaaminen on mahdotonta, mikäli asioiden kirjaaminen laiminlyödään hankinnoissa. Kuivanapitoon ja kosteuden hallintaan liittyvät asiat tulee muun tuotannon suunnittelun ohella huomioida siis myös aliurakkasopimuksissa, kuljetuksissa ja työkaupoissa.

Urakkaohjelman ja urakkarajaliitteen sisältämät sisäilmasto- ja puhtausluokat, vaatimukset suojaustoimenpiteille ja kosteuden hallinnalle sekä laadunvarmistusmenettelyille tulisi sisällyttää edelleen hankintasopimukseen. Materiaalien ja esimerkiksi kalusteiden hankinnassa tulee huomioida sisäilmastoluokan edellyttämät emissiorajat. (Rakennustieto Oy, 2003.)

Rakennustuotannon kosteuden hallinnan laatuhyöpyyn saavuttamisen edellytyksenä on uudenlaisien sopimuksien tekeminen ja niistä kiinni pitäminen. Myös uusia kuivan rakentamisen keinoja on etsittävä yhteistyössä osapuolten kesken. (Teriö et. al. 2013.)

2.5 Aikataulu ja ajoitus terveen talon rakentamisessa

Yksi terveen talon keskeisimpiä edellytyksiä on toimiva, realistinen ja hankkeen tavoitteet huomioonottava aikataulu. Työvaiheiden on noudatettava kosteuden ja puhtauden hallintasuunnitelmien tavoitteita työvaiheiden keston, järjestyksen ja päällekkäisyyksien osalta. Tästä johtuen aikataulun on oltava riittävän yksityiskohtainen tahdistavien työvaiheiden, urakkaohjelman tavoitteiden ja terveen talon kriteereiden osalta. Aikataulusa esitetään myös oleelliset terveen talon toteutuksen ajankohdat kuten:

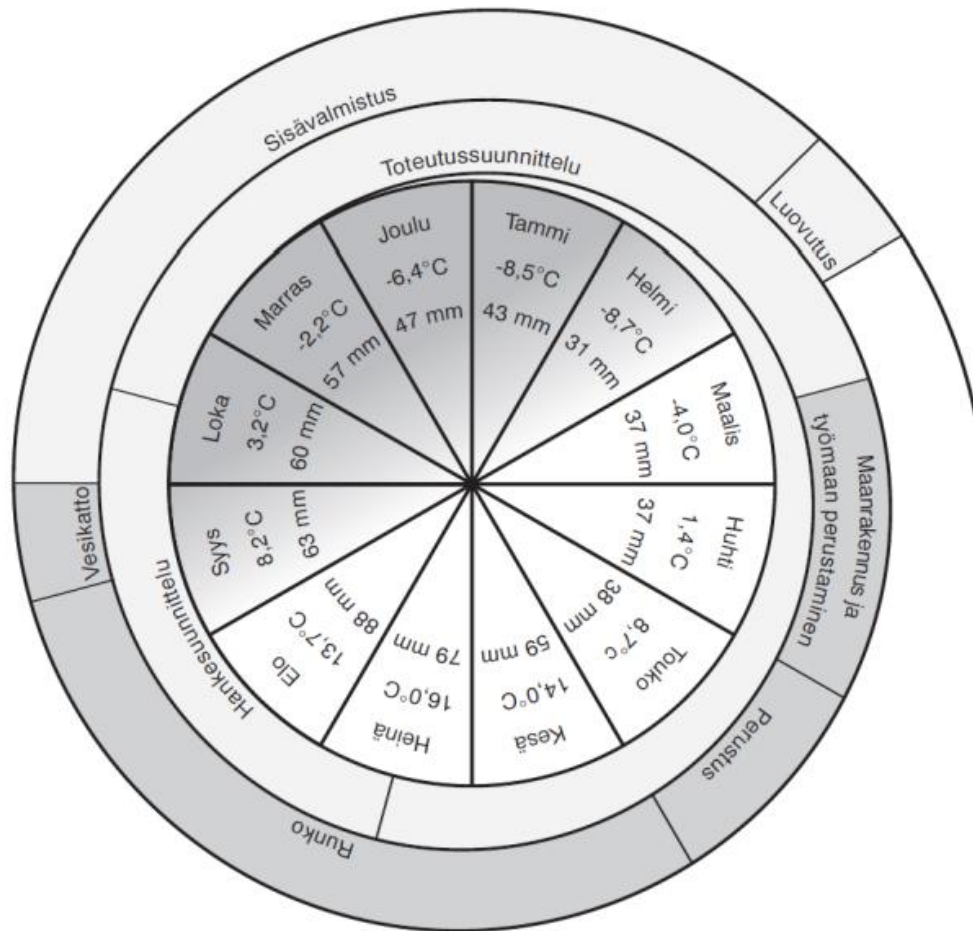
- rakennuksen vaipan vedenpitävyyden saavuttaminen
- lämmityksen aloittaminen
- kuivatuksen kesto lohkoittain
- P1-puhtaustason saavuttaminen lohkoittain
- ilmanvaihdon asennustyöt kerroksittain tai palvelualuekohtaisesti
- talotekniikan mittauksille ja säädöille varataan riittävästi aikaa. (Rakennustieto Oy 2003.)

Puhtausluokan P1 kohteessa aikataulussa huomioitavia asioita ovat muun muassa:

- ilmanvaihtosasennuksia ei voida tehdä yhtä aikaa samassa tilassa pölyävien työvaiheiden kanssa
- pölyävät työt on tehtävä ennen P1-puhtaustason saavuttamista
- toimintakokeiden ja säätöjen on oltava tehtynä ennen kohteen luovutusta, mutta ne voidaan tehdä vasta, kun P1-puhtaustaso on saavutettu palvelualueittain
- jos kanavat joudutaan puhdistamaan työmaalla, saa puhdistuksen tehdä vasta kun P1-puhtaustaso on saavutettu. (Rakennustieto Oy 2003.)

Aikatauluissa on otettava huomioon eri rakenteiden vaatimat säävaraukset sekä suojaus-toimenpiteisiin kuluva aika. Työjärjestyksen suunnittelussa kosteuden hallinta huomioidaan tekemällä kosteudelle herkät työvaiheet vasta, kun rakennuksen vaippa on ummistettu. (Rakennustieto Oy, 2013) Työvaiheiden ajoitusta ja rakenteiden kuivumista on laadusta tinkimättä mahdollista nopeuttaa esimerkiksi ”tiivis holvi”-periaatteella ja sääsuojilla. (Teriö, 2003.)

Rakentamisen ajoituksella on suuri merkitys erityisesti rakennusaikaisiin kosteusrasitukseen ja sitä kautta terveen talon toteutukseen. (Kuva 6.) Kastumisen vähentämiseksi hankkeen perustus- ja runkovaihe olisi mahdollisuuksien rajoissa edullisinta sijoittaa kuivaan vuodenaikaan. Koska kosteudelle alttiita työvaiheita ei voida suorittaa ennen kuin olosuhteet ovat suunnitelmien mukaiset, on aikataulun viivästyessä työvaiheiden aloitusta siirrettävä, jotta haluttu laatutaso voidaan saavuttaa. (Teriö et al. 2013.)



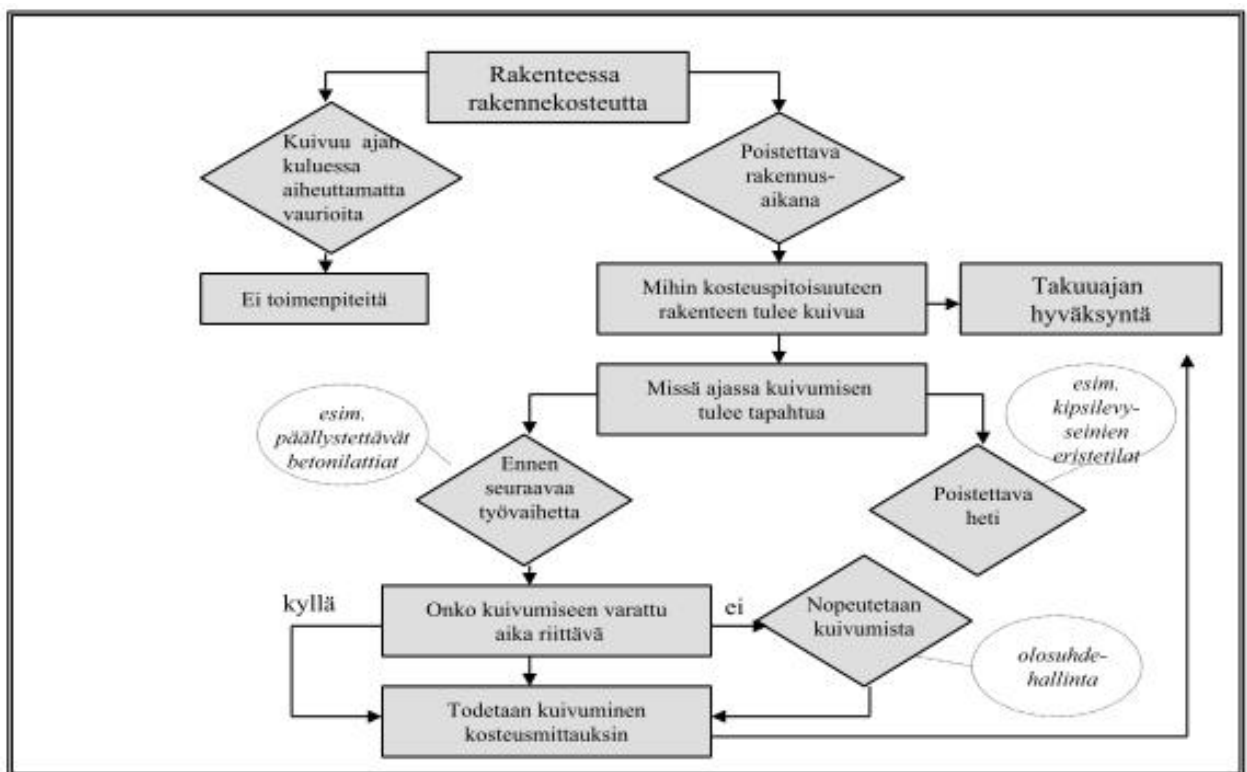
Kuva 6. Rakennushankkeen vaiheiden edullisimmat vuodenajat. (Rakennustieto Oy, 2013.)

Myös hankkeen suunnittelu-aikataulu tulisi suunnitella tätä silmällä pitäen, jotta rakentamisen epäedullisempaan vuodenaikaan siirtymisen aiheuttamat vaikutukset aikatauluun ja kustannuksiin voitaisiin välttää. Mikäli näin ei pystytä tekemään, on aikataulusuunnittelussa otettava huomioon säävaraukset ja suojaustoimenpiteet sekä vaikutukset kuivumisaikoihin. Kuivattaminen ja suojaaminen aiheuttavat luonnollisesti myös lisäkustannuksia projektille. (Teriö et al. 2013)

Matti Vilpon (2012) opinnäytetyön haastattelututkimuksen tulosten perusteella liian nopeat rakennusaikaodotukset ja epäedullisiin vuodenaikoihin sijoitetut rakennusvaiheet ovat suurimpia syitä rakentamisen kosteuden hallinnan ongelmiin. Myös RIL-250-2011 -ohjeen mukaan kuivumisaikojen laiminlyönnillä joudutaan väistämättä ongelmiin.

2.6 Rakenteiden kuivuminen

Suuri osa rakenteista sisältää ylimääräistä, niin sanottua rakennuskosteutta. Rakenteisiin rakennuskosteutta tulee rakennusmateriaalien valmistamisesta, rakennusaikaisista saasteista ja työmaan veden käytöstä. Osassa rakenteista kosteuden poistuminen voi olla liian hidasta suhteessa materiaalin kosteudensietokykyyn, jolloin materiaali vaurioituu. Kosteudelle herkällä materiaalilla pinnoitettavien rakenteiden, on annettava kuivua riittävästi ennen, kun seuraavaan työvaiheeseen voidaan ryhtyä. (Kuva 7.) Erityisesti lattiapinnoitteet edellyttävät alustan kuivumista kriittisen suhteellisen kosteuden alapuolelle. Ensisijaisesti tulee noudattaa päällystemateriaalien valmistajien antamia ohjeita. (Seppälä, 2013.)



Kuva 7. Rakennuskosteuden kuivumisajan ja kuivatustarpeen arviointi (RIL ry, 2011.)

Useimmissa rakennuskohteissa betonin kuivuminen tahdistaa sisävalmistusvaihetta ja siten myös hankkeen valmistumista. Aikataulun laatimisen tueksi useimmille rakenteille voidaan laskea kuivumisaika-arviot. Niiden perusteella voidaan myös määrittää, millaiset olosuhteet kohteeseen tulee luoda, jotta kuivuminen tapahtuu suunnitellulla nopeudella. Kuivumisaika-arvio on aina suunta-antava. Todellinen varmuus rakenteen kuivumisesta saadaan vain mittaamalla. (Merikallio et al. 1997.)

Tavallinen lattiabetoni, jonka vesisementtisuhde on 0,6-0,8, sisältää vettä noin 180-200 l/m³. Tästä noin kolmasosa kuluu betonin hydrataatioreaktiossa. Betoni kuivuu sen pintaan kapillaarivoimien ja diffuusion vaikutuksesta siirtyvän veden haihtuessa ympäröi-

vään ilmaan. Haihtumiskuiyumista ei tapahdu kylmissä ja kosteissa olosuhteissa. Betonin kastuminen esimerkiksi sadevesistä tai kastelusta johtuen hidastaa betonin kuivumista merkittävästi. Mitä myöhemmin kastuminen tapahtuu, sitä enemmän se hidastaa kuivumista. (Merikallio et al. 1997.)

Betonin liian nopea kuivuminen voi aiheuttaa halkeilua ja lujuuden menettämistä. Riittävästä jälkihoidosta on siis huolehdittava. Merikallio et al. (1997) mukaan betonin kuivumista voidaan nopeuttaa:

- käyttämällä mahdollisimman suuriraekokoista ja jäykkää massaa
- käyttämällä nopeasti kuivuvia betonilaatuja. Nopea kuivuminen perustuu alhaiseen vesisementtisuhteeseen ja lisäaineisiin
- luomalla rakenteen ympärille hyvät kuivumisolosuhteet. Lämpötilan tulee olla yli +20 °C ja suhteellisen kosteuden enintään 50 %
- betonirakenteen lämmittäminen on nopein tapa lisätä kuivumisnopeutta
- pitämällä betonipinta puhtaana ja paljaana poistamalla sementtiliina ja pöly sekä välttämällä tavaroiden varastointia pinnan päällä
- estämällä betonin kastuminen ja poistamalla ylimääräinen vesi välittömästi vesimurilla tai lastalla
- imubetonoimalla
- suunnittelemalla rakenteita, joissa veden siirtymismatka haihtumispintaan on mahdollisimman lyhyt.

Taulukko 3. Alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot. Tasoitteen tulee olla kuivunut ja kovettunut riittävästi. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2013.)

Päällystemateriaali	Betonin RH (%) arviointi-syvyydellä	Betonin RH (%) 1-3 cm syvyydellä
Lautaparketti +alusmateriaali +tasoite	85	75
Lautaparketti +alusmateriaali +kosteuden kestävä tasoite tai ei tasoitetta	90	75
Lautaparketti +alusmateriaali ja 0,2 mm PE-kalvo	85	75
Laminaatti + vesihöyryntiivis alusmateriaali	85	75
Mosaiikkiparketti normaali betoni	85	75
Mosaiikkiparketti erikoisbetoni (w/s < 0,5)	90	75
Muovimatto, linoleumi, kumimatto, tekstiilimatto	85	75
Tekstiilimatto, tiivisalusta tai luonnonmateriaalista tehty	85	75
Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta	90	75
Keramiset laatat kiinnityslaastista ja vedeneristeestä riippuen	80-95	-

Päällystettävä rakenne on kuiva, kun sen kosteuspitoisuus alittaa kriittisen kosteuspitoisuuden. Kriittisellä kosteuspitoisuudella tarkoitetaan suurinta kosteuspitoisuutta, jossa pintamateriaali toimii moitteettomasti. (Rakennustieto Oy, 2010) Taulukossa 3. on esitetty BY 47 mukaiset alusbetonin kriittiset kosteuspitoisuudet eri pinnoitemateriaaleille. Ensisijaisesti on noudatettava materiaalivalmistajien ohjeita. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2013.)

2.7 Kosteusmittaukset

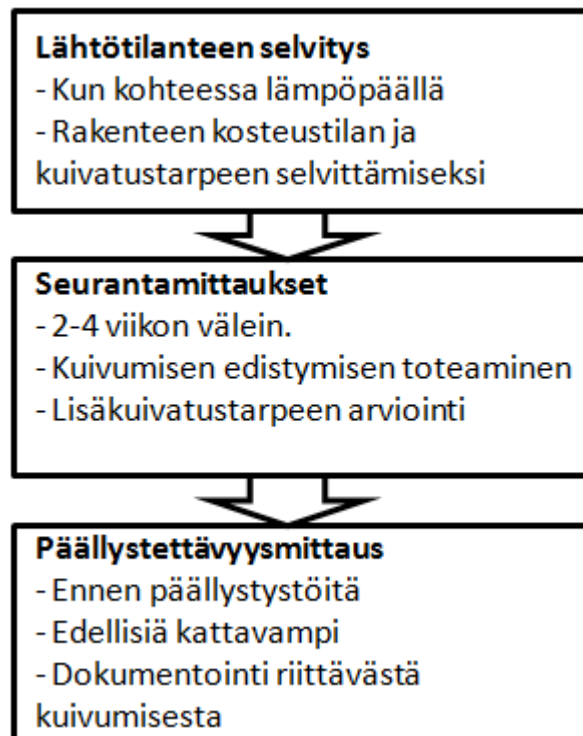
Kosteusmittauksia tarvitaan rakenteiden rakennusaikaisen kuivumisen seurannassa, kosteusvaurion syyn ja laajuuden selvityksissä ja kastuneen rakenteen kuivatustarpeen määrittämisessä. Mittaukset tulee suorittaa niihin tarkoitetuilla laitteilla ammattitaitoisen mittaajan toimesta. Mittaajan pätevyydestä osoituksena on muodollinen pätevyystodistus esimerkiksi VTT:n sertifioima rakenteiden kosteusmittaaja. Mittauslaitteet on kalibroitava vähintään kerran vuodessa valmistajan ohjeiden mukaan. (Rakennustieto Oy, 2010)

Mittauksen suorittajan tulee mittausraportissa esittää tulosten lisäksi myös mittauksen tarkkuus ja siihen liittyvät epävarmuustekijät. Tarkkoilla mittausmenetelmillä mittaustuloksen kokonaistarkkuus on noin $\pm 2\text{-}5$ RH-yksikköä. Tarkkoja mittausmenetelmiä ovat:

- Porareikämittaus
- Näytepalamittaus

Näistä näytepalamittaus on tarkempi ja sitä voidaan käyttää useimmissa olosuhteissa. Porareikämittauksia voidaan tehdä, kun ilman lämpötila poikkeaa lopullisesta käyttölämpötilasta alle $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja betonin ja ilman lämpötilaero on alle $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Molemmat menetelmät ovat ainetta rikkovia, joten esimerkiksi mittausalueella rakenteiden sisällä olevat putket on huomioitava mitattaessa. Muilla mittausmenetelmillä voidaan saada vain suuntaa antavia tuloksia. (Rakennustieto Oy, 2010) Porareikämittauksissa betonin suhteellisen kosteuden arviointisyvyys (A) kahteen suuntaan kuivuvissa rakenteissa on 20 % rakenteen paksuudesta ja yhteen suuntaan kuivuvissa rakenteissa 40 %. Rakenteen pintaosan suhteellinen kosteus määritetään syvyydeltä $0,4 \times A$ (1-3 cm). (Suomen Betonitietoyhdistys ry, 2013.)

Kosteusmittaukset jaetaan lähtötaso-, seuranta-, ja päällystettävyyssmittauksiin. (Kuva 8.) Lisäksi suoritetaan sisäilman lämpötilan ja kosteuden mittauksia. Lähtötasomittauksia voidaan tehdä, kun rakennuksen lämmitys on ollut käytössä jonkin aikaa ja voidaan olla varmoja, että mitattava rakenne ei enää kastu. Seurantamittauksia tehdään 2-4 viikon välein. Niillä varmennetaan rakenteen kuivuminen ja aikataulussa pysyminen. Päällystettävyyssmittaukset tehdään 0-2 viikkoa ennen rakenteiden päällystämistä kun rakennuksen sisälämpötila on lähellä lopullista käyttölämpötilaa. (Merikallio et al. 2007.)



Kuva 8. Rakennekosteusmittausten kulku. (RIL ry, 2011.)

Näiden lisäksi kastuneiksi tiedetyillä alueilla on tehtävä tarkistusmittauksia. Mittausten laajuus riippuu kohteen laajuudesta, käytetyistä rakenteista ja päällystemateriaaleista tapauskohtaisesti. Mittauksia tulisi tehdä vähintään 1-2 kerrosta kohden seinistä ja lattioista. (Merikallio et al. 2007.)

Kosteusmittauksia varten vastaava työnjohtaja ja kosteusmittaaja laativat kosteusmittaus suunnitelman. Kosteusmittaus suunnitelmassa määritetään:

- mitä mittauksia kohteessa tehdään
- mittausmenetelmä ja -laitteisto
- mittauslaitteiden kalibroinnin varmistus
- kosteusmittaajan pätevyys
- mittausten aikataulu, laajuus ja tarvittavien mittauspisteiden sijainti. (RIL ry, 2011.)

2.8 Olosuhteiden hallinta

Rakennustyömaan onnistuneella olosuhdehallinnalla ja kuivumisaika-arvioilla voidaan paitsi estää kosteusvaurioiden synty myös pienentää hankkeen rakennus- ja elinkaari-kustannuksia. (RIL ry, 2011) Työmaan olosuhteiden hallinnan tavoitteena on minimoida rakennusten kosteusriskit ja varmistaa kohteen valmistuminen suunnitelman mukaisessa aikataulussa erilaisissa sääolosuhteissa. (Seppälä, 2013.)

RIL-250-2011 -ohjeessa työmaan olosuhteiden hallintaan sisällytetään seuraavat asiat:

- materiaalien ja rakenneosien suojauksen ja varastoinnin järjestäminen
- runkorakenteiden suojaaminen kastumiselta
- työnaikaisten vesivuotojen ja vesivahinkojen ennakointi- ja torjuntatavat
- hyvien kuivumisolosuhteiden järjestäminen sisälämpötilan, sisäilman kosteuden, ilman kierron, kastumisen estämisen ja tarvittavien erityistoimenpiteiden keinoin.

Lämmitys-, suojaus-, ja kuivatusratkaisut valitaan vuodenaajan ja rakentamisen vaiheen mukaan. (Rakennustieto Oy, 2013.)

2.8.1 Säältä suojautuminen

Vuodenaika ja siihen liittyvät sääolot vaikuttavat suojaustarpeeseen. Suojausmenetelmän valintaan vaikuttavat rakennuksen sijainti, koko ja muoto sekä rakenteiden kosteudensietokyky. Kohteen suuruuden perusteella, on syytä miettiä, onko kustannustehokasta suojata koko kohde kerralla vai suojataanko kohde vaiheittain. Sääsuojiin työmaakierto voidaan suunnitella kuten muottikaluston kierto. (Rakennustieto Oy, 2013.)

Taulukko 4. Sääsuojausvaihtoehtoja (Rakennustieto Oy, 2010.)

Sääsuoja	Käyttökohteet	Muuta	Koko	Vuokratust.
suojapeitteet - pvc-muovi	pienet työkohteet, materiaalien suojaus		useita kokoja	0,90...2,30 €/ m ² /kk
eristepeite - termoplastinen muovi, polyesteri	betonivalujen suojaus		3 x 5 m ²	5,30 €/ m ² /kk
teline- ja julkisivupeitteet - polyeteeni	julkisivutyöt ja -korjaukset		2,8...3,3...4,3 x 50 m ²	0,95 €/m ² /kk
sääsuojahalli - sinkitty teräs/alumiini, pvc-kangas	kattotyöt, kiinteät työpisteet, koko rakennuksen suojaus	asennus tyypistä riippuen myös ilman nosturia, siirtopyörät, pystytys omille jaloille, kiskoille, telineen päälle	koottavissa lohkoista 2,57 m...18-27 m 6 m...5-40 m	4,20...6,00 €/m ² /kk 8,50 €/m ² /kk
kasettikatto tai -suojaseinä - alumiinirunko, muovi	kattotyöt, julkisivutyöt ja -korjaukset	läpinäkyvä, lämpöeristetty	koottavissa lohkoista 3 m...20-27 m	katto 4,90...7,50 €/m ² /kk seinä 4,30 €/m ² /kk

Suojaustavan valintaan vaikuttaa se, miltä halutaan suojautua ja mitä halutaan suojata. Erilaisia suojausratkaisuja ovat suojapeitteet, julkisivusuojat ja sääsuojat. (Taulukko 4.) Myös tilaajan vaatimukset, vaaditut olosuhteet, rakentamisen nopeus ja kustannukset vaikuttavat suojausmenetelmän valintaan. (Rakennustieto Oy, 2013.)

Rantamäen ja Kivijakolan (1988) mukaan sääsuoja mahdollistaa työskentelyn kaikenlaisissa sääolosuhteissa ja sillä voi varmistaa aikataulussa pysymisen sääoloista riippumatta. Sääsuoja suojaa lumelta, pakkaselta, tuulelta, sateelta ja auringolta. Rakennustyömaalla sääsuojaa käytetään työ- ja varastosuojana. Sääsuojalla voidaan vähentää ma-

terialihukkaa, lyhentää aikatauluja, parantaa työn laatua, mielekkyyttä sekä työmaan järjestystä ja työturvallisuutta.

Hyvin suunniteltuna sääsuojauksella voidaan pienentää talvilisätöiden kustannuksia. Suojaus parantaa työtehoa talvella ja vähentää sade- ja pakkaspäivien vaikutusta, nopeuttaa aikataulua ja vähentää betonin lämmittämisen ja lujuusluokan kasvattamisen tarvetta. Huonosti suunniteltuna mittavan sääsuojauksen kustannukset kuitenkin ylittävät sen tuottamat säästöt. (Rakennustieto Oy, 2010) Myös Toivarin (2011) diplomityön tulosten mukaan sääsuojan käyttö on erityisesti talvella kannattavaa. Hämäläisen (2012) mukaan sääsuojahallia tarvitaan, kun rakennetaan kosteudelle herkistä materiaaleista. Sääsuojahallin käyttö on hyödyllisintä talvella perustuksia ja lattiaa tehtäessä.

Teriön (2003) mukaan elementtirakentamisessa runkovaiheessa sääsuojien käyttö vaikeuttaa nostoja. Tällöin on tärkeää tehdä välipohjat kerralla tiiviiksi, jolloin ylempi holvi toimii alemman sääsuojana. Tämä onnistuu, kun työvaiheet ja -järjestys suunnitellaan huolella ja sadevesien poisjohtamisesta huolehditaan asianmukaisesti.

Terveen talon toteutuksen kriteereissä ohjeena on, että kosteudelle arat runkovaihe ja vesikatto tehdään mahdollisimman nopeasti. Tarvittaessa käytetään työnaikaisia sade-suojia ja väliaikaisia vedeneristeitä ylimmällä holvilla. Rakennuksen tärkein sääsuoja on vesikaton ensimmäinen kermi ja sadevesiviemärit. (Rakennustieto Oy, 2003.)






Nopea runkovaihe edellyttää huolellista tuotannon suunnittelua. Runkovaiheessa suojauksen suunnittelussa erityisen tärkeää on kiinnittää huomiota elementtien lämmöneristeiden suojaamiseen. Puurungon voi suojata suojapeitteillä tai kokonaan suojakatoksella. Myös ikkunoiden, ovien ja muiden aukkojen sulkeminen mahdollisimman nopeasti edesauttaa säältä suojautumista ja rakenteiden kuivanapitoa. Tarvittaessa aukot suojataan väliaikaisesti muoveilla. (Rakennustieto Oy, 2013.)

2.8.2 Materiaalien suojaaminen ja varastointi

Terveen talon toteutuksen ohjeiden mukaan kosteudelle arat rakennusmateriaalit on suojattava likaantumiselta ja kastumiselta. Varaston on oltava irti maasta, katettu ja siivottu. Ohjeena on, että materiaalit varastoidaan sisätiloihin ja välivarastointia vältetään. (Rakennustieto Oy, 2003.)

Työmaalle tulevat materiaalit on suojattava heti niitä vastaanotettaessa. Suojaamisen tarvetta voidaan vähentää pitämällä työmaalla mahdollisimman vähän materiaaleja. Materiaalit varastoidaan paikkaan, jossa työmaan toiminta ei aiheuta niiden vaurioitumista. Varastointiolosuhteet tulisi järjestää mahdollisimman lähelle materiaalien lopullisia käyttöolosuhteita. (Kuva 9.) Sisälle tulevat rakennustarvikkeet varastoidaan sisälle ja ulostulevat säältä suojattuina ulkotiloihin. Materiaalien varastoinnissa tulee kuitenkin aina noudattaa valmistajien ohjeita. Suojapeitteitä käytettäessä tulisi mahdollisuuksien

mukaan irrottaa peite suojattavasta materiaalista esimerkiksi puurimoilla. Varastointipaikkoina voidaan käyttää myös kevytrakenteisia ulkovarastoja ja varastokontteja. Myös valmiin työn suojaukseen on syytä kiinnittää huomiota. Suojaamalla voidaan kosteuden lisäksi välttyä esimerkiksi likaantumiselta ja kolhuilta. (Rakennustieto Oy, 2013.)

Käyttötila	Lämmin tila	Sisätila	Suojainen tila	Ulkotila
				
Säilytys lämmitetyssä sisätilassa. Materiaalilla voi olla erityisiä olosuhdevaatimuksia, kuten lämpötila tai ilmankosteus.	Materiaali säilytetään lämmitetyssä sisätilassa.	Materiaali tulee säilyttää sisätilassa kastumiselta. Ei välttämättä lämpötilavaatimusta. Varastointipaikka esim. ulkorakennus tai varastokontti.	Materiaali voidaan säilyttää katetussa ulkotilassa. Esimerkiksi suojapeitteillä tai katoksella suojattu tila.	Materiaalilla ei ole erityistä suojaustarvetta.
Parketit, laminaatit				
Kalusteet				
Matot				
Kipsi- ja lastulevyt				
Pintatuotteet				
Suojaamattomat puuikkunat ja -ovet				
Pintapuutavara				
IV-koneet ja äänenvaimentimet				
			Laastit	
			Runkopuutavara	
			Puuikkunat ja -ovet (lyhytaikainen)	
			Metalli-ikkunat ja -ovet	
			Kuivabetoni	
			Lämmöneristeet	
			Metallikasetit	
			Puuelementit	
			Betonielementit	
			Keramiikka, tiilet ja laatat	
			Raudoitteet	
			Metallivarusteet	
			Maa-ainekset	
			Kattotiilet	
			Ulkovarusteet	

Kuva 9. Ohjeellinen kuvaus materiaalien suojaamisesta. (Rakennustieto Oy, 2013.)

RIL-250-2011 mukaan työmaalle tulevien rakennusmateriaalien kosteudelle altistumista voidaan vähentää esimerkiksi:

- edellyttämällä materiaalitoimittajilta kuljetuksen aikaista suojausta
- noudattamalla varastoinnissa valmistajan antamia ohjeita
- oikea-aikaisella toimituksella
- suunnittelemalla varastointialueet ja -tavat ajoissa etukäteen
- suunnittelemalla työsuoritus vaiheittain, jotta valmis työ ehditään suojaamaan työn edetessä
- pitämällä työmaalla riittävästi materiaalien suojaustarvikkeita.

2.8.3 Kuivattaminen ja lämmittäminen

Rakennusaikaisella lämmityksellä pyritään saavuttamaan työskentelyn ja rakenteiden kannalta oikeanlaiset ja suunnitelma-asiakirjojen mukaiset olosuhteet. Lämmittäminen liittyy oleellisesti rakennuksen kuivattamiseen. Lämmitystä suunniteltaessa osana työmaan suunnittelua tulee tavoitteena olla rakennuksen lopullisen lämmitysjärjestelmän mahdollisimman aikainen käyttöönotto. Lämmittämisen aloittaminen on taloudellisinta, kun rakennuksen vaippa on tiivis. Näin lämmitysenergiaa ei karkaa ilman mukana ulos rakennuksesta. Sisäolosuhteita mitataan ja valvotaan kuivatuksen aikana, jotta voidaan varmistua oikeanlaisista olosuhteista. (Rakennustieto Oy, 1996)

Jokainen rakenteisiin päästetty ylimääräinen vesilitra on poistettava rakenteista. Haihtumiskuivumisen mahdollistamiseksi on rakennetta ympäröivän ilman oltava riittävän kuivaa ja lämmintä. Kun ulkoilman suhteellinen kosteus on alle 50 %, voidaan kuivattaminen hoitaa riittävällä lämpimän sisäilman ilmanvaihdolla. Ulkoilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 50 % on tiivistettävä rakennuksen vaippa ja kuivattava sisäilmaa ilmankuivaimilla. Rakenteiden kuivattaminen syksyllä on usein edullisempaa ilman-kuivaimilla kuin tuulettamalla. Kuivumista voidaan tehostaa:

- lämmittämällä rakennetta
- aiheuttamalla ilmavirtauksia kuivattavan rakenteen ympärille
- alentamalla rakennetta ympäröivän ilman suhteellista kosteutta. (Rakennustieto Oy, 2013.)

Teriö et al. (2013) mukaan riittävä ilmanvaihto keskikokoisella työmaalla on yleensä 1-2 kertaa tunnissa. Riittävä ilmanvaihto poistaa haitallisia aineita sisäilmasta ja varmistaa työskentelyn kannalta hyvät olosuhteet. Ilmanvaihto on myös tehokas tapa poistaa rakennuskosteutta. Syyskesä on kuivattamisen kannalta haasteellisinta aikaa eikä silloin tuulettamalla saada juurikaan kuivumista tapahtumaan. Tällöin on varauduttava riittävän pitkiin kuivatusaikoihin tai koneelliseen kuivatukseseen. Talvella ja kevät-kesällä kuivattaminen on helppoa ja edullista, kunhan vain kiinnitetään huomiota valittavien menetelmien energiatehokkuuteen ja olosuhteiden säädettävyyteen. Lämmitys kannattaa

suunnata rakennuksen nurkkiin. Kylmään vuoden aikaan isot aukot tiivistetään ja tuuletaminen hoidetaan usean pienen raon kautta, jotta lämmittäminen ja kuivattaminen on taloudellista.

Osastoittain tiloja kuivattaessa ja lämmitettäessä on varmistuttava osastojen tiiveydestä, jotta kostea ilmaa ei kulkeudu ja tiivisty kylmiin tiloihin. Talvella keskeneräiset höyryn- ja ilmansulut voivat aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteisiin. Tämä riski on huomioitava rakennuksen lämmitystä aloitettaessa. (RIL ry, 2011.)

2.9 Puhtauden hallinta

Rakennustieto Oy:n Terveen talon toteutuksen kriteerit –ohjeessa edellytetään rakennusurakoitsijalta työmaan puhtaussuunnitelmaa, kun noudatetaan puhtaan rakentamisen periaatteita P1-puhtausluokitellussa kohteessa. Puhtauden hallinta pitää sisällään myös materiaalien suojaamisen likaantumiselta. Noudatettaessa puhtaan rakentamisen periaatteita suunnitellaan myös, miten ilmanvaihtojärjestelmän osat voidaan varastoida, asentaa ja suojata pölyävien työvaiheiden aikana. Tilan pölyävät työvaiheet tulisi tehdä ennen ilmanvaihtoasennuksia. (Rakennustieto Oy, 2003.)

Rakennustyömaalla pöly on merkittävä riskitekijä työntekijöiden terveydelle. Rakennusaikainen pöly voi olla ongelmallista vielä rakennuksen valmistuttua. Rakennuksen ilmaan ja pinnoille jäävä pöly aiheuttaa terveydellisiä ja esteettisiä haittoja rakennuksen käyttäjille. (Asikainen et al. 2009) Rakentamisessa pölyn aiheuttamia haittoja ovat:

- terveydelliset haitat
- pölyräjähdysten vaara
- valmiiden rakenteiden ja koneiden likaantuminen
- siivous- ja puhdistuskustannukset
- elektronisten laitteiden toimintahäiriöt. (Rakennustieto Oy, 12/2009.)

Pölyn torjunnan suunnittelun lähtökohtana on ymmärtää, miksi ja missä työkohteissa pölyä muodostuu. Tarkastelun avulla voidaan löytää tehokkaimmat ratkaisut pölyn vähentämiseen. Pölyä torjutaan:

- poistamalla pölynaiheuttaja työmenetelmää tai materiaaleja vaihtamalla
- keräämällä pöly kohdepoistolla työstökohteesta
- osastoimalla alue, jossa pölyä muodostuu
- poistamalla pöly pölyä keräävällä tilailmastoinnilla
- varustamalla työntekijät tarkoituksen mukaisilla suojaimilla. (Rakennustieto Oy, 12/2009.)

Pölyvien työvaiheiden kartoittamisen perusteella muodostetaan pölyn hallinnan riskiarvio. Riskien arvioinnin perusteella valitaan käytettävät menetelmät. (Taulukko 5.) Ensisijainen keino on pölyn muodostumisen estäminen. Kun pölyn muodostumista ei voida estää, rajoitetaan pölyn leviämistä ja otetaan käyttöön henkilökohtaiset suojaimet. (Rakennustieto Oy, 12/2009.)

Taulukko 5. Pölylle altistavat työvaiheet, altistuvat työntekijäryhmät, terveysvaikutukset ja suojauminen (Asikainen et al. 2009)

Pöly	Betonipöly	Tiili- ja kivi-pöly	Puupöly	Eristekuitupöly
Altistavat työvaiheet	<ul style="list-style-type: none"> - hionta- ja tasoitetyöt - piikkaus - elementtiasennus - laikkaleikkaus - siivous 	<ul style="list-style-type: none"> - tiilien leikkaus/ lohkominen - kivimateriaalin työstö - piikkaus - siivous 	<ul style="list-style-type: none"> - levyasennukset - sahaus - hionta - telineiden rakentaminen - sisäpanelointi - kalusteasennus - parkettiasennus - listoitus - siivous 	<ul style="list-style-type: none"> - eristeiden leikkaus ja asennus - puhallusvillan levitys - eristystöiden jälkeiset työt - siivous
Altistuva työntekijäryhmä	<ul style="list-style-type: none"> - betonirakentajat - elementtityöntekijät - talonrakentajat - hionta- ja tasoitettöiden tekijät - siivoojat 	<ul style="list-style-type: none"> - muurarit ja apumiehet - siivoojat 	<ul style="list-style-type: none"> - kirvesmiehet - parkettiasentajat - kalusteasentajat - siivoojat 	<ul style="list-style-type: none"> - eristäjät - rakennusmiehet - siivoojat
Terveysvaikutukset	<ul style="list-style-type: none"> - hengitystie- ja ihoärsytys - kvartsi-pöly: silikoosi, syöpävaara - sementin nikkeli, kromi ja koboltti: allergia 	<ul style="list-style-type: none"> - hengitystie- ja ihoärsytys - kvartsi-pöly: silikoosi, syöpävaara - sementin nikkeli, kromi ja koboltti: allergia 	<ul style="list-style-type: none"> - hengitystieärsytys - herkistyminen - kovapuupöly: syöpävaara 	<ul style="list-style-type: none"> - hengitystie-, iho- ja silmä-ärsytys - nenän tukkoisuus - limakalvoärsytys
Suojauminen	<ul style="list-style-type: none"> - P2- tai P3-luokan moottoroitu hengityksensuojain - lyhytkestoisissa töissä puolinaamarillinen hengityksen suojain, P2-luokan suodatin - suojavaatetus 	<ul style="list-style-type: none"> - P2- tai P3-luokan moottoroitu hengityksensuojain - lyhytkestoisissa töissä puolinaamarillinen hengityksen suojain, P2-luokan suodatin - suojavaatetus 	<ul style="list-style-type: none"> - P2- tai P3-luokan moottoroitu hengityksensuojain - suojakäsineet ja -haalarit 	<ul style="list-style-type: none"> - mineraalivillaeisteissä P2-luokan puolinaamarillinen hengityksen suojain - purueristeissä P2- tai P3 luokan moottoroitu hengityksensuojain - suojakäsineet ja -haalarit
HTP_{8h}-arvo* (2009)	<ul style="list-style-type: none"> - epäorgaaninen pöly 10 mg/m³ - kvartsi, 0,05 mg/m³ - sementtipöly, hengittyvä 5 mg/m³ - sementtipöly, alveolijae 1 mg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> - epäorgaaninen pöly 10 mg/m³ - kvartsi 0,05 mg/m³ - sementtipöly, hengittyvä 5 mg/m³ - sementtipöly, alveolijae 1 mg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> - puupöly 2 mg/m³ - kovapuupöly 5 mg/m³ (sitova raja-arvo) 	<ul style="list-style-type: none"> - 1 kuitu/cm³

*HTP = Haitalliseksi tunnettu pitoisuus. Pienin ilman kemikaalipitoisuus, jonka on arvioitu voivan aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijän terveydelle.

HTP_{8h} = Keskipitoisuus 8 tunnin aikana.

Pölyn torjunta korostuu korjauskohteiden purkutöissä, sillä lähtötietoja kaikista purettavien rakenteiden materiaaleista ei välttämättä ole. VNA 205/2009 50§ mom. 2. määrää purkutöistä: ”Pöly on poistettava ilmastoinnilla, kohdepoistoilla tai muilla tarkoitukseenmukaisilla toimenpiteillä. Tarvittaessa pölyn leviäminen on estettävä käyttämällä rakennustyönäikaisia suojaesineitä. Pöly on siivottava riittävän usein työtiloista” (Rakennustieto Oy, 12/2009). Uudenmaan työsuojelupiirin toimintaohjeessa (2007) määrätään kaikki kylpyhuoneiden ja nousujohtolinjojen purkutyöt tehtäväksi asbestipurkutyönä, ellei ole täysin luotettavasti todennettu, että missään rakenteissa ei esiinny asbestia.

Sorsan (2011) mukaan työolosuhteissa, joissa pölyn syntymistä ei voida estää, toimiva pölyn hallintakeino on tilojen osastointi ja koneellinen alipaineistus. Alipainekoneiden suodattimien vaihtamisesta on huolehdittava. Sorsan tutkimuksen mukaan valmistajien ohjeena antaman 2-4 päivän suodattimien vaihtovälin sijaan suodattimia voidaan käyttää ainakin seitsemän päivää. Asikainen et al. (2009) mukaan pölyntorjuntalaitteiden toimintakunto on merkittävin tekijä pölyn vähentämisessä pölyävissä työvaiheissa. Epäkunnossa olevat laitteet voivat lisätä pölylle altistumista.

Hulkon (2010) mukaan työmaan puhtaustavoitteet eivät toteudu rakennussiivousta lisäämällä. Puhtauden hallinnan menettelytavat ja urakoitsijan siivousvelvoitteet tulee sisällyttää urakkasopimukseen sanktioineen, jotta puhtauden hallinnan ohjaaminen kustannustehokkaasti on mahdollista.

2.10 Rakennuksen tiiveyden merkitys ja varmistaminen

Rakennusvaipan tiiviys jaetaan kolmeen pääosaan. Ilmatiiviydellä tarkoitetaan rakennuksen ilmanvaihdon ja rakenteiden läpi tulevan korvausilman hallintaa. Höyrytiiviys tarkoittaa rakennuksen sisältä ulospäin vaikuttavan kosteusrasituksen hallintaa. Sadevesitiiviys tarkoittaa rakennuksen ulkopuolelta tulevien kosteusrasitusten hallintaa. (Sarja, 2009.)

Vuotoilmalla on suuri merkitys rakennuksen energian kulutuksessa. (Taulukko 6.) Vaipan hyvä ilmanpitävyys myös parantaa sisäilmasto-olosuhteita, sillä vedontunne vähenee ja mahdollisten homeiden, epäpuhtauksien ja muiden haitallisten aineiden kulkeutuminen vaipparakenteista ja maaperästä sisäilmaan vähenee. Hyvä ilmanpitävyys myös parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa, kun kostea sisäilma ei pääse virtaamaan rakenteisiin eikä kylmä ulkoilma pääse jäädyttämään rakenteita ja siten aiheuttamaan kosteuden tiivistymistä ja homeen kasvulle otollisia olosuhteita. (Rakennustieto Oy 10/2009.) Sarjan (2009) mukaan rakennuksen tiiviys ja hallittu sekä tarpeen mukainen ilmanvaihto ovat keskeisiä tekijöitä rakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden hyvien sisäilmasto-olosuhteiden varmistamisessa energiatehokkaissa rakennuksissa.

Taulukko 6. Ilmanvuotoluvun merkitys rakennuksen energiankulutuksessa (Oulun kaupunki, 2014.)

Ilmanvuotoluku (1/h)	Taso	Energiansäästö
< 0,6	Passiivitalo	> 10 %
< 1,0	Erittäin hyvä	7-10 %
1-2	Hyvä	0-7 %
2	Rak.määr vertailutaso	0 %
2-3	Tyydyttävä	0-7 %
3-4	Huono	-7-14 %
4	Rak.määr.minimitaso	> -14 %

Rakennusvaipan tiiviiden keskeisiä päätekijöitä ovat:

- höyryn- ja ilmansulku tehdään siten, että työn ja käytön aikaiset lävistykset minimoidaan
- ulkoseinien ja ylä- ja alapohjan välisten liitosten tiiviiden varmistaminen
- ikkunoiden tiivis asentaminen
- läpivientien pitkäaikaisesti varmatoiminen tiivistys. (RIL ry, 2009.)

Terveen talon toteutuksen kriteerien mukaan suositeltava ilmanvuotoluku on alle 1,0 1/h. Työpiirustuksissa on esitettävä suunnitellun ilmansulkuratkaisun kriittiset yksityiskohdat. (Rakennustieto Oy, 2003.) Sisäilmastoluokitukset suosittelvat ilmanvuotoluvun arvoksi pientaloille 1,0–2,0 1/h ja muille rakennuksille 0,5–0,7 1/h. Rakenteiden tiiviidellä estetään myös epäpuhtauksien kulkeutuminen eri puhtausluokkiin määritettyjen tilojen välillä. Ilmanvaihtojärjestelmän on taattava riittävä ilmanvaihto tiiviissä rakennuksissa. (Rakennustieto Oy, 01/2009.)

Toteutusvaiheessa rakennuksen vaipan tiiviiden keskeisiä laadunvarmistustoimenpiteitä ovat:

- ilmanvuotoluvun mittaus puolivalmiista ja valmiista rakennuksesta
- kylmäsiltojen ja paikallisten vuotokohtien kartoitus lämpökuvauksella
- ilmanvaihtojärjestelmän säätäminen ja mittaukset
- tarvittaessa ylä- ja alapohjien tuuletuksen mittaukset.

Suoritettavat mittaukset on syytä kirjata tilaajan ja työnsuorittajan välisiin sopimusasiakirjoihin. (RIL ry, 2009.)

Jos rakennuksen suunnitteluvaiheessa kokonaisenergian käytön tasauslaskennassa ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona käytetään arvoa 4,0 1/h, ei rakennuksen ilmatiiviyttä

tarvitse mitata. Energiatehokkaan rakentamisen kannalta on kuitenkin edullista käyttää pienempiä ilmanvuotoluvun laskenta-arvoja, jolloin ilmatiiviys täytyy osoittaa mittaamalla. Mittaaminen tehdään 50 Pa paine-erolla standardin SFS-EN 13829 ja Rakennusmääräyskokoelman osan D5 mukaisesti. Pien- ja kerrostaloille on annettu omat tarkennetut ohjeet. Teollisessa tuotannossa talotyypin ilmanpitävyyden osoittaminen on mahdollista myös tilastolliseen tietoon perustuvalla ilmoitusmenettelyllä. (Rakennustieto Oy 10/2009.)

Hyvä ilmanpitävyys voidaan saavuttaa kaikilla rakennusmateriaaleilla, kunhan suunnittelussa, rakentamisessa ja valvonnassa huomioidaan riskialttiit liitokset ja muut keskeisesti tiiviyyteen vaikuttavat tekijät. (Rakennustieto Oy, 10/2009) Purtilon (2011) mukaan rakennuksen ilmatiiveyden eteen täytyy ponnistella ja uudet ratkaisut ja työtavat on vietävä ruohonjuuritasolle. Huolellisella työnjohdon opastuksella, työn suorittamisella ja valvonnalla päästään haluttuun lopputulokseen.

2.11 Painesuhteet rakennuksen sisäilman ja ulkoilman välillä

Seppäsen (2010) mukaan noin 80 prosentissa sisäilmaongelmaisissa kohteissa rakennuksen paine-erot ovat osasyynä sisäilmaongelmissa. Tutkimuksessaan Seppänen mittasi kerroskohtaisia painesuhteita rakennuksen ulkovaipan yli erilaisten rakennustyyppien kuntotutkimuksien yhteydessä.

Taulukko 7. *Tavoitteelliset paine-erot rakennuksessa (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2008)*

Ilmanvaihtotapa	Paine-ero	Huomautuksia
Painovoimainen ilmanvaihto	0... -5 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan.
Koneellinen poistoilmanvaihto	-5... -20 Pa ulkoilmaan 0...-5 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan.
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys	0... -2 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan.

Seppäsen mukaan ilmanvaihtojärjestelmän säätämiseen ei ongelmakohteissa ole kiinnitetty riittävästi huomiota, vaikka suurien paine-erojen aiheuttamat ongelmat tunnetaan hyvin. Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan havaita, että keskimäärin rakennuksissa on hieman liikaa alipainetta verrattuna Asumisterveysoppaan 2009 suositukseen (Taulukko 7.). Hälyttävän suuria, jopa 20 pascalin, alipaineita mitattiin myös vastavalmistuneissa kohteissa. Erityisen riskialttiita ovat rakennuksen, joissa sisäilman alipaine ylittää 10 pascalia. Ongelmat korostuvat tiloissa, joiden tiiviyyden toteutus on epäonnistunut.

Rakennuksen painesuhteilla on merkittävä vaikutus sisäilman laatuun. Tavanomaisia vääristä painesuhteista ja puutteellisesta tiiviyydestä aiheutuvia ongelmia ovat veto, hajuhaikat ja radonin sekä erilaisten epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan rakenteista

ja rakennuksen ulkopuolelta. On kuitenkin harvinaista, että liian suuret paine-erot yksinään aiheuttavat sisäilmaongelmiin johtavia vaurioita. Tämä voi tulla kysymykseen, mikäli rakennuksessa on merkittävää ylipainetta. (Seppänen, 2010.)

3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS

3.1 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen tutkimusmenetelmiksi on valittu kirjallisuusselvitys, joka selittää tutkimuksen aihealueen teoriaa, ja tapaustutkimus josta saatavan empiirisen aineiston avulla teoriasta muokataan tutkimuksen tulokset. Kirjallisuusselvityksessä käydään laajasti läpi aihealueen kirjallisuutta siten, että käsiteltävästä teoriasta saadaan muodostettua kattava kokonaiskuva. Kirjallisuusselvityksessä käytettävässä aineistossa painotus on uudemmilla julkaisuilla. Empiirisen osion menetelmäksi valittiin tapaustutkimus, jossa havainnoidaan työmaan prosesseja ja tehtyä dokumentaatiota.

Tapaustutkimuksessa tarkastellaan nimensä mukaisesti yhtä tai useampaa tapausta, joiden määrittely ja analysointi on tapaustutkimuksen keskeisin tavoite. Tapaustutkimuksen toteutus- ja analysointimenetelmät ovat monimuotoisia. Selittävässä tapaustutkimuksessa pyritään selittämään tapausta ja vastaamaan kysymykseen, miksi tapaus on juuri sellainen kuin se on. Selittävään tapaustutkimukseen luetaan myös prosessiin liittyvien vaiheiden ja tapahtumien välisten suhteiden tutkiminen. Tapausten taustalla oleva teoria selittää havaittuja käytäntöjä ja auttaa ymmärtämään niitä. (Eriksson ja Koistinen, 2005.)

Tutkittavan tapauksen valinnassa keskeistä on kysymys: Mitä voimme oppia tästä tapauksesta? Oikein valittu tapaus kehittää ymmärrystä käsiteltävästä aihealueesta ja sen avulla voi kehittää tai muokata teoriaa. Koska tutkimusaika on usein rajallinen, on tapauksen valinnassa pohdittava myös käytännöllisiä asioita tutkimuksellisten asioiden rinnalla. Aikataulun lisäksi tapauksen valinnassa kiinnitetään huomiota myös tutkijan kiinnostukseen kyseistä tapausta kohtaan, käytettävissä olevat mahdollisuudet ja resurssit sekä sisäänpääsy tapaukseen. (Eriksson ja Koistinen, 2005.)

3.2 Tutkimuksen suoritus

Tutkimuksen aihetta, rajouksia ja tavoitteita alettiin kartoittaa maaliskuussa 2015. Tutkimussuunnitelma muodostui diplomityön tukiryhmän palaverissa. Ryhmään kuuluivat kohdeyrityksen Keski-Suomen yksiköstä aluejohtaja, projektipäällikkö ja projekti-insinööri. Tutkimuksen suorituksen aikana tutkija ja tukiryhmä kokoontuivat palaveriin, joissa tutkija esitteli tutkimuksen etenemistä, kommentoitiin tehtyä tutkimusta ja sovittiin jatkossa tehtävistä toimenpiteistä. Tutkimussuunnitelma hyväksyttiin kohdeyrityksen kehitysyksikössä ja Tampereen teknillisessä yliopistossa.

Kirjallisuusselvitys aloitettiin huhtikuussa ja saatiin päätökseen kesäkuussa. Kirjallisuusselvitysvaiheen aikana tutkimuskysymys tarkentui ja voitiin valita keinot, joilla oli mahdollista saavuttaa tutkimuksen tavoitteet.

Tutkimuksen empiirisen osuuden toteuttamismenetelmäksi valittiin tapaustutkimus. Tutkittava tapaus valittiin sen tutkimuksen toteutukseen sopivan ajankohdan ja sisällön perusteella. Tapaustutkimus aloitettiin kesäkuussa ja saatiin valmiiksi elokuussa.

Tutkittavaksi tapaukseksi valittiin ennen tapaustutkimuksen aloittamista valmistunut saneeraustyömaa. Tästä johtuen tapauksen valinnassa voitiin perustellusti olettaa siitä saatavan aineiston olevan riittävä tutkimuksen tavoitteiden toteuttamiseen. Myös tapaukseen sisälle pääseminen oli helppoa tutkijan toimiessa tapaukseksi valitun työmaan työnjohtajana.

Kirjallisuusselvityksen ja tapaustutkimuksen perusteella muodostettiin terveen talon toteutuksen prosessikaaviot. Kaavioiden esitysmuodoiksi valittiin kohdeyrityksen toimintajärjestelmän mukaiset esitysmuodot. Prosessikaavioiden tehtävistä ja vastuista keskusteltiin diplomityön tukiryhmän palaverissa, jonka jälkeen kaavioiden sisältö muokattiin lopulliseen muotoonsa ja liitettiin tutkimusraporttiin elokuun lopulla.

Tämän jälkeen tehtiin kappale tutkimuksen suorituksesta, tulosten pohdinta, tutkimusraportin viimeistely ja tiivistelmä. Lopullinen tutkimusraportti valmistui syyskuussa 2015.

4. TAPAUSTUTKIMUS

4.1 Tutkimuskohde

Tapaustutkimuksen rakennuskohde on Jyväskylän sijaitsevan keittiö- ja ravintolarakennuksen ja siihen liittyvän kokous- ja juhlatilan peruskorjaus. Rakennus on arkkitehti Alvar Aallon suunnittelema ja se on valmistunut vuonna 1953. Valtioneuvoston vuoden 1992 suojelupäätöksen mukaisesti rakennus on kokonaan suojeltu, suojeluluokka S1. Ennen rakennustöiden aloittamista kohteen rakenteet olivat suurimmaksi osaksi alkupeittäisiä.

Peruskorjauksen kokonaislaajuus on 1638 k-m², josta laajennuksen osuus on 157 k-m². Kokonaistilavuus on 6227 m³. Säilytettäviä rakennusosia ovat muun muassa massiivitiiliset ulkoseinät, teräsbetoniset maanpaineseinät, teräsbetoniset massiivilaattavälipohjat, kantavat teräsbetoniset ja muuratut väliseinät, teräsbetoni- ja teräspilarit, puuristikot sekä rakennustaiteellisesti arvokkaat tiililaattalattiat ja sisäkattorakenteet. Uusia rakenteita ovat muun muassa teräsbetoniset maanvastaiset alapohjat ja maanpaineseinät, muuratut väliseinät sekä uuden tuloilmakonehuoneen puurakenteiset ulkoseinät.

Peruskorjauksen urakkamuotona oli tavoitehintainen kokonaisurakka, jossa suunnittelu-, valvonta- ja rakennuttamisvastuu oli tilaajalla. Kohteen sisäilma-asiantuntijana toimiva yritys suoritti viranomaisten edellyttämän purkutöiden loppukatselmuksen terveellisen lopputuloksen varmistamiseksi. Tilaajan erillisurakoina olivat kylmälaite-, kylmähuone-, ja keittiölaiteurakat.

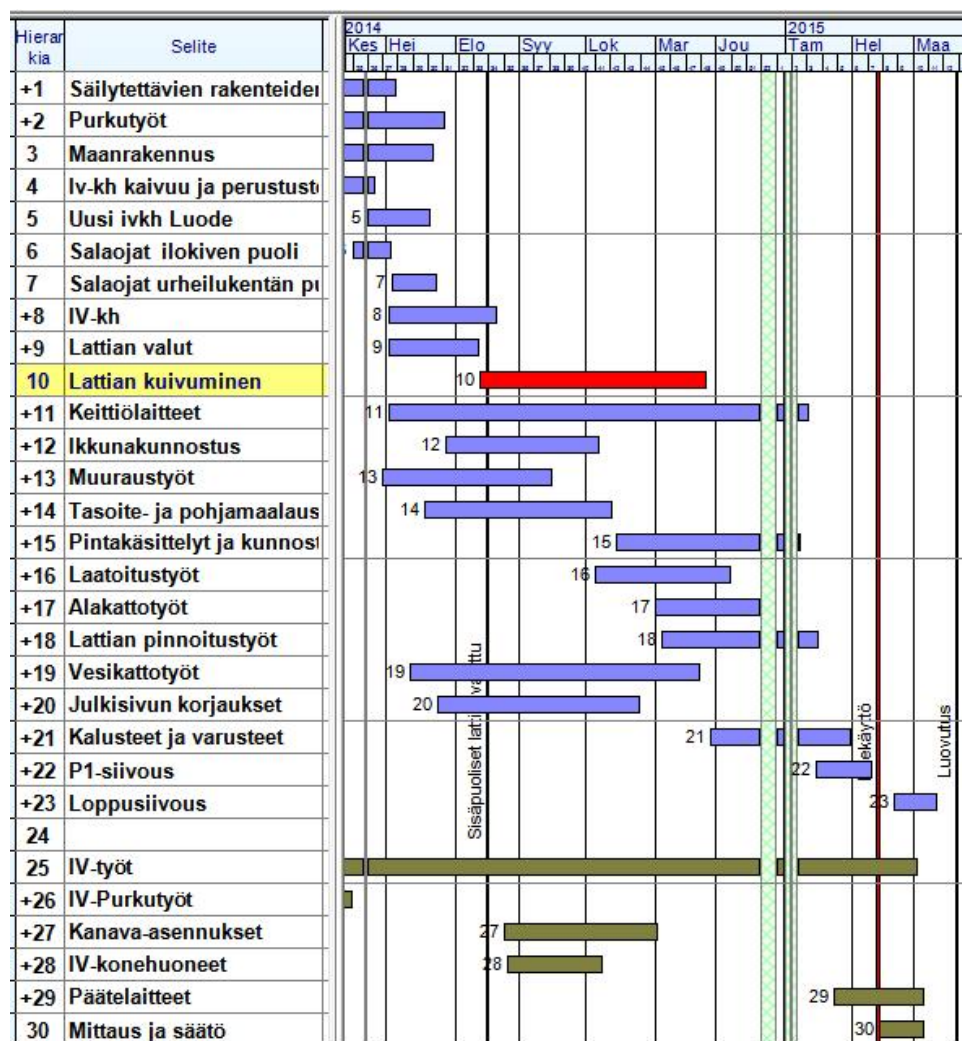
Päätoteuttajan projektiorganisaatioon oli sijoitettu projektipäällikkö, työmaapäällikkö (vastaava työnjohtaja), työnjohtaja ja projekti-insinööri. Kohteen merkittävimpiä rakennustöitä olivat:

- salaojajärjestelmän rakentaminen ja perusmuurien vedeneristystyöt
- tulo- ja poistoilmakonehuoneiden rakentaminen laajennusosina
- rakennuksen LVISA-tekniikan uusiminen
- maanvaraisten alapohjien, välipohjien ja vesikattojen purku- ja rakennustyöt
- vesikaton purku- ja rakennustyöt
- ikkunoiden kunnostus- ja tiivistystyöt
- pohjakerroksen valmistuskeittiön rakennustyöt.

Hankkeen suunnitteluvaiheessa rakennustöiden ja ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokaksi oli määritetty P1, rakennusmateriaalien päästöluokaksi M1 ja kohteen sisäilma- luokaksi S2.

4.2 Aikataulu

Kohteen rakennusaika sijoittui ajalle 6/2014–4/2015. Työmaaorganisaatio laati kohteen yleisaikataulun. Kuvan 10. mukaisesti kohteen yleisaikataulussa on huomioitu tavan- omaisten aikataulutehtävien lisäksi myös terveen talon toteutuksen kannalta merkittäviä tehtäviä kuten lattioiden kuivuminen ja P1-siivous, jonka on oltava valmis ennen talo- tekniikan koekäyttöä sekä mittaus- ja säätötyöt.



Kuva 10. Yleisaikataulussa huomioitiin terveen talon toteutuksen mukaiset aikataulutehtävät

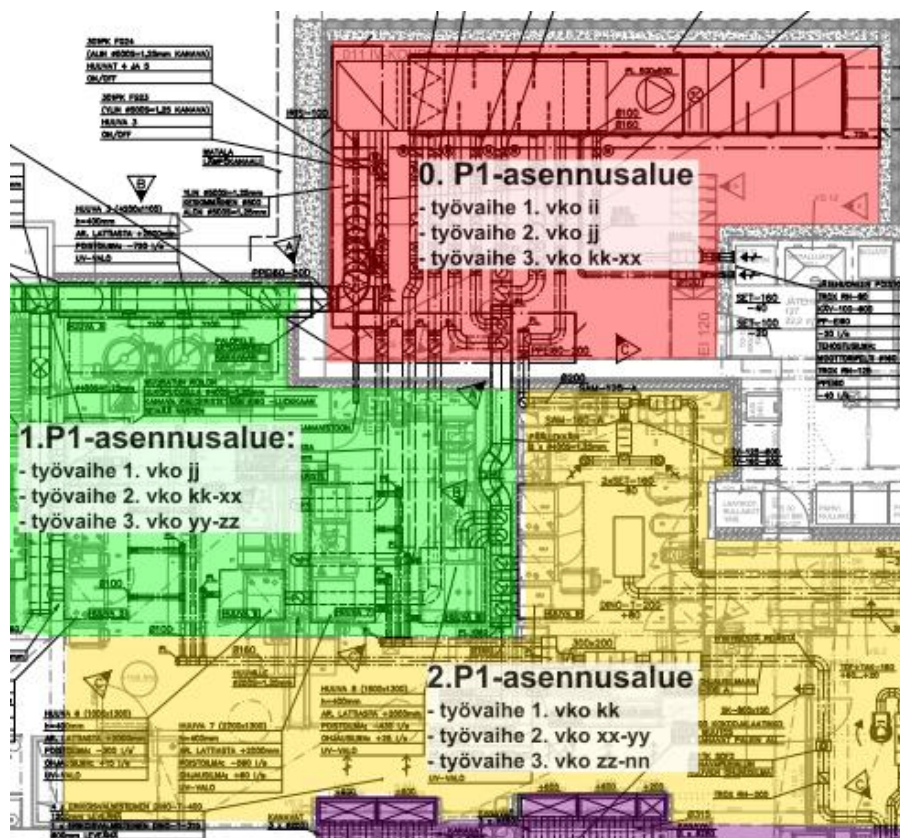
Lattioiden kuivuminen tahdistaa lattian pinnoitustöitä ja maanrakennustyöt vesikattotöitä. Maanrakennustyöt on vaiheistettu vesikattotöiden ajaksi rakennettavan sääsuojateltan

mukaan siten, että lohkon maanrakennustyöt on tehty valmiiksi ennen sääsuojan asennustöitä.

Alakattotyöt päättyivät todellisuudessa tammikuun lopulla, koska alakattojen ummistuslupa edellytti ulkopuolisen konsultin toteamaa P1-puhtausluokkaa kattojen ylä- ja alapuolisissa tiloissa ennen lopullista ummistamista. Rakennuksen lopullisen lämmitysjärjestelmän valmistuminen on ajoitettu siten, että betonin nopean kuivumisen edellyttämä lämmittäminen voidaan aloittaa lattiavalutöiden päätyttyä.

4.3 Ilmanvaihdon asennustyöt

Koska ilmanvaihdon asennustyöt tuli tehdä P1-puhtausluokan tilassa, vaiheistettiin työvaihe alueittain. Jotta vaadittu puhtausluokka saavutetaan ja voidaan ylläpitää, ei muiden rakennustöiden tekeminen tilassa samanaikaisesti ole mahdollista. Asennusaikataulu tehtiin yhteistyössä pääurakoitsijan ja ilmanvaihtourakoitsijan työnjohdon kanssa. Kuvan 11. mukaisilla P1-asennusalueilla työt vaiheistettiin siten, että väliseinät, hormit, tasoitetyöt ja pölynsidontamaalaukset oli tehty valmiiksi ennen alueen P1-siivous- ja asennustöiden aloittamista.



Kuva 11. Ilmanvaihdon asennusalueiden töistä tehtiin aluekohtainen aikataulu, jossa alueen työvaiheet ajoitettiin siten, että ilmanvaihdon asennukset voitiin tehdä P1-puhtausluokan tiloissa yleisaikataulun mukaisesti.

Töiden vaiheistamisella vältettiin runsaasti pölyä tuottavien työvaiheiden suorittaminen ilmanvaihdon asennustöiden jälkeen. Asennustöitä seuraavien työvaiheiden aiheuttaman rakennuspölyn kanavistoon pääsyn estämiseksi valmiit asennukset suojattiin. (Kuva 12.)



Kuva 12. Valmiit ilmanvaihdon asennukset suojattiin pölytiivisti

Ilmanvaihdon asennuslohkot muodostettiin rakennuksen tilajaon mukaisesti. Suurissa tiloissa, joissa ei ole selkeää huonejakoa, asennuslohkot rakennettiin kuvan 13. mukaisesti puu- ja muovirakenteisilla väliaikaisilla seinillä. Asennuslohkot ylipaineistettiin HEPA-suodattimilla varustetuilla puhaltimilla. Siten estettiin pölyn kulkeutuminen ympäröivistä tiloista asennusalueille.



Kuva 13. Valmistuskeittiön ilmanvaihdon asennusalueiden jakoseiniä

LVI-valvoja tarkasti alueen asennuskelpoisuuden ennen ilmanvaihdon asennustöiden aloittamista. Tarkastuksen jälkeen alue merkittiin selkeästi P1-puhtausluokasta tiedottavilla kylteillä, joissa ohjeistettiin pölyävien töiden ja tarpeettoman läpikulun rajoituksista alueella.

4.4 Työmaan olosuhteiden hallinta

4.4.1 Olosuhteiden hallintasuunnitelma

Päätoteuttajan työnjohtaja ja projekti-insinööri laativat työmaan olosuhteiden hallintasuunnitelman, jossa yhdistetään kohteen tilaajan vaatimat työmaatoteutuksen kosteuden ja puhtauden hallintasuunnitelmat yhdeksi suunnitelmaksi. (Kuva 14.)

- 1. HANKKEEN OSAPUOLET**
- 2. OLOSUHTEIDEN HALLINNAN PERIAATTEET JA VALVONTA**
 - 2.1 Olosuhteiden hallintasuunnitelman tarkoitus ja tavoitteet
 - 2.2 Kohteen kuvaus, erityispiirteet ja riskitarkastelu
 - 2.3 Olosuhteiden hallintaan liittyvät tilaajan vaatimukset
 - 2.4 Olosuhteiden hallintasuunnitelman valvonta
 - 2.5 Olosuhteiden hallintaan liittyvät asiat työmaaperehdytyksessä
- 3. TYÖMAAN KOSTEUDENHALLINTA**
 - 3.1 Työmaan kosteudenhallinnan organisointi
 - 3.2 Materiaalien suojaus ja varastointi
 - 3.3 Runkorakenteiden suojaus
 - 3.4 Vesikaton sääsuojat
 - 3.5 Sade- ja sulamisvesien ohjaus
 - 3.6 Betonirakenteiden kuivuminen
 - 3.7 Betonilattioiden kuivumisajat
 - 3.8 Kohteen kosteusmittaukset
 - 3.9 Sallitut kosteuden enimmäisarvot
 - 3.10 Työnaikaiset vesivahingot ja jälkikastuminen
 - 3.11 Olosuhdeseuranta
 - 3.12 Rakennusaikainen lämmitys, kuivatus ja tuuletus
- 4. TYÖMAAN PUHTAUDENHALLINTA**
 - 4.1 Työmaan puhtaudenhallinnan organisointi
 - 4.2 Puhtaustarkastukset
 - 4.3 Siivous ja jätehuolto
 - 4.4 Pölyhallinta
 - 4.5 Osastointi ja suojaseinät
 - 4.6 P1-tilojen vaatimukset
 - 4.7 Alipaineistus (ylipaineistus)
 - 4.8 Kohdepoistot
 - 4.9 Työskentelytavat
 - 4.10 Tupakointi

Kuva 14. Olosuhteiden hallintasuunnitelman sisällysluettelo

Olosuhteiden hallintasuunnitelman tarkoituksena on kuvata kaikille työmaan toimijoille ne toimintatavat, joilla saavutetaan eri työvaiheissa olosuhteille asetetut vaatimukset ja terveen talon toteutuksen kriteerit. Toimintatapojen tavoitteena on saavuttaa vaadittujen sisäilma- ja puhtausluokitusten kriteerit toimintakoe- ja luovutus vaiheessa yhdellä siivouskerralla ja luovuttaa kohde terveellisenä ja turvallisenä tilaajalla. Erityisenä tavoitteena on, että rakenteiden sisään ei jää kosteutta tai epäpuhtauksia. Olosuhteiden hallintasuunnitelma sisällytettiin päätoteuttajan aliurakoiden sopimusasiakirjoihin.

4.4.2 Työmaan kosteuden hallinta

Vastuu työmaan kosteuden hallinnasta on työmaapäälliköllä, joka edelleen vastuutti kosteuden hallinnan toteutuksen ja valvonnan tehtäviä työnjohtajalle. Sopimusasiakirjojen mukaisesti vastuu kosteuden hallinnan toteutuksesta on osaltaan sisällytetty myös aliurakoitsijoiden työsuorituksiin. Esimerkiksi purkutöissä timanttisahauksissa ja -porauksissa käytettävän veden hallinnassa määrättiin käytettäväksi suojakauluksia ja vedenkeräimiä.

Kosteuden hallinnan toteutuksen tehtäviä ovat kuvan 14. luettelon kohdan 3. tehtävät. Kosteuden hallinnan toteutuksen valvontaa teki myös työmaan rakennustöiden valvoja. Rakennustöiden edetessä arvioitiin toteutusratkaisujen ja -detaljien kosteusteknistä toimivuutta ja tarvittaessa toteutusratkaisuja muutettiin turvallisemman lopputuloksen takaamiseksi.

Kosteuden hallinnan tavoitteena oli tunnistaa työmaan kosteusriskit ja hallita niitä tarvittavin toimenpitein. Tarkoituksena oli estää rakenteiden kastuminen ja kosteudelle herkkien materiaalien vaurioituminen niiden varastoinnin ja asennuksen aikana. Työhön opastuksessa ohjeistettiin vesivahinkotilanteet ilmoitettavaksi työmaan työnjohdolle välittömästi.

Mahdollisen vesivahinkotilanteen dokumentointi suunniteltiin tehtäväksi työmaan työmaapäiväkirjaan. Tilanteesta kirjataan muun muassa vahingon syy, paikka, aika, toimenpiteet ja jälkihoito. Vesivahinkotilanteessa varauduttiin poistamaan vesi lastaamalla ja vesi-imureilla. Olosuhteiden hallintasuunnitelmaan kirjattiin, että mahdolliset jälkikastuneet alueet dokumentoidaan ja kuivatetaan tehostetusti. Erityisesti alueilla, joilla käytetään nopeasti kuivuvia betonilaatuja, jälkikastumista tulee välttää. Jälkikastuneen alueen kuivumisen seuranta suunniteltiin tehtäväksi alueen erillisillä kosteusmittauksilla. Työmaalla ei sattunut vesivahinkoja tai mittavia toimenpiteitä vaativaa rakenteiden jälkikastumista.

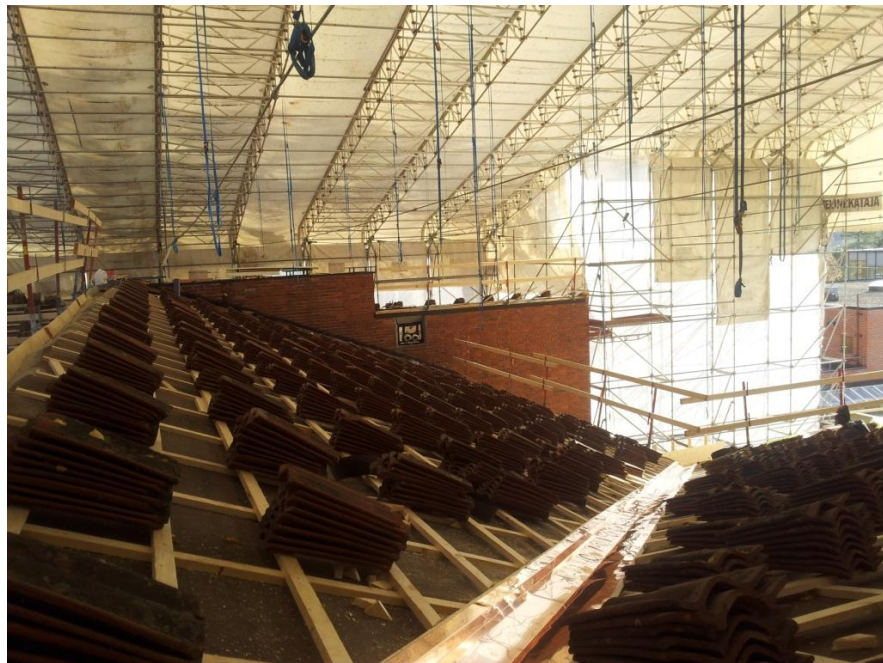
Materiaalien varastointia varten järjestettiin työmaalle varastotiloja rakennuksen sisälle ja piha-alueelle varastokontteihin ja suojakatoksiin. Materiaalit varastoitiin kuormalavojen päälle ulko- ja sisätiloissa. Välivarastoinnin vähentämiseksi työmaan materiaalitoi-

mitukset pyrittiin toteuttamaan siten, että työmaalle toimitetaan oikea määrä materiaaleja oikeaan aikaan.

Olosuhteiden hallintasuunnitelmassa työmaatoteutuksen merkittävimmiksi kosteusriskeiksi määritettiin:

- vesikaton purkutyöt ja uudelleen rakentaminen
- pihakannen ja maanpaineseinien vedeneristys
- märkätilojen rakenteiden ja läpivientien vedeneristys.

Tilaja oli urakka-asiakirjoissaan poistanut vesikattotöihin liittyvät kosteusriskit vaatimalla sääsuojateltan rakentamista töiden ajaksi. Kaikki vesikaton työt tehtiin teltan suojassa. (Kuva 15.) Sääsuoja purettiin kun kaikki vesikaton työt olivat valmiit.



Kuva 15. Vesikattotyöt tehtiin sääsuojateltassa

Rakennuksen ikkunat irrotettiin ja kuljetettiin kunnostusurakoitsijan verstaalle kunnostettaviksi, mikä osaltaan vaati kosteuden hallinnan suunnittelua työmaaorganisaatiolta. Sääsuojateltan yhteydessä asennettiin julkisivusuojat, joilla hallittiin vesi- ja lumisateiden aiheuttamia kosteusriskejä. (Kuva 16.)



***Kuva 16.** Julkisivusuojia käytettiin sadevesien ohjaamiseen ikkunakunnostustyön aikana*

Julkisivusuojien purkamisen jälkeen avoinna oleviin ikkuna-aukkoihin rakennettiin väliaikaisia ikkunasuojia vesi- ja lumisateiden ohjaamiseen. (Kuva 17.)



***Kuva 17.** Väliaikainen ikkuna-aukon suojarakenne*

Julkisivun kosteudelle herkkiä materiaaleja suojattiin julkisivusuojien lisäksi kevyemmillä suojauskeinoilla. (Kuva 18.)



Kuva 18. Julkisivun villaeristeiden sääsuoja ennen pellitystöitä

Työnjohtaja tarkasti ja valokuvasi perusmuurien ja pihakannen bitumivedeneristykset. (Kuva 19.) Dokumentointi luovutettiin työmaan rakennustöiden valvojalle.



Kuva 19. Perusmuurin ja läpiviennin vedeneristystä

Laatoitusurakoitsija toimitti työnjohdon ohjeistuksen mukaisesti märkätilojen lattioiden ja seinien vedeneristyksistä tilakohtaiset näytepalat, joiden paksuus mitattiin digitaalisella työntömitalla. Näytepaloja otettiin vähintään yksi jokaiselta seinä- ja lattiapinnalta. Näytteenottokohdat merkittiin tilan pohjakuvaan. Tilan laatoituslupa annettiin, kun vedeneristyksen riittävä paksuus oli mittaamalla todennettu. Lisäksi tarkastettiin märkätilojen läpivientien vedeneristysten toteutus.

Muita työmaan kosteuden hallinnan toteutuksen keinoja olivat muun muassa:

- kosteuden ja lian kulkeutuminen ulkoa sisälle estettiin asettamalla kuramattoja sisäänkäynneille
- varmistettiin, että useampi kuin kaksi henkilöä tietää työmaan vesi- ja lämpöputkien pääsulkujen sijainnin
- väliaikaiset vesiletkut irrotettiin runkoputkista työpäivän päätteeksi ja kynsiliihtimien käyttöä sisätiloissa rajoitettiin
- varmistettiin, että työmaalla on jatkuvasti riittävästi materiaalisuojaukseen tarvittavia materiaaleja.

Työmaan kosteuden hallinnan toteutuskeinot osoittautuivat riittäviksi, eikä kosteuden vuoksi jouduttu vaihtamaan pilaantuneita materiaaleja tai purkamaan valmiita rakenteita.

4.4.3 Kuivumisolosuhteiden hallinta

Työmaalla mitattiin rakennuskohteen sisäilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta viidellä Tinytag View 2 TV-4500 –mallin dataloggerilla. Loggerit sijoitettiin eripuolille rakennusta siten, että sisätilojen olosuhteista voitiin muodostaa kokonaiskuva. Mittaukset aloitettiin lattiavalutöiden päätyttyä. Tavoiteolosuhteina olivat alle 45 % suhteellinen kosteus ja yli 20 °C lämpötila. Työmaan työnjohtaja keräsi mittareiden keräämän datan viikoittain ja koosti tiedot taulukkomuotoon. (Kuva 20.)

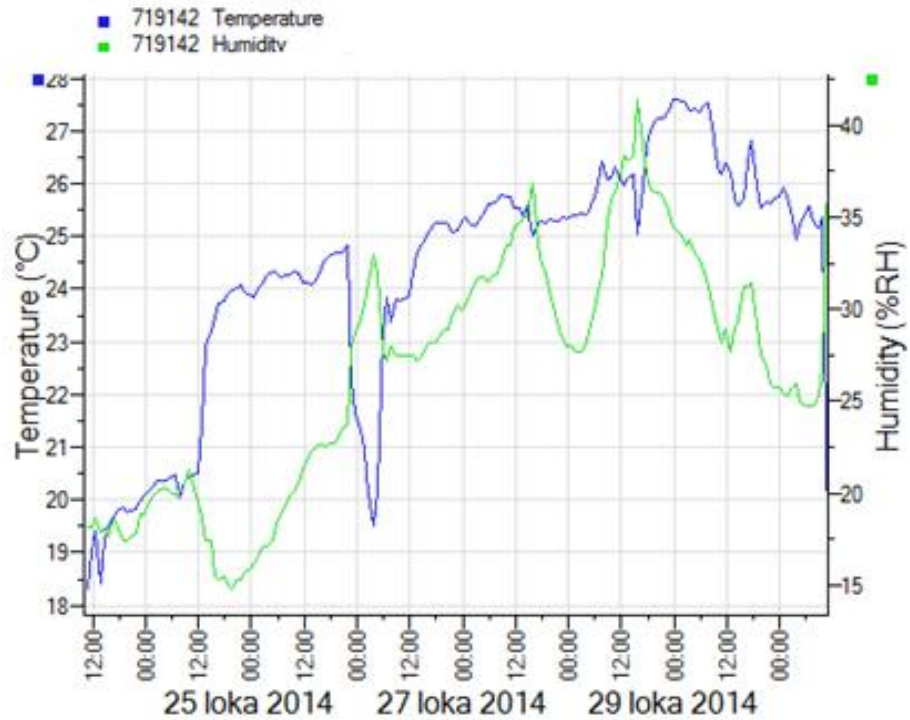
Tila		Sarake1	Mittausjakso	Mittausjakso2	Mittausjakso3	Mittausjakso4
Mittari 1	105	Mittari 1	30.9.-9.10.14	9.10.-16.10.14	16.10.-23.10.14	23.10.-30.10.14
Mittari 2	125	RHmin	38,4 %	34,9 %	20,5 %	22,5 %
Mittari 3	200	RHmax	59,5 %	60,3 %	60,6 %	68,6 %
Mittari 4	202	RHavg	49,1 %	49,3 %	40,8 %	49,0 %
Mittari 5	301	Tmin (°C)	13,6	12,2	10	4
		Tmax (°C)	21,1	19,3	19,5	20
		Tavg (°C)	15,6	16,4	12,1	15,3

Sarake1	Mittausjakso	Mittausjakso2	Mittausjakso3	Mittausjakso4
Mittari 2	29.9.-9.10.14	9.10.-16.10.14	16.10.-23.10.14	23.10.-30.10.14
RHmin	38,1 %	19,8 %	15,0 %	14,7 %
RHmax	58,5 %	54,4 %	35,8 %	41,4 %
RHavg	49,4 %	38,7 %	23,5 %	26,6 %
Tmin (°C)	11,5	17,9	16,5	18,3
Tmax (°C)	21,2	23,2	25,3	27,6
Tavg (°C)	15,3	20,9	20,5	24,3

Sarake1	Mittausjakso	Mittausjakso2	Mittausjakso3	Mittausjakso4
Mittari 3	30.9.-9.10.14	9.10.-16.10.14	16.10.-23.10.14	23.10.-30.10.14
RHmin	27,7 %	20,1 %	12,4 %	13,4 %
RHmax	60,7 %	43,0 %	34,3 %	50,4 %
RHavg	43,3 %	32,3 %	21,5 %	32,1 %
Tmin (°C)	10,3	21,6	19,6	14,5
Tmax (°C)	23,5	24,6	24	24
Tavg (°C)	17,4	23,7	21,9	20,2

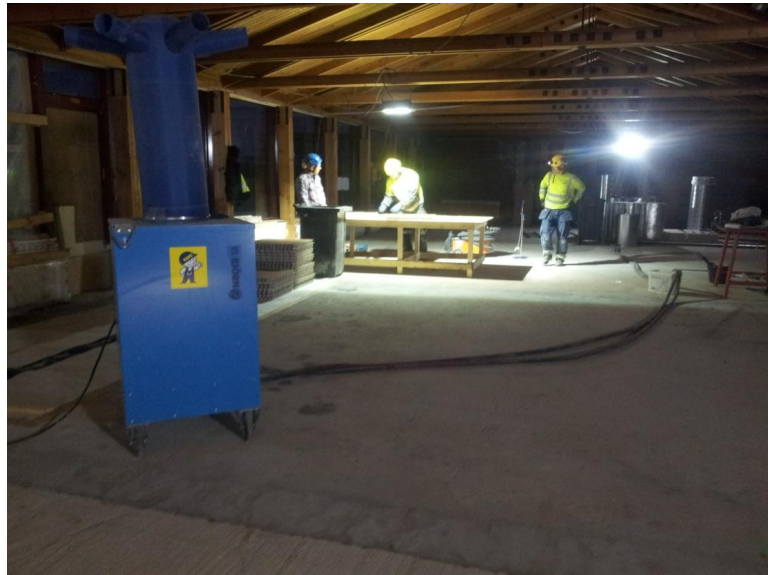
Kuva 20. Kohteessa mitatut sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvot kirjattiin kuivumisolosuhteiden seurantataulukoon

Olosuhteiden tarkempaa tarkastelua ja tehtyjen olosuhteita parantavien toimenpiteiden vaikutuksen seurantaan varten mittareista luettiin myös niiden tuottama graafinen esitys. Kuvasta 21. voidaan nähdä tilassa tehtävien tasoitetöiden vaikutus sisäilman suhteelliseen kosteuteen.



Kuva 21. Olosuhdemittarin viikossa kertyneen datan graafinen esitys

Mittaustietojen avulla voitiin tehdä tarvittavia kuivumisolosuhteita parantavia toimenpiteitä. Esimerkiksi ensimmäisten mittausviikkojen jälkeen parannettiin rakennuksen vaiipan aukkojen tiiviyttä ja asennettiin lisälämmittimiä (kuva 22.) parempien kuivumisolosuhteiden mahdollistamiseksi.



Kuva 22. Väliaikainen vesikiertolämmitin 2. kerroksen ruokasalissa

Väliaikaisten lämmittimien ja aukkojen tiivistyksen lisäksi kuivumisolosuhteita parannettiin syys- ja lokakuussa kondenssikuivaimilla ja rakennuksen ilmaa kierrättävillä puhaltimilla.

4.4.4 Rakenteiden kosteusmittaukset

Kohteen lattiarakenteet olivat pääasiassa maanvastaisia alapohjarakenteita. Ulko- ja väliseinärakenteet olivat pääasiassa massiivitiiliseinärakenteita. Rakenteiden kosteusmittaukset suoritti yritys, jonka sertifioitu kosteusmittaaja laati kohteen kosteusmittaus suunnitelman yhteistyössä työmaan työnjohton kanssa. Kustakin kosteusmittauksesta koostettiin raportti, joka sisältää mittaustulokset, käytetyt mittausten menetelmät ja mittauspisteiden sijaintitiedot.

Työmaan projekti-insinööri laati kuivumisaikalaskelman julkaisun BY 1021 betoni rakenteiden kuivuminen mukaisesti. (Kuva 23.) Kuivumisajan laskemisen lähtökohtana oli elo-syyskuussa vallitseva ulkoilman suhteellinen kosteus.

	Syöttöarvot	Raja-arvo	Peruskuivumisaika
Tavoitekosteus	85,0 %	"80-100"	17,0
Vesi-sideainesuhde	0,50	"0,4-0,7"	Kerroin 0,50
Rakenteen paksuus	100,0 mm	"70-150"	Kerroin 1,60

BY1021

Alusta

Kuiva

Muovi

Märkä

Kastumisaika

Kuivassa

Kosteassa yli 2 viikkoa

Kastunut yli 2 viikkoa

Kuivumisolosuhteet

Kosteus

35 %

50 %

60 %

70 %

80 %

Lämpötila

10 C

15 C

20 C

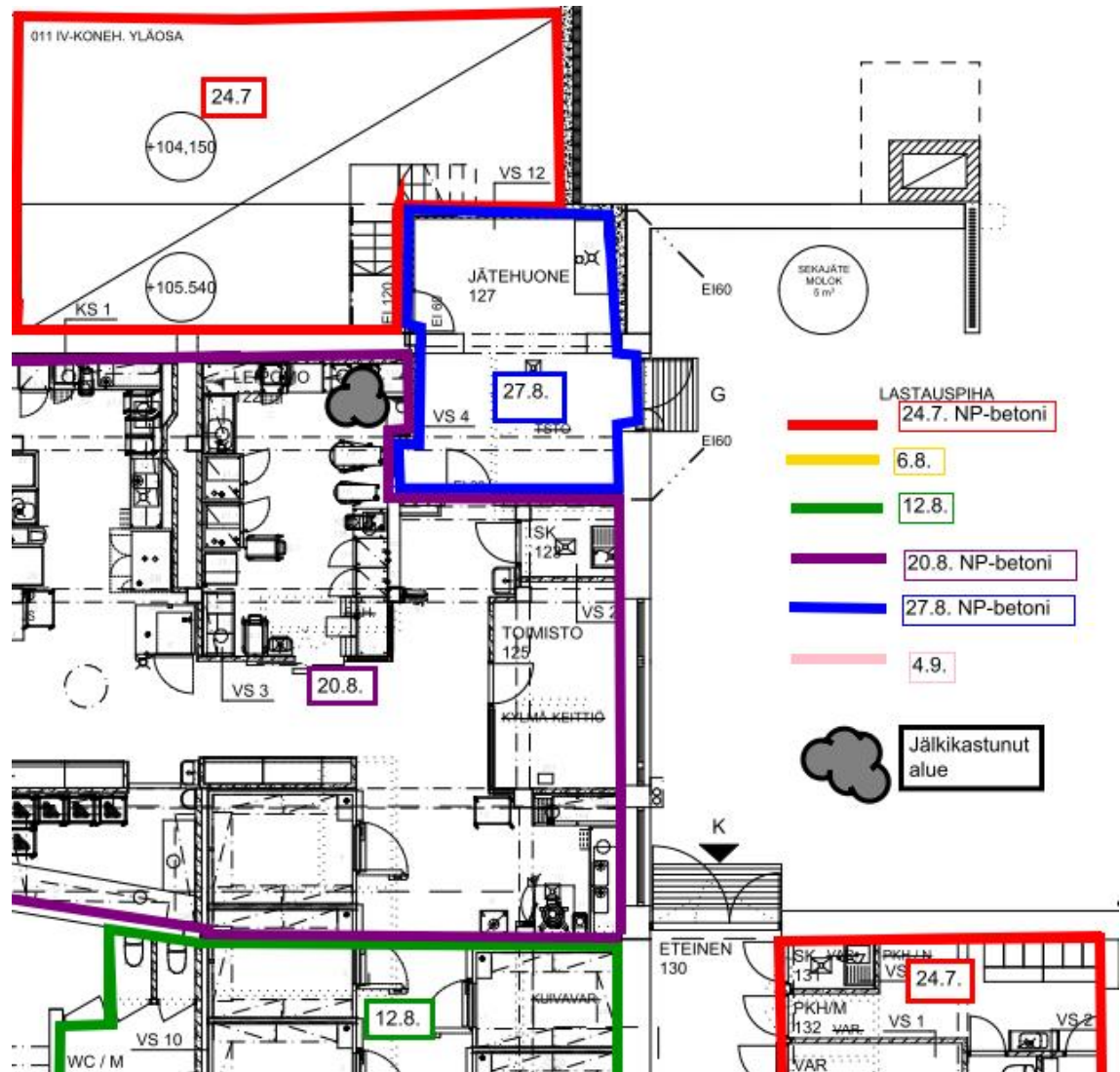
25 C

30 C

Kuivumisaika viikkoina: 12,2

Kuva 23. BY 1021-laskentataulukolla laadittu maanvastaisen alapohjan kuivumisaikalaskelma

Olosuhteiden hallinnan keinoilla saavutettiin laskelmaa paremmat kuivumisolosuhteet ja rakenteet kuivuivat yleisaikataulun mukaisesti. Kuivumisesta nopeutettiin myös hiomalla betoniliima pois valetuilta lattiapinnoilta.



Kuva 24. Työmaan lattiavalualueet, valupäivät ja käytetyt betonilaadut dokumentoitii pohjapiirustuksiin

Kosteusmittausten lähtötiedoksi työnjohtaja dokumentoi kohteen lattiavalualueiden valupäivät ja käytetyt betonilaadut pohjapiirustuksiin. Dokumentoitii liitettiin myös olosuhdemittareiden ja jälkikastuneiden alueiden sijainnit. (Kuva 24.) Työnjohto suunnitteli tilojen valujärjestyksen, käytettävän betonilaadun ja rakenteiden kuivattamisen tilojen suunnitellun valmistumisjärjestyksen ja työmäärän mukaisesti.

Kosteusmittauksia tehtiin kultakin valualueelta, vesieristettävistä seinärakenteista ja matala-alkalisella tasoitteella tasoitetuilta lattialeikeiltä. Tavoitekosteus lattiarakenteissa oli arviointisyvyydellä alle 85 % ja pintaosalta 75 %, tasoitteissa alle 75 % ja seinärakenteissa alle 90 %. Lattiarakenteiden kosteusmittaukset tehtiin porareikä- ja näytepalamenetelmällä. Seinärakenteet ja tasoitteet mitattiin näytepalamenetelmällä. Tavoitearvot alittava mittaustulos mahdollisti rakenteen pinnoittamisen.

Kosteusmittausajankohdat valittiin rakenteiden pinnoitusaikataulun mukaisesti. Kosteusmittaukset aloitettiin vanhojen seinä- ja välipohjarakenteiden kosteuden lähtötasomit-

tauksilla 17.6.2014. Uusien lattia- ja seinärakenteiden kosteusmittaukset aloitettiin lähtötasomittauksella 7.10.2014. Ensimmäisessä mittauksessa osa tuloksista todettiin hylättäviksi liian alhaisen lämpötilan takia. Sisäilman lämpöä onnistuttiin lisäämään ja toisessa seurantamittauksessa 3.11.2014 todettiin mittaustulokset luotettaviksi ja betonilattioiden kuivuneen pääosin alle tavoitekosteuksien. Viimeisessä pinnoitettavuusmittauksessa 8.12.2014 mitattiin lattiarakenteiden kosteus tiloista, joiden mittaustulokset olivat seurantamittauksessa ylittäneet tavoitearvot. Mittaustulokset osoittivat kaikkien tilojen lattiarakenteiden kuivuneen alle tavoitearvojen. (Kuva 25.)

Mittauspäivämäärä 8.12.2014

Mittauspiste				Mittaustulokset		
Mittapiste nro.	Huoneisto /tila	Rakenne	Mittaus-syvyys	Anturinro.	RH%	°C
1.6	134 pukuhuone	betoni	20	C1	67	20
			20	C7	67	20
			48	C9	82	20
			48	C4	84	20

Kuva 25. Ote lattiarakenteiden kosteusmittausraportista

Seinärakenteiden kosteusmittauksia tehtiin 24.10.2014 ja 3.11.2014. Kaksi vanhaa maanvastaista seinää todettiin mittaustulosten perusteella pysyvästi tavoitearvoja kosteammiksi. Näissä seinärakenteissa päädyttiin käyttämään kapillaarikatkokäsittelyä ja normaalia suurempaa kosteusrasitusta kestäväää vesieristettä. Tasoitteiden kosteusmittaus tehtiin 7.1.2015. Kaikkien tilojen kosteusmittaustulokset alittivat tavoitearvot. Kosteusmittausraportit luovutettiin rakennustöiden valvojalle.

4.4.5 Puhtauden hallinta työmaalla

Rakennustöiden puhtauden hallinnan esisijainen vastuu oli olosuhteiden hallintasuunnitelmassa osoitettu työmaapäällikölle, joka vastuutti puhtauden hallinnan tehtäviä edelleen työnjohtajalle. Puhtauden hallinnan toteutuksen tehtäviä olivat muun muassa työkohteiden osastointi ja paineistus, kohdepoistot, P1-tilojen valvonta, rakennussiivous ja jätehuolto. Aliurakoitsijoiden siivousvelvoite, jätteiden lajittelovelvoite ja kohdepoistolla varustettujen laitteiden käyttövelvoite on sisällytetty kohdeyrityksen aliurakkasopimusten urakkaohjelmaan. Rakennussiivous määrättiin suoritettavaksi lastasiivouksella ja HEPA-suodattimilla varustetuilla pölynimureilla.

Työmaan puhtauden hallinnassa korostui työvaiheiden pölyn hallinta. Pölyn hallinnan tavoitteena on estää pölyn siirtyminen likaisesta tilasta puhtaaseen ja rajoittaa ilmaan vapautuvaa pölymäärää, mikä vähentää työmaan siivoustarvetta sekä työmaahenkilöstön

altistumista rakennuspölylle. Erityistä huomiota kiinnitettiin piiloon jäävien rakenteiden puhtauteen. Pölyn hallinnan toteutuskeinojen ensisijaiseksi järjestykseksi määritettiin:

1. työmenetelmien valinta
2. työalueen koneellinen pölynhallinta
3. työntekijöiden henkilösuojaus.

Olosuhteiden hallintasuunnitelmaa laadittaessa kartoitettiin rakennuspölyn syntytapoja ja määritettiin niille hallintatoimenpiteitä. (Kuva 26.)

Työvaihe	Pölyn muodostuminen	Toimenpiteet
Purkutyö	Kiviaineisten rakenteiden sahaamisesta ja piikkaamisesta muodostuva kivipöly Eristeiden purkamisesta muodostuva pöly.	<ul style="list-style-type: none"> - työkoneiden kohdepoisto - tilat eristetään suojaseinin yms. toimenpitein - jätelavojen pölyämistä estetään tarvittaessa kastelemalla - alipaineistus
Betonin hionta / lattian tasoitteen hionta	Etuputsista aiheutuva irtolika ja hionnasta muodostuva betoni- ja kivipöly	<ul style="list-style-type: none"> - työkoneen kohdepoisto; kone liitetään keskuspölynimuriin tai rakennusimuriin - työskentelyalue osastoidaan erilleen muista tiloista - työskentelyalue alipaineistetaan - tila siivotaan työvaiheen päätyttyä
Tasoihteiden hionta	Kipsi- tai laastitasoihteiden hionnasta muodostuva hienojakoinen pöly	<ul style="list-style-type: none"> - käytetään ns. kirahvia, eli kohdepoistolla varustettua hiomalaikkaa - työskentelyalueet osastoidaan muista alueista erilleen - tila alipaineistetaan - tila siivotaan työvaiheen päätyttyä
Laastin valmistus	Laastisäikeistä ilmaan pääsevä hienojakoinen kivipöly	<ul style="list-style-type: none"> - Laastit sekoitetaan ensisijaisesti ulkona - Tarvittaessa laastin sekoittamista varten rakennetaan erillinen laastiasema tai osoitetaan erillinen osastoitu tila - asema alipaineistetaan - pakkausjätteet suljetaan osastoinnin sisällä umpiastiaan tai ehjään jättesäkkiin

Kuva 26. Olosuhteiden hallintasuunnitelman laadinnan aikana kartoitettuja pölyn syntytapoja ja hallintakeinoja

Toimenpiteet läpikäytiin yhdessä työvaiheen urakoitsijan kanssa. Pölyn hallinnan toteutuksen suunnittelemista edellytettiin myös osaksi urakoitsijoiden työsuunnitelmia esimerkiksi osaksi purkutyösuunnitelmaa.

Työmaan työnjohto valvoi puhtauden hallinnan toteuttamista ja käytettäviä työtapoja. Puhtauden hallinnan puutteet kirjattiin myös osaksi TR-mittausta normaalin käytännön mukaisesti. Tarvittaessa aliurakoitsijoita huomautettiin siivousvelvoitteen täyttämistä ja työt keskeytettiin, mikäli pölyn hallinnassa havaittiin selkeää puutteellisuutta.

4.4.6 Puhtaustarkastukset

Alakattojen ummistusluvan, talotekniikan toimintakokeiden ja rakennuksen luovutuksen aloittamisen edellytyksenä oli kyseisten tilojen ulkopuolisen tarkastajan toteama P1-puhtausluokka. Ulkopuolinen tarkastaja teki kohteessa kahdeksan P1-tarkastusta. Alakattojen yläpuolisia tiloja tarkastettiin 14.1.2015, 22.1.2015, 19.2.2015 ja 20.2.2015. Ilmanvaihtojärjestelmän toimintakoevalmiutta edeltäviä tarkastuksia tehtiin 2.3.2015, 6.3.2015 ja 9.3.2015. Rakennuksen luovutusta edeltävä P1-puhtaustarkastus tehtiin 1.4.2015. Tarkastuksissa tarkastettiin tilapintojen, kalusteiden, tekniikka-asennusten ja tuloilmakanavien puhtautta, joista tehdyt havainnot tarkastaja kirjasi tarkastuspöytäkirjaan. (Kuva 27.)

Alueen valmiustaso:

Jäljellä olevia töitä mm.: laiteasennuksia

	+/- *
Alue merkitty "P1-alue" -merkinnöin	+
Suojaseinämät pölytiivit	+
Läpimenot muille alueille pölytiivit	+
Pölyvät työvaiheet tehty	+
Alueelle järjestetty kohdepoistolla varustettu osastoitu tila pölyä synnyttäviä rakennustöitä varten (esim. listojen sahaus)	-

* += Ok, -= Ei kunnossa, katso toimenpiteet

Alueen puhtaustaso:

Tilanumero / Tilan nimi **	+/- *														
	128	126	125	123	122	124	120	127	011	134	135	130	132	133	141
Alakattojen yläpuoliset tilat															
Seinät	-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+
Kalusteet	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Lattiat	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+

* += Ok, -= Ei kunnossa, katso toimenpiteet

** Ks. Liite 1

IV-kanavien puhtaustaso:

IV-kanavien ja koneiden puhtaustaso tarkastettiin geeliteippimittauksilla. Tulokset liitteessä 2.

Kuva 27. Puhtaustarkastuksen pöytäkirja puutteellisesti siivotun tilan tarkastuksessa

Työmaan työnjohto ajoitti tilojen siivouksen ja puhtaustarkastukset työvaiheiden aika-
taulun mukaisesti. Tarkastuksiin osallistuvat puhtaustarkastaja, työmaan työnjohtaja ja
P1-siivouksesta vastaava siivousurakoitsija. Havaitut puutteet pyrittiin korjaamaan vä-
littömästi tarkastuksen edetessä.

Mikäli kaikkia puutteita ei tarkastuksen yhteydessä ehditty korjaamaan, suoritettiin uusintatarkastus. Osa uusintatarkastuksista sovittiin tehtäväksi siten, että työnjohto dokumentoi puutteiden korjaamisen (kuva 28.) ja välitti tiedon tarkastajalle, joka kuittasi puutteet korjatuiksi.



Kuva 28. Alakaton yläpuolisten tilojen dokumentointia

Tarkastuksen jälkeen alakattoihin jäivät aukot esimerkiksi IV-päätelaitteiden kohdalla suojattiin pölyn kulkeutumisen estämiseksi puhtausluokiteltuun tilaan. Tarkastaja koosti puhtaustarkastuspöytäkirjat ja tehdyt korjaustoimenpiteet puhtaustarkastusraporttiin, joka luovutettiin rakennuttajalle.

Virallisten P1-tarkastusten lisäksi rakennuttaja tilasi työmaalle kaksi työmaanpuhtauden arviointitarkastusta 11.2.2015 ja 17.2.2015. Ensimmäisen tarkastuksen jälkeen rakennuksen lattiakaivot suojattiin uudelleen tiloissa, joista ne oli poistettu. Toisessa tarkastuksessa ei havaittu merkittäviä puutteita.

4.5 Tiiviysmittaukset

Kohteen luonteesta johtuen kohteessa ei tehty rakennusvaipan ilmanvuotoluvun mittauksia. Rakennustöiden yhteydessä tehtiin myös ikkunakarmien ja ulkoseinien liittymien tiiviyskorjauksia. Korjausten tiiviyttä mitattiin merkkiainetutkimuksella neljässä tilassa. Tarkoituksena oli selvittää mahdollisia vuotoilmareittejä rakenteista sisätiloihin. Mittaukset suoritti kohteen sisäilma-asiantuntija. Mittauksissa havaittiin vuotoja ikkunoiden rakenteissa ja kuorimuurauksen saumoissa. (Kuva 29.)

Kokoustila 201

- Mittaushetkellä alipaine oli ulkoilmaan nähden 14 Pa



Kuva 29. Tilan 201 mittauksessa havaitut vuotokohdat

Mittausraportin tuloksena todettiin, että rakenteita ei saada tiivistämällä täysin ilmatii- viiksi. Rakenteiden sisältämien mahdollisten haitta-aineiden kulkeutumisen estämiseksi sisäilmaan oleellista on, että ilmanvaihto säädetään tasapainoon eli sisäilma ei saa olla liian alipaineinen ulkoilmaan nähden. Sisäilma-asiantuntijan suosituksena rakennuksen paine-eroksi oli 0...-2 Pa.

4.6 Ilmanvaihdon säätö ja mittaus

Rakennuksen ilmanvaihto oli suunniteltu lähes tasapainoiseksi tulo- ja poistoilmojen suhteen. Valmistuskeittiötila oli suunniteltu ilmanvaihdon tehostuksen aikana 4,23 % alipaineiseksi ja rakennuksen muut tilat 0,78 % alipaineisiksi. Suunniteltujen tulo- ja poistoilmamäärien suhteita voitiin työmaalla pitää terveen talon toteutuksen mukaisina.

Ilmanvaihtourakoitsija varmensi työmaan mittaus- ja säätötyövaiheessa asennusten suunnitelmien mukaisuuden. (Kuva 30.)

Tila	Tulovent.	Kpl	Ilmamäärä l/s		Pa m/s	As. mm	Poistovent.	Kpl	Ilmamäärä l/s		Pa	As. mm
			suunn.	mitat.					suunn.	mitat.		
							DIRU 160	1	45	42	28	8
206							DIRU 125	1	30	30	35	5
307							KSO 125	1	20	20	71	-3
HISSI							DIRU 100	1	20	19	59	2,5
HISSI							DIRU 100	1	20	19	59	2,5
YHTEENSÄ:			2420	2409					2439	2430		
Huom:												

Mittalaitteet: TSI VELOCICALC PLUS 9565

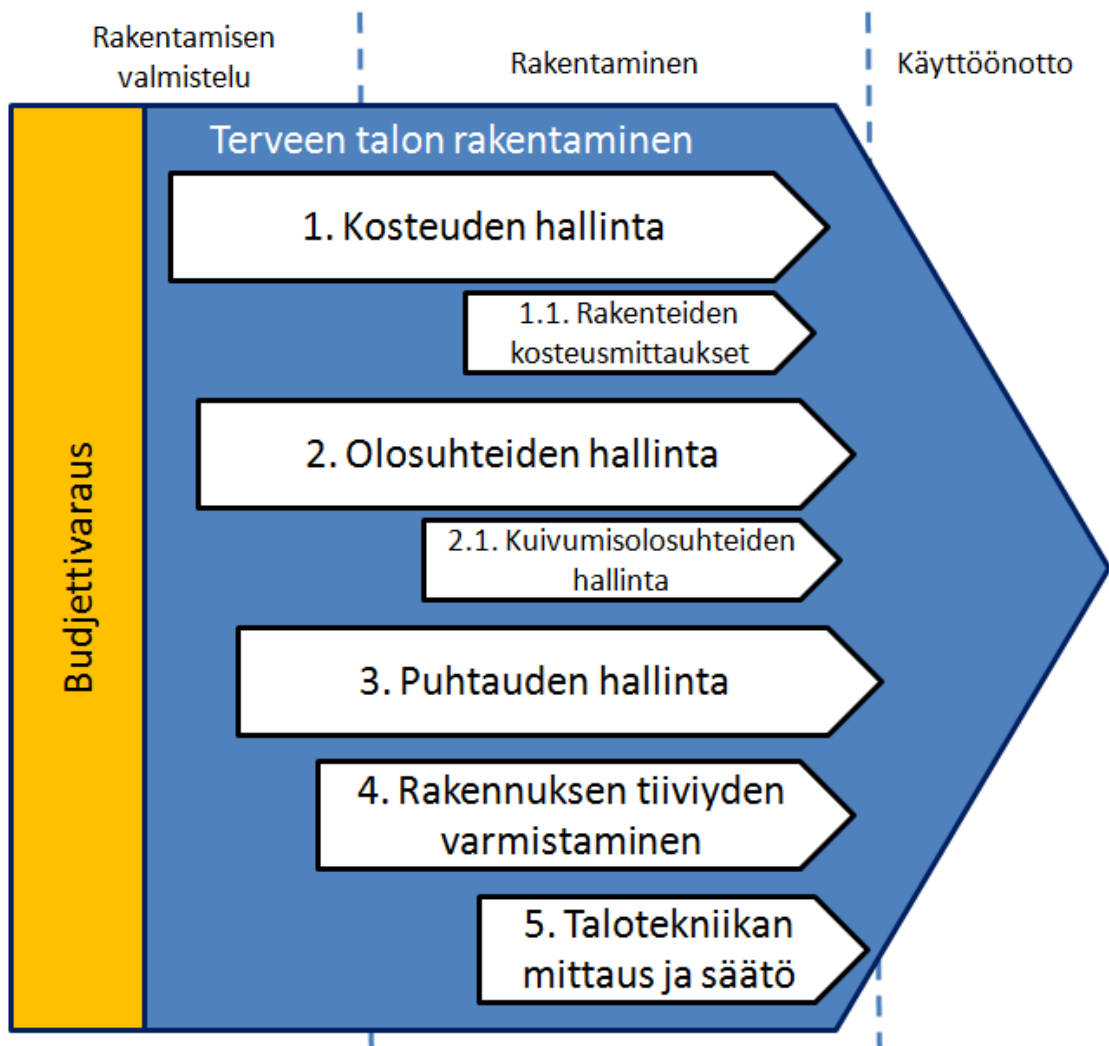
Kuva 30. Ilmanvaihdon suunnitelmien mukainen toteutus varmistettiin mittauksilla ja säädöillä

Sisä- ja ulkoilman paine-eromittauksia ei tehty. Mittauspöytäkirjat luovutettiin hankkeen rakennuttajalle.

5. TUTKIMUKSEN TULOKSET

5.1 Terveen talon rakentamisen prosessi

Tutkimuksen tuloksina esitetään terveen talon rakentamiseen liittyviä laadun hallinnan prosesseja. Prosessit on muodostettu kirjallisuusselvityksessä selvitetyn teorian ja tapaututkimuksen empiiristen havaintojen perusteella. Terveen talon rakentamisen prosessi esitetään prosessikarttana (kuva 31.) ja aliprosessit resurssi aika –kaaviona kohdeyrityksen toimintajärjestelmän esitystapojen mukaisesti. Prosessin tehtävien toteuttaminen on huomioitava myös hankkeen budjetissa.



Kuva 31. Terveen talon rakentamisen prosessikartta aliprosesseineen

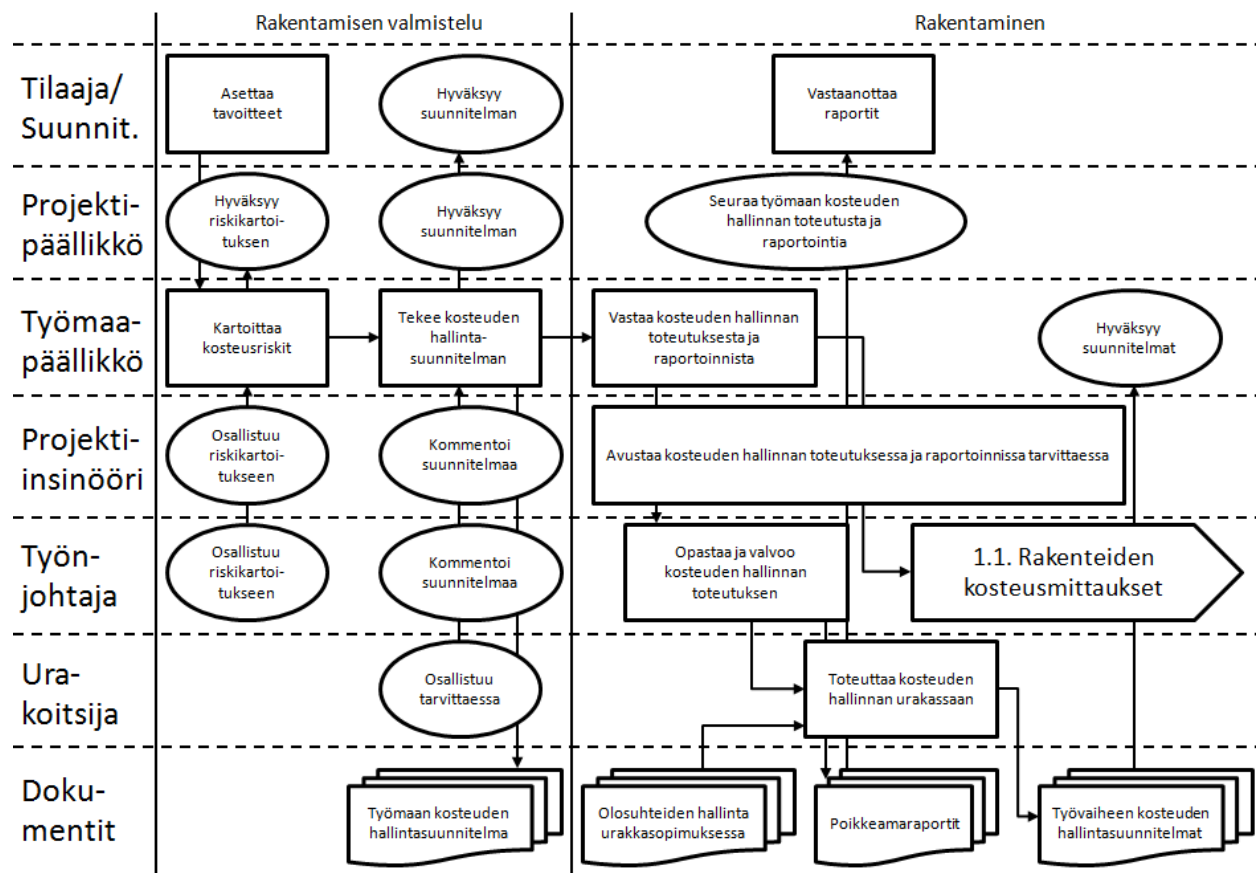
Aliprosesseiksi, prosessit 1.-5., on valittu terveen talon toteutuksen kannalta keskeisimmät kokonaisuudet. Prosessikuvauksiin on liitetty myös kokonaisuuteen liittyvä dokumentaatio. Rakentamisaikaisen tehtävien lähtökohtana on terveen talon toteutuksen mukaisiksi todetut toteutussuunnitelmat.

5.2 Aliprosessit

Aliprosessien prosessikaaviot on muodostettu tapaustutkimuksen rakennus hankkeen organisaation mukaisesti. Tilaaja/suunnittelija resurssi kuvaa hankkeen tilaajaan sopimussuhteessa olevia tahoja esimerkiksi valvojat, suunnittelijat ja rakennuttaja. Urakoitsija resurssi voi tarkoittaa useampaa kuin yhtä toimijaa.

Prosessit ovat muunneltavissa vastuiden ja kulloinkin käytettävän organisaation tai urakkamuodon mukaan. Suorakulmiolla on kuvattu prosessin tärkeimmät tehtävät, jotka tulee suorittaa organisaatiosta riippumatta. Ellipsi kuvaa tehtäviä, jotka on suositeltavaa toteuttaa. Tehtävien sisällöt selviävät tämän tutkimuksen kappaleista 2. ja 4. Työmaan kosteuden hallinnan prosessikaavio on esitetty kuvassa 32.

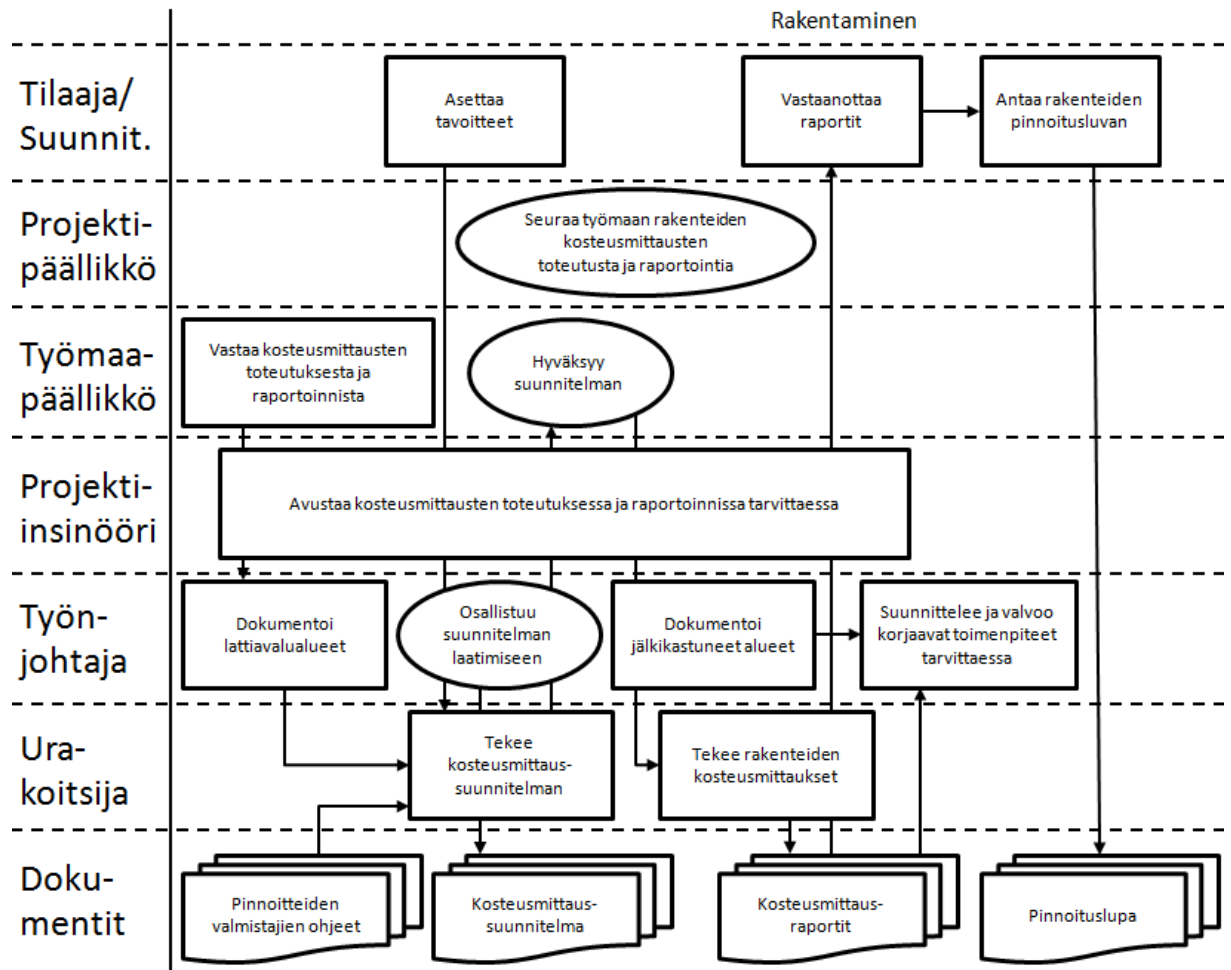
1. Kosteuden hallinta



Kuva 32. Työmaan kosteuden hallinnan prosessikaavio

Kosteuden hallintaan on sisällytetty rakenteiden kosteusmittaukset, joiden toteuttaminen on kuvattu kaaviossa 1.1. (Kuva 33.) Hyväksytysti suoritettujen kosteusmittausten jälkeen rakenteet voidaan pinnoittaa kosteudelle herkällä materiaaleilla.

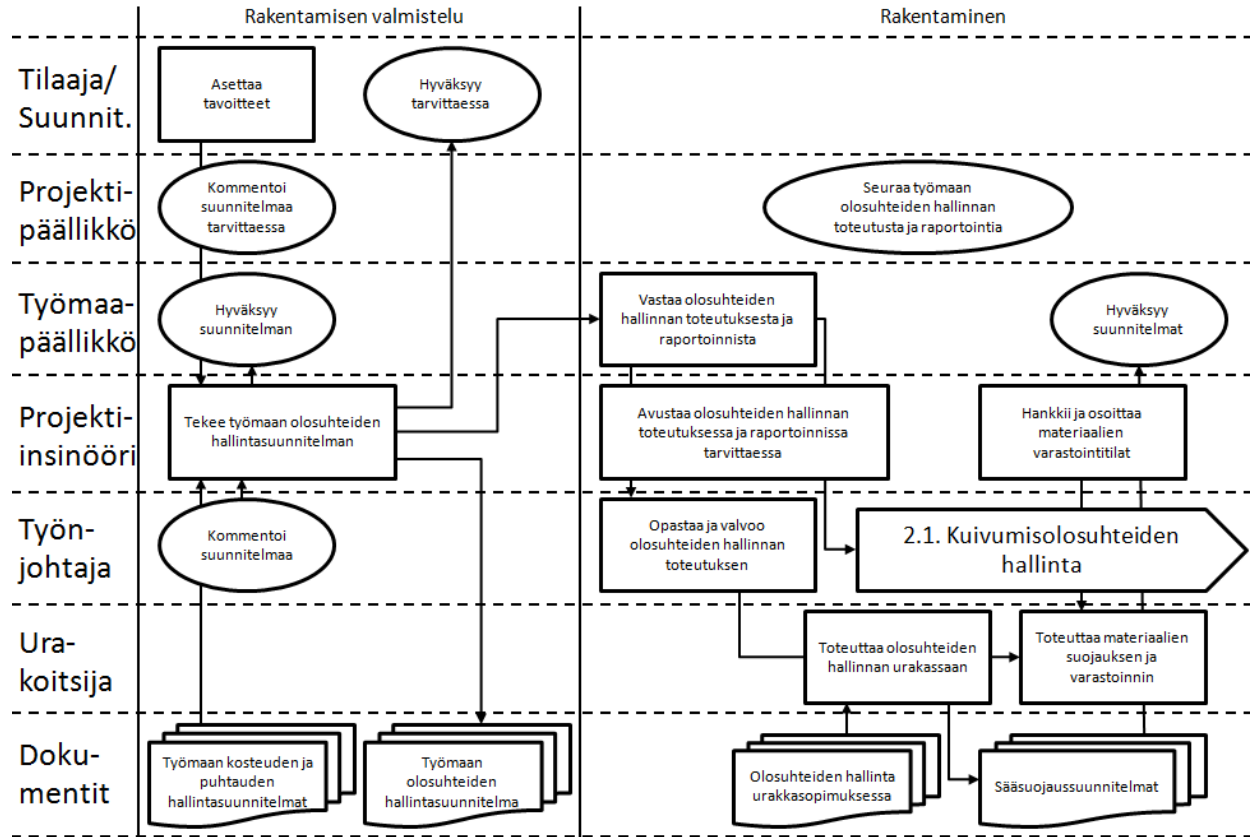
1.1. Rakenteiden kosteusmittaukset



Kuva 33. Rakenteiden kosteusmittausten prosessikaavio

Kosteuden ja puhtauden hallinta voidaan tulkintatavasta riippuen liittää työmaan olosuhteiden hallinnan aliprosessiksi. Tässä tutkimuksessa olosuhteiden hallinta on esitetty omana prosessikaavionaan. (Kuva 34.)

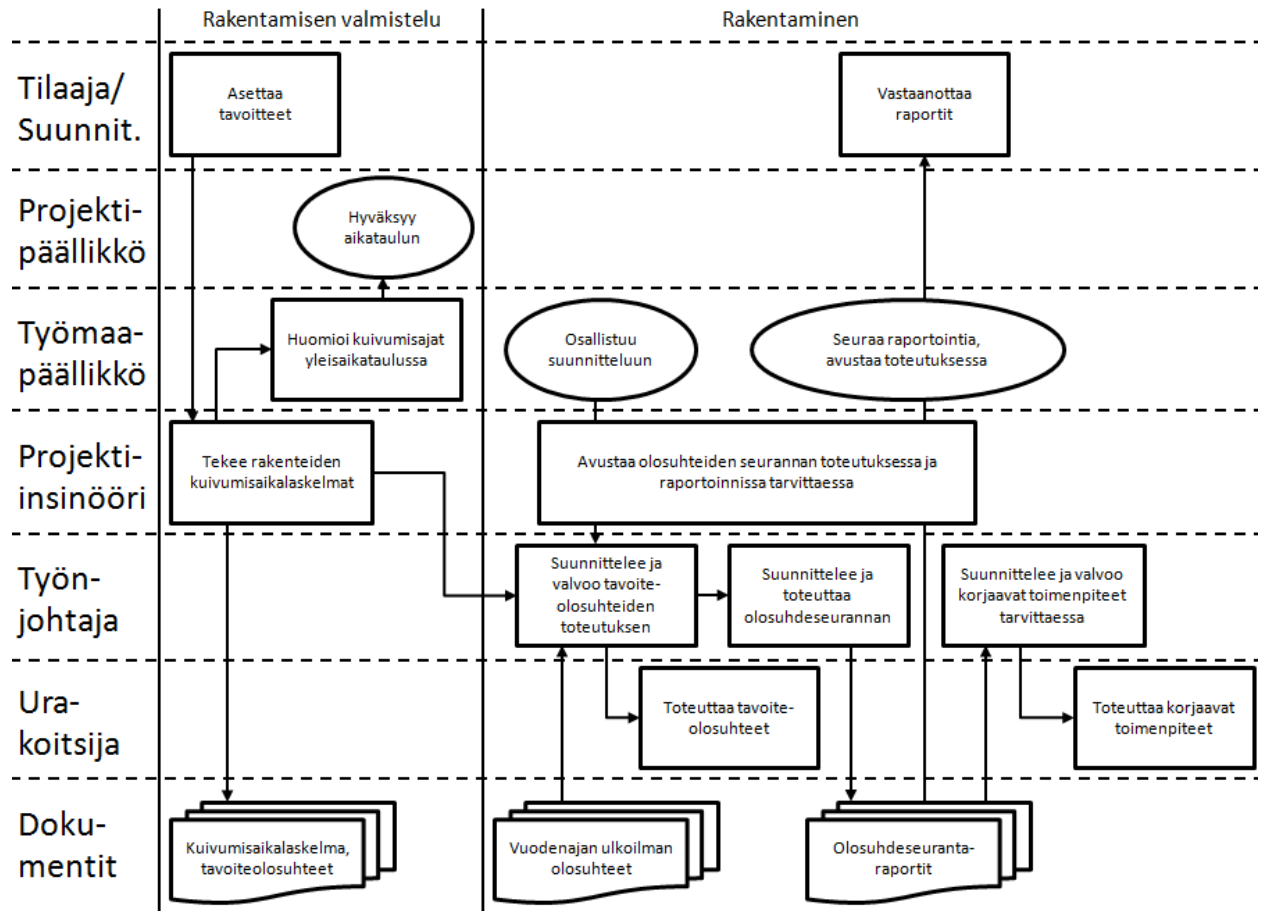
2. Olosuhteiden hallinta



Kuva 34. Rakentamisen olosuhteiden hallinnan prosessikaavio

Rakenteiden kuivumisolosuhteiden hallinta on osa työmaan olosuhteiden hallinnan prosessia. Kuivumisolosuhteiden hallinta on merkittävä osa terveen talon taloudellista rakentamista. Tästä johtuen se on kuvattu omana prosessinaan kuvassa 35.

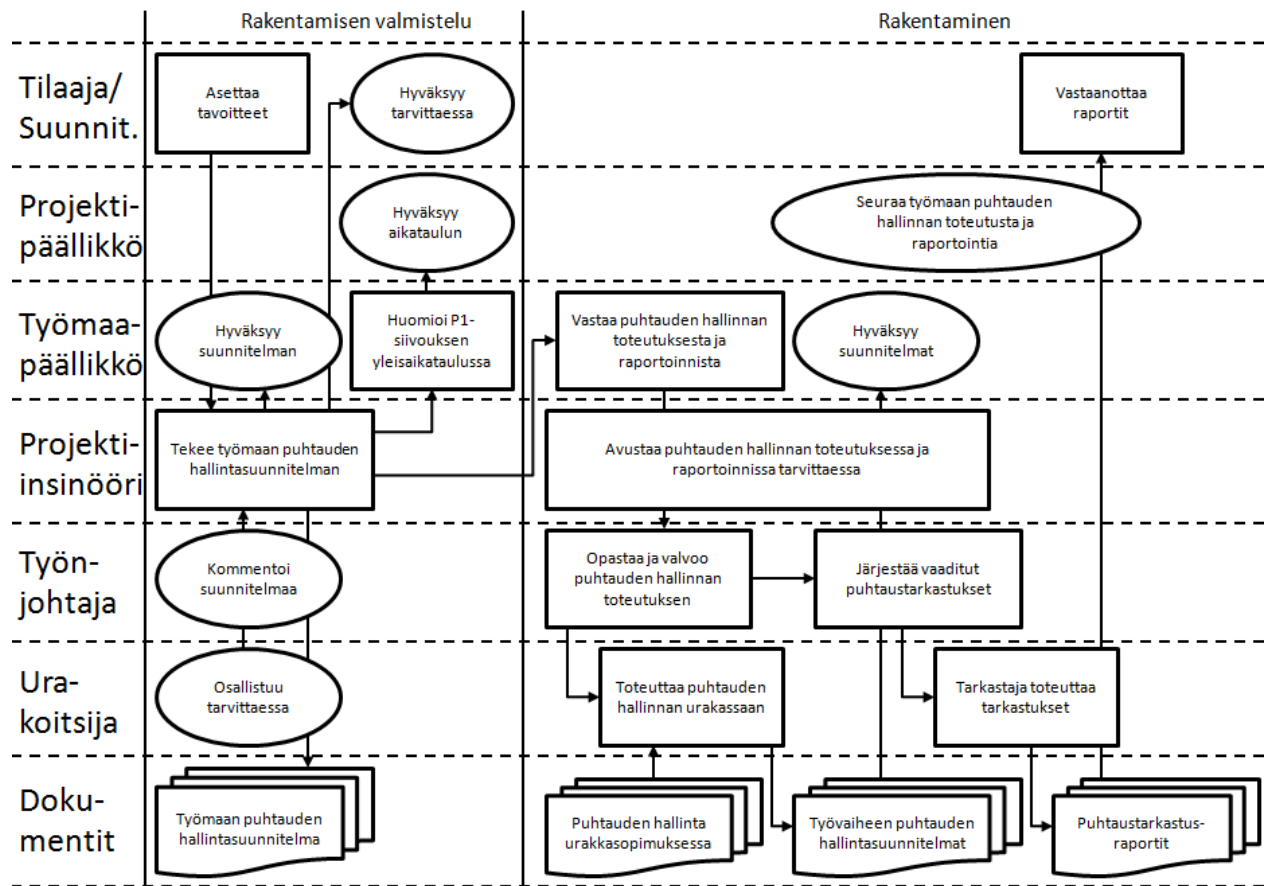
2.1. Kuivumisolosuhteiden hallinta



Kuva 35. Kuivumisolosuhteiden hallinnan prosessikaavio

Rakentamisen puhtauden hallinnan prosessi on esitetty kuvassa 36.

3. Puhtauden hallinta

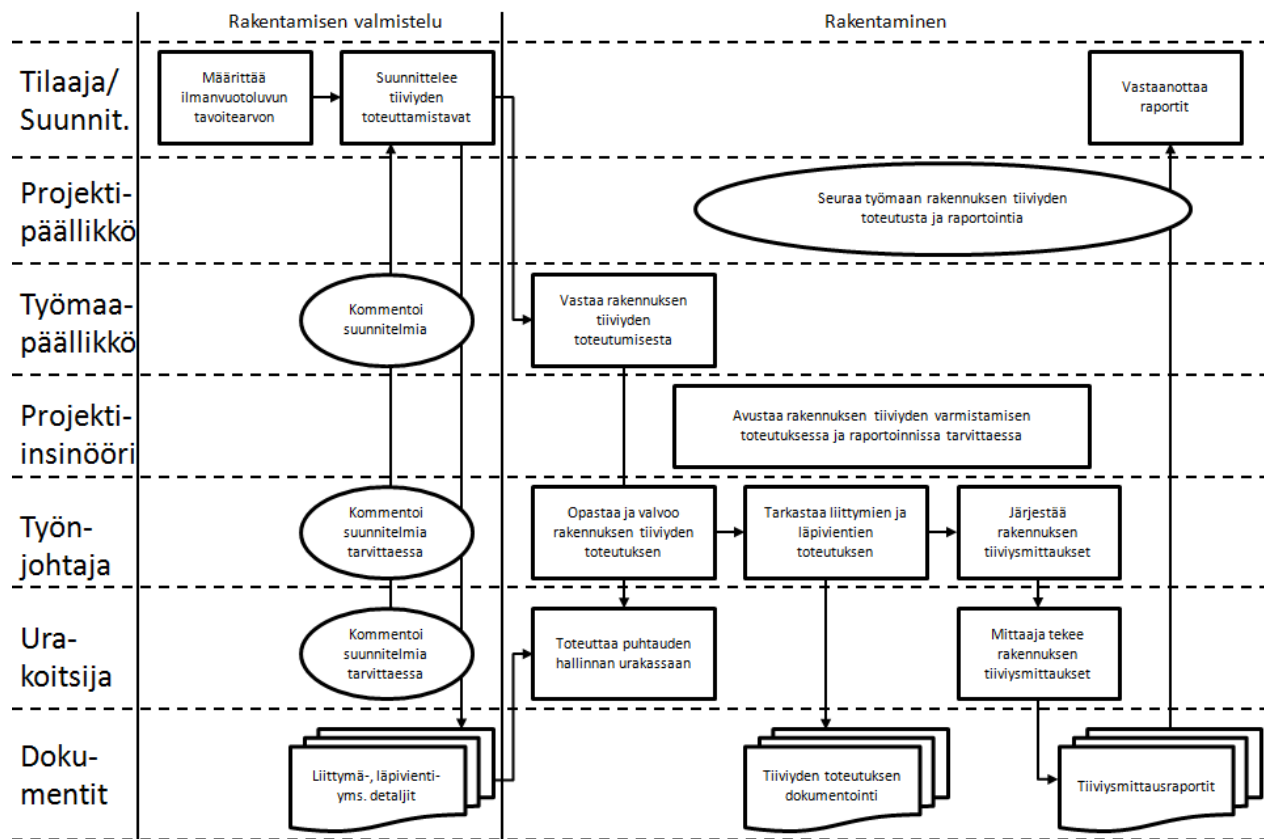


Kuva 36. Rakentamisen puhtauden hallinnan prosessikaavio

Prosessin tehtävien sisällöt vaihtelevat rakentamisen puhtausluokan mukaan. Suositeltavaa on kuitenkin toimia rakentamisen ja ilmanvaihtotöiden puhtausluokan P1 vaatimuksia noudattaen.

Rakennuksen tiiviyn varmistamisen prosessi on esitetty kuvassa 37.

4. Rakennuksen tiiviyn varmistaminen

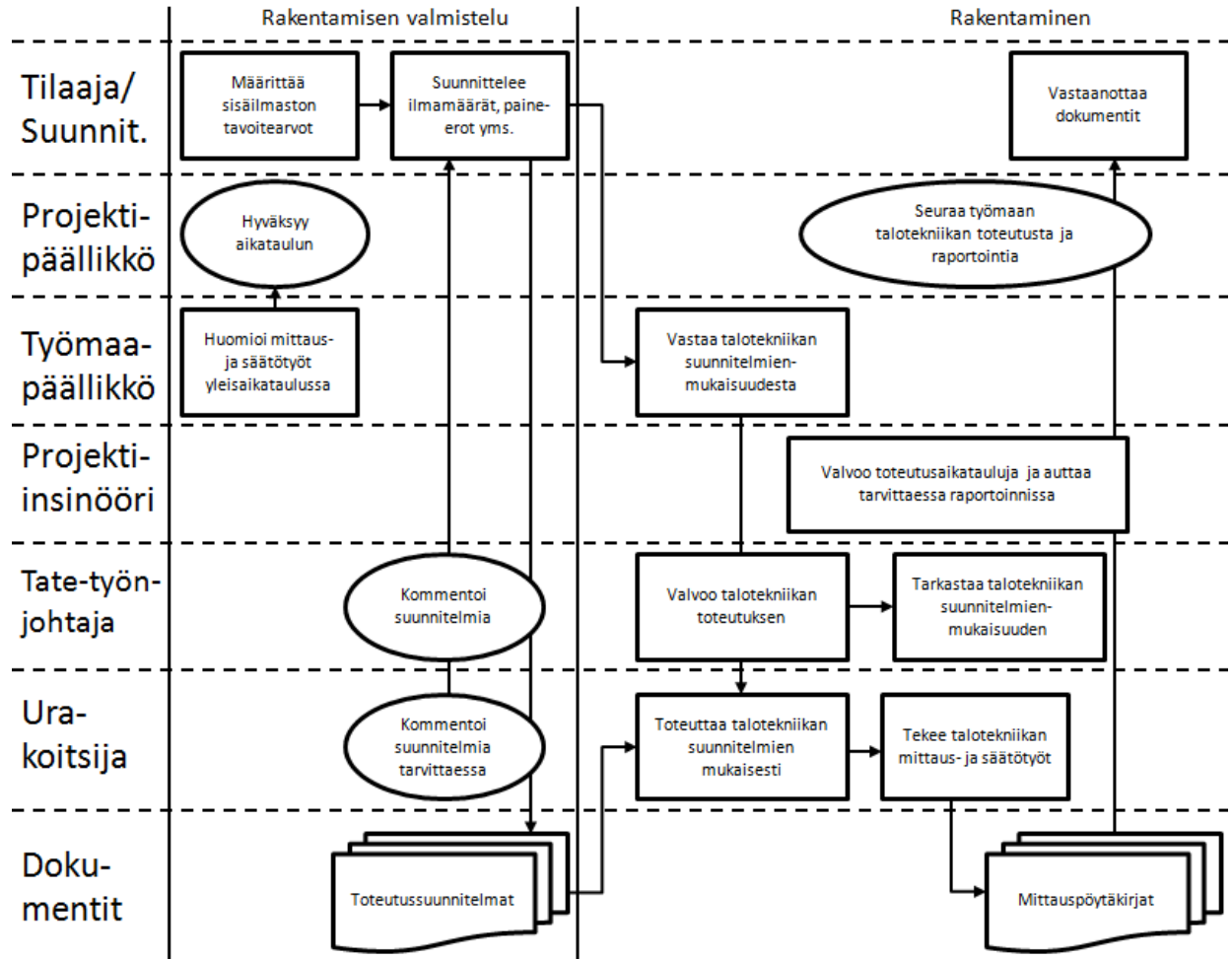


Kuva 37. Rakennuksen tiiviyn varmistamisen prosessikaavio

Tiiviyn varmistamisessa korostuu huolellinen työn toteuttaminen ja valvonta. Tiivysmittaukset tehdään puolivalmiista ja valmiista rakennuksesta esimerkiksi tila- tai porraskohtaisesti.

Energiatohokkaassa ja tiiviissä rakentamisessa terveen talon toteutuksessa korostuu talotekniikan, erityisesti ilmanvaihdon, tarkoituksen mukainen toiminta. Talotekniikan mittausten ja säätöjen toteutuksen prosessi on esitetty kuvassa 38.

5. Talotekniikan mittaus ja säätö



Kuva 38. Talotekniikan mittaus- ja säätötyön prosessikaavio

Huomioitavaa on, että erinomaisinkaan mittaus- ja säätötyön toteutus ei takaa järjestelmien terveen talon toteutuksen mukaista toimintaa ja hyvää sisäilmaa, mikäli talotekniikan suunnittelussa ei ole onnistuttu.

6. POHDINTA

6.1 Tulosten tarkastelu

Rakennusten energiatehokkuudelle asetettavat vaatimukset tulevat muuttamaan rakentamisen laadun varmistuksen merkitystä terveiden ja turvallisten rakennusten tuotannossa. Toimivat laadun hallinnan prosessit voivat parantaa rakennustyömaan laadun tuottoa ja yrityksen kilpailukykyä, mikäli toteuttavalla organisaatiolla on riittävä tietotaito ja selkeästi määritellyt vastuut. Uusien määräysten mukaisia rakennuksia ja rakenteita ei voida rakentaa vanhoilla toimintatavoilla. Laadun tuottokyvyn varmistamisella voidaan osaltaan parantaa myös yrityksen imagoa ja brändiarvoa rakentamisen toimintaympäristössä. Huomioitavaa on, että terveen talon rakentamisen prosessin tehtävien sisältö on aina suunniteltava kohdekohtaiset vaatimukset huomioiden.

Tutkimuksen tuloksena muodostettiin työmaan terveen talon rakentamiseen prosessi-kaaviot. Keskeisimmiksi terveen talon toteutuksen osa-alueiksi valikoituivat työmaan kosteuden, puhtauden ja olosuhteiden hallinta, rakennuksen tiiveyden varmistaminen ja tarkoituksen mukaisesti toimiva talotekniikka. Työn tilaajan diplomityön tukiryhmän palautteen perusteella tutkimuksessa on saavutettu sille asetetut tavoitteet ja tuloksia voidaan käyttää ja soveltaa yrityksen valmistamien lopputuotteiden laadun parantamiseen uudis- ja korjausrakennuskohteissa.

Prosessin hallinnan työkaluiksi tulee tehdä uudenlaisia hankintasopimuksia, joihin terveen talon toteutuksen keskeisimmät tekijät on sisällytetty sanktioineen. Sopimukseen sisällytetään esimerkiksi vaatimukset materiaalien suojaukselle kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aikana, vaatimukset työnaikaisen kosteuden ja puhtauden hallinnan toteutukselle sekä vaatimukset mahdolliselle työvaiheen toteutuksen dokumentoinnille.

Koska tutkimuksessa muodostettiin uusia laadun hallinnan prosesseja, on syytä testata niiden toimivuutta ja kehittää mittareita prosessin laadun sekä terveen talon toteutuksen mittaamiseen. Tutkimuksen lopulliset tulokset syntyivät melko pienen, joskin ammattitaitoisen, ryhmän pohdintatyön tuloksena. Tästä johtuen tuloksia voidaan mahdollisesti edelleen kehittää suuremman ryhmän tarkastelujen perusteella sekä soveltamalla niitä erityyppisissä hankkeissa. Prosessien osaksi tulisi myös kehittää yrityksen sisäisiä mallidokumentteja muun muassa tarkastusten ja mittausten dokumentointiin.

Osa terveen talon rakentamisen prosessin tehtävistä erityisesti kosteuden ja olosuhteiden hallinnan osalta vaatii taloudellisia panoksia, joiden suuruutta tai kannattavuutta ei ole juurikaan tutkittu. Investointien kannattavuuslaskelmissa tulisi käyttää elinkaarilasken-

tamalla, jossa huomioidaan esimerkiksi rakentamisen työtehon parantuminen, korjaustarpeen vähentyminen, rakennuksen käyttäjien tyytyväisyys ja mahdolliset muut välittömät ja välilliset kustannushyödyt. Asennemuutoksen mahdollistamiseksi on hahmotettava rakennusaikaa ja yksittäistä investointia laajempi rakennuksen elinkaaren perspektiivi.

6.2 Tutkimuksen tarkastelu

Kirjallisuusselvityksessä perehdyttiin keskeisiin sisäilmaongelmien aiheuttajiin ja niiden hallintakeinoihin. Kirjallisuusselvityksen aikana terveen talon rakentamisesta muodostui kattava kokonaiskuva, mikä tarkensi tutkimuksen tavoitteita. Selvityksessä tutkittiin suomalaista rakentamista ja suomalaisia alan julkaisuja, koska tutkimuskysymys käsitteli suomalaista rakentamista ja sen prosessien kehittämistä.

Kirjallisuusselvityksessä pyrittiin käyttämään uusimpia kirjallisuuslähteitä ajantasaisen tiedon käytön varmistamiseksi. Sisäilmaongelmien syitä etsittiin myös vanhemmista julkaisuista, koska voitiin perustellusti olettaa, ettei niistä löytyvä tieto ole vanhentunutta. Kirjallisuuteen perehtymisen aikana huomattiin, ettei talotekniikan merkityksestä rakennuksen terveellisyyden varmistamisessa ole juurikaan tutkittua tietoa.

Tutkimuksen tavoitteena oli muodostaa uusia prosesseja, joten tapaustutkimus osoittautui tutkimuksen tavoitteiden saavuttamisen kannalta hyväksi tutkimusmenetelmäksi. Tapaustutkimuksen kohteena ollut työmaa tuki sisällöltään prosessien muodostamista kirjallisuusselvityksen teorian ohella. Parhaassa tapauksessa tapaustutkimuksen kohteena olisi ollut uudiskohde, mikä olisi mahdollisesti tuonut enemmän sisältöä tutkimukseen esimerkiksi runkovaiheen kosteuden hallinnan ja rakennuksen tiiviyyden varmistamisen toimenpiteisiin. Tutkimuksen ajoituksesta johtuen tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista.

Prosessit muodostettiin kirjallisuusselvityksen ja tapaustutkimuksen havaintojen perusteella. Prosessiluonnoksia läpikäytiin diplomityön tukiryhmän palaverissa, jossa todettiin tulosten olevan hyviä. Palaverin keskustelujen jälkeen prosessit muokattiin lopulliseen muotoonsa ja hyväksyttiin kohdeyrityksen toimintajärjestelmästä vastaavassa kehitysyksikössä.

Tutkimuksen sisällön lisäämiseksi olisi voitu käyttää esimerkiksi rakennushankkeen osapuolten teemahaastatteluja. Tätä ei kuitenkaan päädytty tekemään tutkimuksen aikataulun ja laajuuden hallitsemiseksi. Tutkimus valmistui noin kuukausi ennen tutkimussuunnitelmaan kirjattua aikataulutavoitetta. Kaiken kaikkiaan tutkimuksen toteutusta voidaan pitää onnistuneena ja tavoitteet täyttävänä.

LÄHTEET

Asikainen, Vesa, Harry Damsten, Mika Ihalainen, Pentti Kalliokosti, Mika-Markku Karjala, Anne Korpi, Jarek Kurnitski, et al. *Rakennuspölylle Altistumisen Vähentäminen Uudisrakentamisessa*. Kuopion yliopiston ympäristötieteen laitos, 2009.

Eriksson, Päivi, Katri Koistinen. *Monenlainen tapaustutkimus*. Helsinki: Kuluttajatutkimuskeskus Julkaisuja 4:2005, 2005.

Hämäläinen, Jari. "Rakennustyömaan Energiatutkimus." Diplomityö, Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2012.

Helsingin kaupunki Rakennusvalvontavirasto. *Rakentamisen Aikaisen Kosteudenhallinnan Menettelytapaohje*. Helsingin kaupunki, 2014.

Järnström, Helena. *Muovimattopinnoitteisen Lattiarakenteen VOC-Emissiot Sisäilmaongelmatapauksissa*. VTT Publications 571. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 2005.

Järnström, Helena, Kristiina Saarela. *Sisäilman Laati Ja Rakenteiden Emissiot Uusissa Rakennuksissa*. VTT Tiedotteita 2281. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 2005.

Korpi, Timo. "P1-Puhtausluokan Huomioon Ottaminen Uudis- Ja Korjausrakentamisessa." Opinnäytetyö, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 2011.

Kuusela, Hannu, Reijo Ollikainen. *Riskit Ja Riskienhallinta*. Tampere: Tampere University Press, 2005.

Lahtinen, Johanna. "Rakennusaikaisen Kosteuden Hallinta Ja Betonin Kuivumisen Varmistaminen." Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2012.

Merikallio, Tarja, Pentti Lumme. *Betonin Kosteuden Hallinta*. Helsinki: Suomen betonitieto, 1997.

Merikallio, Tarja, Sami Niemi, Juha Komonen. *Betonilattiarakenteiden Kosteudenhallinta Ja Päällystäminen*. Helsinki: Betonikeskus ry, 2007.

Oinonen, Risto-Matti. "Sisäilman Laatu Rakennussiivouksen Aikana." Opinnäytetyö, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 2013.

Oulun kaupunki rakennusvalvontavirasto. "Tiiveyskortti - Ilmantiiveyden Ilmoittaminen Rakennusluvan Yhteydessä." Oulun kaupunki rakennusvalvontavirasto, 2014.

Puhakka, Eija, Beatrice Bäck, Seija Kalso, Risto Vahanen, Hannu Viitanen, Hannu Arvela, Anne Voutilainen, et al. *Terveellinen Sisäilma*. Jyväskylä: Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu Oy, 1996.

Purtilo, Juha-Pekka. "Rakennuksen Ilmanpitävyyden Laadunvarmistus Työmaalla." Opinnäytetyö, Saimaan ammattikorkeakoulu, 2011.

Rakennustieto Oy. *Kone-Ratu 073032 Rakenteiden Lämmitys Ja Kuivatus*. Rakennusteollisuuden Keskusliitto ja Rakennustietosäätiö, 1996.

Rakennustieto Oy. *Ratu 1225-S Pölyntorjunta Rakennustyössä*. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö, 2009.

Rakennustieto Oy. *Ratu C8-0377 Talvityöt Ja -Kustannukset*. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö, 2010.

Rakennustieto Oy. *Ratu S-1232 Rakennustyömaan Sääsuojaus*. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö, 2013.

Rakennustieto Oy. *RT 07-10832 Terveen Talon Toteutuksen Kriteerit - Kriteerit Ja Ohjeet Asuntorakentamiselle*. Rakennustietosäätiö, 2004.

Rakennustieto Oy. *RT 07-10850 Terveen Talon Toteutuksen Kriteerit - Kriteerit Ja Ohjeet Toimitilarakentamiselle*. Rakennustietosäätiö, 2003.

Rakennustieto Oy. *RT 07-10946 Sisäilmastoluokitus 2008 - Sisäympäristön Tavoitearvot, Suunnitteluohjeet Ja Tuotevaatimukset*. Rakennustietosäätiö, 2009.

Rakennustieto Oy. *RT 14-10984 Betonin Suhteellisen Kosteuden Mittaus*. Rakennustietosäätiö, 2010.

Rakennustieto Oy. *RT 80-10974 Teollisesti Valmistettujen Asuinrakennusten Ilmanpitävyyden Laadunvarmistusohje*. Rakennustietosäätiö, 2009.

Rantamäki, Jouko, and Pekka Kivijakola. *Sääsuojat, Esitutkimus*. Tiedotteita 833. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1988.

Rintakoski, Hermanni. "P1-Puhtausluokka Uudisrakentamisessa." Opinnäytetyö, Vaasan ammattikorkeakoulu, 2012.

Salmi, Tuula, and Tapio Kemoff. *Home- Ja Kosteusongelmat Rakennuksessa*. Joutsa: Suomen kiinteistöliitto ry, 1996.

Sarja, Asko. "Rakennuksen Tiiviys." *Rakentajain Kalenteri 2010*, 928. Rakennustietosäätiö ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry, 2009.

Seppänen, Kim. ”Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli.” Aducate reports and books 9/2010, Itä-Suomen Yliopisto, 2010

Seppälä, Pekka. *Rakentamisprosessin Kosteudenhallinta - Rakennuttajan Laatuvalinnat, Suunnittelu, Työmaatoteutus Ja Ylläpito*. Oulun yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut/rakennusvalvonta, 2013.

Sisäilmayhdistys ry. Työmaan kosteuden hallinta [WWW] Saatavissa [viitattu 07.04.2015]: <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/korjausten-laadunvarmistus/tyomaan-kosteudenhallinta/>.

Sorsa, Eetu. ”Työohje Pölynhallinnasta Alipaineistusmenetelmällä.” Opinnäytetyö, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 2011.

Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumisterveysopas 2009. Vammala: Ympäristö- ja terveyslehti, 2008.

Suomen Betoniyhdistys ry. *BY 47 Betonirakentamisen Laatuohjeet 2013*. Vantaa: Suomen Betoniyhdistys ry, 2013.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. *RIL 249-2009 Matalaenergiarakentaminen Asuinrakennukset*. Saarijärvi: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto Ry, 2009.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. *RIL 250-2011 Kosteudenhallinta Ja Homevaurioiden Estäminen*. Saarijärvi: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto Ry, 2011.

Uudenmaan työsuojelupiiri. ”Asuinkiinteistöjen Kylpyhuone- Ja Putkistosaneeraukset - Toimintaohje.” Uudenmaan työsuojelupiiri, 2007.

Teriö, Olli. *Betonivalmisosarakentamisen Kosteudenhallinta*. Tampere: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 2003.

Teriö, Olli, Anssi Koskenvesa, Tuomas Palolahti. ”Työmaan Rakennusaikainen Kosteudenhallinta.” *Ilmastomuutoksen Ja Lämmöneristyksen Lisäyksen Vaikutukset Vaipparakenteiden Kosteusteknisessä Toiminnassa Ja Rakennusten Energiankulutuksessa*, 354. Tutkimusraportti 159. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, 2013.

Toivari, Olli-Pekka. ”Kosteudenhallinnan Ja Sääsuojaoksen Taloudellinen Tarkastelu”. Diplomityö, Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2011.

Työterveyslaitos. Sisäilmaongelmat - Tiedote Työpaikalle Ja Työterveyshuoltoon. Saatavissa (viitattu 30.04.2015): http://www.ttl.fi/fi/tyoterveyshuolto/ammattitaudit/alakohtaista_tietoa/Documents/sisailmaongelmat.pdf.

Vilpo, Matti. ”Talon Rakentamisen Kosteudenhallinta”. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2012.

Ympäristöministeriö. *RamMK C2. 1998. Suomen Rakentamismääräyskokoelma - Kosteus*. Helsinki: Ympäristöministeriö, 1998.