



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Saara Jyrkönen

Rakennusaikainen lämmitys lattialäm- mityskohteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

12.4.2019

Tekijä Otsikko	Saara Jyrkönen Rakennusaikainen lämmitys lattialämmityskohteissa
Sivumäärä Aika	115 sivua + 2 liitettä 12.4.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Jukka Yrjölä hankekehityspäällikkö Jussi Kilpelä
<p>Tämä insinööri työ on tehty toimeksiantona Uponor Suomi Oy:lle, jonka tarkoituksena on tulevaisuudessa tehdä tämän työn pohjalta selkeä ohjeistus urakoitsijoille lattialämmityksen käyttöönotosta ja sen hyödyntämisestä jo rakennusaikana. Rakennusaikaista lämmitystä tarvitaan, jotta työmaalla saavutettaisiin vaaditut olosuhteet työskentelylle, tiloille sekä rakenteille. Koska lämpötilan nostaminen on yksi tehokkaimpia tapoja nopeuttaa rakenteiden kuivumisprosessia, liittyy rakennusaikaiseen lämmitykseen olennaisesti myös kuivaus.</p> <p>Insinööri työnsä tavoitteena on lisätä urakointiyriytysten tietoutta erilaisista rakennusaikaisista lämmitysmenetelmistä ja niiden tehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä, lattialämmityksen käyttöönotosta sekä lattialämmityksen käytöstä rakennusaikaisen lämmityksen tukena. Väliaikaisiksi lämmitysjärjestelmiksi on vakiintunut joko sähköllä, öljyllä, nestekaasulla tai kaukolämmöllä toimivat lämmitysjärjestelmät, joihin kuuluvat olennaisesti myös tarpeenmukaiset rakennuslämmittimet. Insinööri työssä havainnollistetaan näiden lisäksi myös rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen merkitys koko rakennushankkeessa.</p> <p>Insinööri työ toteutettiin perehtymällä aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen sekä verkkoaineistoihin. Internet oli loistava työkalu erilaisiin rakennuslämmittämiin ja -kuivaamiin sekä niiden ominaisuuksiin tutustumisessa. Insinööri työtä varten haastateltiin myös esimerkkikohteen vastaavaa työnjohtajaa, joka tarjosi käytännön näkökulman aiheeseen, ja päästiin tutustumaan todellisen työmaan rakennusaikaiseen lämmitysjärjestelmään.</p> <p>Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen sekä kosteudenhallinnan suunnittelu ja toteutus on monivaiheinen prosessi, jonka tulisi olla osa rakennushankkeen jokaista vaihetta. Rakennusaikaisella lämmityksellä ja kuivaamisella on myös keskeinen vaikutus työmaan budjettiin sekä aikatauluihin. Rakentamisen tavoitteena tulee olla rakennuksen lopullisen lämmitysjärjestelmän käyttöönoton mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta tiloja voitaisiin lämmittää tasaisesti. Lopullinen lämmitysjärjestelmä otetaankin useimmiten käyttöön asteittain jo rakennusaikana, jolla voidaan vähentää väliaikaisen lämmityksen tarvetta.</p>	
Avainsanat	lämmitys, kuivaus, lattialämmitys, betoni, rakennushanke

Author Title	Saara Jyrkönen Underfloor Heating During Construction
Number of Pages Date	115 pages + 2 appendices 12 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer Jussi Kilpelä, Project Development Manager
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to increase the knowledge of contracting companies about types of heating methods during construction. The project also aimed to describe how to commission underfloor heating, and how it can support heating during construction.</p> <p>This thesis was made by examining relevant literature and online material. The final year project also comprised an interview with a site manager, which provided a practical perspective on the matter.</p> <p>The final year project showed that heating during construction has a significant effect on the costs and schedules of a construction project. Furthermore, the thesis proved that planning and executing a successful provisional heating system is time-consuming. It was also established that if underfloor heating is used during construction, the need for any provisional heating system is reduced.</p> <p>The project proved that it is worthwhile to use the final heating system of the building during construction because it has an effect on the schedule of the site, and it also reduces the costs of the project. Therefore, it is important not only to plan how the building is to be heated during construction, but also to decide when and how the final heating system is commenced during construction.</p>	
Keywords	heating, drying, underfloor heating, concrete, building project

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Uponor	2
2.1	Historia	2
2.2	Uponor yrityksenä	3
3	Lattialämmityssuunnittelun periaatteita	4
3.1	Yleistä	4
3.2	Lattialämmityksen sijoittaminen	5
3.3	Lattialämmitysputkisto	6
3.4	Lattialämmityksen asennustavat	7
3.4.1	Putkipiirit kiinnitetty sidelangoilla raudoitukseen ja valettu betoniin	8
3.4.2	Putkipiirit kiinnitetty väkäsillä Tacker-paneeliin	8
3.4.3	Putkipiirit kiinnitetty putkipidikelistalla eristyksen päälle ja valettu betoniin	9
3.4.4	Putkipiirit kiinnitetty putkipidikelistoilla betonin päälle ja valettu betoniin	9
3.4.5	Putkipiirit kiinnitetty lattialämmityslevyyn	10
3.4.6	Putkipiirit kiinnitetty puuvasojen päällä olevaan harvalaudoitukseen	11
3.4.7	Putkipiirit kiinnitetty puuvasojen välissä olevaan harvalaudoitukseen	11
3.5	Lattialämmitysverkoston lämpötilat	12
3.6	Esisäätoarvojen määrittäminen	13
3.7	Lämmityspiirin lämpötilan säätö	14
4	Betoni	14
4.1	Koostumus	14
4.1.1	Sementti	15
4.1.2	Kiviaines	15
4.1.3	Vesi	16
4.1.4	Lisäaineet	16
4.2	Betonin kosteus	16
4.2.1	Betonirakenteiden kosteuden aiheuttajat	17
4.2.2	Kosteuden siirtyminen	18
4.2.3	Kosteuden vaikutukset betonirakenteissa	19
4.3	Betonin jälkihoito	21
4.4	Betonin kuivuminen	23

4.4.1	Kuivumisprosessi	23
4.4.2	Betonin kuivumisnopeus	24
4.5	Betonin kosteuden mittaaminen	26
4.5.1	Porareikämittaus	29
4.5.2	Näytepalamittaus	30
5	Rakennushanke	32
5.1	Osapuolet	32
5.1.1	Rakennuttaminen	33
5.1.2	Suunnittelu	33
5.1.3	Rakentaminen	34
5.1.4	Viranomaiset	34
5.2	Toteutusmuodot	35
5.3	Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu	36
5.4	Rakennushankkeen kesto ja aikataulut	38
5.5	Rakennushankkeen kustannukset	40
5.6	Riskien- ja laadunhallinta	41
6	Rakennusaikainen lämmitys ja kuivaus	43
6.1	Lämmönsiirtyminen	43
6.2	Rakennusaikainen lämmittäminen ja kuivaaminen rakennushankkeessa	46
6.3	Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen suunnittelu ja toteutus	52
6.4	Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen energiankulutus	55
6.5	Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät	57
6.6	Lattialämmityksen käyttöönotto	60
7	Rakennusaikaiset lämmitys- ja kuivausjärjestelmät	61
7.1	Sähkö	62
7.1.1	Sähkökäyttöiset puhaltimet	64
7.1.2	Sähkökäyttöinen infrapunasäteilijä	67
7.2	Öljy	68
7.2.1	Lämpökontti	69
7.2.2	Öljykäyttöinen lämmitin öljysäiliöllä	71
7.2.3	Siirrettävät öljylämmittimet	73
7.3	Nestekaasu	74
7.3.1	Nestekaasupuhaltimet	80
7.3.2	Nestekaasusäteilijät	82

7.4	Kaukolämpö	84
7.4.1	Tilapäiset lämmönsiirtimet	86
7.4.2	Vesikiertoiset lämpöpuhaltimet	88
7.5	Rakennuspuhaltimet	90
7.6	Kosteudenerottimet	92
8	Rakennusaikaisen lämmityksen toteuttaminen esimerkkikohteessa	95
8.1	Kohteen esittely	95
8.2	Haastattelussa esiin tulleita näkökohtia	99
9	Lopputulokset	100
10	Yhteenveto	104
	Lähteet	107
	Liitteet	
	Liite 1. Käenkatu 3 & 5 yleisaikataulu	
	Liite 2. Käenkatu 3 & 5 lattialämmityksen työvaiheet	

1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena on rakennusaikainen lämmitys lattialämmityskohteissa, ja se tehdään Uponor Suomi Oy:lle, jolla on merkittävä osuus Suomen lattialämmitys-markkinoilla. Insinööriyön tarkoituksena on lisätä urakointiyriyten tietoutta erilaisista rakennusaikaisista lämmitysmenetelmistä, lattialämmityksen käyttöönotosta ja lattialämmityksen käytöstä rakennusaikaisen lämmityksen tukena. Insinööriyössä käydään läpi varsinaisen aiheen lisäksi myös lattialämmityksen suunnittelun periaatteita, perehdytään betoniin ja sen ominaisuuksiin, avataan teoriaa kosteuden- ja lämmönsiirtymisestä, tutustutaan rakennushankkeen läpivientiin ja todetaan, kuinka kaikki tämä linkittyy rakennusaikaiseen lämmitykseen.

Vaikka alkeellisia lattialämmityksiä tehtiin peräti 6000 vuotta sitten [100], on lattialämmitysjärjestelmä kasvattanut suosiotaan merkittävästi nykypäivinä. Lattialämmityksen suosion kasvuun rakennuksien lämmitysjärjestelmänä on vaikuttanut erityisesti sen toimivuus, mutta myös sen käyttäjäystävällisyys. Näiden lisäksi lattialämmitys on myös esteettisyyden takia oiva valinta lämmitysjärjestelmäksi, sillä lattialämmitys mahdollistaa esimerkiksi korkeiden ikkunoiden asentamisen uusiin rakennuksiin. Koska lattialämmityksiä tehdään nykyään huimia määriä, on urakointiyriyten alkanut kiinnostamaan lattialämmitysjärjestelmän käyttöönotto jo rakentamisvaiheessa. Esimerkiksi pientalorakennuttajista peräti 90 % valitsee lämmitysjärjestelmäksi lattialämmityksen. [101]

Rakennusaikana tarvitaan yleensä tilapäinen lämmitysjärjestelmä erityisesti talviolosuhteissa, kun rakennuksen oma lämmitysjärjestelmä ei ole vielä valmis käytettäväksi. Näin saadaan pidettyä sisätiloissa miellyttävät olosuhteet työntekijöille, mutta myös varmistetaan lämmityksen tuomat hyödyt esimerkiksi betonin kuivattamisessa. Työmaiden väliaikaiseen lämmitykseen on vakiintunut käytettäväksi sähköllä, öljyllä, nestekaasulla sekä kaukolämmöllä toimivia lämmitysjärjestelmiä. Rakennusprojektin edessä voidaan hyödyntää rakennuksen omaa lämmitysjärjestelmää rakennusaikaisessa lämmityksessä ja on hyvin yleistä, että lopullinen lämmitysjärjestelmä otetaan asteittain käyttöön. Kuitenkin rakennuksen lopullisen lämmitysjärjestelmän käyttöönotolle on omat käytäntönsä riippuen siitä, onko kohteeseen suunniteltu tehtäväksi esimerkiksi patteri- tai lattialämmitys.

Insinööriö toteutetaan tutustumalla aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen ja verkkoaineistoihin sekä haastatteleamalla esimerkkikohteen vastaavaa työnjohtajaa. Kirjoista on saatavilla paljon teoriaa lämmityksestä, betonista sekä yleisesti talvirakentamisesta, ja näiden lisäksi LVI- sekä RT-kortisto tarjoaa erittäin laajasti tietoa jokaisen aihealueen teoriasta, kuten rakennusaikaisesta lämmityksestä, rakennushankkeesta ja lämmitysjärjestelmästä. Myös internetissä on runsaasti faktaa liittyen insinööriön aihealueisiin, mutta se toimii todella hyvänä välineenä varsinkin lämmityslaitteiden valmistajiin, vuokraajiin sekä itse lämmityslaitteisiin tutustumisessa. Esimerkkikohteen vastaavan työnjohtajan haastattelussa saadaan mielenkiintoista ja käytännönläheistä näkökulmaa rakennusaikaiseen lämmitykseen.

Insinööriössä ei lasketa tai verrata yksityiskohtaisesti eri lämmitysjärjestelmien hintoja ja energiankulutuksia eikä energiankulutuksesta seuraavia kustannuksia. Tässä työssä ei myöskään tehdä konkreettisia kokeita työmaalla, kuten esimerkiksi betonin kosteusmittauksia, joissa betonin kuivumisnopeus voisi todentaa. Huomionarvoista on myös se, että insinööriön teoria lattialämmityksen suunnittelusta, betonista sekä rakennushankkeesta on vain pintapuolinen katsaus erittäin laajoihin kokonaisuuksiin.

2 Uponor

2.1 Historia

Uponorin juuret voidaan jäljittää peräti 1620-luvulle asti, mutta merkittävin alkusysäys Uponorin liiketoiminnan alkamiselle tapahtui viime vuosisadan alussa. Vuonna 1918 suomalainen Aukusti Asko-Avonius päätti perustaa puusepän verstaan Lahteen. Asko-Avonius uskoi, että sarjatyönä valmistetut tuotteet tulisivat menestymään Suomessa paremmin, kuin yksittäisenä käsityönä valmistetut tuotteet. Pari vuotta myöhemmin Asko-Avonius perusti uuden huonekalutehtaan ja sen lisäksi avasi ensimmäisen huonekaluliikkeensä. Vuonna 1938 perustettiin Upo osakeyhtiö, jonka tehdas erikoistui valmistamaan putkisänkyjä. [1]

Vasta toisen maailmansodan jälkeen sotakorvausten tullessa aiheellisiksi Upon valimo alkoi valmistamaan laivojen ja koneiden osia. Samainen vuosikymmen oli muutenkin murrosten aikaa: Askon toiminta teki uusia aluevaltauksia ja laajeni mm. Yhdysvaltoihin, ja Upon valimossa aloitettiin valurautaputkien valmistus. 1950-luvulle saavuttaessa

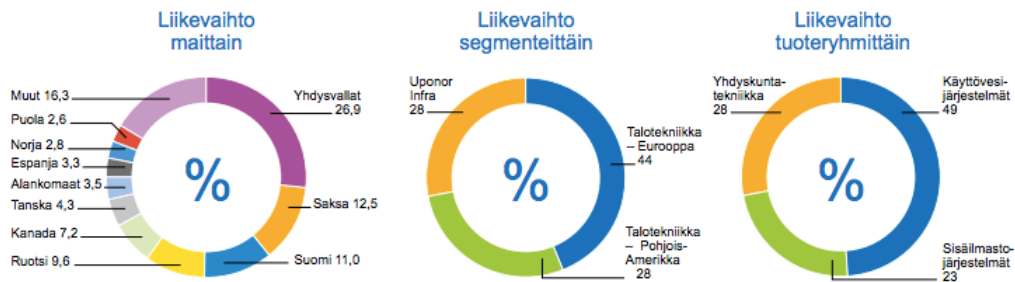
Upo valmisti myös jääkaappeja, pesukoneita, viemäri- ja käyttövesiputkia sekä radiaattoreita. Vuonna 1965 Upo-Muovi alkoi valmistamaan PVC-putkia. Muutaman vuoden jälkeen vuonna 1972 Wirsbo aloitti Ruotsissa maailman ensimmäisten PEX-putkien valmistamisen. [1]

Uponorin organisaatio koki merkittäviä muutoksia jo vuonna 1976, kun Asko ja Upo fuusioituivat Asko-Upo Oy:ksi. Vuonna 1988 Uponor hankki omistukseensa saksalaisen Hewingin sekä ruotsalaisen Wirsbon. Samaisena vuonna Asko listattiin Helsingin pörssin päälistalle. [1]

Hyvin moninaisen historian siivittämänä Uponorin liiketoiminta alkoi saavuttamaan nykyisen muotonsa 2000-luvulle tultaessa. Vuonna 1999 Uponor sai viralliseksi nimekseen Uponor Oyj ja valtasi komposiittiputki-markkinat. 2000-luvulla Uponor alkoi keskittymään yhä enemmän talotekniseen liiketoimintaan samalla myyden pois mm. kodinkonedivisioonan. Nykypäivänä Uponor on saanut suurta jalansijaa myös yhdyskuntatekniikan alalla. Uponorin uusin aluevaltaus on teollisesti esivalmistetut talotekniikkaelementit. [1]

2.2 Uponor yrityksenä

Nykyään Uponor on suuri osakeyhtiö, jonka liikevaihto oli vuonna 2018 1,2 miljardia euroa. Uponorin liikevaihto on esitetty maittain, segmenteittäin sekä tuoteryhmittäin prosentuaalisesti kuvassa 1. Uponor on laajentanut toimintaansa melkoisesti viimeisen sadan vuoden aikana: ennen pieni Lahdessa sijaitseva muutaman henkilön työllistänyt puusepän verstaas on tätä nykyä globaali ja tunnettu suuryritys, joka työllistää 4 100 henkilöä 30 maassa ja myy tuotteitaan sadassa maassa. Suomessa Uponor työllistää noin 360 henkilöä mm. kotipaikassaan Lahdessa, Tuusulassa, Tampereella ja Vaasassa. Euroopassa Uponorin suurimpia markkina-alueita ovat esimerkiksi muut Pohjoismaat, Saksa ja maailmanlaajuisesti Pohjois-Amerikka. [2; 3, s. 4.]



Kuva 1. Uponorin liikevaihto maittain, segmenteittäin sekä tuoteryhmittäin [3].

Uponor on merkittävä toimija monella eri rakentamisen osa-alueella. Uponor tarjoaa laajasti tuotteita ja erilaisia ratkaisuja esimerkiksi pientalo-kohteista aina kerrostalo-kohteisiin, mutta myös näitä huomattavasti suurempiin kohteisiin. Lattialämmitys on yksi Uponorin erikoisaloista, mutta lattialämmityksen lisäksi se tuottaa monia muita palveluita ja tuotteita liittyen esimerkiksi teollisuuteen, maa- ja metsätalouteen, tie- ja liikenne- ja rakentamiseen sekä yhdyskuntatekniikkaan. Tästä syystä Uponorin tuotevalikoimaan kuuluu runsaasti monipuolisia tuotteita, jotka sopivat hyvin erilaisiin rakennuskohteisiin. Uponorin palvelut ja tuotteet soveltuvat rakennusprojekteissa sekä uudisrakentamisen puolelle, että saneerauskohteisiin. [4; 5.]

Tavallinen lattialämmitys- ja/tai lattiaviilennysprojekti käynnistyy usein asiakkaan esittämällä tarjouspyynnöllä kohdekohtaisesti, johon perustuen materiaalilaskijat antavat kustannusarvion. Mikäli asiakas valitsee Uponorin tuotejärjestelmän, aloitetaan kohteen lattialämmityksen ja/tai -viilennyksen suunnittelu Uponorin suunnitteluosastolla. Uponor on asiakkaan tukena koko lattialämmitys- ja/tai lattiaviilennysprojektin ajan. [6]

3 Lattialämmityssuunnittelun periaatteita

3.1 Yleistä

Ihminen viettää suuren ajan elämästään sisätiloissa. Tästä syystä on tärkeää panostaa sisäilmaston laatuun, jonka yksi keskeisimmistä osa-alueista on lämmitys. Pääsääntöisesti lämpötilan tulee olla ihmiselle viihtyisä, eikä esimerkiksi lämpötilan vaihtelu tai vedon tunne saisi sitä heikentää. [7]

Lämmitysjärjestelmää suunniteltaessa tulee lämmityskauden ohjearvona käyttää 21 °C huonelämpötilana sekä huomioida rakennuksen sijainnin perusteella mitoittava ulkoilmalämpötila. Muutamana asteen lämpötilavaihtelut ovat kuitenkin sallittuja. Lämmityskaudella huonelämpötila saa vaihdella välillä 20–25 °C, kun taas lämmityskauden ulkopuolella sallittu huonelämpötilan vaihtelu sijoittuu 20–27 °C:n välille. [7]

Lattialämmityksen toimintaperiaatteena on suuri lämpöä luovuttava pinta-ala, josta lämpö nousee alhaalta ylöspäin vedottomasti. Suuren pinta-alan ansiosta lämpö jakautuu tasaisesti asunnossa, eikä synny niin suuria lämpötilaeroja kuin esimerkiksi lämmityspatterin ja huoneen kauimmaisen nurkan välillä. Myös matalamman menoveden lämpötilan pitäminen verkostossa onnistuu suuren lämpöä luovuttavan pinta-alan ansiosta. [6; 8.]

Lattialämmityksen lämmöntuotantomuoto on kohteesta riippuvainen, mutta lämmönlähddevaihtoehtojen kirjo on erittäin laaja. Yleisimpiä lämmönlähteitä ovat mm. kaukolämpö, maalämpö, sähkölämmitys tai öljylämmitys. Myös harvinaisemmat lämmönlähteet, esimerkiksi aurinkolämpö ja puu- ja pellettilämmitys, ovat toimivia ratkaisuja lattialämmityksen lämmönlähteiksi. [6; 9.]

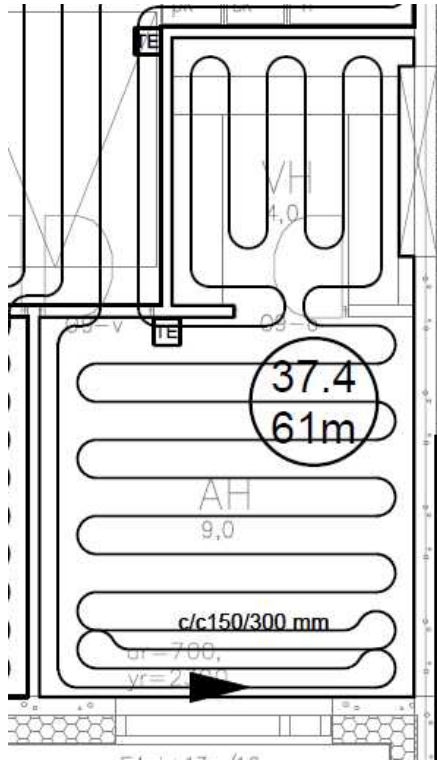
Lattialämmitysjärjestelmän voi asentaa lähes kaikkiin nykyisiin lattiapäällystevaihtoehtoihin. Useimmiten lattialämmitysjärjestelmissä lattian pintamateriaaleina käytetään puu-, parketti-, laminaatti- sekä laattalattioita. Suunnittelussa on kuitenkin tärkeää ottaa huomioon lattian pintamateriaali, sillä lämpötehojen saaminen poikkeaa hyvinkin paljon esimerkiksi parketin ja laattalattian välillä. [6; 9.]

Lattialämmitys on toimiva lämmitysratkaisu rakennukseen yksinään, mutta sitä voidaan yhdistellä myös muiden lämmitystapojen kanssa. Hyvin yleisenä lämmitystapojen yhdistelmäratkaisuna toimii esimerkiksi patterilämmitys, jonka ohella märkätiloja lämmitetään lattialämmityksellä. Lattialämmitystä voidaan siis hyödyntää monin eri tavoin kohdekohtaisesti. [9]

3.2 Lattialämmityksen sijoittaminen

Lattialämmityksen suunnittelussa yksi tärkeimmistä lähtökohdista on se, että jokainen huone tai alue jaetaan omaan lattialämmityspiiriin. Mikäli huone tai alue on suuri, tarvi-

taan piirejä kaksi tai enemmän. Tärkeää kuitenkin on, ettei tietyn huoneen lämmityspiirillä lämmitetä muita tiloja. Näin yhden huoneen lämpötilaa pystytään ohjaamaan tehokkaammin. Tähän lähtökohtaan löytyy silti muutama poikkeus: esimerkiksi pieniä tiloja, kuten vaatehuoneita, eteisiä tai pieniä vessoja, voidaan yhdistää toisen huoneen lämmityspiiriin, mikäli kyseisessä tilassa ei oleskella pitkiä aikoja ja tilan lämmöntarve on vähäinen (kuva 2). Tällöin suositeltavaa on, että tiloja lämmitetään kyseisen piirin paluuputkella, jotta maksimaalinen lämmitysteho saadaan itse huoneeseen. [9; 10.]



Kuva 2. Riviasennuksena toteutettu makuuhuoneen lattialämmityspiiri, johon on myös yhdistetty vaatehuone piirin paluuputkella.

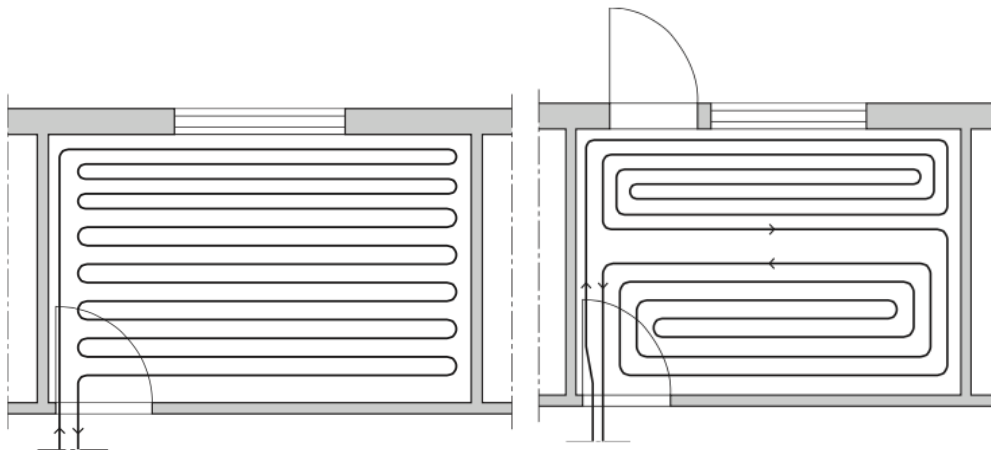
3.3 Lattialämmityspukisto

Uponorin lattialämmitykset suunnitellaan kohteesta riippuen tyypillisesti kolmella eri putkikoolla: 12 mm, 17 mm tai 20 mm. Asennusvälistä, lämpöhäviöistä sekä putkikoosta riippuen putkipituudet voidaan määrittellä karkeasti seuraavalla tavalla: 12 mm:n putkelle $8,2 \text{ m/m}^2$, 17 mm:n putkelle 6 m/m^2 ja 20 mm:n putkelle 4 m/m^2 . Lattialämmitysputken tarvetta laskettaessa tulee putken määrää lisätä, mikäli vaaditut lämpötehot ovat huomattavan suuret. [11; 34, s. 98.]

Lattialämmitystä suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota putkipiirien pituuteen, jotta lattialämmityksen toiminta ei vaarantuisi esimerkiksi liian suurien painehäviöiden takia. Suositeltavat piiripituudet määräytyvät myös putkikokojen mukaan: 12 mm:n putkella piiripituus on yleensä hyvä olla 10–50 m, 17 mm:n putkella 30–80 m ja 20 mm:n putkella 50–90 m. Suuremmissa kohteissa, kuten halleissa, voidaan piiripituuksia venyttää 20 mm:n putkella jopa 160-metrisiksi. [9; 10.]

3.4 Lattialämmityksen asennustavat

Tyypillisesti lattialämmityksiä asennetaan joko riviasennuksina tai spiraalijoin, joita havainnollistetaan kuvassa 3. Pääsääntönä molemmissa asennusmenetelmissä voidaan kuitenkin pitää sitä, että lattialämmityspiirin menoputki, eli lämpimin osa piiristä, johdetaan mahdollisimman suoraan rakennuksen ulkoseinälle. Ulkoseinien läheisyyteen tehdään myös tarvittava määrä sisennyksiä yleensä 150 mm:n asennusvälillä riippuen huoneen lämpöhäviöistä. Sisennyksien jälkeen lähestyttäessä huoneen keskusta suositeltu asennusväli molemmissa asennustavoissa on 300 mm, jotta lattiapinnan lämpeneminen tapahtuisi mahdollisimman tasaisesti. [9; 10; 34, s. 96.]



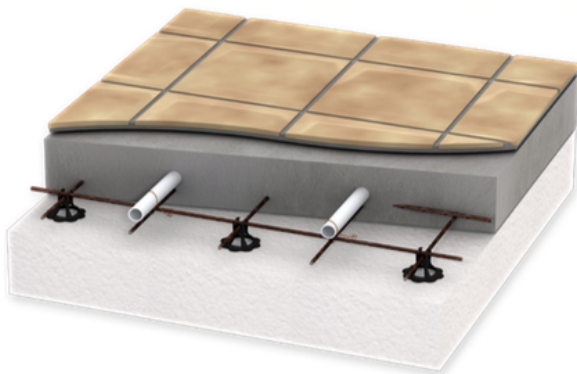
Kuva 3. Vasemmalla riviasennuksena toteutettu lattialämmitys, jossa reunavyöhyke tehty tiheämmällä asennusvälillä. Vastaavasti oikealla lattialämmitys on asennettu spiraalijoin, jossa reunavyöhyke tehty myös tiheämmällä asennusvälillä. [84]

Lattialämmitys voidaan asentaa itse rakenteeseen monella eri tavalla riippuen kohteesta. Monesti pientaloissa käytetään yhtä asennustapaa, kun taas kerrostaloissa saataan käyttää eri asennustapoja esimerkiksi märkätiloissa ja kuivissa tiloissa. Asennus-

tavan valintaan voi myös vaikuttaa se, onko kysymyksessä uudis- vai saneerauskohte. [9; 10; 12.]

3.4.1 Putkipiirit kiinnitetty sidelangoilla raudoitukseen ja valettu betoniin

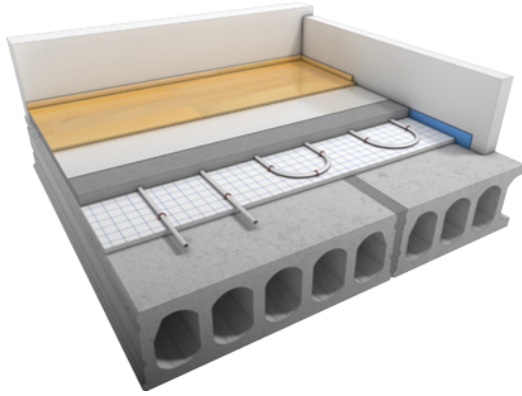
Kyseisessä asennustavassa lattialämmitysputket kiinnitetään raudoitusverkkoon sidelangoilla, jonka päälle valetaan betoni. Päälle valettavan betonikerroksen minimivahvuus on 30 mm. Betonikerros ei saa kuitenkaan olla liian paksu, sillä paksumpi laatta hidastaa merkittävästi lämmityksen säätöä. Maksimissaan betonikerroksen paksuus saa olla 90 mm. Raudoitusverkko ei saa olla välittömässä kosketuksessa eristekerrokseen, vaan verkolla pyritään varsinaisesti vahvistamaan betonirakennetta. [10; 105, s. 2] Kuvassa 4 esimerkki lattiarakenteesta, jossa lämmitysputket ovat kiinnitetty sidelangoihin raudoitusverkkoon ja valettu betoniin.



Kuva 4. Lattialämmitysputket kiinnitettynä sidelangoihin raudoitusverkkoon ja valettu betoniin [105].

3.4.2 Putkipiirit kiinnitetty väkäsillä Tacker-paneeliin

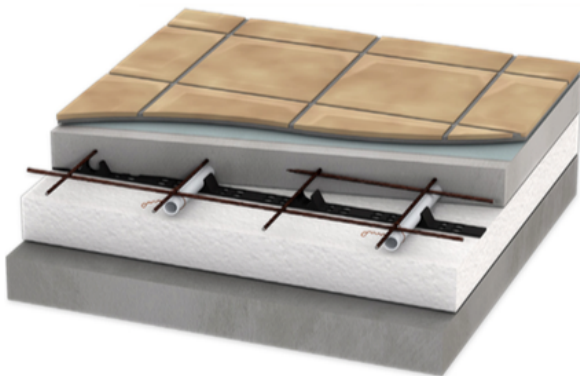
Kyseisessä asennustavassa putki piirit kiinnitetään väkäsillä Tacker-paneeliin, joka toimii itsessään lämpö- ja askeläänieristeenä. Tacker-lattiaratkaisu voidaan toteuttaa pumpattavan betonimassan lisäksi myös teräsbetonilaatalla. Valumassan minimivahvuus on 40 mm. Kuvassa 5 havainnollistetaan putki piirien kiinnitystä väkäsillä Tacker-paneeliin, jossa sijaitseva ruudukko helpottaa asentamista. [105, s. 4.]



Kuva 5. Lattialämmitysputket kiinnitettynä väkäsillä Tacker-eristeeseen [105].

3.4.3 Putkiirit kiinnitetty putkipidikelistalla eristyksen päälle ja valettu betoniin

Lattialämmitysputket kiinnitetään putkipidikelistoihin, jotka sijoitetaan putkiin nähden poikittain eristeeseen. Tämän jälkeen listojen väkäset painetaan eristeeseen kiinni. Raudoitus asennetaan rakennelman päälle. Myös putkipidikelistoin asennettavissa lattialämmityksissä betonin paksuuden tulee olla minimissään 30 mm ja maksimissaan 90 mm. [10; 105, s. 6] Kuvassa 6 on esitettyä lattiarakenne, jossa lattialämmitysputket on kiinnitetty putkipidikelistoilla eristykseen ja valettu betoniin.

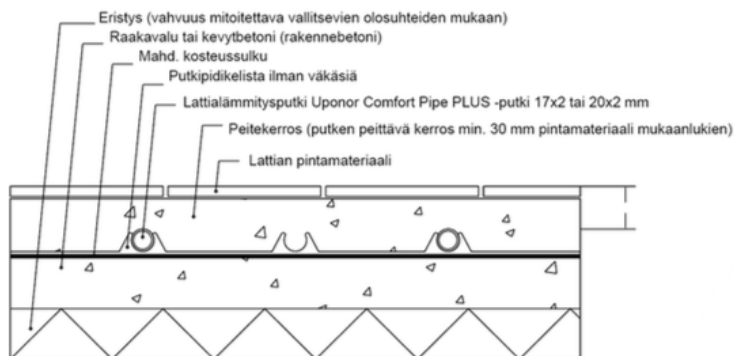


Kuva 6. Lattialämmitysputket kiinnitettynä putkipidikelistalla eristykseen ja valettu betoniin [105].

3.4.4 Putkiirit kiinnitetty putkipidikelistoilla betonin päälle ja valettu betoniin

Lattialämmitysputket asennetaan putkipidikelistoihin betonin päälle, minkä jälkeen listat ammutaan tai naulataan kiinni betoniin. Putkien päälle valetaan betonista peitekerros, jonka minimivahvuus on myös 30 mm ja maksimivahvuus 90 mm. [10; 105, s. 6.] Ku-

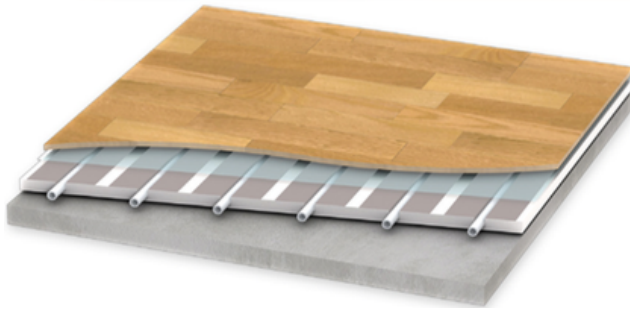
vassa 7 havainnollistetaan lattialämmitysputkien kiinnitystapaa putkipidikelistoin betonin päälle valettuna betoniin.



Kuva 7. Lattialämmitysputket kiinnitettynä putkipidikelistoilla betonin päälle ja valettuna betoniin [10].

3.4.5 Putkipiirit kiinnitetty lattialämmityslevyyn

Lattialämmityslevyt levitetään lattialämmityssuunnitelmien mukaisesti betonin päälle. Lattialämmityslevyissä (solumuovilevyissä) on suoria uria, joiden avulla niihin asennetaan lämmönluovutuslevyjä. Käännösurat jätetään vapaiksi. Lämmönluovutuslevyjen päälle sijoitetaan varsinaiset lattialämmitysputket. Lattialämmitysputkien päälle ei enää valeta betonia, vaan lattian pintamateriaalista riippuen putkien päälle tulee joko kipsilevy, lastulevy tai askeläänieristys. Askeläänieristystä käytetään, mikäli tuleva pinnoite on parketti. Asennettaessa lattialämmitysputket lattialämmityslevyyn tulee huomioida se, ettei lattialämmityslevyjä kiinnitetä koskaan alustaansa. Kyseistä asennustapaa suositellaan vain kuiviin tiloihin. [10; 105, s. 10.] Kuvassa 8 näkyvät lattialämmitysputket asennettuna lattialämmityslevyihin.



Kuva 8. Lattialämmitysjärjestelmä asennettuna solumuovilevyyn, jonka uriin on sijoitettu lämmönluovutuslevyt sekä lattialämmityspotket [105].

3.4.6 Putkipiirit kiinnitetty puuvasojen päällä olevaan harvalaudoitukseen

Harvalaudoitus naulataan kiinni lattiavasaan, jonka jälkeen niiden päälle levitetään alumiiniset lämmönluovutuslevyt. Lattialämmityspotket asennetaan lämmönluovutuslevyihin. Näin tehdyn rakennelman päälle asetetaan joko lastulevyt tai kipsilevyt. Kyseistä asennustapaa käytetään, jos lattialämmitysjärjestelmä saadaan sijoittaa lattiavasojen ylätasoon päälle. [10; 105, s. 12.] Kuvassa 9 näkyvät lattialämmityspotket asennettuna puuvasojen päällä olevaan harvalaudoitukseen.

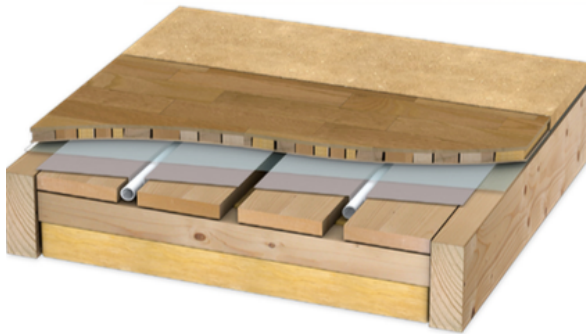


Kuva 9. Lattialämmityspotket kiinnitettynä puuvasojen päällä olevaan harvalaudoitukseen [105].

3.4.7 Putkipiirit kiinnitetty puuvasojen välissä olevaan harvalaudoitukseen

Lattiavasojen väliin naulataan poikittaistuet 600 mm:n asennusvälillä, minkä jälkeen asennetaan harvalaudoitus niiden päälle. Harvalaudoituksen sekä lattiavasojen ylätasojen tulee olla samalla tasolla. Putkia varten tehdään urat kohtiin, joissa putket kulkevat vasojen yli. Tätä asennustapaa käytetään, kun lattialämmitysjärjestelmä ei saa

nousta lattiavasoja korkeammalle. [10; 105, s. 13.] Kuvassa 10 näkyvät lattialämmitysputket kiinnitettynä puuvasojen välissä olevaan harvalaudoitukseen.



Kuva 10. Lattialämmitysputket kiinnitettynä puuvasojen välissä olevaan harvalaudoitukseen [105].

3.5 Lattialämmitysverkoston lämpötilat

Lattialämmityksen suunnittelun yksi tärkeimmistä lähtökohdista ovat rakennuksen huoneiden lämpöhäviöt, joiden perusteella määritellään menoveden lämpötila. Useimmin menoveden lämpötila asettuu kohteesta riippuen 35 °C:n ja 40 °C:n välille, mutta mini- ja maksimilämpötila lattialämmitysverkostossa menovedellä voi kuitenkin olla jotain 25–45 °C:n väliltä. Meno- ja paluueden suosituslämpötilaero on 5–10 °C. Esimerkiksi K1 asettaa uudiskohteen lattialämmityksen menoveden lämpötilaksi 35 °C ja saneerauskohteille 40 °C. [9; 10; 102, s. 8, 57.]

Myös lattiamateriaalilla on merkitystä, kun määritellään menoveden lämpötilaa. Erilaiset lattiarakenteet ja -päällysteet johtavat lämpöä eri tavoilla. Esimerkiksi betonilattiasta saadaan halutut lämpötehot pienemmällä menoveden lämpötilalla, kun taas parketilla päällystetyssä lattiassa lämpö ei johdu niin hyvin, jolloin menoveden lämpötila täytyy määritellä korkeammaksi. Tärkeää on kuitenkin huomioida puulattiavalmistajien määrittelemät maksimipintalämpötilat, jotta lattia ei tuhoutuisi. Esimerkiksi normaalilla parketilla suurin sallittu pintalämpötila on 27 °C. Lattian pintalämpötilan huomioonottaminen on perusteltua myös ihmisten viihtyvyyden kannalta: lattia koetaan mukavimmaksi 20–27 °C:n lämpöisenä. [10; 101.]

3.6 Esisäättöarvojen määrittäminen

Suunnitelmien valmistumisen jälkeen jokaiselle piirille lasketaan esisäättöarvot. Esisäättöarvot määräytyvät pääsääntöisesti piiripituuksien ja tarvittavien lämpötehojen mukaan. Jakotukille tulee aina vähintään yhdelle piirille esisäättöarvoksi 5, jolloin kyseinen piiri on jakotukin vaikein piiri. Jakotukki pyritään sijoittamaan mahdollisimman keskeiselle paikalle lämmitettävään tilaan niin, etteivät siirtoputkien matkat kasva liian pitkiksi ja piirit olisivat keskenään mahdollisimman samanmittaisia. [10; 85.] Kuvassa 11 on Uponorin jakotukki jakotukkikaapissa.



Kuva 11. Uponorin jakotukki sijoitettuna jakotukkikaappiin [85].

Viimeistään mitoituksissa tulee kiinnittää huomiota myös muihin tärkeisiin arvoihin, kuten virtaamiin ja painehäviöihin. Esimerkiksi jakotukille ja virtausteknisesti vaikeimmalle putkipiirille voidaan varata alustavissa virtaamamitoituksissa 25 kPa:n kokonaispainehäviö, jonka avulla voidaan valita linjasäätöventtiilit. Käytännössä jakotukkien kokonaispainehäviöt määräytyvät pisimpien piirien mukaan, ja ne jäävät usein alle 25 kPa:n [9; 10; 85 s. 33.]

3.7 Lämmityspiirin lämpötilan säätö

Perusjakotukilla on mahdollista säätää lattialämmityspiirejä kahdella tavalla: huonetermostaateilla ja käsisäädöllä. Mikäli piiriä ohjataan huonetermostaatilla, tarvitaan kyseisen piirin paluuventtiilille toimilaitte. Termostaatit ohjaavat toimilaitteiden avautumista ja sulkeutumista, minkä mukaan lattialämmitysverkoston vedenkierto määräytyy. Mikäli huonetermostaatin ohjaamassa tilassa lämpötila kohoaa asetettua lämpötilaa korkeammaksi, alkaa termostaatti kuristamaan toimilaitteen avulla vedenkiertoa, jolloin lämpötila laskee. [10; 13.]

Säätöjärjestelmät ovat joko langallisia tai langattomia. Langallisissa järjestelmissä termostaatti liitetään keskusyksikköön ja jakotukille johdoilla. Kyseisessä säätöjärjestelmässä huonetermostaattien sijoittamiselle aiheutuu erinäisiä rajoituksia johdotusten takia. Huonetermostaatit tulee asettaa seinälle tiettyyn kohtaan, josta niitä ei voi liikuttaa. Langattomassa järjestelmässä taas johtoja ei käytetä, jolloin huonetermostaattien sijoittelu on vapaampaa. Langattomassa järjestelmässä tulee kuitenkin muistaa se, että termostaatit toimivat paristoilla, jolloin paristoja tulee vaihtaa säännöllisin väliajoin. [10; 14; 15.]

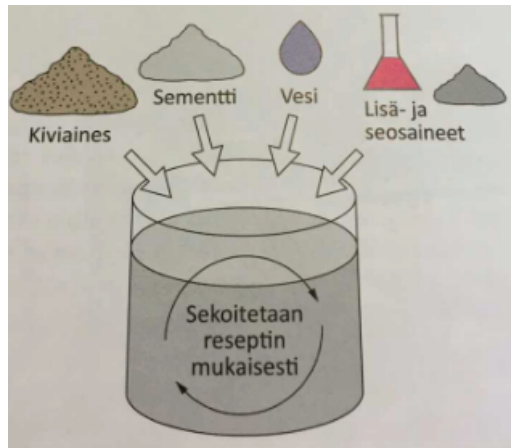
Käsisäätöä käytetään useimmiten lattialämmityspiireissä, joiden halutaan pysyvän lämpiminä ympäri vuoden, myös lämmityskauden ulkopuolella. Tällaisia tiloja ovat useimmiten märkätilat, joissa on suihku ja/tai lattiakaivo. Käyttäjällä ei ole tällöin mahdollisuutta vaikuttaa tilan lämpötilaan, vaan se pysyy vakiona. Käytännössä käsisäätö-ohjaus toteutetaan käsisäätöpyörillä, jotka asennetaan käsisäätöisten piirien paluuventtiileihin. [9; 10.]

4 Betoni

4.1 Koostumus

Betoni valmistetaan pääasiassa kolmesta pääraaka-aineesta: sementistä, vedestä sekä kiviaineksista. Betonin ominaisuuksia voidaan muokata käyttötarkoituksen mukaan sekoittamalla pääraaka-aineiden sekaan erilaisia seos- ja lisäaineita, joilla pystytään lisäämään betonin työstettävyyttä tai parantamaan kovettuneen betonin tiiviyttä, lujuut-

ta ja säilyvyysominaisuuksia. Betonin ominaisuuksien muokkaaminen tehdään kyseisten osa-aineiden suhteita säätelemällä, jolloin puhutaan betonin suhteituksesta. [17, s. 24.] Kuvassa 12 esitetään betonin valmistuksessa käytettävät elementit.



Kuva 12. Betoni pääraaka-aineet ovat sementti, kiviaines sekä vesi. Näiden lisäksi betonin valmistuksessa käytetään useita seos- ja lisäaineita. [17]

4.1.1 Sementti

Yksi betonin pääraaka-aineista on sementti, jolla on merkittävä rooli niin tuoreen kuin kovettuneen betonin ominaisuuksien muodostamisessa. Sementin tärkeimmän osa-aineen portlandklinkkerin pääraaka-aine on kalkkikivi, joka on suurimmaksi osaksi kalsiumkarbonaattia. Kalsiumkarbonaatin lisäksi klinkkerin valmistuksessa käytetään pii-dioksidia, rautaoksidia ja alumiinioksidia. Erityisesti sementin kemiallinen koostumus korreloi mm. betonin työstettävyyteen, betonin säilyvyyteen sekä lämmön- ja lujuudenkehitykseen. Sementin reagoi vedellä muodostuu sementtikiveä, jonka avulla betonin muut aineosat liittyvät yhteen. [17, s. 24.]

4.1.2 Kiviaines

Kiviaineeksina käytetään yleisesti rakentamisestakin tuttuja rakeisia materiaaleja, kuten kalliomurskettä, soraa ja hiekkaa. Näiden lisäksi betonin raaka-aineena voidaan käyttää myös keinotekoisia materiaaleja, joista hyviä esimerkkejä ovat kevytsora sekä kierätetyt materiaalit (esimerkiksi tiili- tai betonimurske), lentotuhka sekä ferrokromikuona. Valmis betoni sisältää selkeästi eniten kiviainesta, jopa 65–80 % kokonaistilavuudesta,

jolloin kiviaineksen valinta täytyy tehdä lopputuotoksen haluttuja ominaisuuksia silmällä pitäen. [17, s. 43.]

4.1.3 Vesi

Betonia valmistaessa täytyy kiinnittää huomiota myös pääraaka-aineena käytettävään veteen. Käytännössä sementtiin ja kiviainekseen ei saa sekoittaa mitä tahansa vettä, vaan veden hyvästä laadusta on varmistuttava. Pääasiallisesti vesi on hyvää, mikäli se näyttää puhtaalta eikä maistu tai haise pahalta. Muun muassa tästä syystä esimerkiksi viemäriverdet eivät sovellu koskaan betonissa käytettäväksi vedeksi. Vesi ei saa myöskään vaahdota eikä sisältää suuria määriä levää tai muita pieneliöitä. Kemialliseen koostumukseen on myös syytä kiinnittää huomiota, sillä veden kloridipitoisuudelle on määritelty käyttötarkoituksesta riippuen tietyt raja-arvot. Parhaiten veden kelpoisuus betonin materiaaliksi voidaan todeta kemiallisen analyysin avulla. [17, s. 59.]

4.1.4 Lisäaineet

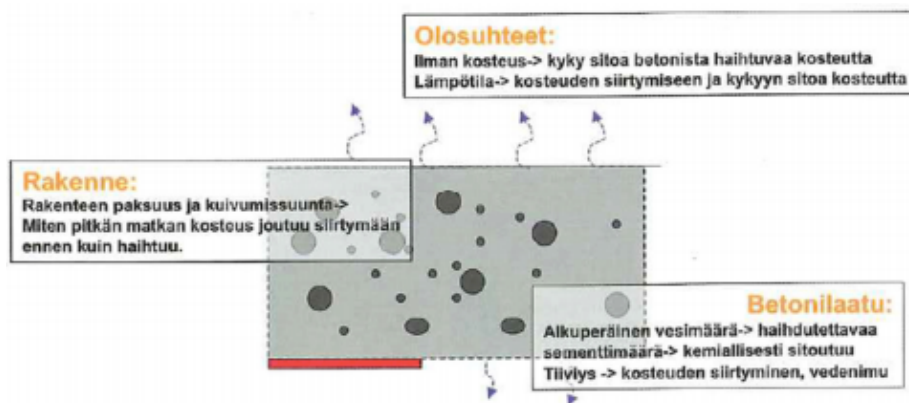
Myös lisäaineilla voidaan vaikuttaa betonin ominaisuuksiin. Pääasiassa lisäaineiden tarkoituksena on kehittää betonin teknisiä ominaisuuksia, mutta niillä voidaan parantaa myös betonin taloudellista kilpailukykyä. Lisäaineet vaikuttavat betonissa joko fysikaalisesti tai kemiallisesti riippuen muista betonin valmistuksen yksityiskohdista, kuten sementistä, lämpötilasta, annostusjärjestyksestä jne. Lisäaineita saa sekoittaa betoniin maksimissaan valmistajan suositteleman määrän, mutta ei yleensä enempää kuin 50 g lisäainetta/kg sementtiä, eli lisäaineiden määrät jäävät betonissa hyvinkin pieneksi verrattuna muihin osa-aineisiin. Yleisimpiä lisäaineita betonin valmistuksessa ovat esimerkiksi notkistimet, huokostimet, kiihdyttimet sekä hidastimet. Lisäaineina voidaan käyttää myös lisäainestandardiin kuulumattomia aineita, kuten paisuttavia lisäaineita, kutistumista estäviä lisäaineita tai jäätyamisen kestoa parantavia lisäaineita. [17, s. 60.]

4.2 Betonin kosteus

Vaikka betonia pyritään kuivattamaan työmaalla, se sisältää aina kosteutta. Käytännössä kosteudesta ei ole haittaa betonille itselleen, vaan kosteammat olosuhteet mahdollistavat betonin lujuuden kehittymisen. Yleisesti, mitä kosteampaa betoni on, sitä lujempaa betonista tulee. Betonin liiallisesta kosteudesta on kuitenkin haittaa materiaa-

leille, jotka ovat yhteydessä betoniin. Liiallisesta betonin kosteudesta voi seurata vaurioita esimerkiksi puisille runkorakenteille, mutta myös erilaisille lattia- ja seinäpinnoitteille sekä -päällysteille, kuten muovimatoille ja parketeille. [17, s. 527.]

Betonin kuivuminen on merkittävä osa rakennustyömaan aikataulua, sillä se vie ajallisesti suuren osan sisävalmistusvaiheesta. Rakennustyömaalla on tärkeää huomioida yleisesti kosteudenhallinta, josta yhtenä osa-alueena erityisesti betonin kosteudenhallinta, jotta aikataulujen viivästymisiltä voidaan välttyä. Betonin tulee olla riittävän kuivaa ennen päällystystöitä, mutta kosteudenhallinnalla ennaltaehkäistään myös ongelmat, joita liian kostea betoni voisi aiheuttaa myöhemmin rakenteille tai käyttäjille. Betonin kuivumisnopeuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten kuivumisolosuhteet, rakenneratkaisut sekä betonin ominaisuudet (kuva 13). [17, s. 527.]



Kuva 13. Betonin kuivumisnopeuteen vaikuttavat betonin ominaisuudet, rakenneratkaisut sekä kuivumisolosuhteet [106].

4.2.1 Betonirakenteiden kosteuden aiheuttajat

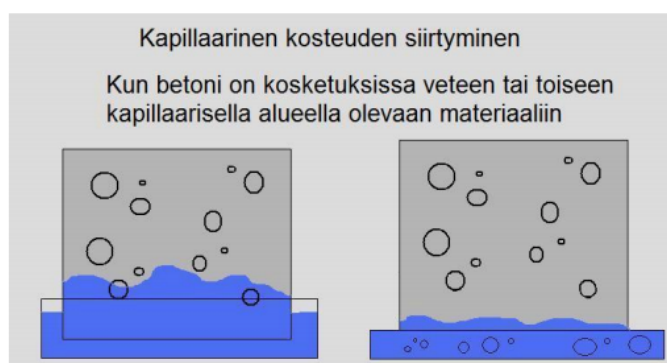
Betonin kosteuslähteitä on monia, mutta pääosin betonin kosteus on peräisin vedestä, jota on käytetty betonin valmistamisessa. Myös monet ulkoiset tekijät voivat lisätä betonin kosteutta. Esimerkiksi rakennusaikaiset sääolot, kuten vesi-, lumi- ja räntäsateet, vaikuttavat huomattavasti rakenteiden kastumiseen ja sitä kautta betonin kosteuteen. Betonin kosteuden kasvaminen voi olla seurausta myös inhimillisistä virheistä, joista yksi esimerkki on erilaiset vesivahingot. Rakenteisiin kulkeutuu kosteutta myös erilaisien levitettävien tasoitteiden ja päällysteiden kiinnittämisessä käytettävän liiman mukana. Maanvaraisissa rakenteissa tulee taas ottaa huomioon maaperän kosteus. [17, s. 529.] Kuvassa 14 on esimerkkejä betonirakenteiden erilaisista kosteuslähteistä.



Kuva 14. Betonirakenteiden erilaisia kosteuslähteitä [17].

4.2.2 Kosteuden siirtyminen

Betonin huokoisuuden takia kosteutta voi siirtyä betoniin kapillaarisesti, mikäli betoni on suorassa kosketuksessa veteen tai toiseen kapillaarisella kosteusalueella olevaan materiaaliin (kuva 15). Kapillaarisen kosteuden imeytymiseen ja sen eteenpäin siirtymiseen vaikuttaa betonissa erityisesti betonin kapillaarihuokosten määrä, sillä veden siirtyminen tapahtuu muodostuvan huokosalipaineen ansiosta. Kapillaarinen kosteuden siirtyminen voi tapahtua mihin suuntaan tahansa. Kapillaarinen kosteuden siirtyminen loppuu itsekseen, kun huokosalipaine ja maan vetovoima saavuttavat tasapainon tai kapillaarisesti siirtyvä sekä rakenteista haihtuva kosteus saavuttavat tasapainon. Kapillaarista kosteuden siirtymistä voidaan ehkäistä kapillaarikatkoilla. [17, s. 529; 18.]



Kuva 15. Kapillaarista kosteuden siirtymistä tapahtuu, kun betoni on kosketuksissa veteen tai toiseen kapillaarisella kosteusalueella olevaan materiaaliin [42].

Kosteus voi siirtyä myös diffuusiolla vesihöyryn muodossa betoniin tai betonista pois. Diffuusio-ilmiossa molekyylit pyrkivät siirtymään liuoksessa tai kaasussa siten, että aineet sekoittuisivat mahdollisimman tasaisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vesihöyryä siirtyy suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta pienempään vesihöyrypitoisuuteen. Diffuusiovirtaus on voimakkaampaa, kun vesihöyrypitoisuuserot ovat suuria. Materiaaleilla on myös erilaisia vesihöyryn läpäisevyysominaisuuksia, jotka vaikuttavat diffuusiovirtaukseen. Diffuusiota on hankalaa ehkäistä esimerkiksi laatan alla olevilla kapillaarikatkoilla, jolloin kosteutta voi tiivistyä helposti rakenteeseen. [17, s. 530; 18.]

Mikäli vedenpinta nousee rakennuksen ulkopuolella korkeammalle kuin itse rakenne, voi kosteutta siirtyä myös paineen ansiosta. Myös erilaiset vesivuodot lisäävät kosteuden määrää rakenteissa. Joskus kosteuden ei tarvitse siirtyä erikseen, vaan on mahdollista, että kosteutta on jäänyt rakenteisiin jo rakennusaikana. Tämä voi johtua siitä, että esimerkiksi lattian ei ole annettu kuivua tarpeeksi kauan, vaan lattia on päällystetty liian nopeasti. [17, s. 531.]

4.2.3 Kosteuden vaikutukset betonirakenteissa

Betonissa tapahtuu muodonmuutoksia, sillä betoni pystyy vastaanottamaan sekä luovuttamaan kosteutta sen huokoisuuden takia. Käytännössä muodonmuutokset ilmenevät niin, että kuivuessaan betoni kutistuu ja kostuessaan se turpoaa. Betonin kuivuessa eli kutistuessa sementtikiven tilavuus pienenee, kun vesi haihtuu sen huokosista. Kyseisestä kuivumiskutistumasta voi seurata halkeamia betonin pintaosiin, kun vesi haihtuu betonin pinnalta, tai esimerkiksi laattojen irtoilua. Laatat voivat irrota alustastaan, mikäli betonirakenne on kostea laattojen kiinnityshetkellä, jolloin betoni jatkaa kuivumistaan laattojen ollessa jo betonirakenteeseen kiinnitettyinä. Tällöin betonirakenne kutistuu, mutta laatat eivät, jolloin laattojen kiinnitysjärjestelmän lujuus ei välttämättä kestä laattojen ja kutistuvan betonin leikkausvoimaa. Myös betonin kostuminen, eli turpoaminen, voi aiheuttaa vastaavanlaisen vaurion. [17, s.105–106, 527–528]

Monet lattiamateriaalit, jotka ovat huokoisia, kykenevät betonin lailla sitomaan kosteutta itseensä. Tällaisia materiaaleja ovat erityisesti parketit, jotka kosteuden imemisen vaikutuksesta saattavat turvota ja irrota alustastaan. Korkea kosteus voi myös aiheuttaa kemiallisia hajoamisreaktioita, joiden seurauksena lattiapäällysteet tai -pinnoitteet saattavat tuhoutua, kuplia tai värjäytyä. Veden reagoiminen betonin alkali- ja kalsiumionien kanssa on vahingollista erityisesti päällysteiden kiinnittämiseen käytettäville

liimoille. Kyseisiä vaurioita aiheutuu, mikäli betonin kosteuspitoisuus ylittää päällystetäi pinnoitemateriaalin kosteuden sietokyvyn. [17, s. 528.]

Plastisen kutistuman eli betonin varhaisvaiheessa tapahtuvan kutistuman aiheuttamat halkeamat ovat niin ikään mahdollisia vaurioita betonirakenteessa. Plastisia halkeamia muodostuu, kun betonipinta kuivuu liian nopeasti. Mikäli betonista haihtuvan kosteuden määrä on yhtä suurta kuin betonin tilavuuden pieneneminen, plastisia halkeamia ei ehdi syntyä. Tällöin kiviainesrakenteet ja sementtihiukkaset liikkuvat betonirakenteen sisäosiin, jolloin ne täyttävät haihtuvan veden tyhjäksi jättämän tilan. Plastisia halkeamia muodostuu tyypillisesti 30 min – 6 h valun jälkeen, ja se on yleisintä varsinkin ohuilla rakenteilla, joilla on paljon avointa pintaa, mutta vähän haihtuvaa vettä. Plastisen kutistuman aiheuttamien halkeamien syntymistä nopeuttaa myös korkea lämpötila, alhainen suhteellinen kosteus sekä tuuli. Vaikka plastisista halkeamista ei yleensä aiheudu ongelmia, voidaan halkeamia ehkäistä betonin hyvällä jälkihoidolla, tai umpeuttaa jo syntyneitä halkeamia tehokkaalla hierrolla. [17, s. 75, 77, 104; 21.]

Kun betoni on valettu, alkaa siitä poistumaan heti kosteutta. Veden poistumisesta seuraa betonin tilavuuden pieneneminen, joka puolestaan tarkoittaa sitä, että betoni alkaa kutistumaan. Kelluvissa betonilattioissa esiintyy usein betonin epätasaista kutistumista betonilattian kuivuessa siten, että betonin yläpinta on kuivaa ja alapinta kosteaa, jolloin lattian reuna-alueet käyristyvät. Käyristymisiä esiintyy vain reunakaistoilla, ja niiden suuruus on riippuvainen lähinnä laatan paksuudesta, mutta myös vallitsevat olosuhteet, kuten todella kuiva ilma, voivat kasvattaa käyristymiä merkittävästi. Käyristymiä kyetään ehkäisemään esimerkiksi mahdollisimman karkearakenteisella runkoaineella, pitkäkestoisella jälkihoidolla varsinkin laatan reuna-alueilla, reunakaistoilla, jotka estävät laatan pystyliikkeitä, sekä raudoituksella. Yleensä käyristymiä esiintyy 30...100 cm:n levyisellä reunakaistalla laatan reunasta lukien. [17, s. 74–75; 21.]

On myös mahdollista, että betoniin muodostuu mikrobivaurioita. Tyypillisesti mikrobikasvuun tarvitaan kosteutta, ravinteita, happea, lämpöä sekä hapanta ympäristöä. Vaikka nuori betoni on vahvasti emäksistä, sen pH on noin 13–14, on mikrobien nopeakin kasvu mahdollista, jos muut mikrobikasvua tukevat olosuhteet ovat suotuisia. Mikrobikasvun myös nuoressa betonissa voi aiheuttaa esimerkiksi betonin pintaan jäänyt muottiöljy, pöly tai muottilaudoituksessa jäänyt puu, jotka kaikki sopivat mikrobien ravinteiksi. [17, s. 528; 19.]

Kosteuden aiheuttamia vaurioita betonissa voidaan välttää, mikäli betonirakenteen annetaan kuivua tarpeeksi ennen päällystys- ja pinnoitustöihin ryhtymistä. Tärkeää on myös estää liiallisen lisäkosteuden pääseminen betonirakenteisiin. Betonirakenteen, joka on päällysteen välittömässä läheisyydessä, kosteus ei saa nousta kriittisen korkeaksi. Kriittiseen kosteuteen vaikuttaa materiaalin vesihöyryn läpäisevyys sekä päällystemateriaalin kosteuden sietokyky ja se ilmoitetaan yleensä suhteellisena kosteutena RH (%). Myös tehokkaalla jälkihoidolla pyritään estämään betonirakenteen pinnan liian nopeaa kuivumista, mutta myös varmistamaan betonin lujuudenkehitys. [17, s. 528–529; 21.]

4.3 Betonin jälkihoito

Betonin jälkihoidon tarkoituksena on varmistaa, että betoni saavuttaa sille suunnitellut ominaisuudet, kuten vaaditun loppulujuuden. Käytännössä jälkihoidolla pyritään luomaan valetulle betonille ideaaliset kovettumisolosuhteet, jotka tukevat toivottujen ominaisuuksien saavuttamista. Jälkihoito on hyvä aloittaa heti massan levittämisen jälkeen. [17, s. 341–342; 21.]

Jälkihoidon avulla pidetään huolta siitä, että esimerkiksi betonin pinta ei kuivu liian nopeasti. Betonin pinnan liian nopean kuivumisen takia betoni alkaa kuivumiskutistua, josta seuraa mahdollisten halkeamien syntyminen. Mitä kauemmin jälkihoitoa jatketaan, sitä enemmän betonilla on edellytyksiä kestää kutistuman aiheuttamat jännitykset ja näin halkeilemien mahdollinen syntyminen estyy. Muita riskitekijöitä betonin kovettumisaikana on esimerkiksi alhainen ulkoilman suhteellinen kosteus, voimakas auringonpaiste, tuuli, värinä ja värähtely jne. [17, s. 341–342; 21.]

Jälkihoitoon kuuluu pääasiassa valetun rakenteen suojaaminen sääolosuhteilta (esimerkiksi tuulelta, sateelta ja auringonpaisteelta), rakenteen suojaaminen muilta haitallisilta olosuhteilta (esimerkiksi kylmältä, virtaavalta vedeltä, värinältä ja värähtelyltä), rakenteen pitäminen kosteana, jolla estetään veden haihtuminen, sekä oikean kovettumislämpötilan ylläpitäminen. Suojaaminen voidaan tehdä konkreettisilla suojilla, kuten lämmöneristeillä tai peitteillä, mutta myös erilaisilla ruiskutettavilla jälkihoitoaineilla. Suojaamisella vähennetään ulkoisia haittavaikutuksia ja samalla estetään veden liian nopea haihtuminen. Rakentamisen tapahtuessa talviaikaan suojaamisessa tulisi kiinnit-

tää huomiota myös lämpösuojaan, joka on mahdollista tehdä erilaisilla matoilla tai lämpöeristetyillä muoteilla. [17, s. 342–343.]

Betonirakennetta tulee pitää kosteana tarpeeksi pitkään, jotta betonirakenteen pinta saavuttaisi vaaditun lujuuden ja tiivyyden. Kosteuden ylläpidolla ehkäistään myös kutistumishalkeamien muodostuminen. Betoni pysyy kosteana, jos veden haihtumista estetään esimerkiksi betonin suojaamisella joko muovikalvoin, tai ruiskuttamalla betoniin jälkihoitoainetta. Betonin tarpeenmukaista kosteutta voidaan myös ylläpitää kastelemalla betonia. Suojaus- ja kastelutoimenpiteet tulisi aloittaa mahdollisimman nopeasti, kunhan valettu rakenne on tarpeeksi kestävä kyseisten toimenpiteiden suorittamiselle. Betonia olisi hyvä pitää kosteana 1–2 viikkoa. [17, s. 343.]

Kovettuvan betonin lämpötilaa on myös syytä tarkkailla, sillä betonin lujuudenkehitys on siitä suuresti riippuvainen. Parhaan mahdollisen lujuudenkehittymisen takaamiseksi betonin lämpötila ei saa nousta liian korkeaksi, mutta lämpötila ei saisi laskea myöskään liian alhaiseksi. Siksi betonin kovettumislämpötilaa sekä lujuuden kehitystä tulee seurata tarkasti erityisesti talviolosuhteissa. Betonin kovettumislämpötilaa voidaan ylläpitää lämmittämällä betonia, joka tulisi myös suojata lämpöeristyksellä. Kun rakennusaika kohdistuu kesälle tai tehdään yleisesti massiivisia rakenteita, voi olla syytä varautua betonin jäähtymykseen, sillä liian korkealle nouseva kovettumislämpötila aiheuttaa lujuuskatoa. [17, s. 343.]

Betonin lujuudenkehitystä voidaan seurata joko laskennallisesti, tai sitä voidaan arvioida Sadgroven menetelmällä. Kun betonin lujuutta arvioidaan laskennallisesti, täytyy tiedossa olla käytetyn sementin lujuuden kehitys sekä betonin lämpötila. Betonin lämpötila mitataan rakennuksen kohdasta, jossa on oletettavasti kylmimmät osat. Sadgroven menetelmässä käytetään Sadgroven yhtälöä (1), jonka avulla betonin lujuus voidaan arvioida.

$$t_{20} = \left(\frac{T+16^{\circ}\text{C}}{36^{\circ}\text{C}} \right)^2 \times t \quad (1)$$

jossa T on betonin lämpötila aikana t [°C] ja t on kovettumisaika [d]. [17, s. 92, 344.]

Betonin jälkihoito voidaan lopettaa, kun betoni saavuttaa 50 % tai 70 % nimellislujuudestaan rasitusluokasta riippuen. Nimellislujuus on betonin lujuusluokka, jonka mukaan

rakenne on suunniteltu. Jälkihoidon lopettamisen jälkeen etenkin betonilattiarakenteita tulee kuivattaa ennen päällystys- tai pinnoitustöihin ryhtymistä. [17, s. 343; 109.]

4.4 Betonin kuivuminen

4.4.1 Kuivumisprosessi

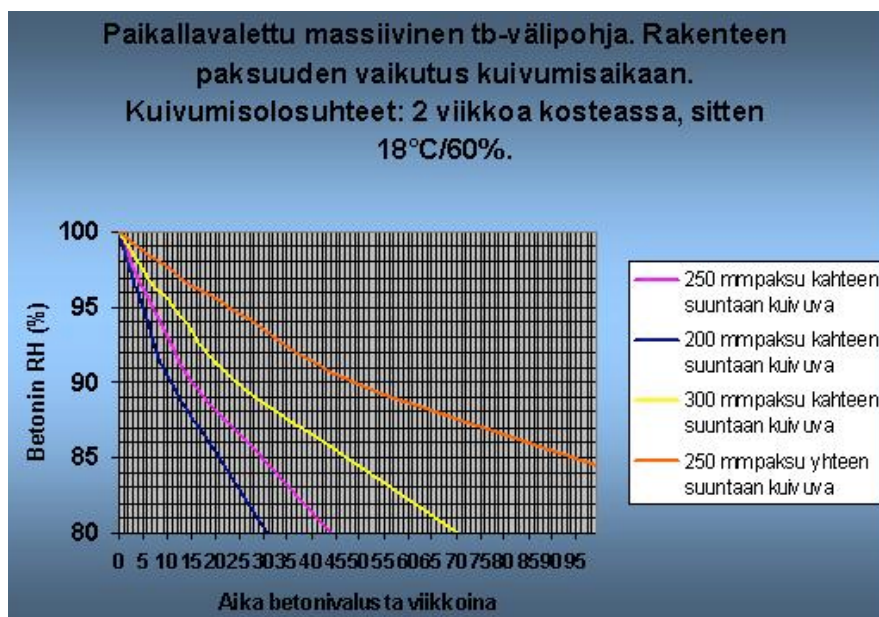
Betonin kuivumisprosessi voidaan jakaa kahteen kuivumisilmiöön: kemialliseen kuivumiseen ja haihtumiskuivumiseen. Kemiallisessa kuivumisessa osa betonin valmistamiseen käytetystä seosvedestä sitoutuu kemiallisesti sementin hydratoitumisreaktioissa, eli käytännössä betonin kovettuessa. Kemiallista kuivumista tapahtuu sitä enemmän, mitä alhaisempi betonin vesi-sideainesuhte on. Tuoreen betonin suhteellinen kosteus on valuvaiheessa noin 100 %, josta kemiallinen kuivuminen poistaa vain noin kaksi prosenttiyksikköä, jolloin betonin suhteellinen kosteus on noin 98 %. [17, s. 535; 20.]

Vaikka betonista poistuu kosteutta kemiallisen kuivumisen ansiosta, edellyttää rakenteen kuivuminen silti haihtumiskuivumista. Betoni kuivuu, kun kosteus siirtyy betonin sisäosista betonin pintaan, josta kosteus haihtuu ilmaan. Tällöin ilman suhteellinen kosteus tulee olla alhaisempi kuin betonin, yleisesti jo 50 %:n suhteellinen kosteus ilmassa on riittävän alhainen betonin kuivumisen takaamiseksi. Erityisesti kesällä tulee kiinnittää huomiota sisäilman suhteelliseen kosteuteen, kun taas talviaikaan pääpaino betonin kuivumisolosuhteiden luomisessa voidaan keskittää lämmitykseen ilman kuivattamisen sijasta. [17, s. 535; 20.]

Kosteus haihtuu nopeasti varsinkin silloin, kun betoni on vielä märkää. Tällöin kosteus pystyy siirtymään kapillaarisesti betonirakenteen sisäosista kohti pintaa, mistä kosteus voi haihtua. Kosteuden kapillaarisiirtyminen ei kuitenkaan ole mahdollista kovin pitkään, koska betonin pinta kuivuu nopeasti. Kun avoin kapillaariverkosto sulkeutuu, jatkuu kosteuden siirtyminen diffuusilla, joka on kapillaarista kosteuden siirtymistä paljon hitaampaa. Näin ollen kuivuminen hidastuu sitä enemmän, mitä syvemmälle rakenteeseen haihtumisrintama etenee. Haihtumiskuivumisen takia betonisen lattian pinnassa suhteellinen kosteus on pienempi kuin betonisen lattian sisäosissa. [17, s. 536; 20.]

4.4.2 Betonin kuivumisnopeus

Betonin kuivumisnopeuteen vaikuttavat erityisesti betonin ominaisuudet, rakenneratkaisu sekä kuivumisolosuhteet. Esimerkiksi betonin vesi-sideainesuhde määrittelee, kuinka hyvin kosteus siirtyy betonissa. Jos betonin vesi-sideainesuhde on alhainen, kosteuden siirtyminen on hidasta. Myös betonirakenteen paksuus vaikuttaa kuivumisnopeuteen. Mitä paksumpaa betonirakenne on, sitä hitaammin kosteus siirtyy betonin sisäosista pinnalle ja haihtuu siitä ympäröivään ilmaan. Kuvassa 16 havainnollistetaan, kuinka betonirakenteen paksuus sekä kuivumissuunta vaikuttaa kuivumisaikaan. Optimaalisten kuivumisolosuhteiden luomisella voidaan niin ikään tehostaa betonin kuivumisnopeutta. Rakennetta voidaan esimerkiksi lämmittää, luoda ilmavirtaus sen sisälle ja huolehtia, että ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on mahdollisimman matala. Myös betonin mahdollinen kastuminen tulisi estää kunnollisilla sääsuojilla. Vain muutamana päivänä kastuminen voi pidentää betonin kuivumisaikaa usealla viikolla, jolloin työmaan aikataulu venyy. Huomionarvoista on, että kastuessaan vanhan betonin kuivumisaika saattaa olla moninkertainen verrattuna nuoreen betoniin. [17, s. 529, 536–538, 545; 20.]



Kuva 16. Betonirakenteen paksuuden sekä kuivumissuuntien vaikutus betonirakenteen kuivumisaikaan. Jos betonirakenne on paksua ja se kuivuu vain yhteen suuntaan, voi kuivuminen kestää monia vuosia. [20]

Betonin kuivuminen on pitkä prosessi, ja se voi jatkua sisätiloissa vielä useita vuosia valun jälkeen. Vaikka betonia pyritään kuivattamaan jo rakennusaikana ennen lattia-

päälysteiden ja -pinnoitteiden asentamista, ei betonin tarvitse kuitenkaan saavuttaa tasapainotilaa sitä ympäröivän huonetilan kanssa. Rakennusaikaisessa kuivumisessa riittää, että betonirakenne kuivuu pintaan asennettavien materiaalien vaatimalle tasolle. Taulukossa 1 on esitetty betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja päälystysmateriaaleille. Lattiapäälysteet ja -pinnoitteet voidaan asentaa vasta, kun kyseiset betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot materiaalienkohtaisesti täyttyvät. Betonin tarpeenmukainen kuivuminen tulee ottaa aina huomioon suunniteltaessa työmaan aikatauluja. [17, s. 536; 20.]

Taulukko 1. Betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja eri materiaaleilla [106].

Betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvo %	Päällyste	Huomautuksia
60	- Sauva- ja lautaparketit ilman puun ja betonin välistä kosteudeneristystä	Puun kosteusliikkeet Sienikasvun alkaminen
80	- Mosaiikkiparketti	Puupäällyste irtoaa kosteusliikkeidensä takia alustasta
85	- Huopa- tai solumuovipohjaiset muovimatot - Kumimatot - Korkkilaatat, laattojen alapinnassa kosteudeneristys - Tekstiilimatot, joissa on alusrakenne (kumi, PVC, kumilateksisiveily) - Luonnonmateriaalista tehdyt tekstiilimatot ilman alusrakennetta	Bakteeritoiminta, sienikasvu, liimojen kosteudenkestämättömyys (PVAc)
90	- Muovilattiat - Muovimatot ilman huopa- ja solumuovipohjaa - Linoleum - Alustaan kiinnittämättömät puulattiat, puun ja betonin välissä kosteudeneristys - Polyuretaanimuovimassat - Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta (erikoistapauksissa suht. kosteus $\leq 97\%$)	Useimmat liimatyyppit eivät kestä suurta kosteutta, päällysteessä muutoksia. Puulattioiden kosteudeneristyksenä toimii esim. 0,2 mm:n muovikalvo, saumat limitäin tai teipattuina. Märissä tiloissa sekä kosteuden ollessa suuri ($\geq 90\%$) mattojen kiinnitykseen on käytettävä vedenpitävää liimaa ja riittävän runsaalla liimamäärällä varmistettava saumojen pitävyys.
97	- Epoksi-, akryyli- ja polyesterimuovimassat	Betonin pinnan on oltava muovimassaa levitettäessä kuiva sekä riittävän lämmin, muussa tapauksessa pinta on kuivattava välittömästi ennen massan levitystä esim. säteilylämmityksellä kovettumisen ja tartunnan varmistamiseksi.

4.5 Betonin kosteuden mittaaminen

Betonirakenteen kosteusmittaus on tarpeellinen työvaihe esimerkiksi ennen betonirakenteen päällystämistä tai pinnoittamista. Kuten aiemmin on todettu, voi betonin lialli-

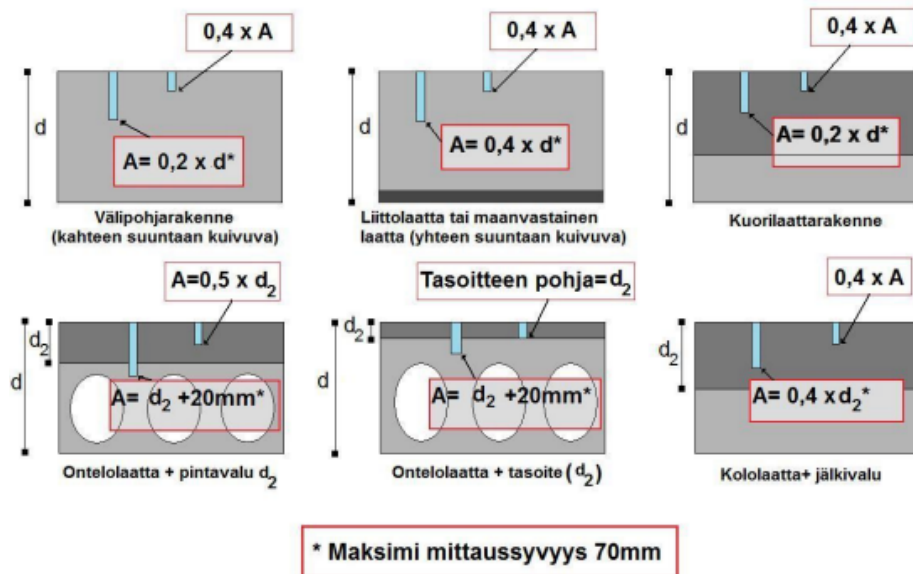
nen kosteus aiheuttaa monia vaurioita päällysteille. Kosteusmittauksilla voidaan välttää päällysteen joutuminen liian suureen kosteusrasitukseen, jolloin päällysteeseen voi muodostua joko mikrobivaurioita tai kemiallisia vaurioita, voi tapahtua päällysteiden kosteusliikkeitä tai kiinnitettävä materiaali voi irrota alustastaan. Kosteusmittauksilla voidaan myös tarkastella sitä, kuinka betonin kuivuminen edistyy. Näin voidaan välttää betonin liian nopea kuivuminen sekä komplikaatiot, joita liian nopeasta kuivumisesta seuraa, mutta vaihtoehtoisesti varmistua tehostetun kuivattamisen tarpeellisuudesta. [22]

Mittauskohtien oikeanlainen valinta on välttämätön osa betonin kosteusmittauksia. Mittauskohtien valintaan vaikuttaa erityisesti syy, miksi mittauksia suoritetaan. Huomiota tulisi myös kiinnittää esimerkiksi valuajankohtaan, olosuhde-eroihin ja rakenteiden mahdollisiin kastumisiin. Kuivuessa betoniin muodostuu kosteusjakauma, jossa betonin sisäosa on kosteampaa ja pintaosa taas kuivempaa. Mahdollisissa kastumisissa voi kuitenkin lopputuloksena olla päinvastainen kosteusjakauma, jolloin betonin sisäosat ovat kuivempia, kuin pintaosat. [22; 23.]

Mittauspisteiden määrä on olennaisesti riippuvainen kohteesta. Yleisesti minimiotantana pidetään kahta mittauskohtaa betonirakenteessa: oletettu kuivin sekä oletettu kostein kohta. Kosteusmittaajan tulee selvittää tarpeelliset mittauspisteet sekä tehdä niiden perusteella mittaus suunnitelma. Kosteuden mittaajalta edellytetään ammattitaitoa ja -tietoa rakennusmateriaaleista sekä rakenteista, mutta myös tuntemusta rakennusfysiikasta. [22; 23.]

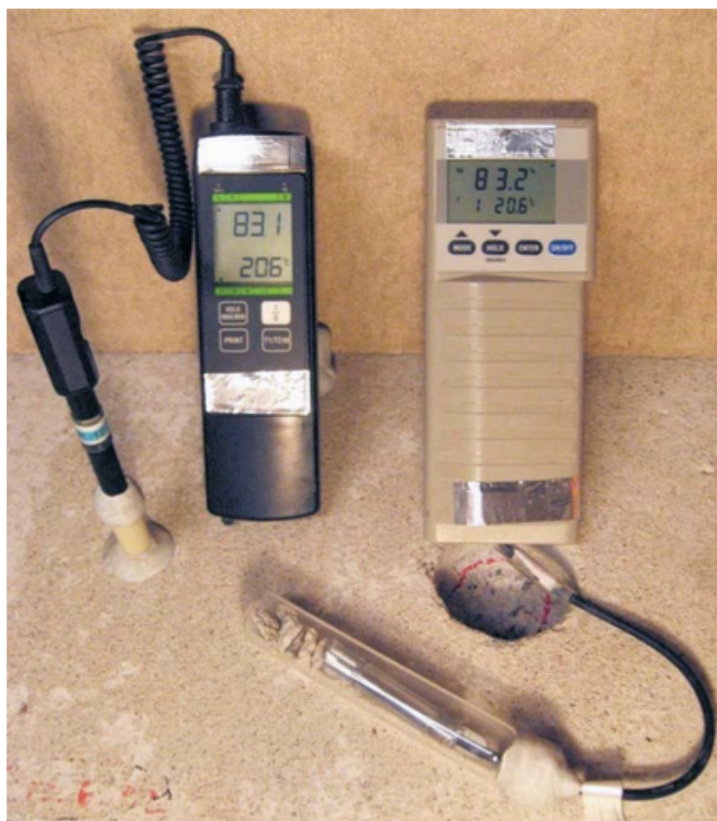
Betonin kosteusmittauksilla määritetään betonin suhteellinen kosteus tietyissä syvyyksissä. Arviointisyvyudet määräytyvät betonin rakenneratkaisuun sekä paksuuteen perustuen yleensä kuvan 17 mukaisesti niin, että suhteellinen kosteus mitataan syvyydeltä A sekä lähempää rakenteen pintaa syvyydeltä $0,4 \times A$. Näin saadaan tietoon betonirakenteen kosteusjakauma. Mikäli mittauksissa todetaan, että arviointisyvyydellä A on kosteampaa kuin arviointisyvyydellä $0,4 \times A$, voidaan päätellä, että tiiviillä pintamateriaalilla päällysteen alle tasapainottuu lähes sama kosteuspitoisuus kuin syvyydellä A. Jos pintamateriaalina käytetään vastaavasti vesihöyryä hyvin läpäisevää päällystettä, vaikuttaa päällysteen alle tasapainottuvaan kosteuspitoisuuteen enemmän matalammassa mittaussyvyyksissä vallitseva kosteuspitoisuus. Matalammalla mittaussyvyydellä varmistetaan myös, että betonin pinnassa kosteuden siirtyminen on riittävän hidasta.

Näin betonin pintaosat kykenevät reagoimaan ottamalla vastaan kosteutta, jota erittyy päällysteen tasoitteista ja liimoista. [22; 23.]



Kuva 17. Betonirakenteen kosteusmittausyvytydet eri rakennepaksuuksilla [42].

Betonin suhteellista kosteutta voidaan mitata tarkasti porareikämittauksella sekä näytepalamittauksella. Kuvassa 18 esitetään vasemmalla porareikämittausvälineet ja niillä saatu betonirakenteen suhteellisen kosteuden arvo, kun taas oikealla näytepalamittausvälineet ja niillä saatu betonirakenteen suhteellisen kosteuden arvo. Molemmat mittaustavat ovat varsin työläitä, sillä niissä joudutaan esimerkiksi rikkomaan rakennetta. Aina betonin kosteusmittauksissa ei ole välttämätöntä saati mahdollista päästä tarkoihin mittaustuloksiin, jolloin suhteellista kosteutta voidaan arvioida suuntaa antavilla mittauksilla. Tällaisia kosteusmittauksia ovat esimerkiksi pintakosteusilmaisimella tarkastelu sekä erilaiset sovellukset porareikämittauksista ja näytepalamittauksista, kuten putkittamattomasta reiästä mittaaminen, porareikämittaus toistuvasti samasta reiästä, mittaaminen pian poraamisen jälkeen, jatkuvasti mittaaminen betonin sisällä olevalla anturilla, näytepalamittaus suositusnäytemäärää pienemmällä näytemäärällä jne. [22; 23.]

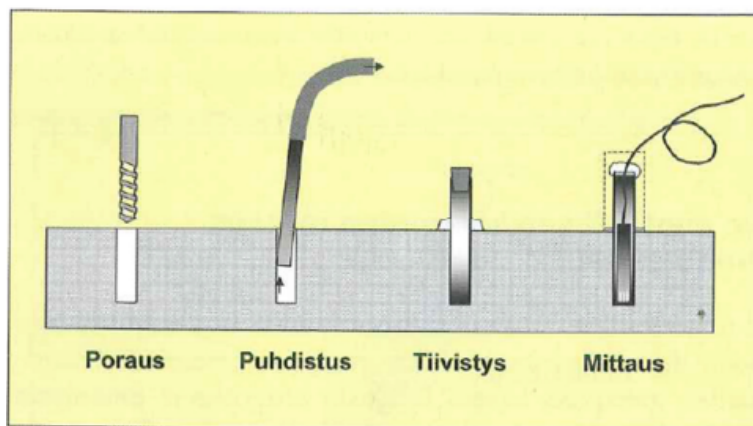


Kuva 18. Vasemmalla porareikämittausmenetelmällä määritelly suhteellisen kosteuden arvo, oikealla näytepalamittausmenetelmällä saatu suhteellisen kosteuden arvo [23].

4.5.1 Porareikämittaus

Porareikämittausta voidaan käyttää betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaamisessa, kun betonin lämpötila on $+15\text{ °C}$:n ja $+25\text{ °C}$:n välillä, eikä rakenteen yläpuolisen ilman ja rakenteessa olevan mittapään näyttämien ero saa olla yli 2 °C . Mikäli lämpötilat poikkeavat niille määritellyistä rajoista, tulee kosteus mitata näytepalamittausmenetelmällä. Myös olosuhteiden täytyy pysyä vakaina mittauspisteen ympärillä ja ympäristössä koko mittauksen ajan, eli porauksesta aina lukemien ottoon. Huomiota tulee kiinnittää myös mahdolliseen lattialämmitykseen: lattialämmitys tulee katkaista vähintään viikkoa ennen mittauksien suorittamista, jotta suurilta mittausepäätarkkuuksilta vältyttäisiin. Mittausepäätarkkuuksia syntyy, kun betonirakenteen ja sen ympäröivän ilman lämpötilaero kasvaa, mutta myös kosteuden siirtyessä tehostetusti mittausputkeen lämmityksen takia. Muissa tapauksissa mittaus tulee jälleen suorittaa näytepalamittauksella tarkempien mittautulosten varmistamiseksi. [22; 23.]

Käytännössä porareikämittaus aloitetaan selvittämällä rakenneselitys, jonka mukaan määritellään mittaussyvydet. Mittaussyvyydelle A porataan kuivamenetelmällä kaksi rinnakkaista reikää sekä yksi reikä matalammalle $0,4 \times A$ syvyydelle (kuva 17). Poratut reiät puhdistetaan, tiivistetään ja suojataan lämpötilavaihteluilta ja muilta häiriöiltä. Reikään sijoitetaan myös mittausputki, joka ulottuu reiän pohjaan asti ja on umpinainen sivuilta. Kuvassa 19 demonstroituna porareikämittauksen vaiheet. Itse mittaukset voidaan suorittaa, kun tasapainokosteus on reiässä saavutettu. Tähän kuuluu yleensä vähintään kolme vuorokautta. [22; 23.]



Kuva 19. Betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä [106].

Kun reiän on annettu tasaantua tarpeeksi kauan, asennetaan reikään mittapää. Mittapää tulee asentaa reikään nopeasti, ja myös mittapään sekä putken väli täytyy tiivistää välittömästi ja huolellisesti. Mittapään kuuluu tasaantua reiässä riittävän kauan, yleensä 1–4 tuntia. Tämän jälkeen mittapää kiinnitetään näyttölaitteeseen, joka kertoo betonin suhteellisen kosteuden ja lämpötilan. Mittauksista kirjataan ylös myös mittapään numero, mittauspisteen sijainti, mittaussyvyys ja huoneilman lämpötila sekä sen suhteellinen kosteus. Suoritetuista mittauksista tehdään raportti, jossa kerrotaan tulokset ja johtopäätökset sekä kuvaillaan tarkasti käytetty mittausmenetelmä. [22; 23.]

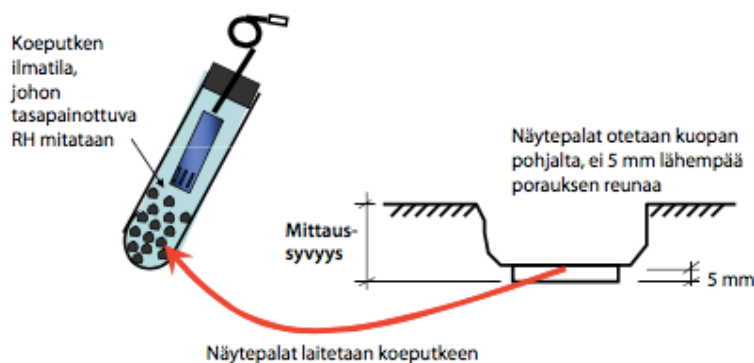
4.5.2 Näytepalamittaus

Näytepalamittauksella saadaan betonin suhteellisen kosteuden arvo tietoon nopeammin kuin porareikämittauksella. Suhteellisen kosteuden mittaukset voidaan tehdä aina näytepalamenetelmällä, mutta rajoitteita kyseisen mittausmenetelmän käyttöön aiheuttaa näytteenottosyvyys: näytepalamittausta ei voida tehdä, mikäli mittausarvo tarvitaan

todella syvältä betonista. Näytepalamittaus on käytännöllinen mittausmenetelmä, sillä mittausolosuhteiden lämpötila tai epävakaus eivät vaikuta mitatun kosteuspitoisuusarvon luotettavuuteen. Myöskin rakenteen lämpötilalle ei aseteta yhtä tiukkoja rajoja kuin esimerkiksi porareikämittauksessa, vaan betonin lämpötila saa olla aina $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:sta $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$:een. [22; 23.]

Kun mittauskohdat on valittu sekä mittausvyvydet ovat määritelty samalla tavalla kuin porareikämittauksessa, tehdään betoniin monttu, joka on halkaisijaltaan 50–100 mm ja jonka pohja on 5 mm ylempänä mittausvyvyttä. Montun pohjalta piikataan näytemurusia, jotka sijoitetaan mahdollisimman nopeasti koeputken suhteellisen kosteuden mitauspään kanssa. Näytteitä ei saa ottaa 5 mm lähempää porauksen tai työstön sisäreunaa. Näytepalojen koko tulee olla vähintään 5 mm X 5 mm X 5 mm, eikä niiden joukkoon saa sekoittua esimerkiksi porauspölyä. [22; 23.]

Koeputken, johon näytepalat sekä mittapää on laitettu, suu tulee sulkea mahdollisimman tiiviisti. On myös tärkeää huolehtia siitä, että näytteiden määrä on koeputkessa vähintään kolmasosa koeputken tilavuudesta. Tällä varmistetaan, että näytepalojen sisällä oleva kosteus tasapainottuu koeputken ilmatilaan. Koeputket betonipaloineen siirretään vakiolämpötilaan tasaantumaan 5-20 tunniksi riippuen mittapään tasaantumisajasta. Vaadittuun tasaantumisaikaan vaikuttaa oleellisesti myös näytteenottohetken suuremmat poikkeamat betonin normaalista lämpötilasta sekä betonin lujuus, jolloin tasaantumiselle tulee antaa enemmän aikaa. [22; 23.] Kuvassa 20 esitetään näytepalamittaus.



Kuva 20. Näytepalat tulee ottaa riittävältä syvyydeltä sekä tarpeeksi kaukaa porauksen reunasta. Näytepaloja tulee olla koeputkessa vähintään kolmasosa sen tilavuudesta. [23]

Kun tasaantumisesta on kulunut riittävän pitkä aika, luetaan näyttölaitteesta suhteellinen kosteus ja lämpötila. Lämpötila, jossa lukemat otetaan, tulee olla ± 2 °C verrattuna rakenteen normaaliin käyttölämpötilaan. Myös mittapään tiedot kirjataan ylös ja saaduista tuloksista sekä johtopäätöksistä laaditaan vastaavanlainen raportti kuin porareikämittauksista. [22; 23.] Kuvassa 21 näkyy suhteellisen kosteuden mittaamisessa käytettävä näytepalamittauslaitteisto.

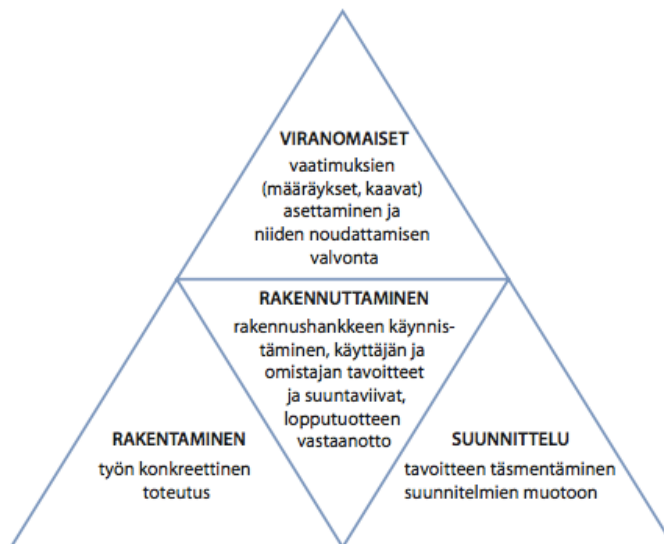


Kuva 21. Näytepalamittaukseen käytettävä laitteisto. Tiivistetyssä koeputkessa oleva mittapään johto on kiinnitetty näyttölaitteeseen. [23]

5 Rakennushanke

5.1 Osapuolet

Talonrakennushanke on iso projekti, jonka läpivientiin osallistuu monia osapuolia. Osapuolilla on oma tehtävänsä aina projektin aloittamisesta projektin konkreettiseen toteuttamiseen ja lopuksi vastaanottamiseen. Karkeasti osapuolet voidaan jakaa neljään ryhmään riippuen vastuista: rakennuttaminen, suunnittelu, rakentaminen sekä viranomaiset (kuva 22). [16]



Kuva 22. Rakennushankkeen osapuolet voidaan jakaa karkeasti rakennuttamiseen, suunnitteluun, rakentamiseen sekä viranomaisiin [16].

5.1.1 Rakennuttaminen

Rakennuttamisen hoitaa yleensä rakennushankkeeseen ryhtyvä, tilaaja tai rakennuttaja. Käytännössä termeillä ei ole suuria eroja, sillä termit kuvaavat yleensä samaa asiaa, jota arkikielessä kutsutaan pelkäksi rakennuttajaksi. Rakennuttamisen keskeisimmät tehtävät ovat esimerkiksi rakennushankkeen käynnistäminen, lupien hankkiminen, rakentamisen läpivieminen asetusten ja lakien mukaisesti, hankkeen vaatimusten sekä tavoitteiden määrittäminen ja lopputuotteen vastaanottaminen. [16]

5.1.2 Suunnittelu

Rakennushankkeeseen osallistuu myös suunnittelijaryhmä, jonka vastuulla ovat rakennushankkeen eri suunnitteluosa-alueet. Suunnittelijaryhmä koostuu eri alojen asiantuntijoista, jotka vastaavat oman erityisosaamisen suunnittelutehtävistä. Rakennushankkeesta riippuen suunnittelijoille asetetaan kelpoisuusvaatimuksia, joiden täyttymisen arvioi rakennusvalvontaviranomainen. Kelpoisuusvaatimukset määräytyvät taas erilaisien vaativuusluokkien mukaan. [16; 24.]

Vaikka suunnitteluryhmä koostuu monista suunnittelijoista, on suurin vastuu silti pääsuunnittelijalla. Pääsuunnittelija vastaa suunnitteluryhmän koordinoinnista sekä suunnittelun kokonaisuudesta. Muita suunnittelijaryhmään kuuluvia ovat mm. rakennus-

suunnittelija, erityissuunnittelijat, kuten rakennesuunnittelijat ja talotekniset suunnittelijat, sekä asiantuntijat. [16; 24.]

5.1.3 Rakentaminen

Rakentaminen on rakennushankkeen konkreettisin osuus, jolloin rakennus rakennetaan. Rakentamisvaiheeseen osallistuu usein monia urakoitsijoita, jotka vastaavat oma erityisosaamista vaativista osa-alueista. Rakentamisessa on kuitenkin sama periaate kuin suunnittelussa: työmaata johtaa päätoteuttaja, joka vastaa kokonaisuuden läpiviennistä. Yleensä päätoteuttajaksi nimetään pääurakoitsija. [16]

Tyypillisesti rakennustyömaalla on myös muita urakoitsijoita pääurakoitsijan lisäksi. Esimerkiksi aliurakoitsijat ovat urakoitsijoiden tilauksia suorittavia henkilöitä tai yhtiöitä, jotka vastaavat suorituksestaan heidät palkanneelle urakoitsijalle. Sivu-urakoitsija taas on sopimussuhteessa suoraan rakennuttajaan ja suorittaa työmaalla pääurakkaan kuulumatonta työtä. [16]

5.1.4 Viranomaiset

Rakennusprojektista riippuen rakentamiseen tai purkamiseen tarvitaan aina rakennusviranomaiselta lupa. Esimerkiksi rakennuslupaa vaaditaan projekteissa, jossa rakennetaan täysin uutta rakennusta, mutta myös merkittävässä korjaus- ja muutostöissä. Mikäli lupa-asian ratkaiseminen ei edellytä rakentamisessa tarvittavaa ohjausta, projektille riittää pelkkä toimenpidelupa. On kuitenkin rakennushankkeeseen ryhtyvän velvollisuus osoittaa, että rakennustoimenpide on lakien, säännösten sekä voimassaolevan kaavan mukainen. [16; 24.]

Rakennushankkeessa rakennusvalvontaviranomaisen tehtävä on varmistaa osaltaan, että rakentamisessa noudatetaan voimassaolevia lakeja sekä yleisen edun valvominen rakennustoiminnassa. Rakennusvalvonnan päätehtäviä ovat suunnittelijoiden ja työjohtajien kelpoisuuksien arviointi, suunnitelmien ennakkokatselmukset ja rakennuspaikalla pidettävät katselmukset ja tarkastukset. Vaikka rakennusvalvontaviranomaisilla on suuri rooli esimerkiksi lakien valvomisessa, kuuluu niiden, jotka ovat vastuussa hankkeen toteutumisesta, täyttää heille määrätyt vastuut ja velvollisuudet. [16; 24.]

5.2 Toteutusmuodot

Kun rakennushankkeen suunnitelmat ovat edistyneet tiettyyn valmiuteen, rakennuttajan tulee päättää, kuinka rakennustyö toteutetaan. Yleisesti rakennustyö voidaan tehdä joko omana työnä, jolloin rakennuttaja organisoii kaiken tarvittavista työvälineistä aina konkreettisiin töihin, tai teettämällä työt yhdellä tai useammalla yrityksellä urakointimennettelyä noudattaen. Toteutusmuodon valinta konkretisoituu, kun rakennushanketta hankitaan tai kilpailutetaan. Tällöin yleensä määritellään, kuinka rakennushanke vietään läpi suunnittelun ja käytännön toteutuksen osalta, mutta myös hoidetaan sopimustekniset asiat. Käytännössä toteutusmuodon valinta vaikuttaa siihen, kuinka tehtävät, riskit sekä hyödyt jakaantuvat eri osapuolten välillä. [25; 26, s. 38–39.]

Toteutusmuodon valinta nojautuu rakennuttajan päätökseen. Rakennuttajan tulee arvioida toteutusmuotoa päättäessä, kuinka hankkeelle asetetut tavoitteet parhaiten saavutetaan sekä kartoittaa riskit ja niiden luontevin jakaminen osapuolten kesken. Toteutusmuodon valintaan sisältyy suunnittelu- ja urakkamuodon valinta. Tällöin päätetään esimerkiksi siitä, vastaako yksi suunnittelija tai urakoitsija kaikesta, vai jaetaanko suunnittelua tai urakointia useimmille toimijoille. [25; 26, s. 38–39.]

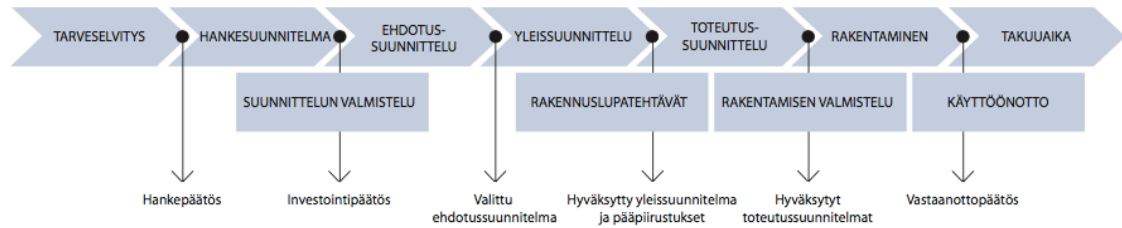
Toteutusmuodon valinta vaikuttaa erityisesti siihen, kuinka suunnittelu- ja rakentamispalvelut sekä urakoitsijat hankitaan. Rakennuttaja voi esimerkiksi jättää itselleen mahdollisuuden valita ja kilpailuttaa urakoitsijoita, jolloin rakennuttaja tekee useita eri sopimuksia eri urakoitsijoiden kanssa, tai rakennuttaja voi ulkoistaa urakan yhdelle urakoitsijalle, joka tekee omat aliurakointisopimukset. Näin toteutusmuodon valinnalla määritetään myös rakennushankkeen sopimusperusteet, vastuunjaot ja johtamisperiaatteet. Suunnittelumuodoksi on mahdollista valita esimerkiksi kokonaissuunnittelu, jaettu suunnittelu tai ositettu suunnittelu. Varsinaiset toteutusmuodot voidaan jakaa karkeasti, suunnittele ja rakenna -muotoihin, pääurakkamuotoihin, projektinjohtomuotoihin, yhteisvastuumuotoihin ja elinkaarivastuumuotoihin (taulukko 2). [25; 26, s. 41–42.]

Taulukko 2. Rakennushankkeen eri urakkamuotoja. Taulukossa myös suunnitteluvastuiden jakautuminen ja päätökset aliurakoitsijoiden valinnasta riippuen eri urakkamuodoissa. [25]

	URAKKAMUOTO	SOPIMUKSEN SUUNNITELMAT	VASTUU SUUNNITELMISTA	PÄÄTÖKSET ALIURAKOISTA
SUUNNITTELE JA RAKENNA -MUODOT	SR-urakka	Hanke- tai ehdotus-suunnitelma	Toteuttaja	Toteuttaja
	Teknisten ratkaisujen urakka	Ehdotus- tai yleis-suunnitelma	Vastuu siirtyy toteuttajalle	Toteuttaja
PÄÄURAKKAMUODOT	Kokonais-urakka	Yleis- tai toteutus-suunnitelma	Rakennuttaja	Toteuttaja
	Jaettu urakka	Yleis- tai toteutus-suunnitelma	Rakennuttaja	Toteuttaja
PROJEKTINJOHTO-MUODOT	PJ-urakka	Päätetään hankkeen mukaan	Rakennuttaja tai vastuu siirtyy	Rakennuttaja
	PJ-palvelu	Hanke- tai ehdotus-suunnitelma	Rakennuttaja	Rakennuttaja
	PJ-rakennuttaminen	Yleis- tai toteutus-suunnitelma	Rakennuttaja	Rakennuttaja
YHTEISVASTUU-MUODOT	Hanke-kumppanuus	Päätetään hankkeen mukaan	Yhteinen vastuu	Päätetään yhdessä
	Projekti-allianssi	Hanke-suunnitelma	Yhteinen vastuu	Päätetään yhdessä
ELINKAARIVASTUU-MUODOT	Eiinkaari-urakka (PPP)	Ehdotus-suunnitelma	Toteuttaja	Toteuttaja

5.3 Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu

Rakennushanke on suuri prosessi, jonka onnistuneeseen toteuttamiseen sisältyy monia vaiheita. Rakennushankkeen tarpeellisuuden määrittää rakennuttaja, kiinteistökehittäjä tai -sijoittaja, jolloin rakennushanke on mahdollista käynnistää. Hanke alkaa tarveselvityksellä, josta edetään hankepäätökseen. Vasta hankesuunnittelun jälkeen tehdään varsinainen investointipäätös sekä aloitetaan suunnittelun valmistelu. Hanke-suunnittelusta seuraa erä suunnitteluvaiheita, jotka etenevät ehdotussuunnittelusta yleissuunnitteluun ja yleissuunnittelusta toteutussuunnitteluun. Vasta toteutussuunnittelun jälkeen saadaan hyväksytyt toteutussuunnitelmat, joiden mukaan rakentaminen etenee. Kun konkreettinen rakentaminen on saatu päätökseen, vastaanottaa rakennuttaja hyväksytyyn lopputuotokseen, minkä jälkeen alkaa takuu-aika. [27] Kuvassa 23 esitetään rakennushankkeen eteneminen vaihe vaiheelta.

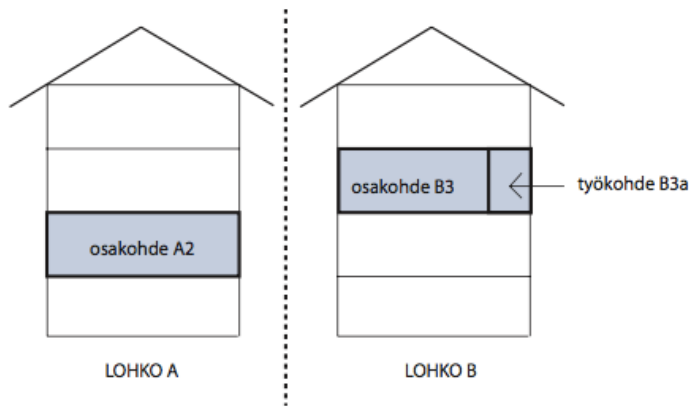


Kuva 23. Rakennushankkeen vaiheet [27].

Rakennushankkeen osittelu on hyvä työväline erityisesti projektin hallinnolle. Osittelun avulla rakennusprojekti voidaan jakaa pienempiin kokonaisuuksiin, joita työnjohto kykenee johtamaan kätevämmiin. Osittelu toimii suunnannäyttäjänä esimerkiksi vastuunjaossa, aikataulusuunnittelussa, budjetoinnissa ja riskien tunnistamisessa. Näin osittelulla voidaan kuvata koko projekti sekä se, kuinka eri osat liittyvät toisiinsa. [27; 28, s. 12.]

Osittelussa määritellään tavoiteltujen lopputulosten lisäksi koko projektin tarkoitus ja sen tulisi sisältää kaikki työt, joita vaaditaan projektin valmistumiseen. Eri osittelut vaikuttavat koko rakennushankkeen ohella myös toisiinsa ja siksi osittelussa on tärkeää huomioida kokonaisuus. Hyvän kokonaisuuden luomiseksi osittelussa tulisi ottaa kantaa myös siihen, mikä taho hallitsee ja huolehtii eri vaiheita sekä osia. Käytännössä osittelun avulla koko projekti jaetaan selviin vastuukokonaisuuksiin ja osaprojekteihin. [27; 28, s. 12–13.]

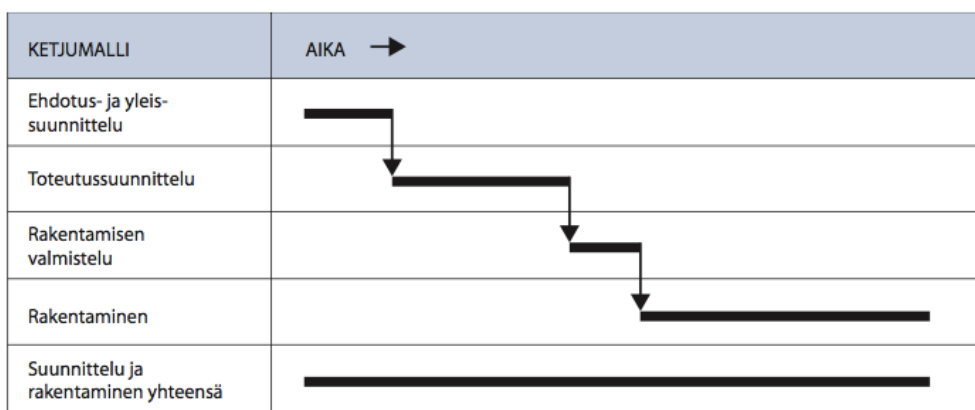
Osittelumenetelmiä on monia, joten tietyn menetelmän käyttäminen riippuu rakennushankkeen ominaispiirteistä. Myös useampien ositusmenettelyiden käyttäminen on mahdollista yhdessä projektissa (kuva 24). Yleisesti osittelua voidaan tehdä esimerkiksi vaiheiden, työlajien, osapuolien, sijainnin sekä urakoiden mukaan. [27; 28, s. 14.]



Kuva 24. Esimerkki osittelusta. Kyseisessä osittelussa rakennushanke on jaettu sijainnin mukaan lohkoihin, osakohteisiin ja työkohteisiin. [27]

5.4 Rakennushankkeen kesto ja aikataulut

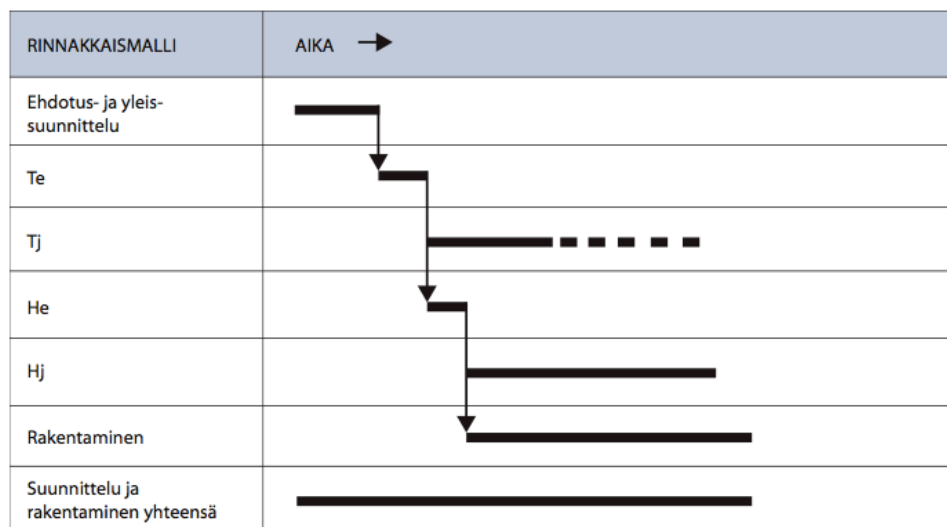
Rakennushankkeen aikatauluttaminen on olennainen osa rakennusprojektia. Aikataulujen avulla saadaan hyvä kokonaiskuva projektista ja sen lisäksi aikataulut toimivat merkittävänä ohjauksen ja valvonnan välineinä. Niissä esitetään mm. työtehtävät, niiden ajankohdat sekä suoritusjärjestys. Vaikka aikataulut tukevat projektin johdonmukaista läpivientiä ja mahdollistavat onnistuneen lopputuloksen, itse rakennustyömaalla kuitenkin tärkeämmässä roolissa esiintyy toteutuksen ohjaaminen sekä tuotannon johtaminen. Kuvassa 25 esimerkki varsinkin pääurakkamuodoissa käytetystä aikataulumuodosta, jossa hankkeen vaiheet tulevat peräkkäin. [29; 30, s. 40, 62.]



Kuva 25. Erityisesti pääurakkamuodoissa käytetty ns. ketjumalli, jossa seuraava vaihe aloitetaan vasta edellisen päätyttyä [29].

Aikataulut tulisi suunnitella mahdollisimman realistisesti ja käyttötarkoitukseen sopivaksi, mutta niissä tulisi samalla silti olla tavoitteellisuutta. Realistiset aikataulut mahdollistivat hankkeen suunnitellun etenemisen ja valmistumisen oikea-aikaisesti, mutta lisää myös urakoitsijoiden sekä konsulttien kiinnostusta hanketta kohtaan. Esimerkiksi sopimusteknisistä asioista, kustannuksista ja resursseista kyetään sopimaan paremmin, kun rakennushankkeella on hyvin suunnitellut aikataulut. Realistisilla aikatauluilla myös osapuolten yhteistyö sujuu paremmin. [29; 30, s. 62.]

Myös lopputuloksen laatuun voidaan vaikuttaa realistisella aikataulutuksella. Hyvässä aikataulussa tulisi selvittää projektiosapuolten tehtävät, niiden yhteensovittaminen ja aika, joka kuluu tehtävien suorittamiseen. Aikataulut eivät saisi olla liian tiukkoja, vaan aikaa tulisi varata tarpeeksi projektiorganisaation perustamiselle, suunnittelulle, rakentamisen valmistelulle, rakentamiselle, mutta myös esimerkiksi rakenteiden kuivumiselle. Myös olosuhteet, niiden hallinta ja niiden muuttuminen tulisi ottaa aikatauluissa huomioon unohtamatta kuitenkaan muita mahdollisia häiriötilanteita. Rakennushankkeen tavoitteellisesta kokonaisajasta päättää kuitenkin rakennuttaja. Hankkeen vaiheiden ja tehtävien aikatauluttaminen nojautuu kyseiseen kokonaisaikaan ja tarpeen tullen vaiheita voidaan limittää keskenään, jotta rakennushanke sujuisi nopeammin (kuva 26). [29; 30, s. 62.]



Te = ennen rakentamisen alkua tehtävien hankintojen toteutussuunnittelu

Tj = rakentamisen aikana tehtävien hankintojen toteutussuunnittelu

He = ennen rakentamisen alkua tehtävät hankinnat

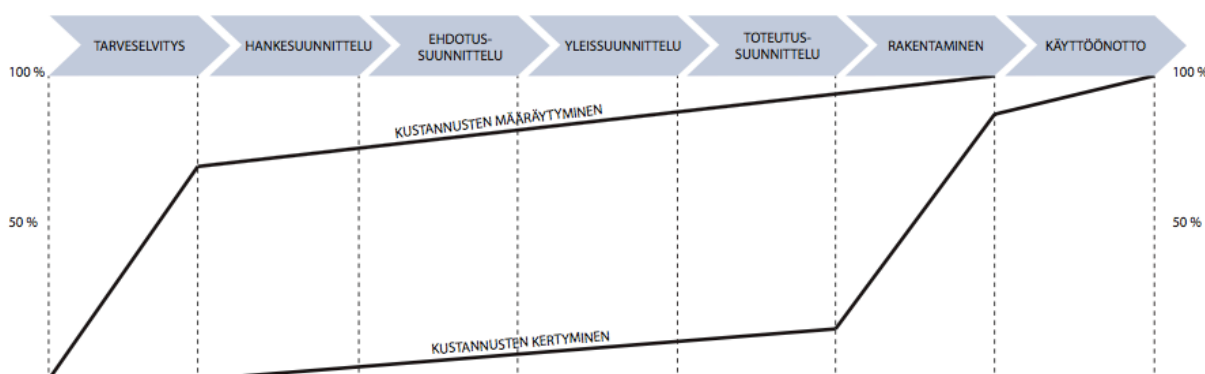
Hj = rakentamisen aikana tehtävät hankinnat

Kuva 26. Esimerkki rinnakkaismallista, jossa rakennushankkeen kesto on lyhennetty eri vaiheiden limittämisellä. Rakennusvaiheiden limittäminen on mahdollista erityisesti projektinjohto- ja yhteisvastuullisissa toteutusmuodoissa. [29]

Yleisesti koko hankkeen aikataulua kuvaa hankeaikataulu, jossa kuvataan eri vaiheiden ajoitus ja kesto, eli koko rakennushankkeen läpivienti. Kun hankeaikataulua laaditaan, tulee siinä ottaa huomioon mm. hankesuunnittelun kesto, rakennusluvan ja rakennussuunnittelun kesto, rakentamisen valmistelu sekä rakentamisen kesto. Yhdessä rakennusprojektissa käytetään kuitenkin monia muitakin aikatauluja, jotka voivat olla esimerkiksi eri osapuolten laatimia omaan käyttöönsä. Hankeaikataulun lisäksi rakennushanketta rytmittävät myös esimerkiksi rakentamisaikataulu, suunnittelu-aikataulu, yleisaikataulu, rakentamisvaihe-aikataulu, hankinta-aikataulu, viikko-aikataulu jne. [29; 30, s. 40–62.]

5.5 Rakennushankkeen kustannukset

Rakennushankkeen kustannukset määräytyvät jo suunnitteluvaiheessa, mutta realisoidut vasta rakentamisvaiheessa (kuva 27). Käytännössä rakennuttaja määrittelee hankkeen kokonaiskustannustasolle raamit ratkaisullaan ja päätöksillään. Siksi rakennuttajan tulisi huomioida jo hankkeen alkuvaiheessa tekijät, jotka vaikuttavat kustannuksiin sekä vaikuttaa kustannusten kertymiseen omalla toiminnallaan. Rakennuttajan päätöksiä tulisi perustua realistisiin kustannustietoihin ja -arvoihin, ja niissä tulisi olla tarpeeksi joustovaraa muuttuville tilanteille, jotka voivat osaltaan vaikuttaa kustannusten kertymiseen. Vaikka kustannusten kertyminen nojautuu pääasiassa rakennuttajan päätöksiin rakennushankkeen laajuudesta, vaikuttaa kustannusten yhteiskertymään myös rakennushankkeen aikataulut sekä ajoitus markkinasuhdanteen näkökulmasta, tavoitellusta laatutasosta ja urakoitsijoiden hankintatapa sekä siihen liittyvä riskinjako. [31; 32, s. 7.]



Kuva 27. Kustannusten määräytyminen ja kertyminen eri rakennusvaiheissa [31].

On tärkeää, että kustannusten kertymistä seurataan koko rakennushankkeen ajan ja esimerkiksi suunnitelmien tarkentuessa olisi hyvä päivittää kustannusarvio tarkemmalle tasolle. Vaikka kustannustaso määriteltäisiin realistisesti ja onnistuneesti jo suunnitteluvaiheessa, määräävä tekijä kokonaiskustannusten muodostumisessa ovat rakentamisvaiheessa kertyvät kustannukset. Tämän takia on syytä panostaa rakennusaikaiseen ohjaukseen. Hankkeen edetessä rakennuttajan tulisi myös pitää silmällä mahdollisia muutoksia ja varautua reagoimaan niihin tarpeen vaatiessa. Esimerkiksi loppukustannusennusteen kasvaessa yli hankkeelle varatun budjetin tulisi päättää, hyväksytäänkö budjettiylitys vai täytyykö kustannuksia nipistää toisista osa-alueista, joihin voi vielä vaikuttaa. Mikäli asetettu budjetti näyttäisi alittuvan, voi rakennuttaja huomioida taloudellista liikkumavaraansa myöhemmissä päätöksissään. [31; 32, s. 7.]

Kustannusten valvonnan ja hallitsemisen kannalta on perusteltua eritellä kustannuksia tarkoituksenmukaisesti luokkiin. Näin rakennushankkeen eri osapuolet kykenevät seuraamaan paremmin kustannusten muodostumista omalta osaltaan. Rakennuttajan tulee sopia hankkeen osapuolten kanssa yhteiset pelisäännöt, joita noudattamalla kustannuksia valvotaan, hyväksytään tai muutetaan. Yhteistyöllä ja kyseisiä pelisääntöjä noudattamalla kasvatetaan mahdollisuutta, että kokonaiskustannusten lopputulos pysyy niille asetetuissa tavoitteissa. Vaikka osapuolten tulee seurata oman toiminnan kustannuskertymää, täytyy rakennuttajan silti huolehtia kokonaiskuvasta koko hankkeen ajan seuraamalla ja ennakoimalla aktiivisesti syntymässä olevia loppukustannuksia. [31; 32, s. 7–8.]

5.6 Riskien- ja laadunhallinta

Riskien- ja laadunhallinta ovat molemmat prosesseja, joiden avulla tavoitellaan rakennushankkeen onnistunutta toteuttamista. Riskienhallinnassa pyritään tunnistamaan rakennushanketta uhkaavia riskejä ja tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa negatiivisesti joko suoraan tai välillisesti rakennushankkeen tavoitteiden saavuttamiseen. Kyseiseen prosessiin kuuluvat myös tunnistettujen riskien ennaltaehkäisy sekä niistä syntyvien haittojen minimoinnin suunnitteleminen sekä riskianalyysi, jossa arvioidaan riskin todennäköisyys ja sen vaikutukset. Taulukossa 3 kuvaillaan riskienhallintamenetelmiä eri hankkeissa. Rakennushankkeen kaikkien osapuolten tulee sitoutua riskienhallintaan, mutta sen tulee kuulua erityisesti projektinjohdon jatkuviin tehtäviin ja toimintatapoihin. Riskienhallintasuunnitelma on kirjallinen dokumentti, jossa kuvataan mm. riski, sen

seuraus, luokittelu, vastatoimet ja vastuuhenkilö. Laadunhallinnassa selkeytetään laatuvaatimukset todennettaviksi suureiksi, varmistetaan tuotteen tai palvelun vaatimustenmukaisuudesta sekä pyritään laadun jatkuvaan parantamiseen. [33, s. 2.]

Taulukko 3. Riskienhallintamenetelmiä eri hankevaiheissa [33].

Suunnittelu	Rakentaminen	Takuuaika
<ul style="list-style-type: none"> • Hankkeen tavoitteiden selkeyttäminen ja muuntaminen suunnittelutavoitteiksi • Projektisuunnitelma ja riskienhallintasuunnitelma • Systemaattinen suunnitelmien tarkastaminen • Toimivan kokousmenettelyn sopiminen • Turvallisuusasiakirjat • Suunnitelmapaketselmukset • Suunnitelma-aikataulun laatiminen ja valvonta • Suunnitelmapaketit • Suunnitelmien jakelun määrittäminen • Työpajat ja solmutyöskentely 	<ul style="list-style-type: none"> • Hankkeen aloituskokoukset (osapuolten sisäiset, osapuolten yhteiset sekä viranomaiskokoukset) • Projektisuunnitelma • Tuotantosuunnitelmat kuten yleisaikataulu, hankintasuunnitelma, kosteudenhallintasuunnitelma, puhtauden- ja pölynhallintasuunnitelma • Riskienhallintasuunnitelma • Turvallisuusasiakirjat ja turvallisuus-suunnitelma • Riskityöpajat • Tarkastusasiakirja • Valvontasuunnitelma • Laadunvarmistustoimenpiteet • Työmaalla pidettävät kokoukset (työmaakokous, työmaan suunnittelu-, aikataulu-, työnjohto- ja urakoitsijapalaverit) • Aliurakoitsijoiden ja materiaalityöntekijöiden auditointi • Riski- ja esteloki 	<ul style="list-style-type: none"> • Käyttö- ja huolto-ohje • Energiakulutuksen seuranta • Taloteknisten järjestelmien säädöt • Sisäilmaston tarkistusmittaukset • Käyttöhenkilöstön perehdytys ja opastus • Palautteiden käsittely ja toiminnan jatkuva kehittäminen • Jäännösriski

Riskien analysointi tulisi aloittaa jo hankepääöstä valmisteltaessa. Rakennushanketta tarkastellaan tällöin kokonaisuutena, jonka olennaisena osana on erityisesti hankkeen liiketoiminta- ja kannattavuusriskien tarkastelu. Hankepääötyöhön kuuluvat myös hankkeen laatu-, taso-, kustannus-, laajuus- ja kustannustavoitteiden asettaminen. Riskin- ja laadunhallinta kuuluu jokaiselle rakennushankkeen osapuolelle. Rakennushankkeen osapuolet eivät voi keskittyä pelkästään omien tehtäviensä riskin- ja laadunhallintaan, vaan heidän tulee nähdä molemmat prosessit osana rakennushankkeen kokonaisuutta. Vaikka rakennushankkeen jokaisella osapuolella on oma tehtävänsä riskien- ja laadunhallinnassa, on päävastuu riskin- ja laadunhallintamenettelyiden määrittelemisessä silti rakennuttajalla. Rakennuttaja määrittelee sopimuksellisin keinoin erityiset riskien- ja laadunhallinnan menettelyt sekä huolehtii valvonnan avulla niiden toteuttamisesta. [33, s. 2.]

6 Rakennusaikainen lämmitys ja kuivaus

Rakennusaikaista lämmitystä käytetään, jotta työmaalla saavutettaisiin suunnitelma-asiakirjoissa määritellyt olosuhteet työskentelylle, tiloille sekä rakenteille. Käytännössä rakennusaikaiseen lämmitykseen liittyy oleellisesti myös rakenteiden kuivattaminen, sillä lämpötilan nostaminen on yksi tehokkaimmista tavoista nopeuttaa rakenteiden kuivumisprosessia. Rakentamisen luonteen kehittyessä prosessimaiseksi toiminnaksi on eri rakennusvaiheiden nopeuttamisesta muodostunut tärkeä rakentamisen osa. Yleisesti rakennuksen lämmittämällä ja kuivattamisella pyritään aikaistamaan sisävalmistusvaiheen aloittamista. [17, s. 548; 35.]

6.1 Lämmönsiirtyminen

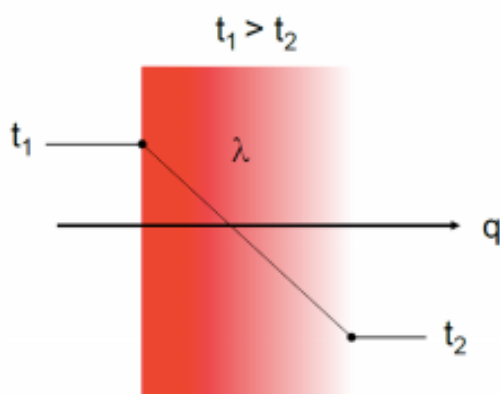
Jotta lämmönsiirtymistä tapahtuisi, täytyy tiettyjen vaatimusten täytyä. Käytännössä lämmönsiirtymisen edellytys on lämpötilaero, sillä lämpötilaerot pyrkivät aina tasoittumaan termodynamiikan toisen lain mukaan. Tällöin lämpöenergiaa siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan. Lämmönsiirtyminen on ilmiönä todella tuttua rakentamisessa, ja ylipäättään rakennuksissa, ja sen hallitsematonta tapahtumista pyritään usein estämään. Esimerkiksi ulkovaipan lämpöhäviöistä puhuttaessa lämpöenergiaa siirtyy ulkovaipan läpi sisältä ulospäin, kun ulkoilman lämpötila on alhaisempi kuin sisäilman lämpötila. Vastaavasti ulkoilman lämpötilan ollessa korkeampi kuin sisäilman tapahtuu lämpöenergian siirtyminen ulkoa sisäänpäin, jolloin syntyy lämpökuormaa. Lämmönsiirtymistä voi tapahtua kolmella tavalla: johtumalla, konvektiolla sekä säteilyllä. [39, s. 57; 97; 98.]

Lämmönjohtuminen (kuva 28) on ainoa lämmönsiirtymismuoto kiinteässä ja läpinäkyvässä materiaalissa, mutta sitä tapahtuu myös liikkumattomassa nesteessä ja kaasussa. Käytännössä johtumisessa aineen siirtymistä ei tapahdu, vaan lämmönsiirtymistä tapahtuu aineen molekyylien liike-energian siirtymisenä molekyylistä toiseen, eli molekyylien törmäysten välityksellä. Olennaiseksi tekijäksi lämmönjohtumisessa muodostuu lämmönjohtavuus, jonka arvo vaihtelee riippuen materiaalista. Lämmönjohtavuus on materiaaliominaisuus, jolla on suora vaikutus siirtyvään lämpöenergiaan. Mikäli lämmönjohtavuuden arvo kaksinkertaistuu, kaksinkertaistuu myös siirtyvä lämpömäärä. Vaikka johtumisessa lämmönsiirtyminen ei aiheudu aineen siirtymisen vuoksi, ei sitä voi silti täysin erottaa konvektiosta: lämmön johtumista tapahtuu myös lämpöä

luovuttavan pinnan sekä virtaavan nesteen tai kaasun välillä pinnan välittömässä läheisyydessä. [39, s. 57–58; 97; 98.] Lämmönjohtumisen perusyhtälö (2) on:

$$q_j = \frac{\dot{Q}_j}{A} = -\lambda * A * \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

jossa q_j on lämpövirta [W], T on lämpötila [K], x on matka lämpövirran suunnassa [m], A on pinta-ala kohtisuorassa suuntaa x vastaan [m²] ja λ on lämmönjohtavuus [W/Km]. Yhtälöä kutsutaan myös Fourierin lämmönjohtumisen laiksi. [39, s. 57–58.]



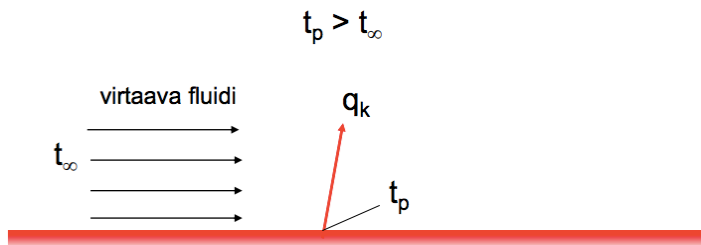
Kuva 28. Lämmönsiirtyminen johtumalla [97].

Lämmönsiirtymistä tapahtuu konvektiolla (kuva 29), kun neste tai kaasu siirtyy paikasta toiseen siirtäen samalla mukanaan lämpöenergiaa. Lämpöä voi siirtyä lämpötilaeron takia kiinteään pintaan, jota kaasu tai neste koskettaa, tai kiinteästä pinnasta pois. Eri-tyisesti rakenteiden sisällä tapahtuva kylmän ulkoilman virtaus voi viilentää sisäpinnan lämpötilaa ja aiheuttaa rakenteeseen kondenssiriskin. Konvektiota voi tapahtua luonnollisesti tai pakotetusti. Mikäli kyseessä on luonnollinen konvektio, virtaus pinnalla aiheutuu ainoastaan lämpötilaeroista. Luonnollista konvektiota tapahtuu esimerkiksi lämpimän patteripinnan ja huoneilman välillä, tai kylmän ikkunapinnan ja huoneilman välillä. Luonnollisessa konvektiossa ilmavirtaus voi olla laminaarista tai turbulenttista. Jos kyseessä on taas pakotettu konvektio, virtaus aiheutuu jostain ulkopuolisesta voimasta, kuten tuulesta, puhaltimesta tai pumpusta. Pakotettu konvektio on useimmiten tehokkaampi lämmönsiirtymisessä, sillä siinä virtaavan nesteen tai kaasun nopeudet ovat yleensä suurempia kuin vapaassa konvektiossa. Kuitenkin väliaineen ja kiinteän aineen rajapinnalla nopeus on nolla kummassakin konvektio-ilmioss, jolloin lämpö siirtyy muodostuneen ohuen rajakerroksen lävitse johtumalla. Yleisesti ottaen konvektio

on todella monimutkainen ilmiö, sillä siinä lämmönsiirtokerroin ei ole vakio tai aineominaisuus, vaan lämmönsiirtokerroin riippuu mm. pinnan muodosta ja geometriasta, virtauksen luonteesta ja virtaavan aineen ominaisuuksista. [39, s. 61–62; 97; 98.] Lämmönsiirtyminen konvektiolla määritellään yhtälöllä 3:

$$q_k = \frac{\dot{Q}_k}{A} = \alpha_k * A * (T_1 - T_2) \quad (3)$$

jossa q_k on lämpövirta [W], α on kokemusperäinen lämmönsiirtokerroin [W/m²K], A on pinta-ala [m²], T_1 on pinnan lämpötila [K] ja T_2 on virtaavan aineen lämpötila kaukana pinnasta [K]. [39, s. 61–61; 97.]



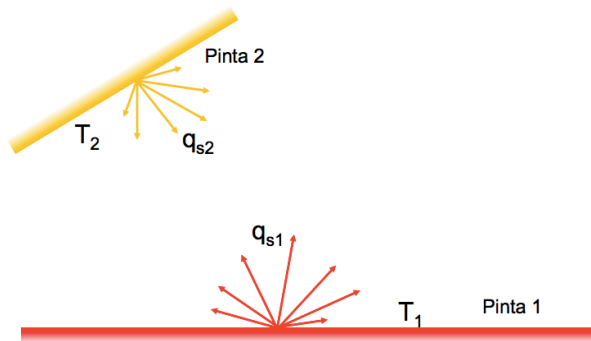
Kuva 29. Lämmönsiirtyminen konvektiolla [97].

Mikäli lämmönsiirtyminen tapahtuu lämpösäteilyllä (kuvassa 30), lämpöenergiaa siirtyy tällöin kahden eri lämpötilassa olevan pinnan välillä sähkömagneettisena säteilyinä. Jokainen kappale lähettää, eli emittoi, sähkömagneettista säteilyä pelkästään lämpötilansa, joka on kuitenkin absoluuttisen nolapisteen yläpuolella, perusteella riippumatta ympäristön lämpötilasta. Kun sähkömagneettinen säteily osuu toiseen kappaleeseen, siirtyy siihen energiaa säteilyn osaksi absorboituessa siihen. Kun säteily kohtaa materiaalin pinnan, osa säteilystä heijastuu pinnasta, osa absorboituu pintaan ja osa voi tunkeutua materiaalin läpi. Tavanomaiset rakennusmateriaalit kykenevät vastaanottamaan säteilyä jopa 90 % lopun 10 % heijastuessa takaisin. Musta pinta absorboi lähes 100 % lämpösäteilyä (täysin mustaa kappaletta, joka absorboisi 100 %, ei ole olemassakaan), kun taas kiiltävä alumiini absorboi vain noin 3 %. Lämpö siirtyy pinnasta kuitenkin säteilyn lisäksi myös konvektiolla. Toisin kuin johtuminen ja konvektio, säteilyminen ei vaadi väliainetta, vaan päinvastoin, lämpö siirtyy sähkömagneettisena säteilyinä parhaiten tyhjiössä. Tyhjiössä mikään väliaine ei sido lämpöenergiaa. Rakennuksessa lämmönsiirtymistä säteilyinä tapahtuu esimerkiksi energian siirtymisessä väliseinistä ulkoseiniin tai lämmityslaitteen pinnalta ympäröivien rakenteiden pinnoille. Sisäti-

loissa lämpösäteily voi osaltaan vaikuttaa kosteuden tiivistymiseen: mitä vähemmän lämpösäteilyä pinnalle tulee (pinta absorboi), sitä kylmemmäksi pinta jää, jolloin kosteuden tiivistymisriski kasvaa. [39, s. 66; 97; 98.] Säteilylämmönsiirto ilmaistaan usein yhtälöllä 4:

$$q_s = \frac{\phi_s}{A} = q_{s1} - q_{s2} = \alpha_s * (T_1 - T_2) \quad (4)$$

jossa q_s on nettosäteilyn aiheuttaman lämpövirran tiheys [W/m^2], α_s on säteilyn lämmönsiirtymiskerroin [W/m^2K], T_1 on pinnan lämpötila [K] ja T_2 on ympäröivien pintojen lämpötila [K]. [39, s. 67; 98.]



Kuva 30. Lämmönsiirtyminen säteilemällä [97].

6.2 Rakennusaikainen lämmittäminen ja kuivaaminen rakennushankkeessa

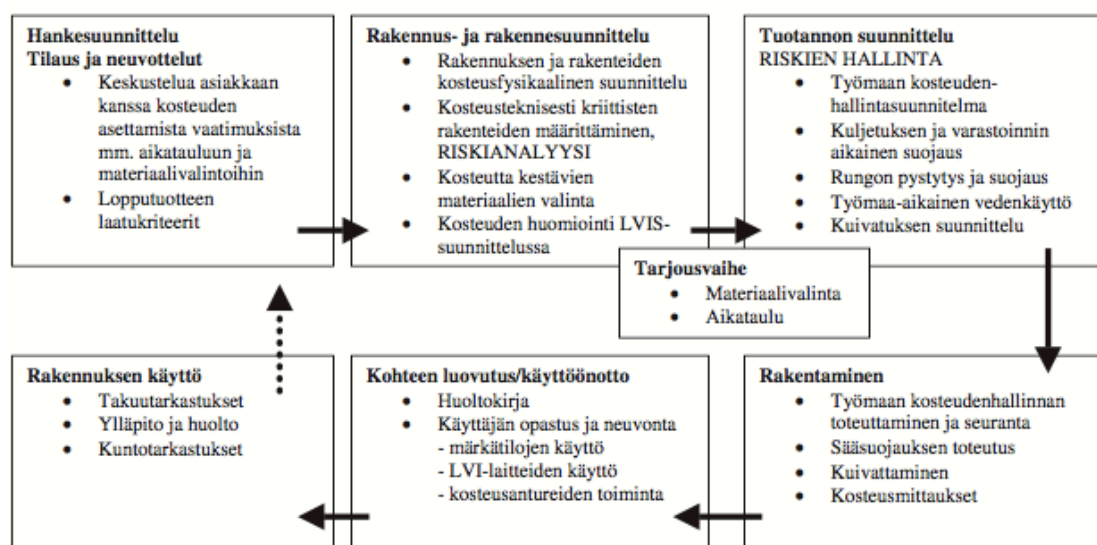
Rakentamishankkeeseen ryhtyvä, eli rakennuttaja, määrittelee vaatimustason rakentamisen kosteudenhallinnalle sekä kuivaapidolle. Tämä on perusteltua, sillä jo laissa esitetään rakennuttajan vastuu siitä, kuinka rakennus tulee suunnitella ja rakentaa terveelliseksi ja turvalliseksi. Maankäyttö- ja rakennuslain 117 c -pykälän mukaan rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista esimerkiksi rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on usein täsmennettävä selvityksen muodossa jo rakennuslupahakemuksen ohessa kosteudenhallinnalle asettamansa tavoitteet, mutta myös se, millä toimenpiteillä kyseiset tavoitteet saavutetaan niin, että rakentamiselle asetetut vaatimukset täyttyvät. Selvitys voi olla osa hankkeen alustavaa kosteudenhallintasuunnitelmaa, tai työmaan olosuhdehallintaa ja kuivumisen hallintaa koskeva erillinen selvitys. Tässä vaiheessa tulisi ottaa kantaa mm.

sääsuojauksen suunnitteluun ja linjaukseen, kuivaamisen toteuttamiseen sekä kuivumisen todentamiseen. [17, s. 539; 24; 36.]

Kosteudenhallinnan vaatimukset ja tavoitteet tulisi esittää myös urakkaohjelmassa sekä tarpeenmukaisin osin suunnitelmissa, mutta myös urakkatarjouspyyntöasiakirjoissa. Kosteudenhallinnan pääpiirteiden esittäminen tarjouspyynnössä mahdollistaa sen, että urakoitsija pystyy huomioimaan kosteudenhallinnan suunnittelun ja siitä aiheutuvat kustannukset jo urakkatarjouksen laskentavaiheessa. Yleisesti rakennusaikaisesta lämmityksen ja kuivattamisen suunnittelusta sekä toteutuksesta vastaa vastaava työnjohtaja tai hänen erikseen nimeämä henkilö. Käytännössä suunnittelussa rakennusaikaisesta lämmityksestä ei oteta huomioon. [17, s. 539, 545; 36.]

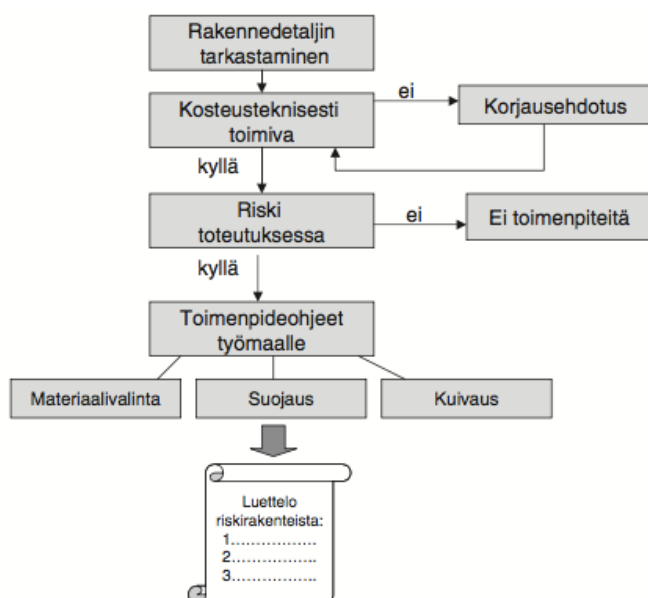
Kosteudenhallinta on huomionarvoinen osa rakennuksen elinkaaren jokaisessa vaiheessa, mikä havainnollistetaan kuvassa 31. Esimerkiksi jo rakennushanketta suunniteltaessa tulisi tunnistaa kosteuden aiheuttamat vaatimukset mm. rakennusaikataululle sekä materiaaleille ja ottaa nämä jo tarjousvaiheessa huomioon, mutta kyseiset vaatimukset ohjaavat myös suunnitteluprosessia. Jo hankesuunnitteluvaiheessa rakennukset voidaan kategorioida suunnitteluluokkiin kosteusrasitusten, sisäilmavaatimusten sekä käyttökatavoitteiden perusteella. Suunnitteluluokat taas vaikuttavat suunnittelijoiden valintaan, suunnittelutehtävien määrittelyyn, suunnitteluun varattavaan aikaan ja laadulle asetettuihin kriteereihin. [88, s. 1.]

Rakennuksen elinkaarenaikainen kosteudenhallintaprosessi



Kuva 31. Kosteudenhallintaprosessi on olennainen osa rakennuksen koko elinkaarta [88].

Rakennus- ja rakennesuunnitteluvaiheessa rakennesuunnitelmille olisi hyvä tehdä kosteustekninen riskianalyysi (kuva 32). Riskianalyysissa kuvaillaan, sisältääkö rakenne kohtia, joiden kosteuspitoisuus voi kohota kriittiseen pisteeseen vaurioitumisen kannalta. Riskianalyysista saatujen tietojen perusteella voidaan tehdä ennaltaehkäiseviä materiaalivalintoja, kuivatussuunnitelmia ja ylipäätään vaikuttaa suunnitelmiin tekemällä niihin tarvittavia muutoksia. Jotta riskianalyysista saataisiin mahdollisimman kattavat tiedot, olisi suositeltavaa, että sen tekemiseen osallistuisivat rakentamisen eri osapuolet, kuten kosteudenhallinnan suunnittelija, arkkitehti, talotekniikan suunnittelijat, urakoitsijoita jne. Tärkeää riskianalyysia tehdessä on kuitenkin se, että tekijällä on hyvät tiedot rakennusten lämpö- ja kosteusteknisestä toiminnasta, mutta myös rakennusmateriaaleista. [88, s. 1–2.]



Kuva 32. Tarkastamalla kohteen detaljit kartoitetaan rakennustyömaan kosteusriskejä ja pyritään ennaltaehkäisemään niitä [87].

Tuotannon suunnitteluvaiheessa tehdään varsinainen kosteudenhallintasuunnitelma, jonka sisältöä toteutetaan sekä seurataan rakentamisvaiheessa. Kosteudenhallintasuunnitelma tehdään yksilöllisesti kullekin työmaalle. Siihen tulee sisällyttää mm. kosteusriskien kartoittaminen, rakenteiden kuivumisaika-arviot, työmaaolosuhteiden hallinta (suojaus ja kuivaus), kosteusmittaussuunnitelma sekä organisointi, seuranta ja valvonta. [87, s. 1; 88, s. 2.]

Lämmitys ja kuivaus tulisi sisällyttää rakennushankkeen kesto- ja aikataulu-suunnitteluun. Rakennusprosessista tehdään työaikataulu, jossa tehtävät suunnitellaan yksityiskohtaisemmin kuin esimerkiksi karkeasti suunnitellussa yleisaikataulussa. Eri tehtävät jaetaan työaikataulussa pienempiin osatehtäviin ja tehtävien välille varataan ajallista pelivaraa, jotta rakentamisessa ilmenevät mahdolliset häiriöt eivät vaikuttaisi kriittisesti koko aikatauluun. Työaikataulusta tulisi tehdä mahdollisimman selkeä, josta ilmenee tehtävien ajoitusten lisäksi välitavoitteet, talotekniikan työt sekä luovutustoimenpiteet. Tästä syystä työaikataulussa tulisi huomioida myös kuivumisolosuhteet. Yleisesti hyvän aikataulun tunnuspiirteisiin kuuluu rakennusfysikaalisten ehtojen huomioonottaminen, johon lasketaan myös betonin kuivumisaika. Kuivumisajan lisäksi aikatauluissa tulisi huomioida myös eri rakenteiden säävaraus- sekä päällystettävyyssvaatimukset. Niin ikään työjärjestyksen suunnittelussa otetaan huomioon kosteudenhallinta. Käytännössä rakennustyömaalla pyritään saamaan rakennuksen vaippa umpeen ja sopivat olosuhteet ennen kuin kosteudelle herkkiä työvaiheita aletaan suorittamaan. [30, s. 46–47, s. 85; 35; 36.] Taulukossa 4 eritellään kosteudenhallinnan suunnittelua ja toteutusta eri hankevaiheissa.

Taulukko 4. Kosteudenhallintaa eri hankevaiheissa. Kosteudenhallinta on merkittävä osa jo suunnitteluvaiheita. [36]

Hankkeen vaihe	Toimija	Toimenpiteet
Hanke-suunnittelu	Rakennus-hankeeseen ryhtyvä, rakennuttaja	<ul style="list-style-type: none"> - Tehdään päätös vaaditusta kuivanapidon tasosta - Tehdään varaus kustannusarvioon - Päätetään rakentamisen ajoitus
Rakennus-suunnittelu	Suunnittelijat, päärakennesuunnittelija koordinoi	<ul style="list-style-type: none"> - Suunnitellaan rakenteiden rakentamisen ja käytönaikaisen toimivuus - Kirjataan kosteudenhallinnan tavoitteet ja ohjeet suunnitelmiin - Arvioidaan rakenteiden kosteusvaurioitumisriskit - Määritellään alustavalla riskiarviolla hankkeen kosteustekninen vaativuus - Tehdään suunnitelmille kosteustekninen tarkastus (tarvittaessa ulkopuolinen asiantuntija)
Tuotannon-suunnittelu	Päätoteuttaja, päärakennesuunnittelija avustaa	<ul style="list-style-type: none"> - Suunnitellaan kosteuden torjunnan osana koko työmaan toteutussuunnittelua - Tehdään kosteuden valvontasuunnitelma - Laaditaan yleisaikataulu, jossa huomioidaan mm. rakenteiden kuivumisajat - Laaditaan tehtäväsuunnitelmat - Suunnitellaan kuivanapito erikseen jokaiseen rakennusvaiheeseen mm. materiaalien ja rakenteiden osalta
Työn suunnittelu ja toteutus	Päätoteuttaja ja urakoitsijat	<ul style="list-style-type: none"> - Kirjataan vaatimukset aliorakoitsijoille tarjouspyyntöihin ja sopimukseen sekä ohjeet työntekijöille - Huolehditaan kuivanapidon toteutuksesta - Käsitellään kuivanapitoa kokouksissa ja palavereissa - Valvotaan olosuhteiden

Lämmitys- ja kuivaustoimilla on suuri vaikutus rakennushankkeen kustannuksiin, joten ne tulisi huomioida myös taloudellisessa suunnittelussa. Työmenetelmäsuunnittelussa lasketaan eri lämmitysvaihtoehtojen kustannukset huomioiden sää- ja sisäolosuhteet. Ylipäätään lämmityksen ja sen suunnittelun merkitys korostuu ympärivuotisessa rakennustoiminnassa, mutta erityisesti talvella. Sääolosuhteiden kannalta talviaikainen rakentaminen vaikuttaa merkittävästi rakennushankkeen kustannuksiin energiakulutuksen kasvaessa, mutta myös työmenekin lisääntyessä ja rakennusmateriaalimenekin kasvaessa. Energiantarpeet, eli lämmityksen ja kuivatuksen tarpeet, ovat erilaisia eri rakennusvaiheissa (taulukko 5). Esimerkiksi betonivaluja, työmaarakennusta ja itse rakennusta tulisi lämmittää ja/tai kuivattaa. [35; 37.]

Taulukko 5. Lämmitystarpeet muuttuvat rakennusvaiheiden edetessä [35].

rakennusvaihe	lämmitystarve
maarakennusvaihe	- perusmaan sulattaminen ja sulana pitäminen - lumen ja jään sulattaminen
perustusvaihe	- perustusten sulana pitäminen - betonin lämmittäminen
runkovaihe	- betonin lämmittäminen - työkohdelämmitys - alemmissä kerroksissa käynnistetään lämmitys ja kuivatus
täydentävien rakenteiden vaihe	- runko valmis ja julkisivu pääosin paikoillaan - rakennuksessa suuria aukkoja - ikkunat osin asentamatta ja tiivistämättä - talon oma lämmitysjärjestelmä osin käytössä
sisävalmistusvaihe	- aukot pääosin suljettu - sisätilat ja porrashuoneet avonaiset - kuivaus- ja lämmitystarve sisävalmistustöissä

Lämmitys- ja kuivaamistöissä vaadittujen koneiston ja laitteiston tarve muuttuu oleellisesti talviaikaan, jolloin työmaalla tarvitaan erilaisia koneita, lisäkoneita ja -laitteita, sekä tehokkaampia koneita verrattuna kesäaikaan. Kaluston valinnalla voidaan vaikuttaa työmaan energiankulutukseen. Edullisimman lämmitysvaihtoehdon löytymistä helpottamaan tulisi laatia vaihtoehtolaskelmat, joissa tulee huomioida lämmityslaitteiston vuokrakustannukset, laitteiston energiankulutus, laitteistoon käytettävän energian hinta sekä työkustannukset, jotka syntyvät lämmityksen järjestämisestä. Näistä syistä rakennusaikainen lämmitys tulisi huomioida myös sähköistysuunnitelmassa, jossa kuvataan sähkön hankinta, työmaan sähköverkko sekä koneiden ja laitteiden liittäminen sähköverkkoon. [32, s. 68; 37.]

Talven aiheuttamiin lisäkustannuksiin (talvilisäkustannuksiin) voidaan vaikuttaa lämmityksen ja kuivaamisen näkökulmasta esimerkiksi rakennushankkeen yleisellä ajoituksella, sisäisellä ajoituksella sekä hyvin tehdyillä lämmityksen ja kuivatukset ennakoivalmisteluilla ja toiminnan tarkkailulla. Käytännössä yksi varmimpia tapoja vähentää talvilisäkustannuksia on ajoittaa mahdollisimman monet työt kesäkuukausille ja käyttää talvella menetelmiä, joiden työmenekkiin talvi ei vaikuta merkittävästi. Myös sisäisen ajoituksen optimoinnissa pyritään siirtämään talvelle alttiit työvaiheet mahdollisuuksien mukaan kesälle. [35; 37.]

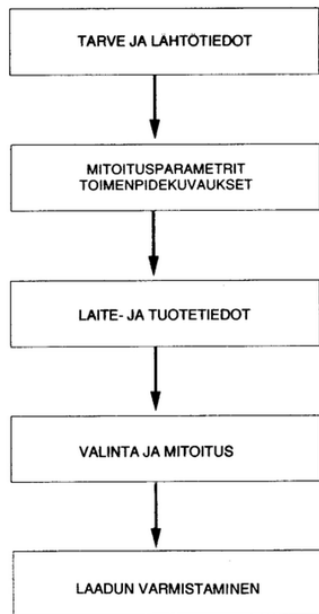
Lämmityksen ja kuivaamisen ennakoivalmistelussa otetaan kantaa moniin osaluokiin, joiden avulla luodaan mahdollisimman tehokas lämmitys- ja kuivaamisjärjes-

telmä. Hyvin tehdyillä ennakkovalmisteluilla päästään myös arvioimaan lämmityksestä ja kuivaamisesta syntyviä kustannuksia ja mahdollisuuksien mukaan vaikuttamaan kyseisiin kustannuksiin. Ennakkovalmisteluissa mm. määritellään lämmityksen ja kuivattamisen tarpeet, valitaan laitteet ja täsmennetään niiden sijoittelu, tehdään mitoituslaskelmat ja käyttösuunnitelma sekä määritellään tarpeelliset käyttö- ja käyntiajat. Ennakkovalmisteluiden avulla pyritään myös luomaan mahdollisimman hyvät olosuhteet lämmityksen toiminnalle esimerkiksi tiivistämällä ja eristämällä rakennus, jolloin lämpöä ei mene hukkaan. Rakennuksen tiivistäminen ja eristäminen tulee kuitenkin toteuttaa niin, että kosteus pääsee poistumaan. [35; 37.]

Rakentamisvaiheen varsinaisessa lämmitys- ja kuivaustoiminnassa lämmityslaitteet tulisivat suunnata niin, että lämpö jakautuisi mahdollisimman tasaisesti lämmitettävään tilaan. Lämmityksen ja kuivatuksen aikana tulisi suorittaa myös mittauksia, joiden avulla varmistetaan, että tiloissa päästään työskentelyn kannalta toivottuihin olosuhteisiin. Tämä edellyttää lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvojen pysymistä suunnitellulla alueella. Mikäli lämpötila kasvaa yli suunnitellun arvon, voidaan lämmityksen tehoa pienentää. Jos lämpötila jää taas alle suunnitellun arvon, tulisi lämmityksen tehoa vastaavasti lisätä tai ilmanvaihtoa supistaa. Suhteellisen kosteuden olisi hyvä pysyä alle 50 %:n, sillä pintojen kuivuminen hidastuu, jos suhteellisen kosteuden arvo nousee tämän yli. Näin lämmityksen ja kuivattamisen toiminnan tarkkailulla ja mittauksia suorittamalla kyetään estämään liian suurien lämmitystehojen aiheuttaman energiahukat, mutta myös tarkentamaan lämmitys- ja kuivatustarpeen ajankohtaa. [35; 37.]

6.3 Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen suunnittelu ja toteutus

Käytännössä rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivattamisen suunnittelu alkaa rakenteen sallitun enimmäiskosteuden selvittämisellä sekä kuivattamiseen varatun ajan varmentamisella. Rakennusaikaisesta lämmityksestä vastaavan tulee myös tarkentaa tarvittava lämpötila sekä lämpöteho, joiden avulla lämmitysjärjestelmä valitaan. Eri lämmitysvaihtoehtojen kustannukset lasketaan, niitä vertaillaan ja valitaan edullisin lämmitysjärjestelmä sekä varataan lämmityskalusto. [32; 38, s. 94.] Kuvassa 33 esitetään rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen suunnittelun eteneminen.



Kuva 33. Lämmityksen ja kuivaamisen suunnittelun vaiheet [35].

Rakennusaikaisen lämmityksen suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota erityisesti vuodenaikoihin, sillä ulkoilman lämpötila vaikuttaa suoraan lämmittämisen tarpeeseen. Tästä syystä rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivattamisen suunnitteluperusteena olisi hyvä käyttää lähtöaineistona kuukausilämpötiloja ja niiden vaihteluja paikkakunnittain sekä lämpöolosuhdekarttoja. Keväällä, kesällä ja syksyllä ilmankosteuden noustessa yli 50 %:n tulisi rakennuksen vaippa tiivistää sekä rakenteiden kuivattamista tehostaa esimerkiksi ilmankuivaajilla, jotka ovat useimmiten myös edullisin ratkaisu. Mikäli ulkoilman suhteellinen kosteus pysyy samaisena aikana noin 50 %:ssa, pelkkä tuulettaminen voi riittää kuivattamiseen. Huomiota tulisi kuitenkin kiinnittää ulkoilman kosteuteen, sillä lämmin ulkoilma voi olla valmiiksi niin kostea, ettei siihen enää pysty sitoutumaan lisää kosteutta. Tällöin rakenteet eivät kuivu pelkän tuuletuksen avulla. Talvella ulkoilma on kuivaa, jolloin täytyy huolehtia ensisijaisesti kuivatettavien tilojen riittävästä lämpötilasta, mutta myös tarpeenmukaisesta ilmanvaihdosta. Sisäilma on yleisesti talvella lämmintä ja kuivaa, jolloin sisäilmaan sitoutuu huomattava määrä kosteutta. Kyseinen kosteus tulisi poistaa esimerkiksi tuulettamalla tai ilmaa kuivaamalla. Erityisesti heikosti tuuletettavissa tiloissa, esimerkiksi kellareissa, olisi hyvä käyttää ilmankuivaajia. [35; 36; 38, s. 94.]

Kun rakenteita aletaan lämmittämään ja kuivattamaan, sisäilmasto on usein kostea, lämpötila matala sekä jakautunut epätasaisesti ja kylmien rakenteiden pintaan on saatanut tiivistyä kosteutta. Pintarakennetyöt voidaan kuitenkin aloittaa vasta, kun alusta-

rakenne on riittävän kuiva ja ylimääräinen vesi on poistettu rakenteista. Käytännössä jokainen ylimääräinen vesilitra, joka on päästetty rakenteeseen, pitää poistaa rakenteesta. Tyypillisiä rakennusaikaisia kosteuslähteitä ovat

- vesi- ja lumisade
- betonin valmistuksessa ja jälkihoidossa käytetty vesi
- maaperästä tuleva kosteus
- erilaisissa rakennustöissä, kuten muuraamisessa, käytetty vesi
- pesuvesi
- vesivuodot ja -vahingot
- rakennusaineiden sisältämä kosteus
- ilman sisältämä kosteus. [35; 36.]

Vaikka ulkoiset olosuhteet, kuten ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, ja kuivatarpeiden määrittäminen vaikuttavat paljolti lämmityksen ja kuivatuksen suunnitteluun, tulee lämmityksen ja kuivatuksen suunnittelussa kiinnittää huomiota myös moniin muihin käytännön asioihin. Yleisesti rakennuksen sisätilojen lämmitystä ei tulisi aloittaa, mikäli lämpötilan kohoamisesta ja riittävän korkeana pysymisestä ei ole varmuutta. Lämpötilan nousu ja ylläpito varmistetaan sulkemalla ja tiivistämällä mahdolliset aukot, kuten esimerkiksi ikkunat, parvekkeen ovet, porrashuoneen ulko-ovet ja muut läpiviennit. Myös rakennusmateriaalien sisäänottoaukkoihin tulee rakentaa erilliset tuulikaapit, jotta ilma ei pääsisi jäähtymään niiden kautta. Ennen lämmityksen ja kuivatuksen aloitusta tulisi niin ikään varmistaa, ettei turhia irtovesiä tai märkiä pintoja jää rakennukseen esimerkiksi luomalla mahdolliset lumet ja imuroimalla lätäköet. Haitallisia kosteusvaikutuksia voidaan välttää myös minimoimalla veden käyttöä eri työvaiheissa, kuten betonoinnissa ja siivoamisessa, sekä materiaalien ja tarvikkeiden huolellisilla suojaamisilla. Sisätilojen osastoinnilla voidaan vähentää rakennuksen sisäisten ilmavirtojen syntymistä, jolloin lämpimän ja kostean ilman kulkeutuminen estyy. Näin kulkevien ilmavirtojen kosteus ei tiivisty rakennuksen kylmiin osiin. [35; 38, s. 94.]

Rakennusaikaisella lämmityksellä sekä sisäolosuhteiden valvomisella ja mittaamisella edesautetaan ihanteellisten kuivumisolosuhteiden luomista. Pääasiallisena tavoitteena tulisi kuitenkin olla lopullisen lämmitysjärjestelmän toimintakuntoon saattaminen mahdollisimman nopeasti, jotta rakennuksen tilojen lämmittäminen tapahtuisi tasaisesti. Tästä syystä rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivatuksen suunnittelussa sekä toteutuksessa olisi järkevää ottaa huomioon rakennuksen lopullisen lämmitysjärjestelmän

tarjoama potentiaali jo rakennusaikana. Siksi suunnitteluun kannattaa sisällyttää erillisten ilmankuivaajien ja lämmittimien käytön lisäksi lopullisen lämmitysjärjestelmän toimintaan kytkeminen välitavoitteineen. [35; 38, s. 94.]

6.4 Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen energiankulutus

Rakennusaikaisen lämmityksen energiantarve on erityisesti riippuvainen sääolosuhteista, mutta siihen vaikuttaa olennaisesti myös työmaan koko. Talviolosuhteet nostavat energiantarvetta huomattavasti verrattuna kesäolosuhteisiin: mitä alemmas ulkoilman lämpötila laskee, sitä enemmän lämmitysenergiaa tarvitaan. Talviolosuhteiden lisäksi työmaan suuri koko kasvattaa luonnollisesti energiankulutusta pienempään työmaahan verrattuna. Taulukossa 6 on esitetty eri työvaiheiden sekä rakennuksen ja rakenteiden lämmityksen, lumen ja jään sulatuksen sekä koneiston ja valaistuksen energiantarpeiden arvoja ulkolämpötilaan perustuen. Arvot vastaavat keskimääräistä talvea Etelä-Suomessa [37, s. 8.]

Taulukko 6. Energiantarve eri ulkolämpötiloissa [37].

PR = Paikallarakentaminen
 OE = Osaelementtiteknikka
 TE = Täyselementtiteknikka

Ulkolämpötila (°C)	Perustusvaiheen valujen lämmitys (kWh/r-ala)	Runkovaiheen valujen ja elementtisäilytyksen lämmitys (kWh/rm ³ x kk)				Työmaarakennusten lämmitys (kWh/m ² x kk) (työmaarak m ²)	Sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivaus (kWh/rm ³ x kk)
		alle 10 000 rm ³		yli 10 000 rm ³			
		PR, OE	TE	PR, OE	TE		
yli 14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14,0...12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,6
12,5...7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	2,6
7,5...2,5	3,0	0,7	0,5	0,6	0,2	19,2	5,8
2,5...-2,5	4,0	1,2	0,8	1,0	0,5	29,4	8,9
-2,5...-7,7	7,0	2,2	1,4	1,2	0,8	40,2	12,0
-7,7...-12,5	10,0	3,1	2,1	1,7	1,1	51,4	15,2
-12,5...-17,5	14,0	4,0	2,6	2,3	1,5	62,2	18,4
-17,5...-22,5	20,0	4,8	3,2	2,8	1,8	72,6	21,5
-22,5...-27,5	26,0	5,8	3,8	3,4	2,2	83,4	24,5

Ulkolämpötila (°C)	Rakenteiden työnaikainen lämmitys ja kuivaus (kWh/rm ³ x kk)	Lumen ja jään sulatus (kWh/rm ³ x kk)	Koneiden käyttö ja valaistus (kWh/rm ³)		
			TE	OE	PR
yli 14	0,0	0,0	3,0	3,6	4,8
14,0...12,5	0,0	0,0	3,0	3,6	4,8
12,5...7,5	0,0	0,0	3,0	3,6	4,8
7,5...2,5	0,2	0,0	3,0	3,6	4,8
2,5...-2,5	0,8	0,5	3,0	3,6	4,8
-2,5...-7,7	1,6	1,3	3,0	3,6	4,8
-7,7...-12,5	2,7	2,2	3,0	3,6	4,8
-12,5...-17,5	3,7	3,2	3,0	3,6	4,8
-17,5...-22,5	4,7	4,2	3,0	3,6	4,8
-22,5...-27,5	5,6	5,2	3,0	3,6	4,8

Ratu C8-0377-kortissa esitellään myös laskuesimerkki erään työmaan energiankulutuksesta. Kyseisen esimerkin kohde on kerrostalo, joka rakennetaan täyselementeistä ja on tilavuudeltaan 4300 m³. Työmaatilojen pinta-ala on 70 m². Runko- ja sisätöitä tehdään kolmena talvikuukautena, joiden lämpötilat vaihtelevat seuraavasti: 1 kk 2,5...-2,5 °C ja 2 kk -2,7...-7,7 °C. Energian hinnaksi on oletettu esimerkissä 80 €/MWh. Kyseisillä tekijöillä päästään energiantarpeen ja kustannusten määrittelyssä kuvan 34 perusteella seuraavaan loppupäätelmään: [37, s. 8.]

	2,5...-2,5	-2,5...-7,7	Yhteensä
Runkovaiheen lämmitys	0,8 x 1	1,4 x 2	
Sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivaus	8,9 x 1	12,0 x 2	
Rakenteiden työnaikainen lämmitys ja kuivaus	0,8 x 1	1,6 x 2	
Lumen ja jään sulatus	0,5 x 1	1,3 x 2	
Koneiden käyttö ja valaistus	3,0 x 1	3,0 x 2	
Yhteensä	14 kWh/rm ³	38,6 kWh/rm ³	52,6 kWh/rm ³
	52,6 kWh/rm ³ x 4300 m ³ =		226 180 kWh
Työmaarakennusten lämmitys	29,4 x 1	40,2 x 2	109,8 kWh/m ²
	109,8 kWh/m ² x 70 m ² =		7686 kWh
Työmaan energian tarve 3 kk aikana	226 180 kWh + 7686 kWh =		233 866 kWh
Työmaan käyttämän energian kustannukset	80 €/MWh x 234 MWh =		18 720 €

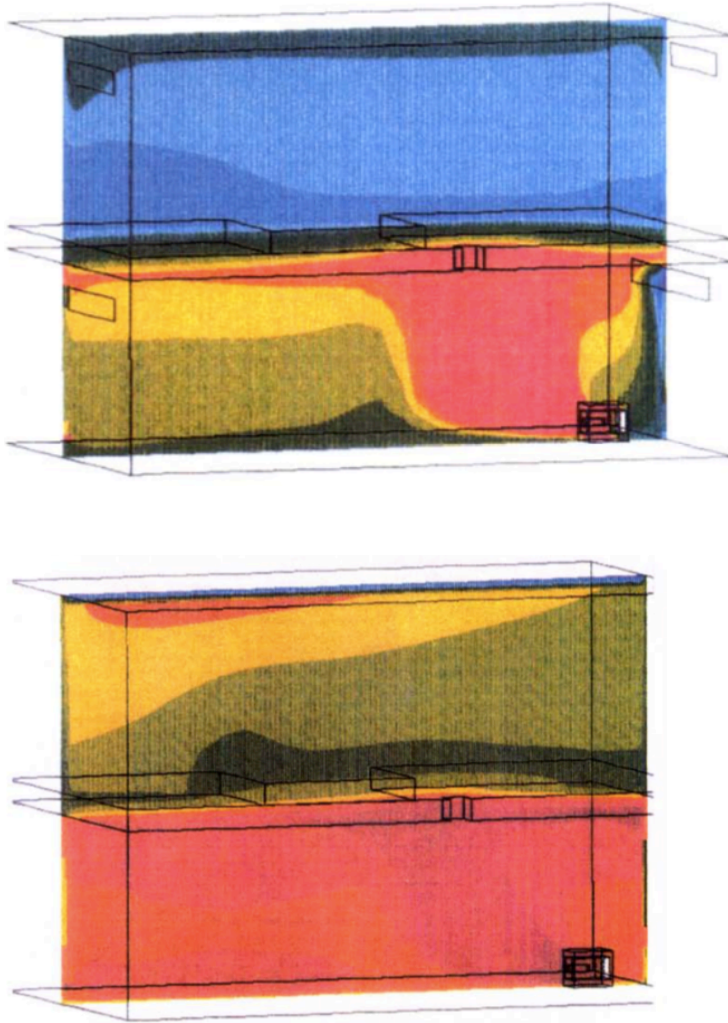
Kuva 34. Ratu C8-0377-kortin esimerkkityömaan energiantarve ja energiakustannukset [37].

Käytännössä energiankulutus on kyseisinä kolmena kuukautena 233 866 kWh ja sen kustannukset 18 720 €. Vaikka kyseinen esimerkki ei anna kattavaa kuvaa erilaisten työmaiden energiankulutuksista ja niistä seuraavista kustannuksista, antaa se hyvää osviittaa siitä, kuinka paljon energiaa työmaat todellisuudessa tarvitsevat. Esimerkiksi Motiva Oy:n mukaan Etelä-Suomessa 1960–1990-luvuilla rakennettujen kerros- ja rivitalojen lämpöindeksi on tyypillisesti jotain väliltä 45–65 kWh/m³/a. Vuodessa esimerkin kokoinen rakennus kuluttaisi energiaa matalimmillaan 193 500 kWh, kun taas suurimmillaan 279 500 kWh. Tämä antaa merkittävän vertailukohtan työmaan energiankulutukselle: työmaalla energiaa voidaan tarvita vain kolmessa kuukaudessa saman verran, mitä yhdessä kerrostalossa saatetaan käyttää vuodessa. [37, s. 8; 103.]

6.5 Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät

On ensiarvoisen tärkeää, että ulko-ovissa, ikkunoissa sekä muualla ulkovaipassa olevat aukot tiivistetään, jotta lämpö ei pääse rakennuksesta ulos. Kuvassa 35 näytetään, kuinka tehokkaammalla koneella on täysin erilainen lämmitysvaikutus tilassa, jossa ikkunoiden ja rungon välisiä saumoja ei ole tiivistetty, kuin tilassa, jossa ne ovat oikein tiivistetty ja jonne on sijoitettu tehokkuudeltaan matalampi lämmitin. Myös ulkovaipan yksittäiset lämmöneristämättömät rakenneosat vaikeuttavat rakennusaikaisen lämmityksen optimaalista toteuttamista: ne kasvattavat pintojen välisiä lämpötilaeroja, mutta

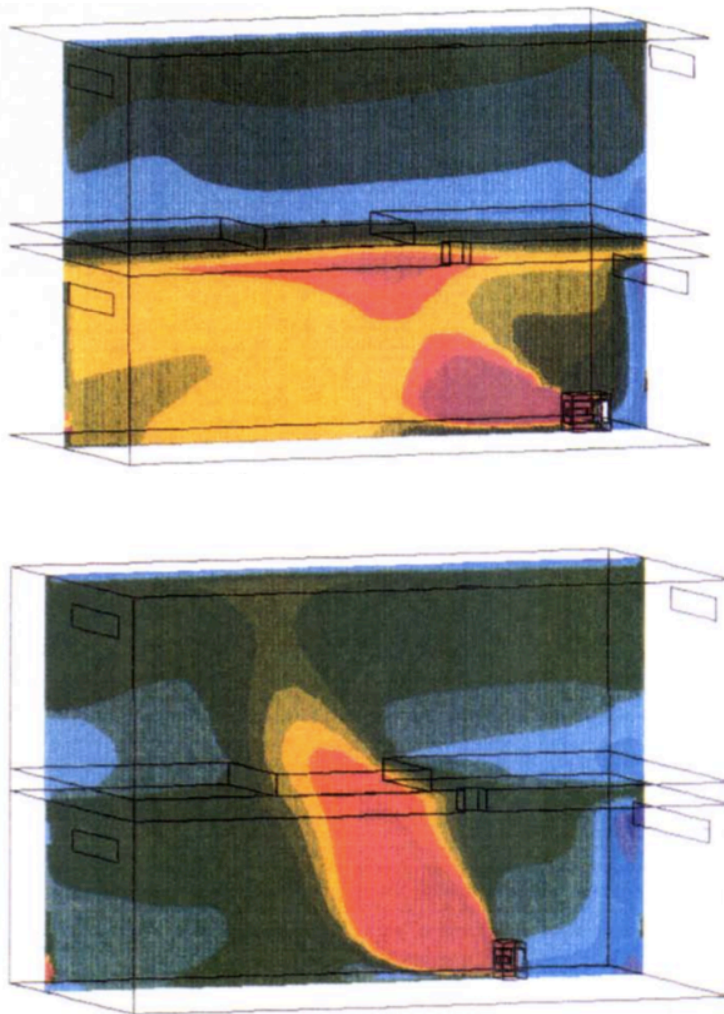
myös lisäävät hukkaenergian määrää. Kylmät sisäpinnat edesauttavat vesihöyryn kondensoitumista, joka heikentää rakennuksen kuivumista. Omat haasteensa rakennusai-
kaiseen lämmittämiseen tuo myös lämmön tasainen jakaantuminen ja kuinka se mah-
dollistetaan niin, että esimerkiksi huonetiloissa olisi lämpöä mahdollisimman tasaisesti
vaaka- ja pystysuunnassa. [35, s. 5.]



Kuva 35. Ylemmässä tilanteessa 15 kW:n lämmitin on sijoitettu tilaan, jota ei ole oikeaoppisesti tiivistetty. Tällöin lämpö poistuu tilasta. Alemmassa tilanteessa lämmitettävään tilaan, jonka ikkunoiden ja rungon väliset saumat ovat tiivistetty, on sijoitettu 8 kW:n lämmitin, mutta ilmanvaihtuvuus on käytännössä 0. Tällöin lämpötilat nousevat lähes 50 °C:een ja yläkerta jää alakertaa huomattavasti viileämmäksi. Lämpö pysyy tilassa huomattavasti paremmin alemmassa tilanteessa kuin ylemmässä tilanteessa. [35]

Yleisesti lämpötilan tasaiseen jakaantumiseen voidaan vaikuttaa erityisesti lämmittimen sijoittamisella. Esimerkiksi eri kerrosten lämpötilaeroja voidaan tasata sijoittamalla lämmitin niin, että lämmitysilmavirtaus kohdistuu porrassaukkoon. Kuvassa 36 demonstroidaan, kuinka samantehoisten lämmittimen eri sijainnit vaikuttavat lämpötilan ja-

kaantumiseen. Rakennuslämmittimen tehon ja ilmavirran lisäksi on tärkeää kiinnittää huomiota myös lämmittimen heittopituuteen sekä ilmasuihkun suuntaamiseen. Lämmittimen sijoittelussa täytyy kuitenkin muistaa, että sen taakse jää aina kylmempi alue, jonne lämmitys ei yllä. Lämmittimen taakse jäävän alueen lämpötila voi laskea lähelle ulkoilmanlämpötilaa, mikäli ulkovaippa ei ole tiivistetty. Myös apupuhaltimilla voidaan helpottaa lämmityksen tasaista jakaantumista. Puhallin sijoitetaan siten, että ilmaa imeetään toisesta tilasta ja puhalletaan toiseen tilaan, jolloin ilma sekoittuu. Yleisesti ottaen lämmitysratkaisu kannattaakin toteuttaa ylipaineisena, eli lämmitettyä ulkoilmaa puhalletaan sisälle ja näin syntyvä ylipaine puretaan hallitusti poistopisteiden kautta ulos, jotta myös kuivumisolosuhteet pysyisivät mahdollisimman tasaisina. [35, s. 5.]



Kuva 36. Ylemmässä tilanteessa 8 kW:n lämmitin on sijoitettuna nurkkaan, jolloin ilmavirtaukset eivät pääse toiseen kerrokseen. Alemmassa tilanteessa 8 kW:n lämmitin on sijoitettu keskelle ja puhallusilmavirta suunnattu porrasukkuun, jolloin lämmin ilma jakaantuu tasaisemmin. [35]

6.6 Lattialämmityksen käyttöönotto

Lattialämmitysjärjestelmän käyttöönotto on prosessi, johon tulisi varata tarpeeksi aikaa. Ennen lattialämmitysputkien peittämistä putkistolle täytyy suorittaa painekoe. Mikäli jokin lattialämmitysputkiston osa peitetään ennen muuta putkistoa, tulee peitettävälle osalle suorittaa erikseen oma painekoe. Painekoe voidaan toteuttaa joko vedellä tai ilmalla. Tehtäessä painekoe veden avulla tulee veden jäätyminen mahdollisuus arvioida ennen koetta ja tarvittaessa lisätä veteen jäätyminenestoainetta, joka kuitenkin poistetaan verkostosta kokeen jälkeen. Painekoe vedellä voidaan suorittaa esimerkiksi seuraavasti: verkosto paineistetaan 1,5 x rakennepaineeseen, joka ylläpidetään verkostossa 30 minuuttia. Liitokset tarkistetaan silmämääräisesti. Seuraavaksi 30 minuutin jälkeen vettä poistetaan nopeasti niin, että verkoston paine laskee 0,5 x rakennepaineeseen ja suljetaan venttiili. Mikäli verkoston paine nousee kyseistä painetta korkeammaksi venttiilin sulkemisen jälkeen ja paine verkostossa pysyy samana 90 minuuttia, on verkosto tiivis. Jos painekokeessa päätetään käyttää ilmaa, on suurin sallittu paine turvallisuussyistä 0,5 bar ylipainetta. Ennen painekoetta putkisto ilmataan huolellisesti, mieluiten kiertovesipumpun avulla. [9; 34, s. 100; 84; 85, s. 39.]

Lattialämmityksen varsinainen käyttöönotto on kuitenkin rakennusaikaisen lämmityksen kannalta merkittävin osuus, jossa on välttämätöntä edetä askel kerrallaan ja tarpeeksi hitaasti. Periaatteessa lattialämmityksellä ei saisi nopeuttaa betonivalun kuivumista, mutta käytännössä lattialämmityksen mahdollistamalla kuivatuslämmityksellä voidaan betonin kuivumisaikaa silti lyhentää. Kun betonirakenteen lämpötila nousee 10 °C:lla, betonin kosteutta siirtävä voima kasvaa 1,5-kertaiseksi. Jos betonin lämpötila nostetaan esimerkiksi 10 °C:sta 30 °C:seen, betonin kuivumisaika lyhenee puoleen. Kuitenkin betonivalun tulisi antaa kuivua tarpeeksi kauan, useimmiten vähintään kolme viikkoa, ennen lämmön kytkemistä päälle. Kun betonivalu on tarpeeksi kuivaa ja lämmitys voidaan kytkeä päälle, asetetaan menoveden lämpötilaksi noin +20 °C, jota pidetään päällä muutama päivä. Tämän jälkeen menoveden lämpötilaa nostetaan kerrallaan 2–4 °C muutaman viikon aikana, kunnes saavutetaan lattialämmitysverkostolle määriteltä pysyvä menoveden lämpötila. Puurakenteisessa lattiassa käyttöönotto etenee samalla tavalla, mutta määriteltä menoveden lämpötila saavutetaan yleensä hieman nopeammin. Lattialämmitys, kuten myös patterilämmitys, voidaan ottaa asteittain käyttöön, eli tehdä ns. osakäyttöönottoja. Osakäyttöönotot aloitetaan alimmista kerroksista putkinousujen vuoksi, ja ne etenevät tarpeen mukaisin jaksoin yläkerroksiin. Esimerkiksi seitsemänkerroksisessa rakennuksessa osakäyttöönotot voidaan suorittaa ottamalla

ensin kahden kerroksen oma lämmitysjärjestelmä käyttöön, sen jälkeen kolmannen ja neljännen kerroksen ja lopuksi viidennen, kuudennen ja seitsemännen kerroksen. Tällöin rakennusaikainen lämmitysjärjestelmä saa tuekseen rakennuksen lopullisen lämmitysjärjestelmän, jolloin rakennusaikaista lämmitysjärjestelmää voidaan myös asteittain purkaa pois käytöstä. [9; 84; 86, s. 10; 87, s. 5; 99.]

7 Rakennusaikaiset lämmitys- ja kuivausjärjestelmät

Rakennustyömaan energiamuodon, lämmityslaitteiden sekä -menetelmien valintaan vaikuttavat erityisesti rakennusaikaisen lämmityksen ennakoivissa laskelmissa suoritettavat laskelmat ja vertailut, joiden avulla päästään käsiksi kustannustehokkaasti pätevään, mutta myös työmaalle soveltuvaan vaihtoehtoon. Vaikka rakennusaikaisen lämmityksen toteuttaminen on yleisesti työmaakohtaista, ohjaavat työnjohtoa valinnassaan monesti myös aikaisempien työmaiden kokemukset. Lämmitysjärjestelmää valittaessa tulisi kiinnittää huomiota myös lämmitysjärjestelmän tehokkuuteen ja luotettavuuteen vaihtuvissa olosuhteissa sekä taloudelliseen puoleen eri näkökulmien, kuten energia-, pääoma- ja huoltokustannusten, kautta. [35; 41.]

Rakennustyömaiden lämmitysjärjestelmien energianlähteinä käytetään yleisimmin sähköä, öljyä, kaasua tai kaukolämpöä. Kuitenkin jo rakennusaikaisen lämmityksen tavoitteena tulisi olla rakennuksen lopullisen lämmitysjärjestelmän ottaminen käyttöön mahdollisimman pian, mikä edesauttaa rakennuksen tasaisessa lämmittämisessä, mutta lisää myös työskentelytehokkuutta ylimääräisten letkujen ja johtojen ollessa poissa tieltä. Energialähteestä riippumatta työmaalle tulisi sijoittaa erilaisia lämmittimiä, joiden avulla tilojen lämmitys tapahtuu. Rakennustyömailla käytetään yleensä yli 5 kW:n lämmittimiä ja ne valitaan laskemalla todettuja lämpötehotarpeita suuremmiksi. Jotta lämmönjakolaitteista ei koituisi ylimääräistä vaivaa, tulisi niiden olla käsiteltävyydeltään ja käyttökuntoon saattamiseltaan helppoja. Erilaisia lämmitinvaihtoehtoja ovat käyttötarkoituksesta riippuen esimerkiksi kuumailmalämmittimet, infrapunalämmittimet, sähkövastuslämmittimet, ilmankuivaajat sekä höyrykattilat ja -kehittimet (taulukko 7). [35; 41.]

Taulukko 7. Lämmitinvaihtoehtoja eri rakennusvaiheissa [35].

Vaihe	Kuumailmalämmittimet	Infrapunalämmittimet	Sähkövastuslämmittimet	Ilmankuivaajat	Höyrykattilat ja -kehittimet
Maarakennus	+	+	+		+
Perustustyö	+	+	+		+
Runkotyö	+	+	+		
Kuivaus	+	+		+	
Viimeistely	+	+		+	

7.1 Sähkö

Sähkö on varteenotettava vaihtoehto rakennusaikaiseksi lämmitykseksi työmaalle sen helppouden sekä hankintakustannusten takia. Sähkölämmitystä voidaan pitää eräänlaisena kaukolämmityksenä, sillä lämmitykseen tarvittava energia tuotetaan muualla, kuten esimerkiksi ydin- tai vesivoimalassa. Vasta käyttöpaikalla erilaiset sähkövastukset muuttavat sähköenergian varsinaiseksi lämmöksi. Sähkölämmitys voidaan jakaa karkeasti suoraan ja varaavaan sähkölämmitykseen. Suorassa sähkölämmityksessä lämpö tuotetaan reaaliaikaisesti lämmitettävän tilan lämpötarpeiden mukaan, kun taas varaavassa sähkölämmityksessä lämpöä tuotetaan kiinteistön varastoon, josta sitä tarpeen mukaan puretaan käyttöön. Kuitenkin käyttökustannukset voivat kasvaa sähkölämmityksessä epätoivotun korkeaksi. Yleisesti sähkön hinta muodostuu sen tuottamiseen käytettyjen polttoaineiden hinnasta, voimalaitosten, siirtoverkon, kytkinasemien ja jakeluverkon pääomakustannuksista sekä muista koko järjestelmän käyttökustannuksista. Käyttökustannuksiin taas vaikuttavat mm. palkat, vakuutukset, polttoainevarojen ylläpitokustannukset jne. [34, s. 150, 153; 39, s. 353.]

Mikäli rakennustyömaalle valitaan sähköllä toimiva rakennusaikainen lämmitys, tulisi huomiota kiinnittää sähkönkulutuksen kasvuun ja myös sitä kautta pääkeskuksen mitoittamiseen. Rakennustyömaan tehontarvetta määriteltäessä keskeisimpinä tekijöinä ovat erityisesti rakentamisen toteutusmenetelmä sekä rakentamisen ajankohta. Kun rakentaminen tapahtuu talvella, täytyy rakennusaikaisten lämmittimien vaatimaan tehoon varautua. Toteutusajankohdasta huolimatta runkovaihe on kriittisin vaihe kaikilla työmailla, sillä silloin koneita on eniten käytössä. Tästä syystä runkovaihe muodostuu mitoittavaksi tekijäksi tehontarvetta laskettaessa. Kuitenkin talvirakentamisessa betonin lämmittäminen voi tapahtua pääasiassa iltaisin ja öisin, jolloin tehontarvetta määriteltäessä voidaan betonin lämmittämiseen vaadittu teho jättää huomioimatta. [42, s. 50; 65, s. 2.]

Rakennustyömaan pääkeskus valitaan tehontarpeiden perusteella niin, että kaikki yhtä aikaa käytettävät koneet voivat saada siitä tarvitsemansa tehon. Keskuksen pääsulakkeen kooksi riittää keskuksen nimelliskokoa pienempi sulake, mutta sulake, joka kattaa työmaan tehontarpeet ja hieman yli. Rakennuskohteen rakenneratkaisut ja toteutuksen pääperiaatteet vaikuttavat oleellisesti pääkeskuksen valintaan. Tällöin tulisi esimerkiksi tietää, toteutetaanko rakennusaikainen lämmittäminen sähköllä, tehdäänkö rakennus elementeillä vai paikallarakentamisella ja käytetäänkö torni- vai ajoneuvonosturia. Ylipäätään suuret tehontarpeet omaavat laitteet tulisi valita mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta niiden tarvitsemat tehot voidaan sisällyttää työmaan kokonaistehontarpeisiin mahdollisimman tarkasti. [42, s. 50; 65, s. 2.]

Erityisesti talvella tehontarve kasvaa huomattavasti, mikäli rakennustyömaalla käytetään pelkkää sähkölämmitystä, sillä lämmityskaluston vaatimat tehontarpeet ovat työmaakoneiden ja -laitteiston huippua. Tällöin täytyy varmistua siitä, että pääkeskus ja pääsulake pystyy vastaamaan muodostuvaan tehopiikkiin. Käytännössä kyseinen tehopiikki voi ajaa sähköistä lämmitystä käyttävän rakennustyömaan valitsemaan suuremman pääkeskuksen ja -sulakkeen kuin työmaa, jossa on käytössä vaihtoehtoinen lämmitys. Kasvava pääkeskuksen ja -sulakkeen koko kasvattaa vuokra- ja hankintakustannuksia sekä liittymäsopimuksen kustannuksia. Pääkeskuksen mitoittamisessa on silti tärkeää olla realistinen, koska pääkeskuksen koon kasvattaminen myöhemmässä vaiheessa rakennustyömaata on kallista ja monesti jopa mahdotonta. [42, s. 50; 65, s. 2–3.]

Useimmiten työmaasähkön liittymissopimuksen tekee pääurakoitsija, mutta sen voi tehdä vaihtoehtoisesti myös tulevan kiinteistön omistaja tai haltija. Ennen liittymissopimuksen tekemistä tulisi selvittää työmaasta perustiedot, kuten työmaan tehontarpeesta päätelty pääsulakkeen koko, työmaan keskusten ja sisäisten kaapeleiden alustavat sijainnit sekä korjausrakentamiskohteissa olemassa olevan sähköverkon käyttömahdollisuus. Yleensä korjauskohteen sähköverkkoa pystyy käyttämään osittain niin, että vain osa kohteen työnaikaisesta sähköistyksestä hoidetaan väliaikaisilla laitteilla ja kaapeleilla. Sähköä myyvän laitoksen kanssa ratkaistaan sähkönsaantimahdollisuudet, liittämistapa ja -paikka, kun perustiedot on saatu selville. Tämän jälkeen liittymissopimukset ja -tilaukset voidaan tehdä. Kuitenkin liittymissopimuksia tehtäessä kannattaa muistaa, että eri sähkölaitoksilla on hyvinkin erilaiset liittymissopimukset niin periaatteiltaan kuin kustannuksiltaan. Kustannuksien eroihin vaikuttavat erityisesti työmaan koko ja liittämi-

sen periaatteet, joten kyseiset kustannukset kannattaa selvittää aina ajoissa sekä tapauskohtaisesti. [65, s. 1.]

7.1.1 Sähkökäyttöiset puhaltimet

Sähköpuhaltimien markkinat ovat erittäin laajat. Monet yritykset tarjoavat erilaisiin tarpeisiin erilaisia puhaltimia, joiden merkittävimpinä eroina ovat niiden lämoötehot sekä koot. Esimerkiksi Polartherm Oy:n valmistama Remko Elkomat -sähkölämmitysarja kuuluu monen yrityksen tuotevalikoimaan. Niiden käyttökohteeksi on vuosien saatossa vakiintunut erityisesti rakennustyömaiden lämmitys ja kuivaus, mutta niitä on mahdollista myös käyttää pelkkään tuuletukseen ilman lämmönvastusten päälle kytkemistä. Kyseisiä puhaltimia voidaan käyttää myös monissa muissa kohteissa, kuten verstaissa, varastoissa, koneiden lämmittämisessä ja kasvihuoneissa. [66, s. 1; 67.]

Remko Elkomat -sähköpuhaltimien lämpötehot vaihtelevat 2 kW:sta jopa 40 kW:iin, joten niitä voidaan käyttää monien lämmitystarpeiden täyttämässä. Merkittävintä tehon tuoton kasvaessa on kuitenkin se, että myös itse puhaltimen koko kasvaa. Esimerkiksi valittaessa työmaalle 3,3 kW:n Remko Elkomat -puhallin pysyy puhaltimen koko pienenä ja käytännöllisenä, sillä se painaa vain 8 kg. Mikäli työmaalle tarvitaan esimerkiksi 40 kW:n Remko Elkomat -puhallin, painaa se jo 55 kg. Pienimpien puhaltimien siirreltävyyttä parantaa se, että niille on saatavissa vakiomalliset seinäkiinnikkeet (seinäteline 3,2 kW ja seinäteline 6–18 kW). [66, s. 1; 67.] Kuvassa 37 erikokoisia Remko Elkomat -puhaltimia ja taulukossa 8 Remko Elkomat -puhaltimien teknisiä tietoja.



Kuva 37. Sähkökäyttöisiä Remko Elkomat -puhaltimia [67].

Taulukko 8. Eri Remko Elkomat -puhallinmallien teknisiä tietoja [66].

Tuotenumero		4832	4006	4009	4021	4040
Malli		Elkomat 3.2	Elkomat 6	Elkomat 9	Elkomat 18	Elkomat 40
Teho	kW	3,2	6	9	18	40
Osateho	kW	2,2	3	4,5	12	16-32
Ilmamäärä	m ³ /h	300	500	600	1200	3000
Liitäntäjännite	V	230 / 1~	400/230V/3~	400/230V/3~	400/230V/3~	400/230V/3~
Nimellisvirta, max.	A	14,2	9	13,5	26,5	58
Pistotulppa	A	1-vaihe/16/10	16/10	16/16	32/25	63/63
Pituus	mm	400	470	510	740	1140
Leveys	mm	205	270	300	335	450
Korkeus	mm	340	430	455	500	630
Paino	kg	8	13	16	27	55
Koteloitusluokka	IP	34	34	34	34	34
Sähkönumero		8147804	8147806	8147809	8147818	8147838

Sähköisten lämpöpuhaltimien vaihtoehtomahdollisuuksia kasvattaa myös Cramo Oyj:n ja Machinery Oy:n tuotevalikoimaankin kuuluva EI-Björn-lämpöpuhallinsarja. Machinery Oyj:n EI-Björn-puhallinsarjassa on puhaltimia, joiden lämmöntuotto voidaan valita 3 kW:n ja 18 kW:n väliltä. Pienimmät 3 kW:n EI-Björn-puhaltimet VF3 ja VF31 (kuvassa 38) muistuttavat ulkonäöltään hiukan Remko Elkomat -puhaltimia. Ne ovat pienien kokojensa ansiosta helposti siirrettäviä tilapäiseen tai pysyvään lämmitykseen suunniteltuja puhaltimia, jotka on helppo ripustaa myös seinälle. Niitä voidaan käyttää myös kosteissa tiloissa IP44-suojauksensa takia. [68; 69; 70.] Taulukossa esitetään 9 VF3:n sekä VF31:n tekniset tiedot.



Kuva 38. EI-Björn-tuotesarjan VF3 -puhallin vasemmalla ja VF31 -puhallin oikealla [70].

Taulukko 9. EI-Björn-tuotesarjan VF3 sekä VF31 tekniset tiedot [70].

Tulo	5-pol / 400 V	2-nap/230V 16A Schuko
Tulokaapelin pituus / aluekaapeli / liitin	2,0 m / 4G1,5 / 416P6 CEE	2,0 m / 16A Schuko pistoke
Nimellisvirta	4,3 A	14,3 A
Jännite	3~400 V	230 V
Tehoasennot (kW)	0 - 1,5 - 3	0 - 1,65 - 3,3
Ilmavirta (m ³ /h)	400	250
Aänitaso	38 dB(A)	34 dB(A)
Paino	8	6
Mitat K x L x S (mm)	370 x 310 x 360	300 x 260 x 300
Suojausluokka	IP44	IP 44

Suurempi 18 kW:n EI-Björn-sarjan puhallin EI-Björn TF 18EL (kuvassa 39) kykenee lämmittämään jopa 350 m²:n alueen. Siinä on korkeapainepuhaltimella varustettu lämmitin, joka mahdollistaa ilman kuljettamisen laajalle alueelle. EI-Björn TF 18EL:ssä voidaan valita suuri tai pieni puhallinnopeus ja sitä on mahdollista käyttää 4,5–9–18 kW:n tehoilla. [68; 71.] Taulukossa 10 esitellään EI-Björn TF 18EL:n tarkemmat tekniset tiedot.



Kuva 39. EI-Björn TF 18EL [71].

Taulukko 10. EI-Björn TF 18EL tekniset tiedot [71].

Tulo	5-pol / 400 V 16 A CEE 416-6 2 kpl
Tulokaapelin pituus / aluekaapeli / liitin	- / - / 2x3N~400 V
Nimellisvirta	15 / 13 A
Totaalinen lämpövoima	18 kW
Lämpötilan nousu	40 / 50 °C
Ilmavirta	2 300 / 1 700 m ³ /h
Aänitaso	65 dB(A)
Paino	72 kg
Mitat K x L x S (mm)	1 260 x 530 x 660 mm
Suojausluokka	IP44

7.1.2 Sähkökäyttöinen infrapunasäteilijä

Infrapunasäteilijät ovat oivallisia erityisesti yksittäisten kohteiden lämmityksessä, koska ne eivät lämmitä välissä olevaa ilmaa. Infrapunasäteilijän tuottama lämpöteho suuntautuu täysin lämmitettävään kohteeseen, jolloin itse tilaan ei kohdistu lämpöä. Tästä syystä lämmitysenergiaa ei mene hukkaan, jolloin infrapunasäteilijät ovat hyvinkin energiatehokkaita ratkaisuja. Infrapunasäteilijät sopivat käytettäväksi mm. työpisteiden sekä torikojujen lämmittämiseen. Esimerkiksi Talhu Oy:n valikoimassa on kuvan 40 mukainen infrapunasäteilijä S2, jonka säteilyteho on 2 kW. [42, s. 51; 72; 73.] Sen tarkemmat tekniset tiedot ovat taulukossa 11.



Kuva 40. Talhu Oy:n valikoimaan kuuluva infrapunasäteilijä S2 [72].

Taulukko 11. Infrapunasaiteilijä S2 tekniset tiedot [72].

Infrapunasaiteilijä S2		
Säteilyteho	kW	2,0
Liitäntäjännite	V	230/1-
Mitat p x l x s	mm	710 x 195 x 180
Paino	kg	6

7.2 Öljy

Suhteellisen edullisen hinnan sekä varsin suuren lämpöarvon vuoksi öljy on oiva lämmityksen energianlähde rakennustyömaalle. Yleisesti kevyttä polttoöljyä käytetään useimmiten omakotitalojen lämmityksessä, kun taas raskasta polttoöljyä käytetään kaukolämpölaitoksissa sekä teollisuuslaitoksissa. Energiaa yhdestä litrasta kevyttä polttoöljyä voidaan saada noin 10 kWh ja vastaavasti yhdestä kilogrammasta raskaasta polttoöljystä noin 11,3 kWh. Raskaat polttoöljyt ovat hinnaltaan useimmiten edullisempia, mutta niiden laitteet tarvitsevat enemmän huoltoa sekä asiantuntemusta. Esimerkiksi nämä syyt puoltavat sitä, että raskasta polttoöljyä ei kannata käyttää kattiloissa, joiden tehot jäävät alle 500–600 kW. Käytettäessä kevyttä polttoöljyä tulisi erityistä huomiota kiinnittää öljyalaatuun sekä vallitseviin lämpöolosuhteisiin. Polttoöljyä on mahdollista saada talvi- sekä kesälaatuksena, joiden merkittävämpänä erona on niiden erilaiset pakkasenkestävyydet. [34, s. 34; 39, s. 295-296; 52, s. 12.]

Polttoöljyn energiantuotto perustuu sen palamisreaktioon. Öljy palaa, mikäli olosuhteet sen ympärillä ovat suotuisat. Tämä tarkoittaa sitä, että itse öljyn lisäksi palamisreaktion tapahtumiseksi läsnä tulisi olla tarpeeksi happea, mutta myös energiaa, eli riittävästi lämpöä. Käytännössä tavanomaisista polttoaineista saatava energia, jota voidaan käyttää myös rakennusaikaisessa lämmityksessä, kehittyy suurimmilta osin hiilen ja vedyn reagoiessa hapen kanssa. [34, s. 34; 39, s. 297.]

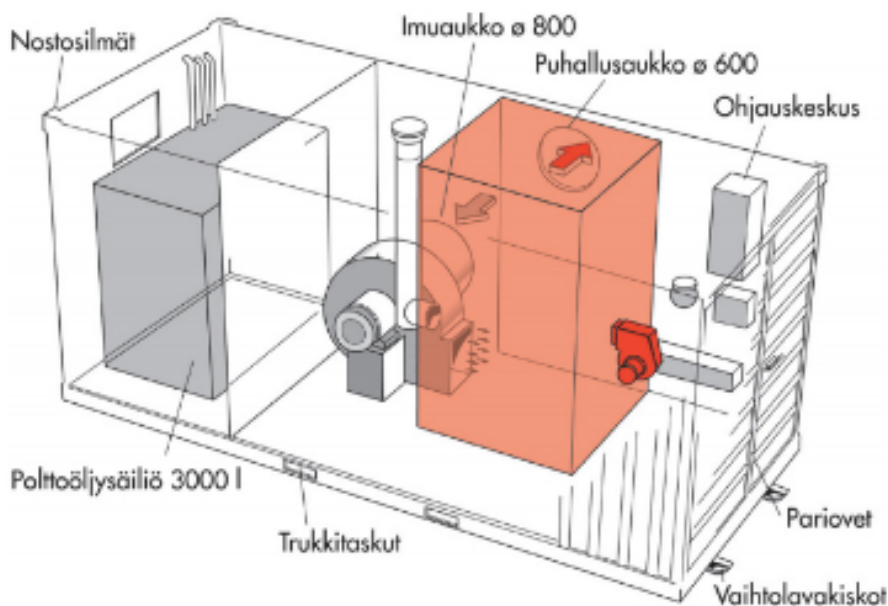
Öljyn käytöstä energianlähteenä seuraa erilaisia vaatimuksia ja käyttörajoituksia. Öljy palaa epäpuhtaasti, joten palamisreaktiossa syntyvä savukaasu tulee johtaa ulos lämmitettävästä tilasta. Syntyvä savukaasu sisältää esimerkiksi rikkidioksidia, jota kehittyy öljyn sisältämän rikin johdosta. Savukaasujen poistaminen on myös perusteltua sillä,

että ne saattavat liata lämmitettäviä tiloja. On syytä huomioida, että savukaasujen mukana poistuu lämpöä, mikä omalta osaltaan vaikuttaa palamishyötysuhteeseen. Myös mahdollinen tulipaloriski sekä räjähdysvaara on tärkeää muistaa ja niihin tulisi varautua sammutuskalustolla. [39, s. 296, s. 302; 40.]

Öljykäyttöisiä rakennuslämmittämiä on markkinoilla monenlaisia. Lämmitystarpeesta riippuen on mahdollista valita esimerkiksi suuria lämpökontteja, mutta myös pienempiä puhaltimia. Kun öljylämmitintä hankitaan, tulisi varmistaa, sisältääkö lämmitin itsessään öljysäiliön. Mikäli näin ei ole, tulee säiliö vuokrata erikseen. Säiliötä vuokrattaessa täytyy selvittää öljymäärän tarve, sillä liian pieni säiliö tarkoittaa useampaa öljyauton tilausta työmaalle. Varsinkin suuret lämmitinyksiköt kuluttavat paljon öljyä. Vaikka lämmitysjärjestelmäksi valitaankin öljy, tarvitaan silti myös sähköä öljykäyttöisten rakennuslämmittimien puhaltimien toimintaan. Sähkönkulutus on kuitenkin varsin pientä verrattuna sähköisiin lämmittämiin. [42, s. 42.]

7.2.1 Lämpökontti

Lämpökontit ovat suuren mittaluokan lämmityskeskuksia, joiden avulla saadaan runsas määrä lämpöä. Lämpökontteja voidaan käyttää esimerkiksi varastoissa, rakennustyömailla, halleissa sekä kasvihuoneissa. Monet yritykset vuokraavat lämpökontteja ja lämpökonttivalintoja on tarjolla laajasti erilaisten työmaiden erilaisiin lämmitystarpeisiin. Yksi esimerkki lämpökontista on mm. Polartherm Oy:n lämmitysratkaisuihin kuuluva Polar HC372 lämpökontti (kuvassa 41), jonka tekniset tiedot esitetään taulukossa 12. [42, s.42; 44.]



Kuva 41. Polar HC372 lämpökontti [45].

Taulukko 12. Polar HC372 tekniset tiedot [44].

Malli		Polar HC 372
Tuotenumero		2320
Lämpöteho, nimellinen	kW	372
Ilmamäärä	m ³ / h	18.000
Puhaltimen vastapaine	Pa	600
Öljysäiliö	l	3.000
Öljy		Polttoöljy 1 (talvilaatu)
Öljynkulutus, max.	kg / h	36
Öljypoltin		Oilon KP-50H
Sähköliitäntä	V / A	400 / 3- / 25A
Pistorasia syöttöjohdolle	A	32
Pituus	mm	6100
Leveys	mm	2435
Korkeus	mm	2730
Paino	kg	n. 4.800

Polar HC372 lämpökontti on suurteholämpökontti, jossa lämmitysyksikkö on sijoitettu käytettyyn ja kunnostettuun laivauskonttiin. Se painaa n. 4800 kg ja on kooltaan 6100 x 2435 x 2730. Polar HC372 lämpökontti koostuu 3000 l:n polttoainesäiliöstä, öljyn esilämmittimestä, ilmalämmittimestä, 5,5 kW:n keskipakoispuhaltimesta sekä ohjausau-

tomatiikasta. Lämpökontti on valaistu ja siihen on asennettu sähköulosottoja. [42, s. 43; 43; 44; 45.]

Massiivisen kokonsa vuoksi on tärkeää varata lämpökontille sopiva sijoituspaikka: ihannetapauksessa lämpökontti sijoitetaan lämmitettävän tilan ulkopuolelle mielellään 8 m:n päähän rakennuksesta, josta lämpö johdetaan tilaan ja tilasta esimerkiksi kierresaumaputkella. Näin puhallusilma kanavoidaan kohteeseen kuin myös mahdollinen imuilmakin. Lämpökontin alustan tulee olla palamatonta ja kestää kontin paino. Koska lämmitysyksikkö sijaitsee laivauskontin sisällä, on sitä mahdollista suojata asiattomalta käytöltä laivauskontin lukittavuuden vuoksi. Kontin trukkitaskut taasen helpottavat kontin siirtämistä. [42, s. 43; 43, s. 2–4; 44.]

7.2.2 Öljykäyttöinen lämmitin öljysäiliöllä

Mikäli todetaan, että lämpökontti on liian suuri työmaan tarpeisiin, voidaan tarvittava lämpö tuottaa pienemmällä öljykäyttöisellä lämmitysyksiköllä. Öljysäiliöllä varustettu lämmitysyksikkö soveltuu käytettäväksi niin tilapäiseen kuin pidempiaikaiseen tarkoitukseen. Esimerkiksi rakennusaikaisena lämmityksenä sitä voidaan hyödyntää uudiskohteiden lisäksi myös saneerauskohteissa, mutta myös halleissa ja varastoissa. Polartherm Oy:n lämmitysratkaisuihin kuuluu lämpökontin lisäksi myös siirrettävä öljykäyttöinen lämmitin öljysäiliöllä: Polar Heatmobil HTL250, joka näkyy kuvassa 42. [42, s. 43–44; 46; 47.] Taulukossa 13 esitetään Polar Heatmobil HTL250:n tekniset tiedot.



Kuva 42. Polar Heatmobil HTL250 [42].

Taulukko 13. Polar Heatmobil HTL250 tekniset tiedot [47].

Tuotenumero		2143
Malli		Heatmobil HTL 250
Lämpöteho, nimellinen	kW	195
Polttoaineen kulutus	kg/h	18
Polttoaine		p-öljy #1
Savukaasuhäviöt	%	8
Melutaso LpA 1m	dB (A)	74
Ilmamäärä	m ³ /h	13 350
Ulkoisen vastapaine, max.	Pa	450
Puhallusadapteri Ø	mm	550
Syöttöjännite (kojevastake)	V	400 / 230
Litöntäteho	kW	4,4
Syötön sulakkeet	A	3 x 16
Virranottama, max.	A	9
Paino / lämmitin	kg	590
Paino / lämmitin & öljysäiliö	kg	1100

Polar Heatmobil HTL250 tuottaa 195 kW:n lämpötehon, joka suuren ilmavirran avulla pystyy lämmittämään yli 7000 m³:n suuruisen tilan. Lämmitin on mitoiltaan noin 2960 x 1160 x 2240 sekä painaa öljysäiliön kera 1100 kg. Polar Heatmobil HTL250:n öljysäiliöön mahtuu kokonaisuudessaan 2000 litraa öljyä, jota kuluu maksimissaan 21 litraa tunnissa. Polar Heatmobil HTL250 vakiovarustukseen kuuluu öljysäiliön lisäksi tavallisesti myös lämmitinyksikkö, puhallusletku, savuputki sekä huonetermostaatti 10 m:n kaapelilla. [42, s. 43–44; 46; 47.]

Polar Heatmobil HTL250:n sijoittelussa noudattaa käyttöohjeita, kuten myös lämpökontissa. Lämmitinyksikkö on sijoitettava tasaiselle ja palamattomalle alustalle tarpeellisten suojaetäisyyksien päähän syttyivistä tai suojaamattomista materiaaleista ja rakenteista. Lämmitinyksikkö voidaan sijoittaa myös sisätiloihin, jolloin on huolehdittava palamisilman saannista ja vältettävä alipainetta, sillä öljypoltin ei saa toimia alipaineisessa tilassa. Lämmitinyksikköön on mahdollista liittää ilmanavia, joiden avulla lämmitettyä ilmaa voidaan kuljettaa lämmitettävään tilaan. Useamman tilan lämmittäminen onnistuu haarojen avulla. Yksikkö kykenee myös ns. ”kiertoilmakäyttöön”, jolloin sen käyttämä imuilma otetaan lämmitettävästä tilasta. Laitteen erillinen huonetermostaatti säätää lämpötilaa ja optimoi polttoaineen kulutusta. Myös Polar Heatmobil HTL250:n siirtämistä ja nostamista on helpotettu laitteen pohjassa olevilla trukkitaskuilla sekä tankin nostokorvilla. [42, s. 43–44; 47; 48, s. 4–5, 8.]

7.2.3 Siirrettävät öljylämmittimet

Toisinaan voi olla käytännöllisempää lämmittää rakennustyömaata siirrettävillä öljylämmittimillä, joissa itsessään on öljypoltin. Siirrettävien öljylämmittimien pääasiallinen tarkoitus on juurikin tilapäinen lämmitys rakennustyömaalla, mutta sen lisäksi niitä voidaan käyttää myös esimerkiksi kasvihuoneissa, varastoissa ja korjaamoissa, joissa lämmitykselle ei ole välttämättä jatkuvaa tarvetta. Kuten nimestäkin voidaan jo päätellä, siirrettävät öljylämmittimet ovat pienen kokonsa sekä siinä olevien umpikumirenkaiden vuoksi helposti siirrettävissä. Mikäli tilan säästäminen koetaan tarpeelliseksi, voidaan kyseisiä lämmittimiä myös ripustaa kattoon roikkumaan. Esimerkiksi Talhu Oy:n tuotevalikoimaan kuuluu Talhu Termo -öljylämmittinsarja. Kyseiseen tuoteperheeseen kuuluu eri öljylämmittimiä (kuva 43) kolmella eri lämpöteholla: 29 kW, 55 kW sekä 110 kW. [42, s. 45; 49; 50; 51, s. 3.] Taulukossa 14 on niiden tarkemmat tekniset tiedot.



Kuva 43. Talhu Termo öljylämmittimiä [49].

Taulukko 14. Talhu Termo öljylämmittimien tekniset tiedot [47].

Talhu termo	30	55	110
Lämpöteho	29 kW	55 kW	110 kW
Hyötysuhde	90 %	87 %	88 %
Öljyalaatu	pö talvilaatu	pö talvilaatu	pö talvilaatu
Max kulutus	3,5 l/h	5,8 l/h	11 l/h
Puhallin	0,20 kW	0,20 kW	1,1 kW
Ilmamäärä	2800 m ³ /h	3000 m ³ /h	5500 m ³ /h
Pituus	1270 mm	1550 mm	1700 mm
Leveys	550 mm	650 mm	650 mm
Korkeus	880 mm	1120 mm	1130 mm
Paino	92 kg	162 kg	194 kg
Pyörät Ø	250 mm	300 mm	300 mm
Liitäntäteho	230V/10A	230V/10A	230V/16A

Talhu Termo -öjljylämmittimille on tarjolla useammassa koossa. Yhteistä näille kuitenkin on se, että ne sisältävät lämmönsiirtimen. Kuitenkin myös siirrettäville öljylämmittimille on asetettu rajoituksia sijoittelun näkökulmasta: lämmitin täytyy sijoittaa samalla tavalla palamattomalle alustalle kuin muut öljyllä toimivat lämmittimet, ja sen lisäksi suojaetäisyysvaatimukset syttyviin rakenteisiin tulee täytyä. Sijoitettaessa lämmitin lämmitettävään huonetilaan täytyy varmistaa, että palamisilmaa saadaan riittävästi. Myös Talhu Termo -öjljylämmittimet tarvitsevat sähköä toimiakseen. Laite toimii käynnissä ollessaan säätö- ja varolaitteidensa ohjaamana automaattisesti. Esimerkiksi öljypolttimen käyntijaksoja ohjataan huonetermostaatin ja poltintermostaatin avulla, kun taas puhaltimen käyntijaksoja puhallintermostaatilla. Laite sisältää myös lämpötilan rajoittimen, joka aktivoituessaan katkaisee puhaltimen sekä polttimen toiminnan. [42, s. 45; 49; 51, s. 4–6.]

7.3 Nestekaasu

Nestekaasu on varsin monipuolinen energianlähde, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi teollisuudessa, autoissa, pihagrilleissa, mutta mikä tärkeintä, myös rakennustyömailla tilojen lämmittämisessä. Nestekaasu on rakennusaikaisessa lämmityksessä kilpailuky-

kyinen lämmitysmuoto, sillä se on varsin tehokas tapa kohteen lämmittämisessä: yhdestä kilogrammasta nestekaasua (propaani) voidaan saada 12,8 kWh energiaa ja vastaavasti yhdestä kuutiometristä nestekaasua 25,9 kWh energiaa. Nestekaasu soveltuu suoran lämmityksen polttoaineeksi, mikä on myös osasy sän suosiolle. Muita nestekaasun suosioon vaikuttavia tekijöitä ovat tämän lisäksi esimerkiksi sen käyttövarmuus, vähäinen huollon tarve sekä laitteiden hyvä säädettävyy s laajalla tehoalueella. [34, s. 60; 42, s. 48; 52, s. 14; 54; 55, s.1.]

Nestekaasu koostuu propaanista tai butaanista, mutta myös niiden sekoituksesta. Kuitenkin propaanimarkkinat ovat yleisesti Suomessa paljon laajemmat verrattuna butaaniin, jonka käyttö on rajoittunut varsin harvojen asiakkaiden tarpeisiin. Nestekaasuilla on alhaiset höyrystymispisteet, butaanilla noin $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja propaanilla noin $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, joten huoneenlämmössä ja normaalipaineessa ne esiintyvät kaasumaisina. Kaasumaisessa olomuodossa nestekaasut ovat melkein pä kaksi kertaa raskaampia kuin ilma. Huomionarvoista on, että yksi litra nestemäistä nestekaasua vaatii jopa 270 litran tilavuuden kaasuntuessaan. Koska nestekaasut ovat värittömiä sekä hajuttomia, on niihin lisätty turvallisuussyistä tunnistamista helpottavaa tetrahydrotiofeenia. Näin käyttäjää varoitetaan syntyneestä vuodosta ennen kuin kaasua on vuotanut tilaan niin paljon, että sen on mahdollista syttyä. [34, s. 60; 52, s. 14; 53, s. 1; 55, s. 5; 57, s. 4.]

Kuten öljyssä, myös nestekaasussa energiantuotto perustuu nimenomaan sen palamisreaktioon. Nestekaasut palavat hyvin, mikäli kaasu ja ilma muodostavat palamisreaktiolle edullisen seossuhteen. Tämä tarkoittaa sitä, että kaasu-ilmaseos on syttyvää vain määrätyn alueen sisällä. Kyseinen alue koko kaasu-ilmaseoksessa rajoittuu propaanilla 2,1–9,5 tilavuusprosentin välille, kun taas butaanilla 1,5–8,5 tilavuusprosentin välille. Mikäli kaasua esiintyy kaasu-ilmaseoksessa enemmän tai vähemmän, mitä rajat sallivat, ei seos ole syttyvää. Nestekaasu palaa puhtaasti, joka tarkoittaa sitä, että palamistuotteena syntyy pääasiallisesti hiilidioksidia ja vesihöyryä, eli käytännössä samoja aineita kuin ihmisen uloshengityksessä. Rikin ja raskasmetallien määrä on palamisreaktiossa erittäin pieni. [42, s. 45–48; 54; 55, s. 5.]

Yleisesti nestekaasuja varastoidaan säiliöihin, joiden koot vaihtelevat 8 kuutiometristä aina 1000 kuutiometriin. Kuitenkin tilapäisellä rakennustyömaalla on tarpeenmukaisempaa käyttää siirreltäviä nestekaasusäiliöitä, -astioita, -pulloja ja -kontteja. Rakennusaikaisessa lämmityksessä nestekaasuvastoina käytetään yleensä nestekaasupullojen, joiden koot vaihtelevat aina 33 kg:n nestekaasupullosta 184 kg:n maksipulloon,

lisäksi suurempia nestekaasusäiliöitä. Yksi tyypillisimmistä tilapäiseen käyttöön tarkoitettuista nestekaasusäiliöistä on suojakehikkoon sijoitettu kuvan 44 kaltainen säiliö, joka on tilavuudeltaan vajaa 10 m³ ja painaa tyhjänä noin 4000 kg. Yleisesti nestekaasusäiliön vähimmäiskooksi suositellaan juurikin 10 m³, mitä perustellaan kuljetuksien ja kaasun käsittelyn käytännöllisyydellä. Työmaalla tulisi kuitenkin huomioida nestekaasusäiliölle asetetut vaatimukset, joista yksi koskee pullopaketin nestekaasun määrää: rakennus- ja korjaustöissä nestekaasua saa olla pullopaketissa enintään 300 kg. Useampia pullopaketteja käytettäessä tulisi pullopakettien väliin jättää vähintään 10 metrin etäisyys. [42, s. 45; 53, s. 2, s. 5; 55, s. 7; 56, s. 2.]



Kuva 44. Tilapäinen nestekaasusäiliö sijoitettuna suojakehikkoon [53].

Tilapäisen nestekaasuvaraston sijoittamisessa voidaan pitää suuntaa antavina ohjeina maanpäällisten kiinteiden nestekaasuvarastojen vähimmäisetäisyyksiä. Nestekaasusäiliön etäisyys tulisi olla rakennuksesta aina vähintään 5 m ja monien säiliöiden tapauksessa vähintään 3 m tai 5 m toisistaan. 3 m:n etäisyys on riittävä, mikäli säiliöiden nestekaasusisältö on enintään 5000 kg. Jos nestekaasua on säiliöissä yli 5000 kg, tarvitaan niiden välille 5 m:n etäisyys. Mikäli nestekaasusäiliöiden läheisyydessä säilytetään palavan nesteen säiliöitä tai happisäiliöitä, täytyy näiden keskinäiseksi etäisyydeksi varata vähintään 10 m. Nestekaasusäiliöitä ei saa sijoittaa rakennuksen, jossa on asuintiloja tms., sisälle eikä liikenneväylien alle. Säiliön ympäristöstä tulisi poistaa kaikki palava materiaali, kuten kasvillisuus ja puut, 3 m:n säteeltä. Nestekaasusäiliöitä ei tulisi sijoittaa myöskään paikalle, josta nestekaasun olisi ilmaa raskaampana mahdollista valua lähitöillä olevia rakennuksia ja viemärikaivoja kohti. Vaikka tilapäisessä nestekaasuvaraston sijoittamisessa noudatetaankin enimmäkseen maanpäällisen kiinteän nestekaasuvaraston vähimmäisetäisyyksiä, on kyseisistä ohjeista silti mahdollista poi-

keta. Joustovaraa tuo erityisesti nestekaasukäytön tilapäisyys, josta johtuen se on käyttökäytökunnan välittömässä valvonnassa kaiken aikaa. [53, s. 5; 56, s. 1.]

Mikäli työmaalle valitaan nestekaasulla toimiva lämmitysjärjestelmä, on syytä kiinnittää huomiota muutamiin käytännön asioihin. Vaikka nestekaasu ei sisällä sellaisenaan ihmisille ja eläimille vaarallisia komponentteja, tulisi varautua palamisreaktiossa syntyneeseen vesihöyryn määrään. Yleisesti kaasujen savukaasuissa on suurempi vesipitoisuus ja savukaasuja syntyy enemmän kuin esimerkiksi öljyn poltossa. Kosteuden imenyt kuuma ilma täytyy tarpeen tullen johtaa pois tilasta. Nestekaasun palamisreaktiossa ei myöskään synny niin paljoa hiilidioksidia kuin muissa polttoaineissa, eikä korrosiovaaraa aiheuttavia palamistuotteita, jotka olisivat haitallisia nestekaasujärjestelmille. Savukaasujen lämpötila voidaan pitää alhaisena, minkä ansiosta on mahdollista saavuttaa hyvä hyötysuhde. Nestekaasu tarvitsee palaakseen noin 12 m³ ilmaa, minkä takia tilaan tarvitaan riittävä ilmanvaihto. Kuitenkin esimerkiksi öljyyn verrattuna kaasuja voidaan polttaa paljon pienemmällä ilmakertoimella. [42, s. 48; 52, s. 14; 55, s. 3; 57, s. 6.]

Nestekaasun käsittely sekä varastointi on luvanvaraista ja niille on asetettu tiettyjä vaatimuksia jo lakia myöten. Lupa- ja ilmoitusmenettelyn etenemiseen vaikuttaa erityisesti varastoitavan nestekaasun määrä: mitä suurempia määriä nestekaasua varastoidaan, sitä enemmän viranomaisille joudutaan nestekaasun käyttöä kuvailemaan. Yleisesti nestekaasun käyttö ja varastointi katsotaan laajamittaiseksi, jos varastoitavan nestekaasun määrä on yli 50 tonnia, keskisuureksi, jos varastoitavan nestekaasun määrä on 5-50 tonnia ja vähäiseksi, jos varastoitavan nestekaasun määrä on enintään 5 tonnia. Varastoitaessa yli 200 kg nestekaasua, tulee tehdä ilmoitus kunnan palopäällikölle. Kun varastoitavan nestekaasun määrä kasvaa 5 tonniin, tulee lupaa hakea turvallisuus- ja kemikaalivirastolta. Varastoitavan nestekaasun määrän ollessa yli 5 tonnin täytyy viranomaisille tehdä laajempia selvityksiä. Mikäli nestekaasun määrä jää 5 tonnin ja 200 tonnin välille, riittää viranomaisille tehtävä toimintaperiaateasiakirja, jossa selostetaan toimintaperiaatteet suuronnettomuuden ehkäisemiseksi. Kuitenkin 200 tonnissa ja siitä ylöspäin viranomaisille tulee toimittaa toimintaperiaateasiakirjan lisäksi myös turvallisuusselvitys, jossa osoitetaan esimerkiksi sisäinen pelastussuunnitelma laadituksi. [53, s.2; 58; 59.] Taulukossa 15 esitetään vaadittavat viranomais selvitykset riippuen varastoitavan nestekaasun määrästä.

Taulukko 15. Vaaditut lupamenettelyt sekä tarvittavat asiakirjat. Tukes tarkoittaa turvallisuus- ja kemikaalivirastoa. [53]

Nestekaasun määrä m	Lupa- / ilmoitustarve	Huomautuksia
$m < 0,2$ tonnia	Ei tarvita kumpaakaan	Katsotaan, että nestekaasun varastointi ja käsittely on vähäistä
$0,2 \leq m < 5$ tonnia	Ilmoitus pelastusviranomaiselle	Ilmoitus riittää, koska tämäkin käyttö katsotaan vähäiseksi
$5 \leq m < 50$ tonnia	Tukes käsittelee lupahakemuksen	
$50 \leq m < 200$ tonnia	Tukes käsittelee lupahakemuksen	Toimintaperiaateasiakirja tarvitaan
$m \geq 200$ tonnia	Tukes käsittelee lupahakemuksen	Sekä toimintaperiaateasiakirja, että turvallisuus selvitys tarvitaan

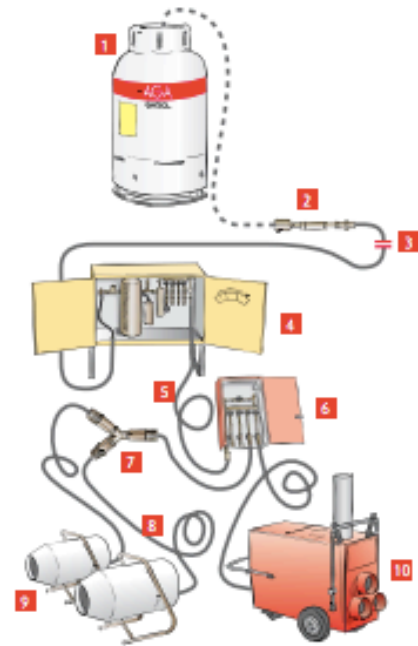
Nestekaasujärjestelmän rakentaminen on suhteellisen yksinkertaista ja sitä on helppo laajentaa, mikäli siihen on tarvetta. Nestekaasujärjestelmään liitettävät letkut sekä pika-liittimet mahdollistavat lämmityslaitteiston sijoittamisen sinne, jossa lämmitystä tarvitaan. Järjestelmään on mahdollista liittää kuvassa 45 esitetty höyrystin, jonka avulla kaasun koostumus voidaan pitää vakiona ja kaasunluovutuskyky riittävänä kaasun kulutukseen nähden. Höyrystimen avulla saadaan nestekaasupullot myös perusteellisesti tyhjemmäksi. [42, s. 45–48; 53, s. 6; 55, s. 7.]

Nestekaasua voidaan käyttää lämmitysjärjestelmissä nestemäisessä tai kaasumaisessa muodossa, mutta nestemäisestä nestekaasusta saadaan suurempi energiantuotto. Kun nestekaasuhöyrystin kytketään säiliöön tai pulloon, vaikuttaa nestekaasun tuottoon vain höyrystimen oma kapasiteetti. Höyrystimen avulla kaasua kytetään syöttämään tasaisesti eikä syöttöön vaikuta ympäröivän ilman lämpötila tai nestekaasun määrä säiliössä tai pullossa. Nestekaasuhöyrystin täytyy kytkeä nestekaasuväestön lisäksi sähköverkkoon. Mikäli nestekaasua käytetään lämmitysjärjestelmässä kaasumaisessa muodossa, tulee paineistetuissa pulloissa säilytettävä nestemäinen nestekaasu höyrystää ennen järjestelmään syöttämistä. Tällöin nesteen höyrystymisnopeus ei ole vakio, vaan siihen vaikuttaa ympäröivän ilman lämpötila, järjestelmän käyttöpaine, kaasupullon koko sekä pullossa oleva nesteen määrä. Kuvassa 45 esitellään nestekaasujärjestelmän komponentit ja niiden sijoittelu käytettäessä nestekaasua nestemäisessä sekä kaasumaisessa muodossa. Huomioitavaa on, että nestekaasua myydään ja kuljetetaan säiliöissä, joihin se on puristettu nesteeksi. [34, s. 60; 57, s. 4.]

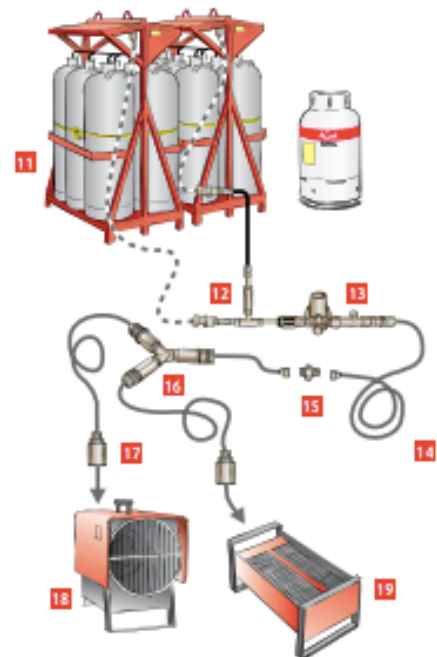
Nestekaasulämmityksessä tarvittavat tarvikkeet.

1. Nestekaasusäiliö tai AGAn maksipullo (184 kg)
2. Nestelähtöliitäntöjen rinnankytkentä lisää toiminta-aikaa.
3. Nestelähtöliitäntöjen teräsvahvisteiset korkeapaineletkut.
4. Paineenalentimella varustettu nestekaasuhöyrystin, jonka lähtöpaine on noin 1,5 baaria. Normaaliolosuhteissa höyrystimen kaasuntuotto on 32 kg/h. Saatavana on myös suuremman kapasiteetin höyrystimiä.
5. Teräskudosvahvisteinen kaasunsyöttöletku.
6. Jakokeskus jossa on sulku- ja letkuventtiilit.
7. Lämmittimen haara.
8. Teräskudosvahvisteinen kaasunsyöttöletku.
9. Suorapolttityyppinen nestekaasulämmitin liekinvalvontalaitteella.
10. Nestekaasulämmitin lämmönvaihtimella, palokaasujen erottimella ja liekinvalvontalaitteella.
11. AGAn maksipullo (184 kg) tai pullopaketti (297 kg).
12. Kaasulähtöliitäntöjen rinnankytkentä lisää kapasiteettia.
13. Paineenallennus noin 1,5 baariin paineensäätöventtiilillä.
14. Teräskudosvahvisteinen kaasunsyöttöletku.
15. Pikaliitin.
16. Haaroitusliitin.
17. Laitteen liitin.
18. Suorapolttityyppinen nestekaasulämmitin liekinvalvontalaitteella.
19. Infrapunälämmitin tehonsäädöllä.

Nestekaasun käyttäminen nestemäisessä muodossa



Nestekaasun käyttäminen kaasumaisessa muodossa



Kuva 45. Nestemäisen sekä kaasumaisen nestekaasujärjestelmän tarvitsemat komponentit [57].

Nestekaasulämmittimiä on tarjolla monia eri tyyppisiä, moniin eri tarkoituksiin. Nestekaasulämmittimeksi voidaan valita esimerkiksi suorapolttotyyppinen lämmitin, jonka palokaasut hyödynnetään lämmityksessä. Syntyviä palokaasuja on mahdollista hyödyntää lämmityksessä nestekaasun palamisprosessin ollessa varsin puhdas. Toisena tyyppinä lämmittimissä taas on lämmönvaihdin, jossa suorapolttotyyppisiin lämminvaihtimiin verrattuna palokaasut ohjataan pois lämmitettävästä tilasta. Markkinoilla on myös nestekaasukäyttöisiä säteilijöitä, jotka ilman lämmittämisen sijasta johtavat lämmön säteilyenergiana työskentelyalueelle. [57, s. 3.]

7.3.1 Nestekaasupuhaltimet

Nestekaasukäyttöisiä puhaltimia on tarjolla monia eritehoisia ja -kokoisia. Esimerkiksi Talhu Oy:n tuotteisiin kuuluu Remko Promat -mallisto, josta löytyy puhallinvaihtoehtoja aina 10 kW:n tehoisista 100 kW:iin asti. Remko Promat -mallisto jakautuu kahteen tuotesarjaan: PGT -malleihin ja PGM -malleihin. Vaikka mallit eivät suuresti eroa teknisiltä osin toisistaan, on niiden toimintatapa hiukan erilainen. PGT -mallit ovat täysautomaattisia ja ne toimivat huonetermostaattiasetuksen mukaisesti releohjauksen avulla, kun taas PGM -malleissa liekinvalvonta on automaattinen, mutta ne on syytettävä manuaalisesti. PGM -malleissa on myös portaaton tehonsäätö lukuun ottamatta PGM 12 -lämmitintä. Remko Promat -sarjaa voidaan käyttää laajasti monissa käyttökohteissa, kuten rakennusaikaisessa lämmityksessä, kohdelämmityksenä ulkotiloissa, tehdastiloissa ja halleissa, joissa ei ole palovaaraa, sekä kasvihuonelämmityksessä ja hiilidioksidin tuottamisessa. [60, s. 1; 62.] Kuvassa 46 esitetään Remko-Promat -sarjaan kuuluvia nestekaasukäyttöisiä puhaltimia, joiden tekniset tiedot esitetään taulukossa 16.



Kuva 46. Remko-Promat -tuotesarjan nestekaasukäyttöisiä puhaltimia [62].

Taulukko 16. Remko-Promat -tuotesarjan puhaltimien teknisiä tietoja [60].

Tuotenumero		3013	3028	3060	3029	3061	3061
Malli		PGM 12	PGM 30	PGM 60	PGT 30	PGT 60	PGT 100
Teholue	kW	12	10-26	25-55	10-26	25-55	50-100
ilmamäärä	m ³ /h	250	800	1450	800	1450	3000
Käyttöpaine	bar	0,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Kaasunkulutus	kg/h	0,95	0,78 - 2,0	1,95 - 4,27	0,78 - 2,0	1,95 - 4,27	3,9 - 7,8
Liitäntäjännite	V	230 / 1~	230 / 1~	230 / 1~	230 / 1~	230 / 1~	230 / 1~
Tehonkulutus max.	kW	0,06	0,07	0,11	0,07	0,11	0,125
Sulake	A	10	10	10	10	10	10
Pituus	mm	400	450	650	450	650	1060
Leveys	mm	185	260	320	260	320	430
Korkeus	mm	320	410	510	410	510	615
Paino	kg	7	12	20	12	20	47
Kotelointiluokka	IP	34	34	34	34	34	34
Sähkönumero		8147893	8147855	8147860	8147857	8147862	8147870

Ramirent Finland Oy vuokraa pienemmän Remko Promat -malliston lisäksi suurempia Thermo-Betox-sarjaan kuuluvia TB-700 sekä TB-1300-malleja, jotka toimivat sekä nestekaasulla, että öljyllä. Nestekaasulla toimivasta Thermo-Betox-sarjasta löytyvät 67 kW:n sekä 120 kW:n lämmittimet, jotka ovat tyyppihyväksytyjä myös öljykäyttöisinä. Thermo-Betox-sarjan lämmittimet ovat käytännöllisiä rakennustyömailla, sillä myös ne ovat helposti siirrettävissä. Käytännössä Thermo-Betox-sarjan (kuva 47) malleja käytetään samoissa kohteissa kuin siirrettäviä öljylämmittämiä, eli tilapäisessä lämmityksessä esimerkiksi rakennustyömailla, kasvihuoneissa, varastoissa sekä korjaamoissa. [50, s. 1–2.] Taulukossa 17 Thermo-Betox-sarjan teknisiä tietoja.



Kuva 47. Thermo-Betox-tuotesarjaan kuuluva puhallin [107].

Taulukko 17. Thermo-Betox-tuotesarjan teknisiä tietoja [50].

Malli		30 / 400	55 / 600	110 / 1200	70 / 700	130 / 1300
Lämpöteho	kW	29	55	110	67	120
Hyötysuhde	%	90	90	90	90	90
ÖLJYN kulutus max.	kg / h	2,95	4,8	9,2	5,9	9,9
NESTEKAASUN kulutus max.	m ³ / h	-	-	-	2,7 (5,4 kg)	4,6 (9,3 kg)
MAAKAASUN kulutus max.	m ³ / h	-	-	-	6,7	11,5
Ilmamäärä	m ³ / h	2800	3000	5500	4400	7000
Melutaso, 1m	dB (A)	73	78	76	76	72
Liitäntäjännite	V	230 / 1N	230 / 1N	230 / 1N	230 / 1N	230 / 1N
Nimellisvirta	W	550	550	1900	870	1160
Nimellisvirta	A	2,4	2,4	11	3,9	5,5
Syötön sulake	A	10	10	16	16	16
Puhallusaukko Ø	mm	305	305	305	400	500
Savukaasulähtö Ø	mm	100	145	145	160	160
Mitat L*P*K	mm	1270*550*880	1500*660*1100	1660*670*1110	1620*670*1120	1880*855*1300
Paino	kg	92	160	177	179	246

Myös nestekaasupuhaltimien käytössä tulee noudattaa varovaisuutta. Esimerkiksi Thermo-Betox-sarjan tuotteilla on käyttöohjeissa määritelty turvallisen ja toimivan käytön takaavat tekijät, kuten suojaetäisyydet ja palamisilmantarve. Käyttönotossa kyseisessä lämmitinsarjassa on hiukan eroavaisuuksia riippuen siitä, onko lämmitin öljy- vai nestekaasukäyttöinen. Esimerkiksi öljypoltin on säädetty valmiiksi tehtaalla mahdollisimman optimaaliseen käynnistykseen ja palamistulokseen, kun taas kaasupoltin pitää säätää asennuspaikallaan. Kaasupolttimen säädön tulee tapahtua aina hyväksytyin ja asiantuntevan henkilön kautta. Thermo-Betox-sarjan laitteet toimivat käynnistyessään automaattisesti säätö- ja varolaitteiden avulla: huonetermostaatti ohjaa polttimen käyntijaksoja ja puhallintermostaatti vastaa puhaltimen käyntijaksoista. [61, s.3–5.]

7.3.2 Nestekaasusäteilijät

Nestekaasusäteilijät levittävät lämpösäteilyä, mikä lämmittää suoraan rakennusmateriaalia eikä ympäröivää ilmaa. Nestekaasukäyttöiset säteilijät tuottavat nopeasti ja tehokkaasti lämpöä ja ne sopivat varsinkin suoraan kohdelämmitykseen. Koska ympäröivä ilma ei vastaanota yhtään nestekaasusäteilijän luomaa lämpösäteilyenergiaa, jäävät nestekaasusäteilijöiden lämpöhäviöt erittäin pieniksi. Vaikka nestekaasusäteilijöitä käytetään erityisesti tietyn kohteen lämmityksessä, vaikuttavat ne omalta osaltaan miellyt-

tävien työskentelyolosuhteiden ylläpitämiseen, sillä ne lämmittävät esimerkiksi vaatteita. [57, s. 3; 63.]

Esimerkiksi Hämeen Rakennuskone Oy:n tuotevalikoimaan kuuluu kuvan 48 mukaisia nestekaasusäteilijöitä, jotka soveltuvat erityisesti tilapäiseen lämmitykseen rakenteilla oleviin, vetoisiin ja kevytrakenteisiin tiloihin, rappausten ja maalausten kuivattamiseen, roudan sulattamiseen, hallien lämmittämiseen jne. Kyseisten säteilijöiden vahvuutena voidaan pitää myös niiden soveltuvuutta paikkoihin, joissa sähköä ei ole saatavilla. Savukaasuja ei kuitenkaan poisteta tilasta. Hämeen Rakennuskone Oy tarjoaa nestekaasusäteilijöitä 2,3 kW:n tehoisista aina 25 kW:n tehoisiin. Nestekaasusäteilijöiden varusteisiin kuuluu mm. polttokenno, joka on metalliverkkorakenteinen, liekinvalvontalaitte sekä heijastinlevy. [63]



Kuva 48. Nestekaasusäteilijöitä [63].

Myös Ramirent Finland Oy:n tuotevalikoimaan kuuluu nestekaasusäteilijöitä. HOAF AMS -säteilylämmittinsarjasta (kuvassa 49) voidaan valita säteilylämmitin, joka on teholtaan 7–11 kW:n väliltä. HOAF AMS -sarjan säteilylämmittimet ovat käytännöllisen pieniä, jopa 3–4,2 kiloisia säteilypinnan ollessa leveydeltään 150 mm ja pituudeltaan 520 mm:stä 760 mm:iin. Vaikka kyseisen sarjan säteilylämmittimien säteilypinta-ala on pieni, on sen teho säteilypinta-alaan nähden varsin korkea. HOAF AMS -sarjan säteilylämmittimien käyttökohteiden kirjo on todella laaja. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi rakennustyömailla, prosessiteollisuudessa sekä kohdelämmityksenä. Niiden tärkeimpiin käyttökohteisiin kuuluvat erityisesti erilaisten prosessien kohdelämmitykset, kuten betonin kuivatus ja asfaltin lämmitys. HOAF AMS -säteilijät tarjoavat paljon liikkumava-

raa kohdelämmityksessä, sillä niiden suuren tehokapasiteetin lisäksi säteilijät on mahdollista asentaa liikkuvaan kalustoon, kuten asfalttikoneeseen. Sähköisillä säteilijöillä vastaavanlainen menettely ei ole mahdollista. [64]



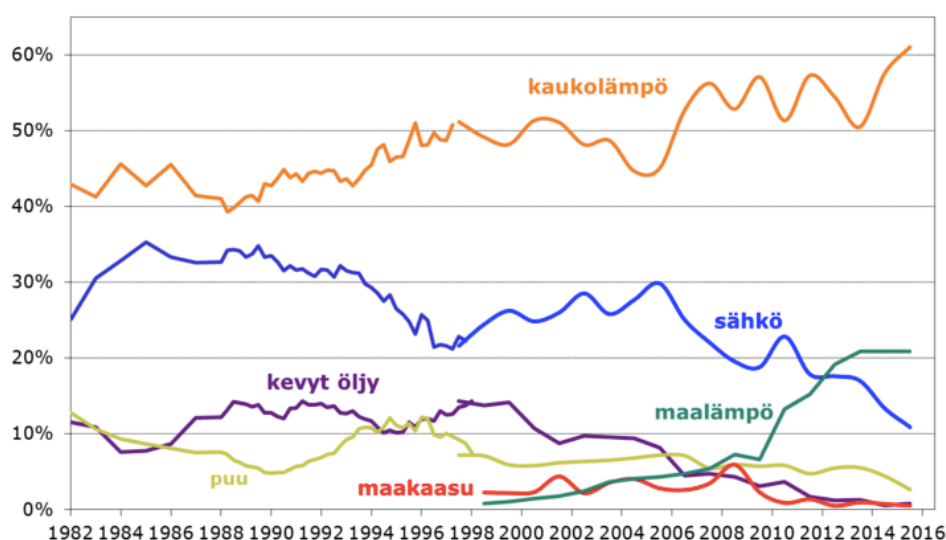
Kuva 49. HOAF AMS -tuotesarjaan kuuluva säteilijä [64].

7.4 Kaukolämpö

Mikäli kohteen lopullinen lämmitysjärjestelmä tulee olemaan, tai on jo, kaukolämmöllä toimiva, voi varteenotettavin vaihtoehto rakennusaikaiselle lämmitykselle olla niin ikään kaukolämmityksellä toimiva lämmitysjärjestelmä. Kaukolämpöputket johdetaan kaukolämmityskohteeseen joka tapauksessa, eikä pelkästään rakennusaikaisen lämmityksen vuoksi. Siksi kaukolämmitysjärjestelmästä ei koidu työmaalle ylimääräisiä kustannuksia. Rakennusaikaisen lämmittämisen toteuttaminen kaukolämmöllä voi tuoda myös muita merkittäviä kustannussäästöjä, sillä lämmitysenergiaa toimitetaan kiinteistöön kiinteän verkoston avulla, jolloin lämmitysenergiaa on koko ajan saatavilla ilman käyttökatoja. Erillisiä polttoöljyn tai nestekaasun kuljetuksia ei tarvita, josta on hyötyä logistiikan kannalta erityisesti suurissa kohteissa. Lisäksi varsinaisen kaukolämmön hinta on suhteellisen edullista, sillä lämmön tuotanto ei ole sidottu vain yhteen energialähteeseen. [74, s. 11; 75, s. 2.]

Kaukolämpö on monella muullakin tavalla erittäin kilpailukykyinen lämmitysmuoto rakennustyömaille. Kaukolämmitys on ylivoimaisesti käytetyin lämmitysmuoto Suomessa, jopa 60 % uusissa ja peruskorjatuissa taloissa oli käytössä kaukolämpö vuonna 2016, kuten kuvasta 50 voidaan havaita. Kaukolämpö soveltuu laajasti eri kohteiden lämmitysmuodoksi, esimerkiksi omakotitaloihin, kerrostaloihin, toimisto- ja palvelurakennuksiin, julkisiin rakennuksiin sekä teollisuuden lämmitystarpeisiin. Kaukolämpöön voi liittyä, mikäli lähitöllä on kaukolämpöverkko jo valmiina, tai sellainen on lähelle suunnitel-

tu tehtäväksi. Kaukolämmön toimitus on myös erittäin luotettavaa: kaukolämmön asiakas on vuodessa keskimäärin vain yhden tunnin ilman lämpöä, jos kaukolämpöverkossa esiintyy esimerkiksi vaurioita ja niistä koituvia korjaustöitä. Energiategollisuus ry:n tilaston mukaan kaukolämmön toimitusvarmuus on peräti 99,98 %. Kaukolämpöä saadaan myös jokaisena päivänä vuodenajasta riippumatta. Näiden lisäksi kaukolämpö on ympäristöystävällinen vaihtoehto, sillä se on vähäpäästöistä, taloudellista ja energiatehokasta. Kaukolämpöä on pyritty tuottamaan entistä enemmän uusiutuvilla polttoaineilla, jolloin hiilidioksidipäästöjä ja ilman saastumista on mahdollista vähentää. [34, s. 101–103 ; 39, s. 263 ; 75; 76.]



Kuva 50. Eri lämmitysmuotojen markkinaosuudet uusissa ja peruskorjatuissa taloissa [76].

Kaukolämpö on keskitetty lämmitystapa, sillä useiden rakennuksien ja kaupunkien lämpö tuotetaan samassa lämmityskeskuksessa. Kaukolämmön vettä lämmitetään tuotantolaitoksella, josta se kuljetetaan kaukolämpöverkkoa pitkin asiakkaan lämmönjakokeskukseen. Lämmön siirtäminen kaukolämpölaitokselta asiakkaalle on mahdollista toteuttaa joko vetenä tai höyrynä. Euroopassa kaukolämmöksi mielletään yleensä kuumalla vedellä tapahtuva lämmönsiirto, kun taas erityisesti Pohjois-Amerikassa kaukolämmitys toteutetaan pääasiassa höyryllä. Suurimmat energiataloudelliset edut kaukolämmityksessä saavutetaan, kun kaukolämpöä tuotetaan yhteistuotannossa sähkön kanssa. Tällöin polttoaineen energia voidaan hyödyntää 80–90 prosenttisesti, josta seuraa mittavaa energian- ja ympäristönsäästöä. Kuitenkin höyryllä toimivassa kaukolämmityksessä menetetään lähes kokonaan yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon

edut. Tuotantolaitoksen polttoaineina voidaan käyttää esimerkiksi hiiltä, maakaasua, öljyä, puuta tai turvetta. [34, s. 101–102; 39, s. 263, 270; 77, s. 3.]

Kaukolämpö kuljetetaan asiakkaalle tuotantolaitokselta kaukolämpöverkkoa pitkin. Kaukolämpöverkko on kaksiputkinen sisältäen meno- ja paluujohdon. Menojohdossa kiertävä kaukolämpövesi luovuttaa lämpöä asiakkaan kaukolämpölaitteiden välityksellä esimerkiksi lämmitysverkostoon, minkä jälkeen kaukolämpövesi palaa jäähtyneenä tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Menojohdossa kulkeva kaukolämpövesi on lämpötilaltaan jotain 70–115 °C:n väliltä riippuen säästä (kesällä alimmillaan, talvella korkeimmillaan) ja paluujohdossa tuotantolaitokselle palaava kaukolämpövesi vaihtelee 25–50 °C:n välillä. Kaukolämmön avulla voidaan lämpöä luovuttaa lämmitys-, käyttövesi ja/tai ilmanvaihtoverkostoihin. [34, s. 102; 75; 77, s. 3.]

Lämmönjakokeskus on välttämätön kokonaisuus kaukolämmön asiakkaan kiinteistöön. Yleensä lämmönjakokeskukset ovat tehdasvalmisteisia kokonaisuuksia, jotka liitetään lämpölaitoksen mittauskeskukseen, käyttövesi- ja lämmitysverkostoihin sekä paisuntalaitteistoihin. Lämmönjakokeskus sisältää ensiöpuolen ja toisiopuolen säätölaitteet, lämmönsiirtimet, pumppauslaitteet, venttiilit ja muut varusteet sekä tarpeellisen putkiston. Lämmönjakokeskus sijoitetaan energiyhtiön hyväksymään paikkaan lähelle kaukolämpöverkostoa ja se voidaan tilata asennuksineen joko urakoitsijalta tai lämmönmyyjältä. Mikäli kaukolämpöä käytetään rakennustyömaan lämmittämiseen, tarvitaan myös silloin lämmönsiirrin, joka mahdollistaa kuuman veden kierrättämisen lämmityslaitteille. Yleisesti rakennusaikainen lämmönsiirrin ei eroa suuresti lopullisesta lämmönsiirtimestä, mutta se on hieman pelkistetympi ja yksipiirinen. [34, s. 111; 39, s. 271; 74, s. 11–12; 77, s. 5.]

7.4.1 Tilapäiset lämmönsiirtimet

Esimerkiksi Cramo Oyj ja Ramirent Finland Oy tarjoaa rakennusaikaiseen lämmitykseen suunnattuja tilapäisiä lämmönsiirtimiä. Molempien yritysten tuotevalikoimassa on esimerkiksi EI-Björn-tuotesarjan lämmönsiirtimiä, joiden lämmitystekhot vaihtelevat 500 kW:sta aina 1200 kW:iin. EI-Björn-lämmönsiirtimet ovat kehitetty nimenomaan tilapäiseen lämmitysjärjestelmään. Niissä on kehittynyt ohjausjärjestelmä, jonka avulla keskuksia voidaan ohjata integroidulta näytöltä tai etänä tietokoneelta tai älypuhelimelta. Ohjaus- ja valvontajärjestelmän avulla energia voidaan hyödyntää optimaalisimmalla tavalla, jolloin on mahdollista saavuttaa kustannussäästöjä. [78; 79.] Kuvassa 51

Ramirent Finland Oy:n tuotteisiin kuuluva 800 kW:n EI-Björn TFUC 800 EZE tilapäinen lämmönsiirrin rakennusaikaiseen lämmitykseen ja taulukossa 18 sen tekniset tiedot.



Kuva 51. Tilapäinen lämmönsiirrin 800 kW EI-Björn TFUC 800 EZE [108].

Taulukko 18. TFUC 800:n tekniset tiedot [79].

	Kaukolämpö	Rakennuslämpö
Lämmitysteho	800kW	
Tulolämpötila	95 °C	50 °C
Lähtölämpötila	53 °C	80 °C
Virtaus	5,6 kg/s	6,5 kg/s
Lämmönsiirtimen painehäviö	12,0 kPa	15,0 kPa
Putkikoot	DN80	DN80
Putkimateriaali	Hiiliteräs	Hiiliteräs
Ohjauventtiilit	16 kv, 6,3 kv	
Suurin paine-ero	800 kPa	92 kPa
Suurin käyttöpaine	25 bar(g)	6 bar(g)
Suurin käyttölämpötila	120 °C	95 °C
Leveys x pituus x korkeus	760x1760x2000mm	
Paino	600 kg	
Lämmönsiirrin	SWEP (IC427Hx140)	
Ohjau- ja säätölaitteisto	Ezeio, TAC 231, V232 Schneider TAC M800	
Kiertopumppu	Magna 3 65-150F	
Ilmanpoistin	Airvec Extra DN80 Air&dirt	
Hyväksyntä	Eurooppa, Paineastidirektiivi (PED 97/23/EY)	
Tuotenro:	EB12750	

7.4.2 Vesikiertoiset lämpöpuhaltimet

Kuten muidenkin järjestelmien, myös vesikiertoisten lämpöpuhaltimien valikoima on erittäin kattava. Lämpöpuhaltimia on mahdollista valita 15 kW:n ja 250 kW:n väliltä. Mm. Talhu Oy:n tuotteisiin kuuluvat Polar WHT ja WH -tuotesarjan kiertovesikäyttöiset lämpöpuhaltimet soveltuvat käytettäväksi niin uudiskohteiden kuin saneerauskohteiden työmaille, joissa on kaukolämpöverkko tai kiinteistön oma kiertovesijärjestelmä. Polar WH sekä WHT -sarjan lämpöpuhaltimia voidaan käyttää myös muualla, kuten lisälämpöpuhaltimina teollisuushalleissa, varastoissa ja kasvihuoneissa. Käyttökohteesta riippumatta täytyy siellä kuitenkin olla lämmin kiertovesi, sillä puhaltimet eivät sovellu höyry- tai öljykäyttöön. [74, s. 12; 80; 81.]

Talhu Oy:n Polar WHT -tuotesarjaan kuuluvat Polar WHT 250 sekä Polar WHT 45 (kuva 52). Polar WHT 250:ssä on suuri 249 kW:n kenno, jota voidaan tarpeen vaatiessa pyörittää esimerkiksi niin, että puhallettava ilma suunnataan ylöspäin. Polar WHT 250 290 kg:n painosta huolimatta sitä on suhteellisen helppoa siirtää siinä olevien renkaiden ja trukkitaskujen ansiosta. Samaan sarjaan kuuluvan Polar WHT 45 puhaltimen tuottama lämpöteho jää 45,1 kW:n, mutta sen ylivoimaisempana etuna voidaan pitää sen ylempää puhallettavaa ilmaa. Kun ilmaa puhalletaan ylhäältä, ei se omalta osaltaan vaikuta pölyn leviämiseen. Laitteen tehokkaan keskipakopuhaltimen avulla lämmin ilma jakaantuu tilan jokaiseen nurkkaan, jolloin tila lämpiää tasaisesti. Polar WHT 45:sta voidaan käyttää myös vaakatasossa, mikä mahdollistaa lämpimän ilman johtamisen pidemmällekin. [80; 81.]



Kuva 52. Kuvassa vasemmalla Polar WHT 250 ja oikealla Polar WHT 45 [80].

Polar WH -tuotesarjaan (kuva 53) taas kuuluu kaksi mallia: Polar WH 50 sekä Polar WH 80. Molemmat laitteet muistuttavat melko lailla toisiaan yksinkertaisten rakenteidensa vuoksi, mutta erona niissä on niiden maksimitehot: kun Polar WH 50:n maksimiteho on 50 kW, on Polar WH 80:n maksimiteho vastaavasti 80 kW. Polar WH 50 sekä 80 ovat kestäviä ja ne sopivat rakennustyömaan vaativiin olosuhteisiin. [80; 81.] Taulukossa 19 esiteltynä Polar WHT sekä Polar WH -tuotesarjojen puhaltimien tekniset tiedot.



Kuva 53. Polar WH [80].

Taulukko 19. Polar WHT sekä Polar WH -tuotesarjojen puhaltimien tekniset tiedot [80].

Malli		WHT 250	WHT 45	WH 50	WH 80
Lämpöteho 90 / 70°C (imuilma ±0°C)	kW	249	45,1	45,8	74,9
Ilmamäärä	m ³ / h	20 000	3 200	3 000	4 500
Liitäntäpaine	bar	16			
Veden lämpötila, max.	°C	+130			
Liitäntäjännite	V / 50Hz	400	400	230	230
Nimellisvirta	A	2,7	4,8	1,9	2,1
Syötön sulake	A	3 x 16	3 x 16	16	16
Ulosotto	kpl	1	-	2	2
Melutaso	dB (A)	< 75	69	75	70
Mitat L*P*K	mm	1790*1900*814	622*960*1320	860*758*610	1041*938*631
Paino	kg	290	144	60	90

Myös El-Björn-tuotesarjasta löytyy vesikiertoisia lämmittimiä. Esimerkiksi Machinery Oyj:n valikoimaan kuuluu lämmitysteholtaan 17,5 kW:n ja 250 kW:n väliin osuvia El-

Björnin tuotteita. 17,5 kW:n lämpöpuhallin kykenee lämmittämään 300 m²:n tilan ja sitä voidaan käyttää alhaisilla virtauksilla sekä menovesilämpötiloilla. Lämmitystehon noustessa kasvaa myös lämmitettävä pinta-ala: 50 kW:n puhaltimella voidaan lämmittää jopa 1000 m²:n tilaa, kun taas 100 kW:n puhaltimella 2000 m²:n tilat saadaan lämmitetyksi. [82; 83.] Kuvissa 54 ja 55 muutama EI-Björnin vesikiertoinen lämmitin.



Kuva 54. Vasemmalta EI-Björn TF 15HV-S-vesikiertoinen lämmitin, jossa lämmitysteho on 17,5 kW, sekä EI-Björn TF 50HWI-vesikiertoinen lämmitin, jossa lämmitysteho on 50 kW. [82]



Kuva 55. EI-Björn TF 250HWI-vesikiertoinen lämmitin, jonka lämmitysteho on 250 kW [82].

7.5 Rakennuspuhaltimet

Rakennuspuhaltimia voidaan käyttää lämpimän ilman jakamiseen, kuivaamisen tehostamiseen sekä tasoite- tai maalauspintojen kuivaamiseen. Rakennuspuhaltimina voi-

daan hyödyntää esimerkiksi lämmitykseen käytettäviä sähkökäyttöisiä puhaltimia, joiden lämmitysvastukset on kytketty pois päältä. Rakennuspuhaltimiksi voidaan myös valita täysin puhallustarkoitukseen tarkoitettuja puhaltimia esimerkiksi Stong Finland Oy:n sekä Cramo Oyj:n valikoimasta. Yrityksien tarjontaan kuuluvat erilaiset rakennuspuhaltimet, kuten aksiaalipuhaltimet ja simpukkapuhaltimet. [42, s. 55; 89; 90; 91.]

Stong Finland Oy:n aksiaalipuhaltimiin (kuva 56) kuuluvat mm. AL 1500 sekä AL 3700 -puhaltimet. Kyseiset mallimerkinnot kuvailevat laitteiden puhaltimien ilmatehojen määriä: AL 1500 kykenee tuottamaan 1500 m³/h ilmansiirtotehon, kun vastaavasti AL 3700 3700 m³/h ilmansiirtotehon. Molemmat puhaltimet soveltuvat käytettäväksi kuivaustöiden ohessa myös rakennusaikaisen lämmityksen ilman tasaamiseen. Kyseisiin aksiaalipuhaltimiin voidaan liittää ilmanohjainletku. [89] Kuvassa 57 esitetään AL-aksiaalipuhallinsarjaan kuuluvien puhaltimien tekniset tiedot.



Kuva 56. Vasemmalla aksiaalipuhallin ja oikealla aksiaalipuhallin, johon on liitetty ilmanohjainletku [89].

Tekniset tiedot AL 1500		Tekniset tiedot AL 3700	
Ilmanmäärä (m ³ / h)	1500	Ilmanmäärä (m ³ / h)	3700
Paine (Pa)	280	Paine (Pa)	540
Letkuliitäntä (Ømm / max. pituus m)	205 / 15	Letkuliitäntä (Ømm / max. pituus m)	305 / 30
Virrankulutus (W)	250	Virrankulutus (W)	500
Jännite (V / Hz)	230/ 50	Jännite (V / Hz)	230/50
Mitat (PxLxK mm)	390x330x380	Mitat (PxLxK mm)	520x400x500
Paino (kg)	8	Paino (kg)	12

Kuva 57. AL-aksiaalipuhallinsarjan tekniset tiedot [89].

Strong Finland Oy tarjoaa myös TL -tuotesarjaan kuuluvia simpukkapuhaltimia. Ne ovat erityisen tehokkaita ilman nopeaan liikuttamiseen tasopinnoilla, joten niitä voidaan hyödyntää myös erilaisissa ilman siirtämiseen liittyvissä tarpeissa. Niistä on hyötyä etenkin

vesivahinkojen ja kosteusvaurioiden kuivaustöiden tehostamisessa. Strong Finland Oy tarjoaa kolmentyyppisiä TL -sarjan simpukkapuhaltimia: TL525, TL2040 sekä TL4250. Jokaisen mallin nimen perässä oleva luku kuvaa puhaltimen ilmätehojen määriä m³/h. [90] Kuvassa 58 simpukkapuhallin ja kuvassa 59 TL -sarjan tekniset tiedot.



Kuva 58. TL-sarjan simpukkapuhallin [90].

Tekniset tiedot TL525

Ilmanmäärä (m³ / h) 525
 Puhallinnopeussäätö 1 taso
 Nopeus asetukset (m³ / h) 525
 Nopeus (r / min) 1400
 Ilmanpaine (Pa) 80
 Virrankulutus (W) 100
 Jännite (V / Hz) 230/50
 Käyntiääni 3M (dB) 45
 Mitat (PxLxK mm) 300x275x330
 Paino (kg) 3,75

Tekniset tiedot TL2040

Ilmanmäärä (m³ / h) 2040
 Puhallinnopeussäätö 2 Taso
 Nopeus asetukset (m³ / h) 1020, 2040
 Nopeus (r / min) 850-950
 Ilmanpaine (Pa) 300
 Virrankulutus (W) 170-350
 Jännite (V / Hz) 230/50
 Käyntiääni 3M (dB) 62
 Mitat (PxLxK mm) 500x440x415
 Paino (kg) 11,50

Tekniset tiedot TL4250

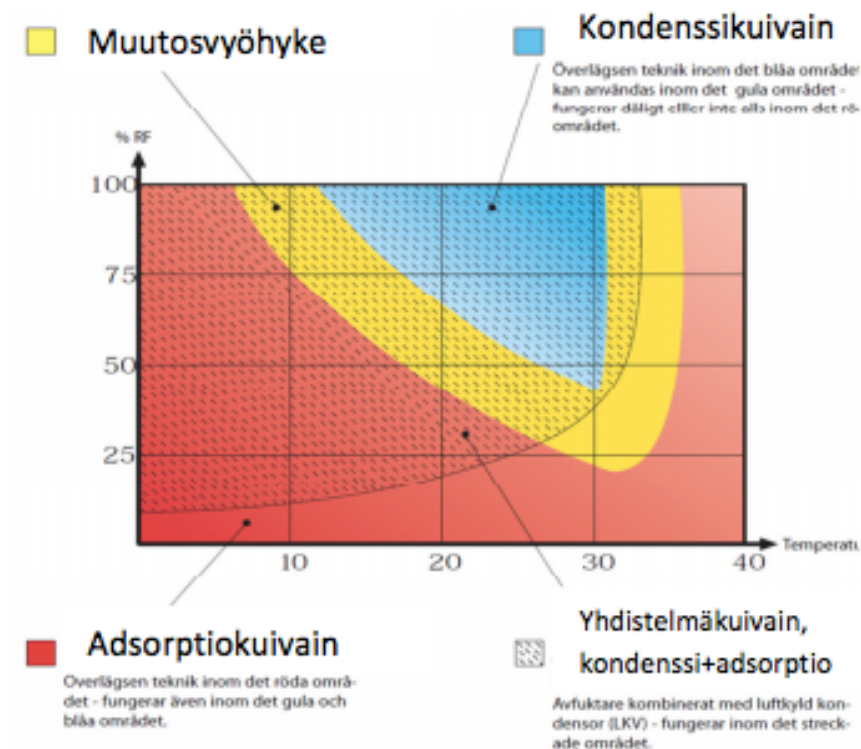
Ilmanmäärä (m³ / h) 4250
 Puhallinnopeussäätö 3 Taso
 Nopeus asetukset (m³ / h) 1416,2832, 4250
 Nopeus (r / min) 800-900-1000
 Ilmanpaine (Pa) 500
 Virrankulutus (W) 700-730-850
 Jännite (V / Hz) 230/50
 Käyntiääni 3M (dB) 76
 Mitat (PxLxK mm) 530x510x540
 Paino (kg) 16,50

Kuva 59. TL-tuotesarjaan kuuluvien simpukkapuhaltimien tekniset tiedot [90].

7.6 Kosteudenerottimet

Kosteudenerottimet ovat kuivaimia, joiden tarkoitus on kuivata ympäröivää ilmaa erottamalla siitä kosteutta. Yleisimmät käytettävät kuivauslaitteet ovat adsorptiokuivaimet sekä kondenssikuivaimet, mutta markkinoilla on muitakin kuivausmahdollisuuksia tarjolla. Esimerkiksi Ramirent Finland Oy:n sekä Strong Finland Oy:n valikoimiin kuuluu adsorptiokuivaimia, kondenssikuivaimia ja näiden lisäksi myös yhdistelmäkuivaimia. Kuvassa 60 havainnollistetaan, missä olosuhteissa adsorptio-, kondenssi- ja yhdistelmäkuivaimia on otollisinta käyttää. Esimerkiksi Ramirent Finland Oy tuotevalikoimaan

kuuluva CYR LKV 1000XT adsorptiokuivain, jossa on sisäänrakennettu ilmajäähdytteinen kondenssiyksikkö. [42, s. 53–54; 92; 93; 96.]



Kuva 60. Kondenssikuivain soveltuu erityisesti korkeimpiin lämpötiloihin sekä kosteimpiin olosuhteisiin [93].

Adsorptiotekniikka perustuu jatkuvaan regenerointiprosessiin. Adsorptiokuivaimet johtavat ilmaa laitteeseen, jonka roottori sisältää vesimolekyylejä sitovaa kuivausainetta. Kyseinen kuivausaine kerää kosteuden. Adsorptiokuivaimessa voidaan käyttää kuivausaineena esimerkiksi silikageeliä, joka on kideaine ja näin kykenee sitomaan suuret määrät kosteutta. Silikageelin ominaisuuksien johdosta se voi regeneroitua uudestaan lähes rajattomasti. Adsorptiokuivaimen sitoma kosteus voidaan poistaa kuivatettavasta tilasta esimerkiksi vesihöyrymuodossa. Adsorptiokuivaimen yksi eduista on se, ettei sen toiminta ole riippuvainen kuivattavan tilan lämpötilasta: kuivain toimii myös pitkälle pakkasrajan alapuolella. Ramirent Finland Oy:n sekä Strong Finland Oy:n tuotetarjontaan kuuluu esimerkiksi adsorptiokuivain CTR 300XT (kuvassa 61), joka soveltuu erityisesti rakennus- ja vesivahinkokuivaukseen. Laitteessa on kolme erillistä kuivan ilman puhalluskanavaa, joiden kautta laitteen tuottamaa kuivailmaa voidaan ohjata kuivaustarpeen mukaan esimerkiksi useaan eri tilaan. Kosteaa ilmaa ohjataan ulos laitteesta kos-

tean ilman ulostulokanavan kautta ja poistetaan kuivattavasta tilasta. [42, s. 53–54; 92; 93, s. 7.]



Kuva 61. Adsorptiokuivain CTR 300TX ja sen tekniset tiedot [92].

Kondenssikuivainten sisäänrakennetut puhaltimet kierrättävät huoneilmaa kuivainten läpi. Kostean huoneilman osuessa höyrystimeen ilma jäähtyy kastepisteeseen asti, jolloin vesihöyry tiivistyy vedeksi. Kondensoitunut vesi voidaan kerätä laitteessa olevaan vesiastiaan, mutta se voidaan johtaa myös suoraan viemäriin. Kuiva ja viilentynyt ilma siirtyy höyrystimestä lauhduttimeen, jossa ilma lämpenee. Lämmennyt ilma ohjataan takaisin kuivatettavaan tilaan keräämään lisää kosteutta. Kondenssikuivaimissa merkittävää niiden toiminnan kannalta on ympäröivän ilman lämpötila: mikäli lämpötila laskee liiaksi, kärsii kondenssikuivaimen kosteudenerottelukyky radikaalisti. Strong Finland Oy:llä on esimerkiksi K3 B kondenssikuivain (kuva 62), joka pystyy poistamaan kosteutta maksimissaan 30 l/vrk. [42, s. 53–54; 93, s. 6; 94; 95, s. 5.]



TEKNISET TIEDOT

Ilmamäärä	300 m ³ /h
Maksimi kapasiteetti	30 litraa/vrk
Kapasiteetti +20°C / 60% Rh	12 litraa/vrk
Kapasiteetti 30°C / 80% Rh	24 litraa/vrk
Toiminta-alue, Rh%	30 -100%
Toiminta-alue, °C	+9 - +35 °C
Äänitaso dB (A) (3m) nopea	48 dB (A)*
Äänitaso dB (A) (3m) hiljainen	44 dB (A)*
Laiteteho	700 W
Todellinen teho	500 W
Kylmäaine	R410A
Liitäntä	220V / 50Hz
Paino	29 kg
Koko (P x L x K)	290x380x470 mm

Kuva 62. K3 B kondenssikuivain ja sen tekniset tiedot [94].

8 Rakennusaikaisen lämmityksen toteuttaminen esimerkikohteessa

8.1 Kohteen esittely

Insinööriyötä varten pääsin tutustumaan kohteen Keravan Käenkatu 3:n ja 5:n rakennusaikaisen lämmityksen toteutukseen sekä haastattelemaan työmaan vastaavaa työjohtajaa. Kohteen lopullinen lämmitysjärjestelmä tulee olemaan vesikiertoinen lattialämmitys, joka toimii kaukolämmöllä. Kohde kattaa kaksi identtistä kerrostaloa, joihin molempiin tulee seitsemän kerrosta. Ensimmäisiin kerroksiin sijoitetaan mm. tekniset tilat, lämmönjakohuoneet, väestönsuojat, saunat jne., kun taas asunnot sijaitsevat kerroksissa 2–6. Yhteen rakennukseen asuntoja tehdään 35 kappaletta. [99] Kuvassa 63 näkyy esimerkkejä kohteen julkisivuista.



Kuva 63. Kuvia kohteen julkisivuista. Oma dokumentti.

Lujatalo Oy:n vastaavan työnjohtajan mukaan rakennusaikaista lämmitystä tulisi alkaa suunnittelemaan riittävän aikaisessa vaiheessa, jotta väliaikainen lämmitys toteutuisi mahdollisimman onnistuneesti. Näin kohteessa toimittiinkin. Helmikuun lopussa, kun kohdetta aloiteltiin ja tontin puita kaadettiin, vastaava työnjohtaja neuvotteli yhdessä rakennuttajan kanssa kaukolämmön järjestämisestä. Käytännössä he sopivat, milloin työmaan pitäisi olla kaukolämpövalmiudessa ja kaukolämpösopimusten tehtynä. Vastaava työnjohtaja varmisti myös, että Keravan Energia Oy on tietoinen kohteen olemassaolosta. Hän pyysi eri toimittajilta tarjoukset lämmityksestä ja kuivaamisesta, joiden perusteella hän valitsi edullisimman, mutta myös toimivan lämmitystoteutuksen. Runkovaiheen aikana kaukolämpö tuotiin sisälle, joten kaukolämpö on ollut kohteessa heti rakennusaikaisen lämmityksen käytettävissä. [99]

Kohteeseen valittiin myös tilapäinen kaukolämmönsiirrin, joka näkyy kuvassa 64. Tilapäinen kaukolämmönsiirrin sijoitettiin tilaan, joka ei kuitenkaan tule olemaan lopullisen kaukolämpöpaketin sijoituspaikka. Näin lopullista kaukolämpöpakettia kytkettäessä rakennusaikaisen kaukolämmönsiirrin on samaan aikaan toiminnassa, jolloin lämmönjakeluun ei tule minkäänlaista katkoa. [99]



Kuva 64. Tilapäinen kaukolämmönsiirrin sijoitettuna eri tilaan kuin lopullisen kaukolämpöpaketin varsinainen sijoituspaikka tule olemaan. Oma dokumentti.

Yhdessä Uponorin (lattialämmitystoimittaja), lattialämmityksen asentajan sekä lattiava-lujen pumppaajan kanssa vastaava työnjohtaja suunnitteli työaikatauluja sekä työsaa-vutuksia, joiden perusteella plaanojen pumppauspäivät lyötiin lukkoon. Kohteessa va-rattiin kohteen lattialämmityksien asentamisille aikaa 1,5 kk. Lattialämmityksen käyt-töön otossa alkuperäinen suunnitelma oli tehdä osakäyttöönottoja niin, että lattialäm-mitys otettaisiin käyttöön ensimmäisessä käyttöönottovaiheessa kerrosten puoliväliin saakka ja toisessa käyttöönottovaiheessa loppuisissa kerroksissa. Kuitenkin väliaikainen lämmitys saatiin niin hienosti hoidettua, että työmaalla päätettiin rakentaa koko läm-mitysjärjestelmä valmiiksi ennen sen käyttöönottoa. Tämä toimintatapa on erittäin harvi-naista työmailla. [99]

Kohteessa täytyi rakentaa rakennusaikaiselle lämmitykselle oma lämmitysjärjestelmä. Käytännössä erillisen lämmitysjärjestelmän olemassaolo tarkoitti kaukolämpöletkujen johtamista varsinaisille lämmityslaitteille, jolloin esimerkiksi rakennuksen porraskäytä-viin tuli kaukolämmitysletkujen asetelmia. Kohteessa kaukolämpöletkujen nousut tehtiin hissikuilun kautta ja rappukäytävässä ne kuljetettiin katon rajassa lämmittimille, jolloin letkut eivät olleet esimerkiksi työmiesten tiellä (kuva 65). Kohteen alemmissa kerrok-sissa käytettiin suurempia ja tehokkaampia puhaltimia, kun taas kohteen ylimmissä kerroksissa käytettiin kooltaan ja tehokkuudeltaan pienempiä puhaltimia (kuva 66). Kohteen puhaltimet olivat EI-Björnin tuotteita. [99]



Kuva 65. Vasemmalla kaukolämpöletkujen nousu hissikuilussa. Oikealla kaukolämpöletkut on kuljetettu katon rajassa puhaltimelle. Oma dokumentti.



Kuva 66. Vasemmalla puhallinmalli, jota käytettiin alempien kerroksien lämmittämisessä, vastaavasti oikealla puhallinmalli, jota käytettiin ylempien kerroksien lämmittämisessä. Oma dokumentti.

Kohteessa suoritettiin ulkopuolisen konsultin toimesta betonin kosteusmittauksia. Mittauspisteiden valinta vaati kunnollisia ennakkovalmisteluita, sillä lattialämmitysputket olivat jääneet piiloon lattiavalun sisälle. Ennen lattialämmitysputkien peittämistä putket kuvattiin, jolloin mittauspisteet voitiin valita kuvien avulla niin, etteivät ne osuisi putkien reitille. Kohteen kylpyhuoneiden lattiat todettiin tarpeeksi kuiviksi vedeneritys- ja laatoitustöiden aloittamiselle noin kahden kuukauden jälkeen betonivalun tekemisestä, kun betonin suhteellinen kosteus oli saavuttanut 85 %:n arvon. Huomionarvoista on, että lattialämmitys ei ollut kuivauksen tukena. [99]

8.2 Haastattelussa esiin tulleita näkökohtia

Kohteen vastaava työnjohtaja painotti rakennusaikaisen lämmityksen suunnittelun aikaisen aloittamisen tärkeyttä, jotta tilapäisen lämmityksen toteutus sujuisi mahdollisimman mutkattomasti. Rakennusaikainen lämmitys valitaan aina työmaakohtaisesti, ja siihen vaikuttavat monet asiat, kuten rakennuksen lopullinen lämmitysjärjestelmä. Rakennustyömaan tavoitteena tulisi kuitenkin aina olla lopullisen lämmitysjärjestelmän käyttöönotto mahdollisimman pian ja vakiintunut tapa on ottaa se käyttöön asteittain, eli osakäyttöönotoilla. Eroja esimerkiksi lattialämmityksen ja patterilämmityksen käyttöönottoon tuo erityisesti lämmitysjärjestelmän fyysinen sijainti ja sen vaikutus betonin kuivumiseen: betonin kuivumisen takia ei lattialämmitysjärjestelmään saa syöttää liian nopeasti kuumaa vettä, kun taas patterilämmitys voidaan heti ottaa normaalisti käyttöön. Käytännössä lattialämmityskohteisiin voidaan joutua suunnittelemaan rakennusaikainen lämmitysjärjestelmä hiukan tarkemmin. Kuitenkin lattialämmityksellä ja hyvällä tuuletuksella betonin kuivumisprosessia voidaan nopeuttaa. [99]

Yhtenä suosituksena vastaava työnjohtaja mainitsi rakennusaikaisen lämmityksen käyttöönottamisen, kunhan rakennuksen vaippa on saatu kiinni, eli runko pystytettyä sekä ikkunat, ovet ja muut aukot suojattua. Rakennushankkeen aloitus kannattaisi ajoittaa mahdollisuuksien mukaan helmikuulle (joka tehtiin kyseisessä Keravan kohteessa), jotta runko saataisiin valmiiksi jo kesän aikana ja mahdollisiin yllätyksiin saataisiin tarpeeksi reagointiaikaa. Esimerkiksi Keravan kohteen porrashuoneisiin oltiin suunniteltu isoja lasipintoja, joita ei kuitenkaan ollut vielä asennettu rungon pystytyksen ohessa. Isojen lasipintojen vuoksi työmaalla jouduttiin keksimään ja toteuttamaan systeemi, jolla suuret aukot saatiin umpeen. Rakennuksen vaipan ollessa ummessa rakennusaikainen lämmitysjärjestelmä voidaan hankkia työmaalle valmiiksi ennen sää-

olosuhteiden viilentymistä ja näin lämmitys voidaan aloittaa ajoissa. Talven aiheuttama pieni pakkanen mahdollistaa parhaat olosuhteet esimerkiksi betonin kuivumiselle, sillä ilmankosteus laskee tällöin tarpeellisen matalaksi. [99]

Rakennusaikainen lämmitys tekee myös suuret lovet budjettiin ja siihen kannattaakin varautua jo tarjouslaskentavaiheessa. Kohteen tilapäisen lämmityksen kustannuksiin vaikuttaa olennaisesti esimerkiksi työmaan koko ja valittu rakennusaikainen lämmitysjärjestelmä, mutta yleisesti kokonaiskustannuksissa voidaan puhua monista tuhansista euroista. Normaaliin käyttöön verrattuna esimerkiksi kaukolämmönkulutus saattaa olla työmaalla jopa kaksinkertainen. Työmaan lämpöolojen ylläpitäminen hyvällä tasolla on haasteellista, sillä esimerkiksi väliaikaisten aukkojen suojaukset eivät ole yhtä tehokkaita kuin lopulliset ikkunat ja ovet. Myös työmaalla liikkuvat henkilöt availevat ovia ja joskus saattavat unohtaa ovet auki, jolloin lämpö voi karata. Toisena suosituksena työmaan vastaava työnjohtaja mainitsi lämmittimien pitämisen niin täysillä kuin mahdollista. Rakennusaikaisen lämmityksen kustannuksissa ei kannata säästellä, vaikka tuhansien eurojen laskut säikäyttäisivät: sijoittaminen rakennusaikaiseen lämmitykseen on kannattavaa, jotta pinnat saadaan mahdollisimman kuivaksi, eikä pinnoitusvaiheessa tarvitse alkaa kikkailemaan erilaisten kuivaimien kanssa. [99]

Henkilökohtaisena mielipiteenä työmaan vastaava työnjohtaja mainitsi käyttävänsä mieluiten kaukolämmöllä toimivaa rakennusaikaista lämmitysjärjestelmää, jos kohteeseen on ylipäättään tulossa kaukolämpö. Mikäli kaukolämpöä ei olisi heti saatavilla hän käyttäisi mieluiten sähköllä tai öljyllä toimivia puhaltimia. Vastaava työnjohtaja totesi kaukolämmityksellä toimivan rakennusaikaisen lämmitysjärjestelmän olevan edullisin vaihtoehto, kun taas sähköllä toimiva lämmitysjärjestelmä olisi ylivoimaisesti kallein. Hän myös kertoi, ettei kuitenkaan käyttäisi mielellään nestekaasulla toimivaa järjestelmää, sillä kyseinen lämmitysjärjestelmä tiivistää paljon kosteutta sisälle, mikäli savukaasut johdetaan tilaan. [99]

9 Lopputulokset

Rakennusaikainen lämmitys on periaatteessa vain pieni osa kokonaisuutta, mutta käytännössä niin tärkeä osa, että se täytyy ottaa huomioon rakennushankkeen jokaisessa vaiheessa. Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen suunnittelu ja vaatimustason määrittäminen on tarpeellista tehdä jo rakennushankkeen alkuvaiheilla, jolloin se

voidaan huomioida esimerkiksi urakkatarjousvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa suoritettu riskianalyysi mahdollistaa eri haasteisiin reagoinnin tarpeeksi ajoissa sekä riskien hallinnan. Rakennusaikainen lämmitys ja kuivaaminen tulisi sisällyttää myös aikataulujen suunnitteluun, koska sillä voidaan vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi betonille otollisten kuivumisolosuhteiden luomisessa. Hyvin suunnitellulla, mutta myös toteutetulla, rakennusaikaisella lämmityksellä ja kuivaamisella tarjotaan rakenteille edellytykset kuivua tavoitekosteustilaansa ilman aikatauluviivytyksiä. Rakennusaikainen lämmitys ja kuivaus saattaa parhaassa tapauksessa lyhentää rakentamisaikaa. Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen ennakkovalmisteluissa määritellään lämmityksen ja kuivatamisen tarpeet, valitaan lämmitysjärjestelmä ja suunnitellaan yleisesti rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen toteutus. [17, s. 539; 35; 87.]

Rakennusaikainen lämmitys ja kuivaus tulisi olla osana rakennustyömaan taloudellista suunnittelua, sillä se tekee huomattavan lohkon kokonaiskustannuksiin. Kokonaishintaan rakennusaikaiselle lämmitykselle ja kuivaamiselle vaikuttavat mm. energianlähde, lämmitystarve, ulkoilman lämpötila, työmaan koko, rakennuksen tiiveys sekä rakennusaikaiset lämmittimet. Energianlähteinä lämmityksessä ja kuivaamisessa käytetään useimmiten sähköä, öljyä, nestekaasua tai kaukolämpöä. Lämmitystarve kasvaa, mitä kylmemmäksi sää muuttuu, jolloin myös energiankulutus kasvaa. Suuret rakennustyömaat kuluttavat enemmän energiaa kuin pienemmät työmaat. Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen tehokkuuteen, ja sitä kautta myös kustannuksiin, vaikuttavat esimerkiksi lämmittimien sijoittelu ja suuntaus sekä olosuhteet, joihin varsinainen lämmitin sijoitetaan. Tila, jota ei ole asianmukaisesti tiivistetty eikä eristetty, vaatii enemmän energiaa lämmitäkseen. Kun rakennusaikainen lämmitys on toteutettu kunnolla, kuivatustarve esimerkiksi pinnoitusvaiheessa vähenee, jolloin erilaisten kuivauslaitteiden käyttäminen ei ole tarpeen. Tällöin säästetään kustannuksissa. Rakennustyömaat vaativat yleisesti paljon energiaa, sillä ne saattavat kuluttaa kolmessa kuukaudessa saman verran energiaa kuin normaalikäytössä oleva kerrostalo vuodessa. [35; 37; 87; 99; 104.]

Rakennusaikainen lämmitysjärjestelmä valitaan aina työmaakohtaisesti, mutta sen valintaa ohjaa erityisesti kohteen lopullisen lämmitysjärjestelmän energianlähde. Mikäli rakennukseen on tulossa kaukolämpö, kustannustehokkainta on valita kaukolämmöllä toimiva väliaikainen lämmitysjärjestelmä. Valintaan vaikuttavat myös rakennusaikaisen lämmityksen esivalmisteluissa suoritettut laskelmat ja vertailut, joiden avulla valitaan usein edullisin, mutta toimiva vaihtoehto. Työnjohdolla on kyseisten valintaperusteiden

lisäksi usein myös omia kokemuksia ja tapoja rakennusaikaisten lämmityksen järjestämisessä. Esimerkiksi Keravan Käenkadun kohteen vastaava työnjohtaja suosii mieluiten kaukolämmöllä toimivaa lämmitysjärjestelmää, kun taas karttaa nestekaasujärjestelmällä toimivaa lämmitysjärjestelmää. Insinööriyötä varten haastateltiin myös Siipossa sijaitsevan rakennustyömaan vastaavaa työnjohtajaa, joka myös kertoi käyttävänsä mieluiten kaukolämmitysjärjestelmää rakennusaikaisessa lämmityksessä. Siipoon rakennustyömaan vastaava työnjohtaja mainitsi kuitenkin suosivansa myös nestekaasulla toimivaa järjestelmää, toisin kuin Keravan rakennustyömaan työnjohto. Hän perusteli nestekaasujärjestelmän valintaa järjestelmän tehokkuudella varsinkin paikallavalurakentamisessa: varsin lyhyellä lämmitysajalla tila saadaan kuumaksi. [35; 41; 99; 104.]

Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen käytännön järjestäminen on myös aikaavievä prosessi, johon rakennustyömaan työnjohdon kannattaa perehtyä mahdollisimman ajoissa tilapäisen lämmityksen onnistumisen takaamiseksi. Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen käytännön ennakoivaltelut vaativat jo itsessään aikaa, sillä lämmityslaitteiden vuokraajat on kannattavaa kilpailuttaa edullisimpaan lopputulokseen päästäkseen. Kun konkreettinen rakentamisvaihe alkaa, on tärkeää varmistua rakennusvaiheiden etenemisestä tarpeenmukaiselle tasolle (rakennuksen vaippa umpeen sekä rakennuksessa olevien aukkojen suojaaminen) ennen väliaikaisen lämmityksen käyttöönottamista. Myös väliaikaisen lämmitysjärjestelmän rakentaminen on suunniteltava ja toteutettava tarkoin. [35; 99.]

Rakentamisen tavoitteena tulisi aina olla rakennuksen lopullisen lämmitysjärjestelmän käyttöönottamisen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, sillä rakennuksen oma lämmitysjärjestelmä mahdollistaa tilojen lämmittämisen tasaisesti. Rakennuksen lopullinen lämmitysjärjestelmä voidaan ottaa käyttöön asteittain, jolloin myös väliaikainen lämmitys voidaan purkaa asteittain pois käytöstä. Erilaisille lämmitysjärjestelmille on erilaiset vaatimukset käyttöönottoissa. Lattialämmityksen käyttöönotossa tulee edetä maltillisesti asettaen menoveden lämpötilaksi ensiksi 20 °C, jonka jälkeen menoveden lämpötilaa nostetaan 2–4 °C kerrallaan muutaman viikon aikana, kunnes menoveden lämpötila saavuttaa sille asetetun arvon. Suuren pinta-alansa ansiosta lattialämmitysjärjestelmällä voidaan lämmittää betonia tasaisesti jo rakennusaikana, mikä mahdollistaa betonin tasaisen kuivumisen. Rakennusaikaiset lämmittimet voidaan jättää kokonaan pois käytöstä jo silloin, kun lopullista lämmitysjärjestelmää aletaan ottamaan kokonaan käyttöön

niin, että sen lämpötilaa nostetaan hiljalleen noin 20 °C:sta alkaen. [9; 35; 84; 87, s. 5; 99; 101.]

Varsinaisia rakennuslämmittimiä ja -kuivaimia on laajasti tarjolla markkinoilla eri valmistajilta. Lämmittimien merkittävin ero on niiden käyttämä energianlähde (sähkö, öljy, nestekaasu ja kaukolämpö), mutta toimintaperiaatteiltaan lämmittimet ovat kuitenkin todella samantapaisia. Erityisesti puhaltimia, jotka puhaltavat lämmitettävään tilaan lämmintä ilmaa, löytyy jokaiseen lämmitysjärjestelmään soveltuvia eri mallien yksiköitä. Myös säteilijät, jotka lämmittävät ilman sijasta suoraan kohdetta, ovat hyvin yleisiä vaihtoehtoja eri rakennuslämmittimiksi. Rakennuslämmittimien valikoimaa kasvattaa lisäksi lämmittimien luovuttamat lämpötehot. Rakennustyömailla voidaan käyttää myös kuivaamiseen sekä lämpimän ilman jakamiseen tarkoitettuja rakennuspuhaltimia, joissa lämmitysvastuksia ei ole. Erityisesti kuivaamiseen tarkoitettuja ratkaisuja ovat rakennuspuhaltimien lisäksi myös kosteudenerottimet, jotka tarpeen tullessa kannattaa valita kuivattavan tilan olosuhteiden perusteella niiden erilaisten toimintaperiaatteiden vuoksi. [44; 50; 62; 64; 67; 69; 71; 72; 80; 89; 93; 95.]

Esimerkkikohteen yleisaikataulu (liite 1) antaa hyvän kuvan siitä, kauanko lattialämmityksen asentaminen vie aikaa suhteessa koko työmaan aikatauluun. Lattialämmityksen työvaiheet-aulukossa (liite 2) on taas eritelty hieman tarkemmin pelkän lattialämmityksen työvaiheet ja niihin kuluva aika. Kuten Käenkadun vastaava työnjohtaja totesikin, myös aikataulujen perusteella voidaan huomata, että lattialämmityksen asentamiselle varattiin aikaa 1,5 kk rakennuskohtaisesti. Vaikka kohde päätettiin toteuttaa siten, että lattialämmitysjärjestelmää ei oteta käyttöön asteittain, yleisaikataulussa kuitenkin näkyy, kuinka lattialämmitys alun perin suunniteltiin otettavaksi asteittain käyttöön. Jo marraskuun lopulla rakennuksessa 5 oli tarkoitus ottaa lattialämmitys käyttöön 50-prosenttisesti ja loput lattialämmityksestä tammikuun alussa. Koska rakennusaikaisista lämmitystä voidaan vähentää asteittain käytöstä samaan aikaan, kun lopullinen lämmitysjärjestelmä otetaan asteittain käyttöön, olisi myös esimerkkikohteessa voitu vähentää lattialämmityksen avulla rakennusaikaisen lämmityksen tarvetta. Käytännössä esimerkkikohteessa lattialämmityksellä olisi voitu tukea rakennusaikaisista lämmitystä talvikuukausien aikana, jolloin lämmityksen tarve on suurimmillaan, aina keväaseen asti. [37; 99.] (Liite 1, liite 2)

10 Yhteenveto

Tämä insinööriö tehtiin Uponor Suomi Oy:lle, jonka tuotevalikoimaan kuuluvat mm. lattialämmitysjärjestelmiä sekä lattialämmityksen ja -viilennyksen yhteisjärjestelmiä, joita Uponorilla myös aktiivisesti suunnitellaan. Lattialämmitysmarkkinoiden yhä kasvaessa on tärkeää lisätä urakointiyritysten tietoutta lattialämmityksen käyttöönotosta ja sille asetetuista vaatimuksista. Varsinkin rakennusaikana lattialämmityksellä voidaan vähentää väliaikaisen lämmitysjärjestelmän tarvetta. [4; 5; 6.]

Insinööriön tavoitteena oli selvittää erilaisia mahdollisuuksia rakennusaikaiselle lämmittämiseksi ja kuivaamiselle sekä kuvailla niiden pääpiirteitä. Olennainen tavoite näiden lisäksi oli myös rakennuksen lopullisen lämmitysjärjestelmän hyödyntämisen kuvaileminen rakennusaikaisen lämmityksen tukena, varsinkin lattialämmityksen näkökulmasta. Uponorin tulevaisuuden tavoitteena on tehdä tämän insinööriön pohjalta urakointiyrityksille selkeä ohjeistus lattialämmityksen hyödyntämisestä rakennusaikaisessa lämmityksessä.

Insinööriö toteutettiin tutkimalla eri materiaaleja, joissa käsiteltiin varsinaisen aiheen lisäksi myös laajempaan kokonaisuuteen kuuluvia osia, kuten lattialämmityksen suunnittelua, betonia yleisesti sekä rakennushanketta. Merkittäviä tietolähteitä teoriaosuuksille olivat kirjallisuus sekä LVI- ja RT-kortisto. Myös internetistä löytyi kattavasti teoriaa, mutta erityisen hyvä työkalu se oli erilaisiin rakennuslämmittämiin sekä -kuivaimiin tutustumisessa. Hieman käytännönläheisempi kuva rakennuslämmittimien ja -kuivaimien käytöstä saatiin vastaavien työnjohtajien haastatteluiden kautta sekä työmaavierailuilla. Keravan Käenkadun työmaavierailun ansiosta insinööriöön saatiin sisällytettyä yksi esimerkki todellisen rakennusaikaisen lämmitysjärjestelmän toteuttamisesta.

Rakennusaikaiset lämmitys- ja kuivausjärjestelmät voivat olla joko sähköllä, öljyllä, nestekaasulla tai kaukolämmöllä toimivia. Lämmitysjärjestelmän valinnassa vaikuttavat kohteen lopullinen lämmitysjärjestelmä, vaihtoehtolaskelmat sekä työnjohtajien aikaisemmat kokemukset. Väliaikaisiin lämmitysjärjestelmiin kuuluvat olennaisesti myös erilaiset rakennuslämmittimet, kuten puhaltimet ja säteilijät, joiden merkittävimpinä eroina ovat niiden tavat siirtää lämpöä. Monet eri tuotevalmistajat ja -vuokraajat tarjoavat monentyyppisiä rakennuslämmittämiä, joiden vaihtelevien teknisten ominaisuuksien vuoksi ne sopivat monen eri käyttökohteen lämmitystarpeisiin. [35; 99; 104.]

Insinööriyössä opittiin, että onnistunut rakennusaikainen lämmitys ja kuivaus vaatii sen tarkastelua suuremmassa mittakaavassa rakennushankkeen jokaisessa vaiheessa ja osapuolten yhteistyötä. Kosteudenhallinta on merkittävä osa myös rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen suunnittelussa, ja siihen on syytä syventyä jo hankesuunnitteluvaiheessa. Hankkeen edetessä tulee tehdä tarvittava riskianalyysi sekä kosteudenhallintasuunnitelma, jonka sisältöä toteutetaan rakentamisvaiheessa. Rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivauksen suunnittelu ja toteutus kannattaa aloittaa hyvissä ajoin, jotta tarvittavat toimenpiteet esimerkiksi työmaalla saadaan tehtyä ennen varsinaisen lämmityksen aloittamista. [87; 99.]

Rakennusaikaisella lämmityksellä ja kuivaamisella on suuri vaikutus esimerkiksi rakennustyömaan kustannuksiin sekä aikatauluihin. Rakennustyömaalla voi kulua vain kolmen talvikuukauden aikana energiaa lämmitykseen saman verran kuin normaalissa kerrostalossa koko vuoden aikana, mikä tarkoittaa suuria energialaskuja. Tämän lisäksi myös rakennusaikaisista lämmittimistä tulee maksaa joko vuokraa tai niihin menevä kertasijoitus. Rakennusaikainen lämmitys ja kuivaus on tärkeä elementti myös aikataulujen suunnittelussa, koska se on yksi keskeisimmistä tavoista vaikuttaa betonin kuivumisaikaan positiivisesti: betonirakenteen lämpötilan noustessa 10 °C:lla betonin kosteutta siirtävä voima kasvaa 1,5-kertaiseksi. [37; 87.]

Rakennusaikaisen lämmityksen ohella on suositeltavaa ottaa rakennuksen lopullinen lämmitysjärjestelmä asteittain käyttöön tukemaan rakennusaikaista lämmitystä, jotta lämpö jakaantuisi mahdollisimman tasaisesti rakennukseen. Myös rakennusaikaisen lämmityksen purkaminen voidaan suorittaa asteittain samanaikaisesti lopullisen lämmitysjärjestelmän osakäyttöönottojen kanssa. Lopullisen lämmitysjärjestelmän käyttöönotoissa on huomattavia eroja riippuen kohteen lopullisesta lämmitysjärjestelmästä. Esimerkiksi lattialämmityksen käyttöönotossa tulee edetä tarpeeksi hitaasti, jotta betonirakenne ei vaurioituisi. Yleisesti rakentamisessa pitääkin pyrkiä rakennuksen oman lämmitysjärjestelmän saattamiseksi käyttökuntoon mahdollisimman nopeasti. Rakennusaikainen lämmitysjärjestelmä voidaan purkaa täysin pois käytöstä, kun lopullinen lämmitysjärjestelmä on otettu kokonaisuudessaan käyttöön. [9; 35; 37; 84; 99.] (Liite 1)

Tämä insinööriyö havaintoineen perustuu kirjallisuudessa ja internetissä esitettyihin teorioihin sekä työmaiden vastaavien työnjohtajien haastatteluissa esille tuotuihin kokemuksiin. Tässä työssä ei tehty konkreettisia mittauksia, eikä yksityiskohtaisia laskelmia esimerkiksi rakennusaikaisen lämmityksen ja kuivaamisen energiantarpeista tai

kustannuksista. Tätä työtä voitaisiin soveltaa erilaisten jatkotutkimusten variaatioissa. Yksi mielenkiintoisista jatkotutkimusaiheista olisi esimerkiksi betonin kuivumisnopeuden todentaminen kosteusmittauksilla ja kuinka rakennusaikainen lämmitys ja kuivaus yhdistettynä lopulliseen lämmitysjärjestelmään voisi sitä nopeuttaa. Vaikka insinööri-työssä todettiin sähkö kalleimmaksi järjestelmäksi ja kaukolämpö edullisimmaksi, toinen mielenkiintoinen jatkotutkimusaihe olisi eri rakennusaikaisten lämmitysjärjestelmien hintojen vertailu tarkemmin niin, että saataisiin todellisia kokonaishintoja rakennusaikaiselle lämmitykselle ja kuivaamiselle. Jatkotutkimukset yleisesti työmaan energiankulutuksesta ja pyrkimyksestä sen vähentämiselle, tinkimättä kuitenkaan hyvistä olosuhteista, voisivat olla myös tarpeellisia.

Lähteet

- 1 Uponorin historia. Verkkoaineisto. Uponor Oyj. <<https://www.uponor.fi/yritys/historia>>. Luettu 10.1.2019.
 - 2 Uponor työnantajana. Verkkoaineisto. Uponor Oyj. <<https://www.uponor.fi/yritys/uponor-tyonantajana>>. Luettu 10.1.2019.
 - 3 Uponor vuosikertomus 2018. Verkkoaineisto. Uponor Oyj. <https://investors.uponor.com/sites/default/files/reports/Uponor_vuosikertomus_2018.pdf>. Luettu 20.3.2019.
 - 4 Uponor rakennuskohteet. Verkkoaineisto. Uponor Oyj. <<https://www.uponor.fi/rakennuskohteet>>. Luettu 10.1.2019.
 - 5 Uponor tuotejärjestelmät. Verkkoaineisto. Uponor Oyj. <<https://www.uponor.fi/tuotejarjestelmat>>. Luettu 10.1.2019.
 - 6 Lattialämmitys tuo tasaista lämpöä. Verkkoaineisto. Uponor Oyj. <https://www.uponor.fi/tuotejarjestelmat/lattialammitys_viiennys/vesikiertoinen_lattialammitys>. Luettu 10.1.2019.
 - 7 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 1009/2017. Ympäristöministeriö.
 - 8 Vesikiertoinen lattialämmityksen perusteet. 2011. Verkkoaineisto. Danfoss Oy. <http://lambo.danfoss.com/PCMPDF/Handbook_Introduction_VGDYA220_hires.pdf>. Luettu 10.1.2019.
 - 9 Vesikiertoinen lattialämmitys. 1996. LVI 13-10261. Rakennustieto Oy.
 - 10 Lattialämmityksen asennus- ja käyttöohje. 2015. Uponor Suomi Oy.
 - 11 Usein kysytyt kysymykset lattialämmityksestä ja –viiennyksestä. Verkkoaineisto. Uponor Suomi Oy. <<https://www.uponor.fi/palvelut/useimmin-kysytyt-kysymykset/ukk-lattialammitys>>. Luettu 13.1.2019.
 - 12 Vesikiertoinen lattialämmitys saneerauskohteeseen. Verkkoaineisto. Warmia Oy. <<https://warmia.fi/lattialammitys/saneeraus/>>. Luettu 13.1.2019.
 - 13 Warmia lattialämmitys tekninen ohje. 2014. Verkkoaineisto. Warmia Oy. <https://warmia.fi/wp-content/uploads/2016/06/warmia_tekninen_ohje_2014.pdf>. Luettu 14.1.2019.
-

- 14 Uponor Smatrix Base FI PIKAOPAS. 2015. Ohjetiedosto. Uponor Suomi Oy.
 - 15 Uponor Smatrix Wave FI PIKAOPAS. 2017. Ohjetiedosto. Uponor Suomi Oy.
 - 16 Rakennushankkeen osapuolet. Talonrakennushankkeen kulku. 2016. RT 10-11222. Rakennustieto Oy.
 - 17 Suomen Betoniyhdistys. 2018. Betonitekniikan oppikirja 2018 BY 201. Vaasa. Grano Oy.
 - 18 Kosteuden siirtyminen. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmäyhdistys. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuden-siirtyminen>>. Luettu 30.1.2019.
 - 19 Mikrobikasvun edellytykset. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmäyhdistys. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Mikrobikasvun-edellytykset>>. Luettu 3.2.2019.
 - 20 Rakenteiden kuivattaminen. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmäyhdistys. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Purku-kuivaus-ja-puhdistus/Rakenteiden-kuivattaminen>>. Luettu 3.2.2019.
 - 21 Petrow, Seppo, Vuorinen, Pekka, Rydenfelt, Veli-Pekka. Betoninen kelluva lattia. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020401.pdf>>. Luettu 4.2.2019.
 - 22 Niemi, Sami. 2008. Betonirakenteiden kosteuden mittaus ja onnistunut päällystäminen. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100401.pdf>>. Luettu 5.2.2019.
 - 23 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. 2010. RT 14-10984. Rakennustieto Oy.
 - 24 Maankäyttö- ja rakennuslaki. 1999. 132/1999, alkuperäinen säädös.
 - 25 Toteutusmuodot. Talonrakennushankkeen kulku. 2016. RT 10-11223. Rakennustieto Oy.
 - 26 Liuksiala, Aaro, Stoor, Pia. 2014. Rakennussopimukset. Rakennustieto Oy.
 - 27 Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Talonrakennushankkeen kulku. 2016. RT 10-11224. Rakennustieto Oy.
 - 28 Wind, Nora. 2015. Osittelun käyttö rakennushankkeessa. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto.
-

- 29 Rakennushankkeen kesto ja aikataulut. Talonrakennushankkeen kulku. 2016. RT 10-11225. Rakennustieto Oy.
 - 30 Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. 2017. Ratu KI-6031. Rakennustieto Oy.
 - 31 Kustannusten muodostuminen ja ohjaus. Talonrakennushankkeen kulku. 2016. RT 10-11226. Rakennustieto Oy.
 - 32 Rakennushankkeen kustannushallinta. 2018. Ratu KI-6033. Rakennustieto Oy.
 - 33 Riskien- ja laadunhallinta. Talonrakennushankkeen kulku. 2017 RT 10-11255. Rakennustieto Oy.
 - 34 Harju, Pentti. 2004. Lämmitystekniikan oppikirja. Oppilaan kirja. Kouvola. Penan Tieto-Opus Ky.
 - 35 Rakenteiden lämmitys ja kuivatus. 1996. Ratu 07-3032. Rakennustieto Oy.
 - 36 Rakennustyömaan sääsuojaus. 2013. Ratu S-1232. Rakennustieto Oy.
 - 37 Talvityöt- ja kustannukset. 2010. Ratu C8-0377. Rakennustieto Oy.
 - 38 Talvirakentaminen. 1989. Helsinki. Suomen Rakennusteollisuusliitto r.y, Rakentajain Kustannus Oy.
 - 39 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä. Gummerus kirjapaino Oy.
 - 40 Rakennuskuivaajat, kiertoilmalämmittimet, ilmankuivaajat. 1989. Kone-Ratu 3003. Rakennustieto Oy.
 - 41 Koskenvesa, Anssi. Talvirakentaminen. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK99s697.pdf>>. Luettu 28.2.2019.
 - 42 Ahonen, Pekka. 2012. Sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivatus sekä energian kulutus talviaikana. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus.
 - 43 Käyttöohje POLAR HC372. Verkkoaineisto. Ramirent Finland Oy. <http://tuotteet.ramirent.fi/sites/tuotteet.ramirent/files/product_attachments/K%C3%A4ytt%C3%B6ohje%20L%C3%A4mp%C3%B6kontti%20Polar%20HC372.pdf>. Luettu 1.3.2019.
-

- 44 Polar HC372. Verkkoaineisto. Polartherm Oy.
<<http://www.polartherm.fi/upload/tuotekortit/tuotekortti-polar-hc-372.pdf>>. Luettu 1.3.2019.
- 45 Polar HC372 lämpökontti. Verkkoaineisto. Talhu Oy.
<<https://www.talhu.fi/tuotteet/energia-ja-lampo/rakennuslammitin/polar-hc-lampokontti/>>. Luettu 1.3.2019.
- 46 Talhu Heatmobil öljylämmitin. Verkkoaineisto. Talhu Oy.
<<https://www.talhu.fi/tuotteet/energia-ja-lampo/rakennuslammitin/talhu-heatmobil-oljylammitin/>>. Luettu 1.3.2019.
- 47 Polar Heatmobil HTL250. Verkkoaineisto. Polartherm Oy.
<<http://www.polartherm.fi/upload/tuotekortit/tuotekortti-polar-heatmobil-htl-250.pdf>>. Luettu 1.3.2019.
- 48 Käyttöohjeet HEATMOBIL HTL250. Verkkoaineisto. Ramirent Finland Oy.
<http://tuotteet.ramirent.fi/sites/tuotteet.ramirent/files/product_attachments/K%C3%A4ytt%C3%B6ohje%20L%C3%A4mp%C3%B6puhallin%20Polar%20Heatmobil%20HTL%20250.pdf>. Luettu 1.3.2019.
- 49 Talhu Termo öljylämmittimet. Verkkoaineisto. Talhu Oy.
<<https://www.talhu.fi/tuotteet/energia-ja-lampo/rakennuslammitin/talhu-termo-oljylammitimet/>>. Luettu 1.3.2019.
- 50 Siirrettävät öljy- ja kaasulämmittimet. Verkkoaineisto. Polartherm Oy.
<<http://www.polartherm.fi/upload/tuotekortit/tuotekortti-siirrettavat-oljy-ja-kaasulammitimet-----27122018.pdf>>. Luettu 1.3.2019.
- 51 Termo 30 käyttöohje. Verkkoaineisto. Talhu Oy. <<https://www.talhu.fi/wp-content/uploads/TERMO-30-manual-ver-2-04.pdf>>. Luettu 1.3.2019.
- 52 Projekti-insinöörit Oy. Energian käyttö- ja suunnittelutietoa betonteollisuudelle. Neste Oy.
- 53 Nestekaasun käyttölaitokset. 2013. LVI 62-10533. Rakennustieto Oy.
- 54 Nestekaasu. Verkkoaineisto. Oy AGA Ab.
<http://www.aga.fi/fi/products_ren/propane/index.html>. Luettu 4.3.2019.
- 55 Nestekaasu – Puhdas ja taloudellinen energiavaihtoehto. Verkkoaineisto. Neste Oil Oyj. <https://www.neste.fi/sites/neste.fi/files/NO_Nestekaasu_esite.pdf>. Luettu 4.3.2019.
- 56 Nestekaasun käyttö ja varastointi työmaalla. 2005. RatuTT 16-00533. Rakennustieto Oy.
-

- 57 Rakennustyömaiden nestekaasulämmitys. Verkkoaineisto. Oy AGA Ab.
<http://www.aga.fi/fi/images/AGA%20Propane%20LPG%20Heating%20Brochure%20FI_tcm634-121304.pdf>. Luettu 7.3.2019.
- 58 Nestekaasuasetus. 1993. 711/1993, alkuperäinen säädös.
- 59 Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta. 2012. 855/2012, alkuperäinen säädös.
- 60 Promat PGM ja PGT. Verkkoaineisto. Polartherm Oy.
<<http://www.polartherm.fi/upload/tuotekortit/tuotekortti-pgm-pgt.pdf>>. Luettu 7.3.2019.
- 61 Käyttöohje Thermo-BETOX TB700 & TB1300. Verkkoaineisto. Ramirent Finland Oy.
<http://tuotteet.ramirent.fi/sites/tuotteet.ramirent/files/product_attachments/K%C3%A4ytt%C3%B6ohje%20L%C3%A4mp%C3%B6puhallin%20TB1300.pdf>. Luettu 7.3.2019.
- 62 Nestekaasukäyttöiset lämpöpuhaltimet. Verkkoaineisto. Talhu Oy.
<<https://www.talhu.fi/tuotteet/energia-ja-lampo/rakennuslammitin/nestekaasukayttoiset-lampopuhaltimet/>>. Luettu 7.3.2019.
- 63 Nestekaasukäyttöiset säteilylämmittimet. Verkkoaineisto. Hämeen Rakennuskone Oy. <<https://www.hrk.fi/files/7913/8614/0333/Steilylmmittimet.pdf>>. Luettu 8.3.2019.
- 64 HOAF AMS-säteilylämmittimet. Verkkoaineisto. Ramirent Finland Oy.
<http://res.cloudinary.com/ramirent/image/upload/v1533578967/005046999275_10.pdf>. Luettu 8.3.2019.
- 65 Työmaan sähköistys. 2003. Kone-Ratu 02-3037. Rakennustieto Oy.
- 66 Remko Elkomat. Verkkoaineisto. Polartherm Oy.
<<http://www.polartherm.fi/upload/tuotekortit/tuotekortti-remko-elkomat.pdf>>. Luettu 13.3.2019.
- 67 Sähkökäyttöiset lämpöpuhaltimet. Verkkoaineisto. Talhu Oy.
<<https://www.talhu.fi/tuotteet/energia-ja-lampo/rakennuslammitin/sahkokayttoiset-lampopuhaltimet/>>. Luettu 13.3.2019.
- 68 Kuivatus- ja lämmityskalusto. Verkkoaineisto. Machinery Oy.
<<https://machinery.fi/rakentaminen/kuivatus-ja-lammityskalusto>>. Luettu 13.3.2019.
-

- 69 Sähkölämmittimet. Verkkoaineisto. Cramo Oyj.
<https://www.cramo.fi/fi/category/rakennuskoneet_laemmityskalusto_saehkoelae_mmittimet>. Luettu 13.3.2019.
- 70 EI-Björn VF 3 / VF 3-1-lämpöpuhallin. Verkkoaineisto. Machinery Oyj.
<<https://machinery.fi/rakentaminen/kuivatus-ja-lammityskalusto/sahkolammitimet/el-bjorn-vf-3-lampopuhallin/>>. Luettu 13.3.2019.
- 71 EI-Björn TF 18EL –lämpöpuhallin. Verkkoaineisto. Machinery Oyj.
<<https://machinery.fi/rakentaminen/kuivatus-ja-lammityskalusto/sahkolammitimet/el-bjorn-tf-18el-lampopuhallin/>>. Luettu 13.3.2019.
- 72 Sähkökäyttöinen infrapunasäteilijä. Verkkoaineisto. Talhu Oy.
<<https://www.talhu.fi/tuotteet/energia-ja-lampo/rakennuslammitin/sahkokayttoinen-infrapunasateilija/>>. Luettu 13.3.2019.
- 73 Infrapunalämmittimet Polar S2 infrapunasäteilijä. Verkkoaineisto. Polartherm Oy.
<<http://www.polartherm.fi/fi/civ-/tuotteet/teollisuus---tilat/infrapunasateilijat/polar-s2-.html>>. Luettu 13.3.2019.
- 74 Niemi, Jere. 2017. Rakennuksen työaikainen lämmitys. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Theseus.
- 75 Ota käyttöön kaukolämpö. Verkkoaineisto. Elenia Oy.
<https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Elenian%20kaukol%C3%A4mp%C3%B6_luotettavaa%20%C3%A4mp%C3%B6%C3%A4%20%C3%A4helt%C3%A4.pdf>. Luettu 13.3.2019.
- 76 Kaukolämmön asiakkuus. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry.
<https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/kaukolammon_asiakkuus>. Luettu 13.3.2019.
- 77 Kaukolämmitys. 2006. LVI 10-10398. Rakennustieto Oy.
- 78 Kuumavesilämmittimet. Verkkoaineisto. Cramo Oyj.
<https://www.cramo.fi/fi/category/rakennuskoneet_laemmityskalusto_kuumavesil_aemmittimet>. Luettu 14.3.2019.
- 79 Siirrettävä kaukolämpökeskus 800 kW. Verkkoaineisto. Ramirent Finland Oy.
<http://res.cloudinary.com/ramirent/image/upload/v1533556313/005250003890_10.pdf>. Luettu 14.3.2019.
- 80 Siirrettävät kiertovesilämmittimet. Verkkoaineisto. Talhu Oy.
<<https://www.talhu.fi/tuotteet/energia-ja-lampo/rakennuslammitin/siirrettavat-kiertovesilammitimet/>>. Luettu 14.3.2019.
-

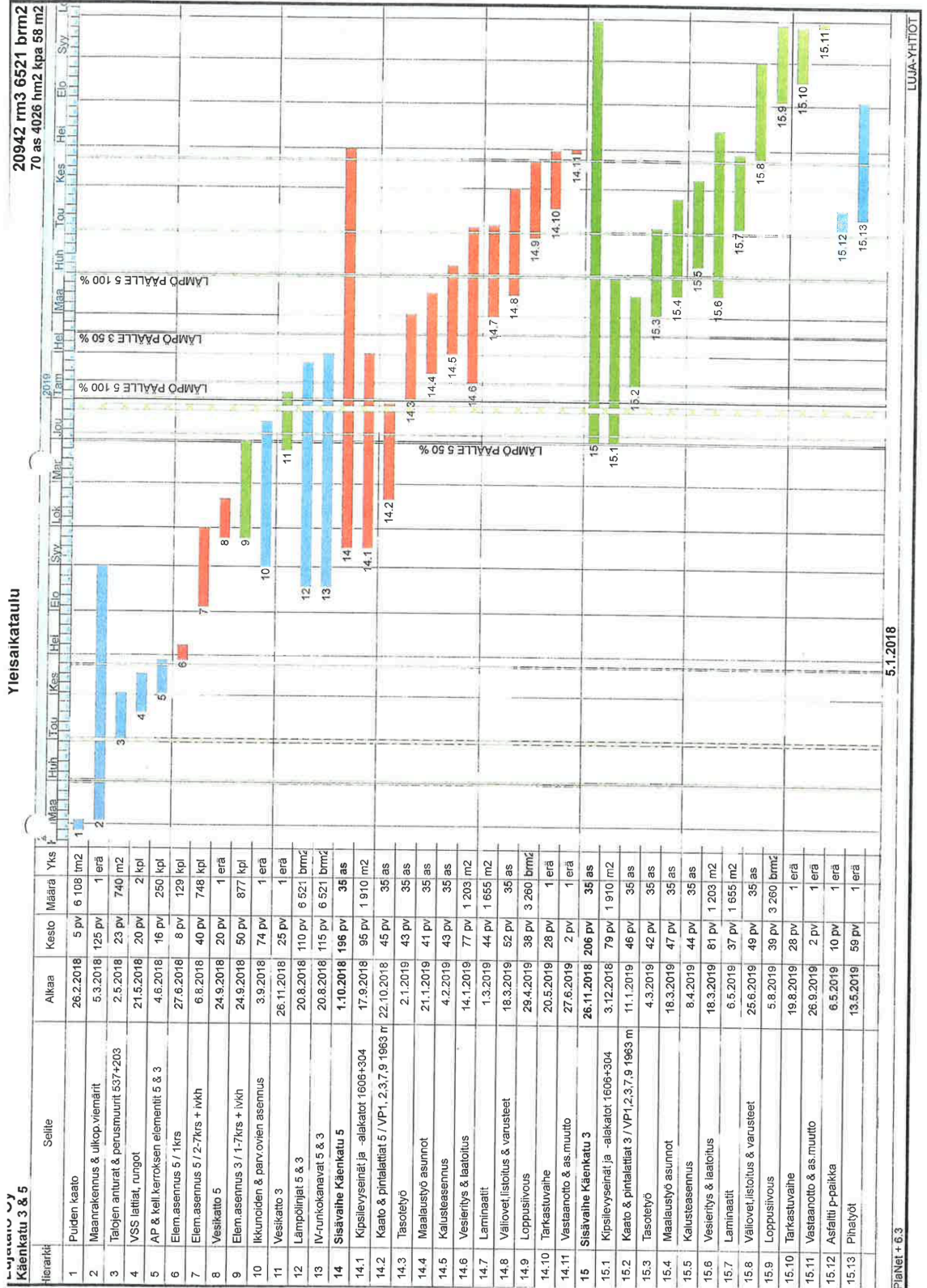
- 81 Siirrettävät kiertovesikäyttöiset lämmitin. Verkkoaineisto. Polartherm Oy.
<<http://www.polartherm.fi/fi/civ-/tuotteet/rakentaminen---saneeraus/vesikiertoiset-siirrettavat/info--.html>>. Luettu 14.3.2019.
- 82 Vesikiertoiset lämmitin. Verkkoaineisto. Machinery Oy.
<<https://machinery.fi/rakentaminen/kuivatus-ja-lammityskalusto/lammitimet/>>. Luettu 14.3.2019.
- 83 EI-Björn TF 15HV-S-vesikiertoinen lämmitin. Verkkoaineisto. Machinery Oyj.
<<https://machinery.fi/rakentaminen/kuivatus-ja-lammityskalusto/lammitimet/el-bjorn-tf-15hv-s-vesikiertoinen-lammitin>>. Luettu 14.3.2019.
- 84 Vesikiertoinen lattialämmitys. 2003. RT 52-10801. Rakennustieto Oy.
- 85 Uponor Lattialämmitys- ja viilennysratkaisut kerrostaloissa. Uponor Suomi Oy.
- 86 Asennus- ja käyttöohje. Uponor Suomi Oy.
- 87 Merikallio, Tarja. Rakennustyömaan kosteudenhallinta ja sen suunnittelu. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy.
<<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020504.pdf>>. Luettu 15.3.2019.
- 88 Merikallio, Tarja. Rakennustyömaan kosteudenhallinta. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050502.pdf>>. Luettu 15.3.2019.
- 89 AL-Aksiaalipuhaltimet. Verkkoaineisto. Strong Finland Oy.
<<http://www.strong.fi/fi/tuotteet-ja-tarvikkeet/kuivaimet-ja-puhaltimet/puhaltimet-ja-sivukanavaturbiinit/tuote/al-aksiaalipuhaltimet>>. Luettu 16.3.2019.
- 90 Simpukkapuhaltimet. Verkkoaineisto. Strong Finland Oy.
<<http://www.strong.fi/fi/tuotteet-ja-tarvikkeet/kuivaimet-ja-puhaltimet/puhaltimet-ja-sivukanavaturbiinit/tuote/simpukkapuhaltimet>>. Luettu 16.3.2019.
- 91 Kanavapuhaltimet. Verkkoaineisto. Cramo Oyj.
<https://www.cramo.fi/fi/category/rakennuskoneet_kuivaus--ja-ilmanpuhdistus-kanavapuhaltimet>. Luettu 16.3.2019.
- 92 Adsorptiokuivain CTR 300XT. Verkkoaineisto. Strong Finland Oy.
<<http://www.strong.fi/fi/tuotteet-ja-tarvikkeet/kuivaimet-ja-puhaltimet/adsorptiokuivaimet/tuote/adsorptiokuivain-ctr-300xt>>. Luettu 16.3.2019.
- 93 Käyttöohje adsorptiokuivain CTR 300XT. Verkkoaineisto. Ramirent Finland Oy.
<http://tuotteet.ramirent.fi/sites/tuotteet.ramirent/files/product_attachments/K%C3%A4ytt%C3%B6ohje%20Adsorptiokuivaaja%20CTR%20300XT.pdf>. Luettu 16.3.2019.
-

- 94 K3 B kondenssi kuivain. Verkkoaineisto. Strong Finland Oy.
<<http://www.strong.fi/fi/tuotteet-ja-tarvikkeet/kuivaimet-ja-puhaltimet/kondenssi kuivaimet/tuote/k3bkondenssi kuivain>>. Luettu 16.3.2019.
- 95 Käyttöohje K2 kondenssi kuivain. Verkkoaineisto. Ramirent Finland Oy.
<http://res.cloudinary.com/ramirent/image/upload/v1533626114/005106071862_6.pdf>. Luettu 16.3.2019.
- 96 Käyttöohje adsorptio kuivain sisäänrakennetulla kondenssi yksiköllä LKV 1000XT. Verkkoaineisto. Ramirent Finland Oy.
<http://res.cloudinary.com/ramirent/image/upload/v1515800043/005103653873_6.pdf>. Luettu 16.3.2019.
- 97 Valkeapää Aki. 2016. Lämmönsiirto ja virtaustekniikka. Kurssimateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 98 Rakenteiden lämpötekniikka. Verkkoaineisto. Sisäilmäyhdistys.
<<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Rakenteiden-lampotekniikka>>. Luettu 17.3.2019.
- 99 Valovirta, Timo. 2018. Vastaava työnjohtaja, Lujatalo Oy, Uusimaa. Haastattelu 4.12.2019.
- 100 Lattialämmityksen historia. Verkkoaineisto. Thermotech Scandinavia AB.
<<https://www.thermotech.fi/Lattialaemmitys/Lattialaemmityksesta/Lattialaemmityksen-historia>>. Luettu 18.3.2019.
- 101 Viilentävä matalalämpö. 2018. Koulutusmateriaali. Uponor Suomi Oy.
- 102 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. 2014. Julkaisu K1/2013, päivitetty 9.5.2014. Energiateollisuus ry.
- 103 Lämmitysenergiankulutus. Verkkoaineisto. Motiva Oy.
<https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_ energian- ja_ vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus>. Luettu 30.3.2019.
- 104 Tuovinen, Timo. 2018. Vastaava työnjohtaja, Tencon Oy. Haastattelu 11.12.2018.
- 105 Uponor lattialämmitys, ratkaisut eri rakenteissa. 2018. Uponor Suomi Oy.
- 106 Venäläinen, Sami. 2014. Rakennusaikainen kosteudenhallinta. Insinööri työ. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus.
- 107 Kuumailmapuhallin TB-1300. Verkkoaineisto. Ramirent Finland Oy.
<<https://www.ramirent.fi/products/L%C3%A4mmitys/L%C3%A4mp%C3%B6puha>>
-

<https://www.ramirent.fi/products/L%C3%A4mmitys/L%C3%A4mp%C3%B6puhalletimet/005050004733?id=005050004733&subcategoryId=DD2F33B>>. Luettu 24.3.2019.

- 108 Lämmönvaihdin 800 kW El-Björn TFUC 800 EZE. Verkkoaineisto. Ramirent Finland Oy.
<<https://www.ramirent.fi/products/L%C3%A4mmitys/L%C3%A4mp%C3%B6puhalletimet/005250003890?id=005250003890&subcategoryId=DD2F33B>>. Luettu 24.3.2019.
- 109 Lujuuden kehitys. Verkkoaineisto. Betoniteollisuus ry.
<<http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/betoniteknologia/lujuuden-kehitys>>. Luettu 12.4.2019.
-

Käenkatu 3 & 5 yleisaikataulu



Käenkatu 3 & 5 lattialämmityksen työvaiheet

Työvaiheet

Alue/Tarenne	Pinta-ala	Materiaalit	Eriste + putki	Plaano	Huomioitavaa
Käenkatu 5, 1-3 krs. asunnot A1-A8 + yleiset	665	17.10	22.10	1.11	yleiset tilat, pelkkä putkitus, noin 239 m ²
Käenkatu 5, 3-4 krs. asunnot A9-A17	457	29.10	1.11	12.11	
Käenkatu 5, 5-6 krs. asunnot A18-A27	485		12.11	22.11	
Käenkatu 5, 6-7 krs. asunnot A28-A35	415	19.11	22.11	3.12	
Käenkatu 3, 1-3 krs. asunnot A1-A8 + yleiset	640	19.12	2.1	14.1	yleiset tilat pelkkä putkitus, noin 225 m ²
Käenkatu 3, 3-4 krs. asunnot A9-A17	433	9.1	14.1	23.1	
Käenkatu 3, 5-6 krs. asunnot A18-A27	474		23.1	4.2	
Käenkatu 3, 6-7 krs. asunnot A28-A35	390	30.1	4.2	13.2	