



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Joni Pulkinen

Työnaikaisen lämmitystarpeen opti- mointi asuinkerrostalokohteessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusinsinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

1.11.2021

Tekijä Otsikko	Joni Pulkkinen Työnaikaisen lämmitystarpeen optimointi asuinkerrostalokoh- teessa
Sivumäärä Aika	54 sivua 1.11.2021
Tutkinto	Rakennusinsinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakentamisen projektinhallinta
Ohjaajat	Työpäällikkö Juuso Haatainen Lehtori Timo Riikonen
<p>Tässä insinöörityössä tutkittiin työnaikaisen lämmityksen optimointia asuinkerrostalokoh- teessa. Työ tehtiin Lujatalo Oy:lle. Työn tavoitteena oli perehtyä työnaikaiseen lämmittämi- seen ja löytää sellainen lämmitysratkaisu, joka lämmittää rakennusta juuri sopivasti, aihe- uttaa mahdollisimman pienen kuluerän ja sen asentaminen ei vaadi liiallisia resursseja rakennuksen kokoon nähden. Työssä käsitellään runsaasti myös aiheeseen liittyvää teori- aa. Aihe rajautui elementtirakenteiseen asuinkerrostaloon ja maanrakennusvaiheen aikai- nen lämmitys rajattiin kokonaan pois.</p> <p>Insinöörityö toteutettiin tutustumalla aiheeseen liittyviin verkko- ja kirjallisuuslähteisiin sekä keräämällä tietoa asiantuntijalta ja tutkimalla aiheeseen liittyviä koulun kurssimateriaaleja. Työssä haastateltiin HRK:n aluepäällikköä, jolla on vuosien kokemus työnaikaisesta läm- mittämisestä.</p> <p>Työssä etsittiin esimerkkikohteeseen parasta lämmitysratkaisua ja vertailtiin hintatasoa potentiaalisten vaihtoehtojen kesken. Tämän lisäksi laskettiin arvioita siitä, kuinka paljon aukkojen tiivistämisellä ja eristämällä on merkitystä lämpöhäviön kannalta. Työnaikaises- sa lämmittämisessä avainasemassa on riittävä tuuletus, jotta kuivumista pääsee tapahtu- maan mahdollisimman paljon. Rakenteiden optimaalinen kuivattaminen alkaa jo materiaa- lin toimittamisesta ja varastoinnista. Mitä kuivempaa materiaali pidetään, sitä nopeammin se kuivaa ja vaatii vähemmän lämmitysenergiaa.</p> <p>Työn tuloksia ja materiaalia voidaan käyttää apuna valittaessa sopivaa lämmitysjärjestel- mää työmaalle.</p>	
Avainsanat	Työnaikainen lämmittäminen, asuinkerrostalo, rakenteiden kui- vattaminen, talvirakentaminen

Author Title	Joni Pulkkinen Optimizing Heating During the Construction Phase in a Multi-Storey Building
Number of Pages Date	54 pages November 1, 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Project Management for Construction
Instructors	Juuso Haatainen, Work Manager Timo Riikonen, Senior Lecturer
<p>In this thesis, ways to optimize the heating during the construction phase were studied. The research was conducted to Lujatalo Oy. The goal of this thesis was to find the most optimized way to heat a building during the construction phase. The most optimized way means appropriate temperature, decreased costs and low installation expenses taking into account the size of the building. A large amount of theory is also included in this thesis. The topic was limited to a prefabricated multi-storey building. Heating during the land and foundation phase was excluded.</p> <p>The thesis was implemented by investigating printed sources, educational materials and network resources. Information was also gathered by interviewing an experienced rental expert.</p> <p>An example construction site was selected for this thesis. The target was to find the best heating solution for the site. Price comparison was made between the most appropriate heating solutions. In addition, the significance of sealing and insulating the openings was calculated. Sufficient ventilation is in a key position during the heating phase because it enables adequate drying. Optimal drying starts as soon as the material is brought to the construction site. The drier the material is kept, the less energy is required to dry it.</p> <p>The results of this thesis can be applied in future projects when selecting the best heating solution.</p>	
Keywords	heating during the construction phase, multi-storey building, structural drying, building in winter

Sisällys

Lyhenteet ja termit

1	Johdanto	4
1.1	Tausta	4
1.2	Tavoite	4
1.3	Rajaukset	5
2	Talvirakentaminen	5
2.1	Yleistä	5
2.2	Suojaus	6
2.3	Lämmitys ja kuivaus	9
2.4	Talvibetonointi	10
3	Lämpö- ja kosteusfysiikka	13
4	Betonin kosteus ja kuivuminen	15
4.1	Yleistä	15
4.2	Betonirakenteiden kokeellisia kuivumisaikoja	18
4.2.1	Ontelolaatta + lattiatasoite	18
4.2.2	Kololaatta + jälkivalu	20
4.3	Betonilattioiden päällystämiskosteudet	23
4.4	Tuuletuksen merkitys rakenteiden kuivatuksessa	23
5	Lämmitysjärjestelmät	24
5.1	Maa- ja biokaasulämmitys	24
5.2	Nestekaasu	26
5.3	Polttoöljy	29
5.4	Kaukolämpö	31
5.5	Sähkö	34
5.6	Rakennuskuivaimet	38
6	Esimerkkikohde	39
6.1	Yleistä	39
6.2	Vaihtoehtona kaukolämpö	40

	2	
6.3	Vaihtoehtona polttoöljy	41
6.4	Pohdintaa kaukolämpö ja polttoöljylämmityksestä	42
6.5	Nestekaasulämmitys runkovaiheessa	43
7	Asiantuntijahaastattelu	44
7.1	Yleistä	44
7.2	Lämmitysmuodon valinta	44
7.3	Lämmitysjärjestelmää suunniteltaessa huomioitavaa	44
8	Yhteenveto	46
9	Pohdinta	47
10	Lähteet ja liitteet	53

Lyhenteet ja termit

Hydrataatio	Veden ja sementin välinen reaktio, jonka vaikutuksesta betoni kovettuu kuivuessaan.
Kastepistelämpötila	Lyhyemmin kastepiste. Lämpötila, johon ilman tulisi jäähtyä, jotta siinä oleva vesihöyry alkaisi tiivistymään.
Kololaatta	Elementtirakentamisessa tyypillisin kantava vaakasuuntainen laattarakenne märkätilojen kohdalla. Kololaatta on yleensä noin 150 mm alempana kuin viereisen ontelolaatan yläpinta. Tämä mahdollistaa talotekniikan ja kaatovalujen tekemisen.
Kyllästyskosteus	Määrittelee kuinka paljon ilmassa voi olla vesihöyryä tietyssä lämpötilassa.
Ontelolaatta	Elementtirakentamisessa tyypillisin kantava vaakasuuntainen laattarakenne. Laattaleikkaus sisältää onteloita, jotka keventävät rakennetta.
Optimointi	Optimiarvon, -määrän tai yleisimmin parhaan vaihtoehdon etsimistä.
Plaano	Pumpattava sementtipohjainen betonilattioiden tasoite. Käytetään asuinkerrostaloissa huoneistojen lattioiden tasoittamiseen.
Rakennekosteus	Kosteus, joka poistuu rakenteesta ennen kuin se on tasapainossa vallitsevien olosuhteiden kanssa.
RH	Suhteellinen kosteus (Relative Humidity). Prosenttiluku, joka ilmaisee, kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä siihen nähden, mitä kyseisessä lämpötilassa voi enimmillään olla.

1 Johdanto

1.1 Tausta

Opinnäytetyö tehdään Lujatalo Oy:lle. Lujatalo kuuluu Luja-yhtiöihin, joka on yksi suomen suurimmista rakennusalan konserneista. Lujatalo toimii sekä uudis- että korjausrakentamisen parissa. [1.]

Opinnäytetyö tehdään osana rakennustekniikan tutkinto-ohjelmaa ja sen laajuus on 15 opintopistettä. Työskentelen itse Lujatalo Oy:n palveluksessa, joten yritys osoittautui minulle luontevaksi vaihtoehdoksi opinnäytetyön toteutusta ajatellen. Yrityksessä opinnäytetyön toteuttamisedotukseen suhtauduttiin positiivisesti ja aihe valikoitui yrityksen tarpeiden ja osittain oman mielenkiintoni mukaisesti.

Suomen sääolosuhteet vaihtelevat todella paljon ja erityisesti talvisin rakennustyömailla tarvitaan lämmitystä. Rakennusaikaisella lämmityksellä mahdollistetaan paras mahdollinen kuivumis- ja kovettumislämpötila eri rakenteille, erityisesti betonille. Mitä nopeammin rakenteet saadaan kuivatettua, sitä nopeammin ne päästään pinnoittamaan. Ammattitaitoisesti suunnitellulla työnaikaisella lämmityksellä saadaan aina paras hyöty. Betonin kovettumisen ja rakenteiden kuivumisen lisäksi toimivalla työnaikaisella lämmityksellä mahdollistetaan hyvät työskentelyolosuhteet, aikataulussa pysyminen, energian käytön optimointi sekä materiaalien sulana pitäminen. [2.]

1.2 Tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää optimaalisin työnaikainen lämmitysratkaisu asuin-kerrostalo kohteeseen. Optimaalisella lämmitysratkaisulla tarkoitetaan sellaista lämmitysratkaisua tai lämmitysmuotoa, joka lämmittää rakennusta juuri sopivasti, aiheuttaa mahdollisimman pienen kuluerän ja sen asentaminen ei vaadi liiallisia resursseja kohteen kokoon nähden.

1.3 Rajaukset

Näkökulma opinnäytetyössä keskittyy rakennusliikkeen työnaikaisen lämmitystarpeen optimointiin elementtirakenteisessa kerrostalossa eri vuoden aikoina ja eri rakennusvaiheissa. Työstä on rajattu pois maanrakennusvaiheen aikainen lämmitys. Työssä tullaan vertailemaan eri lämmitysmuotoja, tutkimaan aukkojen eristämisen ja tiiveyden merkitystä lämpöhukan kannalta, laatimaan arvio mahdollisista rahallisista säästöistä sekä selvittämään kuinka iso merkitys riittävällä tuuletuksella on lämmityksen optimoinnin kannalta. Näiden lisäksi pohditaan asuinrakennuksen lopullisten lämmitysjärjestelmien mahdollisuuksia työnaikaisessa lämmityksessä. Lisäksi opinnäytetyö tulee sisältämään teoriaa rakennus-, kosteus- ja lämpöfysiikasta sekä betonin kosteudesta ja kuivumisnopeudesta.

2 Talvirakentaminen

2.1 Yleistä

Talvikaudella tarkoitetaan sitä aikaa vuodesta, jolloin vuorokautinen keskilämpötila pysyttelee nollan alapuolella. Suomessa talven pituus vaihtelee hieman Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä. Etelä-Suomessa keskimääräinen talven pituus on noin 140 vuorokautta, mutta kun tähän lisätään satunnaiset kylmät jaksot keväisin ja syksyisin, kattavat talvityöjärjestelyt noin puolet vuodesta.

Talvirakentaminen lisää työmenekkiä, rakennusmateriaalien kulutusta sekä hidastaa rakentamista. Talvisin rakentamiseen tarvitaan enemmän koneita ja kalustoa, joka osaltaan nostaa energiankulutuksen suuremmaksi kuin muina vuodenaikoina. Kovat pakkaset, lumisateet tai myrskyt voivat aiheuttaa keskeytyksiä rakentamisessa, joten niihin tulee varautua jättämällä aikatauluun hieman pelivaraa. Yleisimpiä talven aiheuttamia lisätöitä ovat lumi- ja jäätyöt, roudan rikkominen ja sulatus, lämpösuojaus sekä lämmitys ja kuivaus.

Talvikauden kustannuksiin ja lisäresurssien tarpeeseen varaudutaan suunnittelemalla rakentamisvaihe hyvin. Lisätyön vaatima aika otetaan huomioon suurentamalla työryhmiä ja lisäämällä resursseja. Työ- ja materiaalimenekeistä on olemassa tarkempaa tietoa RT-kortistossa. Koneista, laitteista ja niiden energiankulutuksesta voidaan laatia

suunnitelmien mukaiset laskelmat etukäteen. Sään vaikutusta on luonnollisesti vaikea arvioida etukäteen, mutta aiempien talvien keskimääräiset tilastotiedot antavat hyvän pohjan suunnittelulle. [7.]

2.2 Suojaus

Suurin osa rakennustuotteista on suojattava kosteudelta vuoden jokaisena päivänä. Kosteudella tarkoitetaan tässä yhteydessä vesisadetta, betonin kasteluvettä tai jotain muuta työnaikaista kosteusrasitusta kuten maasta siirtyvä kosteutta. Työnaikaisella materiaalien suojauksella luodaan hyvät lähtökohdat optimaaliselle rakenteiden kuivumiselle ja vältetään turhat kulut vahingoittuneista materiaaleista.

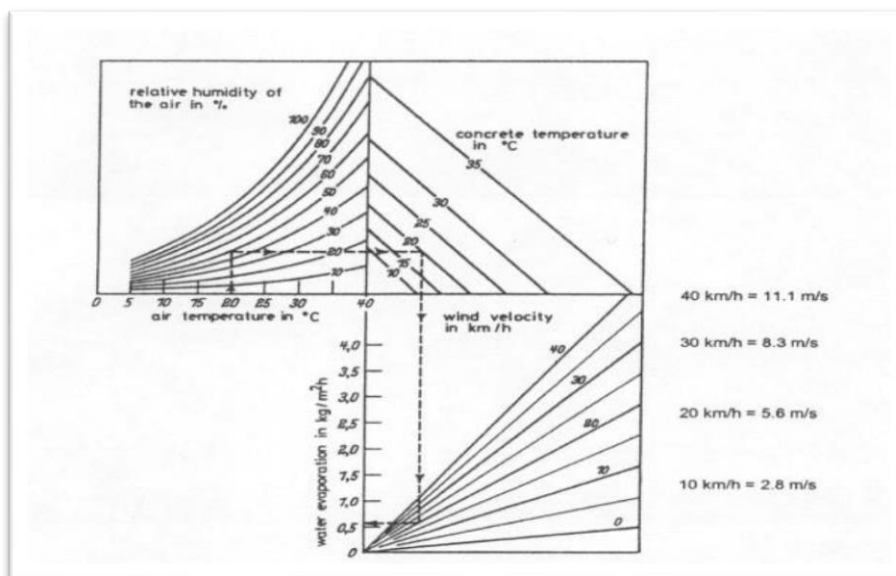
Rakennusmateriaalin suojaamisella on keskeinen merkitys, kun työnaikaista lämmitystä aletaan järjestämään. Mitä kuivempaa rakennustuote on pidetty, sitä lyhyempi sen kuivatusaika on ja sitä vähemmän se vaatii lämmitysenergiaa kuivuakseen. Esimerkiksi luvussa 4.2 käydään läpi betonin kokeellisia kuivumisaikoja. Voidaan karkeasti todeta, että mikäli ontelolaattaa on pidetty sateessa ilman suojausta, sen kuivumisaika on jopa 70 % pidempi kuin se, että ontelolaatta olisi suojattu sateelta ja maasta nousevalta kosteudelta.

Kosteuden aiheuttamat ongelmat ovat tyypillisiä työmailla, jonka takia jokaiseen uudiskohteeseen tulee laatia yksilöidysti kosteudenhallintasuunnitelma. Yleisimmät kosteuden aiheuttamat ongelmat ovat materiaalien homehtuminen, valettavien rakenteiden kärsiminen pakkasvaurioista, maalien ja laattojen irtoaminen seinistä, puun lahoaminen ja turpoaminen sekä teräksen ruostuminen.

Huolellinen rakennusaikainen suojaus lieventää säähäiriöiden vaikutusta ja on osa laadukasta rakentamista. Rakennuskohteen suojauksessa voidaan käyttää esimerkiksi konevuokraamolta saatavia sääsuojia, suojapeitteitä tai julkisivusuojia. Koko rakennuksen kattavaa sääsuojaa käytetään yleensä korjauskohteissa ja tarpeen tai rakennuttajan niin vaatiessa myös uudiskohteissa. [7.]

Suojausta tulee tehdä myös työnaikaisen lämmityksen ollessa käytössä. Rakennuksen työnaikaisessa lämmittämisessä on erittäin tärkeää, että aukot ovat suojattu ja rakenteet tiiviitä. On aivan turha lämmittää ”katiskaa”. Luvussa 9 pohditaan ja tehdään kar-

keita laskelmia siitä, kuinka iso merkitys aukkojen suojaamisella ja lämpöeristämisellä on lämmityksen optimoinnin kannalta. Runkovaiheessa, kun aukkoja ei ole vielä suojattu, erillistä tuuletusta ei tarvitse järjestää. Sisätyövaiheessa riittävä tuuletus saadaan siirtoilmapuhaltimilla. On kuitenkin poikkeuksia, jolloin myös sisätyövaiheessa on hyvä tuulettaa rakennusta ulkoilman välityksellä. Esimerkiksi lattiatasoitteen (plaanon) jälkeen parvekeovia on suositeltavaa avata, jotta kosteutta pääsee ilmavirran mukana rakennuksesta ulos. Tuuletuksessa tulee kuitenkin huomioida ulkoilman suhteellinen kosteus. Syksyt ovat yleensä kosteita ja sateisia, jolloin kuivumista ei tapahdu pelkästään tuuletuksen avulla vaan lisäksi tarvitaan lämmityskalustoa. Kesällä ei tarvita erillistä lämmitystä, mutta osa kesäpäivistä saattaa olla niin kosteita, ettei edes pyykki kuivu ulkoilmassa. Tällöin kannattaa harkita rakennuskuivaimen käyttöä.



Kuva 1. Betonipinnasta haihtunut vesimäärä voidaan arvioida esimerkiksi haihtumisnopeuden (kg/mlh) avulla ACI:n nomogrammista, kun tunnetaan valulosuhteet. Kuten nomogrammista pystyy lukemaan, mitä suurempi ilman virtaus on, sitä enemmän vettä haihtuu.

Kastumisen estäminen ja sääsuojaus ovat osa kosteudenhallintasuunnitelmaa. Tämän tarkoituksena on estää runkorakenteiden ja eristetilojen kastuminen mm. sade- tai sulamisvesistä. Kosteudenhallintasuunnitelmaan kuuluu selvittää ennalta ne työsuoritukset, joihin sisältyy työnaikaisen vesivahingon riski sekä suunnitella ja huolehtia rakennusmateriaalin kuivana pysyminen toimituksen ja varastoinnin aikana.

Seuraavilla toimenpiteillä voidaan ainakin vähän hallita rakennuksen rungon kastumista:

- Nostamalla runkorakenne mahdollisimman nopeasti ylös, jolloin seuraava kerros toimii edellisen kerroksen katteena
- Poraamalla ontelolaattojen vedenpoisto reiät mahdollisimman nopeasti saumausvalujen jälkeen
- Suojaamalla rakennusrungon sivut mahdollisimman varhaisessa vaiheessa joko suoja- tai eristepeitteellä tai asennettavalla ulkoseinällä. Ikkunoiden ja ovien asennus ulkoseiniin tulee aloittaa mahdollisimman pian tai muuten aukot tulee sulkea suojapeitteellä
- Poistamalla holville päässyt lumi mekaanisesti eli ei sulattamalla
- Poistamalla holville päässyt vesi mahdollisimman pian joko vesi-imurilla tai uppopumpulla riippuen veden määrästä
- Vesikatto tulee tehdä vesitiiviiksi niin pian kuin mahdollista.

Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi työmaalla tulee olla varautunut työnaikaisiin vesivahinkoihin. Näitä voi olla esimerkiksi patteriverkoston vuotaminen, vesiletkun katkeaminen tai ison vesiastian kaatuminen. Vesivahinkoihin voidaan varautua seuraavasti:

- Pitämällä huoli siitä, että työntekijät työmaalla ymmärtävät veden ”vaarallisuuden” ja jokainen osaltaan huolehtisi, ettei oman työsuorituksen seurauksena rakenteisiin pääse yhtään ylimääräistä kosteutta tai vettä
- Varmistamalla, että vesiverkostolle tehdään koeponnistus ennen sen käyttöönottamista
- Sulkemalla työmaan käyttövesijohdot päivän päätteeksi
- Pitämällä huoli siitä, että vesi-imuri on nopeasti saatavilla

- Varmistamalla kuivatuslaitteiden nopea saatavuus. [5.]

2.3 Lämmitys ja kuivaus

Jokaisen työvaiheen lopputuotteena tulee olla seuraavan työvaiheen aloituksen vaatimuksia vastaava tilanne. Esimerkiksi tasoite- ja maalaustöiden aloitukselle on tietyt kosteus- ja lämpötilavaatimukset, sekä etuputsin tulee olla tehtynä laatuvaatimuksia noudattaen. Lämmityksen ja kuivattamisen tarkoituksena on saattaa vallitsevat olosuhteet ja rakenteet sellaiseen tilaan, että eri työt voidaan tehdä sopimusasiakirjojen ja laatuvaatimusten mukaisesti vaadituissa olosuhteissa. Työnaikaista lämmitystä suunniteltaessa ja toteutettaessa tulee huomioida lämmityslaitteiden sopiva teho ja puhaltimien määrä ja sijoittaminen, jotta lämmitys saataisiin mahdollisimman tasaiseksi ympäri lämmitettävää tilaa. [7.]

Optimaalinen rakenteiden kuivuminen edellyttää mahdollisimman aikaista vaipan kiinni saamista sekä lämmityksen aloittamista ja toimivaa ilmanvaihtoa. Rakennuskohteen LVIS-urakoitsijoiden kanssa tulee sopia niistä erikoisjärjestelyistä, joita kohteen kosteudenhallinta edellyttää. Esimerkiksi IV-urakoitsijan kanssa voidaan sopia mahdollisten kanavapuhaltimien asentamisesta.

Parhaimpien mahdollisten kuivumisolosuhteiden luomiseen, jotta suunnitellussa aikataulussa pysytään, vaikuttaa rakenteiden kosteus kuivattamisen aloittamishetkellä, materiaalin kuivumisominaisuudet (haihtumispinta-ala ja rakenteen paksuus) sekä aikataulussa kuivumiseen varattu aika.

Rakennuksen kuivatuksen suunnittelussa ja toteutuksessa tulee huomioida seuraavat periaatteet:

- Ennen kuin kuivatus aloitetaan, estetään lisäkosteuden pääseminen kuivatettavaan tilaan
- Poistetaan kuivatettavasta tilasta mekaanisesti vesi ja lumi
- Varmistetaan ettei tilassa ole kylmiä pintoja, joihin kosteus voi tiivistyä

- Osastoidaan kuivatettava tila niin, ettei poistettava kosteus pääse siirtymään viereisiin rakenteisiin. Rakennuskuivain on oleellinen osa kuivatusta. Mikäli rakennuskuivainta käytetään, tulee tilan olla tiivis, jotta kuivain ei kerää ulkoilman kosteutta
- Pyritään saamaan kohteen lopullinen lämmitysjärjestelmä käyttöön mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Mikäli se ei ole mahdollista tai sen teho on riittämätön, käytetään lisälämmityslaitteita esim. lämpöpuhaltimia
- Lämmitys- ja kuivatuslaitteiden saatavuus tulee varmistaa
- Varmistetaan kosteuden hallittu poistuminen riittävällä tuuletuksella
- Seurataan kuivatuksen tehokkuutta lämpö- ja kosteusmittarilla sekä ulkopuolisen tekemillä rakennekosteusmittauksilla. [5.]

2.4 Talvibetonointi

Lumisade ja pakkanen aiheuttavat haasteita niin paikallavalu- kuin myös elementtirakentamiselle. Alhaisissa lämpötiloissa betonoitaessa sementit reaktiot veden kanssa hidastuvat, jonka seurauksena myös betonin lujuudenkehitys hidastuu merkittävästi. Pahimmassa tapauksessa betoni voi jäättyä ennen kuin se saavuttaa 5 MPa:n jäätymislujuuden, joka aiheuttaa vakavaa lujuuskatoa betonissa.

Ulkolämpötilan ollessa alle +5 °C, betonointi vaatii erikoistoimia riittävän nopean lujuudenkehityksen ja laadukkaan lopputuloksen varmistamiseksi. Näitä alhaisissa lämpötiloissa tapahtuvia betonointitoimenpiteitä kutsutaan talvibetonoinniksi. Kylmyyden lisäksi talvibetonoinnissa on varauduttava tuulen sekä vesi-, räntä- ja lumisateiden aiheuttamiin häiriöihin.

Talviolosuhteet asettavat jokaisessa betonityövaiheessa omia erikoisvaatimuksia: valmistuksessa, kuljetuksessa, betonoinnissa ja jälkihoidossa. Esimerkiksi talvisin valmistettaessa betonia, sen kiviaines ja vesi lämmitetään vallitsevien olosuhteiden mukaisesti siten, että betonimassan lämpötila ei laske alle +5 °C betonointityön aikana.

Ennen valun aloittamista lähtöpinnat, kuten muotti, perusmaa, kallio tai aiemmin valettu betoni tulee lämmittää ennakkoon siten, että ne eivät pääse aiheuttamaan jäätymistä betonissa. Kaikki lumi ja jää tulee sulattaa tai poistaa mekaanisesti muottikalustosta ja raudoituksesta. Betonimassan lämpöhäviötä voidaan pienentää suojaamalla tai lämmitämällä kalustoa kuljetuksen ja siirron aikana.

Jälkihoidon eli betonin kovettumisen ja kuivumisen aikana on huolehdittava siitä, että betonilla on sopivat olosuhteet lujuudenkehitykseen, mikä edellyttää vastavalettujen rakenteiden suojaamista ja lämpöeristämistä. Vaikka betonimassa tuottaa lämpöä hydrataatioreaktioiden seurauksena, se ei estä jäätymistä eikä takaa riittävää lujuudenkehitystä. [12, s. 491]

Betonin lujuudenkehitykseen vaikuttaa sementin lisäksi merkittävästi myös betonin lämpötila. Lujuudenkehitys hidastuu olennaisesti lämpötilan laskiessa alle 0 °C:n ja se pysähtyy lähes kokonaan -0...-15°C. Betonimassa sisältää aina vettä ja jäätyessään vesi laajenee noin 9 %, joka aiheuttaa betoniin sisäisiä rasituksia, jotka betonin tulee kestää rikkoutumatta. Kun jäätymislujuus on saavutettu, betoni kestää yhden jäätyksen, mutta ei toistuvaa pakkasrasitusta. [12, s. 493–494]

Lämpötila	Huomioita
> +60 °C	Seurauksena lujuuskatoa ja säilyvyyden heikentyminen. Lujuuskadon määrä selvitetään ja otetaan huomioon.
+50...60 °C	Yhden vuorokauden lujuudet nousevat, mutta valmiin betonin lujuusominaisuudet saattavat kärsiä (lujuuskato).
+30...40 °C	Betonimassan suositeltava kovettumislämpötila.
+20 °C	Betonin tavoitelujuus saavutetaan n. 28 vrk:n kuluttua.
+5 °C	Betonilla ei ole havaittavaa lujuutta vielä yhden vuorokauden iässä.
< 0 °C	Betonin lämpötilan laskiessa alle 0 °C:n lujuudenkehitys käytännössä lakkaa. Betonissa oleva vesi alkaa jäätymään.
-10...-15 °C	Lujuudenkehitys pysähtyy käytännössä katsoen kokonaan. Jäätäneellä betonilla saattaa olla valelujuutta.

Kuva 2. Kuvassa on esitetty eri lämpötilojen vaikutusta betonin lujuudenkehitykseen.

Talvibetonoinnissa vaarallista on betonin valelujuus. Betonin jäätyessä sen lujuudenkehitys saattaa aluksi vaikuttaa täysin normaalilta, mutta todellisuudessa lujuus johtuu ainoastaan jäätyksen aiheuttamasta kovettumisesta. Valelujuus huomataan, kun betonirakennetta aletaan lämmittämään ja jää sulaa betonin sisältä. Tässä vaiheessa betonin lujuus laskee merkittävästi ja betoni on jo vaurioitunut pysyvästi. Eräs Suomen

suurimmista rakennusalan katastrofeista tapahtui nimenomaan valelajuuden takia. Turmassa sortui rakenteilla oleva 9-kerroksinen asuinkerrostalo. [12, s. 495.]

Talviolosuhteissa käytetään yleensä kuumabetonia, pakkasbetonia, nopeasti kovettuvaa betonia tai olosuhteiden salliessa normaalisti kovettuvaa rakennebetonia. Lujoudenkehitystä voidaan nopeuttaa myös nostamalla betonin lujuusluokkaa.

Normaalisti kovettuvaa rakennebetonia käytetään talvibetonoinnissa, kun lämmitys ja suojaus ovat tehokkaita eikä ole tulossa paukkupakkasia.

Nopeasti kovettuvat betonit saavuttavat nimellislujutensa seitsemän vuorokauden kuluessa, mikäli lämpötila on $+20^{\circ}\text{C}$. Nopeasti kovettuva betoni tuottaa kovettuessaan runsaasti lämpöä, mikä nostaa vastabetonoidun rakenteen lämpötilaa.

Kuumabetoni tarkoittaa betonia, joka on lämmitetty valmiiksi betoniasemalla huomattavasti normaalisti toimitettavaa betonia kuumemmaksi. Kuumabetoni on työmaalla suosittua, sillä se pääosin korvaa työmaan lämmitystarpeen, mutta ei kokonaan. Esimerkiksi kylmiin kohtiin rajoituessa tarvitaan lisälämmitystä. Kuumabetonin lämpötila vaihtelee kohteesta riippuen $+30\dots40^{\circ}\text{C}$ välillä, kun taas normaalibetonin lämpötila on $+20^{\circ}\text{C}$.

Pakkasbetonia käytetään lähtökohtaisesti elementtien saumavaluissa. Pakkasbetoni ei ole sopiva kohteisiin, joissa vaaditaan säänkestävyyttä tai suolarasitusta. Pakkasbetonia voidaan käyttää pienessä pakkasessa, mutta tällöin sen lujoudenkehitys hidastuu huomattavasti. Normaaliin betoniin verrattuna pakkasbetonin lujuus kehittyy vielä -10°C lämpötilassa, mutta on tällöin melko hidasta. Pakkasbetonia ei tule sekoittaa keskenään pakkasenkestävän betonin kanssa. Pakkasenkestävä betoni kestää kylmää rasitusta vasta jäätymslujuuden saavutettua. Pakkasbetonin käyttö vähentää lämmityksen tarvetta elementtien saumavaluja tehdessä. [12, s. 500–502.]

Talvibetonoinnissa oleellista on myös valun jälkeinen suojaus. Rakenteesta riippuen suojaus voidaan toteuttaa joko suojapeitteellä tai muottien lämmöneristyksellä. Elementtirakenteisessa kohteessa suojauksien tarve on huomattavasti pienempi kuin paikalla valettujen rakennuksien. Elementtirakenteisessa asuinkerrostalossa esimerkiksi talvella valettavat anturat voidaan eristää valumuotin sisäpuolelta EPS-eristeellä, jolloin eriste jää anturoihin pysyvästi. Tällöin valumuotin leveys suurenee. Tämän lisäksi antu-

ran päälle voidaan asentaa valun jälkeen lämpöä eristävä suojapeite. Tässä yhteydessä käytetään tyypillisesti kuumabetonia ja tarvittaessa lankalämmitystä. Riittäväällä lämpötilalla taataan betonin asianmukainen lujoudenkehitys. Suojaus ja lämmitystoimenpiteissä tulee aina huomioida vallitsevat olosuhteet. [12, s. 506.]

3 Lämpö- ja kosteusfysiikka

Ilman suhteellisella kosteudella on merkittävä osuus rakennusfysiikassa. Se kertoo, kuinka paljon ilmassa on prosentuaalisesti vesihöyryä siihen nähden, mitä kyseisessä lämpötilassa voi enintään olla vesihöyryä. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se voi sisältää vesihöyryä. Esimerkiksi 20 °C ilma voi sisältää enintään 17,3 g/m³ vesihöyryä. Tätä kutsutaan kyllästyskosteudeksi. Mikäli 20 °C ilma sisältää vesihöyryä 8,65 g/m³ on suhteellinen kosteus 50 %. Yön aikana lämpötila usein putoaa ja kosteutta alkaa tiivistymään rakenteisiin. Tämä johtuu siitä, kun lämpötila saavuttaa kastepistelämpötilan, jolloin kyseisessä lämpötilassa suhteellinen kosteus nousee 100 % ja ilma ei enää pysty sisältämään enempää vesihöyryä. [13.]

Ilman suhteellisella kosteudella on rakenteiden kuivattamisessa myös olennainen osa. Ilman suhteellisen kosteuden tulee olla riittävän alhainen noin 50 %, mutta enimmillään 60 %, jotta kuivumista tapahtuisi mahdollisimman paljon. Liian alhainen ilmankosteus ei kuitenkaan lyhennä kuivatusaikaa. Esimerkiksi alle 30 % ilmankosteus kertoo liian suuresta lämmitysenergiähukasta. [5.]

Ulkoilman suhteellinen kosteus on Suomessa 70–90 % välillä ja sisäilman 40–60 % välillä. Saunassa ilman suhteellinen kosteus on vain 20 % luokkaa, johtuen korkeasta lämpötilasta. Talvella ulkoilman suhteellinen kosteus voi olla taas lähellä 100 %, koska sen kyllästyskosteus on vain murto-osan lämpimän kesäpäivän vastaavista arvoista.

Taulukko 1. Taulukossa on esitetty ilman suhteellisen kosteuden kriittisiä arvoja. [14, s. 439–440]

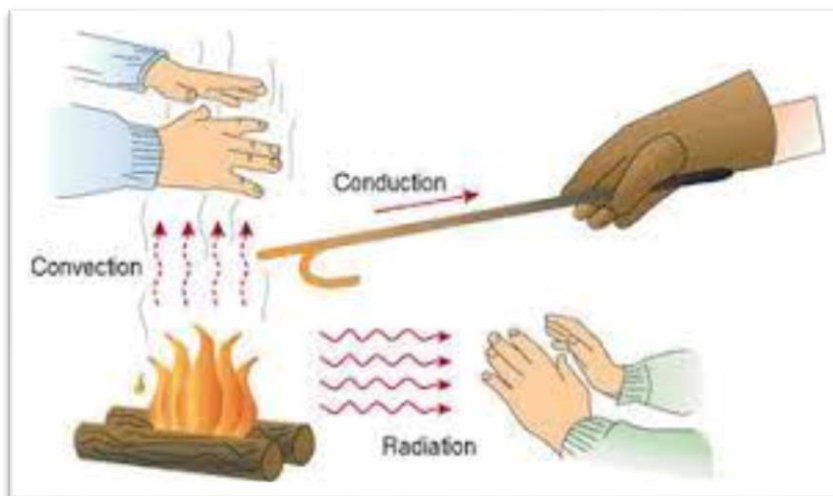
Ilman suhteellinen kosteus %	Kosteudesta aiheutuva ilmiö
60	Hiiliteräs ruostuu
75	Pinnoille syntyy hometta (3–45 °C)
80	Puu lahoaa (3–45 °C)
90	Lattialiimojen tartuntalujuus heikkenee
95	Muovimatot turpoavat

Kosteus siirtyy rakenteessa tai ilmassa aina kuivempaan suuntaan. Kosteuden siirtymistapoja on kolme: konvektio, konduktio ja säteily. [8.] Säteily ei tarvitse väliainetta edetäkseen, kun taas konduktio ja konvektio tarvitsevat väliaineen, joka siirtää lämpöenergiaa. [10.]

Konvektiolla eli kuljettumisella tarkoitetaan lämmön siirtymistä nesteessä tai kaasussa lämmön aiheuttamien virtausten mukana. Se aiheutuu lämpötilaerosta, joka aiheuttaa tiheyseroja. Kuuma ja harva aine nousee painovoimakentässä ylöspäin. Esimerkiksi keitettäessä vettä hellalla, voi havaita veden kiehumisen myötä, että kattilasta nousee kuumaa vesihöyryä ylöspäin. Tätä kutsutaan konvektioksi. [8.]

Johtuminen eli konduktio on lämmönsiirtoa suoraan kemiallisesta aineesta toiseen. Johtumisen ja konvektion erona on se, että johtumisessa ainetta ei siirry, kun taas konvektiossa aine kuljettaa lämpöenergiaa. Esimerkki tilanne johtumisesta on hopeisen teelusikan upottaminen kiehuvaan teeveteen. Hopea johtaa hyvin lämpöä, joten hopeinen teelusikka alkaa lämpenemään nopeasti. [9.]

Säteilyllä tarkoitetaan infrapuna-alueen sähkömagneettista säteilyä. Säteilyä lähettävät kaikki kappaleet, jotka ovat lämpötilaltaan absoluuttisen nollapisteen (-273 °C) yläpuolella. Lämpimän patterin elektronit luovuttavat osan energiastaan infrapunasäteilyinä. Kun säteet osuvat ilmamolekyyleihin, niiden energia siirtyy molekyyleihin ja saa ne liikumaan nopeammin, jolloin asunnon lämpötila nousee. [10.]



Kuva 3. Kuvassa havainnollistettu konvektio, konduktio ja säteily.

4 Betonin kosteus ja kuivuminen

4.1 Yleistä

Työmaan työnaikaisen lämmityksen tarkoitus on kuivattaa rakenteita ja luoda miellyttävämpi työskentely ympäristö. Kuivattamista suunniteltaessa on tärkeää tietää, mihin kosteustasoon mikäkin rakenne tulee kuivua, paljonko kuivumiseen on varattu aikaa, mikä on rakenteen kosteus alussa sekä mitkä ovat kyseisen materiaalin tyypilliset kuivumisominaisuudet. Työmaan kannalta betonin kuivattaminen vie eniten aikaa.

Tehokkain tapa nopeuttaa rakenteiden kuivumista on lämpötilan nostaminen. Sisäilman lämpötilaa nostamalla saadaan sekä ympäröivän ilman suhteellinen kosteus laskemaan että rakenteiden lämpötila nousemaan. Lämpötilan noustessa useimpien rakennusmateriaalien huokosrakenteessa vesihöyrynsapaine kasvaa, joka kasvattaa kosteutta siirtäviä voimia. Toisin sanoen mitä lämpöisempi rakennusmateriaali on, sitä nopeammin kosteus poistuu siitä. [4.]

Osa rakenteeseen joutuneesta vedestä valuu painovoiman vaikutuksen vuoksi pois. Suhteellisen kosteuden ollessa $> 98 \%$ kosteus siirtyy kapillaarisesti materiaalien sisältä rakenteiden pinnoille ja ilmavirtaukset kuivattavat rakenteiden pinnat. Tällöin puhutaan kapillaarisesta kosteusalueesta. Mikäli suhteellinen kosteus on $< 98 \%$ kosteus poistuu materiaalien sisältä diffuusiolla ja ilmavirtausten mukana.

Lähtökohtaisesti kuivumista voi tapahtua luonnollisesti, ilman erityisiä lisätoimenpiteitä, mutta kuivumisajasta voi tulla kohtuuttoman pitkä. Kuivumista ei tapahdu, mikäli ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on 100% . [5.]

Betonirakenteiden kuivumisaikaa arvioidessa tulee huomioida tavoitekosteus, rakenneratkaisu, betonilaatu sekä kuivumisolosuhteet. Tavoitekosteuteen vaikuttaa tulevan päällysmateriaalin kosteudensietokyky. Rakenneratkaisulla tarkoitetaan rakenteen paksuutta sekä haihtumispinta-alaa eli toisin sanoen kuivuuko rakenne yhteen vai kahteen suuntaan. Yhteen suuntaan kuivuva rakenne voi olla esimerkiksi liittolaatan päälle tehtävä lattiavalu, kun taas paikalla valettu välipohjarakenne on kahteen suuntaan kuivuva. Betonilaadulla tarkoitetaan betonin vesisementtisuhdetta, notkeutta ja raekokoa. Kaikista merkittävin tekijä betonin kuivumisessa on vallitsevat olosuhteet. Vallitsevilla olosuhteilla tarkoitetaan ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Betonirakenteiden kuivumisen kannalta tavoite olosuhteet ovat $+20 \text{ °C}$ ja ilman suhteellinen kosteus 50% .

Usein betonirakenteiden riittävän nopeaan kuivumiseen riittää $+20 \text{ °C}$, mutta lämpötilan ollessa $25\text{--}30 \text{ °C}$ välissä, kuivuminen nopeutuu merkittävästi. Tätä suurempia lämpötiloja käytetään vain lähtökohtaisesti vesivaurioiden pikakuivatuksessa. Betonirakenteita lämmittäessä tulee huomioida, että nuori betoni on altis halkeilulle, joten sitä ei saa lämmittää liikaa.

Markkinoilla on nykyisin myynnissä NP-betonia eli nopeammin päällystettävää betonia. NP-betonin kuivumisnopeus perustuu normaalibetoneja suurempaan sementtimäärään

ja alhaisempaan vesimäärään. Betonin kuivuminen ja kovettuminen sekoitetaan usein keskenään, mutta ne ovat kuitenkin eri asia. Esimerkiksi nopeammin kovettuva betoni ei kuivu tavallista betonia yhtään nopeammin ja toisaalta 95 % nimellislujudesta saavuttanut betoni voi vaatia vielä pitkän ajan kuivumiseen. NP-betonin etuna on sen tiiveys, joka vähentää veden imeytymisen ja kastumisen vaikutusta kuivumisnopeuteen. [4.]

Rakennusmateriaalina betoni on huokoinen ja se imee itseensä vettä samalla periaatteella kuin pesusieni. Tämän takia on tärkeää pitää betonirakenteet niin kuivana kuin mahdollista rakentamisen aikana. Veden kapillaarinen siirtymisnopeus riippuu huokosalipaineesta sekä veden virtausta vastustavista kitkavoimista. Esimerkiksi erään tutkimuksen mukaan veden tunkeutumiseen 50 mm syvyyteen betonissa kului 35 tuntia. [6.]

Betonimassat sisältävät vettä noin 180–200 kg/m³. Tästä vesimäärästä noin 40–70 kiloa sitoutuu kemiallisesti betonin kovettuessa. Kemiallisesti sitoutuneen veden lisäksi betonikuutio sisältää 25–40 kiloa hygroskooppista kosteutta, joka pitää betonin kosteuspuitoisuuden tasapainossa vallitsevan ilman kanssa. Jäljelle jäävä vesimäärä (70–115 kg/m³) on rakennekosteutta, josta valtaosa on kuivatettava pois ennen betonin päällystämistä tai pinnoittamista.

Betonin jälkihoidolla ylläpidetään betonin lämpötilaa ja kosteutta, jotta sementin hydraatioreaktio pääsee tapahtumaan keskeytyksettä. Betonin liian aikainen kuivuminen aiheuttaa kutistumista, joka aiheuttaa halkeilua ja taipumia. Valun jälkeen ensimmäisen 24 tunnin aikana varhaiskutistuma voi olla jopa 0,7 %, mikäli valuolosuhteet ovat huonot ja betoni on kosketuksissa erittäin kuivan ilman kanssa (RH 20–40 %). Halkeiluriski voidaan minimoida pitämällä valettu lattia kosteana ja estää liian nopea veden haihtuminen esimerkiksi valetun pinnan päälle asetettavalla muovikalvolla.

Betonin kuivatusaikaa voidaan lyhentää suojaamalla valu lumi- ja vesisateilta sekä aloittamalla kuivatus, kun betoni on saavuttanut 75–85 % nimellislujudestaan. Tämä lyhentää erityisesti ohuiden laattojen kuivatusaikaa. [5.]

4.2 Betonirakenteiden kokeellisia kuivumisaikoja

Valtaosa 2000-luvun asuinkerrostaloista ovat elementtirakenteisia. Tässä kappaleessa keskitytään elementtirakenteiden keskeisiin kuivumisaika-arvioihin. Kuivumisaika-arviot ovat aina suuntaa-antavia ja ovat tarkoitettu käytettäväksi rakennusaikataulujen ja kuivatuksen suunnitteluun. Täysi varmuus rakenteen kosteudesta saadaan vain ammattilaisen tekemällä kosteusmittauksella. Lujatalolla on esimerkiksi käytössä excel- taulukko, johon voidaan syöttää betonirakenteen ominaisuudet sekä vallitsevat kuivumisolosuhteet. Taulukko laskee kyseisten muuttujien perusteella arvion kuivumisajasta.

4.2.1 Ontelolaatta + lattiatasoite

Tyypillinen rakenneratkaisu elementtirakenteisessa kohteessa on ontelolaatta + lattiatasoite yhdistelmä. Kuivumisaika-arvio kyseiselle rakenteelle voidaan laskea seuraavasti: **Arvioitu kuivumisaika = Peruskuivumisaika x Ontelolaatan kosteus x Tasoitteen paksuus x Kuivumisolosuhteet.**

Peruskuivumiskäyrästä saadaan peruskuivumisaika eli kuinka kauan rakenteella kestää kuivua tiettyyn suhteelliseen kosteuteen. Esimerkiksi, jos halutaan betonin suhteellinen kosteus arvoon 85 %, peruskuivumisaika on 12 viikkoa. Lasketaan seuraavaksi, kuinka pitkä arvioitu kuivumisaika on, kun otetaan kaikki muuttujat huomioon. Oletetaan, että ontelolaatan kosteus on 90...95 %, tasoitteen paksuus keskimäärin 20 mm ja kuivumisolosuhteet optimaaliset eli 25 °C ja ilman suhteellinen kosteus 50 %.

$$\text{Arvioitu kuivumisaika} = 12 \text{ vk} \times 1,0 \times 1,6 \times 0,7 = \text{13,4 vk}$$

Vertailun vuoksi otetaan sama tilanne, mutta ilman suhteellinen kosteus 80 % ja lämpötila 10 °C.

$$\text{Arvioitu kuivumisaika} = 12 \text{ vk} \times 1,0 \times 1,6 \times 1,7 = \text{32,6 vk}$$

Tämän perusteella voidaan todeta, että kuivumisolosuhteilla on erittäin suuri merkitys kuivumisajan kannalta. Asuinkerrostaloissa on usein lattiamateriaalina parketti, laminaatti- tai vinyylilankkulattia. Erityisesti parketti on herkkä kosteudelle ja rakenteen riittävästä kuivumisesta tulee varmistua ennen lattiamateriaalin asentamista. Parketin kohdalla mikrobivaurioitumisen raja-arvona pidetään 75 % suhteellista kosteutta tasoitteen pinnasta. [19.]



Kuva 4. Kuvassa on esitetty ontelolaatta + lattiatasoite peruskuivumiskäyrä.

Taulukko 2. Taulukon kertoimien perusteella voidaan laskea arvio kuivumisaajasta ontelolaatta + lattiatasoite rakenteelle.

Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Tasoitteen pak- suus (mm)		Kerroin
Alle 90 %	0,6	20		1,6
90...95 %	1,0	10		1,0
Yli 95 %	1,3	5		0,8
Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

4.2.2 Kololaatta + jälkivalu

Ontelolaattakentässä on usein jätetty kylpyhuoneiden ja saunojen kohdalle syvennys, johon muurataan seinät ja valetaan kaatolattiat jälkikäteen. Tämä on erittäin yleinen ratkaisu ja kyseisen rakenteen jälkivalun kuivuminen on merkittävässä roolissa vedeneristys- ja laatoitustöiden aloituksen osalta. Laatoitettavan pinnan tulee olla riittävän kuiva, jotta vesieriste ja laatat pysyvät paikallaan. Kuivumisaika-arvio kyseiselle rakenteelle voidaan laskea seuraavasti: **Arvioitu kuivumisaika = Peruskuivumisaika x Kololaatan kosteus x Jälkivalun paksuus x Jälkivalun vesi/sementti suhde x Kastumisaika x Kuivumisolosuhteet.**

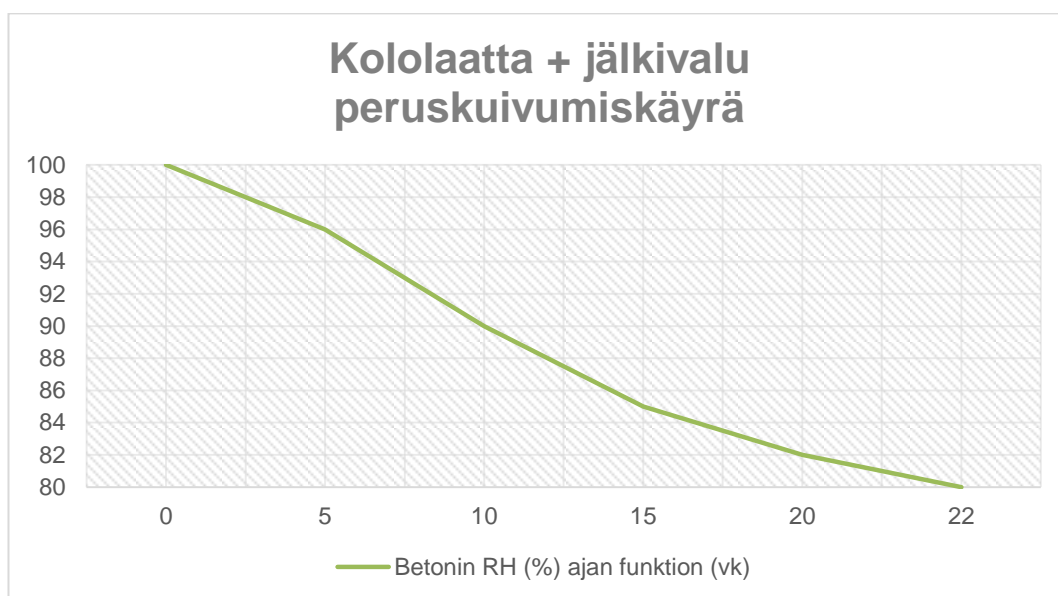
Esimerkki tilanne: Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua 90...95 %, Vesi/sementtisuhde 0,6, Jälkivalun paksuus 150 mm, säilytetty kuivassa ja kuivumisolosuhteet 25°C ja RH 50 %. Halutaan kuivuvan arvoon 85 % eli peruskuivumisaika kuvaajan mukaan on 15 viikkoa.

Arvioitu kuivumisaika = 15 vk x 1,0 x 0,7 x 1,2 x 0,7 x 0,7 = 6,2 vk

Otetaan vielä vertailun vuoksi tilanne, jossa laatta on kastunut yli 2 viikkoa ja kuivatusolosuhteet ovat huonot 10°C ja RH 80 %.

Arvioitu kuivumisaika = $15 \text{ vk} \times 1,0 \times 0,7 \times 1,2 \times 1,2 \times 1,7 = \mathbf{25,7 \text{ vk}}$

Vaikka kyseiset laskelmat ovat vain arvioita, antavat ne hyvän kuvan siitä, kuinka tärkeässä roolissa oikeat olosuhteet ovat kuivumiselle. [19.]



Kuva 5. Kuvassa on esitetty kololaatta + jälkivalu peruskuivumiskäyrä.

Taulukko 3. Taulukon kertoimien perusteella voidaan laskea kuivumisaika-arvio kololaatta + jälkivalurakenteelle. [19.]

Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Vesi/sementti suhde		Kerroin
Alle 90 %	0,9	0,7		1,0
90...95 %	1,0	0,6		0,7
Yli 95 %	1,5	0,5		0,5
Jälkivalun paksuus (mm)				
		Vesi/sementti suhde		
		0,7	0,6	0,5
100	0,8	0,7	0,7	
120	1,0	0,9	0,9	
150	1,3	1,2	1,2	
Kastuminen				
		Vesi/sementti suhde		
		0,7	0,6	0,5
Kuivassa	0,8	0,7	0,7	
Kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	0,9	0,9	
Kastunut yli 2 viikkoa	1,3	1,2	1,2	

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Plaanolattioiden ja kololaattojen lisäksi kosteusmittauksia tehdään myös seinistä ennen tasoite ja maalaustöiden aloittamista, jotta varmistutaan riittävästä kuivumisesta. Edellä mainitut rakenteet ovat kuitenkin erittäin yleisiä elementtirakentamisessa, joten on hyvä ymmärtää kuinka kauan niiden kuivuminen suunnilleen vie aikaa.

4.3 Betonilattioiden päällystämiskosteudet

Eri lattiamateriaaleilla on erilaiset raja-arvot betonin suhteelliselle kosteudelle. Lattian on tärkeä olla riittävän kuiva ennen päällystämistä, jottei lattiasta jälkikäteen nouse kosteutta. Asennuksen jälkeinen kosteus voi aiheuttaa liiman heikkenemistä ja materiaalin irtoamista sekä mikrobivaurioita.

Taulukko 4. Taulukossa esitetty suhteellisen kosteuden raja-arvoja eri lattiapäällysteille. [20.]

Lattiapäällyste	Betonin RH (%) arviointisyvyydellä	Betonin/Tasoitteen RH (%) pinnassa ja 1...3 cm syvyydellä
Kelluva lautaparketti ja alusmateriaali	85	75
Laminaatti	85	75
Mosaiikkiparketti	85	75
Muovimatot	85	75
Täyssynteettiset matot ilman alusmateriaalia	85	75

4.4 Tuuletuksen merkitys rakenteiden kuivatuksessa

Tuuletuksen merkitys on erittäin isossa roolissa rakenteiden kuivattamisessa. Ilman asianmukaista ilman kiertämistä, ei kuivumista juuri tapahdu. Asiantuntijan mukaan lämpö on kuivatusprosessissa sivutuote. Usein suositellaankin, että kuivatettavaan kohteeseen tulisi asentaa lämmityskaluston lisäksi riittävästi siirtoilmapuhaltimia, jotta ilma ja lämpö pääsee kiertämään tasaisesti koko tilassa.

Materiaalin ilmanläpäisevyys on myös merkittävä aineominaisuus kuivatuksen kannalta, sillä kerroksellisia rakenteita voidaan kuivattaa ilmavirtauksien avulla. Kun ilma liik-

kuu, se sitoo kosteutta itseensä, jolloin kosteus lähtee liikkeelle kuivatettavista rakenteista. [5.]

Tuulettamisessa tulee kuitenkin huomioida vuodenaika. Syksyllä ei kuivumista juuri tapahdu pelkän tuuletuksen avulla, koska ulkoilma on niin kosteaa. Syksyllä suositellaankin lämpötilan nostamista ja tuuletuksen vähentämistä, kun taas kesällä runsas tuuletus on kannattavampaa.

Mikäli kuivattamisessa päädytään käyttämään joko kondenssikuivainta tai adsorptiokuivainta, tulee kuivatettavan tilan olla tiivis. Jos tila ei ole tiivis, ulkoilman kosteus siirtyy sisätilaan ja toisin sanoen rakennuskuivain alkaa kuivamaan koko ilmakehää. Työmaalla työnaikaisessa lämmityksessä ei käytetä juuri lainkaan rakennuskuivaimia vaan luotetaan lämmityskalustoon ja siirtoilmapuhaltimiin. Työmaalla rakennuskuivaimiin turvaudutaan ”viimeisenä keinona”, koska rakennus on aina ennenkin kuivunut ilman rakennuskuivaimia ja kosteusvaurioista ei ole tietoaakaan.

5 Lämmitysjärjestelmät

5.1 Maa- ja biokaasulämmitys

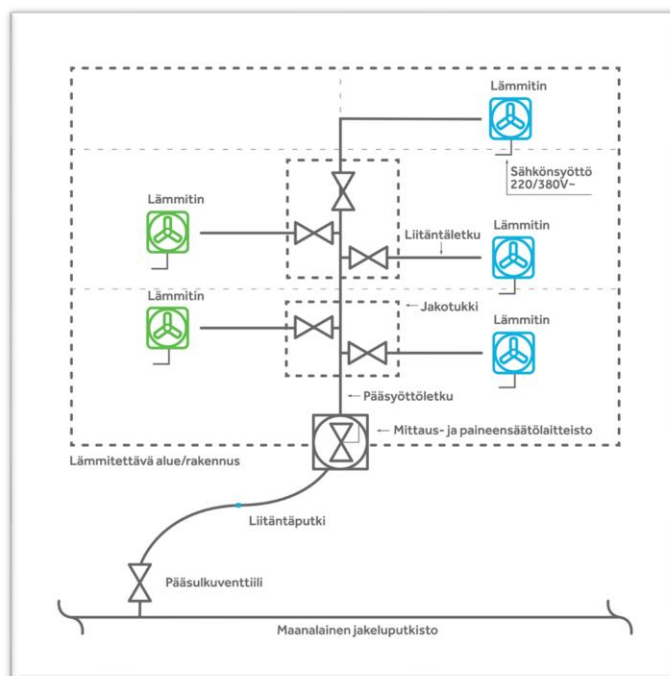
Maakaasu on suurimmaksi osaksi metaanista koostuva fossiilinen polttoaine, jota syntyy biomassan hajotessa maan alla. Maakaasu toimii erinomaisena energianlähteenä sekä sähköntuotannolle että kaukolämmölle. Suomessa maakaasun käyttö aloitettiin 1974 vuoden alkupuolella ja nykyisin maakaasun jakeluverkosto kattaa Suomen kaakois- ja eteläosan.

Biokaasua voidaan valmistaa lähes mistä tahansa eloperäisestä raaka-aineesta, kuten esimerkiksi lannasta, jätevesilietteestä, biojätteestä tai teollisuuden ylijäämäjätteestä. Tämä tekee biokaasusta 100 % uusiutuvan energiamuodon. Biokaasun jakeluun käytetään samaa jakeluverkostoa kuin maakaasunkin. [3.]

Maa- ja biokaasulämmitys on vielä toistaiseksi aika harvinainen lämmitysmuoto, mutta se tulee varmasti yleistymään ympäristöystävällisyyden vuoksi. Biokaasua käytettäessä laskennalliset päästöt ovat nolla. 100 kilowatin maakaasulämmitin tarvitsee toimiakseen ilmaa vähintään 100m³/h ja palokaasut sisältävät vettä noin 16 kg/h ja hiilidioksi-

dia 20 kg/h. Lämmittimet toimivat automaattisesti eli ne käynnistyvät ja sammuvat automaattisesti termostaatin säätöjen mukaisesti. Lämmitettäessä bio- tai maakaasulla, polttoaineen varastointilupaa ei tarvita. Kuitenkin, jos lämmityslaitteiston teho on yli 1,2MW, tarvitaan maakaasunkäytönvalvoja. Mikäli laitteiston yhteisteho on alle 6MW ja kaasun toimittajalla on alueellinen rakentamislupa, ei tarvita erillistä rakentamislupaa. Maa- ja biokaasulämmittimet vaativat sähköä toimiakseen.

Maa- ja biokaasulla lämmittäminen on turvallista. Kaasu on ilmaa kevyempää, joten se nousee ylöspäin ja tuulettuu nopeasti. Sen lisäksi kaasu on hajustettu, joten ihminen havaitsee pienimmätkin kaasuvuodot. Kaasun syttymisalue on kuitenkin pieni. Se vaatii syttyäkseen 5–15 % kaasupitoisuuden ja 650°C lämpötilan. [16.]



Kuva 6. Kuvassa on esitetty periaatekuva rakennusaikaisesta kaasulämmityksestä. Kohteeseen rakennetaan väliaikainen kaasun käyttöputkisto kaasulle hyväksytyillä teräskudos vahvisteisilla letkuilla. Käyttöputkisto haaroitetaan lohkoittain ja kerroksittain teräksisillä jakotukeilla. Jakeluun käytettävät letkut ovat 20 metrin mittaisia. Venttiilit asennetaan vähintään seinien ja kerroksien väliin, rungossa 100 metrin välein ja liitäntäletkuissa 40 metrin välein. [16.]

Kaasulämmitystä voidaan käyttää uudis- ja saneerauskohteissa. Mikäli kohteessa on valmiina kaasuliittymä, niin rakennuslämmittimien tarvitsema kaasu otetaan siitä. Tarvittaessa voidaan rakentaa ”tilapäinen” kaasuliittymä, jota voidaan käyttää myös rakennuksen valmistuttua yhtenä energiamuotona. Kaasuliittymän rakentamisen jälkeen rakennukseen asennetaan tarvittava kaasuverkosto teräskudosvahvisteisilla kumiletkuil-

la, joihin voi liittää lämmittimiä. Lämmitykseen kulunut energia lasketaan mitatun kaasumäärän mukaan ja laskutetaan megawattitunteina. [3.]

5.2 Nestekaasu

Nestekaasulämmitystä käytetään yleensä siinä vaiheessa, kun rakennuksen vaippa ei ole tiivis ja lämpöhäviö on suurta eli toisin sanoen runkovaiheessa. Nestekaasulämmitykseen voidaan liittää säteilijöitä, joiden teho vaihtelee 2–50 kilowatin välillä. Säteilijöitä käytetään esimerkiksi kohdelämmitykseen valettaessa ontelolaattojen saumoja. Nestekaasujärjestelmään voidaan liittää myös tarpeen mukaan tehokkaita lämpöpuhaltimia (120 kilowattia). Nestekaasulämmittäminen tuottaa myös runsaasti kosteutta, joten sitä ei suositella käytettäväksi sisätyövaiheessa. Osa nestekaasulämmittimistä ovat yhteensopivia maa- ja biokaasulämmittimien kanssa.



Kuva 7. Nestekaasulla toimiva 50 kilowatin lämmityspuhallin.

Nestekaasukäyttöisten säteilijöiden eli infrapunalämmittimien toiminta perustuu lämmön siirtymiseen säteilyllä säteilijöistä lämmitettävään kohteeseen. Säteilyenergia muuttuu lämmöksi vasta kohdatessaan kiinteän aineen. Infrapunalämmitys on herkkä ilmavirtauksille.

Taulukko 5. Taulukossa esitetty rakenteen lämpötilan riippuvuus infrapunasäteilijän etäisyydestä kohteeseen. [12, s. 511]

Säteilijän etäisyys kohteesta [m]	Lämpötila kohteessa [°C]
0,5	+130
1,0	+90
1,5	+70
2,0	+50

Nestekaasun puhtaan palamisprosessin ansiosta lämmitysmuodon hyötysuhde on korkea. Tämän takia sitä käytetään erityisesti runkovaiheessa. Yksi nestekaasu kilo tuottaa noin 12,9 kWh energiaa, joka on noin 30 % enemmän kuin polttoöljyllä. Nestekaasulämmittäminen on ympäristöystävällistä ja myös turvallinen vaihtoehto työntekijöille, sillä sen palaessa syntyy pääasiassa vain hiilidioksidia ja vesihöyryä eli samoja aineita kuin ihmisen uloshengityksessä. [2.]



Kuva 8. Kuvassa on esitetty 11 kilowatin nestekaasulla toimiva säteilylämmitin.

Työnaikaisessa lämmityksessä tulee kustannusten lisäksi huomioida lämmityslaitteiden oikea sijoittaminen ja kuinka paljon työmaalla on varattu tilaa niille. Runkovaiheen nestekaasu lämmittimet eivät vie kovinkaan paljoa tilaa ja ovat helppoja siirtää. Nestekaasulämmittimien letkut on tehty NBR-kumista ja vaippa on vahvistettu EPDM-kumilla. Runkolinjan letku on paksumpaa ja valmistettu eri materiaalista. Nestekaasulinja vedetään joko porraskuilun tai parvekkeen kautta.

Nestekaasua varastoidaan 11 ja 33 kg kaasupulloissa, 190 ja 210 kg kaasuastioissa sekä 6-8 m³ nestekaasusäiliöjärjestelmässä, joka tunnetaan myös nimellä ”bulk”. Iso nestekaasusäiliöjärjestelmä on vaativa sijoittaa, mutta sen avulla vältetään ”pullorallitusta”. Säiliön täyttöväli on kohteesta riippuen noin kuukauden verran. Nestekaasujärjestelmä on varustettu jalaksilla, aitauksella sekä höyrystimellä. Höyrystin minimoi kaasun hukkaprosentin. Esimerkiksi tavallisia kaasupulloja ei ole varustettu höyrystimellä, joten pullon pohjalle jää yleensä hieman kaasua. Nestekaasua hankittaessa tulee huomioida, että yli 200 kg kaasuastia vaatii ilmoituksen viranomaiselle ja paloviranomaisen hyväksynnän. Lämmityskalustoa vuokraava yritys voi tarvittaessa hoitaa luvat kuntoon tilaajalle. ”Valtioneuvoston asetuksen 858/2012 mukaan nestekaasua saa varastoida: Ilman lupaa korkeintaan 200 kg” [15.]



Kuva 9. Kuvassa on niin sanottu ”bulk” nestekaasusäiliöjärjestelmä. Se tulee aidata.

5.3 Polttoöljy

Polttoöljylämmitystä käytetään tyypillisesti isojen yhtenäisten tilojen lämmittämiseen, kuten esimerkiksi kerrostalojen tai hallien. Polttoöljylämmitystä voidaan käyttää sisätyövaiheen lisäksi myös runkovaiheessa. Esimerkiksi julkisivutöiden yhteydessä polttoöljyllä lämmitetään sääsuojattuja telinerakenteita. Markkinoilta on myös saatavilla lämpökontteja ja pienempiä polttoöljyllä toimivia puhaltimia. Öljyn palamisprosessi ei ole yhtä puhdas kuin kaasulla, joten pakokaasut tulee johdattaa lämmitettävästä tilasta pois. [2.]

Polttoöljyn hinta on opinnäytetyön kirjoitushetkellä ollut noususuunnassa ja Ylänen Rakennuskeskuksen verkkosivuilta sunnuntaina 3.10.2021 tarkastettu hinta on noin 1,1 €/L (hinta sisältää arvonlisäveron). [18.] Polttoöljy on tiiviiseen muotoon pakattua, helposti kuljetettavaa sekä varastoitavaa energiaa. Polttoöljyn lämpöarvo on korkea ja nykyaikaisilla lämmityslaitteilla se palaa hyvällä hyötysuhteella. Yksi polttoöljy litra sisältää energiaa noin 10 kWh. [17.]

Polttoöljylämmittimelle täytyy löytää työmaalta noin 1 x 3 m tila. Se tulee sijoittaa mahdollisimman lähellä rakennusta, jotta lämmitin voi käyttää jo valmiiksi lämmintä sisäilmaa lämmittämiseen. Näin vältetään turhalta energiahäviöltä. Polttoöljylämmittimen ympäristöön tulee varata sen verran ylimääräistä tilaa, että tankin täyttäminen onnistuu säiliöautolla. Polttoöljylämmityksessä puhalluksen teho tulee mitoittaa oikein, jotta rakennus ei ylipaineistu. Ylipaineistuminen aiheuttaa energiahukkaa. [15.]



Kuva 10. Oheisessa kuvassa 230 kilowatin lämpökeskus. Lämpökeskus lämmittää polttoöljyllä veden yhtä kuumaksi kuin kaukolämpöveden. Lämpökeskukseen liitetään vesikiertoiset lämmittimet.



Kuva 11. 195 kilowatin öljylämmitin Heatmobil. Säiliötilavuus on tyypillisesti noin 2000 litraa ja lämmittimen alla on trukkitaskut, joten laitteen siirtäminen onnistuu työmaalla esimerkiksi kurottajalla tai kuormaajalla.

5.4 Kaukolämpö

Kaukolämmön valinta työnaikaiseksi lämmitysmuodoksi on tyypillistä kohteissa, joihin tulee kaukolämpö myös lopulliseksi lämmitysmuodoksi. Kaukolämpöä ei käytetä runko- vaiheen lämmitykseen vaan sisätyövaiheen ylläpitolämmitykseen. Kaukolämmön etuja on tehokas lämmönjako sekä puhdas lämmitysprosessi eli se ei päästä epäpuhtauksia ilmaan. Kaukolämmön huonoja puolia on taas vesivahinkojen riskit, nouseva hinta, kaukolämmön rajallinen saatavuus ja muunneltavuus sekä perustamis- ja huoltokustannukset.

Kaukolämpö eli vesikiertoiset lämmitin liikkuvat pyörillä, joten niiden siirtäminen on mahdollista, mutta ei täysin vaivatonta. Letkut sijoitetaan joko tekniikka- tai porraskuuluun. Valittaessa kaukolämpö työnaikaiseksi lämmitysjärjestelmäksi, tulee se suunnitella huolellisesti, jotta letkut ja laitteet eivät ole jatkuvasti rakennustöiden edessä. Vesikiertoiset lämmitin vaativat kaukolämpöliittymän ja lämmitin väliin lämmönvaihtimen. Teoriassa optimaalisempi vaihtoehto kustannusten kannalta olisi se, että vesi-

kiertoinen lämmitin liitettäisiin suoraan rakennuksen lopulliseen lämmitysverkkoon, jolloin säästyttäisiin lämmönvaihtimen aiheuttamista kustannuksista. Rakennusaikaista lämmitystä ei kuitenkaan saa liittää kohteen lopulliseen lämmitysjärjestelmään takuuteknisistä syistä, sillä kumisista lämmitysletkuista irtoaa likaa lopulliseen järjestelmään. Väliaikainen lämmönvaihdin suodattaa kyseistä likaa. Todellisuudessa useilla työmailla tulevan lämmitysjärjestelmän ja lämmitysletkujen väliin asennetaan lianerotin, jotta välttää lämmönvaihtimen vuokraamiselta ja sen liittämiseen aiheutuneesta vaivasta. [15.]



Kuva 12. Kuvassa on 400kW siirrettävä työnaikainen lämmönvaihdin.

Opinnäytetyön kirjoitushetkellä kaukolämmön syyskauden hinta nousi 29,9 % edellisen vuoden syyskauden hintaan verrattuna. Radikaali hinnan nousu johtuu vuoden 2021 alusta voimaan astuneista valmisteveromuutoksista sekä kohonneista päästöoikeuksista ja polttoaineiden hinnoista. Kaukolämmön hinta ei ole vuoden ympäri sama, vaan se vaihtelee. Muutoksista ilmoitetaan kuitenkin hyvissä ajoin. Tämän hetken kaukoläm-

mön hinta on 8,26 c/kWh. Kaukolämmön hinta on syys- ja talvikaudella keskimääräisesti korkeampi kuin kevät- ja kesäkaudella kasvaneen tarpeen vuoksi. [11.]

Kaukolämpöjärjestelmä vaatii meno- ja paluuletkut, joita kuluu työmaalla kymmeniä metrejä. Letkujen halkaisijat täytyy mitoittaa siten, että riittävä energiamäärä saadaan kulkemaan niiden läpi. Alla olevassa taulukossa on esitetty lämmitysletkujen tehon siirtokapasiteetti, kun lämmitysjärjestelmän tulevan ja lähtevän veden lämpötilaero on 30 °C. [15.]

Lämmityslaitteen koosta riippuen jokaisen vesikiertoisen lämmityslaitteen läpi virtaa tietty määrä vettä sekunnissa (l/s). Lämmityslaitteiden läpi virtaama vesi määrä ei voi olla suurempi kuin mitä kaukolämpöliittymästä saa. Toisin sanoen, jos työmaalla on DN40 mittauskeskus, se mahdollistaa 10m³/h vesivirtauksen. Esimerkiksi 30 kilowatin lämpötermonin läpi virtaa vettä 0,24 l/s täydellä teholla, joka tarkoittaa 0,864m³/h. Teoriassa DN40 mittauskeskukseen voitaisiin liittää maksimiteholla olevia 30 kilowatin lämpötermoneja $(10\text{m}^3/\text{h}) / (0,864\text{m}^3/\text{h}) = 11,57\dots$ eli noin 11 kappaletta.

Taulukko 6. Oheisessa taulukossa on esitetty kuumavesiletkujen mitoitusperiaatteet.

Lämmitysletkujen mitoitus	
Letkun halkaisija	Teho, kun $\Delta t=30^\circ\text{C}$
25 mm	75kW
32 mm	150kW
50 mm	320kW
63 mm	600kW
73 mm	780kW



Kuva 13. Vasemmalla puolella vesikiertoinen 30 kilowatin lämpötermoni. Lämmittimen päällä oleva "hattu" mahdollistaa ilman liikkumisen kuuteen eri suuntaan. Työmailla tätä laitetta kutsutaan usein hattivatiksi. Oikealla puolella 230V verkkovirralla toimiva siirtoilmapuhallin. Siirtoilmapuhallin mahdollistaa riittävän ilman kiertämisen kuivatettavassa tilassa.

5.5 Sähkö

Sähkölämmitystä ei käytetä koskaan isossa työmaakohteessa ainoana lämmitysjärjestelmänä. Kuitenkin lähes kaikki lämmitysmuodot tarvitsevat toimiakseen sähköä. Sähkölämmitys on parhaimmillaan sisävaiheessa olevissa saneerauskohteissa tai uudiskohteessa yksittäisen tilan tai huoneen lämmittämiseen.

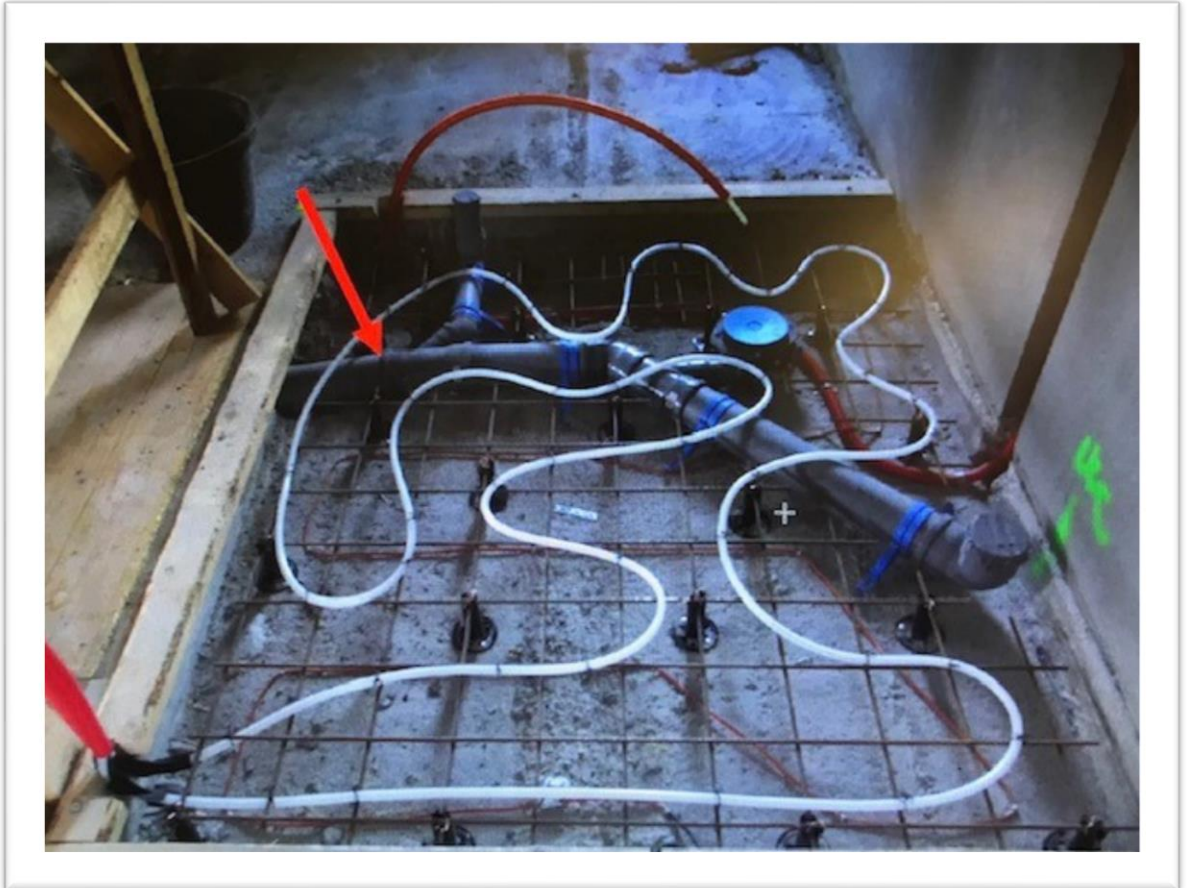
Sähkölämmityksen etuja ovat vähäinen ylläpidon määrä, alhaiset perustamiskustannukset, helppo muunneltavuus sekä puhdas lämmitysprosessi eli ilmaan ei kerry epä-

puhtauksia. Sähkölämmityksen rajoituksena on sen tehokkuus ja sähkön riittävyys. Työmaalla on erittäin tyypillistä, että sähköt katkeilevat jatkuvasti, joten ainoastaan sähköllä toimiva lämmitysmuoto ei ole luotettava. Erityisesti tasoite- ja maalaustyöt vaativat lämpimät olosuhteet eikä turhia lämmityskatkoksia saa tulla. [2.]

Elementtirakenteisissa asuinkerrostaloissa käytetään usein sähköllä toimivia lankalämmittimiä. Lankalämmittimiä käytetään erityisesti kylpyhuoneiden lattioiden valuissa. Ontelolaattakentässä on usein varattu kolous eli syvennys, johon kylpyhuoneen seinät muurataan ja lattiat valetaan. Putkitöiden yhteydessä ennen raudoitusta kololaattaan voidaan asentaa lankalämmityskaapeli aivan laatan alapinnan tasolle. Tällä lankalämmityksellä voidaan nopeuttaa lattian kuivumista jopa neljällä viikolla. Lankalämmityksen haittapuolia on materiaalin kertakäyttöisyys, asentamisen aiheuttama työmäärä sekä langan katkeamisvaara valun aikana. [12, s. 508.]



Kuva 14. Kuvassa 2 kilowatin sähköpuhallin.



Kuva 15. Kuvassa esitetty kuinka lankalämmitys tulee asentaa kololaattaan, jotta siitä saadaan paras hyöty irti. Muissa valuissa lankalämmitys asennetaan yleensä rauditusverkkoon.

Taulukko 7. Taulukossa esitetty eri lämmitysmuotojen käyttötarkoituksia sekä plussia ja miinuksia.

Lämmitysmuoto	Soveltuvuus	Plussat	Miinukset
Maa- ja biokaasu	Uudis- ja saneerauskohteet, runko- ja sisätyövaihe	<ul style="list-style-type: none"> •Ympäristöystävällinen •Lämmittimet toimivat automaattisesti termostaatin avulla •Ei tarvita polttoaineen varastointilupaa •Turvallisuus (pieni syttymisalue) •Tuulettuu nopeasti •Kaasuvuodot havaitaan helposti hajun perusteella 	<ul style="list-style-type: none"> •Rajallinen saatavuus kaasuverkon laajuuden takia •Toistaiseksi melko harvinainen lämmitysmuoto
Nestekaasu	Pääsääntöisesti uudiskohteiden runkovaihe esim. ontelokentän lämmitys ennen saumavaluja	<ul style="list-style-type: none"> •Hyvä lämmitysteho ja hyötysuhde •Järjestelmän muunneltavuus •Laitteiden kompakti koko •Helppo ja edullinen asentaa 	<ul style="list-style-type: none"> •Lämmitysjärjestelmän tuoma kosteus •Palamisreaktio vaatii riittävää tuuletusta <ul style="list-style-type: none"> •Savuttaminen •Viranomaislupa mikäli kaasumäärä ylittää 200 kg <ul style="list-style-type: none"> •Kylmällä säällä kaasupullojen paineissa saattaa olla ongelmia
Polttoöljy	Runko- ja sisätyövaihe esim. isot yhtenäiset tilat	<ul style="list-style-type: none"> •Tehokas lämmitysmuoto <ul style="list-style-type: none"> •Suuret ilmamäärät •Helppo käyttöönotto •Ei vie tilaa rakennuksen sisältä 	<ul style="list-style-type: none"> •Öljyn nouseva hinta <ul style="list-style-type: none"> •Päästöt •Vahingon mahdollisuus täytettäessä säiliötä •Lämmönjakokanavan rakentaminen monimuotoisissa tiloissa
Kaukolämpö	Sisätyövaihe (Kohteisiin, joissa lopullinen lämmitysmuoto kaukolämpö)	<ul style="list-style-type: none"> •Tehokas lämmönjako •Puhdas lämmitysprosessi 	<ul style="list-style-type: none"> •Kaukolämmön rajallinen saatavuus •Perustamiskustannus on yleensä suuri •Lämmitysjärjestelmän haastava muunneltavuus <ul style="list-style-type: none"> •Nouseva hinta
Sähkö	Sisätyövaiheessa esim. pienen tilan lämmitykseen tai valujen lämmittämiseen lankalämmittimillä	<ul style="list-style-type: none"> •Lämmitysmuoto ei tuota epäpuhtauksia ilmaan <ul style="list-style-type: none"> •Ylläpito on helppoa •Sähkölämmittimiä pystyy siirtämään helposti •Perustaminen on edullista 	<ul style="list-style-type: none"> •Työmaan sähkökapasiteetin riittävyys •Lämmitystehon riittävyys

5.6 Rakennuskuivaimet

Rakennuskuivaimia käytetään siinä vaiheessa, kun ulkoilman suhteellinen kosteus on niin suuri, ettei ulkoilman aiheuttamasta tuuletuksesta ole hyötyä kuivatuksessa. Esimerkiksi kostea kesäpäivä tai sateinen syksy ovat otollisia ajankohtia rakennuskuivaimen käyttämiselle. Kun rakennuskuivaimia käytetään, tilan tulee olla tiivis, jotta kuivaus kohdistuu nimenomaan kyseiseen tilaan, eikä ympäröivään ilmakehään. Rakennuskuivaimia voidaan käyttää myös vesivahinkokohteissa tai kohteissa, joissa on kiire saada rakenteet kuivaksi.

Rakennuskuivaimia on olemassa kahta eri tyyppiä, adsorptiokuivaimia ja kondenssi-kuivaimia. Adsorptiokuivain perustuu kostean ilman poistamiseen sisätilasta, kun taas kondenssi-kuivain kerää kosteuden omaan vesisäiliöön. Kondenssi-kuivaimen keräämä vesi voidaan poistaa joko letkulla viemäriin tai jatkuvasti tyhjentämällä. Adsorptiokuivain toimii 2–30°C lämpötilassa. Kondenssi-kuivain tarvitsee toimiakseen lämpimämmän ympäristön noin 20–30°C. Rakennuskuivaimet keräävät/poistavat kosteutta vuorokaudessa 20–60 litraa. Teoriassa yksi tehokas kondenssi-kuivain pystyy kuivamaan kuukauden aikana jopa 1 800 litraa. Muistutuksena, että yksi betonikuutio sisältää 70–115 litraa rakennekosteutta. [2.]



Kuva 16. Adsorptiokuivain.



Kuva 17. Kondenssikuivain. Kätevästi liikuteltava pyörien ansiosta.

6 Esimerkkikohte

6.1 Yleistä

Esimerkkikohteena on asuinkerrostalokohde, jossa itse työskentelen. Kohde sijaitsee Helsingin Tapanilassa. Hankkeeseen kuuluu kaksi erillistä kerrostaloa, joissa molemmissa on kolme porrasta. Kahdessa portaassa on seitsemän kerrosta ja yhdessä portaassa kuusi kerrosta. Yhden portaan kerros pinta-ala on noin 300 m². Kohteeseen tulee lopulliseksi lämmitysmuodoksi kaukolämpö, joten optimaalisin työnaikainen lämmitysmuoto on myös kaukolämpö. Toiseen kerrostaloista ei ole kuitenkaan vielä rakennettu kaukolämpöverkkoa, joten voi olla mahdollista, että tämän rakennuksen kohdalla päädytään esim. polttoöjlämmitykseen. Toiseen kerrostaloista on asennettu kaukolämmölle DN 40 mittauskeskus, joka mahdollistaa 100kPa vakiopaineella 420kW tehon ja 10m³/h vesivirtauksen. Tämä mitoitus on tehty 0 °C säälle.

Otetaan tarkasteltavaksi toinen kerrostaloista ja tehdään karkea laskelma mahdollisista lämmityskustannuksista. Esimerkkikohteen lämmitysmuodoista voidaan heti kättelyssä karsia pois maa- ja biokaasulämmityksen saatavuuden takia ja sähkölämmityksen tehokkuuden takia. Runkovaiheen lämmittämiseen paras vaihtoehto on nestekaasulämmitys sen tehokkuuden vuoksi. Sisätyövaiheen kaksi potentiaalisinta lämmitysvaihtoehtoa on joko polttoöljylämmitys tai kaukolämpö. Kaukolämmön valintaa puoltaa myös se, että patterit voidaan ottaa rakennusaikana käyttöön. Patterien tuottama lämpöenergia on kuitenkin jätetty huomioimatta tulevissa laskelmissa.

6.2 Vaihtoehtona kaukolämpö

Mikäli työnaikaiseksi lämmitysmuodoksi valitaan kaukolämpö, jokaiseen portaaseen tulisi asentaa 1. ja 2. kerrokseen 30 kilowatin vesikiertoinen lämmityslaitte ja siitä ylempiin kerroksiin 15 kilowatin lämmitin. Näiden lisäksi jokaiseen kerrokseen tulee sijoittaa kaksi siirtoilmapuhallinta eri puolelle kerrosta, jotta kuivuminen saadaan optimoitua.

Edellä mainittujen lisäksi kokonaisvaltaisen lämmitysjärjestelmän toteuttamiseen tulee huomioida väliaikainen lämmönvaihdin, runkolinja, lämmityslaitteelle menevät letkut, asennus, rahti sekä mahdollinen lämmitysjärjestelmän vikapalvelu.

Asiantuntijalta saadun tarjouksen mukaan hinta-arvio kyseisen esimerkkikohteen työnaikaiselle lämmittämiseksi kaukolämmöllä on kuukausittain noin 3782 €. Tarjous sisältää 172 m runkolinjaa (63 mm), 200 m kuumavesiletkaa (25 mm), liittimet/haarat sekä lämmönvaihtimen. Tarjous ei sisällä energian eikä asennuksen tai rahdin hintaa. Asennuksen hinta on 2400 € ja purku 1800 €. Rahti on noin 400 €.

Lisäksi esimerkkikohteeseen voidaan ottaa tarvittaessa lämmitysjärjestelmän vikapalvelu, joka maksaa 300 €/kk. Vikapalvelu vaatii etäseurannallisen lämmönvaihtimen, jonka kuukausittainen hinta on 100 € enemmän. Vikapalvelu sisältää seuraavat palvelut:

- Lämmitysjärjestelmän vikatilojen etävalvonta ja tarvittaessa korjaus
- lämmitysjärjestelmän etäsäätö tilaajan toiveiden mukaan

- 24/7 päivystyspalvelu tilaajalle
- lämmitysjärjestelmän vikaantumiset ilmoitetaan suoraan päivystykseen ja ne korjataan tarvittaessa.

Hinnat ovat ainoastaan suuntaa-antavia. Todellisuudessa vuokrahinnat ovat isolle rakennusliikkeelle huomattavasti pienemmät ja kaukolämmön kustannukset voivat poiketa merkittävästi.

Kaukolämmön energian hinnalle voidaan laskea hinta-arvio seuraavasti. Rakennusaikeisessa lämmityksessä hyötysuhde ei ole hyvä, joten esimerkkikohteen lämmitysjärjestelmän nimellisteho 390kW voidaan suoraan puolittaa. Lämmitysjärjestelmän todellinen teho on noin 195 kilowattia. Hinta energialle on $0,06663 \text{ €/kWh} \times 195\text{kWh} \times 24 \times 30 = 9\,354,85\text{€/kk}$

Kaukolämpöjärjestelmän ylläpitäminen maksaa yhteensä siis $3\,782 \text{ €} + 9\,354,85 \text{ €} = \underline{\underline{13\,136,85 \text{ €/kk}}}$. Tämä hinta on ainoastaan toiseen kohteen kerrostaloista. Molemmat kerrostalot ovat lähes samankokoisia. Mikäli kohteeseen halutaan vikapalvelu, hinta nousee **13 536,85 €/kk**. Kaikki hinnat ovat arvonlisäverottomia. (ALV. 0 %)

6.3 Vaihtoehtona polttoöljy

Jos rakennusaikaiseksi lämmitysmuodoksi valitaan polttoöljy, jokaiseen portaaseen riittää kuvan 11 mukainen 195 kilowatin heatmobil lämmitysjärjestelmä. Lämmityslaitteen lisäksi järjestelmä vaatii toimiakseen halkaisijaltaan 305 ja 550 mm puhallusletkua, haaroituskappaleita sekä polttoöljyä. Esimerkkikohteen yhteen kerrostaloon tarvitaan yhteensä 3 kpl 195 kilowatin lämmityslaitetta, 3 kpl 550 mm puhallusletkua, 9 kpl 305 mm puhallusletkua sekä 3 kpl haaroituskappaleita. Näiden kuukausittainen vuokrahinta on 1860 €. Asennuksen hinta on 250 €. Tämän järjestelmän hyvänä puolena voidaan pitää vähäisen tilan kulutusta rakennuksen sisällä.

Kohteeseen valittu 195 kilowatin heatmobil kuluttaa polttoöljyä tunnissa enintään 21 litraa. Mikäli lämmittimet ovat täydellä teholla kuukauden ajan, ne kuluttavat 45 360

litraa polttoöljyä. Polttoöljylämmittimiä ei kuitenkaan koskaan pidetä kellon ympäri täydellä teholla, joten kulutus voidaan puolittaa. Tästä tulee 22 680 litraa. Polttoöljyn litrahinta on 1,1 €. $22\,680 \text{ €} \times 1,1 \text{ €/l} = 24\,948 \text{ €}$.

Polttoöljy lämmityksen kustannus esimerkikohteeseen on 1860 € + 24 948 €

=26 808 €/kk.

6.4 Pohdintaa kaukolämpö ja polttoöljylämmityksestä

Kuten aiemmin on mainittu, tekemäni laskelmat ovat karkeita arvioita kustannuksista. Oletuksena on ollut, että lämmittimet ovat joka paikassa käynnissä täydellä teholla samaan aikaan. Todellisuudessa kaikissa portaissa ei ole edes välttämätöntä pitää lämmitystä koko ajan päällä. Esimerkiksi yksi porraskerros voi olla runkovaiheessa, kun taas ensimmäinen kerros on jo sisätyövaiheessa ja lämmityksen tarve on suuri. Kun ensimmäisessä portaassa on saatu sisätyöt valmiiksi, voidaan työaikaista lämmitystä ja tuuletusta vähentää. Mikäli rakennuksen oma lämmitysjärjestelmä saadaan käyttöön sisätyövaiheen alkupuolella, vältetään turhilta vuokratuista. Rakennuksen oma lämmitysjärjestelmä ja vuokratut siirtoilmahuuhtaimet olisivat edullinen vaihtoehto.

Suomessa olosuhteet vaihtelevat huomattavasti vuoden ympäri. Osa talvista saattaa olla todella leutoja ja lämmityksen tarve on minimissään. Toisaalta lämpötilan ollessa -25 °C lämmityksen tarve ja rakennuksen riittävä eristys ja tiiveys korostuvat.

Itse uskon vahvasti, että todellisuudessa esimerkikohteen lämmityskustannukset ovat pienemmät kuin karkeat laskelmani. Vaikka kaukolämmön hinta nousi lähes 30 % viime vuoden vastaavasta hinnasta, voidaan todeta, että kaukolämpö on tähän kohteeseen järkevämpi vaihtoehto. Yksi potentiaalinen vaihtoehto kyseiseen kohteeseen olisi myös polttoöljyllä toimiva lämpökeskus, joka lämmittää veden riittävän kuumaksi vesikiertoisille lämmityslaitteille. Tällöin ei tarvitsisi välittää kaukolämmön kohonneesta hinnasta.

Polttoöljylämmityksessä käytetään yleensä yhtä isoa heatmobilia, joka on sijoitettu rakennuksen ulkopuolelle ensimmäisen kerroksen korkeuteen. Tästä herääkin kysymys, jakautuuko lämmitys riittävän tasaisesti jokaiseen kerrokseen tai meneekö lämmitysenergiaa hukkaan. Lämpö nousee aina ylöspäin ja se kulkeutuu helpointa reittiä

pitkin. Kerrostalokohteessa helppoja lämmön kulkeutumisreittejä ovat hissikuilu ja porraskäytävä. Kun lämpö siirtyy hissikuilua tai porraskäytävää pitkin ylöspäin, välikerrokset jäävät todennäköisesti kylmemmiksi kuin alin ja ylin kerros. Tämä korostuu, mikäli lämmityslaitteen teho on alimitoitettu. Eli toisin sanoen lämpö ei varsinaisesti häviä mihinkään, se ei vaan jakaudu tasaisesti. Asiantuntijan suosituksen mukaan on järkevämpää asentaa useampia pieniä lämmittäjiä kerroksittain kuin ainoastaan yksi iso lämmitin rakennuksen alaosaan.

6.5 Nestekaasulämmitys runkovaiheessa

Nestekaasulämmitys on esimerkkikohteen runkovaiheeseen energiatehokkain vaihtoehto. Runkovaiheen lämmittämiseksi on keskeistä, että saumavalut saavuttavat asianmukaisen lujuudenkehityksen sekä jäätyminen estetään ennen jäätymislujuuden saavuttamista. Esimerkiksi elementtien pystysauma valujen yhteydessä voidaan tarvittaessa käyttää lankalämmitystä tai talvipystysaumabetonia. Talvipystysaumabetoni vähentää lämmityksen tarvetta, mutta toisaalta se nostaa betonin materiaalikustannuksia.

Runkovaiheen nestekaasulämmitys tulee toteuttaa siten, että ontelokenttää ruvetaan lämmittämään alapuolelta viimeistään valua edeltävänä päivänä. Lämmitys voidaan toteuttaa joko säteilijöillä tai pienillä lämpöpuhaltimilla. Valun lämmittämiseen parempi vaihtoehto on säteilijä. Nestekaasukäyttöisen lämmitysjärjestelmän asentaminen on vaivatonta. Sen asentamiseen tarvitaan ainoastaan runkoletkua, jakotukkeja, lämmittäjiä ja kaasua sekä tarvittaessa siirtoilmapuhaltimia.

Runkovaiheessa rakennuksessa on vielä paljon aukkoja, joten lämpöhäviötä tapahtuu väistämättä. Lämpöhäviötä voidaan kylmällä säällä kuitenkin pienentää peittämällä suurimmat aukot kestopeitteellä tai rakennusmuovilla aukon molemmilta puolilta, jolloin paikallaan oleva ilma toimii lämpöeristeenä. Käytännössä on kuitenkin lähes mahdollista tehdä täysin vuotamaton kokonaisuus rakentamisen aikana.

7 Asiantuntijahaastattelu

7.1 Yleistä

Haastateltavana oli Hämeen Rakennuskone Oy:n pääkaupunkiseudun aluepäällikkö Toni Kalliomäki. Kalliomäellä on vuosien kokemus työnaikaisesta lämmittämisestä sekä vuokratilustosta. Häneltä sain ammatti- ja koulutuskäyttöön tarkoitettua materiaalia, joka auttoi insinööriyön toteuttamisessa.

7.2 Lämmitysmuodon valinta

Oikean lämmitysmuodon valinta tulee aina tehdä kohdekohtaisesti. Runkovaiheessa tyypillisin lämmitysmuoto on nestekaasulämmitys, koska se on energiatehokkain. Nestekaasujärjestelmään liitetään joko säteilijöitä tai lämpöpuhaltimia. Säteilijät muistuttavat isoa nestekaasugrillia ja niitä käytetään erityisesti paikalliseen lämmittämiseen kuten ontelolaattojen saumavaluihin tai muuraukseen. Säteilijät eivät vaadi sähkövirtaa toimiakseen toisin kuin lämpöpuhaltimet. Nestekaasulämmittäminen ei sovi sisätyövaiheeseen, koska se tuottaa runsaasti kosteutta.

Sisätyövaiheessa käytetään joko polttoöljy- tai kaukolämpöjärjestelmää. Nyrkkisääntönä on hyvä pitää sitä, että työnaikaisessa lämmityksessä käytetään rakennuksen tulevaa lämmitysjärjestelmää. Eli ainoastaan työnaikaista lämmitystä varten ei ole järkevää rakentaa kaukolämpöjärjestelmää. Halvempi vaihtoehto kohteisiin, joissa ei ole kaukolämpöä, on iso lämpökeskus. Lämpökeskus on 3 x 6 m kontti, jossa vesi lämmitetään kaukolämpövettä vastaavaksi polttoöljyllä.

7.3 Lämmitysjärjestelmää suunniteltaessa huomioitavaa

Kun työnaikaista lämmitysjärjestelmää aletaan suunnittelemaan, tulee sen aina olla kohdekohtainen suunnitelma. Aiempaa kokemusta voi tietenkin käyttää apuna. Alle listattu muistettavia asioita työnaikaista lämmitystä suunniteltaessa:

- Kohteeseen tutustuminen paikan päällä

- piirustusten ja aikataulujen kopiot
- tärkeät pinta-alat esim. kerros pinta-ala
- lämpötila ja kosteusvaatimukset
- erityisvaatimukset (maalaukset, tasoittaminen, lattiapäällysteet)
- rakennuksen tiiveys eri vaiheissa
- ulkopuolinen lämpötila, vuodenaika
- teoreettinen vaadittu ja asennettu teho
- mitä lämmityskalustoa asennetaan
- arvioitu energian tarve kaluston vuokra-aikana
- lämpölähte (kaukolämpö, öljy, sähkö, vai kaasu)
- polttoaineen varastointipaikka
- lämpölähteen koko
- erityisluvut esim. nestekaasulle, kun kokonaispaino ylittää 200 kg
- yhteydenotto kaukolämmön toimittajaan
- millainen huoltosopimus on sopiva
- lämmityskaluston toimitusajankohta sekä vuokrahinnat
- asennuksen, purkamisen ja kuljetusten hinta
- energian hinta. [15.]

Lämmitystarpeeseen vaikuttaa merkittävästi vuodenaika ja talven kylmyys. Etelä-Suomessa talven keskimääräinen lämpötila on korkeampi kuin Pohjois-Suomessa, mutta Etelä-Suomessa taas sataa useammin ja enemmän.

Taulukko 8. Taulukko esittää Helsingin kuukausittaisia lämpötila- ja sadanta-arvoja. [15.]

Helsingin kuukausittaiset lämpötila- ja sadanta-arvot												
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	hei- nä	elo	syy- s	lo- ka	ma- rras	joulu
Vuorokauden keskimääräinen ylin lämpötila (°C)	-3	-4	0	6	14	19	22	20	15	8	3	-1
Vuorokauden keskimääräinen alin lämpötila (°C)	-9	-10	-7	-1	4	9	13	12	8	3	-1	-5
Sadanta (mm)	56	42	36	44	41	51	68	72	71	73	68	66
Sadepäivät (d)	20	18	14	13	12	13	14	15	15	18	19	20

8 Yhteenveto

Suomessa on neljä vuodenaikaa ja se tuo omat haasteensa rakentamiseen. Etelä-Suomessa talvityöjärjestelyt kattavat noin puolet vuodesta. Talvirakentaminen lisää työmenekkiä, rakennusmateriaalien kulutusta sekä hidastaa rakentamisen edistymistä. Talven tuomiin lisäkustannuksiin tulee varautua jo suunnitteluvaiheessa.

Erityisesti kosteus, vesi- ja lumisateet sekä alhainen lämpötila aiheuttavat haasteita rakenteiden optimaalisessa kuivattamisessa ja lämmittämisessä. Työnaikaisen lämmitystarpeen optimointi alkaa jo rakennusmateriaalin toimitus – ja varastointivaiheessa. Mitä kuivempaan materiaali saadaan pidettyä ennen asentamista, sitä vähemmän se myös vaatii energiaa asentamisen jälkeen lämmitys- ja kuivatusvaiheessa.

Rakenteiden tehokkaalla kuivattamisella pystytään aikaistamaan esimerkiksi tasoite- ja maalaus- sekä laatoitustöiden aloitusajankohtaa. Keskeisenä osana optimaalista työn-

aikaista lämmittämistä on riittävä tuuletus. Liikkuva ilma sitoo kosteutta itseensä ja kuljettaa kosteutta pois. Toisaalta taas lämpötilan nostaminen laskee suhteellista kosteutta ja samalla kasvattaa kosteutta siirtäviä voimia rakennusmateriaalissa. Mikäli ulkoilman suhteellinen kosteus on suuri esimerkiksi kosteana kesänä tai syksynä, tulee rakennuskuivaimien käyttöä harkita.

Betonin kuivuminen ja kovettuminen ovat avainasemassa työnaikaisessa lämmittämisessä. Talvisin betoni vaatii riittävää lämmitystä, jotta se ei jäädy ennen jäätymislujouden saavuttamista. Lisäksi betonin lämmittämällä mahdollistetaan asianmukainen lujudenkehitys. Talvella betoni vaatii lämmittämisen lisäksi myös suojaamista esimerkiksi lämpöä eristävällä peitteellä, jotta valussa pysyy riittävä lämpötila.

Optimaaliset olosuhteet rakenteiden kuivumiselle on 20–30 °C ja 50 % suhteellinen kosteus. Yhdessä betonikuutiossa on noin 70–115 litraa rakennekosteutta, joten on erittäin suositeltavaa pysyä suositelluissa kuivumisolosuhteissa. Kuivumista ei tapahdu ollenkaan, mikäli ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Työnaikainen lämmitys voidaan toteuttaa maa- ja biokaasulla, nestekaasulla, polttoöljyllä, kaukolämmöllä tai sähköllä.

Työnaikaisen lämmitystarpeen optimoinnissa tärkeimmät asiat ovat aukkojen tiiveys ja eristäminen, sopiva lämmitysmuoto kohdekohtaisesti, riittävä tuuletus sekä rakennuksen oman lämmitysjärjestelmän käyttöönotto mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Lämpötilaa ja suhteellista kosteutta voidaan seurata mittareilla ja lämmittimien tehot voidaan määrittää sen mukaan. Ei ole tarpeellista huudattaa lämmittimiä täydellä teholla, jos pienempikin lämmitysmäärä riittää.

9 Pohdinta

Rakennuksen työnaikaisen lämmityksen todellista energiankulutusta ja tästä aiheutuvia kustannuksia on erittäin vaikeaa laskea ja arvioida tarkasti. Kaikki tässä työssä tehdyt laskelmat ovat vain suuntaa antavaa tietoa mahdollisille kustannuksille. Kaikista luotettavien tulosten saattamiseksi tekemällä kahdelle identtiselle rakennukselle samana ajankohtana testi, jossa käytössä olisi kaksi eri lämmitysmuotoa. Yksi potentiaalinen testi vaihtoehto olisi kaukolämpö versus öljyllä toimiva lämpökeskus.

Taulukko 9. Oheisessa taulukossa esitetty lämmityksen tehontarvetta, kun toivottu sisälämpötila on 15–18 °C. [15.]

Kattokorkeus (m)	Ulkolämpötila (°C)	10	5	0	-5	-10	-15	-20
< 3,2	W/m ²	8	12	18	24	30	40	50
>3,2	W/m ³	3	5	7	10	13	16	18

Edellä olevan taulukon arvojen edellytyksenä on se, että rakennus on tiivistetty ja eristetty huolellisesti. Huono eristys tai vuodot nopeasti kaksinkertaistavat lämmitystarpeen.

Rakennusaikana eri aukkojen läpi virtaavan ilman määrää on haasteellista hallita. Runkovaiheessa aukkoja on paljon, koska ikkunoita, ovia ja muita rakenteita puuttuu. Sisätyövaiheessa rakennuksen omaa koneellista ilmanvaihtojärjestelmää ei voida käyttää, joten tuuletus tapahtuu yleensä hallitsemattomasti eri aukkojen kautta. Pienistäkin aukoista virtaa paljon ilmaa ja se korostuu korkeammissa rakennuksissa. Mitä korkeampi rakennus on, sitä suurempi paine-ero on sisä- ja ulkoilman välillä. Erään tutkimuksen mukaan painovoimaiselle ilmanvaihdolle tavoitteelliset paine-erot sisä- ja ulkoilman välillä on 0–5 Pascalia. Voidaan olettaa, että rakennusvaiheessa ilmanvaihto tapahtuu painovoimaisesti.

Aukon kautta virtaava ilma voidaan laskea seuraavalla kaavalla: $Q = 0,8 * A * \sqrt{\Delta p}$ (m³/s) Δp = paine-ero ja A= aukon pinta-ala (m²).

Oletetaan rakennuksen sisä- ja ulkoilman paine-eroksi 5 Pa, ulkolämpötilaksi -5°C ja sisälämpötilaksi 20°C ja aukon kooksi moduulimittainen 21 x 7 oviaukko.

Aukon kautta virtaava ilmamäärä tunnissa $\rightarrow Q = (0,8 * 0,7 * 2,1 * \sqrt{5}) * 3600 = 9466,6... \text{ m}^3/\text{h}$

Vuotoilmaan vaadittava lämmitysenergian tarve voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$Q = (\rho_i * c_{pi} * q_v * (T_s - T_u) * \Delta t) / (1000) \rightarrow (1,2 \text{ kg/m}^3 * 1000\text{W/kg}\cdot\text{K} * (9467/3600 \text{ m}^3/\text{s}) * 25\text{K}) / 1000 \approx \mathbf{78,9 \text{ kWh}}$

Kuukausittain kyseisen vuotoilman lämmittämiseen tarvitaan energiaa $78,9\text{kW} * 24 * 30 \approx 56\,808\text{kW} \approx \mathbf{56,8\text{MW/kk}}$

Edellä mainitun esimerkin perusteella voidaan todeta, että rakennuksen tiiveydellä on erittäin suuri merkitys energiankulutukseen sekä lämmityskustannuksiin.

Teoriassa voidaan laskea kuinka paljon kyseinen lämmitysenergia maksaa. Vaadittava energiamäärä on se määrä, joka ylläpitäisi tasaisen lämpötilan vuodoista huolimatta. Tällä hetkellä kaukolämpö maksaa arvonlisäverottomana 0,0666 €/kWh. $78,9 \text{ kWh} * 0,0666 \text{ €} * 24 * 30 = \underline{\underline{3\ 783,41 \text{ €}}}$.

Teoreettinen kustannus kuulostaa erittäin isolta jopa epärealistiselta kuukausitasolla, mutta se on ainakin suuntaa-antava siltä osin, että aukkojen suojaamisella on iso merkitys sisävaiheen työnaikaisessa lämmittämisessä. Tuloksessa tulee huomioida myös se, että laskenta perustuu tilanteeseen, jossa energian saanti on rajaton ja lämmitysteho niin suuri, että rakennuksen lämpötila pystytään pitämään koko ajan samana. Todellisuudessa kaukolämpöliittymästä ei välttämättä edes saa niin paljon energiaa, jotta kyseinen vuotoilma pystyttäisiin täysin lämmittämään. Laskussa myös oletetaan olosuhteiden ja muiden tekijöiden pysyvän vakiona.

Seuraavaksi lasketaan arvioita, kuinka paljon aukkojen eristämällä on merkitystä kylmällä säällä. Ensimmäiseksi lasketaan 12 mm havuvanerin ja 50 mm EPS:n U-arvot.

U-arvolla eli lämmönläpäisykertoimella tarkoitetaan rakennusosan läpi kulkeutuvaa lämpövirran tiheyttä. Suomeksi sanottuna se tarkoittaa kuinka hyvin rakennusosa eristää lämpöä. Mitä pienempi U-arvo on, sitä parempi lämmöneristävyys.

Ennen varsinaista U-arvon laskemista, täytyy laskea ainekerroksen lämmönvastus \rightarrow

$m = d/\lambda \text{ (m}^2 * \text{°C / W)}$. Seuraavaksi lasketaan rakenteen kokonaislämmönvastus kaavasta: $M = m_s + m_u + m \text{ (m}^2 * \text{°C / W)}$. Edellä olevassa kaavassa tulee huomioida seuraavassa taulukossa esitetyt pintavastusarvot. Viimeisenä määritetään U-arvo, joka on rakenteen kokonaislämmönvastuksen käänteisarvo $\rightarrow U = 1 / M \text{ (W / m}^2 * \text{°C)}$. [21.]

Taulukko 10. Taulukossa esitetty pintavastusarvoja. [21.]

Sisäpuolinen pintavastus m_s lämpö siirtyy			Ulkopuolinen pintavastus m_u lämpö siirtyy		
vaakasuoraan	ylöspäin	alaspäin	vaakasuoraan	ylöspäin	alaspäin
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

$$\lambda_{\text{Havuvaneri}} = 0,13 \text{ (W / (m} \cdot \text{°C))}$$

$$\lambda_{\text{EPS}} = 0,03 \text{ (W / (m} \cdot \text{°C))}$$

U-arvo, kun aukko on suojattu 12 mm havuvanerilla. Oletetaan, että lämpö siirtyy vaakasuoraan. Lasketaan aluksi materiaalien lämmönjohtavuus $\rightarrow m_{\text{Havuvaneri}} = d/\lambda \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)} = 0,012 \text{ m} / 0,13 \text{ (W / (m} \cdot \text{°C))} = 0,092307... \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)} \approx \underline{\underline{0,0923 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)}}$

$$m_{\text{EPS}} = 0,05 \text{ m} / 0,03 \text{ (W / (m} \cdot \text{°C))} = 1,66666... \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)} \approx \underline{\underline{1,67 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)}}$$

Kokonaislämmönvastuksen laskemiseen otetaan tarvittavat tiedot taulukosta 10 ja edellisen laskun lämmönjohtavuusarvosta $\rightarrow M = m_s + m_u + m \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)}$

$$M_{\text{Havuvaneri}} = 0,13 + 0,04 + 0,0923 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)} = \underline{\underline{0,2623 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)}}$$

$$M_{\text{EPS}} = m_s + m_u + m \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)} = 0,13 + 0,04 + 1,67 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)} = \underline{\underline{1,84 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)}}$$

$$U_{\text{Havuvaneri}} = 1 / M = 1 / 0,2623 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)} = 3,8124... \text{ (W / m}^2 \cdot \text{°C)} \approx \underline{\underline{3,81 \text{ (W / m}^2 \cdot \text{°C)}}$$

$$U_{\text{EPS}} = 1 / M = 1 / 1,84 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C / W)} = 0,54347... \text{ (W / m}^2 \cdot \text{°C)} \approx \underline{\underline{0,54 \text{ (W / m}^2 \cdot \text{°C)}}$$

Seuraavaksi lasketaan johtumisteho eli toisin sanoen lämpöhäviö. Johtumisteho saadaan seuraavalla kaavalla: $q_{jo} = (U \cdot A \cdot (t_s - t_u)) \text{ (W)}$

U = Rakenteen U-arvo (lämmönläpäisykerroin), A = Pinta-ala, t_s = sisälämpötila t_u = ulkolämpötila

Otetaan esimerkiksi kohde, jossa on ikkunoita asentamatta 30m² edestä. Verrataan vanerilevyn eristävyttä EPS-eristeeseen.

$$U_{\text{Havuvaneri}} = 3,81 \text{ (W / m}^2 \cdot \text{°C)} \quad U_{\text{EPS}} = 0,54 \text{ (W / m}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$A = 30 \text{ m}^2 \quad t_{\text{SISÄ}} = 20 \text{ °C} \quad t_{\text{ULKO}} = -15 \text{ °C}$$

$$q_{\text{Havuvaneri}} = 3,81 \text{ (W / m}^2 \cdot \text{°C)} * 30 \text{ m}^2 * 35 \text{ °C} = 4000,5 \text{ W} \approx \underline{\underline{4000 \text{ W}}}$$

$$q_{\text{EPS}} = 0,54 \text{ (W / m}^2 \cdot \text{°C)} * 30 \text{ m}^2 * 35 \text{ °C} = \underline{\underline{567 \text{ W}}}$$

Oletetaan, että olosuhteet pysyvät vakiona. Kuukauden aikana lämpöhäviötä tapahtuu →

$$\text{Lämpöhäviö}_{\text{Havuvaneri}} = (4000 \text{ W} / 1000) * 24 \text{ h} * 30 = \underline{\underline{2880 \text{ kWh}}}$$

$$\text{Lämpöhäviö}_{\text{EPS}} = (567 \text{ W} / 1000) * 24 \text{ h} * 30 = 408,24 \text{ kWh} \approx \underline{\underline{408 \text{ kWh}}}$$

Laskujen perusteella voidaan todeta, että kylmällä säällä aukkojen eristämällä on suuri merkitys työnaikaisen lämmityksen optimoinnin kannalta. 50 mm eristeellä tapahtuu seitsemän kertaa pienempi lämpöhäviö kuin havuvanerilla. Lisäksi EPS-eriste on neliöhinnaltaan edullisempää kuin havuvaneri.

Oletetaan, että energian hinta on arvonlisäverottomana 0,0666 €/kWh. Lasketaan, kuinka paljon enemmän havuvanerin aiheuttaman energiahäviön lämmittäminen maksaa kuukaudessa kuin EPS:n. $(2880 - 408) \text{ kWh} * 0,0666 \text{ €} / \text{kWh} = \underline{\underline{164,63 \text{ €} / \text{kk}}}$.

Rakentamisessa yritetään jatkuvasti löytää keinoja, jolla voidaan tehdä työskentelystä entistä tehokkaampaa. Nykyään nojaututaankin lean-ajatteluun eli pyritään tekemään mahdollisimman paljon tulosta mahdollisimman vähällä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että turha työ minimoidaan ja tuottava työ maksimoidaan. Mitä työnaikaiseen lämmittämiseen tulee, tämänhetkisiä kustannuksia halutaan pienentää. Lämmityskalusto ja energia vievät rahaa, joten yksi vaihtoehto kustannusten pienentämiselle olisi rakennuksen oman lämmitysjärjestelmän käyttöönotto mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Esimerkiksi pattereiden tai lattialämmityksen käyttöönotto. Elementtirakenteissa kohteissa kuitenkin harvoin on lattialämmitystä muualla kuin kylpyhuoneissa. Lattialämmityksen käyttöönotto ennen laatoitustöiden aloittamista betonin kuivumisen nopeuttamiseksi kuulostaa hyvältä idealta, mutta on käytännössä melko vaikea toteuttaa talotekniikan osalta. Käytännön kannalta helpompi ratkaisu on lankalämmitys. Ra-

kennuksen omien pattereiden käyttöönotto on suotavaa tehdä heti, kun se on mahdollista. Tällä voidaan kohteesta riippuen jopa poistaa työnaikainen lämmitys kokonaan käytöstä. Kohteeseen tulee kuitenkin jättää siirtoilmapuhaltimia riittävän tuuletuksen takaamiseksi.

Kun työnaikaista lämmitystä toteutetaan, voidaan olosuhteita seurata lämpötila- ja kosteusmittareilla, jotta optimaaliset olosuhteet toteutuvat. Rakennusta ei tule lämmittää liian suurella teholla, sillä työteho kärsii ja kustannukset nousevat. Esimerkiksi sisävaiheessa olevassa kohteessa voidaan lämmitystä aina pienentää aamulla töihin tultaessa ja suurentaa töistä lähtiessä. Näin mahdollistetaan mukavammat työskentelyolosuhteet eikä lämmittimien tarvitse koko ajan olla täydellä teholla.

Rakennusalan digitalisaatio on kehittynyt viime vuosina valtavasta ja sen osuus rakentamisessa tulee varmasti nousemaan entisestään. Digitaalisia työkaluja voisi soveltaa myös työnaikaisessa lämmittämisessä. Hieman utopistista ajatella, että työnaikainen lämmitysjärjestelmä voisi olla ns. ”älykäs” järjestelmä. Älykäs lämmitysjärjestelmä voisi mitata lämpötilaa, ilman suhteellista kosteutta sekä optimaalista ilmanvaihtuvuutta. Älykäs lämmitysjärjestelmä olisi liitettävissä älypuhelimeen ja älypuhelimen välityksellä voisi säätää lämmitystehoa ja saisi dataa toteutuneesta lämmityksestä. Älykäs lämmitysjärjestelmä voitaisiin ohjelmoida myös siten, että se ilmoittaisi mahdollisista suurista lämpöhäviöistä perustuen joko alhaiseen lämpötilaan, poikkeuksellisen hitaaseen lämpötilan nousemiseen tai ilman suhteellisen kosteuden suuruuteen. Älypuhelimeen tulisi aina ilmoitus, jos ilmenisi häiriö esimerkiksi järjestelmän sammuminen tai polttoöljy vähissä.

Tuotannosuunnitteluvaiheessa työnaikaisen lämmityksen optimoinnissa olisi hyvä keskittyä siihen, kuinka aukot saataisiin suojattua mahdollisimman nopeasti. Aukkojen suojaaminen väliaikaisilla rakennusmateriaaleilla vie aikaa sekä rahaa. Mikäli ikkunat ja ovet saataisiin asennettua varhaisessa vaiheessa elementtiasennuksen kanssa tahdikain, välttyttäisiin turhilta kustannuksilta ja lämpöhäviöiltä.

10 Lähteet ja liitteet

1. Lujatalo. Verkkosivu. <<https://www.lujatalo.fi/>>. Luettu 24.7.2021.
2. Ramirent. Verkkosivu. <<https://www.ramirent.fi/blogi/rakennustyomaiden-valiaikainen-lammitys>>. Luettu 25.7.2021.
3. Suomen kaasuenergia. Verkkosivu. <<https://suomenkaasuenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/rakentamisen-aikainen-lammitys/>>Luettu 1.8.2021.
4. Kivitalo. Verkkosivu. <<https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/rakenteiden-kuivattaminen/>> Luettu 5.8.2021.
5. Sisäilmayhdistys. Verkkosivu. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat>> Luettu 6.8.2021.
6. Kosteusmittaus. Verkkosivu. <<https://kosteus-mittaus.fi/kosteudenhallinta-kapillaarinen-vedennousu/>> Luettu 5.8.2021.
7. Rakennustieto. Verkkosivu. Talvirakentaminen PDF. Anssi Koskenvesa. <<https://www.rakennustieto.fi>> Luettu 7.8.2021.
8. Wikipedia. Verkkosivu. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Konvektio>> Luettu 9.9.2021.
9. Peda.net. Verkkosivu. Lämmönsiirtyminen. <<https://peda.net/kokemaki/peruskoulut/yhteiskoulu/fysiikka/fysiikka-8/1%C3%A4mp%C3%B6ppi/1ls>> Luettu 10.9.2021.
10. Tieteen Kuvalehti. Artikkel. <<https://tieku.fi/fysiikka/fysiikan-ilmiot/lampo-siirry-kolmella-tavalla>> Julkaistu 1.9.2009. Luettu 10.9.2021.
11. Helen Oy. Verkkosivu. <<https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytyk/kaukolampo/hinnat>> Luettu 28.9.2021.
12. Suomen Betoniyhdistys. By 201 Betonitekniiikan oppikirja. 2018. 6. Painos. Grano Oy. Vaasa.
13. Ilmatieteenlaitos. Verkkosivu. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>> Luettu 2.10.2021.

14. Suvanto, Kari. Tekniikan Fysiikka 1. 2015. 6. Painos. Otavan Kirjapaino Oy. Keuruu.
15. Asiantuntija. Toni Kalliomäki. Hämeen Rakennuskone. Haastattelu 21.9.2021.
16. Viafin Gas Oy. Esite. 7.9.2021.
17. Lämmitysenergiayhdistys. Verkkosivu.
<<https://oljylammitys.fi/energiatehokkuus/oljy-on-tehokasta-energiaa/>> Luettu 3.10.2021.
18. Yläneen Rakennuskeskus Oy. Verkkosivu. <<https://omakylakauppa.fi/polttooljy-yrityksille.php#hintatulokset>> Luettu 3.10.2021.
19. Metropolia. Työmaatekniikka ja työturvallisuus. Kurssimateriaali. Syksy 2020.
20. Betoni. Verkkosivu.
<<https://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/lattiat/betonilattian-pintatarvikkeet/>> Luettu 10.10.2021
21. Metropolia. Rakennusfysiikka. Kurssimateriaali. Syksy 2019.