

Rakentamisen energiatehokkuus ja olosuhdehallinta
– rakennusfysiikkaa rakennustyömaille

OLLI TERIÖ & JARI HÄMÄLÄINEN

Luonnos 31.3.2015

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	3
1. Perusteet.....	4
1.1 Työmaan olosuhteet	4
1.2 Kastepiste.....	5
1.3 Betonin lujuuden kehitys	6
2. Rakennustyömaan sääsuojaus	8
2.1 Miksi sääsuojasta tarvitaan?	8
2.2 Suojaustavat	9
2.2.1 Sääsuojahallit	9
2.2.2 Suojapeitteet	10
2.2.3 Ilmaverhojen käyttö.....	10
2.3 Ulkovaipan aukkojen suojaus	11
2.4 Betonilaattojen suojaus.....	12
2.5 Materiaalien suojaus.....	12
2.6 Tiiviit välipohjaholvit.....	13
2.7 Sadeveden, lumen ja jään mekaaninen poistaminen	14
3. Rakenteiden kuivattaminen.....	15
3.1 Rakennustyömaan ja rakenteiden lämmittäminen	15
3.1.1 Sähkölämmitys	15
3.1.2 Lämpömatto	15
3.1.3 Lämmityskaapelit ja lankalämmitys.....	16
3.1.4 Kuumailmapuhaltimet	16
3.1.5 Nestekaasulämmitys	16
3.1.6 Nestekaasulämmityksen ominaisuudet	17
3.1.7 Nestekaasun höyrystymiskyky kylmässä.....	18
3.1.8 Nestekaasun kuljetus ja varastointi	18
3.1.9 Nestekaasulämmittimet.....	19
3.1.10 Polttoöljylämmitys.....	20
3.1.11 Kaukolämpö	22
3.1.12 Lämmitystavan valinta ja toteutus.....	23
3.1.13 Lämmitystehon määrittäminen.....	25
3.2 Rakennekosteus ja rakenteiden kuivattaminen	26

3.2.1	Rakennekosteus	26
3.2.2	Kosteusrasitukset	27
3.2.3	Betonin ja betonirakenteiden kuivattaminen.....	29
3.2.4	Betonirakenteiden kuivattaminen.....	30
3.2.5	Kuivatustavat.....	30
3.2.6	Tuulettaminen.....	31
3.2.7	Kondensio- ja sorptiokuivaimet	33
3.2.8	Säteilijät ja infrakuivain.....	35
3.3	Kosteusmittaus	36
4.	Rakenteiden ilmatiiveys ja energiatehokkuus.....	38
4.1	Rakennusten energiatehokkuus.....	38
4.2	Ilmanpitävyyden merkitys	39
4.3	Ilmanpitävän rakennuksen toteuttaminen	41
4.4	Ulkoseinien tiiveys	42
4.5	Rakenteiden lämmöneristys	43
4.5.1	Muovieristeet.....	43
4.5.2	Mineraalivillat	45
4.5.3	Puhallusvilla	46
4.6	Rakenteet ja liitokset	47
4.6.1	Maanvastaiset alapohjat.....	47
4.6.2	Puurankaseinät.....	48
4.6.3	Puuelementtiseinät.....	50
4.6.4	Hirsiseinät	51
4.6.5	Ikkuna ja oviaasennukset.....	51
4.6.6	Puurakenteiset tuuletustilalliset yläpohjat.....	52
4.6.7	Tuulettumattomat yläpohjat	53
5.	Kivitalojen energiatehokkaat detaljit.....	55
5.1	Tuulettuvat alapohjat	55
5.2	Harkkoseinät ja puhtaaksimuuratut tiiliseinät.....	55
5.2.1	Betonielementtiseinät	56
5.3	Betonilaatan päällinen vesikatto	56
6.	Läpivientien tiivistäminen	58

1. Perusteet

Energian hinnannousu ja kasvanut ympäristötietoisuus ovat vauhdittaneet energiansäästötoimenpiteitä. Energian hinnannousulle syinä ovat olleet verotuksen kiristyminen, luonnonvarojen saatavuuden heikkeneminen sekä energian käytön lisääntyminen. Energiansäästötoimenpiteisiin on ryhdytty monilla aloilla. Myös rakennusyrytyksissä on ympäristötietoinen ajattelutapa yleistynyt.

Rakennustyömaan energian käyttöä on tutkittu vain vähän. Arviot rakennustyömaaisista energiankulutusmääristä vaihtelevat suuresti. Vaihtelua aiheuttavat tutkimusten vähäisyyden lisäksi rakentamisaikojen, hankkeiden ja ympäristön erilaisuus. Vuodenaikojen merkitys rakentamisen energian kulutukseen on suuri, sillä suurin osa rakennusaikana käytetystä energiasta kuluu lämmittämiseen.

Työmailla lämmitystä tarvitaan erityisesti betonin lujuuden kehittymiseen ja rakenteiden kuivattamiseen. Hyvä sääsuojaus ja tehokas lämmitys tuovat myös taloudellisia säästöjä energian kulutuksen pienentymisen myötä. Lämmityksen kustannuksissa suurimmat erot aiheutuvat lämmitysjärjestelmien vaatiman työmäärän sekä käytetyn energiamuodon hinnan perusteella.

1.1 Työmaan olosuhteet

Suomessa sää vaihtelee paljon vuodenaikojen mukaan. Lämpötilan vaihtelut voivat olla yli 50 astetta eri vuodenaikoina. Ilman suhteellinen kosteus on keväällä sekä kesällä alhainen ja syksyllä sekä talvella korkea. Kuivattamisen kannalta on oleellista ilmaan sitoutuneen veden määrä, eli absoluuttinen kosteus. Kylmänä vuodenaikana ilmaan sitoutuu kosteutta vain vähän, vaikka suhteellinen kosteus onkin korkea. Tämän vuoksi talvella ei ole kuivattamisen kanssa yleensä ongelmia. Kuivattaminen on sen sijaan haasteellista lämpimänä vuodenaikana. Syksyllä ulkoilmaan sitoutuneen kosteuden määrä on lähellä sisäilman kosteuspitoisuutta. Tällöin ulkoa otettavan ilman kuivatuskapasiteetti on pieni eikä tuulettaminen ole tehokasta.

Rakenteiden kuivattamiseen vaikuttavat eniten lämpötila ja ilman kosteus. Lämpötilan noustessa ilmaan voi sitoutua enemmän kosteutta. Kosteuspitoisuuden tulee olla sisäilmas-
sa pienempi kuin ulkoilmassa tuuletettaessa. Kun ulkoilma on hyvin kosteaa, esimerkiksi
syyskesällä, kuivattaminen on vaikeaa. Silloin voidaan koneellisilla poistaa sisäilman kos-
teutta ja johtaa se rakennuksen ulkopuolelle.

Eri paikkakunnilla sijaitsevat työmaat joutuvat varautumaan säähän eri tavoilla. Sääsuoja-
uksella tarkoitetaan suojautumista vesi- ja lumisateilta, liialta auringon valolta, tuulelta ja
kylmyydeltä. Kesäaikaan betonoitaessa voidaan joutua suojautumaan tuulen sekä auringon
kuivattavalta vaikutukselta.

1.2 Kastepiste

Rakenteissa esiintyy kosteus- ja lämpötilaeroja, jolloin rakenteiden lämpötila saattaa alittaa
kastepistelämpötilan. Mikäli rakenteen lämpötila alittaa kastepistelämpötilan, kosteus ti-
ivistyy vedeksi. Kastepisteen merkitys korostuu huonosti eristetyissä kohdissa, silloin kun
suhteellinen kosteus on korkea.

Peruskäsitteitä:

Absoluuttinen kosteus ilmoittaa kuinka monta grammaa vettä on kuutiometrissä ilmaa.

Absoluuttisella kosteudella on yläraja, **kyllästyskosteus**, joka määrittelee paljonko vesi-
höyryä ilmassa voi olla kussakin lämpötilassa. Lämmin ilma voi sisältää enemmän vesi-
höyryä kuin kylmä.

Kastepiste (kastepistelämpötila) on lämpötila jolloin kyllästyskosteus saavutetaan.

Suhteellinen kosteus ilmaisee sen, kuinka monta prosenttia absoluuttinen kosteus on val-
litsevan lämpötilan kyllästyskosteudesta.

Laajoilla pinnoilla tiivistyvän kosteuden määrä saattaa olla rakennusaikana suurta, esimer-
kiksi eristämättömän holvin alapinnassa. Kuvassa 4. nähdään kastepisteen syntyminen eri
lämpötiloissa ja eri kosteuspitoisuuksilla, kun ilman suhteellinen kosteus on 100 % eli saa-
vuttanut kyllästyskosteuden.

1.3 Betonin lujuuden kehitys

Betonointi kylmissä olosuhteissa vaatii huolellista valmistautumista. Valmistautumisella tarkoitetaan varautumista riittävillä lämmittimillä, oikeanlaisella betonilla sekä kunnollisilla suojaustoimenpiteillä. Pintabetonivalujen osalta täytyy varmistaa myös alustan riittävä lämpötila ja sopiva kosteus. Betonin lujuudenkehitykseen vaikuttavat ympäröivien rakenteiden ja ilman lämpötilat, tuulen voimakkuus, suojauksen huolellisuus sekä se, kuinka nopeasti valu kyetään suojaamaan betonoinnin jälkeen. Valun alkutunteina betonin hydrataatio ei ole vielä alkanut, jolloin valu itsessään ei kykene tuottamaan lämpöä. Tämän vuoksi valun nopea suojaaminen on tässä vaiheessa tärkeää. Nopeaan muottikiertoon pyritessä, varmistetaan riittävä lämpö lisälämmityksellä. Myöhemmässä vaiheessa betonin hydrataatio lämmittää betonivalua. Betonin lujuudenkehitys hidastuu huomattavasti, kun betonin lämpötila laskee alle kymmenen lämpöasteen.

Kun lämpötila alittaa +5 °C, puhutaan talvibetonoinnista. Tällöin betonin lujuuden kehitys on jo hyvin hidasta ilman erityistoimenpiteitä. Betonivalun ei saa koskaan antaa jäätyä ennen kuin se on saavuttanut betonin jäätymislujuuden, mikä on useilla betoneilla noin 5 Mpa.

Muotin purkulujuus on useimmiten 60 %, betonin tavoitelujuudesta. Kuvassa 5. olevalla betonilla muotin purkulujuus 18 Mpa saavutetaan alle 4 vuorokauden kuluttua valusta, lämpötilan ollessa yli +20 astetta. Lämpötilan laskiessa alle +10 asteen muotin purkulujuuden saavuttaminen hidastuu oleellisesti. Talvibetonoinnin kannalta tämä tarkoittaa pidempää lämmitysaikaa.

Betonilaadun valinnalla voidaan vaikuttaa suuresti talvibetonoinnissa lämmityksen tarpeeseen. Nostamalla betonin lujuusluokkaa tai käyttämällä nopeasti kovettuvaa betonia, voidaan saavuttaa betonilta vaadittu lujuus nopeammin. Talvibetonoinnissa betonin valinnan lisäksi on huomioitava lämpötilaerojen pysyminen riittävän pieninä, tehokas kovettumislämpötila sekä valun suojaaminen. Valuun liittyvien rakenteiden ja muottien tulisi olla ennalta lämmitettyjä ja lumesta sekä jäästä puhdistettuja. Lumi ja jää estävät betonin kiinnittymisen ympäröiviin rakenteisiin. Kylmät ja jäiset muotit laskevat tarpeettomasti betonin lujittumislämpötilaa.

Lämpötilaerot valun sisällä eivät saa nousta 20 astetta suuremmiksi. Mikäli lämpötilaerot kasvavat suuriksi, betoniin syntyy sisäisiä voimia, joita tuoreen betonin lujuusominaisuudet eivät kestä. Lämpötilaerot johtuvat kylmäsilloista, valun huonosta suojaamisesta tai

vääränlaisesta lämmitystavasta. Lämmityskaapelit ja säteilylämmittimet aiheuttavat helposti suuria lämpötilaeroja tuoreelle betonille, mikäli ne asennetaan väärin.

Kuumabetonin käyttö pakkasella on perusteltua, sillä valussa ei tapahdu lujuuden kehitystä valun alkutunteina. Mitä korkeampi lämpötila saadaan valun alkuvaiheessa saavutettua, sitä nopeammin betonin hydrataatio käynnistyy. Kuumabetonia käytettäessä on valun lämpösuojaus tehtävä erityisen huolellisesti, jotta lämpö ei karkaa hukkaan. Kuumabetonin käyttö hyvin suojattuna on energiatehokas tapa talvella betonointeihin.

Betonimassan ja myöhemmin kovettuneen betonin lämpötilaa tulee seurata jatkuvasti betonin muotin purkulujuuden saavuttamiseen saakka. Näin voidaan varmistaa betonin riittävä lujuudenkehitys. Seurannan avulla voidaan myös säätää lämmittimien tehoa, jotta valun kannalta sopiva lämpötila saadaan pidettyä. Betonin lämpötilan seurannalla estetään myös tarpeettoman pitkä tai liian tehokas lämmitys. Lämpötilan seuranta tehdään siihen soveltuvilla mittareilla. Osa mittareista kykenee tallentamaan mittaustulokset muistiin, jotka voidaan lukea tietokoneella. Reaaliaikainen seuranta on välttämätöntä, jotta valun lämpötilaan voidaan tarvittaessa tehdä muutoksia.

2. Rakennustyömaan sääsuojaus

Sääsuojauksessa yleisintä on suojapeitteiden käyttö. Suojapeitteet ovat kestäviä, edullisia, monikäyttöisiä, helposti liikuteltavia ja vedenpitäviä. Ne pysyvät kevytpeitteitä helpommin myös paikoillaan. Sääsuojahallit soveltuvat parhaiten perustus- ja runkovaiheen rakentamiseen pien- ja rivitalojen suojaukseen talvella sekä vesikattotöiden suojaamiseen korjauskentämissä. Suunnitelmat sääsuojahallien käytöstä tulisi tehdä jo ennen hankkeen aloittamista, jotta niistä saadaan mahdollisimman suuri hyöty ja niiden kustannuksiin voidaan varautua ennalta.

2.1 Miksi sääsuojausta tarvitaan?

Sääsuojaukseen tulee kiinnittää vesi- ja lumisateiden sekä kylmyyden osalta erityistä huomiota syyskuusta huhtikuulle asti. Perustusten suojaamisella vähennetään lumen puhdistus- ja sulatustöitä sekä vältetään roudan sulatustoimia. Maapohja voidaan joissakin tapauksissa suojata jo etukäteen ennen maapohjan jäätymistä tai ennen lumisateita.

Runkovaiheen väliaikaiset suojaustoimenpiteet säästävät huomattavasti energiaa. Ovien ja muiden aukkojen sulkeminen lämmityskauden aikana on erityisen tärkeää. Lopullisten ulkovaipan rakenteiden saaminen valmiiksi mahdollisimman varhaisessa vaiheessa ja ovi- ja pumpuilla varustettujen väliaikaisten ulko-ovien käyttö heti rakentamisen alusta lähtien auttavat säästämään energiaa ja luomaan hyvät kuivumis- ja työskentelyolosuhteet. Väliaikaisten eristettyjen seinien rakentaminen on perusteltua sellaisiin aukkoihin, joita joudutaan pitämään pitkään auki ennen lopullisia rakenteita. Esimerkiksi autohallien rampit, porrashuoneiden seinät tai teollisuushallien nosto-ovet voivat olla tällaisia.

Sääsuojausta ja hyviä olosuhteita tarvitaan koska,

- Syksyn kosteudessa betonin kuivuminen on hidasta
- Talvella kylmä ilma valuu lattianrajaan, jolloin pinnan hierto viivästyy
- Keväällä kuiva ilma voi aiheuttaa betonin halkeilua
- Kesällä tuuli ja helle voivat aiheuttaa betonin halkeilua.

Myös liian kylmä tai liian kuiva alusta aiheuttavat lattioihin laatuongelmia.

2.2 Suojaustavat

Parhaaseen sääsuojaukseen päädytään, kun turvaudutaan useaan sääsuojaustoimenpiteeseen. Valmiiden rakenteiden kanssa voidaan käyttää väliaikaisia osastoivia rakenteita. Tällaisia voivat olla porraskokkeiden suojat tai eristelevystä tehdyt seinät. Sääsuojaus valitaan sen mukaan, miltä halutaan suojautua. Yleisimmin suojaudutaan kylmältä tai sateelta. Moilemmilta suojauduttaessa tulee huomiota kiinnittää tiiveyteen ja paikallaan pysyvyyteen. Mikäli peitteiltä halutaan hyvää eristävyttä, tulee peitteitä laittaa kahteen kerrokseen jättäen ilmatila kerrosten väliin.

2.2.1 Sääsuojahallit

Sääsuojahalleja käytetään pääasiassa korjausrakentamisessa sekä perustusvaiheessa olevissa kohteissa. Sääsuojahallit suojaavat sateelta, auringolta, tuulelta ja lämmitettynä kylmyydeltä. Sääsuojan lämmittäminen ei kuitenkaan ole energiataloudellista. Sääsuojahallien käyttäminen kerrostalotyömailla on vähäistä nopean rakentamistahdin ja sääsuojan kustannusten vuoksi. Hyvällä etukäteissuunnittelulla valitaan oikeat hallimoduulit ja kuljetusreitit. Hyvä suunnittelu pienentää selvästi sääsuojauksesta aiheutuvia kustannuksia. Sääsuojahallin etuina ovat vähentynyt kuivatustarve ja lisääntynyt työn tehokkuus. Sääsuojahalleja voidaan käyttää myös materiaalivarastoina. Tällöin lumitöihin kuluva aika voidaan vähentää ja materiaalit säilyvät paremmassa kunnossa.

Sääsuojahalleja on saatavilla useita eri kokoja ja tyyppisiä. Sääsuojahalli on mahdollista rakentaa omalle rungolle monikerroksisen talon päälle ja siihen voidaan valita liikuteltavat tai avattavat kattorakenteet. Tällöin materiaalin purku ja siirto on mahdollista suorittaa normaalisti ja työmaa pysyy kuitenkin säältä suojassa. Sääsuojahalli on mahdollista rakentaa myös kiskojen tai pyörien päällä liikkuvaksi, mikä myös mahdollistaa tehokkaan työmaalogistiikan. Yleensä sääsuojahallit vuokrataan ja hallin toimittaja hoitaa pystytys ja purkutytöt.

Sääsuojahalleista aiheutuu lisäkustannuksia, esimerkiksi 2–3 % rivitalon myyntihintaan. Hyötyinä on kuitenkin säästä aiheutuvien häiriöiden ja odotusaikojen väheneminen, hyvän laadun aikaansaaminen ja työturvallisuuden paraneminen, esimerkiksi liukastumista johtuvien tapaturmien riskin pienentyessä.

Kerrostalotyömaiden sääsuojaaaminen on haasteellista, koska runkovaiheessa kerros rakennetaan tyypillisesti 1-3 viikossa. Tällöin on hankalaa toteuttaa sääsuojaus ylimmälle holvili-

le asennettavien sääsuojien avulla, sillä sääsuojien käytön vaatima työmäärä on varsin suuri. Kerrostalotyömailla sääsuojauksen suunnittelu on haastavaa, koska säältä suojaamisen lisäksi tulee huomioida töiden eteneminen, seuraavan kerroksen rakentuminen, putoamis- suojaus, sääsuojauksen paikallaan pysyminen sekä kustannuksien suuruus.

2.2.2 Suojapeitteet

Kerrostalotyömailla sääsuojauksessa käytetään yleensä **suojapeitteitä**. Suojapeitteet ovat monikäyttöisiä. Niiden vedenpitävyys on hyvä, mikäli peitteitä on käytetty ja varastoitu oikein. Suojapeitteiden lämmöneristävyys paranee, kun käytetään kahta peitettä päällekkäin noin 10 cm ilmavälillä. Tällöin kiinnitys täytyy suunnitella tarkasti.

Kevytpeitteiden käyttö rakennustyömaalla soveltuu vain väliaikaiseen pölyltä ja liialta suojautumiseen. Kevytpeitteet pitävät huonosti lämpöä ja vettä sekä rikkoontuvat herkästi. Kevytpeitteiden paikallaan pysyvyyden kanssa on usein suuria ongelmia.

Kevytpeitteiden aiheuttamat lämpöhäviöt ovat merkittäviä, tämän vuoksi tulisi suosia raskaampia suojapeitteitä. Hyvän suojapeitteen paino on suurempi kuin 500 g/m^2 .

Eristepeitteet koostuvat kahdesta tiiviistä suojakankaasta, joiden välissä on ohut lämmöneristekerros, mikä on yleensä solu- tai vaahtomuovia. Eristepeitteitä käytetään valujen ja maapohjan suojaamiseen. Eristepeitteiden lämpösuojausominaisuudet ovat suuremmat kuin tavallisilla sääsuojapeitteillä.

2.2.3 Ilmaverhojen käyttö

Ilmaverhoilla synnytetään ilmavirtaus avoimen aukon kohdalle, tällöin ilmavirtaus aukon läpi pienenee. Vertikaalinen ylhäältä alaspäin puhaltava ilmaverho lisää tiiveyttä 60 %, verrattuna tilanteeseen ilman ilmaverhoa. Tiiveys kuvaa kuinka paljon ilmanvaihto aukon läpi pienenee.

Rakennustyömailla ilmaverhoa voitaisiin käyttää toistuvasti auki olevien oviaukkojen kohdalla. Rakennusmateriaalien nostaminen kerrokseen tapahtuu usein samoista ikkuna- tai oviaukoista.

2.3 Ulkovaipan aukkojen suojaus

Sääsuojaus on edellytys lämmityksen aloittamiselle. Ilman kunnollisia sääsuojaustoimenpiteitä ei voida lämmittää eikä rakentaa energiatehokkaasti. Sääsuojauksella suojaudutaan vettä, ilmavirtoja ja kylmyyttä vastaan. Sääsuojaukset tulee suunnitella työmaakohtaisesti. Kylmänä vuodenaikana rakennettaessa tulee työmaan ulkovaipan aukot suojata useista erisyistä. Näitä syitä ovat:

- Betonin lujuudenkehitys vaatii lämpöä ja suojaukset vähentävät lämmön hukkaa.
- Holvien lämmittäminen alapuolelta on helppo tapa varmistaa laatan tai ontelolaatan saumavalujen lujittuminen. Samalla on kuitenkin varmistettava, ettei lämpö karkaa vaipan aukoista turhaan ulos.
- Rakenteiden kuivattaminen vaatii lämpöä ja suojauksilla lämpö saadaan suunnattua ja pidettyä oikeissa paikoissa.
- Aukkojen suojaus estää lumen tuiskuamisen alemmille holville.
- Rakenteet pysyvät kuivempina.
- Suojaukset estävät tuulen kylmyysvaikutusta ja parantavat työskentelyolosuhteita.

Runkovaiheessa käytetään isoissa aukoissa pitkäaikaisina suojarakenteina eristelevyistä tehtyjä seiniä kevytpeitteiden sijasta. Peitteillä suojattaessa kannattaa käyttää kaksikerroksista suojausta, joiden väliin jää ilmatila. Tällöin suojauksen eristävyys paranee. Pitkään auki oleviin aukkoihin, joista kuljetaan paljon, voidaan vuokrata ilmaverhopuhallin. Rakennuksen ulkovaippa on pyrittävä saamaan mahdollisimman tiiviiksi lämmityskaudella, sillä lämmitykseen kuluu noin 70 % rakennustyömaa-aikaisesta energiasta. Rakennusvaiheessa kastumaan päässeiden eristeiden lämmönjohtavuus lisääntyy ja seinien eristävyys heikkenee. Eristeisiin päässyt vesi kuluttaa myös paljon energiaa kuivuessaan haihtumalla.

Kylmyyttä vastaan suojauduttaessa tulee keskittyä erityisesti pitkäaikaisesti auki oleviin rakenteisiin sekä kulkuaukkoihin. Lämpösuojauksessa on tärkeää suojarakenteiden eristävyys ja ilmanpitävyys. Tämän vuoksi monikerroksiset suojaukset ja eristelevyt ovat energiataloudellisia valintoja.

Osastointien avulla voidaan helpommin saavuttaa tasainen lämpötila työmaalla. Esimerkiksi teollisuus- ja myymälähallit voidaan jakaa osastoihin väliaikaisilla seinillä ja saada siten eri työvaiheihin sopivat olosuhteet vähäisemmällä lämmittämällä. Korkeissa rakennuksissa lämmin ilma virtaa rakennuksen yläosiin, mitä voidaan vähentää porrashuoneissa ja hissikuiluissa käytettävillä pressuilla. Kuivattamisen tarvitsema ilmanvaihto rakennuksissa saavutetaan usein jo pienillä tuuletusaukoilla. Isot aukot on syytä suojata huolellisesti ja tuuletus järjestää esimerkiksi jättämällä pieniä kynnysrakojä käyntioviin.

2.4 Betonilaattojen suojaus

Rakennusratkaisut vaikuttavat myös sääsuojauksen tarpeeseen, sillä esimerkiksi ohuet ja laajapintaiset betonivalut haihduttavat suuren määrän kosteutta sekä lämpöä pintakerroksesta. Betonin lujittumisen alkuvaiheessa suuri kosteus on tarpeellista, mutta melko nopeasti voidaan aloittaa rakenteiden hallittu kuivattaminen. Yleisimpiä lämpösuojauskeinoja betonivalujen päälle ovat eristematot, suojapeitteet sekä solumuovimatot betonivalun alkuvaiheeseen.

Betonin pinta tulee suojata liian nopealta kuivumiselta. Se voidaan tehdä jälkihoitoaineella tai muovikalvolla. Erityisesti suora auringonpaiste sekä tuuli aiheuttavat liian nopean kuivumisen. Liian nopea kuivuminen aiheuttaa betoniin epätasaista muodonmuutosta, mikä johtaa esimerkiksi betonilaattojen käyristymiseen ja halkeiluun. Myöskään pintakerrokset eivät saavuta suunniteltua lopullista lujuutta liian nopean kuivumisen myötä.

Kuivumiskutistumaa ja halkeilua voidaan vähentää:

- käyttämällä karkeaa kiviainesta (#12, #16, #32), karkean kiven määrä yli 30 %
- käyttämällä kohtuullisesti sementtiä ja vettä
- välttämällä notkistimien käyttöä
- hyvällä jälkihoidolla ja sopivalla 10-12 °C lämpötilalla
- muovi- ja teräskuiduilla
- oikealla hiertoajankohdalla, jolloin pinnasta saadaan tiivis
- suojaamalla valu tuulta, kylmää, sadetta ja auringonvaloa vastaan.

Lämpösuojaukseen vaikuttaa oleellisesti suojauksen huolellisuus. Hyvään tulokseen päästään silloin, kun käytetään kaksikerrossuojausta, eli eristeaine valun pinnalle, ilmaväli ja lopuksi suojapeite. Suojaus pyritään laittamaan valun päälle sitä mukaan kun valu etenee.

2.5 Materiaalien suojaus

Rakennusmateriaalien kastumisen estäminen kuljetuksen ja varastoinnin aikana vähentää rakennekosteutta ja estää rakennusmateriaaleja pilaantumasta. Rakennekosteuden väheneminen puolestaan pienentää rakennuksen kuivattamisen tarvetta. Rakennusmateriaalien suojaus ja varastointi vaativat suunnittelua.

Rakennusmateriaalien säilytyksessä kannattaa hyödyntää valmiita rakenteita ja rakennusosia esimerkiksi autohalleja ja pihavarastoja. Mikäli niitä ei ole käytettävissä, on perusteltua harkita sääsuojahallin vuokraamista.

Ulkovarastoinnissa täytyy muistaa sadevedeltä suojauksen lisäksi materiaalien eristäminen maakosteudelta. Materiaalit tulee sijoittaa esimerkiksi kuormalavojen päälle ja suojapeite on asetettava siten, että ilma materiaalit pääsevät tuulettumaan. On myös huomattava, että valumavesiä ei pääse materiaalisuojien alle. Maakosteus aiheuttaa jatkuvaa kosteusrasitusta altapäin, joten on erittäin tärkeää järjestää kunnollinen tuuletus varastoinnin yhteyteen.

2.6 Tiiviit välipohjaholvit

Tiivis välipohjaholvi mahdollistaa sisävalmistusvaiheen aloittamisen nopeasti rungon etenemisen jälkeen. Välipohjaholveja on vaikea saada täysin vedenpitäväksi. Ongelmallisimpia kohtia ovat porrashuoneen aukot, ontelolaattojen yhtyminen kantaviin rakenteisiin, ulkoseinien eristeissä kulkevat vedet sekä tiivistämättömät holvin aukot. Ylimmän holvin läpi tulevia sadevesiä voidaan poistaa vesi-imureilla, jolloin alempiin kerroksiin sadevesiä pääsee hyvin vähän tai ei ollenkaan.

Suojapeitteillä voidaan osa kattoalueista tarvittaessa jakaa altaisiin, joista vedet pumpataan hallitusti viemäreihin tai ulos. Allastamista on käytetty pääasiassa sadevesien keräämiseen alemmista kerroksista. Allastamisen tarkoitus on estää sadevesien kulkeutuminen alemmalle holville, kunnes ylempi holvi on saatu tiiviiksi. Allastaminen voidaan toteuttaa vahvoilla ehjillä sääsuojapeitteillä, joiden reunoille laitetaan korokepuut koko reunan matkalle. Allastamisessa on huolehdittava oikeanlaisen pumpun käytöstä sekä huomioitava pumpun tukkeutuminen tai vioittuminen. Pumpun tulee olla riittävän tehokas, jotta pumppausteho riittää kovimmallakin sateella. Pumpun tulee olla tyypiltään sellainen, joka kestää kuivakäyntiäkin. Tuulen vaikutus täytyy myös huomioida, jotteivät peitteet pääse lähtemään pois paikoiltaan. Korkeissa rakennuksissa voidaan myös tehdä kermieristys 6-10 kerroksen kohdalle, jolloin alemmissa kerroksissa voidaan aloittaa sisävalmistusvaiheen kosteudelle arat työvaiheet.

Tiiviiseen välipohjaholviin tulisi aina pyrkiä, tällöin kosteusrasituksia voidaan pienentää. Tiivis välipohjaholvi edellyttää toimenpiteitä jo suunnittelu vaiheessa. Läpiviennit holvin läpi tulee minimoida, siten että talotekniikan vaakavedot tuodaan välipohjan sisällä tai alla. Pystynousut keskitetään puolestaan omiin kuiluihinsa. Tiiviiltä välipohjalta sadevedet tulee ohjata esimerkiksi kerroksessa oleviin viemäreihin, joista voidaan väliaikaisten putkitusten

avulla ohjata sadevedet pois. Tiivis holvi on myös ilmatiivis ja helpottaa siten lämmityksen ja kuivatuksen hallintaa

2.7 Sadeveden, lumen ja jään mekaaninen poistaminen

Lumi ja jää tulee aina poistaa mekaanisesti, jos se on mahdollista. Tällöin kosteuden poisto on mahdollisimman nopeaa ja kuivatukseseen kuluu vähemmän energiaa. Mekaanista vedenpoistoa varten rakennustyömaalla voidaan käyttää viemärointiä, vesisankoja, saaveja, kuivauslastoja vesi-imureita tai uoppopumppuja. Lumen poistoon sopii lehtipuhallin, harja, lumikola, lapio, paineilmaa. Höyrykehittämiä tulee välttää lumen poistossa, koska höyry jäätyy helposti betonin pintaa, mikä estää betonivalun kunnollisen tartunnan. Rakentaminen työmaalla on nopeatempoista, joten mitään monimutkaisia ja kalliita järjestelmiä ei yleensä ole kannattavaa asentaa.

Sateiden tuoma vesimäärä laajapintaisilla holveilla ja lattioilla on suurta jo pienilläkin sademäärillä. Esimerkiksi, jos 500 m^2 holville sataa vettä 10 mm:n kerros, vesimääränä tämä tarkoittaa $500 \text{ m}^2 \times 0,01 \text{ m} = 5 \text{ m}^3$. Keskimääräiset sademäärät Suomessa syksyllä ovat noin $50 - 80 \text{ mm}$ kuukaudessa, joten yhden portaan holville voi sataa kymmeniä kuutioita vettä. Mikäli holvi ei ole tiivis, joudutaan suuri osa kyseisestä vesimäärästä kuivattamaan pois rakenteista. On myös tärkeää huomata, että betonin uudelleen kastuminen hidastaa oleellisesti betonin kuivumista.

3. Rakenteiden kuivattaminen

3.1 Rakennustyömaan ja rakenteiden lämmittäminen

Rakennustyömaalla lämmittäminen kuluttaa noin 70 % rakentamisessa käytetystä energiasta. Tämän vuoksi tulee valita oikeanlaiset lämmittimet ja lämmitystavat kuhunkin työvaiheeseen. Ennen lämmityksen aloittamista on ulkovaipan aukot suljettava. Lopulliset runko- ja eristerakenteet ja esimerkiksi ikkunat tulisi saada paikoilleen mahdollisimman nopeasti, jolloin voidaan säästää energiaa ja kustannuksia. Runkovaiheen betonoinneissa lämmitys kytketään päälle noin 1-3 vuorokautta ennen betonointia, tällöin rakenteiden lämpiäminen vaatii myös energiaa.

3.1.1 Sähkölämmitys

Sähkölämmitys on helppokäyttöinen ja toimintavarma lämmitysmuoto. Sähkölämmittimiä ovat kuumailmapuhaltimet, lämmitysmatot, betonin lämmityskaapelit sekä uppokuumentimet. Sähkölämmitys on pienissä lämmityskohteissa edullinen muoto, sillä energian hinta on kilpailukykyinen ja asennuksen sekä ylläpidon työmäärät ovat vähäisiä.

Sähkölämmityksen heikkoutena on kiinteistön sähköliittymän (päävarokkeiden) rajoittama maksimiteho. Sähkökäyttöisten kuumailmapuhaltimien lämmitystehot jäävät usein pieniksi, koska kiinteistön liitântäteho sähköverkkoon määrää lämmityslaitteiden käyttöä.

3.1.2 Lämpömatto

Perustustyöt kannattaa ajoittaa huhti-marraskuun välille. energian kulutuksen näkökulmasta Mikäli perustustöitä kuitenkin joudutaan tekemään talvikuukausina, tulee menetelmiin kiinnittää erityishuomioita. Lämpömaton käyttökohteita ovat maansulatus, hiekka- ja sorakasojen sulatus, viemäriputkien sulatus sekä sähkö- että tietoliikennejohtojen lämpimänä pito.

Lämpömatossa kulkee lämpökaapeli, jonka yläpuolella on heijastavaa materiaalia oleva pinta sekä solumuovieriste. Maton ulkopinta on tehty PVC päällysteisestä nailonista. Matto on itsestään säätyvä ja se liitetään yksivaiheiseen virtapistorasiaan. Lämpömatot ovat tyyppillisesti kokoa 1 m x 3 m (teho 1000 W) tai 0,8 m x 5,8 m (teho 1700 W). Lämpömatto sulattaa maata noin 30 cm vuorokaudessa. Sulatusteho on riippuvainen maalajista. [17]

3.1.3 Lämmityskaapelit ja lankalämmitys

Betonin lämmityskaapelin käyttökohteita ovat anturat, pilarit, palkit, seinien alaosat, valujen reuna-alueet, ulokkeet, elementtien saumat sekä kylmiä rakenteita vasten valettavat kohdat. Betonin lämmityskaapelia on saatavissa muuntajakäyttöisenä sekä suoraan verkkovirtaan liitettävänä. Muuntajakäyttöistä käytetään isoissa betonivaluissa edullisen hinnan ja suuren lämmitystehon vuoksi. Muuntajakäyttöisen lämmityskaapelin teho on noin 100 W/m ja tehoa voidaan säätää. Suoraan verkkovirtaan liitettävän lämmityskaapelin teho on noin 40 W/m.

Lämmityskaapelin mitoittamiseen vaikuttaa betonin lämmitystarve. Lämmitystarve määräytyy betonin tyyppin, rakenneosan paksuuden, suojauksen sekä ulkolämpötilan mukaan. Asennus tulee tehdä asennusohjeiden mukaan ja kaapelin ehjyys on varmistettava ennen betonointia sekä ennen lämmityskaapelin päälle kytkentää.

Lämmityskaapeli on hyvin energiatehokas keino lämmittää valettavia rakenteita, sillä lämpö tuodaan suoraan betonin sisälle. Lämmityskaapeleita käytettäessä tulee huolehtia hyvästä lämpösuojauksesta, jotteivät lämpötilaerot betonin sisällä kohoa liian suuriksi ja ettei lämpöä turhaan siirry ympäröivään ilmaan. Lämmityskaapelia voidaan käyttää myös valun jälkeiseen betonirakenteen kuivatukseen.

3.1.4 Kuumailmapuhaltimet

Kuumailmapuhaltimet soveltuvat parhaiten pienten kohteiden lämmitykseen. Niiden käyttö on yksinkertaista, mutta energiankulutus melko suurta ja lämmitysteho jää pieneksi. Kuumailmapuhaltimien lämpötilaa ja ilmavirtaa pystytään säätämään.

3.1.5 Nestekaasulämmitys

Nestekaasulämmityksessä tehon määrä saadaan aikaiseksi suhteellisen pienikokoisilla lämmittimillä ja säiliöillä. Kaasulämmittimien heikkouksia ovat kaasun palaessa syntyvä kosteus ja polttoainesäiliöiden ja siirtoletkujen aiheuttama työmäärä. Kylmässä ympäristössä nestekaasupullot eivät myöskään tyhjene täysin. Tällöin nestekaasua voi jäädä jopa 30 % käyttämättä.

3.1.6 Nestekaasulämmityksen ominaisuudet

Nestekaasujärjestelmän valinnassa täytyy huomioida nestekaasuastian tyyppi, järjestelmän liikuteltavuus, paloviranomaisten vaatimukset, käytettävät lämmittimet, nestekaasusäiliöiden saatavuus ja nestekaasun hinta. Nestekaasun hinta on sitä suurempi, mitä pienempi nestekaasuastia on. Suuremmilla astioilla puolestaan perustamiskulut ja vuokratulot ovat suuremmat. Rakennustyömailla on usein käytössä 33 kg:n nestekaasupulloja, joihin on liitetty lämmityslaite. Isommissa ja pidempiaikaisissa töissä 33 kg:n pullo työllistävät paljon. Tämän vuoksi markkinoille on tullut suurempia 190 kg:n ja 210 kg:n astioita. Astioiden vaihtoväli pienenee verrattuna pulloihin, näin työmaalla säästetään työmäärässä ja kuljetuskuluissa.

Nestekaasu on kaasumaisten vetyjen seos, jossa propaania (C_3H_8) on yli 95 % ja butaania alle 5 %. Nestekaasun tiheys on noin 0,5 kg/l. Tiheytensä vuoksi mahdollisessa vuototilanteessa syntyvä nestekaasun ja ilman seos on ilmaa raskaampaa. Seos kerääntyy näin ollen alimpiin kohtiin rakennuksessa kuten kellareihin. Nestekaasu on myrkyllistä ja se kerääntyy hengitettynä keuhkoihin ja poistuu sieltä huonosti. Syttymisraja nestekaasulla on kapea, noin 2-10 %:n seos ilman kanssa. Nestemäisenä 1 kg kaasua laajenee 530 litraan kaasuuntuessaan, tämän vuoksi pienetkin kaasuvuodot voivat olla hyvin vaarallisia. [29]

Lämmittimien lukumäärä ja toiminta-aika määräävät tarvittavan nestekaasusäiliön koon. Esimerkiksi 33 kg:n nestekaasupullon höyrystymiskyky kylmällä säällä on noin 2 kg tunnissa, jolloin siihen voidaan kytkeä vain yksi 26 kW nestekaasupuhallin pulloa kohden. 210 kg:n astialla höyrystymiskyky on noin 12 kg tunnissa, jolloin yhtä astiaa kohden voidaan kytkeä kuusi 26 kW:n lämmitintä. Kulutuksen ollessa 12 kg/h, astian vaihtoväli on alle 18 h.

Nestekaasua käytetään rakennustyömailla pääosin runkovaiheessa betonin valutöiden lämmittämiseen. Nestekaasulämmittimet ovat kevyitä ja pienikokoisia suhteessa lämmitystehoonsa nähden. Usein nestekaasulämmittimet eivät ole lämmönsiirtimillä varustettuja, vaan nestekaasun palaessa pakokaasut jäävät lämmitettävään tilaan. Nestekaasu palaa puhtaasti, mutta kuluttaa palaessaan paljon happea ja tuottaa huomattavan määrän vesihöyryä ja hiilidioksidia lämmitettävään tilaan.

3.1.7 Nestekaasun höyrystymiskyky kylmässä

Rakennustyömailla tulee kiinnittää erityistä huomiota nestekaasupullojen höyrystymiskykyyn. Kylmästä astiasta saadaan vain rajallinen määrä kaasua käyttöön. Höyrystymiskyky vaihtelee pullossa olevan kaasun määrän ja lämpötilan mukaan. Höyrystymiskapasiteetti täytyy huomioida lämmitystä suunniteltaessa.

Höyrystyminen vaatii energiaa ja ottaa sen pulloja käytettäessä ympäröivästä ilmasta. Antokykyä voidaan parantaa höyrystimien käytöllä. Niiden käyttö on mahdollista, kun käytetään vähintään 200 kg:n astioita. Höyrystimiä käytetään kuitenkin yleisimmin 8 m³:n tai suurempien säiliöiden kanssa. Lämmitin, jonka lämmitysteho on yli 10 kW, ei enää saa riittävästi polttoainetta pysyäkseen toiminnassa. Tällöin lämmitin sammuu ja pullo joudutaan vaihtamaan. Pulloon jää kuitenkin jopa 30 prosenttia käyttämätöntä nestekaasua. Määrä kuitenkin pienenee, mikäli pulloja lämmitetään tai mikäli ne säilytetään lämpimässä.

3.1.8 Nestekaasun kuljetus ja varastointi

Nestekaasun kuljetus ja varastointi tapahtuvat nestekaasuastioihin nesteytettyinä. Kuljetuksissa suurin määrä ilman vaarallisten aineiden kuljetuslupaa on 300 kg. Tällöin pullot kuljetetaan pystyasennossa avolavalla erillisessä kuljetukseen soveltuvassa kehikossa. Pullojen astioiden ja säiliöiden nosto tapahtuu valmistajan ilmoittamalla tavalla. Esimerkiksi 33 kg:n pulloja ei saa nostaa kahvoista, eikä kauluksesta koneellisesti. Useat nestekaasupulloetelineetkin ovat tarkoitettu vain pullojen säilyttämiseen tai siirtämiseen työntämällä, eivät koneellisiin nostoihin.

Nestekaasun säiliöitä ovat nestekaasupullot 3-33 kg:n kaasumäärälle, 190 - 210 kg astiat ja nestekaasusäiliöt, jotka tyypillisesti ovat 8 m³ eli 3200 kg kaasumäärälle.

Varastointi rakennustyömaalla ulkotiloissa 200 kg:n asti ei vaadi erillistä lupaa. Ylitettäessä 200 kg:n raja vaaditaan ilmoitus kunnan paloviranomaiselle sekä paloviranomaisen hyväksyntä varastoinnille ja käytön toteutukselle. Kaasusäiliön koon ylittäessä 5000 kg:n rajan, luvan myöntämisestä vastaa Tukes. Työmailla käytettävät kaasusäiliöt ovat tyypillisesti alle 8 m³, jolloin kaasumäärä on alle 3200 kg. Varastointiin ja nestekaasun käyttöön liittyviä säädöksiä koskee valtioneuvoston päätös vnp 344 /1997.

3.1.9 Nestekaasulämmittimet

Nestekaasulämmittimet saa sijoittaa vain sellaisiin tiloihin, joissa ilmanvaihto on riittävä. Tiloissa ei myöskään saa tupakoida. Huomioitavaa on erityisesti palamisilman tarve, sillä yksi kilo kaasua kuluttaa palaessaan noin 12 m³ ilmaa. Rakennuslämmittimissä ei ole yleensä erillistä poistoa pakokaasuille, jolloin oleskelua tilassa tulee välttää. Nestekaasulämmittimien tulee olla käyttöön hyväksytyjä. Laitteessa tulee olla letkurikkoventtiili ja liekinvalvontalaite.

Nestekaasulämmityksen valintaan vaikuttavat kohteen laajuus ja lämmitettävien osastojen koko. Rakennustyömailla käytettävien nestekaasulämmittimien tehot vaihtelevat yleisimmin 25 kW ja 150 kW välillä. Laitteiden nestekaasun kulutus ja haluttu toiminta-aika määrittävät millaisen nestekaasusäiliön laite tarvitsee.

Säteilylämmittimillä saavutetaan korkea pintalämpötila nopeasti. Säteilijät ovat kohde-
lämmittimiä, jolloin lämmitysteho suunnataan halutulle alueelle. Nestekaasusäteilijöiden käyttökohteita ovat muun muassa roudan sulatus, muuraus-, eristys- ja pintakäsittelytöiden ja betonivalujen lämmitys. Säteilijät soveltuvat erityisen hyvin välipohjien tai nurkka-
alueiden lämmittämiseen sekä maapohjaisten tilojen yläpuolisten rakenteiden lämmittämiseen. Kun säteilijää käytetään sääsuojassa, se lämmittää myös ilmaa varsinaisen kohteen lisäksi.

Nestekaasusäteilijällä päästään jopa 1 kW/m² tehoon. Tyypillisesti 1-rivisellä nimellisteholtaan 13 kW säteilijällä voidaan lämmittää noin 15 m² ala, jolloin nestekaasun kulutus on noin 1 kg/h. Säteililylämmittimillä saavutetaan paras hyötysuhde, kun tila suojataan tuulelta ja vedolta. Tällöin kohteen lämpötilan nousu saadaan parhaiten hyödynnettyä.

Lämmitettäessä tuoretta betonivalua on lämpötilan nousua rakenteen pinnalla ja sisällä tarkkailtava, jottei lämpötilaero pääse kasvamaan missään valun kohdassa yli 20 asteen tai ettei lämpötilan nousu ole liian nopeaa. Tuoreen betonin pinta ei myöskään saa kuivua liian nopeasti, koska vaarana on silloin betonin halkeilu. Betonivalun jäähtytys tulee myös suorittaa maltillisesti. Esimerkiksi enintään 300 mm paksu betonirakenne saa jäähtyä ensimmäisen vuorokauden kuluessa lämmityksen lopettamisesta 30 astetta. [13]

Nestekaasupuhaltimien tehot vaihtelevat tyypillisesti 20 – 100 kW välillä. Nestekaasupuhaltimet ovat tehoonsa nähden kevyitä ja helposti siirreltäviä. Siirreltävyys takaa ne soveltuvat hyvin runkovaiheen lämmitykseen, jossa eniten lämpöä tarvitaan betonivalujen

läheisyydessä. Nestekaasupuhaltimien pieni koko suhteessa lämmitystehoon mahdollistaa nestekaasupuhaltimien sijoittamisen useisiin kohtiin lämmitettävässä tilassa. Tällöin ei tarvita erillistä lämmönjakojärjestelmää runkovaiheen rakentamisessa.

Yleisimmin käytetyissä malleissa pakokaasut ja poltossa syntyvä kosteus siirtyvät suoraan lämmitettävään tilaan. Hyötysuhde nestekaasupuhaltimilla on korkea, sillä pakokaasu ei tarvitse poistaa lämmitettävästä tilasta. Palamisen tarvitseman ilmamäärän ja kosteuden poiston takia tarvitaan kuitenkin suurta ilmanvaihtoa: Suositeltava ilmanvaihtokerroin on 3-5. Eli tilassa oleva ilma on vaihdettava kokonaan 3-5 kertaa tunnissa. Nestekaasulämmityksen ylläpidon vaatima työmäärä on suuri, mikäli käytetään nestekaasupulloja.

3.1.10 Polttoöljylämmitys

Kevyen polttoöljyn energiasisältö on 10 kW/l ja tiheys on 0,8 kg/l. Poltettaessa litra polttoöljyä, muodostuu 2,7 kg hiilidioksidia ja 560 g vettä. [29] Kosteuden muodostuminen on huomattavasti pienempää kuin nestekaasulla. Polttoöljylämmittimet soveltuvat suuriin yhtenäisiin tiloihin kuten pysäköinti- ja teollisuushalleihin sekä liike- ja toimistotiloihin. Polttoöljylämmittimet on usein varustettu lämmönvaihtimella, jolloin syntyvät pakokaasut sekä vesihöyry poistetaan lämmitettävästä tilasta. Öljylämmityksen haittana on laitteiden suuri koko. Polttoöljysäiliön on oltava vähintään 1000 litraa, muutoin tankkauksesta laskutetaan pientoimituslisä, joka nostaa polttoöljyn hankintahintaa.

Siirrettävien öljylämmittimien (30–100 kW) lämmityskohteita ovat asuinrakennustyömaat, pienet hallit ja sääsuojat. Öljylämmittimet soveltuvat myös ilman kuivaamiseen. Isoissa yhtenäisissä tiloissa tulee varmistaa lämmön tasainen jakaantuminen. Lämmön jakaantumiseen vaikuttaa oleellisesti lämmittimen puhallusteho. Puhallustehot korkeapaine-puhaltimilla varustetuilla lämmittimillä ovat tyypillisesti 2800 m³/h (30 kW lämmitin) ja 5500 m³/h (110 kW lämmitin). Mikäli lämmitettävä tila ei ole yhtenäinen, tulee lämpö jakaa rakennuksen eri osiin ilmakehän avulla. Lämmön jakaantumista voidaan tehostaa erillisten puhaltimien avulla.

Siirrettävät polttoöljypuhaltimet vaativat erillisen polttoainesäiliön. Polttoainesäiliön koko määrää lämmittimen yhtäjaksoisen toiminta-ajan. Lämmittimen toiminnan kannalta isompi säiliö takaa varmemman yhtäjaksoisen ja edullisemmän lämmityksen, sillä polttoaineen täyttökertoja tulee vähemmän.

Lämpökonttien ja –keskusten (195–400 kW) käyttökohteita ovat isot yhtenäiset tilat kuten hallit, kauppakeskukset, sääsuojien lämmitys, huputettujen julkisivutelineiden lämmitys sekä suurten yhtenäisten tilojen kuivattaminen. Suurilla lämpökonteilla lämmittimien hyötysuhde nousee energian käytön kannalta merkittäväksi tekijäksi. Lämpökontteja on huollettava säännöllisesti myös työmaalla, mikäli lämmitystarve on pitkäaikainen. Lämpökonttien öljynkulutus on suurta ja pienetkin tehokkuuden lisäykset tuovat säästöä työmaaisessa käytössä.

Lämpökonttien puhallustehot vaihtelevat 13300 m³/h ja 18000 m³/h välillä. Öljyn kulutus puolestaan vaihtelee 20 – 45 l/h välillä. Saatavilla on omalla polttoainesäiliöllä tai erillisellä säiliöllä olevia malleja. Lämpökonteissa imuilman otto kannattaa järjestää samaan tilaan, johon lämmin ilma puhalletaan. Otettaessa lämmitettävä ilma suoraan ulkoa sekä imu- että puhallusilman lämpötila laskee oleellisesti. Tällöin lämmityskapasiteetti pienenee ja energiaa kuluu huomattavasti enemmän.

Lämmitysyksikkö vaatii erillisen öljysäiliön. Lämmitysyksikkö voidaan liittää korjauskohdeissa myös kohteen omaan vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään.

Lämmitysyksikkö käyttää polttoaineena useimmiten kevyttä polttoöljyä. Lämmityslaitteisto on sijoitettu kuljetuskonttiin. Konttien koot vaihtelevat lämmönsiirtimen mallien mukaan: tyypillisesti kontion pituus on kolmesta kuuteen metriä. Eri järjestelmien lämmitystehot vaihtelevat 200 kW-800 kW välillä. Letkukoot toisiopiirissä eli yksiköstä lämmityslaitteelle ovat 19 mm - 63 mm.

Maapohjan sulattamisessa on energiatehokasta suunnata lämmitysteho alaspäin suoraan kohteeseen ja estää lämmön pääsy muihin suuntiin. Tilalämmittimillä maata lämmitettäessä on arvioitu, että alapohjaan siirtyy vain 5-10 % kokonaislämmitystehosta. [12] Maapohjan sulaminen on oleellisesti riippuvainen maalajista. Soran sulattaminen on nopeaa, mutta eristävimmillä maalajeilla, kuten savella ja siltillä sulatusajat kasvavat ainakin kaksinkertaisiksi.

Polttoöljykäyttöisen kuumailmapuhaltimen käyttökohteita ovat kaapeli-, kaukolämpö-, viemäriojien ja perustuksien kaivaukset sekä tilat joissa seoskaasuista ei ole haittaa.

Kuumailmapuhaltimen puhalluskanavan pituus vaihtelee välillä 5 - 18 m. Puhallinta voidaan käyttää myös ilman kanavaa esimerkiksi matalassa sääsuojassa, kun tarkoituksena on sulattaa laaja alue. Samassa tilassa, johon palamiskaasu ohjataan, ei saa oleskella. Teho

polttoöljykäyttöisellä kuumailmapuhaltimella on tyypillisesti 115 kW. Täydellä teholla polttoöljyn kulutus on n. 14 l/h. Laitteiden paino on noin 100 kg ja puhallusteho noin 900 m³/h. Puhallusilman lämpötila on 500 – 600 °C. [26] Systeemillä kyetään sulattamaan noin metrin kerros soraa tai moreenia vuorokaudessa.

Taulukossa 6 on esitetty roudan sulatusaika eri maalajeilla. Sulatusaikaan vaikuttaa myös letkuston päälle asetettavan lämmöneristeen määrä.

Erikoisvalmisteiseen **eristekupuun** voidaan liittää siihen sopiva 13 kW nestekaasusäteilylämmitin. Sora- ja hiekkamaassa päästään sulatuksessa 1 m syvyyteen noin 1-1,5 vuorokaudessa. Routakuvun mitat ovat 1 m x 2 m ja nestekaasun kulutus on 1 kg/h. Routakupuja käytetään pääasiassa kaivantojen sulattamiseen.

Höyryn käyttö soveltuu hyvin muottien ja maapohjan puhdistamiseen lumesta ja jäästä juuri ennen valua. Höyryn käytön riskinä on höyrystyneen veden jäätyminen ympäröivien rakenteiden ja raudoituksen pinnoille. Höyryn käyttöä tulee siksi välttää lumenpoistossa.

Höyryntuottamiseen on käytettävissä tarkoitusta varten varusteltu höyryauto tai höyrykontti. Höyryntuotto höyryautoilla on 400 – 3000 kg/h ja höyrykontilla 200–1500 kg/h. [15]

3.1.11 Kaukolämpö

Kaukolämpöpuhaltimia käytetään yleisimmin runkovaiheen loppupuolella ja sisätyövaiheen alussa ennen kuin kiinteistön oma lämmönjakeluverkosto saadaan käyttöön. Kaukolämpöpuhaltimet ovat kiertovesipuhaltimia, jotka voidaan kytkeä rakennuksen omaan lämmönvaihtimeen tai erilliseen lämmitysjärjestelmään.

Lämpöpuhaltimissa ilmoitetaan yleensä maksimiteho. Rakennustyömailla puhaltimelle kaukolämmöstä tuleva vesi ei ole niin kuumaa, kuin maksimiteho edellyttäisi. Käytännössä todellisessa tehossa jääetään noin puoleen maksimitehosta. Tyypillisesti ilmoitetut maksimitehot vaihtelevat 15–80 kW välillä. Rakennusvaiheessa tarvitaan usein suurempaa lämmitystehoa kuin valmiissa rakennuksessa rakenteiden kuivattamisen takia. Tällöin joudutaan käyttämään esimerkiksi öljy- tai kaasulämmittimiä kaukolämmön rinnalla. Kaukolämpö on edullista, joten sitä kannattaa hyödyntää mahdollisimman paljon jo rakennusvaiheessa. Kaukolämpö on erityisen hyvä silloin, kun voidaan käyttää rakennuksen omaa lämmönjakelujärjestelmää. Rakennusvaiheessa kaukolämmön ongelmina ovat mahdolliset

vuototilanteet. Väli aikaista kaukolämpöjärjestelmää purettaessa letkuista ja puhaltimista saattaa valua vettä rakennukseen.

3.1.12 Lämmitystavan valinta ja toteutus

Oikeanlaisella lämmitysjärjestelmällä saadaan aikaan suuria säästöjä. Pelkästään koneiden kytkentätavalla (imu- ja puhallusputket) on kylmässä säässä huomattava merkitys. Jokaisessa lämmitysmuodossa on omat heikkoutensa ja vahvuutensa, jotka tulee huomioida suunniteltaessa lämmitysmenetelmiä.

Oikean lämmitystavan valinta säästää aikaa ja energiaa. Lämmittimen valintaan vaikuttavat muun muassa lämmitettävä kohde, energian hinta sekä laitteiden saatavuus ja niiden käytön vaatima työmäärä. Öljy- ja kaasulämmityksen väliset erot ovat pieniä työläyden ja energian hinnan osalta. Öljyn etuna on yleensä pidempi toiminta-aika. Öljylämmityksen lämmön jakaminen lisää asennuksen työmäärää, mikäli rakennus on sisätiloiltaan monimuotoinen. Öljylämmityksen käytön kannattavuus pienenee, mikäli lämmitettävä tila on pieni.

Kaasulämmityksen etuna on helppo siirrettävyys. Kaasujärjestelmä voidaan rakentaa sekä pienillä että suurilla säiliöillä. Pieniä säiliöitä käytettäessä työn- ja kuljetuksien määrä kasvaa.

Lämmitysteho voidaan sisätyövaiheessa määrittää valmiin rakennuksen lasketusta liitännättehosta. Ongelmaksi muodostuu yleensä runkovaiheen lämmityksen tehon määrittäminen, sillä kaukolämmön liitännätteho on usein liian pieni. Runkovaiheessa täytyy valita lämmitysjärjestelmä, jota voidaan tarvittaessa liikutella helposti ja tehon määrää voidaan säädellä esimerkiksi puhaltimien määrällä. Runkovaiheessa lämmitystehoa täytyy olla betonivalujen yhteydessä paljon verrattuna sisätyövaiheen tarvitsemaan lämmitystehoon.

Runkovaiheessa nestekaasulämmitys on tehokas lämmitysmuoto. Isot kaasusäiliöt ovat melko helpokäyttöisiä. Sisätyövaiheessa kaukolämpö on edullisin lämmitysmuoto. Polttoöljylämmitystä käytetään isoilla työmailla ja sähkölämmitystä pienissä kohteissa. Kaukolämmön osalla vuototilanteet ovat yleisiä ja väärin suunnitelluissa tapauksissa kaukolämmöstä ei saada riittävää tehoa aikaiseksi.

Rivi- tai luhtitaloja nestekaasulla lämmitettäessä käytetään nestekaasupulloryhmiä tai -astioita. Tällöin tulee huolehtia, että lämmittimien toiminta-aika on riittävän pitkä. Neste-

kaasuastiolla, joka sisältää 210 kg kaasua voidaan käyttää kahta 30 kW nestekaasupuhallinta täydellä teholla noin kaksi vuorokautta, eli esimerkiksi viikonlopun yli. Isoilta astioilta kaasua voidaan siirtää runkoletkua pitkin lämmityslaitteelle, jolloin astiat eivät ole tiellä.

Öljylämmityksessä lämmitetty ilma on mahdollista jakaa haaroitusputkien avulla. Putkien asentaminen on kuitenkin työlästä, koska niitä ei saa jättää haittaamaan muuta rakentamista, kulkua tai materiaalien siirtoa. Öljylämmityskohteissa kannattaa lämpöä siirtää vesiletkuilla valita sopivan kokoinen termostaatilla varustettu puhallin huonetilaan. Sähkölämmittimien käyttö tulee kyseeseen, mikäli rakennuksen vaippa on tiivis ja hyvin eristetty.

Kerrostalokohteissa voidaan toimia kuten runkovaiheessa olevissa rivitalokohteissakin. Astioita ja pulloryhmiä edullisempi vaihtoehto on iso kaasusäiliö. Kerrostalokohteissa voidaan joutua säiliöiden huonon saatavuuden takia turvautumaan 210 kg:n nestekaasuastioihin tai usean nestekaasupullon ryhmään. Öljylämmitys sopii hyvin, mikäli kaukolämpöä tai talon omaa lämmitysjärjestelmää ei voida käyttää kuivattamiseen.

Halleissa ja toimistorakennuksissa käytetään runkovaiheessa lähes poikkeuksetta polttoöljylämmittimiä. Öljylämmittimet soveltuvat suuren puhallustehonsa ansiosta parhaiten laajoihin yhtenäisiin tiloihin. Kaukolämpö soveltuu käytettäväksi, kun rakennuksen lopulliset rakenteet ovat paikoillaan.

Kuumabetonia käyttämällä ja eristämällä valukohde hyvin saadaan betonin lujuudenkehitykselle hyvä lähtökohta. Koska betoni tuottaa lämpöä lujittuessaan, hyvin suojattu betonivalu ei tarvitse muita lämmitysmenetelmiä kuin erityisen kylmässä säässä.

Polttoöljylämmittimien sijoittelu ja lämmön jakaminen kannattaa suunnitella hyvin. Korkeissa kohteissa lämpökontin tuottama lämmin ilma voidaan jakaa eristettyä puhallusputkea pitkin useampaan kerrokseen. Poistoilman ottaminen ylemmistä kerroksista ja lämpimän ilman puhaltaminen alempiin kerroksiin, tasoittaa lämpötilaeroja kerrosten välillä tehokkaasti.

Lämmitysmenetelmän valintaan vaikuttavat kohteen koko ja lämmitettävän rakennuksen tiiveys. Lämmitysjärjestelmäksi valitaan usein menetelmä, joka on aiemmin ollut vastavissa kohteissa käytössä. Menetelmä valitaan niin, että siihen on jatkossa mahdollista lisätä tai vaihtaa lämmittimiä tehontarpeen muuttuessa. Yleisin syy tehon riittämättömyyteen on aukkojen huono suojaaminen. Kuumailmalämmityksessä täytyy myös huomioida, että

kuumailmapuhallus lämmittää tilan kautta rakenteita, minkä vuoksi rakenteiden lämpiäminen on huomattavasti hitaampaa kuin esimerkiksi säteilijöillä.

3.1.13 Lämmitystehon määrittäminen

Ilmanvaihto ja ilmapuhallus kuluttavat noin 40 % lämmitysenergiasta työmaan runkovaiheessa ja noin 60 % sisätyövaiheessa. Tämän vuoksi rakennuksen tiiveyteen tulee panostaa. Jokaisen rakennuskohteen alkaessa täytyy suunnitella, kuinka rakennusta ja rakennosia lämmitetään rakennusaikana. Lämmitystehon arvio on tärkeä, sillä sen perusteella valitaan lämmitysjärjestelmä. Liian pienen arvion seurauksena rakenteet eivät lämpiä tarpeeksi ja tästä saattaa aiheutua esimerkiksi vaurioita betonirakenteissa tai rakenteiden kuivuminen hidastuu.

Lämmitysvaihtoehdot riippuvat erityisesti lämmitystehon tarpeesta. Taulukossa 12 on oletettu ikkuna-, lattia- sekä seinäpinta-alat tietyillä suhteilla toisiinsa nähden. Hallirakentamisessa ikkuna pinta-alaa on yleensä huomattavasti vähemmän kuin asuinrakennustyömailla. Hallien tehontarve on esitetty taulukossa 13.

Liian suuri lämmitystehon arvio aiheuttaa ylimitoitettua lämmitysjärjestelmää, jolloin kustannukset nousevat. Rakennusaikaiset lämmitysmenetelmät vaihtelevat rakennuksen valmistumisen myötä. Sisätyövaiheessa olevien rakennusten lämmitystehon määrittäminen on usein helppoa, sillä apuna voidaan käyttää rakennuksen suunniteltua liitäntätehoa. Sisätyövaiheessa voidaan usein myös käyttää rakennuksen omaa lämmitysjärjestelmää.

Lämmitysteho runkovaiheessa täytyy määrittää erikseen, jotta voidaan valita oikea lämmitysmenetelmä. Laskennassa tulee huomioida ilmanvaihto, vaipan eristys, lämmitettävän kohteen tilavuus sekä sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero.

Kuumailmalämmittimiä käytettäessä on tärkeää kiinnittää huomiota rakennuksen vaipan tiiveyteen ja ylä- sekä välipohjan suojaukseen. Kuumailmapuhaltimien lämmön jakaantuminen alaspäin on vähäistä. Tämän vuoksi holvin lämmitys tapahtuu aina alapuolelta. Kuumailmalämmittimellä lämmitettäessä lämpö jakaantuu seuraavasti:

- ylä- ja välipohja 15–30 %
- ilmanvaihto 40–60 %
- alapohja 5-10 %
- seinät 15–30 %. [12 s.70]

Lämmitystavan valinta vaikuttaa suuresti energian kulutukseen (ks. taulukko). Kuumailmalämmityksen sijaan tulisi etsiä vaihtoehtoista energiaa säästävämpää lämmitysmenetelmää. Esimerkiksi lämmitettäessä maapohjaista betoniholvia ovat säteilylämmittimet huomattavasti kuumailmapuhaltimia energiatehokkaampia. Lämmityskaapeleiden soveltuvuus isoihin valuihin vaatii huolellista suunnittelua ja ammattitaitoista asentajaa. Pienissä valuissa ovat sähköverkkoon suoraan kytkettävät lämmityskaapelit tehokas tapa saada lämpöä juuri oikeaan paikkaan.

Isojen säiliöiden etuina ovat pidempi toiminta-aika, pienempi polttoaineen yksikköhinta, enemmän lämmityskapasiteettia, sekä lämmitysjärjestelmän toiminnan ylläpitoon kuluvan ajan pieneneminen. Suurimpana haittapuolena ovat nestekaasusäiliöillä perustamis- ja ylläpitokustannukset, lupavaatimukset sekä saatavuus. Polttoöljylämmittimillä lämmittimen huolto ja kunnossapito ovat erityisen tärkeitä, sillä huoltamattomien laitteiden polttoaineen kulutus nousee helposti kymmeniä prosentteja.

Työmaalla voidaan vaikuttaa myös rakennuksen käytön aikaiseen energian kulutukseen. Lämmöneristeiden huolellinen asennus ja ulkovaipan tiiveys ovat merkittävimpiä työmaan vaikutuskeinoja energiatehokkaiden rakennusten synnyttämiseksi.

3.2 Rakennekosteus ja rakenteiden kuivattaminen

3.2.1 Rakennekosteus

Kosteus voi esiintyä kolmessa eri muodossa: kaasuna eli vesihöyrynä, nesteinä eli vetenä sekä kiinteänä eli lumena tai jäänä. Vettä liikuttavat fysikaaliset ilmiöt ovat maan vetovoima, vedenpaine, tuulenpaine, kapillaarinen imu ja diffuusio. Maan vetovoima ja tuulenpaine yhdessä kuljettavat sadevesiä eri paikkoihin rakenteissa. Vesikatto, vesieristeet ja normaalit sadevesijärjestelmät ohjaavat sadevedet hallitusti pois rakenteista, mutta tuuli voi siirtää sadevettä myös vaakasuoraan tai jopa ylöspäin rakenteissa. Ylöspäin veden siirtymistä estetään ”myrskypelleillä” (Kuva) ja muilla vesipelleillä. Vedenpaine voi aiheuttaa vesivahinkoja esimerkiksi viemäreiden tukkiutuessa.

Kapillaarisuus tarkoittaa ilmiötä, jossa neste etenee painovoimaa vastaan huokoisessa materiaalissa tai ohuessa putkessa. Ilmiö on nähtävissä pystysuoraan asennetussa ohuessa putkessa, jossa neste nousee ylöspäin painovoimaa vastaan tai jos laittaa huokoista materiaalia kuten pakkauspahvia vesilasiin. Ilmiö johtuu siitä, että molekyylien väliset vetovoimat ovat voimakkaampia nesteen ja kiinteän aineen välillä kuin pelkän nesteen sisällä. Ka-

pillaari-ilmion voi havaita myös vesilasista. Kapilaarisuus aiheuttaa nestepinnan kaareutumisen ylöspäin vajaan vesilasin reunojen lähellä tai vesilasi voidaan täyttää jopa yli reunojenkin, koska lasin reuna vetää vettä puoleensa.

Rakentamisessa erityisesti maakosteuden kapilaarinen nousu rakenteisiin on estettävä. Maanvaraisen laatan alla käytetään ”kapilaarikatkoa” eli esimerkiksi 20 cm kerrosta kivi-mursketta. Sokkelin ja puuseinän väliin asennetaan bitumihuopakaistoja katkaisemaan perustuksista kapilaarisesti nousevaa kosteutta. Toisaalta betonirakenteiden kuivumisessa betonin sisällä olevaa kosteutta siirtyy pintaa kohti kapilaari-ilmion ansiosta.

Vesihöyrynä vesi liikkuu konvektion ja diffuusion vaikutuksesta. Konvektio tarkoittaa sitä, että vesihöyry siirtyy ilmaviran mukana. Konvektion ehkäisemiseksi on rakennuksen ulkovaipasta tehtävä ilmatiivis. Diffuusio tarkoittaa käytännössä sitä, että vesihöyry pyrkii siirtymään suuremmasta vesihöyryn pitoisuudesta pienempää pitoisuutta kohti. Esimerkiksi talvella ulkoilman vesihöyrynpitoisuus on pienempi kuin sisäilman vesihöyrynpitoisuus. Sisäilman kosteus pyrkii siten kulkemaan seinän läpi ulos ja samalla seinärakenteen kosteus- pitoisuus kasvaa. Mikäli seinärakenteeseen syntyy kastepiste, on ilmiö hyvin haitallinen. Kastepisteen syntymistä ehkäistään asentamalla kosteuseristys seinärakenteeseen lähelle sisäpintaa.

3.2.2 Kosteusrasitukset

Rakennusaikana työmaa altistuu useille kosteusrasituksille. Merkittävimpiä kosteuslähteitä ovat sade, valuma- ja sulamisvedet, betonin rakennekosteus sekä maa- ja ilmankosteus. Sadevesien ja lumen pääsy rakennuksen sisälle täytyy estää joko rakenteellisilla keinoilla tai väliaikaisilla sääsuojilla. Valumavedet tulee poistaa pumpuilla, salaojilla sekä riittäväillä kallistuksilla. Rakennusaikana rakennuksen pihan kallistukset ja salaojitus eivät ole täysin valmiita, minkä vuoksi valumavesien hallinta tulee suunnitella, tarkkailla ja toteuttaa hyvin.

Merkittävin rakennekosteuden aiheuttaja on betonin valmistuksessa käytetty vesi. Osa vedestä sitoutuu betoniin kemiallisesti, osa haihtuu ja osa jää pysyvästi rakenteeseen. Yhdestä betonikuutiosta haihtuu noin 80 - 100 litraa vettä. Asuinkerrostalokohteessa se tarkoittaa noin 9-10 litraa rakennuskuutiota kohden. Muita merkittäviä rakennekosteuden aiheuttajia ovat muuraus- ja tasoitetyöt sekä vaipan sisään satanut vesi. Muuraus- ja tasoitetoiden aiheuttama kosteuslisä on kuitenkin betonirunkoisissa taloissa yleensä suhteellisen vähäinen verrattuna betonin aiheuttamaan kosteusrasitukseen, koska niiden tilavuus on pieni betonin

tilavuuteen verrattuna. Esimerkiksi paikalla valettu betoninen välipohja, jonka vahvuus on 200 mm ja pinta-ala on 300 m², sisältää haihdutettavaa vettä noin 4200 litraa.

Edellä olevasta taulukosta saadaan käsitys, kuinka paljon vettä on poistettava eri materiaaleista, jotta päästään tasapainokosteuteen sisäilman kanssa. Mitä lujempaa betonia käytetään, sitä vähemmän joudutaan poistamaan vettä rakenteista.

Nykyisin rakentamisessa käytetään pääasiassa vähintään K30 lujuusluokan betonia, jolloin betonikuutiossa on noin 70 - 80 litraa haihdutettavaa vettä. Betonin kuivuminen on hyvin hidasta, sillä betonin kapillaarinen imu ei riitä tuomaan rakenteen sisältä pintaan kosteutta niin nopeasti kuin sitä rakenteen pinnalta haihtuu. Tällöin kostean ja kuivan betonin välinen rintama siirtyy kauemmaksi rakenteen sisälle edelleen hidastaen kuivumista. Kuivumisen hidastuminen johtuu siitä, että kosteuden siirtyminen aineen sisällä tapahtuu diffuusiolla, mikä on hitaampaa kuin kapillaarinen veden siirtyminen. Mitä kauempaa kostea rintama on, sitä suurempi on diffuusiovastus. Myös materiaalin huokoisrakenne vaikuttaa diffuusiovastukseen ja materiaalin kapilaarisuuteen. Tämä ilmiö selittää esimerkiksi suuren tiilen ja betonin kuivumisnopeudessa. [40]

Suurimmat rakennusvaiheessa tulevat kosteusrasitukset seinälle ovat sateella villanväliin kulkeutunut vesi, avonaisten saumojen kautta viistosateen tuoma vesi sekä betonin rakennekosteus ja [7] Avoimet saumat kuitenkin kuivattavat rakennetta tehokkaasti, joten saumojen varhaista sulkemista tulee välttää, esimerkiksi sandwich-elementtien saumat voidaan tiivistää vasta ensimmäisen lämmityskauden jälkeen.

Sadevesien ja kosteuden pääsyä rakennukseen rakennusaikana ei voi kokonaan estää. Tämän vuoksi tulisi kiinnittää erityishuomiota kosteuden ja valumavesien ulospääsyyn rakenteista. Ulkoseinärakenteissa on otettava huomioon tuuletusraossa valuvan veden ohjautuminen hallitusti pois rakenteista. Kosteuden kululle ongelmallisimpia kohtia julkisivuissa ovat saumat, lyhyet räystäät, sokkelin kohdat, ikkuna- ja ovikarmien sekä pellitysten kohdat. [7]

Ulkoseinärakenteissa tulee suosia yhtenäisen tuuletusraon seinärakenteita. Betonisandwich-ulkoseinän kuivumisen kannalta oleellisin asia on rakennekosteuden kuivuminen. Pelkän rakennekosteuden poistamiseen kuluu huomattava aika. Sisäkuoren tiivis pinnoittaminen pidentää kuivumisaikaa yli kaksinkertaiseksi, sillä se poistaa rakenteelta mahdollisuuden kuivua molempiin suuntiin. Seinärakenteelle on siis varattava riittävä kuivumisaika ennen julkisivun pinnoitusta.

Tuuletusaukolla varustettujen seinien ilman vaihtuvuus 5 Pa paine-erolla on 15–20-kertainen verrattuna eri tuuletusputkiratkaisuihin. Tuuletusurat eristeen ulkopinnassa saattavat tukkeutua tai pienentyä valupurseiden takia. Tämän vuoksi tuuletusuritus olisi järkevämpää sijoittaa esimerkiksi 10 mm eristeen sisään. Tällöin neljäsosalla ilmanvaihtuvuudesta saavutetaan jo sama hyöty kuin tuuletusuran sijaitessa rakenteen ulkopinnassa. [7]

3.2.3 Betonin ja betonirakenteiden kuivattaminen

Betonin kovettuessa betonin sisältämästä vedestä osa sitoutuu kemiallisesti rakenteeseen. Suuri osa vedestä haihtuu rakenteesta, kunnes betoni on saavuttanut tasapainokosteuden ympäröivän ilman kanssa. Betonin kuivumiseen vaikuttaa moni tekijä: betonin vesisementtisuhte, valetun osan geometria sekä paksuus, kuivumismahdollisuudet, kuivumisolosuhteet, betonin uudelleen kastuminen ja haluttu kosteustaso ennen pinnoitusta. Kuivatamista suunniteltaessa tulee siis jokaiselle betonivalulle laskea yksilöllisesti oma kuivatusaika, vallitsevien olosuhteiden perusteella.

Betoniin imeytyvä vesimäärä on riippuvainen betonin kapillaarikertoimesta. Kapillaarikerroin on sitä pienempi, mitä pienempi vesi-sementtisuhte on. Ero kuivatusajoissa esimerkiksi betonilaatujen K20, jonka vesisementtisuhte on 0,8 ja K40 (vesisementtisuhte 0,5) välillä on jopa nelinkertainen. [2 s.35]

Rakenteen kuivumisessa on erotettavissa kolme eri vaihetta.

1. Rakenteen pinnalla oleva vesi pääsee haihtumaan, lisää vettä pääsee tulemaan rakenteesta niin kauan kuin ollaan hygroskooppisella alueella (RH >98 %). Tällöin kuivuminen on hyvin nopeaa, mikäli kuivumisolot ovat suotuisat.
2. Rakenteen sisältä tulee diffuusion avulla kosteutta, jolloin kuivuminen hidastuu. Rakenteessa on tällöin vielä osin kyllästyskosteuden ylittäviä arvoja.
3. Kosteus on alle kyllästyskosteuden. Kuivuminen edellyttää kosteuden kulkeutumisen diffuusiolla rakenteen pinnalle rakenteen keskeltä. Tämä kuivamisen vaihe on hyvin hidas.

Vaiheiden pituudet ja kuivatusajat riippuvat materiaalien ominaisuuksista. Esimerkiksi betonilla ensimmäinen vaihe on hyvin nopea kestäen vain muutamia päiviä, vaihe kaksi kestää useita viikkoja tai kuukausia ja vaihe kolme saattaa kestää useita vuosia. Tiili- ja

puurakenteilla ensimmäinen ja toinen vaihe kuivattavat suhteellisen nopeasti koko rakenteen.

Betoni uudelleen kastuessa kuivumisaika kasvaa 2-4 -kertaiseksi. Betonin lujuus vaikuttaa oleellisesti kuivumiseen uudelleen kastumisen jälkeen. Tiiviimmillä betoneilla uudelleen kastuminen ei hidasta kuivumista niin dramaattisesti kuin huokoisemmilla betoneilla. Vedden imunopeus alhaisilla vesisementtisuhteilla on pienempi kuin korkeammilla. Alhainen vesisementtisuhte siten hidastaa uudelleen kastumista.

3.2.4 Betonirakenteiden kuivattaminen

Betonirakenteiden kuivattamisessa tavoitteena on lujan ja terveen rakenteen aikaansaaminen. Kuivattamista ei saa aloittaa liian nopeasti betonoinnin jälkeen, koska liian aikainen kuivuminen heikentää betonin lujuutta. Liian nopea kuivuminen voidaan estää levittämällä muovikalvo tai betonin jälkihoitoaine betonin pinnalle. Normien mukaan betoni tulee pitää peitettynä 7 vuorokautta. Varsinainen kuivattaminen tulee aloittaa vasta 3 viikon kuluttua betonivalusta. Liian tehokas kuivattaminen heti valun jälkeen voi aiheuttaa betonissa halkeilua. Kuivatuksella ei saa synnyttää betoniin liian suuria vetojännityksiä, ennen kuin vetolujuus on kehittynyt riittäväksi. Tasoitteiden käyttö betonin pinnalla hidastaa huomattavasti betonin kuivumista, esimerkiksi 5 mm tasoitekerros hidastaa kuivumista noin viikolla.

Rakenteiden kuivattamisessa on kolme keskeistä tekijää:

1. kosteuden siirtäminen materiaalin sisältä materiaalin pinnalle
2. materiaalin pinnasta kosteuden siirtäminen ympäröivään ilmaan
3. ympäröivästä ilmasta kosteuden siirtäminen pois.

Materiaalin sisältä kosteuden siirtymistä materiaalin pinnalle voidaan nopeuttaa materiaalin lämmittämällä. Materiaalin pinnasta kosteuden siirtymistä ympäröivään ilmaan voidaan nopeuttaa lisäämällä ilmavirtausta materiaalin pinnalla, alentamalla ympäröivän ilman kosteuspitoisuutta sekä nostamalla ympäröivän ilman lämpötilaa. Ympäröivästä ilmasta kosteutta poistetaan tuulettamalla tai käyttämällä koneellisia kuivaimia.

3.2.5 Kuivatustavat

Pääasiallisia kuivatustapoja ovat ilmanvaihto, tilakuivaus ja kohdekuivaus. Ilmanvaihdolla kuivattaminen sopii hyvin kylmään vuodenaikaan sen tehokkaan kuivatusvaikutuksen ta-

kia. Tilakuivatuksessa lämmitetään kuivatettavan rakenteen ympärillä olevaa ilmaa koneellisesti, mikä aiheuttaa myös rakenteen kuivumista. Tilakuivatuksen yhteydessä tilan tulee olla tiivis eikä ilmanvaihtoa saa esiintyä. Tilakuivatusta tarvitaan yleensä kesällä ja alkusyksyllä, kun ulkoilma on kostea. Kohde- eli pikakuivatuksessa betonia lämmitetään ja kosteus poistetaan ilmanvaihdolla. [2 s.52] Kohdekuivatusta käytetään erityisesti vesivahinkojen kuivatuksen yhteydessä. Yhdistelmäkuivatus on mahdollinen, esimerkiksi pikakuivatus yhdistettynä tilakuivaukseen. Tällöin kuivaimella poistetaan pikakuivatuksessa syntynyt kosteus sekä lisätään ympäröivien rakenteiden kuivumista.

Sisätyövaiheessa lämmittäminen tapahtuu usein rakennuksen omalla lämmitysjärjestelmällä lämpöpattereiden tai lattialämmityksen avulla. Lämmitystä voidaan lisäksi tehostaa sähköpuhaltimilla ja muilla lämmönvaihtimella varustetuilla puhaltimilla.

Kuivatettavan kohteen ja sen pinnan tulee läpäistä vesihöyryä. Rakenteen pinnalla oleva lika ja pöly hidastavat oleellisesti kuivumista. Kostunut pölykerros imee kosteutta itseensä pitäen alla olevan rakenteen märkänä.

3.2.6 Tuulettaminen

Kuivatuksen aikana pyritään lämpötila pitämään noin 21 °C asteessa ja ilman suhteellinen kosteus noin 50 prosentissa. Tällöin kosteuspitoisuus sisäilmassa on 8 g/m³. Tuulettamalla kuivatettaessa ulkoilman kosteuspitoisuuden tulee olla tätä pienempi, jotta kosteutta voidaan siirtää ulos. Käytännössä Suomen ilmastossa ulkoilman 9 g/m³ kosteuspitoisuus ylittyy kesäkuusta lokakuulle. Kesäkuukausina kuitenkin sisäilman lämpötila voidaan nostaa yli 21 asteen, jolloin kuivuminen on mahdollista. Syksyllä tuuletuksen kuivatusteho pienenee ulkoilman kosteuden lisääntyessä, jolloin koneellisten kuivainten käyttö on perusteltua. Kuivattaminen ilmanvaihdon ja lämmityksen avulla hyvin kylmässä säässä puolestaan kuluttaa paljon energiaa.

Ilmanvaihtoa käytettäessä rakennuksen kuivattamiseen joudutaan ilmanvaihdon määrä kasvattamaan. Talon omaa ilmanvaihtojärjestelmää ei tule käyttää kuivattamiseen kuin poikkeustapauksissa. Kostea ja pölyinen ilma likaa talon oman ilmastointijärjestelmän sekä saattaa aiheuttaa mikrobikasvustoa. Ilmanvaihto tulisikin suorittaa tuulettamalla esimerkiksi tuuletusikkunoiden kautta. Tuuletuksessa täytyy tarkkailla sisäilman kosteutta, jottei tuuleteta liikaa, eikä myöskään liian vähän.

Rakenteissa olevien aukkojen kautta virtaavan ilman hallinta on haasteellista rakennusvaiheessa. Runkovaiheen rakentamisessa aukkoja on paljon, johtuen joidenkin rakenteiden puuttumisesta. Sisätyövaiheessa rakennuksen omaa ilmanvaihtojärjestelmää ei voida käyttää, jolloin ilmanvaihto tapahtuu rakennuksen avoimien ovien ja ikkunoiden kautta. Pienistäkin aukoista virtaa suuri määrä ilmaa etenkin korkeissa rakennuksissa. Paine-ero ulko-vaipan yli kasvaa rakennuksen korkeuden kasvaessa. Paine-eroon vaikuttavat esimerkiksi lämpötilaerot, rakennuksen korkeus sekä ilmavirtaukset.

Runkovaiheessa kannattaa käyttää kierrätysovia kulkuaukkojen suojaukseen. Pienet raot karmeissa ja kynnyksissä eivät haittaa, koska ilmanvaihtoakin tarvitaan. Käyntiovilla estetään kuitenkin hallitsematon tuuletus ja vähennetään turhaa energian kulutusta.

Rakennekosteus on yleinen haaste rakennustyömailla. Betonin kuivumisaika on hyvin pitkä, jolloin betoni luovuttaa pitkään kosteutta rakennuksen sisäilmaan. Mikäli kostea betoni on kosketuksissa kosteudelle herkkien rakennusmateriaalien kanssa riittävän pitkään, aiheutuu mikrobivaurioita. Siksi betoni ja -puurakenteet tulisi aina erottaa toisistaan bitumi-kaistoilla, erityisesti kellari ja alapohjarakenteissa, koska siellä betonin kuivuminen on erityisen hidasta. Sisäilman suhteellinen kosteus tulisi aina pitää alle 70 %, tällöin kosteusvaurioiden ja mikrobikasvuston riski alenee lähes olemattomaksi.

Kuivumiseen vaikuttavat:

- kuivatettava materiaali ja materiaalin laatu
- ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila
- kuivatettavan materiaalin lämpötila
- ilmavirtaukset materiaalin pinnalla
- materiaalin kosteuspitoisuus
- pinnoitteet
- rakenteen muoto ja kuivumissuunnat
- rakenteen vahvuus
- haluttu materiaalin kosteuspitoisuus.

Kuivatustehoa voidaan säädellä ilmanvaihdon määrällä tai sisäilman lämpötilalla. Kasvatamalla ilmanvaihtoa tai nostamalla sisäilman lämpötilaa voidaan nopeuttaa kuivumista. Kesäisin lämpötila kannattaa pitää korkealla ja ilmanvaihto runsaana, kun puolestaan syksyisin hienoinen lämpötilan nostaminen ja suuri ilmanvaihto on järkevämpää.

3.2.7 Kondensio- ja sorptiokuivaimet

Ilmankuivainten käyttö perustuu ilman kosteuspitoisuuden alentamiseen kuivatettavassa tilassa. Energiatehokkuuden kannalta on tärkeää, että kuivatettavat tilat ovat tiiviitä. Tiiveydellä estetään lisäkosteuden pääsy kuivatettavaan tilaan. Käytettäessä ilmankuivaimia kaikki aukot ja läpiviennit tulee sulkea ja tiivistää. Tällaisia aukkoja ja läpivientejä ovat ikkunat, ovet, tuuletusluukut, ilmanvaihtoventtiilit, elementtien saumakohtat, vesi-, viemäri- sekä ilmanvaihdon läpiviennit.

Kuivatettavien pintojen tulee olla puhtaita. Lika kuivatettavalla pinnalla muodostaa rakenteen pinnalle huonosti kosteutta läpäisevän kerroksen. Pölyinen ilma tukkii ja haittaa myös kuivainten toimintaa. Kuivatettavassa tilassa alhaisen kosteuspitoisuuden lisäksi on tärkeää ilmankierron järjestäminen. Riittämätön ilmankierto aiheuttaa kuivatettavan rakenteen pinnalle korkeamman vesihöyrypitoisuuden sisältävän ilmakerroksen. Tällöin kuivattaminen ei ole tehokasta.

Ilmankuivainten teho ja toimivuus vaihtelevat suuresti laitteiden välillä. Vertailu eri kuivainten kesken on vaikeaa, sillä osa laitteiden valmistajista ilmoittaa kuivauskapasiteetin kostedenerotuskyvyn maksimin mukaan, kun yleinen tapa on ilmoittaa kuivauskapasiteetti 20 asteen lämpötilassa ja 60 % ilman suhteellisessa kosteudessa. Kuivaimet luokitellaan pääsääntöisesti sorptiokuivaimiin ja kondenssikuivaimiin. Sorptiokuivain soveltuu laajemmalle lämpötilavälille. Kondenssikuivaimen taloudellinen käyttö edellyttää yli 15 asteen lämpötilan. Tällä hetkellä kondenssikuivainten käyttö rakennustyömailla on huomattavasti yleisempää kuin sorptiokuivainten.

Kondenssiokuivaimet ovat uudisrakennustyömailla yleisimmin käytettyjä kostedenerottimia. Kondenssikuivainten etuna on käyttövarmuus ja yksinkertainen asennus. Kondenssikuivaimissa kylmäainesauvojen pintalämpötila on alle kastepisteen, jolloin sauvojen pinnalle kondensoituu kosteutta. Sauvat jäätyvät ja sulavat vuorotellen, jolloin jäätynyt vesi muuttuu nesteeksi ja valuu joko suoraan lattiakaivoon tai laitteen omaan astiaan. Kondenssikuivain on energiatehokas, sillä koneen käyttöön kuluva energia muuttuu lämpöenergiaksi ja kuivatettavasta tilasta johdetaan pois ainoastaan viileää vettä.

Kondenssikuivainten käyttö on tehokasta lämpötilan ollessa 20 – 30 astetta. Kondenssikuivainten teho laskee alhaisemmissa lämpötiloissa. Harvat kondenssikuivaimet pystyvät erottamaan kosteutta ilmasta, kun lämpötila laskee alle 5 asteen.

Sorptiokuivain on tilakuivain, jonka puhallustehot vaihtelevat 50 m³/h ja 5000 m³/h välillä. Sorptiokuivaimen käyttökohteita ovat kosteusvaurioiden kuivaus, onteloiden kuivatus sekä huoneilman kosteuden alentaminen. Sorptiokuivain soveltuu laajalle käyttölämpötilalle ja on kokoonsa nähden tehokas kuivain. Sorptiokuivaimen heikkouksia ovat kostean ilman ulospuhalluksen järjestäminen sekä kostean ilman mukana poistuvan lämpimän ilman energiahäviö.

Sorptiokuivaimessa on hyvin kosteutta sitova, yleensä silikaatista tehty pyörivä levy. Levyyn sitoutuu kosteutta, josta se höyrystetään ulos puhallettavaan ilmaan. Suurin osa kuivatettavasta ilmasta puhalletaan takaisin huonetilaan. Tyypillisesti puhallusteho jakaantuu siten, että ¼ puhalletaan ulos kosteana ilmaa ja ¾ takaisin sisälle kuivana ilmaa.

Käytäntö ilmankuivaimien kosteudenerotuskyvyn ilmoittamisesta vaihtelee. Yleisin tapa sorptiokuivaimilla on ilmoittaa erotuskyky 20 °C lämpötilassa ja 60 % ilman suhteellisessa kosteudessa. Sorptiokuivain soveltuu käytettäväksi, vaikka ilman lämpötila olisi alle 0 °C. Kuivain mitoitetaan siten, että kuivaimen tunnissa käsittelemä ilmamäärä on 1-2 kertaa rakennusosan tilavuus. Erillisillä ilmanpuhaltimilla voidaan vielä tehostaa kuivumista ja ilmankiertoa.

Sorptiokuivaimia on olemassa aina puhallusteholtaan 5000 m³/h asti. Suurten kuivainten saatavuus on varmistettava hyvissä ajoin kuivausrakoitsijoilta. Suurissa kuivaimissa täytyy huomioida sähkövirran riittävyys, letkustojen asennukset, laitteiden sijoittelu ja siirtely sekä työskentelyolojen säilyttäminen. Yleensä isojen kuivaimien kanssa tulee kokonaisvaltainen kuivatuspalvelu mukana.

Sorptiokuivainta voidaan käyttää puhalluskuivaukseen tilassa tai rakenteen sisällä sekä imukuivaukseen rakenteesta. Yleisimmin sorptiokuivainta käytetään puhalluskuivaukseen tilan sisällä, jolloin kuivatettava ilma otetaan ja palautetaan huonetilaan. Sorptiokuivauksessa voidaan puhaltaa kuivaa ilmaa rakenteisiin tai kosteaa ilmaa imeä rakenteista. Sorptiokuivain erottelee kosteuden imuilmasta ja kosteus johdetaan rakennuksesta pois.

Kosteusvaurioiden kanssa esiintyy usein mikrobivaurioita, jolloin rakenteen paineellinen kuivatus levittää mikrobeja herkästi huoneilmaan. Tällöin voidaan käyttää rakenteen sisällä suljettua kuivausta, jolloin imuilma otetaan rakenteen sisältä. Imukuivauksessa imetään kosteaa ilmaa rakenteen sisältä ja kuivailma johdetaan rakenteeseen.

Kuivatusta voidaan tehostaa lisäpuhaltimien avulla. Kosteiden alueiden läheisen ilman kosteuspitoisuus nousee korkeammaksi verrattuna muuhun tilan ilmassa olevaan kosteuspitoisuuteen. Lisäpuhaltimet tasoittavat kosteuspitoisuutta huonetilan eri kohdissa ja nopeuttavat näin ollen kuivumista.

Rakenteen sisällä suljetulla kuivauksella tarkoitetaan kuivausta, jossa puhallus ja imu tapahtuvat rakenteen sisällä. Rakenteen sisäistä suljettua kuivattamista voidaan hyödyntää onteloiden kuivatuksessa. Onteloon puhalletaan kuivaa ilmaa ja mitataan ontelosta poistuvan ilman kosteutta. Kun poistuvan ilman kosteus on alhainen, on ontelo kuivunut.

Tuulettamalla kuivattaminen tarvitsee ilmanvaihtokertoimen 1-2 eli ilma vaihdetaan yhdestä kahteen kertaan tunnissa. Tällöin kuivattaminen koneellisesti on taloudellinen vaihtoehto ilmanvaihtotarpeen pienentyessä. Ilmankuivaimien edut korostuvat syksyisin, jolloin ulkona on suhteellisen lämmintä ja suhteellinen kosteus on korkea. Syksyisin sisäilmaa joudutaan vaihtamaan yli 5 kertaa enemmän pelkällä tuuletuksella kuivaamisella kuin koneellisella kuivatuksella, saavuttamatta samoja kuivumisolosuhteita kuin ilmankuivaimilla.

3.2.8 Säteilijät ja infrakuivain

Kohdekuivaimien kuivatus perustuu materiaalin lämpötilan nostoon. Materiaalin lämpötila nousee korkeammaksi, kuin ympäröivän tilan lämpötila. Tällöin vesihöyryn lämpötila-erosta johtuva paine-ero aiheuttaa materiaalin huokoskosteuden siirtymisen ympäröivään ilmaan. Rakenteesta ilmaan siirtynyt kosteus poistetaan tilasta joko ilmanvaihdon avulla tai tilakuivaimilla.

Kohdekuivatuksessa käytetään yleensä **sähkötoimisia säteilijöitä**. Menetelmän suurin etu saavutetaan, kun kuivatetaan monimuotoisia kohteita esimerkiksi pieniä syvennyksiä ja kulmakohtia. Menetelmä soveltuu myös seinien tai kattorakenteiden kuivattamiseen. Sähköllä toimivien säteilijöiden kuivatuskapasiteettia ja -alaa rajoittaa sähköistyksen riittävyys.

Infrakuivain soveltuu erityisesti betonirakenteiden kuivaamiseen sekä uudisrakentamisessa että kosteusvauriokohteissa. Tapauksesta riippuen riittävä kuivausaste voidaan saavuttaa noin viikon kuivauksella.

Kuivatettavan kohteen lämpötila nostetaan noin 50 - 60 °C asteeseen. Laitteen kuivausteho perustuu rakenteen lämpötilan nostamiseen, jolloin vesihöyryn osapaine rakenteen huokosissa kasvaa ja vesihöyry poistuu rakenteesta ympäröivään ilmaan. Lämmin rakenne lämmittää myös ympäröivää huonetilaa ja lisää huoneilman kosteudensitomiskykyä. Kuivatettavan tilan tuuletuksen riittävyys on varmistettava, jotta huoneilma voi ottaa vastaan rakenteesta vapautuvan kosteuden. Laitteen kuivausteho on sitä suurempi mitä korkeampi on rakenteen lämpötila kuivatuksen aikana. Korkea lämpötila voi kuitenkin aiheuttaa tuoreessa betoni- tai tasoitepinnassa halkeilua. Uudet betonipinnat on jälkihoidettava hyvin ja betonin on oltava riittävän lujaa ennen rakenteen kuivattamista. Tuulettimen käyttö alentaa pintalämpötilaa merkittävästi.

Lämpötilaero materiaalin ja ilman välillä on hyvin ratkaiseva kuivatuksen kannalta. Lämpötilan nostaminen betonissa kymmenellä asteella puolittaa kuivumisajan lähes aina riippumatta kuivatusolosuhteista.

Veden, lumen ja jään poistaminen rakennuksesta kannattaa tehdä mekaanisesti. Haihduttamalla veden poistaminen vaatii paljon energiaa ja on hidasta. Esimerkiksi, jos holvilla on vettä keskimäärin 3 mm, sen haihduttaminen lämmityksen ja ilmanvaihdon avulla (20 °C, RH50), vie noin 1,5 vrk. [2].

3.3 Kosteusmittaus

Ennen pinnoitustöitä betonirakenteiden kosteuspitoisuus tulee mitata. Eri pintamateriaalit edellyttävät erilaisia pohjan kuivuusasteita. Seuraavassa esitetään ohjeellisia betonin kosteusarvoja eri pinnoitemateriaaleille:

- mosaiikkiparketti 80 %
- lautaparketti, huopapohjaiset muovimatot, korkkilaatat 85 %
- muovimatot ja -laatat sekä keraamiset laatat 90 %
- akryyli- ja epoksinpinnoitteet 97 %.

Pintakosteusmittareilla on tarkoitus kartoittaa kosteusvaurion laajuus sekä pahimmat kosteusvaurioiden kohdat. Mittareiden mukana tulevat raja-arvotaulukot, joita voidaan käyttää arvioitaessa kosteusvaurion astetta.

Mittaus suoritetaan laitteen valmistajan ohjeiden mukaisesti. Pintakosteusmittarit soveltuvat eri materiaaleille, kuten tiili, useat puulajit, betoni ja kipsi. Tarkempia tuloksia puun kosteuspitoisuuksista saadaan piikkimittareilla, jolloin mittauspää sijoitetaan puun sisälle.

Puikkokosteusmittareilla saadaan tarkkoja tuloksia betonin kosteuspitoisuuksista. Kosteusmittarit ovat aina yksilöllisiä ja laitteiden valmistajan ohjeita pitää noudattaa. Tiedyt perussäännöt kuitenkin soveltuvat lähes kaikille puikkokosteusmittareille:

1. Reiän poraus, imurointi ja puhdistus
 - a. porausvyvyys 20 % yhteen suuntaan kuivuvilla rakenteilla
 - b. porausvyvyys 40 % kahteen suuntaan kuivuvilla rakenteilla
2. Tulppaus 4 pv ennen mittausta
3. Tulppa tiivistetään siten, että mitattava tulos tulee halutulta syvyydeltä
4. Mittarin mittauspään lämpötilan tasoittuminen kohteen kanssa (mittauspään ja mitattavan kohteen lämpötilaero vääristää tuloksia n. 1 aste = 5 %)
5. Mittarin lukemien tasoittuminen 15 min-1 h mitattavassa reiässä.

Muuta huomioitavaa puikkokosteusmittaria käytettäessä:

- Vältettävä mittalaitteen mittapään joutumista auringon valoon (lämpeneminen / tulosten vääristymä)
- Mittari on kalibroitava määrävälein

4. Rakenteiden ilmatiiveys ja energiatehokkuus

4.1 Rakennusten energiatehokkuus

Rakennusten energiatehokkuuden keskeisimpiä tekijöitä ovat lämmöneristeiden määrä ja rakenteiden ilmatiiveys sekä talotekniikan oikeanlainen toiminta. Lämmöneristeiden määrä on nykyään ulkoseinissä noin 200 millimetriä ja yläpohjissa noin 400 millimetriä mineraalivillaa. Solupolyuretaanilla vastaavat luvut ovat 120 millimetriä ja 200 millimetriä. Lämmöneristeiden määrän lisäksi rakenteiden lämmöneristävyys vaikuttaa kylmäsillat. Esimerkiksi ulkoseinissä puurunko johtaa lämpöä paremmin kuin lämmöneriste. Sisäpuolen pysty- tai vaakakoolauksella on myös merkitystä. Nykyisten energiatehokkuusvaatimusten takia vaakakoolauksen käyttö on suositeltavampaa.

Ulkovaipan lämmöneristeiden paksuudet ovat viranomais määräyksissä asettumassa nykyvaatimusten tasolle ja huomiota on alettu kiinnittämään enemmän rakenteiden tiiveyteen sekä talotekniikan energiatehokkuuteen. Muovieristeitä käytettäessä riittävä tiiveys saavutetaan huolellisella vähintään kahdessa vaiheessa tehdyllä saumojen vaahdotuksella. Muovieristeiden sisällä eikä niiden läpi esiinny merkittävää ilman liikettä eikä siten lämmön siirtymistä ilman kulkeutumisen mukana.

Mineraalivillalla ja selluvillalla rakenteiden tiiveyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska niiden läpi ilma kulkeutuu helposti. Ensinnäkin eristetilan sisäpinnan lähellä tarvitaan tiivis ilman- tai höyrynsulku ja ulkopuolella yhtenäinen tuulensuoja. Toinen tärkeä asia on täyttää eritetila huolellisesti aivan täyteen, jotta eritetilaan ei jäisi ilmataskuja, joissa ilma alkaa kiertyä. Huonosti eristetyssä seinärakenteessa ulkopinnassa ilma jäähtyy ja alkaa valua alaspäin ja sisäpinnassa ilma lämpiämisen vuoksi nousee ylöspäin. Eristeen rakoihin ja ilmataskuihin syntyy ilman kiertoa, jonka mukana lämpöä kulkeutuu ulkopintaa kohti.

Merkittävä osa rakennusten energiankulutuksesta aiheutuu ilmanvaihdosta. Ilmanvaihtoa tarvitaan, jotta ihmisten hengityksestä vapautuvaa hiilidioksidia ja kosteutta poistetaan sisäilmasta ja tilalle saadaan raitista ulkoilmaa. Ilmanvaihdolla poistetaan myös peseytymisestä ja pyykin kuivauksesta syntyvää kosteutta sekä muita ilman epäpuhtauksia. Lämmitysenergiasta saattaa kulua jopa puolet ilmanvaihtoon.

Nykyrakentamisessa ilmanvaihdon merkitys on johtanut koneellisen ilmanvaihdon ja lämmön talteenoton yleistymiseen. Nykyaikaisilla lämmöntalteenottokeinoilla saadaan jopa

80 prosenttia ilman sisältämästä lämpöenergiasta hyödynnettyä tuloilman lämmityksessä. Toimiva ilmanvaihto on edellytys myös terveelliselle sisäilmalle. Riittävä ilmanvaihto ehkäisee mikrobien syntymistä.

Lämpöpumput yleistyvät uudisrakentamisessa nopeasti ja vanhoihin rakennuksiin niitä asennetaan enenevässä määrin. Lämpöpumput voivat ottaa lämpöä maasta, vedestä tai ilmasta. Lämpöpumppujen hyötysuhteet ovat noin 4-6 välillä eli ostettua energiaa tarvitaan vain noin yksi neljäs-kuudesosa koko lämmitysenergian tarpeesta.

Energiatohokkaat rakennukset ovat yhdistelmä tiiviistä rakennuksen vaipasta ja toimivasta talotekniikasta. Vaipan tiiveydellä varmistetaan, että lämpöä ei tarpeettomasti hukata ja samalla vähennetään mikrobikasvustojen riskiä rakenteissa. Rakennusten käytön aikana, mikä voi kestää jopa vuosisatoja, on ilmeitä että rakenteisiin syntyy jonkin verran mikrobikasvustoja. Tiiviit rakenteet ehkäisevät myös niiden haitat sisäilmaan. Kun rakennuksen vaippa on tiivis, tarvitaan sisäilman laadun aikaansaamiseen koneellinen ilmanvaihto. Ilmanvaihdon oikealla mitoituksella voidaan sisäilman lämpötila pitää viihtyisänä, epäpuhaukset vähäisinä ja kosteus ihmisille ja rakenteille terveellisenä. Ilman lämpötilan on suositeltavaa olla 20 - 22 asteen välillä. Noin 40 %:n ilman suhteellinen kosteus on hyvä sekä ihmisille että rakenteille. Liian pieni ilman kosteus aiheuttaa ihmisille limakalvojen kuivumista ja liian suuri ilman kosteus parantaa pölypukkien ja mikrobien elinoloja.

4.2 Ilmanpitävyyden merkitys

Ilmavuodoilla tarkoitetaan rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välisten paine-erojen aiheuttamaa ilman virtausta eli konvektiota rakennuksen vaipan läpi. Paine-eroja aiheuttavat mm. ilmanvaihtolaitteet, tuuli, tulisijojen käyttö ja lämpötilaerot. Koko rakennuksen tiiviystason määrittämisessä käytetään yleisesti painekoetta. Kokeessa tutkittavan rakennuksen ilmanvaihtoventtiilit ja muut rakennuksen vaippaan tarkoituksellisesti tehdyt aukot suljetaan ja tarvittaessa tiivistetään. Rakennuksen yhteen ovi- tai ikkuna-aukkoon asennetaan tiiviisti puhallin, jonka avulla rakennuksen sisä- ja ulkoilman välille luodaan paine-ero. Tietyn paine-eron ylläpitämiseksi tarvittava ilmavirtaus mitataan puhaltimen läpi kulkevasta ilmasta. 50 Pa paine-eroa vastaava ilmavirtauslukema [m^3/h] jaetaan rakennuksen sisätilavuudella [m^3], jolloin tulokseksi saadaan yksi rakennuksen ilmanpitävyyden vertailuluvusta eli ilmavuotoluku n_{50} [1/h]. Luku kuvaa, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa, kun paine-ero on 50 Pa. Mitä pienempi n_{50} -luku sitä ilmanpitävämpi rakennus on. Suomen rakentamismääräyskokoelman asettama ohjearvo on $n_{50} = 1,0$ 1/h. Pai-

nekoemenetelmä ei paljasta missä rakennuksen vuotokohtat sijaitsevat. Vuotokohtia voidaan selvittää esimerkiksi lämpökuvauksella tai merkkisavun avulla. Molemmat menetelmät soveltuvat tehtäväksi painekokeen yhteydessä. Lämpökuvauus tehdään usein kaksivaiheisena, ensin normaaleissa paineolosuhteissa ja sitten 50 Pa sisäpuolisessa alipaineessa. Näitä kahta kuvaa vertailemalla erotetaan ilmavuotokohtat kylmäsilloista paremmin.

Yksi tärkeimmistä hyvän ilmanpitävyyden vaikutuksista on rakennuksen energiankulutuksen pieneneminen. Ilmanpitävässä rakennuksessa lämpö ei karkaa ilmapvirtausten mukana ulos eikä kylmää ilmaa tule sisälle. Vuotoilma aiheuttaa noin 15–30 % lämmitysenergiatarpeesta niin sanotussa tavanomaisessa pientalossa, jonka n_{50} -luku on 4,0 l/h. Edelleen lämmitysenergian kulutus kasvaa noin 7 % jokaista n_{50} -luvun kokonaisuyksikön muutosta kohti /7/. Nykyisillä lämmöneristepaksuuksilla vuotoilmanvaihdon vähentäminen on merkittävimpiä ja ennen kaikkea edullisimpia keinoja jo sinällään energiataloudeltaan hyvien rakennusten parantamisessa.

Ilmanpitävässä rakennuksessa voidaan kontrolloida paremmin ilmanvaihtoa ja sisäilman laatua. Ilmanvaihtojärjestelmän kautta tuleva ilma voidaan suodattaa epäpuhtauksista, toisin kuin esimerkiksi ikkunan raosta vuotava ilma. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän toiminta on tehokkaampaa hyvin ilmanpitävässä rakennuksessa ja lämmön talteenotosta saatava hyöty on suurempi, kun ilma poistuu ilmanvaihtojärjestelmien venttiilien kautta. Sisäilman laadun kannalta erityisesti alapohjan ilmanpitävyys on tärkeää, jotta maaperässä mahdollisesti esiintyvän radonin ja mikrobien pääsy sisäilmaan voidaan estää. Tiiviissä rakennuksissa ilmanvaihtolaitteiston tulee olla hyvin tasapainotettu ja riittävän tehokas, koska ilma ei vaihdu käytännössä lainkaan vuotokohtien kautta.

Rakenteiden ilmanpitävyydellä on suuri merkitys myös kosteusteknisen toimivuuden kannalta. Lämpimään sisäilmaan sitoutunut kosteus voi kulkeutua konvektion avulla ilmavuotokohdissa sisältä ulospäin ja tiivistyä rakenteeseen aiheuttaen kosteusvaurioita. Myös kylmän vuotoilman aiheuttama rakenteiden jäähtyminen aiheuttaa kosteuden tiivistymisriskin.

Asumismukavuuteen vaikuttavat erityisesti alapohjan ja ulkoseinien alaosan ilmavuodot. Kylmä vuotoilma tuntuu asukkaille ikävänä vedon tunteena ja aiheuttaa sisäpintojen kylmenemistä. Rakennuksen vetoisuuden poistamisella voidaan lisäksi vaikuttaa välillisesti energiankulutukseen. Vetoisissa taloissa pidetään usein yllä korkeampaa sisälämpötilaa kuin ilmanpitävissä taloissa saman lämpöviihtyvyyden saavuttamiseksi.

Ilmavuotokohdista asuntoihin pääsee myös melua ja hajuja. Kerrostaloissa ilmavuoto-ongelma voi ilmetä esimerkiksi tupakan ja ruoan käryjen kulkeutumisena huoneistosta toiseen. Ilmanpitävyys parantaa paloturvallisuutta hidastamalla savukaasujen leviämistä rakenteen läpi.

Vuoden 2008 alusta voimaan tulleissa rakentamismääräyksissä ilmanpitävyys kuuluu lämmönläpäisykertoimien ja lämmöntalteenoton ohella ns. lämpöhäviöiden tasauksen piiriin. Tavoitteena kuitenkin on, että hyvää ilmanpitävyyttä käytetään ensisijaisesti rakennuksen energiatehokkuutta parantavana tekijänä heikentämättä lämmöneristys- ja lämmöntalteenottotasoja. Hyvällä ilmanpitävyydellä voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuusluokkaa energiatodistuksessa.

Jatkossa rakennuksen ilmanpitävyys voidaan todeta joko kohdekohtaisella ilmanpitävyyssmittauksella tai ilmoitusmenettelyllä /4/. Ilmoitusmenettelyllä talotoimittajat eli rakennuksen ilmanpitävyydestä vastaavat toimijat voivat määritellyin toimenpitein saada tietynlaiselle talotyypille niin sanotun ilmoitetun ilmavuotoluvun. Tätä lukua voidaan käyttää kyseiseen talotyypin kuuluvan rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaisuutta osoittaessa ja energiankulutusta laskettaessa ilman kohdekohtaista ilmanpitävyyssmittausta.

Lämpökuvauksilla tehdyillä tutkimuksilla on löydetty tyypillisiä ilmavuotokohtia. Pientaloissa eniten ilmavuotoa esiintyy ulkoseinän ja yläpohjan liitoskohdassa sekä ikkunoissa ja ovissa sekä niiden liitoksissa ulkoseinään. Myös ulkoseinän ja välipohjan ja alapohjan liitokset sekä ulkoseinien ulkonurkat ja ilmansulun läpiviennit ovat riskialttiita kohtia. Kerrostaloissa yleisimmät vuotokohdat ovat ikkunat ja ovet ja niiden liitokset. Muita merkittäviä vuotokohtia ovat ulkoseinän ja välipohjan liitokset sekä ulkoseinän ja yläpohjan liitos.

4.3 Ilmanpitävän rakennuksen toteuttaminen

Rakenteen ilmatiiviyys toteutetaan yleensä erillisellä ilmansulkukerroksella, ellei rakenteessään ole riittävän ilmanpitävä. Kerroksellisissa rakenteissa tarvitaan aina höyrynsulku, joka usein toimii myös ilmansulkukerroksena.

Muuratuissa harkkorakenteissa ilmansulkukerros on yleensä tasoitekerros ja puurankarakenteissa erillinen kalvomainen tai levymäinen ilman- ja höyrynsulkukerros. Massiivisissa rakenteissa ei välttämättä tarvita erillistä ilmansulkukerrosta, mikäli rakenteen ilmatiiviyys itsessään on riittävä. Tällöinkin on kiinnitettävä huomiota rakenteen liitoskohtiin. Puuran-

karakenteissa ilmansulku ja höyrynsulku toteutetaan yleensä yhdellä yhteisellä kerroksella, jolloin sulun tulee olla lähellä rakenteen lämmintä sisäpintaa.

Ilmanpitävän kerroksen tulee jatkua yhtenäisenä koko rakennuksen vaipan ympäri ja eri rakenneosien ilmansulkujen tulee liittyä tiiviisti toisiinsa. Heikosti toteutetut ilmanpitävän kerroksen liitoskohdat aiheuttavat erilaisia ongelmia riippuen ilmapuotokohdan sijainnista rakennuksessa. Esimerkiksi alapohjan ja ulkoseinän välinen ilmapuoto koetaan enemmän asumisviihtyvyyttä heikentävänä vetona kuin yläpohjan ja ulkoseinän välinen ilmapuoto. Rakenteille jälkimmäinen vuotokohta sen sijaan voi aiheuttaa merkittäviä ongelmia, koska rakennuksen yläosassa olevasta ylipaineesta johtuen rakenteeseen voi siirtyä ja tiivistyä kosteutta. Etenkin kosteusteknisen toiminnan kannalta ongelmallisia ovat lisäksi yläpohjan putki- ja hormiläpiviennit.

Jokaisessa erillisessä rakennuskohteessa tarvitaan huolellinen yksityiskohtien suunnittelu, etenkin sekarakenteiden yhteensovittaminen on usein ongelma rakennuksen ilmanpitävyydelle, koska ratkaisuja ei ole ohjeistettu riittävästi. Ilmanpitävyyden varmistamiseksi rakennuksen ilmanpitävän kerroksen jatkuminen rakennusosasta toiseen tulee asentaa huolellisesti ehjänä kokonaisuutena.

Ilmanpitävyyden toteuttamiseen käytettyjen ratkaisujen tulee säilyä ilmanpitävinä koko rakennuksen käyttöajan ajan. Rakennukset pääsääntöisesti suunnitellaan niin, ettei merkittäviä muodonmuutoksia pääse syntymään. Rakenteiden ja niiden liittymien tulee kuitenkin kestää pieniä muodonmuutoksia ilman merkittäviä halkeamia tai muita haitallisia muutoksia. Ilmansulkuun rakennusaikana syntyvät reiät tulee paikata ilmansulkukerroksen tyypistä riippuen joko vaahdottamalla, saumaamalla tai riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä. Ilmansulkuna käytettyjen materiaalien tulee olla kestäviä. Erityisesti rakenneosien välisissä liitoksissa ja muissa piiloon jäävissä ratkaisuissa tulee pyrkiä varmistamaan pitkäaikaiskestävyys, koska myöhemmin ratkaisujen parantaminen

4.4 Ulkoseinien tiiveys

Rankarunkoisissa seinissä rakenteen ilmatiiviys saadaan aikaan joko kalvomaisilla tai levymaisillä rakennustarvikkeilla. Paksuudeltaan 0,2 mm höyrynsulkumuovi on ollut käytetyin ilman- ja höyrynsulku kaikissa rankarunkoisissa ulkoseinissä. Kalvomainen höyrynsulku tulisi asentaa siten, että sähköasennusten takia kalvoon ei tarvitse tehdä reikiä. Siksi on suositeltavaa asentaa höyrynsulku 50 mm etäisyydelle sisäpinnan levyn taakse. Höyrynsulkukalvon jatkokset sekä liitokset muiden rakennusosien sekä aukkojen ilmanpitäviin

kerrokseen tulee toteuttaa vähintään 150 mm limityksin höyrynsulkuteipillä teipaten tai puristavalla liitoksella. Puristava liitos tehdään ruuvaamalla rima höyrynsulun päälle joko rakennuksen runkoa tai erillistä tukirimaa vasten.

Rakennusaikainen kosteuden tiivistymisriski höyrynsulun sisäpintaan tulee ottaa huomioon esimerkiksi siten, että höyrynsulun sisäpuolinen lämmöneriste asennetaan rakenteeseen vasta sitten, kun suurin osa rakennuskosteudesta on kuivunut. Kriittisimpiä kohtia kosteuden tiivistymiselle ovat talon ulkonurkat ja rankojen kohdat. Kosteuden tiivistymistä voidaan ehkäistä lisäämällä kantavan rungon ulkopuolelle lämmöneristettä esimerkiksi ristikoolauksen tai lämpöä eristävän tuulensuojan avulla. Lämmöneristykseen asentaminen höyrynsulun sisäpuolelle on syytä tehdä vasta, kun sisäilman kosteus on riittävän alhaisella tasolla. Esimerkiksi loppusyksyllä maanvaraisten lattioiden betonivaluista haihtuu kosteutta niin paljon, että höyrynsulun pintaan tiivistyy vettä. Vesi voi jopa jäättyä, jos höyrynsulku on 50 mm lämmöneristeen takana. Ulkonurkkien kohdalla höyrynsulkukalvo voidaan asentaa myös välittömästi sisäpuolelle rakennuslevyn taakse. Tällöin sähköasennuksia ei ole suositeltavaa tehdä alle 60 cm etäisyydelle nurkasta. Rankarunkoisen rakenteen ilman-sulkuna voidaan käyttää myös rungon sisäpuolelle asennettavilla solumuovieristelevyillä.

4.5 Rakenteiden lämmöneristys

4.5.1 Muovieristeet

Rakenteiden paksunemisen rajoittamiseksi on otettu käyttöön uusia alhaisen lämmönjohtavuuden tuotteita. Nämä tuotteet ovat suurelta osin solumuovipohjaisia, joten niiden ominaisuudet poikkeavat monilta osin merkittävästi totutuista mineraalivillaeristeistä. Ne ovat merkittävästi ilma- ja vesihöyrytiivimpiä kuin mineraalivillat, mikä on otettava huomioon muun muassa rakenteiden kuivatuksesta, tuuletustarpeesta ja muussa kosteusteknisessä toiminnassa. Solumuovipohjaisilla lämmöneristeillä esiintyy myös jälkikutistumaa, mikä aiheuttaa pakkovoimia eristeisiin. Myös eristeiden lämpöliikkeet ja rungon taipumat aiheuttavat rasituksia liitoksiin. Näistä kaikista voi aiheutua rakoja eristeisiin sekä eristeiden ja rungon välisiin liitoksiin.

Muovipohjaisten eristeiden ilmaäänien vaimennuskyky on pieni. Jäykkinä levyinä tuotteina ne jopa voivat vahvistaa ääniä, mikäli ne pääsevät värähtelemään ominaistajuudella. Yksinkertaisimmillaan rankarakenteisen ulkoseinän ilmaääneneristävyttä voidaan parantaa asentamalla seinän sisäpintaan enintään 50 mm mineraalivillaa sekä sisäpintaan kaksinkertainen kipsilevytys. Muovieristeet toimivat tyypillisesti rakenteen ilman- ja höy-

rynsulkuna, joten sisäpuolelle asennettavan ääneneristysmateriaalin vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan on varmistettava suunnittelussa. Mineraalivillakerros ei saa olla liian paksu, jotta höyrytiivin rakenteen sisäpintaan ei kondensoidu kosteutta tai muodostu homeenkasvulle otollisia olosuhteita. Lisäksi tällaista rakennetta käytettäessä on otettava huomioon erilaisten liitoskohtien aiheuttamat olosuhdemuutokset mineraalivillan ja tiiviin eristeen välisessä rajapinnassa. Myös tuotteiden palokäyttäytyminen ja -kuormat on otettava huomioon. Edellä mainituista seikoista huolimatta muovipohjaisilla lämmöneristeillä on myös selkeitä etuja kuten että ne ovat hyvin ilma- ja vesihöyrytiivitä ja ne sietävät yleensä hyvin kosteutta ja alkalisuutta. Ne ovat myös kuormitusta kestäviä eristeitä.

Muovipohjaisten eristeiden käyttöönotto uusissa käyttökohteissa edellyttää erityistä ammattitaitoa, jotta rakenteista tulee kaikissa suhteissa toimivia, sillä lämmöneristeiden asennustekniikat poikkeavat merkittävästi kokoonpuristuville villaeristeille soveltuvista tekniikoista. Tyypillisesti muovipohjaiset eristelevyt voidaan katkaista tekemällä pintaan viilto, minkä jälkeen levy taitetaan kahtia. Kun eristelevystä pitää leikata pala pois esim. aukon pielestä, ainakin yksi leikattava sivu tehdään usein sahaamalla. Sahauksesta jää eristelevyn pintaan irtonaista eristepölyä, mikä tulee poistaa ennen eristeen asentamista paikoilleen paineilmalla tai imuroimalla.

Muovipohjaiset eristelevyt asennetaan ja tuetaan paikoilleen esim. rimojen avulla tai kiilaamalla. Eristeiden reunoille rakennetta vasten jätetään 10 – 25 mm levyinen vaahdotusväli. Vaahdotuksen onnistumisen kannalta raon tulee olla riittävän leveä, jotta vaahdotuspistooli mahtuu vaahdotusrakoon ja vaahdon leviämistä on mahdollista seurata.

Saumojen vaahdotukseen tulee ensisijaisesti käyttää vaahdotuspistoolia, jolla vaahdon määrää voidaan säädellä. Ns. kertakäyttöpulloilla tehtävässä vaahdotuksessa polyuretaanivaahtoa tulee tyypillisesti hallitsemattomasti ja liikaa. Kertakäyttöpullojen vaahto yleensä myös turpoo enemmän kuin vaihtopullojen vaahto. Vaahdotus suoritetaan kerroksittain siten, että kerralla tehtävä täyttöpaksuus on noin 50 - 100 mm vaahdotettavien eristelevyjen paksuudesta riippuen. Jokaisen vaahtosauman tulisi koostua vähintään kahdesta vaahdotuskerroksesta. Toinen vaahdotus tehdään ensimmäisen kovetuttua, esimerkiksi seuraavana päivänä. Kerroksittain tehtävä vaahdotus varmistaa rakenteen tiiveyden sekä polyuretaanivaahdon oikean sisäisen rakenteen. Vaahdotetun sauman pintaan muodostuva ns. nahka toimii vaahtosaumassa ilmatiiviinä kerroksena. Kahdessa vaiheessa tehdyssä vaahdotuksessa muodostuu 3 nahkaa, vaikka uloimmasta vaahdotuksesta leikattaisiinkin ylimääräinen vaahto pois. Sauman ilmatiiviyttä sekä polyuretaanivaahdon uv-

säteilykestävyyttä voidaan parantaa myös leikatun saumapinnan yliteippauksella. Esimerkiksi alumiiniteippi muodostaa ilmatiiviin ja säänkestävän pinnan.

Vaahdottamisen normaali työlämpötila-alue on +5 asteesta +30 asteeseen. Tiettyjä uretaanilaatuja voidaan käyttää -10 asteessakin. Merkittäviä lämpö- ja kosteusliikkeitä tai taipuman vaihteluita omaavissa runkorakenteissa käytetään elastista polyuretaanivaahtoa lämmöneristysten vaahdotuksessa, jotta vaahdotsaumapinnat pysyvät ehjinä ja tiiviinä. Elastista saumavaahtoa tulee siten käyttää puurakenteiden yhteydessä sekä esimerkiksi yläpohjan rakenteissa.

Sandwich-elementit, joissa lämmöneristeenä on solumuovipohjaisia eristeitä tulee asentaa siten, että elementtien eristeiden väliin jää 10-15 mm vaahdotettava rako. Tämä edellyttää sekä elementtien valmistukselta että asennukselta huomattavan suurta tarkkuutta.

Sandwich-elementtien asentamisessa nurkkaelementit ovat haasteellisimpia. Vierekkäisten elementtien ulkokuorten reunat on tehty jo pitkään ulokkeina. Lämmöneristepaksuuden kasvaessa myös ulokkeiden pituudet kasvavat ja sauman vaahdottaminen on haasteellinen tehtävä. Saumavaahtoa ei ole mahdollista asentaa ennakkoon pystyssä olevaan elementtiin kuten mineraalivillalakaistaa, sillä vahto painuu kasaan viereistä elementtiä paikoilleen asennettaessa. Sauman vaahdotus tulee tehdä ulkopuolelta ulkokuoren saumojen kautta, mikä edellyttää yleensä henkilönostimien käyttöä. Toisena ja yleisempänä vaihtoehtona on käyttää näissä nurkkaliitoksissa aina mineraalivillalakaistaa, joka puristuu elementtien väliin.

4.5.2 Mineraalivillat

Erilaisissa rakenteissa voidaan eri syistä käyttää mineraalivilla- ja muovieristeiden yhdistelmiä. Yleisin syy on muovieristeiden palosuojaus mineraalivillalla yläpohjissa sekä tuuletusraolisissa julkisivuissa. Toinen syy on toiminnallinen, kuten esim. paksurappauseristejärjestelmissä, missä rappauskerroksen alla tulee olla vähintään 50 mm mineraalivillakerros, jotta rappauskerroksen vaatimat mekaaniset kiinnikkeet saadaan asennettua.

P1- ja P2-luokan rakennuksissa tuuletusraon tuulensuojapinnalle on asetettu palovaatimuksia siten, että muovipohjaisten tai -pintaisten lämmöneristeiden käyttö ei sellaisenaan ole mahdollista. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tuulensuojana on käytettävä tarkoitukseen soveltuvia mineraalivillaeristeitä. Tuulensuojakerroksen alla oleva varsinainen lämmöneriste voi tällöin olla myös muovipohjaista eristettä, eli ns. hybridirakenteiden käyttö on mahdollista.

Paksumpi lämmöneristys voi passiivitalossa tarvita noin 450-650 mm pitkiä rappauskiinnikkeitä, joiden asentaminen oikeaan kulmaan yhdessä usean lämmöneristekerroksen kanssa on haasteellinen tehtävä. Passiivitaloissa paksurappauseriste-järjestelmissä on suositeltavaa käyttää ns. hybridirakenteita, jolloin lämmöneristekerros jää ohuemmaksi. Hybridieristeissä lämmöneristekerros muodostuu solumuovieristeen ja mineraalivillan yhdistelmästä siten, että rappauserroksen alla on vähintään 50 mm paksuinen rappausalustaksi tarkoitettu mineraalivillakerros. Tämä kerros toimii laakerikerroksena solumuovieristeiden ja rappauserroksen välissä, jotta rappauserroksen kiinnikkeet on mahdollista asentaa. Tällöin ohuemmasta lämmöneristekerroksesta johtuen rappauserroksen kiinnikkeet muodostuvat lyhyemmiksi.

Lämmöneristekerroksen paksuuntuminen lisää lämmöneristeiden painumista kuormituksen alaisena, mikä on otettava huomioon mm. mekaanisten kiinnikkeiden valinnassa sekä kulkuteiden suunnittelussa. Vesikatteen mekaanisten kiinnikkeiden tulee joustaa riittävästi kuormituksen alla, jottei kiinnikkeiden kohdille muodostu ns. kovia kohtia, ja vesikate siten rikkoudu. Mineraalivillakatot eivät ole tarkoitettu kuljettaviksi, kulkuväylillä eriste painuu jalan alla kasaan ja toistuvassa rasituksessa pehmenee. Kulkuväylille tulee suunnitella erilliset kulkusillat tai kulkuväylillä lämmöneristeen tulee olla kuormitusta kestäväää tarkoitukseen soveltuvaa solumuovieristettä. Lisäksi kulkuväylät tulee merkitä esim. erivärisellä pintakermillä. Solumuovieristetyillä bitumikermitteillä tarvitaan solumuovin ja bitumikermin väliin paloa eristävä mineraalivillakerros sekä lisäksi palokatkoja. Palokatkojen kohdilla lämmöneristeissä esiintyy kuormituksen alla nykyistä suurempia painumaeroja paksumpien lämmöneristekerrosten vuoksi. Näistä painumaeroista ei saa syntyä katolle lammikoitumista.

Työnaikainen sadesuojaus on entistä tärkeämpää, koska kosteutta voi varastoitua paksumpiin rakenteisiin enemmän ja kuivuminen on pienemmän lämpövirran vuoksi hitaampaa. Mineraalivillan eristeiden painuminen lisääntyy, mikä on otettava huomioon esimerkiksi läpivienneissä. Tosin kovilla eristeillä tämä ei ole ongelma.

4.5.3 Puhallusvilla

Ristikkokannattajien yhteydessä on suositeltavaa käyttää puhallusvillaa ristikon diagonaalien välien täyttämisen varmistamiseksi. Puhallusvillan ilmanläpäisevyyden tulisi olla riittävän alhainen, jotta eristekerroksessa ei pääse syntymään merkittävää sisäistä konvektiota. Puhallusvillan yhteydessä kattokannattajien väleistä tulee muodostaa koteloita, jotka voidaan täyttää yksittäin. Tämä edellyttää yläpinnan tuulensuojalevyn lisäksi ristikkokannatta-

jien kylkiin esim. sitkeän paperin asentamista. Levyuuma-, kerto- ja liimapuukannattajissa palkki itsessään muodostaa puhallettavan kotelon reunat. Lämmöneristeiden aiheuttama paino on otettava huomioon alapuolisen koolauksen mitoituksessa. Tarvittaessa koolausta on tihennettävä tai käytettäessä tuennassa levyrakennetta.

Puhalluseristeiden epätasainen painuminen on otettava huomioon etenkin jyrkissä katoissa, koska tämä voi aiheuttaa puhallusvillakerroksen paikallista liikkumista ja näin ollen eristyskyvyn heikkenemistä.

Levyvillan käyttö on puusta tehtyjen tukirakenteiden ja kattoristikoiden kanssa työtekniisesti vaikeaa. Puhallusvillaa on suositeltavaa käyttää ainakin alapaarteen yläpuolisilla osilla. Sisäinen konvektio voi kuitenkin heikentää tavanomaisten puhalluseristeiden lämmöneristyskykyä merkittävästi paksuissa rakenteissa. Konvektion vaikutus kasvaa eristekerroksen kasvaessa. Sisäisen konvektion vaikutusta voidaan vähentää käyttämällä lämmöneristeitä, joilla on pieni ilmanläpäisevyys ja asentamalla eristeet huolellisesti niin, että eristekerrokseen ei synny rakoja ja onkaloita. Puhalluseristeitä käytettäessä sisäistä konvektiota voidaan vähentää myös korvaamalla osa puhalluseristeestä rakenteen sisäpintaan asennettavalla levyeristeellä.

4.6 Rakenteet ja liitokset

4.6.1 Maanvastaiset alapohjat

Ilmanpitävät rakenteet edesauttavat hyvän sisäilman saavuttamista. Tämä koskee erityisesti alapohjarakenteita, joissa rakenteen läpi virtaava ilma tuo yleensä mukanaan paljon epäpuhtauksia. Maanvastaisina alapohjina käytetyt paikalla valetut teräsbetonilaatat ovat rakenteina riittävän ilmanpitäviä, joten suurin huomio tulee kiinnittää rakenteen liitoksiin sekä läpivientien tiivistämiseen. Radon-kaasun virtaaminen alapohjien raoista on yksi ilmapuotojen haitallisimmista vaikutuksista. Radonin kulkeutuminen sisäilmaan voidaan estää ulkoseinäliitokseen tulevalle kumibitumikermikaistalla ja läpivientien elastisella saumauksella.

Läpivientiputket laatan keskiosalla voidaan putken ulkopuolelta tiivistää valamalla. Jos läpiviennin juuren tiiviys halutaan erityisesti varmistaa, voidaan tiivistys viimeistellä vielä elastisella saumauksella. Suuret tyhjiä tilaa sisältävät läpivientivaraukset on suositeltavaa tiivistää myös sisäpuolelta esimerkiksi tiiviillä villasullonnalla tai asettamalla varausputken

sisään muovipussi, joka vaahdotetaan täyteen polyuretaanivaahtoa. Kun varausputki halutaan ottaa käyttöön, voidaan polyuretaanivaahdo vetää muovipussissa putkesta pois.

Puurakenteisessa tuulettuvassa alapohjassa on suositeltavaa olla erillinen ilmansulkukerros lattian levyrakenteen alla. Kerros voi olla esimerkiksi kalvomainen ilmansulku tai muovieristyslevy. Mikäli ilmanpitävä kerros toteutetaan pelkästään lattialevyllä, tulee levynä käyttää ympäripontattua, paksua kansivaneria. Levyt liimataan sekä alustaan että toisiinsa ja saumojen tiiviys varmistetaan myös yläpuolisella teippauksella. Ulkoseinälinjoilla ilmanpitävä kerros liitetään seinän ilmansulkuun esimerkiksi höyrynsulkumuovikaistalla.

Erityisesti puurakenteisilla tuulettuvilla alapohjilla olennaista on ryömintätilan tehokas tuuletus. Tämän vuoksi lattiarakenteen tuulensuojan tulisi olla lämpöä eristävä, kosteutta kestävä ja riittävän ilmatiivis, jottei ryömintätilan kylmä ilma pääse alapohjarakenteen lämmöneristekerrokseen. Tuulensuoja ei kuitenkaan saa kylmässä pinnassa toimia höyrynsulkuna, joten alapohjan lämmöneristys on suositeltavaa toteuttaa kokonaisuudessaan so-lumuovieristeillä

4.6.2 Puurankaseinät

Asuinrakennusten seinät ovat usein puurankarakenteisia, mutta näitä ohjeita voidaan soveltaa myös metallirankaseinissä. Höyrynsulkukerros sijaitsee yleensä lähellä rakenteen sisäpintaa ja sen pääasiallinen tehtävä on estää haitallisten kosteus- ja ilmavirtausten synty-mistä rakenteiden läpi. Höyrynsulkukerros toteutetaan puurankaseinissä tavanomaisesti kalvomaisilla tuotteilla, jotka ovat joko muovikalvoja tai riittävän vesihöyrynvastuksen omaavia pahveja.

Ilmansulkukalvo voidaan sijoittaa joko suoraan sisäpinnan levyn taakse tai noin 50 mm syvyydelle lämmöneristeen sisään. Jälkimmäinen tapa on suositeltavampaa hyvän ilmanpitävyyden saavuttamiseksi, koska ilmansulkukerrosta ei rikota esimerkiksi varusteita, tauluja tai sisustusvalaisimia asennettaessa. Myös upotetut sähköasiat ja levyn takana kuljetettavat sähköputkitukset voidaan tällöin tehdä ilmansulkukerrosta rikkomatta.

Mikäli ilmansulun sisäpuolelle tulee lämmöneriste, se asennetaan vasta, kun sisäpuoliset suurta kosteusrasitusta aiheuttavat betonivalut ja muuraustyöt on tehty ja suurin osa rakennusaikaisesta kosteudesta on kuivunut. Mikäli sisäpuolinen lämmöneriste asennetaan liian aikaisin, rakennusaikainen kosteus tiivistyy kylmänä vuodenaikana höyrynsulkukerroksen sisäpintaan sisäverhouslevyn taakse. Kalvomaisen ilmansulkukerroksen upottaminen läm-

möneristeen sisään soveltuukin näin ollen paremmin paikalla rakennettaviin kohteisiin kuin elementtirakentamiseen. Kun ilman/-höyrynsulkukalvo asennetaan lämmöneristeen sisään, tulee ainakin $\frac{3}{4}$:n lämmöneristeen paksuudesta sijaita kalvon ulkopuolella /5/. Lisäksi, jos ilmansulun sisäpuolella käytetään ristiinkoolausta, on pystyrungon ulkopuolella suositeltavaa käyttää hyvin lämpöä eristävää tuulensuojalevyä puurungon kylmäsiltaavaikutuksen katkaisemiseksi /5/.

Kun ilmansulkukerros tehdään kalvomaisella tuotteella suoraan sisälevyn taakse, tulee varmistaa, etteivät sähköasennukset riko kalvoa. Tämä koskee putkitusten lisäksi erityisesti sähkörasioita. Rasian tiivistäminen sisälevyyn tai kalvoon ei riitä takaamaan kohdan ilmanpitävyyttä, sillä yleensä sähkörasian rakenne itsessään ei ole ilmatiivis. Tiiviyden aikaan saamiseksi tarvitaan hankalia teippauksia ja elastisia saumauksia. Suunnittelussa tulisi välttää kaikkia talotekniikan asennuksia ulkoseinissä.

Ilmansulkukerros voidaan toteuttaa myös levymäisillä tuotteilla. Sulkuna voidaan käyttää esimerkiksi yhtenäistä riittävän tiivistä solumuovieristyslevyä, jotka saumataan puuvaahdolla. Teippaus parantaa saumakohdan pitkäaikaiskestävyyttä, mikäli puurakenteen kosteusliikkeet aiheuttavat saumakohdan vaahdotukseen irtoamisen rakenteesta.

Solumuovieristyslevy sijoitetaan kalvomaisen höyrynsulun paikalle rakenteeseen ja sen eristyskyky voidaan ottaa huomioon seinärakenteen U-arvoa laskettaessa. Ilmansulun sisäpuolelle jätetään asennusvara sähköasennuksia varten. Levymäisen ilmansulun suositeltava paksuus on vähintään 20 mm ja sauman leveys vähintään 10 mm, jotta saumat, liitokset ja erityisesti läpiviennit voidaan tiivistää luotettavasti saumavaahdolla.

Kalvomaisen ilmansulkukerroksen jatkoskohdat aiheuttavat seinärakenteeseen ilmapuotot-riskin. Jatkokset saadaan suoralla seinänosalla ilmanpitäviksi limittämällä vierekkäiset kalvot ja puristamalla limityskohta kahden puun, esimerkiksi runkotolpan ja sisäpuolisen pystykoolauksen, väliin (kuva 3.2). Näin voidaan toimia, kun ilmansulkukalvo viedään seinärakenteen sisään. Suositeltava limityksen leveys on vähintään 150 mm. Puristusliitoksessa toinen (puristava) puurima voidaan tehdä katkottuna, mikäli käytetty puutavara ei ole riittävän suoraa jatkoksen tiiviyden varmistamiseksi. Riittävä puristus varmistetaan tiheällä (k300) ruuvi kiinnityksellä. Naulakiinnityksellä puurimojen välille ei saada riittävää puristusta, koska liitos löystyy puun kuivuessa.

Vaihtoehtoisesti limityksen reuna voidaan teipata riittävän pitkäaikaiskestävyyden omaavalla höyrynsulkuteipillä toiseen kalvoon. Varmin vaihtoehto on yhdistelmä, jossa jatkos

on sekä teipattu että puristettu. Ilmansulun yhtenäisyys nurkissa ja vaakaliitoksissa tulee varmistaa riittävällä limitysleveydellä ja puristuksella tai teippauksella. Tiivistyskohdan tulee nurkkajatkoksessa olla aina jommankumman seinän puolella.

Sisäpuolisen ilmansulkukerroksen lisäksi myös lämmöneristeen ulkopuolella olevan tuulensuojakerroksen yhtenäisyys ja tiiviys on seinän toimivuuden kannalta tärkeää. Lämmöneristekerrokseen ulkoa pääsevä kylmä ilma voi aiheuttaa huokoisissa lämmöneristekerroksissa sekä eristeen ja rungon väliin jäävissä raoissa sisäistä konvektiota, mikä alentaa lämmöneristeen eristävyyttä ja edelleen ulkovaipan energiatehokkuutta. Sisäisen konvektion estämiseksi tulisi eristämistyön aikana varmistaa, että käytetty lämmöneriste täyttää mahdollisimman hyvin runkopuiden välit. Tuulensuojana voidaan käyttää esimerkiksi mahdollisimman hyvin vesihöyryä läpäisevää tuulensuojapintaista lämmöneristelevyä tai tuulensuojalevyä. Lämmöneristeiden paksuuntuessa tulisi kalvomaisista tuulensuojamateriaaleista luopua, jotta vältetään puurungon homehtumisriskiltä.

Rakennekerrosten vesihöyrynvastuksen tulee laskea sisältä ulospäin, jottei rakenteeseen synny lämmöneristeen kylmälle puolelle kosteuden tiivistymisen mahdollistavaa rajapintaa. Tämän vuoksi ilmansulkukerroksen toimiessa myös höyrynsulkuna, tulee tiiviin kerroksen tai kerrosten sijaita aina lähellä lämmintä sisäpintaa.

4.6.3 Puuelementtiseinät

Monista eri ratkaisuvaihtoehdoista johtuen tässä julkaisussa ei ole ohjeistettu puuelementtien ratkaisuja kuvin, vaan elementtisuunnittelijoiden toivotaan soveltavan puurankarakenteille annettuja ohjeita omissa suunnitelmissaan. Puuelementtiseiniä koskevat pääosin samat ohjeet kuin muitakin puurankaseiniä. Valmistusmenetelmästä johtuen on seuraavaksi esitetty muutamia tarkennuksia.

Ilmansulkukalvoa ei suositella vietäväksi elementtiseinissä lämmöneristeen sisään, ellei pystytä varmistamaan sisäpuolisen lämmöneristekerroksen kuivana pysymistä rakennusaikana. Yleensä rakentamisen aikaiset kosteusrasitukset (esimerkiksi betonivaluista aiheutuvat) ovat niin merkittäviä, ettei tämä ole mahdollista. Elementtiratkaisuissa ilmansulkukalvo asennetaan löysästi sisäverhouslevyn taakse, jolloin sähköasennukset voidaan tehdä sisäverhouslevyn ja ilmansulun väliin ja varmistaa ilmansulun ehjänä pysyminen. Mikäli ilmansulkukerros on sijoitettu heti seinän sisäpinnan levyn taakse, on varmempaa tehdä sähkövedot pinta-asennuksina.

Elementtien liitokset toisiinsa tulee suunnitella huolellisesti. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon ilmanpitävyyden asettamat vaatimukset. Ilmansulkukerroksen tulee jatkaa yhtenäisenä elementistä toiseen, myös märkätilojen kohdalla. Elementtien välisessä liitoksessa kalvot tulee limittää ja puristaa toisiaan vasten. Limityspeveys voi huolellisesti suunniteluissa ja toteutetuissa elementtiliitoksissa olla suorille seinälinjoille suositeltua leveyttä huomattavasti pienempi. Vierekkäiset elementtien runkopuut tulee kiinnittää toisiinsa tiiviisti, esimerkiksi nurkissa kulmateräksillä, jotteivät puun kosteusliikkeet avaa liitosta ja samalla riko ilmanpitävän kerroksen yhtenäisyyttä. Liitokset muihin rakenteisiin, esimerkiksi välipohjan ontelolaattoihin, tulee suunnitella niin että elementtien välisten liitosten tiivistäminen on mahdollista ja etteivät liittyvän rakenteen liikkeet riko elementtirakenteen tiiviyyttä.

Liitosten toimintaperiaatteiden ja työn huolellisuusvaatimusten tulee olla selvillä myös elementtien asentajilla, ettei heikolla työn laadulla aiheuteta huonoa lopputulosta hyvin suunniteltuihin rakenteisiin.

4.6.4 Hirsiseinät

Hirsirakenteiden painuma on suunnittelussa otettava aina huomioon. Painuminen parantaa ajan myötä jossain määrin hirsiseinän ilmanpitävyyttä. Tämä kuitenkin edellyttää, että aukkojen ja painumattomien rakenneosien kohdalle on jätetty painumavarat ja näiden ilmanpitävyys on myös huolellisesti suunniteltu. Suunnitteluratkaisuissa tulee varmistaa, ettei rungon painumista ole missään kohtaa estetty eivätkä rakenneosien väliset painumerot kasva merkittäviksi. Ikkuna-aukkojen painumavarojen toteutusta on tarkemmin käsitelty luvussa 10.1.

Suoralla seinäosalla hirsiprofiili vaikuttaa eniten rakenteen ilmanpitävyyteen. Hirsien välissä käytetään saumaeristettä. Eristeenä voidaan käyttää tiiviitä ja joustavia solumuovitaikumitiivisteitä, mutta muillakin tiivistevaihtoehdoilla voidaan saavuttaa koko rakennuksen osalta riittävä ilmanpitävyys /6/. Hirsiseinien ilmanpitävyydessä suoraa seinän osuutta kriittisempiä kohtia ovat nurkkasalvokset. Hirsitalon ilmanpitävyyttä voidaan painumisen jälkeen parantaa tiivistämällä liitos- ja saumakohtia uudestaan esimerkiksi polyuretaanivaahdolla.

4.6.5 Ikkuna ja oviaasennukset

Ovet voidaan tiivistää mineraalivillakaistalla. Ilmanpitävyys toteutetaan elastisella kittauksella sisäpinnassa. Ikkunat voidaan tiivistää polyuretaanivaahdolla. Vaahdolla ei täytetä koko väliä, vaan ulkoreunaan tulee jättää tuuletusrako. Karmin ulkoreunassa osa tiivistetystä voidaan täyttää myös mineraalivillakaistalla. Betonisandwichelementeissä polyuretaanivaahdotuksen tulee ylittää elementin sisäkuoren ja karmin väliin. Sisäreunasta tulee varmemmin tiivis, kun vaahdotus tehdään kahden jäykän pinnan väliin.

Mikäli seinän ilmansulkukalvo on suoraan sisäpinnan levyn takana, ilmansulkukalvon reunat tiivistetään ikkunan ympäri riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä. Tämän jälkeen puun ja karmin välinen rako täytetään polyuretaanivaahdolla.

Ikkunoiden ja ovien tiivistystyössä huolellisuus on erityisen tärkeää. Karmien tiivisteiden kunto ja toiminta tulee tarkastaa niiden asentamisen yhteydessä. Hirsitaloissa ikkunan yläpuolelle jätetään riittävä painumavara, joka täytetään mineraalivillalla. Painumavaran kohdalle seinän sisäpintaan kiinnitetään ilmansulkukalvokaista, esimerkiksi höyrynsulkumuovi. Kaista kiertää ikkunan ympäri. Käytetyn kaistan tulee olla niin joustava/löysästi asennettu, että se pysyy ehjänä rakenteen painuessa. Kaista nidotaan ja teipataan sekä seinään että ikkunan karmiin. Liitoskohta jää piiloon ikkunalistan taakse.

Ilmanpitävyyttä voidaan parantaa tiivistämällä liitoksia uudestaan painumien tapahduttua. Ikkunoiden ja ovien tiivistystyössä huolellisuus on erityisen tärkeää. Karmien tiivisteiden kunto ja toiminta tulee tarkastaa niiden asentamisen yhteydessä.

4.6.6 Puurakenteiset tuuletustilalliset yläpohjat

Puurakenteisilla tuuletustilallisilla yläpohjilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sekä ristikkorakenteisia yläpohjia että kantavan betonirakenteen päälle tehtyjä puurakenteisia vesikattorakenteita.

Levymäiset mineraalivillalämmöneristeet asennetaan kattokannattajien väliin useammassa kerroksessa ja limittäen. Lämmöneristeet tulee asentaa tiiviisti toisiaan ja kattokannattajia vasten. Eristeiden väliin ei saa jäädä rakoja. Ristikkokannattajien yhteydessä on suositeltavaa käyttää mineraalivillaa alapaarteiden välissä ja puhallusvillaa niiden yläpuolella ristikon diagonaalien välien täyttymisen varmistamiseksi. Puhallusvillan ilmanläpäisevyyden tulisi olla riittävän alhainen, jotta eristekerroksessa ei pääse syntymään merkittävää sisäistä konvektiota.

Paksuudeltaan 0,2 mm höyrynsulkumuovi on ollut käytetyin ilman- ja höyrynsulku kaikissa puurakenteisissa yläpohjissa. Kalvomainen höyrynsulku tulee asentaa siten, että sähköasennuksista ei aiheudu höyrynsulkuun reikiä. Tästä syystä höyrynsulku on suositeltavaa asentaa enintään 50 mm etäisyydelle sisäpinnasta levyn taakse. Höyrynsulkukalvon jatkokset sekä liitokset muihin rakennusosiin sekä aukkojen ja läpivientien ilmatiiviisiin kerroksiin tulee toteuttaa vähintään 150 mm limityksin ja puristavalla liitoksella.

Yläpohjissa voidaan käyttää myös jäykkiä levymäisiä solumuovipohjaisia lämmöneristeitä. Ne voidaan asentaa kattokannattajien väliin polyuretaanivaahdolla. Niiden lisäksi ei tarvita erillistä höyryn- tai ilmansulkua.

Yläpohjan läpivientien tiivistämiseen on kiinnittävä erityistä huomiota. Kalvomaiseen höyrynsulkuun tehtäviä reikiä tulee välttää. Läpiviennit on suositeltavaa toteuttaa aina joustavilla muovisilla tai kumisilla läpivientikauluksilla tai solumuovieristeestä tehtävän kauluksen avulla, jolloin läpivientien tiivistäminen onnistuu polyuretaanivaahdolla.

4.6.7 Tuulettumattomat yläpohjat

Vesikate kiinnitetään mekaanisin kiinnikkein lämmöneristekerroksen läpi kantavaan rakenteeseen. Betonirakenteisessa yläpohjassa kiinnikkeiden asennusreikien poraaminen onnistuu melko helposti, koska lämmöneristeiden alla on kauttaaltaan kova kiinnitysalusta. Kiinnikkeiden poraamista TT-laattojen saumakohtiin tulee kuitenkin välttää. Kantavassa peltiohutlevyissä kiinnikkeiden osuminen lämmöneristekerroksen läpi teräsprofiilin ylälaippaan on huomattavasti haastavampaa, sillä peltiohutlevyissä lämmöneristeiden alla on noin 70 % tyhjää tilaa. Ylälaipasta ohimenneet kiinnikkeet aiheuttaisivat höyrynsulkuun reikiä. Peltiohutlevyn yläpintaan on suositeltavaa asentaa noin 15 mm paksuinen vaneri tai vastaava jäykkä levy, joka toimii paitsi yhtenäisenä vesikatteen kiinnikkeiden kiinnitysalustana, myös tukee höyrynsulkua ja estää jalan painumisen alimman lämmöneristeen läpi astuttaessa ohutlevyn kolon kohdalle. Höyrynsulkumuovin jatkokset ja läpivientien tiivistykset on mahdollista saada tiiviiksi vain puristusliitoksin.

Solumuovieristetyillä bitumikermikatteilla tarvitaan solumuovin ja bitumikermin väliin paloa eristävä mineraalivillakerros sekä lisäksi palokatkoja. Palokatkojen kohdilla lämmöneristeissä esiintyy kuormituksen alla nykyistä suurempia painumaeroja paksumpien lämmöneristekerrosten vuoksi. Näistä painumaeroista ei saa syntyä katolle lammikoitumista.

Kattorakenteen paksuuntuessa lämmöneriste tulee asentaa tiiviisti kiinni ympäröiviin rakenteisiin ja höyrynsulun sekä vesikatteen tulee olla jatkuvia.

Luonmos

5. Kivitalojen energiatehokkaat detaljit

5.1 Tuulettuvat alapohjat

Kivirakenteinen tuulettuva alapohja tehdään yleensä ontelolaatoista, joiden alapuolelle on kiinnitetty valmiiksi lämmöneristyslevy. Alapohjien elementtisaumat vaativat erillisen ilmansulkukerroksen, koska saumavaluihin tulee kuivumiskutistuman vuoksi halkeamia vielä rakennusten käyttöönoton jälkeen joista ilma pääsee virtaamaan. Lämmöneristekerroksen yhtenäisyyden varmistamiseksi elementtien alapuolisen eristekerroksen saumat tulisi vaahdottaa polyuretaanivaahdolla tiiviiksi. Mikäli ontelolaataston päälle tulee yhtenäinen pintabetonilaatta, voidaan sitä pitää rakenteen riittävän ilmanpitävyyden varmistavana kerroksena, eikä erillisiä ilmansulkukaistoja saumoissa tarvita. Läpiviennit voidaan tiivistää samoin kuin maanvastaisilla alapohjilla.

5.2 Harkkoseinät ja puhtaaksimuuratut tiiliseinät

Muuratuilla, ilmaa läpäisevillä harkkoseinillä rakenteen ilmanpitävyys perustuu pintakäsittelyihin. Harkot itsessään tai niiden väliset saumat eivät välttämättä ole riittävän ilmanpitäviä. Myös halkeamat aiheuttavat ilmapuotoja rakenteeseen. Tällaisen ulkoseinän molemmat pinnat tulee käsitellä rappaamalla tai tasoittamalla. Myös puhtaaksimuuratujen tiiliseinien ilmanpitävyys voidaan tarvittaessa varmistaa pintakäsittelyllä. Ellei puhtaaksimuuratua tiiliseinää pinnoiteta, tulee muuraustyö tehdä erittäin huolellisesti.

Pinnoitekerros tulee levittää kauttaaltaan ulkoseinien sisäpinnoille ja sen tulee liittyä toimivasti muiden rakennusosien sekä ikkunoiden ja ovien ilmanpitäviin kerroksiin. Pinnoitteen tulee ulottua seinän ylä- ja alareunaan saakka, myös kiintokalusteiden ja alaslaskettujen kattojen taakse.

Pintakäsittelyvaatimukset koskevat myös harkoista rakennettujen kellareiden seinä, ainakin sisäpinnan osalta. Sokkeliharkoissa pinnoite estää radonin tunkeutumisen sisäilmaan maaperästä harkkoja pitkin. Aihetta on käsitelty myös luvussa 5 alapohja-ulkoseinä liitosratkaisujen yhteydessä.

5.2.1 Betonielementtiseinät

Betonielementti on yksittäisenä rakenneosana ilmanpitävä, kunhan suurten halkeamien syntyminen on estetty riittävän tiheällä raudoituksella. Rakenteeseen käytön aikana syntyneet halkeamat voidaan ilmanpitävyyden parantamiseksi tiivistää esimerkiksi pintakäsittelyllä.

Koko seinärakenteen ilmanpitävyys riippuu suurelta osin elementtien välisistä liitoksista sekä ikkuna- ja oviaukkojen tiivistyksestä. Seinäelementtien väliset saumat tehdään juotosvaluilla tai joustavien elastisten saumojen avulla, esimerkiksi kittaamalla. Juotosvalujen ilmanpitävyyden varmistamisessa olennaisin osuus on työn suorituksella. Huolellisuutta tarvitaan etenkin seinäelementtien alasaumojen täytöissä.

Sandwich-elementtien valmistamisessa ja asentamisessa nurkkaelementit ovat haasteellisia. Vierekkäisten elementtien ulkokuorten reunat on tehty jo pitkään ulokkeina. Ulokkeiden pituuden kasvaessa lämmöneristeiden asentaminen elementtien väliseen pystysaumaan työmaalla tapahtuvan elementtiasennuksen yhteydessä hankaloituu entisestään mineraalivillakaistojen leventyessä. Solumuovipohjaisten elementtien asennuksen yhteydessä pystysauman vaahdottaminen on haasteellinen tehtävä. Saumavaahtoa ei ole mahdollista asentaa ennakkoon pystyssä olevaan elementtiin kuten mineraalivillakaistaa, sillä vaahto painuu kasaan viereistä elementtiä paikoilleen asennettaessa. Sauman vaahdotus tulee tehdä ulkopuolelta ulkokuoren saumojen kautta, mikä edellyttää yleensä henkilönostimien käyttöä. Toisena ja yleisempänä vaihtoehtona on käyttää näissä nurkkaliitoksissa aina mineraalivillakaistaa, joka puristuu elementtien väliin.

5.3 Betonilaatan päällinen vesikatto

Kantavan betonilaatan päältä tuettujen yläpohjien läpivientien ja liitosten huolellinen tiivistäminen on erityisen tärkeää, jotta sisäilman kosteus ei kulkeudu yläpohjaonteloon ja toisaalta korvausilmaa ei imetä yläpohjan kautta sisäilmaan. Betonilaatan ilmatiiviys varmistetaan asentamalla bitumikermi kauttaaltaan betonilaatan päälle. Kermi suojaa samalla betonirakennetta rakennusaikaiselta sadevesirasitukselta ennen kattorakenteen asennusta. Hyvän ilmatiiviuden saavuttamiseksi bitumikermin liimaukseen puhtaille ja kuiville betonipinnoille on kiinnitettävä erityistä huomiota. Yläpohjaan ontelolaataston päälle levitettävä 0,2 mm höyrynsulkumuovi ei ole yhtenäinen eikä ole siksi riittävä ilmansulku. Myös kattoristikolla toteutetun tuuletetun yläpohjan ilman- ja höyrytiiviyeen on kiinnitettävä

erityistä huomiota edellä mainituista syistä. Erilaisia ilman/höyrynsulkukalvojen ja -
levyjen tiivistystapoja on esitetty mm. lähteessä Aho & Korpi toim. (2009).

Luonmos

6. Lämpivientien tiivistäminen

Ulkoseinärakenteen läpivientien tiivistämiseen on kiinnittävä erityistä huomiota. Kalvo-
maiseen höyrynsulkuun tehtäviä reikiä tulee välttää. Lämpiviennit on suositeltavaa toteuttaa
valmiilla läpivientikauluksilla tai solumuovieristeestä tehtävän kauluksen avulla, jolloin
läpivientien tiivistäminen onnistuu polyuretaanivaahdolla. Solumuovieristettyihin ulkosei-
niin ei erityistä läpivientikaulusta tarvita, huolellinen polyuretaanivaahdotus riittää.

Työn huolellisuudella on suuri vaikutus läpiviennin ilmanpitävyyteen valitusta tiivistysme-
netelmästä riippumatta. Heikosti tiivistetyt läpiviennit aiheuttavat huomattavia paikallisia
ilmavuotoja, joiden mukana rakenteisiin voi siirtyä merkittäviä määriä kosteutta tai sisäil-
maan voi siirtyä mikrobeja tai niistä syntyviä toksiineja eli aineenvaihdunnan synnyttämiä
myrkyllisiä yhdisteitä.

Mikäli putkilämpivientien tiivistykseen käytetään teippejä, tulee varmistua käytettyjen tuot-
teiden riittävästä tartunnasta ja pitkäaikaiskestävyydestä. Teippaus pyritään tekemään ti-
ivistä pintaa vasten. Yksittäisten putkien läpivienneissä tiivistys voidaan tehdä läpivienti-
kauluksilla. Putkilämpiviennit voidaan tiivistää myös vaahdottamalla tai elastisella kitillä,
mikäli ympäröivä pinta on riittävän jäykkä.

Puurankarakenteissa, joiden ilmansulkuna on kalvo, usean putken läpivientien tiivistämi-
seen voidaan käyttää solumuovieristyslevyistä tehtyjä kauluksia. Lämpivientikohtaan vaah-
dotetaan puurakenteiden väliin jäykkä solumuovieristyslevy, johon läpivientiputket voi-
daan sen jälkeen tiivistää vaahdottamalla. Ilmansulkukalvon tiivistys kaulukseen voidaan
tehdä esimerkiksi teippaamalla tai jättämällä kalvo kahden solumuovieristyslevyn väliin.

Lämpiviennit kivi- ja hirsirungon tai levymäisen ilmansulun läpi voidaan tiivistää vaahdot-
tamalla tai elastisella saumauksella. Kivirakenteissa läpiviennit voidaan putken ulkopuolel-
ta tiivistää myös valamalla, esimerkiksi teräsbetonilaatoissa. Jos läpiviennin juuren tiiviys
halutaan erityisesti varmistaa, voidaan tiivistys vielä viimeistellä elastisella saumauksella
tai vaahdottamalla. Varsinkin alapohjarakenteissa tiivistäminen on aiheellista.