

# Sisällys

## 1 Perusteita

|                          |    |
|--------------------------|----|
| Työmaan olosuhteet       | 6  |
| Kastepiste               | 7  |
| Rakennuskosteus          | 10 |
| Konvektio ja diffuusio   | 10 |
| Kapillaarisuus           | 12 |
| Betonin lujuuden kehitys | 12 |

## 2 Rakennustyömaan sääsuojaus

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Miksi sääsuojasta tarvitaan?         | 16 |
| Suojaustavat                         | 18 |
| Ulkovaipan aukkojen suojaus          | 21 |
| Betonilaattojen suojaus              | 23 |
| Materiaalien suojaus                 | 25 |
| Tiiviit välipohjaholvit              | 26 |
| Sadeveden, lumen ja jään poistaminen | 28 |

## 3 Rakennustyömaan lämmittäminen

|                    |    |
|--------------------|----|
| Sähkölämmitys      | 30 |
| Nestekaasulämmitys | 34 |
| Polttoöljylämmitys | 42 |

## 4 Rakenteiden kuivattaminen

|  |    |
|--|----|
| Kosteusrasitukset                          | 55 |
| Betonin ja betonirakenteiden kuivattaminen | 59 |
| Kosteusmittaus                             | 70 |

## 5 Rakenteiden ilmatiiviys ja energiatehokkuus

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| Rakennusten energiatehokkuus      | 73 |
| Tiiviin rakennuksen toteuttaminen | 79 |
| Rakenteiden lämmöneristys         | 89 |
| Talotekniikka                     | 94 |

## 6 Rakenteet ja liitokset

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Puutalon rakenteet ja liitokset  | 96  |
| Kivitalon rakenteet ja liitokset | 109 |
| Läpivientien tiivistäminen       | 110 |

## 7 Energiatehokas ja kestävä rakentaminen

|   |     |
|---|-----|
| Määräykset kiristyvät jatkuvasti                  | 114 |
| Mestarista kisälliksi – oppia ikä kaikki          | 115 |
| Energiatehokkaan ja kestävä rakennuksen elinkaari | 117 |
| Hakemisto   | 121 |
| Lähteet   | 127 |
| Kiitokset   | 127 |

# 1

## Perusteita

Olemme siirtymässä lähes nollaenergiarakentamiseen 2020-luvun taitteessa. Se vaatii rakentajilta entistä enemmän rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen käyttäytymisen ymmärtämistä. Pitää myös käsitellä, mitä tiiviydellä tarkoitetaan.

Lämmöneristeiden paksuuntuminen jähdyttää rakenteiden ulkosia. Se yhdistettynä ilmaston lämpenemiseen ja ulkoilman kosteuden lisääntymiseen luo rakenteille uudenlaisia kosteusrasituksia ja mikrobeille entistä suotuisammat kasvuolosuhteet. Jotta energiansäästöä voidaan onnistua ja samalla riskit kiertää, tulevaisuuden rakentajat tarvitsevat vankkaa osaamista.

Kirjan ensimmäisessä luvussa esitetään rakentamisen keskeisimpiä perusteita energiatehokkaan ja kosteusturvallisen rakentamisen ymmärtämiseksi.

### Työmaan olosuhteet

Suomessa sää vaihtelee paljon vuodenaikojen mukaan. Kesän ja talven lämpötilaero voi olla yli 50 astetta. Ilmankosteus on talvella ja keväällä alhainen, kesällä ja syksyllä korkea.

Rakentamisen olosuhteille oleellista on ilmaan sitoutuneen veden määrä eli absoluuttinen kosteus. Kylmänä vuodenaikana ilmaan sitoutuu kosteutta vain vähän, vaikka suhteellinen kosteus onkin suuri. Siksi talvella ei ole kuivattamisen kanssa yleensä ongelmia. Sen sijaan lämpimänä vuodenaikana kuivattaminen on haasteellista. Syksyllä ulkoilmaan sitoutuneen kosteuden määrä on lähellä sisäilman kosteuspitoisuutta. Silloin ulkoa otettavan ilman kuivatuskapasiteetti on pieni eikä tuulettaminen ole tehokasta.



Rakennuksen yläpohjaan on syntynyt kastepiste. Yläpohjan lämmöneristeitä ei ole vielä asennettu, joten yläpohjarakenne on kylmä. Koska ilman kosteus on työmaalla suuri, vesihöyry tiivistyy yläpohjalaatan kylmään alapintaan.



Ikkunan ulkopintaan on tiivistynyt vesihöyryä, joka on sen jälkeen jäänyt. Ilmiö johtuu uusien ikkunoiden hyvästä lämmöneristäväydestä ja siitä, että ikkuna säteilee lämpöä ulospäin.

Rakenteiden kuivattamiseen vaikuttavat eniten lämpötila ja ilman kosteus. Lämpötilan noustessa voi ilmaan sitoutua enemmän kosteutta. Tuuletuksella kuivatettaessa kosteuspitoisuuden tulee olla sisäilmassa pienempi kuin ulkoilmassa. Kun ulkoilma on hyvin kosteaa, esimerkiksi syyskesällä, kuivattaminen on vaikeaa. Silloinkin sisäilman kosteutta voidaan poistaa ja siirtää rakennuksen ulkopuolelle koneellisilla menetelmillä.

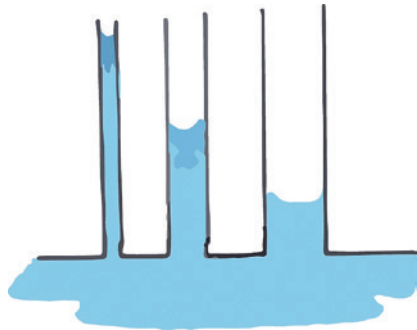
Eri puolilla Suomea sijaitsevat työmaat joutuvat varautumaan säähän eri tavoilla. Sääsuojauksella tarkoitetaan suojautumista vesi- ja lumisateilta, liialta auringonvalolta, tuulelta ja kylmyydeltä.

## Kapillaarisuus

Kapillaarisuus tarkoittaa ilmiötä, jossa neste etenee painovoimaa vastaan huokoisessa materiaalissa tai ohuessa putkessa.

Ilmiön näkee esimerkiksi, jos laittaa huokoista materiaalia kuten pakkauspahvia veteen. Neste nousee, koska molekyylien välinen vetovoima on voimakkaampi nesteen ja kiinteän aineen välillä kuin pelkän nesteen sisällä.

Kapillaari-ilmiön voi havaita myös vesilasista. Kapillaarisuus aiheuttaa nestepinnan kaareutumisen ylöspäin vajaan vesilasin reunojen lähellä. Vesilasin voi täyttää jopa yli reunojen, koska lasin reuna vetää vettä puoleensa.



Kapillaarisuus eli pintajännityksestä johtuva nesteen siirtyminen aineen huokosiin. Kapillaarinen nousukorkeus on sitä suurempi, mitä kapeampi reitti nesteellä on kuljettavana. Esimerkiksi savessa reitit ovat kapeita ja nousukorkeus on suuri. Sorassa nousukorkeus on pieni.

## Betonin lujuuden kehitys

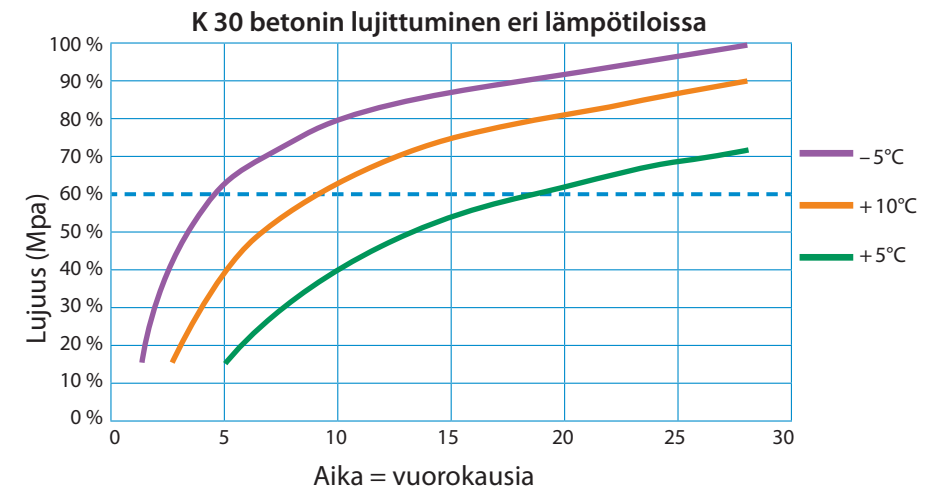
Betonin lujuuden kehitykseen vaikuttavat ympäröivien rakenteiden ja ilman lämpötila, tuulen voimakkuus, suojauksen huolellisuus sekä se, kuinka nopeasti valu saadaan suojatuksi. Valun alkutunteina betonin hydrataatio ei ole vielä alkanut eikä valu itessään vielä kykene tuottamaan lämpöä. Siksi valun nopea suojaaminen on tärkeää.

**Hydrataatio** on kemiallinen reaktio, jossa molekyyliin yhdistyy vettä.

Esimerkiksi betonin lujittumisessa sementti kovettuu reagoidessaan veden kanssa. Reaktiossa vapautuu lämpöä.

Kun pyritään nopeaan rakentamiseen aikatauluun ja betonin lujuuden kehittymiseen, riittävä lämpö varmistetaan lisälämmityksellä. Myöhemmässä vaiheessa betonin hydrataatio lämmittää betonivalua. Betonin lujuuden kehitys hidastuu huomattavasti, kun betonin lämpötila laskee alle kymmenen lämpöasteen.

Betonointi kylmissä olosuhteissa vaatii huolellista valmistautumista. Valmistautuminen tarkoittaa riittäväillä lämmittimillä ja oikeanlaisella betonilla varautumista sekä kunnollisen suojauksen suunnittelemista. Pintabetonivaluissa täytyy varmistaa myös alustan riittävä lämpötila ja sopiva kosteus.



Betonirakenteen lämpötila vaikuttaa betonin lujuuden kehittymiseen. Kuvassa on esitetty yleisesti käytetyn K30-lujuusluokan betonin lujittuminen eri lämpötiloissa. Jäätymislujuus on 5 Mpa eli 16 prosenttia nimellislujuudesta. Se saavutetaan 20 asteen lämpötilassa alle kahdessa vuorokaudessa, kymmenen asteen lämpötilassa noin 2,5 vuorokaudessa ja 5 asteen lämpötilassa viidessä vuorokaudessa. Muottien tai elementtitukien purkulujuus (60 % nimellislujuudesta) saavutetaan vastaavissa lämpötiloissa noin 5, 9 ja 18 vuorokaudessa. Viiden asteen lämpötila ei edellytä ns. talvibetonoinnin työtapoja, mutta kireiden aikataulujen vuoksi lisälämmitystä kuitenkin käytännössä tarvitaan.



## Suojaustavat

Sääsuojaus valitaan sen mukaan, miltä halutaan suojautua. Yleisimmin suojaudutaan kylmältä tai sateelta. Molemmilta suojauduttaessa tulee huomiota kiinnittää suojauksen tiivyyteen ja paikallaan pysyvyyteen. Mikäli esimerkiksi peitteiltä halutaan hyvää eristävyyttä, tulee peitteitä laittaa kahteen kerrokseen ja jättää ilmatila kerrosten väliin.

Valmiiden rakenteiden kanssa voidaan käyttää väliaikaisia, osastovia rakenteita. Sellaisia voivat olla porraskokkien suojat tai eristelevystä tehdyt seinät.

Paras sääsuojaus saadaan, kun käytetään useaa sääsuojaustapaa yhdessä.

### Sääsuojahallit

Sääsuojahalleja käytetään pääasiassa korjausrakentamisessa sekä perustusvaiheessa olevissa kohteissa. Sääsuojahallit suojaavat sateelta, auringolta, tuulelta ja lämmitettynä kylmyydeltä. Sääsuojan lämmittäminen ei kuitenkaan ole energiataloudellista.

Sääsuojahallin etuina ovat kuivatustarpeen väheneminen ja työn tehokkuuden lisääntyminen. Sääsuojahalleja voidaan käyttää myös materiaalivarastoina. Siten esimerkiksi 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 kattora-



Vesikattokorjauksia tehdään nykyään pääasiassa vain sääsuojien alla.



Uudisrakentamista sääsuojassa Tampereella. Sääsuojan sisällä on tarkkailtava ilman kosteutta. Hyvä ilman suhteellinen kosteus on noin 50 %. Tuuletusta on lisättävä, jos ilman suhteellinen kosteus nousee yli 60 %:n.

kenteet. Tällöin materiaali voidaan purkaa ja siirtää normaalisti ja työmaa pysyy kuitenkin säältä suojassa. Sääsuojahalli on mahdollista rakentaa myös kiskojen tai pyörien päällä liikkuvaksi, mikä mahdollistaa tehokkaan työmaalogistiikan. Yleensä sääsuojahallit vuokrataan ja hallin toimittaja hoitaa niiden pystytyksen ja purkamisen.

Sääsuojahalleista aiheutuu lisäkustannuksia, esimerkiksi rivitalon myyntihintaan 2–3 prosenttia. Hyötyinä ovat kuitenkin säästä aiheutuvien häiriöiden ja odotusaikojen väheneminen sekä hyvän laadun aikaansaaminen. Lisäksi työturvallisuus paranee, kun esimerkiksi liukastumisista johtuvien tapaturmien riski vähenee.

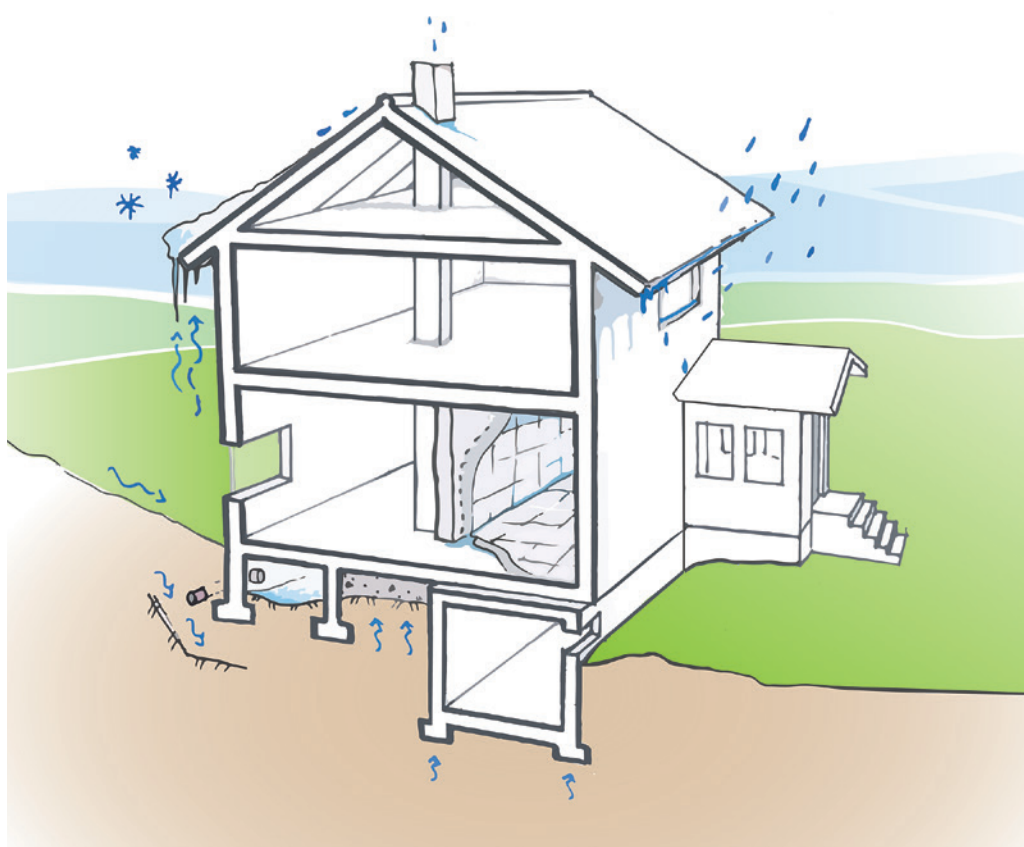
Kerrostalotyömailla sääsuojauksen suunnittelu on haastavaa, koska säältä suojaamisen lisäksi tulee huomioida töiden eteneminen, seuraavan kerroksen rakentuminen, putoamissuojaus, sääsuojauksen paikallaan pysyminen sekä kustannuksien suuruus. Ylimmän holvin sääsuojauksen toteuttaminen on hankalaa, sillä sääsuojien käytön vaatima työ määrä on varsin suuri. Sääsuojahallien käyttäminen kerrostalotyömailla onkin vähäistä juuri nopean rakentamistahdin ja sääsuojan kustannusten vuoksi. Hyvä suunnittelu kuitenkin pienentää selvästi sääsuojauksesta aiheutuvia kustannuksia, koska sen avulla voidaan valita oikeat hallimoduulit ja kuljetusreitit.

## 4

# Rakenteiden kuivattaminen

Rakennuskosteus on yleinen haaste rakennustyömailla. Sen poistamisesta on huolehdittava tuuletuksella tai koneellisella kuivatuksella.

Betonin kuivumisaika on hyvin pitkä: se luovuttaa pitkään kosteutta rakennuksen sisäilmaan. Jos kosteudelle herkät rakennusmateriaalit ovat kosteana liian kauan, saattaa syntyä jopa mikrobivaurioita.



Kosteus rasittaa rakennusta veden valumisen, kapillaarisuuden, konvektion ja diffuusion kautta. Myös tuulen paine kuljettaa sadevettä rakenteisiin esimerkiksi seinän pintaa ylöspäin. Rakennuksen sisällä voi olla varsinkin yläosissa ylipainetta, joka puskee kosteutta rakenteeseen mahdollisten ilman- ja höyrynsulkujen vaurioiden läpi.

Rakennuskosteuden poistamiseksi on tärkeää pitää rakennustyömaa niin lämpimänä ja ilmankosteus niin alhaisena, että ne edistävät kuivumista. Rakenteiden vesi- ja höyryntiiviys sekä tuuletus on saatava kuntoon, jotta rakenteet pääsevät kuivumaan mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti.

Erityisesti maakosteuden kapillaarinen nousu rakenteisiin on estettävä. Maanvaraisen betonilaatan alla käytetään salaojasorasta tehtyä, riittävän paksua ”kapillaarikatkoa”. Sokkelin ja puuseinän väliin asennetaan bitumihuopakaistat katkaisemaan perustuksista kapillaarisesti nousevaa kosteutta sekä estämään maaperän mikrobien pääsy sisäilmaan.

## Kosteusrasitukset

Rakennusaikana työmaa altistuu useille kosteusrasituksille. Merkittävimpiä kosteuden lähteitä ovat sade, valuma- ja sulamisvedet, betonin rakennuskosteus sekä maa- ja ilmankosteus.

Sadevesien ja lumen pääsy rakennuksen sisälle täytyy estää joko rakenteellisilla keinoilla tai väliaikaisilla sääsuojilla. Valumavedet tulee poistaa pumpuilla, salaojilla ja riittävillä maanpinnan

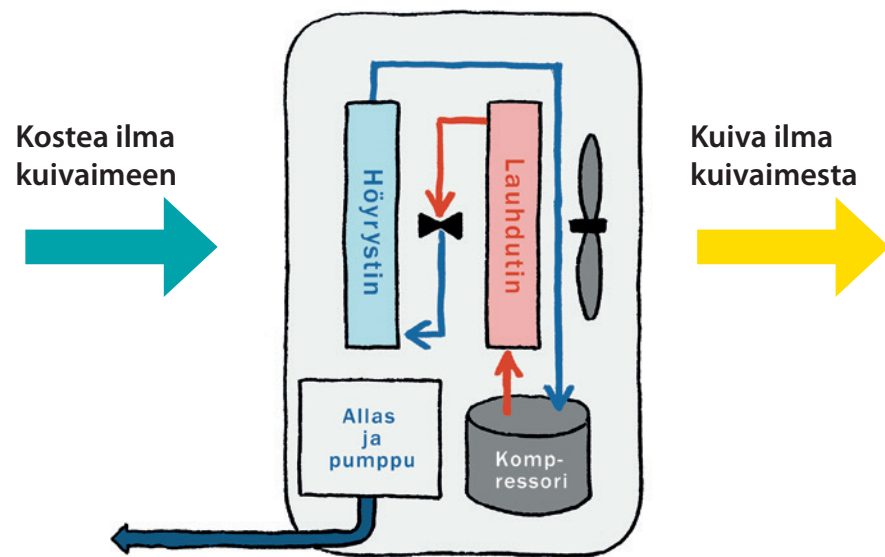
| Materiaali   | Vesipitoisuus l/m <sup>3</sup>     |                                 |   | Kuivatettava vesimäärä l/m <sup>3</sup> |
|--------------|------------------------------------|---------------------------------|---|---|
|              | Rakennusvaiheessa valmistuskosteus | Kemiallisesti sitoutuva kosteus | Tasapainokosteus ilman kanssa, jonka RH 50% |   |
| Betoni K15   | 180                                | 40                              | 25  | 115                                     |
| Betoni K25   | 180                                | 60                              | 30  | 90                                      |
| Betoni K40   | 180                                | 70                              | 40  | 70                                      |
| Tiilirakenne | 80                                 | -                               | 10  | 70                                      |
| Puu          | 60                                 | -                               | 40  | 20                                      |

Betonin valmistuksessa tarvittava vesimäärä ja sen kuivattamisessa vapautuvan kosteuden määrä. Taulukosta käy ilmi, paljonko vettä on poistettava eri betoni-laaduista, jotta niiden kosteus olisi tasapainossa sisäilman kanssa. Mitä lujempaa betonia käytetään, sitä vähemmän rakenteista joudutaan poistamaan vettä. Taulukossa vertailun vuoksi myös puu- ja tiilirakenteet.

Ilmankuivainten teho ja ominaisuudet vaihtelevat suuresti. Laitteiden vertailu on vaikeaa, sillä osa niiden valmistajista ilmoittaa kuivauskapasiteetin kosteudenerotuskyvyn maksimin mukaan, kun yleinen tapa on ilmoittaa kuivauskapasiteetti 20 asteen lämpötilassa ja 60 %:in ilman suhteellisessa kosteudessa.

Kuivain mitoitetaan siten, että kuivaimen tunnissa käsittelemä ilmamäärä on 1–2 kertaa rakennusosan tilavuus. Kuivumista voidaan vielä tehostaa ja erillisillä ilmanpuhaltimilla, jotka aiheuttavat kuivumista edistävää ilmavirtausta pintoihin.

Kuivaimet luokitellaan pääsääntöisesti sorptiokuivaimiin ja kondenssikuivaimiin. Kondenssikuivaimen taloudellinen käyttö edellyttää yli 15 asteen lämpötilan, kun taas sorptiokuivain soveltuu myös viileisiin kohteisiin. Nykyään kondenssikuivaimia käytetään rakennustyömailla huomattavasti yleisemmin kuin sorptiokuivaimia. Kondenssikuivainten etuna on niiden käyttövarmuus ja yksinkertainen käyttö.

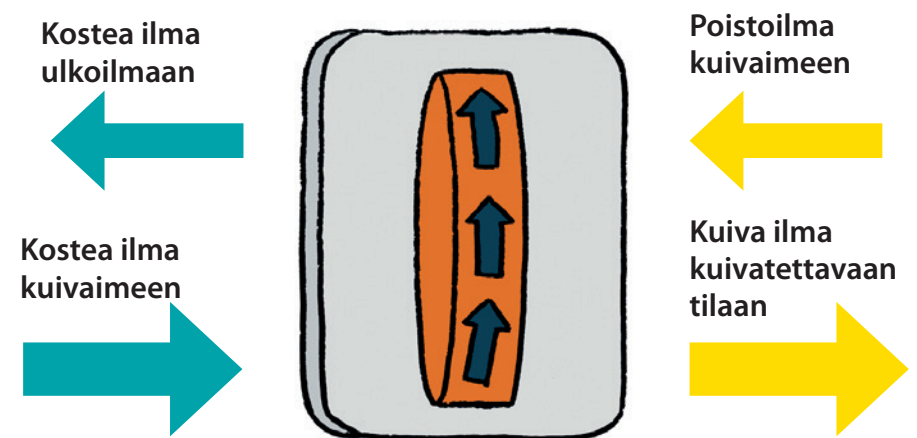


Kondenssikuivaimen toimintaperiaate. Ilmankosteus tiivistyy höyrystimen viileään pintaan. Lauhdutin lämmittää kierrätettävää ilmaa.

**Kondenssikuivaimissa** höyrystimen pintalämpötila jäädytetään kastepisteen alapuolelle, jolloin kosteus tiivistyy sen pinnalle. Tiivistynyt vesi ohjataan joko laitteessa olevaan astiaan tai suoraan lattiakaivoon. Kondenssikuivain on energiatehokas, sillä koneen käyttöön kuluva energia muuttuu lämpöenergiaksi ja tiivistyvä vesi luovuttaa lämpöä paluuilmaan. Kuivatettavasta tilasta johdetaan pois ainoastaan viileää vettä.

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

**Sorptiokuivaimet** ovat tilakuivaimia, joiden puhallusteho on 50–5000 m<sup>3</sup>/h. Niitä käytetään kosteusvaurioiden ja onteloiden kuivatuksessa sekä huoneilman kosteuden alentamisessa. Ne toimivat sekä kylmässä että lämpimässä ja ovat kokoonsa nähden tehokkaita. Heikkoutena on kuitenkin kostean ilman ulospuhalluksen järjestäminen ja kostean ilman mukana poistuvan lämpimän ilman energiahäviö.



Sorptiokuivaimen toimintaperiaate. Kuivatettava ilma puhalletaan pyörivään sorptiokiekkoon, johon kosteus tarttuu. Kiekosta kosteus puhalletaan ulkoilmaan.