

TOIMIVUUS - TURVALLISUUS - TEHOKKUUS



Dynaaminen Rakenne

Opas suunnittelun ja
valintojen tueksi

Lukijalle

Rakentamista ohjaava tarvehierarkia sisältää jatkuvasti suuremman joukon ratkaistavia ongelmia. Tilaratkaisu, budjetti, energiaratkaisut, kaavamääräykset, rakennuspaikka ja monet muut konkreettiset syyt rakentamista ohjaavina tekijöinä ovat saaneet rinnalleen uusia vaikuttimia. Energiatehokkuus on noussut keskiöön suunnittelussa. Energiatehokkuus on kiistatta tärkeää, mutta kuitenkin vain yksi instrumentti tavoiteltaessa ilmastokestävää rakentamista.

Rakennusten terveyteen ja sisäilman laatuun liittyviä ongelmia ei voi sivuuttaa rakentamista koskevaa opasta kirjoitettaessa. Vanhan rakennuskantamme arvostus lienee korkeimmalla tasolla kautta aikain. Yhtenä syynä on parhaimmillaan useiden vuosisatojen turvallinen ja terveellinen elinkaari. Olivatko asiat ennen paremmin? Vai onko ilmiö nostalgiaan perustuvaa harhaa?

Halusimme koota helposti sulatettavan oppaan Dynaamisen rakenteen suunnittelua ja valintoja tukeaksemme. Tutustutamme lukijan tieteeseen nostalgian takana.

Haluamme esittää erityiskiitokset arvokkaasta avusta Dosentti, FT Hannu Viitaselle, VTT:n rakennusfysiikan erikoistutkija Tuomo Ojaselle, tutkija, arkkitehti Matti Kuittiselle sekä VTT:n erikoistutkija Sirje Varekselle.

Dynaamiset Rakenteet ry

SISÄLLYS

Toimivuus - Turvallisuus - Tehokkuus	1
Lukijalle	2
Sanastoa	4
Dynaaminen Rakenne	5
Hygroskooppisuus	8
hygroskooppisuus suunnittelussa	10
Toimivuus	12
turvallisuus	15
Tehokkuus	19



SANASTOA

Diffuusio = molekyylien sattumanvarainen liike, rakennusfysiikassa usein vesihöyryn liike korkeamman osapaineen alueelta matalampaan osapaineeseen. Materiaaleissa kosteuden kulkeutuminen on selvästi hitaampaa kuin konvektiossa tai kapillaarisessa siirtymisessä.

Konvektio (kuljettuminen) = lämmönsiirtoa kaasussa tai nesteessä lämpötilaerojen aiheuttamien virtausten mukana. Pakotetussa konvektiossa ilman liike aiheutuu esim. tuulesta tms. ulkoisesta voimasta. Rakenteen läpi tapahtuvaa ilmavuotoa kutsutaan usein konvektioksi.

Johtuminen (konduktio) = lämmön siirtymistä aineen sisällä, tai kosketuksissa olevien aineiden välillä.

Lambda (λ) = Lämmönjohtavuus kertoo lämpövirran tiheyden läpi metrin kerroksesta materiaalia yhden lämpötila-asteen erolla (W/mK).

Hygroskooppisuus = kykyä sitoa ilman vesihöyryä materiaalin kiintotilavuusosaan

Hydrofobisuus = vedenhylkivyyt, hydrofobinen materiaali ei ime tai sido itseensä vettä.

S_d = vesihöyryn läpäisyvastus verrattuna metreihin ilmaa.

RH = suhteellinen ilmankosteus, ilmoittaa ilman sisältämän vesihöyryn määrän suhteessa samassa lämpötilassa olevan ilman kykyyn sisältää vesihöyryä.

U-arvo = rakenteen läpi johtuvan lämpövirran tiheys, W/m²K.

Latentti energia = aineen olomuodon muutoksen sitomaa, tai vapauttamaa lämpöenergiaa.

Rakenteellinen energiatehokkuus = Rakennuksen lämmitystarpeeseen vaikuttavien tekijöiden summa, esimerkiksi tiiveys ja lämmöneristävyys. Ei riipu lämmitysmuodosta, eikä energiantuotosta.

Eloperäinen hiili = ilmakehästä kasvin rakenteeseen sitoutunut hiili.

DYNAAMINEN RAKENNE

Dynaaminen eli *hengittävä rakenne* on diffuusioavoin, pääosiltaan hygroskooppisista materiaaleista koostuva rakenne, joka kykenee helposti sitomaan kosteutta ilmasta ja vastaavasti luovuttamaan sitä takaisin ympäröivään ilmaan. Dynaamisen rakenteen perusluonteeseen kuuluu luonnonkuituihin pohjautuvien materiaalien käyttö. Tällaisella rakenteella on suuri kosteuskapasiteetti. Kosteuskapasiteetti antaa rakenteelle kosteusteknistä toimintavarmuutta ja mahdollisuuden rakenteiden ja sisäilmaston interaktioille.

Dynaamisen rakenteen kosteustekninen käyttäytyminen poikkeaa voimakkaasti *staattisesta rakenteesta*, jonka kosteustekninen toimivuus perustuu höyrynsululla toteutettavaan sisäilman suhteen passiiviseen tilaan.

Miksi jossain rakenteissa käytetään muovia, kun toisissa taas ei?

Syy tähän löytyy materiaalien kosteudensiirtomekanismeista. Kuitueristeistä puhuttaessa on hyvä hahmottaa eristeen koostumuksesta kaksi osaa: eristeen kokonaistilavuus koostuu kiintotilavuudesta ja huokostilavuudesta. Kosteudensiirtomekanismi riippuu eristeen kiintotilavuusosan ominaisuudesta.

Epäorgaaniset eristeet, kuten mineraalivillat, ovat hydrofobisia, eli ne eivät kykene sitomaan itseensä sanottavasti kosteutta. Niinpä mineraalivilloja sisältävien rakenteiden kosteudensiirtomekanismit perustuvat pääasiassa vesihöyryn läpäisyyn.

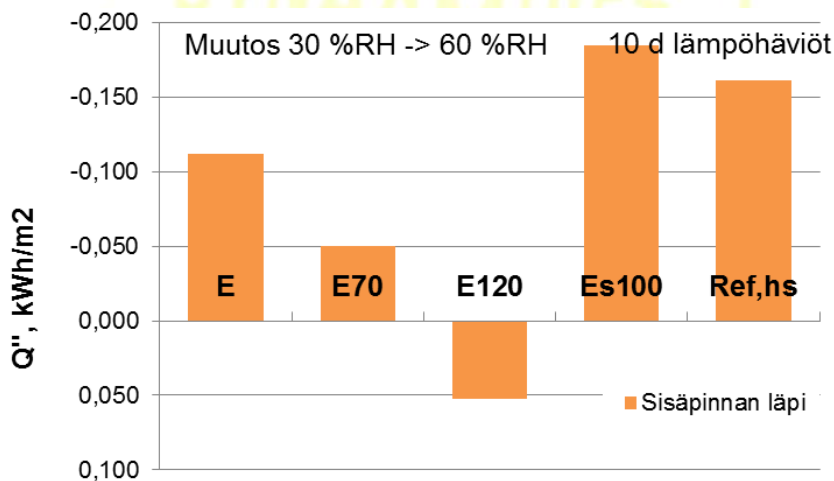
Ilman kyky sitoa vesihöyryä riippuu lämpötilasta. Lämmityskaudella ulkoilman ollessa kylmä, myös rakenteiden lämpötila laskee ulkopintaa kohti. Tämä muodostaa suuren riskin vesihöyryn tiivistymisestä rakenteen sisään etenkin ulompaan, viileämpään osaan. Tämän takia mineraalivillojen kanssa käytetään höyrynsulkua.

Hygroskooppisissa eristeissä, kuten puukuitu, pellava, olki jne. kosteus siirtyy eristeen kiintotilavuusosassa oleviin kuituihin sitoutuneena kosteutena, hygroskooppisena kosteutena.

Vesihöyryn sitoutuessa hygroskooppiseksi kosteudeksi, vapautuu latenttia energiaa. Eristeen luovuttaessa kosteutta ilmaan, tapahtuu höyrystymistä ja ilmiö puolestaan sitoo ympäristöstä energiaa. Tämä fysikaalinen ilmiö selittää, miksi monilla on kokemuksia vanhan

hirsitalon mukavan viileästä sisäilmasta kesähelteillä.
Dynaamisissa rakenteissa diffuusio ei ole uhka,
hygroskooppinen kosteus ei voi tiivistyä nesteeksi!

Diagrammista voidaan havaita lämmityskaudella tapahtuvasta kosteuden sitoutumisesta vapautuvaa energiaa. Kymmenen vuorokauden tarkastelussa suurimman tiheyden (120kg/m^3) teoreettisen puukuitutuotteen kanssa lämpövirta pinnan läpi jää negatiiviseksi, eli lämpöä siirtyykin huonetilaan!

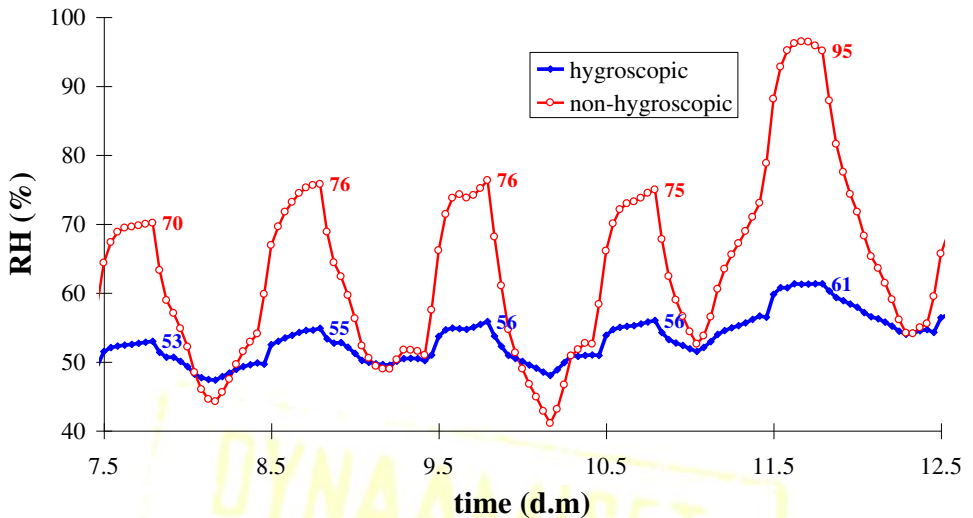


Kaavio 1 (lähde: Dynaaminen Puukuitueristerakenne, Tuomo Ojanen, VTT 2016)

HYGROSKOOPPISUUS

Luonnonkuidut, kuten puukuitu kykenevät sitomaan ja luovuttamaan kosteutta. Tätä ominaisuutta kutsutaan hygroskooppisuudeksi. Kaikilla materiaaleilla on oma kosteuskapasiteettinsa, jota kuvataan tasapainokosteuskäyrällä. Materiaaliin sitoutunut kosteus määrä riippuu ympäristön olosuhteista, mitä kosteampi ilma sitä enemmän materiaalit sitovat kosteutta.

Sisäilmaston kosteusolot vaihtelevat vuorokauden – jopa tunnin sisällä voimakkaasti. Tätä vaihtelua pystytään hallitsemaan hygroskooppisen massan avulla. Runsaan kosteudentuoton aikana, esimerkiksi perheen saunaillan aikana, hygroskooppinen massa pyrkii hakeutumaan sisäpinnasta alkaen tasapainokosteuteen sisäilman kanssa. Tämän ilmiön ansiosta sisäilmasta sitoutuu ylimääräistä kosteutta rakenteeseen. Kosteudentuoton alentuessa osa kosteudesta palautuu sisäilmaan osan jatkaessa matkaa ulkoilmaa kohti.



Kaavio 2 (lähde: Dynaaminen Puukuitueristerakenne, Tuomo Ojanen, VTT 2016)

Kaaviosta voimme havaita miten hygroσκοoppinen rakenne leikkaa kosteusvaihteluiden suuruutta tilassa, jonka ilmanvaihto on $0,5 \times 1/h$ kosteuden vastatessa kahden hengen tuottoa.

Tulevaisuudessa anturi- ja automaatioteknologian hinnan lasku tulee mahdollistamaan nykyistä paremman tarpeenmukaisen ilmanvaihdon. Kosteusvaihteluiden ohella dynaamiset rakenteet pystyvät tasoittamaan muitakin kaasupitoisuuksia kuten hiilidioksidipitoisuuksia. Tämä mahdollistaa suuren energiasäästön pienemmän ilmanvaihtotarpeen myötä. Hyöty on myös ilmeinen painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä.

HYGROSKOOPPISUUS SUUNNITTELUSSA

Kosteuden tasapainottamisessa aktiivisin rooli on rakenteiden sisimmillä osilla. Hygroskooppisten materiaalien hakeutuminen tasapainokosteustilaan tapahtuu pitkän ajan kuluessa. Sisäilman kosteusolojen dynaamisesta vaihtelusta johtuen varsinkaan paksut rakenteet eivät koskaan asetu yhteen tiettyyn kosteuspitoisuuteen. **Rakenteissa saattaa hyvinkin olla epälineaarisia tiloja, kosteusvirtaa voi olla saman aikaisesti sekä sisään että ulos.** Tämän takia pintajärjestelmällä on erittäin suuri vaikutus rakenteiden hyödyntämisen kannalta.

Dynaaminen rakenne suunnitellaan diffuusioavoimeksi, ei diffuusiovapaaksi. Kuten kaikki rakenteet, myös dynaamiset rakenteet tulee suunnitella siten, että kosteudensiirto tapahtuu esteettä. Hyvä kosteudensiirto toteutuu käyttämällä materiaaleja jotka siirtävät kosteutta samalla periaatteella. Hyvä, energiatehokas rakentaminen edellyttää mahdollisimman hyvää ilmatiiveyttä, jolla estetään ilman kulkeutuminen (konvektio) rakenteen läpi. Nykyisin yleisesti käytössä olevilla ilmansulkutuotteilla, erilaisilla ilmansulkupapereilla ja kankailla, huolehditaan siitä, että rakenteella on hyvä kuivumispotentiaali.

Yleinen ja hyvin olosuhteisiimme sopiva puurakenne on sisäpuolisella asennustilalla varustettu ristiin koolattu rakenne. Sisäpuolisen koolauksen takana ilmansulku on

helppointa asentaa ehjänä. Lisäksi ilmansulku on hyvällä etäisyydellä sisäpuolisia kiinnityksiä ajatellen.

Sisäpinnoitusjärjestelmissä on nykyisin laaja valikoima tuotteita, jotka mahdollistavat dynaamisten ominaisuuksien hyödyntämisen. Puutuotteita on saatavilla kaikkien makuun, perinnepaperitapetteja, savi- ja kalkkituotteita, puukuitulevyjä, maaleja jne. Sisäverhouksessa ei ole pakko käyttää hygroskooppisia materiaaleja – myös vesihöyryä hyvin läpäisevät tuotteet käyvät.

Pohja	Pinta	Vaikutus
Puukuitulevy	Savilaasti	Erinomainen
Puupaneeli	Vahattu	Erinomainen
Kipsilevy	Savilaasti	Hyvä
Kipsilevy	Maali, $S_d < 0,2$	Tyydyttävä
Kipsilevy	Maali, $S_d > 0,2$	Huono

Tuulensuojatuotteiden valinnassa on helppoa tehdä valinta pelkän hinnan perusteella. Parempi ajatus on kuitenkin hankkia arvoa. Tuulensuoja ei ole nimestään huolimatta pelkkä tuulensuoja. Hyvällä tuotteella saat lämmöneristystä rungon ulkopuolelle, äänieristystä, jäykistystä ja kosteuskapasiteettia rakenteen kriittisimmälle osalle. Hyvä ja paksu puukuitutuulensuoja maksaa itseään takaisin koko rakennuksen elinkaaren ajan.

TOIMIVUUS

Rakenteita suunniteltaessa paras lopputulos saavutetaan arvioimalla toiminnallista kokonaisuutta. Toiminnallisia ominaisuuksia ovat mm. energiatehokkuus, äänen eristävyys, turvallisuus, ekologisuus ja kestävyys.

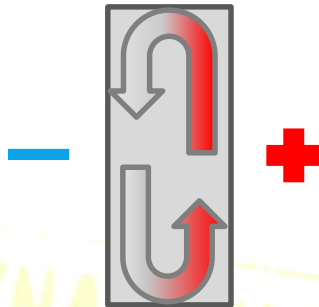
Luonnonkuituihin pohjautuvilla materiaaleilla saavutetaan usein monia erilaisia etuja. Lämmöneristeellä on aina suuri vaikutus rakenteen ominaisuuksiin. Eristeen pitää toimia lämmöneristykseen lisäksi myös ääneneristeenä.

Valitsemalla eriste jolla on suuri tiheys, saavutetaan hyvä ääneneristävyys ja suuri kosteuskapasiteetti.

Energiatehokkuutta arvioitaessa eristeen lämmönjohtavuus yleisesti huononee tiheyden kasvaessa, mutta tämä ei kerro energiatehokkuudesta koko totuutta! Rakenteellisen lämpöhäviön mekanismeista ovat normaalilämpötiloissa juuri johtuminen ja lisäksi konvektio.

Konvektion syyksi mielletään yleensä ilmatiiveyteen liittyvät ongelmat, kuten puutteet tuulensuojassa tai ilmansulussa. Konvektiota tapahtuu kuitenkin myös täydellisesti tiivistetyssä kuitueristeisessä rakenteessa. Lähellä lämmintä sisäpintaa eristeen sisällä käynnistyy lämpötilaerojen aikaansaama ilman liike. Lämmin ilma nousee keveämpänä ylöspäin ja alkaa jäähtyä kylmää

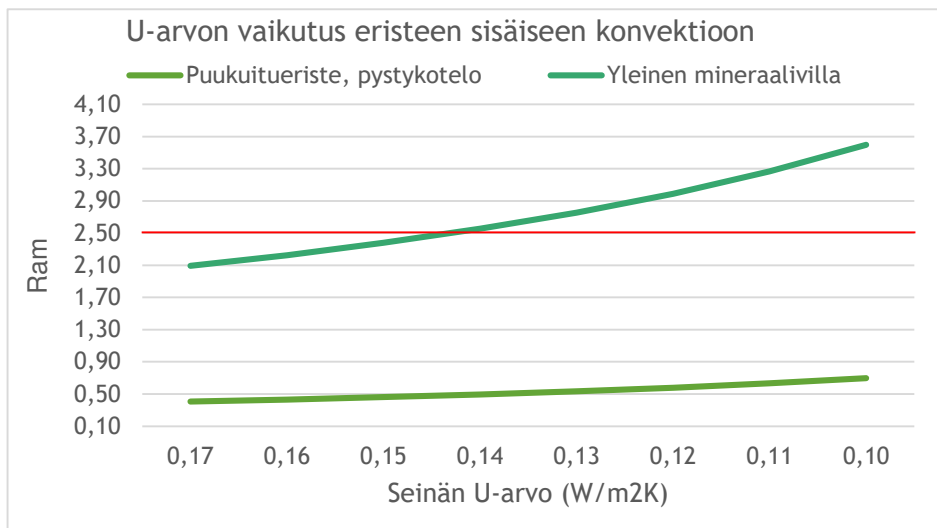
puolta kohti kulkeutuessaan. Viilentyessään ilma alkaa vajota jälleen alaspäin. Tällaista rakenteen sisäistä pyörrettä kutsutaan rakenteen sisäiseksi konvektioksi.



Konvektio pystyy kuljettamaan huomattavia määriä energiaa ja ilmiö vaikuttaa voimakkaasti teholliseen eristepaksuuteen. Mikäli konvektionopeus on suuri, voi pelkkä lämmönjohtumista mittaava tarkastelu olla kaukana totuudesta.

Ilmiön vaikutusta voidaan laskea modifioidun *Rayleighin* luvun avulla. Laskennassa ratkaistaan indeksiluku konvektionopeudelle lämmönjohtavuuden ja ilman viskositeetin avulla. Laskenta on tulossa Rakentamismääräyskokoelman C4 osioon, jonka luonnos on päivätty maaliskuussa 2012. Indeksirajaksi seinissä on

esitetty 2,5:ta, mutta tätä on luonnehdittu melko väljäksi tavoitteeksi.



Ilmanläpäisevyys on energiatehokkuuteen suuresti vaikuttava tekijä. Voidaankin sanoa, että eristeen tiheyden kasvun vaikutus lämmönjohtavuuteen saadaan kompensoitua paremmalla ilmatiiveydellä ja ääneneristävyydellä. Esimerkiksi kutterinlastueristeiset rakennukset, tai vaikkapa hirsitalot ovatkin mainettaan energiatehokkaampia. Hyvä ilmatiiveys on myös kosteusteknisen toimivuuden kannalta hyvä ominaisuus, sillä konvektio siirtää myös kosteutta, yleensä enemmän kuin esimerkiksi diffuusio. Mikäli rakenteessa on kosteuden

tiivistymisriski, seinän uloimpaan alaosaan saattaa herkästi syntyä suunniteltua paljon suurempi kosteusrasitus.

TURVALLISUUS

Rakentamista ohjaava lainsäädäntö ja ohjeistus eivät ole turvallisen rakentamisen tae. Sen varmasti kaikki ovat havainneet rakennuskantamme ongelmien mittavasta uutisoinnista.

Pelottava epäloogisuus suunnitteluohjeistuksessa on varmuuden puuttuminen kosteusteknisestä toimivuusarvioinnista. Mekaanisen mitoituksen yhteydessä käytetään varmuuskertoimia sekä kuorman että materiaaliominaisuuden kanssa. Kosteusteknisessä mitoituksessa ei ole mitään varmuuskerrointa. Tämä on suuri epäkohta, sillä valtaosa rakennuksista suunnitellaan toimimaan höyrynsulun kanssa. Silti höyryn- ja ilmansulun asennuksessa on erittäin suuri inhimillisen erehdyksen mahdollisuus. Myös rakenteen ja materiaalien vanheneminen ja haurastuminen voi tuottaa yllätyksiä. Suunnittelija saa kuitenkin osoittaa rakennesuunnitelmaan höyrynsulun, jonka pitävyys materiaalin, asennuksen ja saumojen suhteen oletetaan olevan absoluuttinen. Nykyisin rakennusten tiiveysmittaukset ovat varsin arkipäiväinen ja tervetullut ilmiö. Näistä mittauksista kertyy jatkuvaa näyttöä siitä, ettei yhdestäkään rakennuksesta tule täysin tiivistä.

Hygroskooppiset materiaalit tarjoavat erittäin suuren vikasetokyvyn rakenteille, kunhan niihin ei pääse vapaata vuotovettä. Hygroskooppiset materiaalit kykenevät sitomaan kosteutta hygroskooppisen alueen lisäksi kapillaariselle alueelle. **Hygroskooppinen kosteus ei kastele luonnonkuituisia materiaaleja.** Esimerkiksi puisen pöydän sisältämä kosteus vaihtelee huoneilman kosteuden vaihteluiden myötä jatkuvasti. Ei voida kuitenkaan sanoa, että pöytä olisi märkä verrattuna vaikkapa edelliseen päivään. Rakenteita tarkasteltaessa pätee sama lainalaisuus, hygroskooppinen kosteussisältö on vaihtuva ja täysin normaali ominaisuus. Hygroskooppisella materiaalilla on tietty kosteuskapasiteetti, riippumatta lämpötilasta. Näinpä vakiintunut **ajatusmalli suhteellisen kosteuden tarkastelusta ei ole relevantti dynaamiselle rakenteelle.**

On kuitenkin pidettävä mielessä, että hygroskooppiset materiaalit sitovat itseensä myös nestemäistä vettä. **Kapillaarista vettä ei rakenteisiin saa päästä pitkäaikaisesti.** Seinärakenteiden liittymät perustuksiin tulee ehdottomasti toteuttaa siten, ettei kapillaarista kosteudensiirtoa tapahdu. Myös julkisivu on syytä aina toteuttaa huolella liitosdetaljeineen. Julkisivun tuuletusväliä on hyvin luonnehdittu ”rakennuksen ensimmäiseksi puolustuslinjaksi”. Julkisivun toteutus on dynaamiselle rakenteelle muoto- ja tyyli vapaa. Rapattu pinta voidaan toteuttaa tuulettuvasti levyn päälle. Puujulkisivustakin saadaan tehtyä pitkäikäinen ja vähäistä huoltoa vaativaksi. Nykyisin on saatavilla modifioituja

puutuotteita, joita ei tarvitse pinnoittaa ollenkaan. Maalivalintaa tehtäessä kannattaa miettiä pidemmän aikavälin suorituskykyä. Keittomaalit, kuten punamultamaali ovat hyviä puun pinnoitukseen, on hyvä kuitenkin muistaa, että modernit kasviöljymaalit suojaavat puuta vedeltä, mutta antavat puun silti kuivua tehokkaasti. Hyvä maali myös vanhenee arvokkaasti. Haaleaksi käynyt pinta voidaan huoltomaalata suoraan päälle ilman työlästä maalin poistoa.

Hygroσκοoppiset materiaalit kestävät hyvin lyhytaikaista kastumista, mutta varsinaista vikasetokykyä tulee mitata hygroσκοoppisen alueen kosteuskapasiteetin kautta. Esimerkkinä männyn, puukuitu- ja mineraalivillaeristeen tasapainokosteuspitoisuuksia:

RH (%)	Puu, mänty (g/kg)	Puukuitueriste (g/kg)	Mineraalivilla (g/kg)
33	50	57	3,7
55	72	82	4,4
75	120	110	9,6
83	180	180	16,0
93	320	350	19,0
97	350	410	25,0

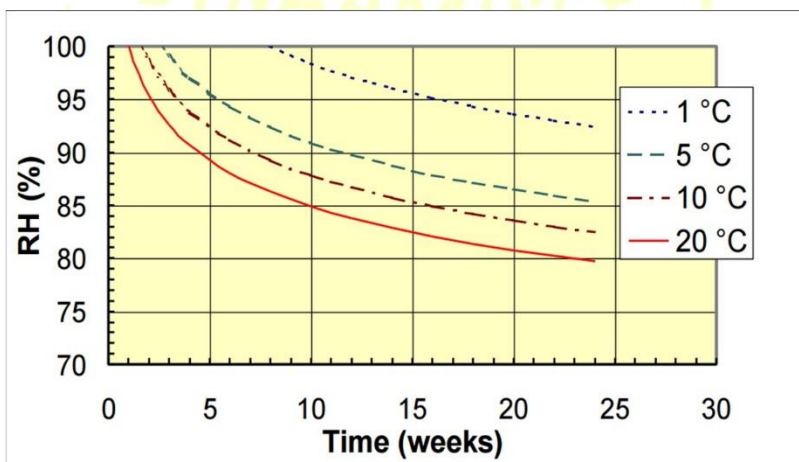
Taulukko 1; tasapainokosteuksia (lähde: TTY tutkimusraportti 129)

Rakenteen kosteuskapasiteetti muodostuu rakenteen komponenttien kosteuskapasiteettien summasta. Kullekin materiaalille saadaan kosteuskapasiteetti vähentämällä RH≈100% tasapainokosteuspitoisuudesta arvioinnissa

käytettävän RH=80% tasapainokosteuspitoisuus. Esimerkiksi puukuitueristeen kosteuskapasiteetti on seuraava:

$$410\text{g/kg} - 180\text{g/kg} = 230\text{g/kg}$$

Rakenteen kykyä käsitellä suunniteltua korkeampaa kosteusrasitusta kutsutaan vikasietokyvyksi. Suuri kosteuskapasiteetti läpi rakenteen estää yksittäisten komponenttien kosteuspitoisuuksien nousua, ehkäisten biologista vaurioitumista. Rakenteen kyky kestää rasitusta suhteellisen kosteuden alueella 80..100% riippuu kosteudesta, lämpötilasta ja ajasta. Rakenteiden esteetön tuulettuminen varmistaa rakenteiden kuivumista.



Kaavio 3 (lähde: Dosentti, FT Hannu Viitanen, 1996)

Kaavio havainnoi homeen kasvun käynnistymisen olosuhde-edellytyksiä. Mahdollisen vaurion syntyyn vaikuttaa siis kosteuden lisäksi lämpötila ja aika. Ymmärtämällä

rakenteiden eri kerrosten olosuhteita, pystytään valitsemaan tuotteita joiden toiminnalliset ominaisuudet tukevat rakenteen kokonaisuuden toimivuutta.

TEHOKKUUS

Velvollisuutemme tuottaa ilmasto- ja ympäristökestävää rakennuskantaa jää helposti energiatehokkuuden varjoon. Energiatehokkuutta ohjataan voimakkaasti kansallisilla rakentamismääräyksissä. Koko elinkaaren energiatehokkuus ja vähähiilisyys ovat toistaiseksi kuluttajan omalla vastuulla. Hyvistä lähtökohdista tehtävien valintojen tuloksena saadaan lopputulos, jota arvostetaan myös tulevaisuudessa.

Ilmastotehokas rakentaminen ei tarkoita tinkimistä laadusta, tai ominaisuuksista. Hyvä lopputulos edellyttää koko hankkeen elinkaariarvion huomioimista. Hyvä rakenteellinen energiatehokkuus on edellytys paitsi taloudellisesti järkevälle rakennukselle, myös ilmastokestävyydelle. Hyvä eristys on säästyvän energian ja rahan ansiosta kannattava hankinta.

Energiatehokkuus ei kuitenkaan yksin riitä saavuttamaan tavoitteita. **Rakennuksen elinkaari sisältää kolme vaihetta: valmistus, käyttö ja purku.** Valmistus pitää sisällään rakennuksen valmistuksen lisäksi tuotteiden valmistuksen, kuljetukset ja raaka-aineiden hankinnan. Käytönaikaisessa tarkastelussa arvioidaan asumisen aikaista energiankulutusta ja huolto- ja

korjaustoimenpiteiden vaikutus. Käytöstä poisto ja purku sisältävät mm. materiaalien uusiokäyttö- ja kierrätysmahdollisuudet sekä loppusijoituksen vaikutukset.

Rakentamisesta syntyy väkisinkin päästöjä, joten on tärkeää ”kiriä” päästöjä valitsemalla materiaaleja, jotka toimivat eloperäisen hiilen varastoina. Luonnonkuituihin pohjautuvat materiaalit sisältävät runsaasti eloperäistä, ilmakehystä sitoutunutta hiiltä. Yhdessä hiilitehokkaiden materiaalien ja kestävien, vähäistä uusimista ja huoltoon vaativien ratkaisujen myötä saadaan aikaan laadukas ja ympäristöystävällinen lopputulos, josta nauttivat myös tulevat sukupolvet!



Lähteet:

Kaaviot 1, 2: VTT- CR-00672-16, Dynaaminen Puukuitueristerakenne

Kaavio 3: Viitanen, H. 1996. Factors affecting the development of mould and decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. Dissertation, Uppsala 1996. The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Products. 58 p.

Taulukko 1: Tampereen teknillinen yliopisto, Tutkimusraportti 129, Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Juha Vinha, Ilkka Valovirta, Minna Korpi, Antti Mikkilä, Pasi Käkelä