

Kosteusteknisesti turvallinen matalaenergia- ja passiivirakentaminen

Pasi Käkälä¹⁾, Janne Jormalainen¹⁾

¹⁾ SPU Systems Oy

Tiivistelmä

Energiatehokkuusvaatimusten ja sitä kautta lämmöneristyksen ja rakenteiden paksuuden kasvaminen on herättänyt keskustelua rakenteiden rakennusfysikaalisesta toiminnasta. Selvää on, että rakenteiden tulee toimia aina myös kosteusteknisesti moitteetta. SPU Systems Oy on teettänyt VTT:llä useille erilaisille polyuretaanieristeisille rakenneosille kosteusteknisestä toimivuudesta mallinnuksen. Rakenneosina on ollut matalaenergia- ja passiivitaso ulkoseinä-, yläpohja- ja alapohjarakenteita. Tässä artikkelissa on käsitelty yleistasolla muutamia näistä. Lisäksi on käsitelty muutamia kosteustekniseen toimintaan oleellisesti vaikuttavia polyuretaanieristeen ominaisuuksia.

Mallinnuksen tuloksista voidaan yleisenä johtopäätöksenä vetää se, ettei tutkituissa rakenteissa tavanomaista parempi lämmönläpäisykerroin sinällään aiheuta kosteusteknisen riskin kasvamista. Tulokset koskevat luonnollisesti normaaleja sisäilman olosuhteita Suomen ilmastossa. Mahdolliset riskit liittyvät itse rakentamisen ja detaljien suunnittelun huolellisuuteen eli rakentamisen laatuun. Vastaavat riskit ovat kuitenkin aina olemassa, vaikka rakenteiden lämmöneristysominaisuudet olisivat tasoltaan huonommat.

SPU-polyuretaanieristeen perusominaisuuksia ovat pieni lämmönjohtavuus, suuri vesihöyrynvastus sekä alhainen tasapainokosteus ja veden imeytymä. Yhteenvedona voidaan todeta, että SPU-eristeiden kosteustekniset ominaisuudet ja eristeiden käyttötavat ja -menetelmät ovat sellaisia, että niillä on verrattain helppo toteuttaa hyvin lämpöä eristäviä, tiiviitä ja kosteusteknisesti turvallisia rakenteita.

1. Johdanto

Energiamääräysten kiristyessä rakenteiden kosteustekninen toimivuus asettaa entistä suurempia haasteita suunnittelulle. Tämä seikka on ollut julkisuudessaakin viime aikoina paljon pinnalla. Aihe on tärkeä eikä sitä saa kevyesti sivuuttaa energiamääräysten kiristämisen varjolla. Koska rakennusten energiatehokkuuden parantaminen kohti passiivitasoa on kuitenkin vääjäämätön suunta tulevaisuudessa, pitää tämän ohella suunnittelussa yhä enenevässä määrin huomioida myös rakenteiden kosteustekninen toimivuus.

SPU Systems Oy:ssä on teetetty useille erilaisille polyuretaanieristeisille rakenteille laskennallinen mallinnus kosteusteknisestä käyttäytymisestä. Tässä esityksessä käsitellään 6 erilaisen passiivienegiatason rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä Suomen ilmasto-olosuhteissa. Rakenteiden mallinnus on tehty käyttäen Wufi 4.2 Pro-ohjelmaa. Varsinainen mallinnus on tehty VTT:llä. Mallinnuksen avulla voidaan päätellä, etteivät tutkitut polyuretaanieristeiset, tavanomaista huomattavasti paremmin eristävät rakenteet, sisällä suurempaa kosteusteknistä riskiä kuin huonommin eristävät rakenteetkaan. Rakenneosina käsitellään matalaenergia- ja passiivitaso seinä-, alapohja- ja yläpohjarakenteita, joiden U-arvot

ovat pääsääntöisesti alle $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lisäksi käsitellään lyhyesti polyuretaanieristeen ja siitä tehtyjen rakenteiden käyttäytymistä ja ominaisuuksia.

2. SPU eristeiden kosteusteknisiä ominaisuuksia

SPU-eristeet valmistetaan laminaattoritekniikalla. Pääraaka-aineina ovat polyoli, MDI ja punneaine. Punneaineena käytetään ympäristölle haitatonta hiilivetyä, pentaania. Eristelevyjen pintalaminaatteina käytetään diffuusiotiiviitä laminaatteja joko paperi- tai alumiinipintaisia. Eristelevyjä on mahdollista saada myös pinnoittamattomina tai erilaisilla pintaverhouslevyillä varustettuna. Pääraaka-aineita, laminaatteja tai pintaverhouslevyjä muuttamalla voidaan vaikuttaa valmiin tuotteen mm. rakennusfysikaalisiin, palo- tai ääneneristysominaisuuksiin. PUR eristeen huokosrakenne on suljettu.

2.1 Lämmönjohtavuus

SPU-eristeiden lämmönjohtavuus määritetään standardin EN 13165 mukaan [1]. PUR tuotteiden pieni lämmönjohtavuus perustuu punneaineen (pentaani) ilmaa paljon pienempään lämmönjohtavuuteen. Lämmönjohtavuuden määrittämisessä otetaan huomioon eristeen vanheneminen ts. punneaineen diffuuntoituminen eristeen huokosista. Tuotestandardin [1] menetelmä antaa suunnittelulämmönjohtavuudelle (λ_{desing}) arvion, jonka tuote täyttää yli 25 vuoden kuluttua valmistuksesta. Laboratoriossa mitatut λ_{10} arvot ovat noin $0,004 \text{ W/mK}$ pienempiä, joten uuden eristeen lämmönjohtavuus on siis selvästi pienempi kuin suunnitteluarvo. Koska PUR eriste on umpisoluihin ja lähes täysin ei-hygrooskooppinen, suunnitteluarvoon ei sisälly kosteuskorjauksia.

SPU-eristeille CE-merkinnässä ilmoitetut (λ_{desing}) arvot:

- $0,024 \text{ W/mK}$ diffuusiotiiviitä laminaatteja käytettäessä
- $0,026 \text{ W/mK}$ ilman laminaatteja tai ei-diffuusiotiiviillä laminaatilla
- $0,027 \text{ W/mK}$ tietyt ohuet erikoistuotteet

2.2 Vesihöyrynläpäisevyys

Vesihöyrynläpäisevyyden arvoksi polyuretaanille ilmoitetaan kirjallisuudessa yleisesti $0,1 - 1,2 \times 10^{-12} \text{ kg/m}^2\text{sPa}$.

Eristelevyjen vesihöyrynläpäisevyys riippuu siitä, onko eristelevy pinnoitettu vai ei ja luonnollisesti pinnoitetta käytettäessä sen ominaisuuksista. 30 mm paksulle SPU-eristeelle ilmoitetaan seuraavat vesihöyrynvastusarvot:

- pinnoittamaton (SPU 30) $54 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$
- paperilaminaattipintainen (SPU P30) $94 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$
- alumiinilaminaattipintainen (SPU AL30) $4050 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$

Vertailuna voidaan todeta, että $0,2 \text{ mm}$ PE kalvon vesihöyrynläpäisevyysarvo on luokkaa $500 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ ja bitumipaperilla riippuen paperin paksuudesta ja bitumista luokkaa $0,5 - 5 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$. Alumiinilaminaattipintaisten eristelevyjen vesihöyrynvastus on siis lähes 8-kertainen verrattuna höyrynsulkuna yleisesti käytettyyn muovikalvoon ja pinnoittamattomanakin moninkertainen verrattuna bitumipaperiin. Näin ollen jo hyvin ohuellakin polyuretaanieristeellä rakenteen sisäpinnassa saadaan aikaan riittävä höyrynsulku.

2.3 Veden imeytyminen

Polyuretaani kestää pinnoittamattakin hyvin kosteutta. Umpisolurakenteensa ansiosta siihen imeytyy vähän vettä. Vedenimeytymä 100 %:n suhteellisessa kosteudessa on enintään 0,2 tilavuus-%, kelluntakokeessa enintään 0,5 tilavuus-% ja upotuskokeessa (110pv, upotussyvyys 60 cm) enintään 3,0 tilavuus-%. [2]

3. Tutkitut rakenteet

VTT on tehnyt laskennallista analyysiä kosteusteknisestä toimivuudesta muutamille SPU eristeillä toteutetuille passiivitasoisille ratkaisuille. Kaikki mallinnukset on tehty käyttäen Wufi 4.2 pro -ohjelmaa [3,4]. U-arvojen määrittäminen ei kuulunut VTT:n mallinnuksen piiriin. Lisäksi rakenteet on oletettu ilmatiiviksi eli konvektion vaikutusta ei ole huomioitu. Tuuletetut rakenteet eivät myöskään olleet alttiita viistosateelle, eikä auringon säteily tai taivaan vastasäteily vaikuttaneet rakenteeseen. [3,4].

3.1 Sisä ja ulkoilman olosuhteet

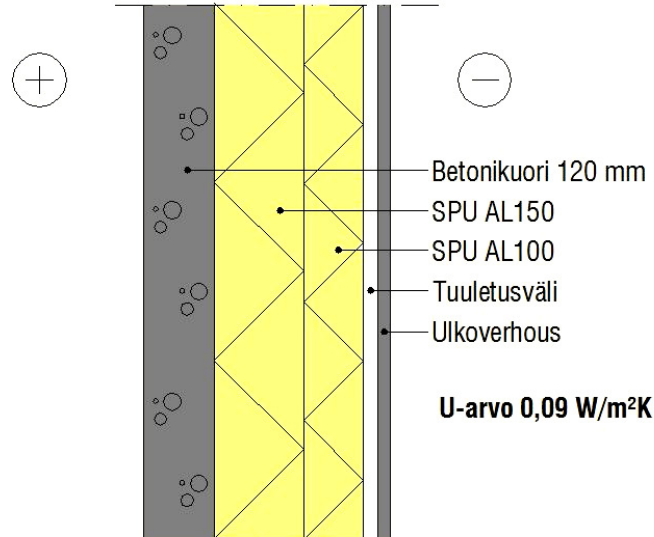
Ilmastotietoina mallinnoissa käytettiin Jyväskylän vuoden 1979 ilmastotietoja. Vuosi edustaa kylmää, lämpötekniiseen mitoitusjaksoa, joten se tuo varmuutta myös kosteustekniiseen suunnitteluun. Sisäilman kosteuskuormitus valittiin standardin EN13788 kosteusluokka 3:n mukaiseksi betonikuorisessa ulkoseinässä ja muissa kosteusluokka 2:n mukaiseksi.

Kyseinen sisäilmankosteuskuormitus on varsin korkea. Kosteusluokassa 3 kosteuslisä sisäilmassa on $+6 \text{ g/m}^3$, kun ulkoilman lämpötila on alle $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ja kosteusluokassa 2 vastaavasti $+4 \text{ g/m}^3$. Kosteuslisän arvo muuttuu edellä mainituista arvoista lineaarisesti kohti tasapainoa (0 g/m^3), kun lämpötila nousee $0 \text{ }^\circ\text{C}$:sta $+20 \text{ }^\circ\text{C}$:een. Lähteessä [5] on esitetty kosteusteknisen suunnittelun perustaksi $+4 \text{ g/m}^3$ normaaleissa olosuhteissa ja $+5 \text{ g/m}^3$, kun kosteustuotto on normaalia suurempaa. Tältä osin voidaan tarkasteluja pitää varmalla puolella olevina.

Rakenteiden kaikkien materiaalikerrosten alkukosteus oletettiin $80 \text{ } \%$ RH suhteellista kosteutta vastaavaan tasapainokosteuteen. Laskennassa käytetyt materiaaliominaisuudet perustuivat laskentamallin tietoihin, jotka on koottu kattavasti mm. kansainvälisessä yhteistyössä tehdyissä hankkeissa. Laskennassa tarkastelujakso vaihteli tapauksittain ja oli vähintään 3 vuoden pituinen.[3,4]

3.2 Betonikuorinen passiiviseinä

Tutkitun rakenteen leikkauskuva on esitetty kuvassa 1. Rakenteen sisäpintaan oletettiin lisäksi kipsitasoitus ja pinnan maalaus. Tarkastelu suoritettiin kahdelle erilaiselle tapaukselle: alumiinipintaiselle SPU eristeelle (tapaus 1) ja pinnoittamattomalle (tai paperipintaiselle) SPU-eristeelle (tapaus 2). Taulukossa 1 on esitetty laskennassa käytetyt materiaaliominaisuudet.



Kuva 1. Betonikuorinen SPU-eristeinen passiivitasoinen ulkoseinä. Kuvassa esitetty U-arvo on laskettu rakenteelle, jossa eriste on betoninvalussa kiinni ilman mekaanisia kiinnikkeitä. Jos rakenteessa käytetään mekaanisia kiinnikkeitä, tulee niistä aiheutuva kylmäsiltaavaikutus ottaa tapauskohtaisesti huomioon.

Taulukko 1. Rakenteiden eri kerrosten dimensiot, lämmönjohtavuudet ja kerrosten vesihöyryn diffuusiiovastukset [4].

Materiaalikerros	Paksuus, mm	Lämmönjohtavuus λ_{design} , W/(K m)	Kerroksen vesihöyrynvastus S_d , m
Betoni	120	1,7	30
PU-eristys	100	0,024	5
PU-eristys	150	0,024	7,5
Alumiinipinnoite	1	-	1500
Sisätasoite ja maali	5		0,1

3.2.1 Tulokset

Tapauksen 1 kokonaiskosteus ei enää muutu vuositasolla 30 vuoden jälkeen. Tapauksessa 2 rakenne on vuositasolla jatkuvasti kuivuva ja saavuttaa ilmeisesti jokseenkin saman kokonaiskosteyden kuin tapaus 1, mutta nopeammin ($m''_{tot} < 7 \text{ kg/m}^2$). Kuivuminen tapahtuu tapauksessa 1 sisäänpäin ja tapauksessa 2 myös eristeen läpi ulospäin. [4]

Kokonaiskosteus ei yksin riitä kuvaamaan rakenteiden toimintaa. Erityisesti alumiinipintaisten eristelevyjen pintakosteudet voivat saada suuria arvoja, mikä ei välttämättä näy kokonaiskosteydessä. Tapauksessa 1 uloimman PU -eristeen suhteellinen kosteus saa ajoittain RH 85% ylittäviä arvoja, mutta tämä ei edusta riskiä rakenteelle. Sisemmän eristekerroksen ulkopinnan kosteudet jäävät alle RH 80% tason koko aikana. Ulkopinnan alumiinikalvon kosteus vaihtelee voimakkaasti vuoden aikana ja siinä esiintyy ajoittain kondenssiolosuhteet ulkoilman tilasta johtuen. Tuuletusrakoa vastaan olevan pinnan kosteuksia on tarkasteltu arvioimalla laskennallista homeen kasvun riskiä. Kummassakin tapauksessa homeindeksi jää alle tason 1. Samoin varmistettiin vielä uloimman eristeen alumiinipinnoitteen alla olevan kerroksen olosuhteiden turvallisuus. Niissäkään ei todettu homekasvun edellytyksiä. [4]

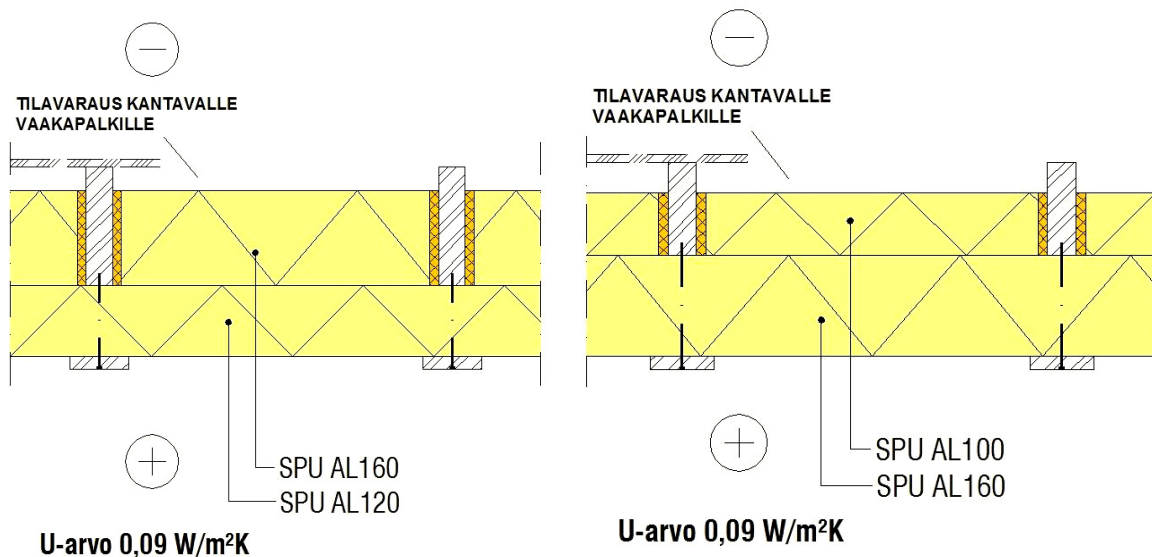
3.2.2 Johtopäätökset

Tulosten perusteella tarkastellut rakennetapaukset ovat kokonaiskosteuden muutoksen ja rajapintojen sekä tuuletusrakoon rajoittuvan pinnan homehtumisriskin suhteen kosteusteknisesti toimivia. Alumiinipinnoitteet eivät muodosta sellaisia kosteutta kerääviä diffuusiovastuksia, jotka voisivat käytetyillä alkukosteuksilla ja kosteuskuormilla aiheuttaa ongelmia rakenteessa. [4]

3.3 Puurunkoinen seinä

Tarkasteltuja rakenteita oli kaksi, jotka poikkesivat eristedimensioiltaan (kuva 2). Vaihtelemalla eristelevyjen keskinäisiä paksuuksia, saadaan runkosyvyudeksi valittua mahdollisimman pieni dimensioinen runkotolppa. Tällöin runkotolpan koon määrittelevät ainoastaan rakenteelliset seikat, ei lämmöneristeen paksuus.

Näiden seinien tarkasteluissa sisäilman kosteuslisänä käytettiin EN13788 kosteusluokka 2:n mukaisia arvoja. Tarkastelu tehtiin molemmille rakenteille kolmen vuoden jakson ajalle. Tarkastelussa selvitettiin rakenteen kokonaiskosteuden ja uloimman runkopuun kosteuden muutoksen lisäksi puun tuuletusrakoa vastaan olevan pinnan sekä SPU eristeen ja puun rajapinnan olosuhteet.[6]



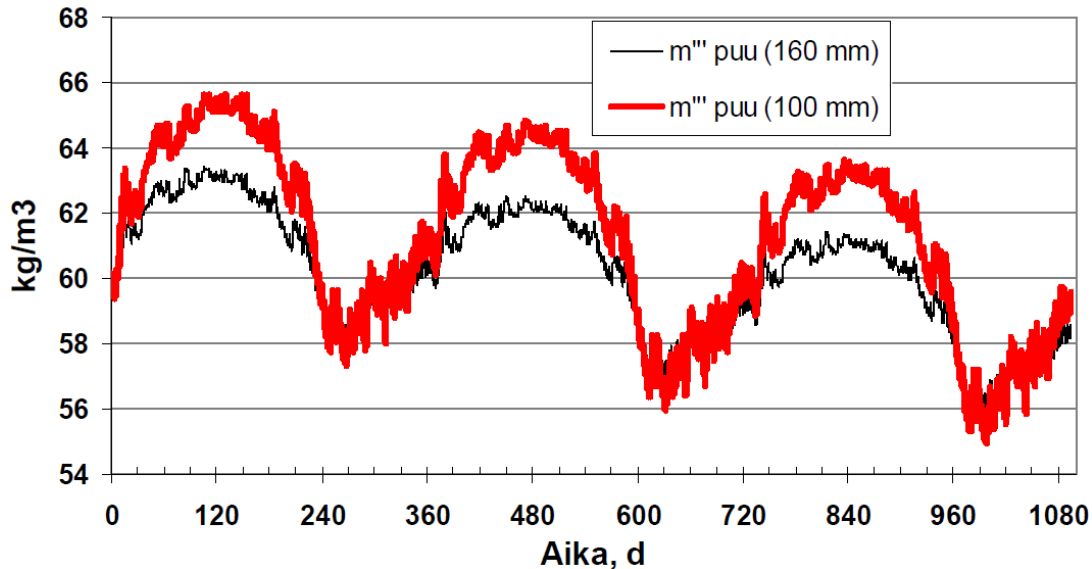
Kuva 2.SPU eristeiset puurunkoiset ulkoseinät. Kuvassa ei ole esitetty sisäverhouslevyjä eikä ulkoverhoususta. Rakenteet eroavat toisistaan eristeiden paksuuden osalta. Oikeanpuolisessa rakenteessa voidaan käyttää selvästi pienempidimensioista puurunkoa.

Taulukko 2. Rakenteiden eri kerrosten dimensiot, lämmönjohtavuudet ja kerrosten vesihöyryn diffuusiovastukset [6].

Materiaalikerros	Paksuus, mm	Lämmönjohtavuus λ_{design} , W/(K m)	Kerroksen vesihöyrynvastus S_d , m
Puu	160/100	0,12	f (RH)
PU-eristys	100	0,024	5
PU-eristys	160	0,024	8
Alumiinipinnoite	1	-	1500

3.3.1 Tulokset

SPU-eristeen ja puun rajapinta kuivui molemmissa tapauksissa jatkuvasti, eikä se siten ole kosteusteknisen toimivuuden kannalta kriittinen. Alumiinipintaisen eristeen kautta ei pääse kosteutta puuhun ja lämpötilaerosta johtuen puun kosteus on pääsääntöisesti kuivumassa ulospäin.[6]



Kuva 3. Puurungon keskimääräisen kosteuspitoisuuden kehitys kolmen vuoden tarkastelujakson aikana kahdella eri puurungon paksuudella. [6]. Vastaavanlaiset kuvaajat määritettiin myös muista tutkituista rakenteista.

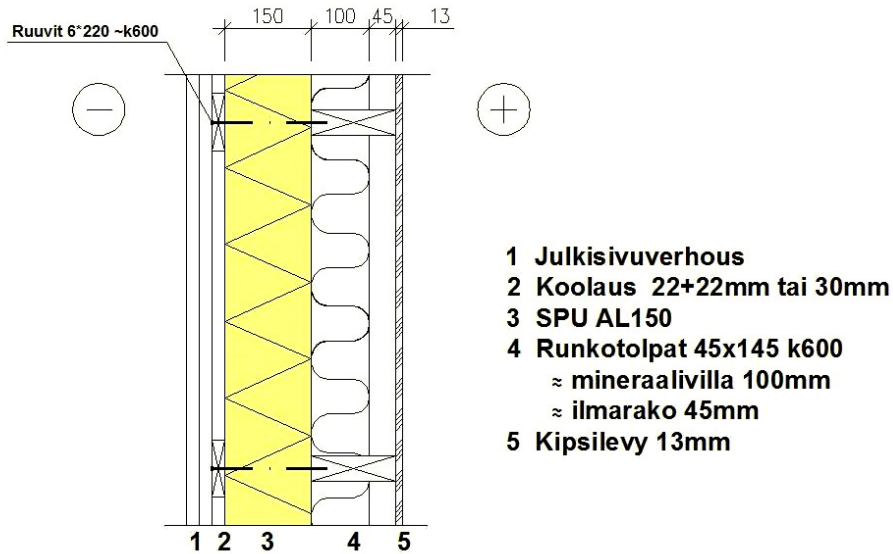
Puurungon tuuletusrakoon rajoittavan pinnan lämpötila- ja kosteusolojen perusteella laskettiin pinnan homeindeksi. Laskennallinen homeindeksi jäi molemmissa tapauksissa tasolle 0,5, mikä ei siis kuvaa edes alkavan homekasvun riskiä. [6]

3.3.2 Johtopäätökset

Eristeen uloimmissa kerroksessa oleva puu kuivuu tuuletusrakoon päin ja koko rakenteen kosteus on vuositasolla laskeva alun 80 % (RH) tasapainotilasta lähtien. Puurungon olosuhteet tuuletusraossa eivät poikkea siitä, mitä puuosien olosuhteet tuuletusraoissa yleensäkin ovat, eivätkä ne edusta homeen kasvuriskiä. Rakenteen toimivuuden riskit ovat samoja kuin yleensäkin tuuletetuilla rakenteilla. [6]

3.4 Puurunkoinen seinä SPU-eristeellä ja mineraalivillalla eristettynä

Mallinnettu rakenne on tyypiltään tuuletettu puurunkoinen ulkoseinä, jossa rungon ulkopuolisena eristeenä on 150 mm SPU-eristettä ja runkopuiden välissä 100 mm mineraalivillaa (kuva 4). Mallinnuksessa käytettiin EN standardin kosteusluokka 2:n arvoja. Tarkastelu suoritettiin kahdelle tapaukselle: paperipintaiselle ja alumiinipintaiselle eristeelle. Tarkastelussa selvitettiin kokonaiskosteuden muutoksen lisäksi mineraalivillan ja SPU-eristeen rajapinnan olosuhteet. Sisäpinnan kipsilevy oletettiin maalatuksi. Taulukossa 3 on esitetty laskennassa käytetyt materiaalien ominaisarvot.



Kuva 4. Sekaeristetty puurunkoinen ulkoseinä.

Taulukko3. Rakenteiden eri kerrosten dimensiot, lämmönjohtavuudet ja kerrosten vesihöyryn diffuusiovastukset [7].

Materiaalikerros	Paksuus, mm	Lämmönjohtavuus λ_{design} , W/(K m)	Kerroksen vesihöyrynvastus S_d , m
Kipsilevy, maalattu	13	0,23	0,4
Mineraalivillaeristys	100	0,036	0,2
PU-eristys	150	0,024	7,5
Alumiinipinnoite	1	-	1500

3.4.1 Tulokset

Koko tarkastelujakson ajan molempien rakenteiden kokonaiskosteus oli vuositasolla laskeva, ts. rakenne kuivui kaiken aikaa. Suhteellisen kosteuden tasot kriittisessä rajapinnassa olivat laskevia ja alun jälkeen alle RH 80%. Tulosten perusteella rakenteet ovat kosteusteknisesti toimivia ja turvallisia. [7]

Höyrynsuluttomassa tapauksessa toimivuus perustuu SPU eristeen hyvään lämmöneristyskykyyn ja diffuusin kosteudensiirron vastukseen. Rajapinnan lämpötila asettuu paksumman ja paremmin eristävän SPU-eristeen vuoksi niin korkeaksi, että sisäpuolelta tuleva kosteus ei nosta rajapinnan suhteellisen kosteuden arvoa toimivuuden kannalta liian korkeaksi. Jos rakenteessa on sisäpuolinen höyrynsulku, on sen kosteustekninen toimivuus vielä parempi. Tällöin SPU eristeen ei ole suositeltavaa olla alumiinipintainen. [7]

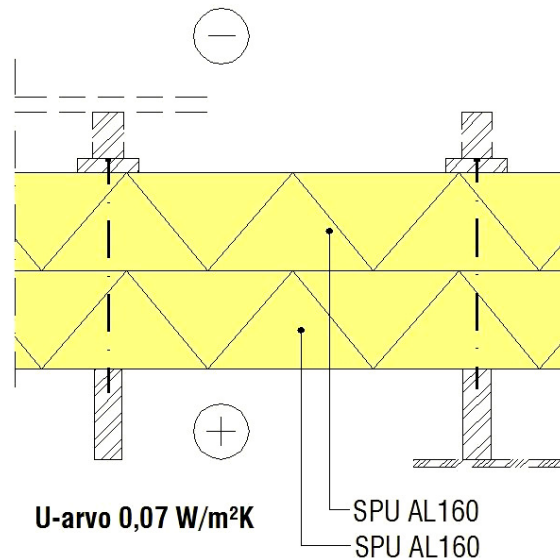
3.4.2 Johtopäätökset

Tarkasteltu suunnitelman mukaan toteutettu, ulkopuolelta tuuletettu eristerakenne on höyrynsuluttomanakin toimiva, kun rakenne on Suomen ilmastossa ja asuinkäyttöön tarkoitettussa sisäilman kuormitusoloissa. Kosteusturvallisuus paranee käyttämällä sisäpuolista höyrynsulkua. Tällöin ei kuitenkaan ole suositeltavaa käyttää SPU AL eristettä. [3,7]

Rakenteen toimivuuden riskit ovat samoja kuin yleensäkin tuuletetuilla rakenteilla [7].

3.5 SPU eristeinen yläpohja

Rakenne koostui kahdesta 160 mm paksusta SPU AL levystä, joiden alapuolella oli puinen kannatinpalkkisto. Mallinnuksessa yläpohjan tuuletus on oletettu riittäväksi [8]. Rakenteen poikkileikkaus on esitetty kuvassa 5. Sisäilman kosteusluokkana käytettiin standardin EN 13788 kosteusluokka 2:n arvoja [8]. Mallinnuksessa käytettiin 160 mm paksulle PU-eristykselle ja alumiinipinnoitteelle samoja materiaaliominaisuusarvoja kuin mm. taulukossa 2 on esitetty.



Kuva 5. SPU eristeinen yläpohjarakenne

3.5.1 Tulokset

Toimivuuden kannalta kriittinen kohta on eristeiden välinen rajapinta, jos sinne pääsee kosteutta. Rajapinnan olosuhteet pysyivät kuitenkin koko tarkastelujakson homeen kasvun alueen alapuolella.[8]

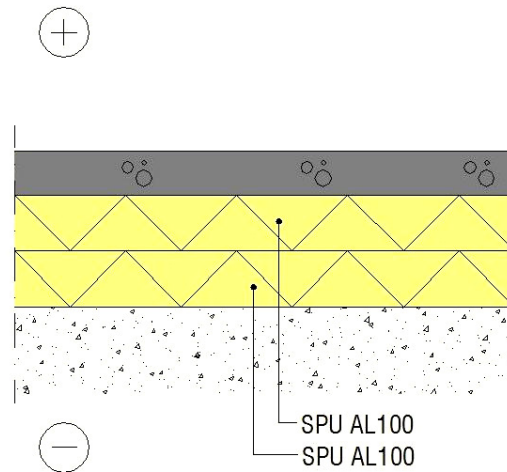
3.5.2 Johtopäätökset

Tarkasteltu yläpohjarakenne on kosteusteknisesti toimiva. Mahdolliset riskit liittyvät rakenteen sisäpuolen höyryn- ja ilmatiivyyden heikentymiseen, mikä voi aiheuttaa kostean sisäilman tunkeutumisen diffuusiona tai vuotoilmavirtauksen kuljettamana rakenteeseen. Riittävä sisäpuolinen tiiviys on tässä rakenteessa helposti varmistettavissa. Tavanomaista parempi lämmönläpäisykerroin ei aiheuta lisäriskiä rakenteen toimintaan.[3,8]

3.6 SPU eristeinen maanvarainen alapohjarakenne

Mallinnuksen kohteena olevassa rakenteessa oli 80 mm teräsbetoni-laatta ja sen alla kaksi 100 mm kerrosta SPU AL eristettä. Lämmöneristeen alla on oletuksena oikein tehty, kapillaarikatkoin ja salaojituksin varustettu pohja [9]. Rakenteen poikkileikkaus on esitetty kuvassa 6.

Rakenteen selväpiirteisyyden takia sitä ei tarvinnut analysoida laskennallisesti vaan toimivuuden selvitys tehtiin asiantuntemukseen perustuen [9].



U-arvo 0,09 W/m²K

Kuva 6. SPU eristeinen maanvarainen alapohjarakenne

3.6.1 Tulokset ja johtopäätöksiä

Edellä kuvattu alapohjarakenne on kosteusteknisesti toimiva. Toimivuuden edellytykset ovat samat kuin yleensäkin maanvaraisissa ja höyrynsulullisissa alapohjarakenteissa [9]:

- Betonilaatan riittävä kuivuminen ennen pinnoitusta on varmistettava
- On huomattava, että käytönaikainen kuivuminen tapahtuu betonilaatasta ainoastaan ylöspäin pinnoitteen läpi.
- Kapillaarikatko ja salaojituskerrokset on tehtävä oikein
- Rakenne on ilmatiivis

Hyvin lämpöä eristävän rakenteen vaikutukset routasuojuukseen on erikseen varmistettava [9].

4. Yhteenveto

Kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi SPU Systems Oy on teettänyt muutamille polyuretaanieristeisille matalaenergia- ja passiivitason rakenteille laskennallisen mallinnuksen VTT:llä. Sisäilman kosteuskuormitus valittiin standardin EN 13788 kosteusluokan 2 tai 3 arvoja riippuen rakenteista. Ulkoilman olosuhteina käytettiin Jyväskylän vuoden 1979 säätietoja. Sateen, auringon säteilyn tai konvektion vaikutuksia ei huomioitu.

Yleisesti voidaan todeta, että tässä esitetyillä tai muilla vastaavatyypisillä SPU-rakenteilla ei esiintynyt kohonnutta riskiä kosteusteknisessä toimivuudessa. Mahdolliset riskit syntyvät itse rakentamisen huolellisuudesta ja oikein tehdyistä suunnitelmista pitäen sisällään rakenneleikkaukset että detaljien suunnittelun. Näkemyksemme mukaan ja kuten edellä esitetyistä tarkastelluista rakenteista voitiin havaita, hyvä lämmöneristyskyky ei aiheuttanut kohonnutta riskiä ts. riskitasoja ajatellen ollaan samalla tasolla, vaikka rakenteiden lämmöneristysominaisuudet paranevat huomattavasti.

Jäykkien polyuretaanieristeiden ominaisuudet, sekä rakennusfysikaaliset että asennustekniset ominaisuudet, ovat kuitenkin sellaiset, että niillä on helppo toteuttaa ilman- ja höyryntiiviitä

rakenteita. Lisäksi umpisoluiset PUR eristeet sietävät hyvin kosteutta eivätkä menetä ominaisuuksiaan pitkäaikaisessakaan kosteusrasituksessa.

Alkuperäisiä tutkimuksia voi kokonaisuudessaan tiedustella SPU Systems Oy:stä.

Lähdeluettelo

- [1] EN 13165 2001. Thermal insulation products for building – Factory made rigid polyurethane foam (PUR) products – Specification.
- [2] PU-Suunnittelukansio
- [3] Kooste SPU Systems Oy:n passiivienergiatasonrakenteiden kosteusteknisen toimivuustarkastelun tuloksista. Tutkimusselostus Nro VTT-S-01985-09. 20.3.2009
- [4] SPU Systems Oy:n betonikuorisen passiivienergia-seinän kosteustekninen toimivuus. Tutkimusselostus Nro VTT-S-10928-08. 12.12.2008
- [5] Hygrothermal Performance of Timber-Framed External Walls in Finnish Climatic Conditions. A Method for Determining the Sufficient Water Vapour Resistance of the Interior Lining of a Wall Assembly. Vinha, Juha. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere 2007.
- [6] SPU-eristeisen puurunkoseinän kosteustekninen toimivuus. Tutkimusselostus Nro VTT-S-00428-09. 23.1.2009
- [7] SPU-Systems Oy:n SPU-eristeellä ja mineraalivillalla eristetyn seinärakenteen kosteustekninen toimivuus. Tutkimusselostus Nro VTT-S-00396-09. 23.1.2009
- [8] SPU-eristeisen yläpohjan kosteustekninen toimivuus. Tutkimusselostus Nro VTT-S-00430-09. 23.1.2009
- [9] SPU-eristeisen passiivienergiatason alapohjarakenteen kosteustekninen toimivuus. Tutkimusselostus Nro VTT-S-00434-09. 23.1.2009