

## YLEISTÄ

Polyuretaanin teollinen valmistus alkoi varsinaisesti toisen maailman sodan jälkeen Saksassa, Englannissa ja USA:ssa. Suomessa polyuretaanin käyttö yleistyi 1960-luvulla. 1960-luvulla polyuretaanin käyttö syrjäytti lähes kaikki muut lämmöneristeet kylmäkalusteissa, ja 1970-luvulta lähtien sen käyttö rakennusteollisuudessa ja rakennusten lämmöneristeenä on yleistynyt kiihtyvällä vauhdilla energiatehokkuusvaatimusten kiristymisen myötä.

Siirryttäessä passiivi- ja nollaenergiatasolle rakennusten energiankulutuksessa, vaaditaan lämmöneristeitä koko ajan yhä enemmän. Tässä jo nyt alkanessa muutoksessa esiin nousevat polyuretaanin käytön tärkeimmät edut: erinomainen lämmöneristävyys, ilmatiiviys-, lujuus- ja kosteustekniset ominaisuudet.

## SPU ERISTEIDEN VALMISTUS

Polyuretaanin pääraaka-aineet ovat MDI, polyoli ja punneaine, joka tänä päivänä on pentaania (ODP on nolla). Raaka-aineiden sekoittamisen jälkeen kemiallisessa eksotermisessä reaktiossa syntyy pentaani täytteistä, umpisoluista polyuretaanieris-

tettä. Rakennuseristeinä käytettäviä jäykkiä polyuretaanieristeitä valmistetaan yleisesti kahdesta erityyppisestä vaahdosta nk. PUR-vaahdosta tai PIR-vaahdosta.

Polyuretaanieristeitä voidaan valmistaa muottivaluna (blokivaluna), yksittäisvalumenetelmällä tai jatkuva valumenetelmällä. SPU Eristeiden valmistus tapahtuu jatkuvana valuna kaksoisnauhalaiteella (laminaattorilla). Raaka-aineseos levitetään alemmalla nauhalla liikkuvan pintakalvon päälle. Laajetessaan vaahto saavuttaa ylempää nauhaa pitkin liikkuvan pintakalvon ja tarttuu siihen. Pintakalvoina, laminaatteina, voivat olla esim. erilaiset paperit, AL-laminaatit tvs. Tänä päivänä lähes yksinomaan pintalaminaatteina käytetään diffuusiotiiviitä alumiinilaminaatteja.

## MITAT

SPU Eristeiden maksimipituus on 3700 mm ja maksimileveys 1200 mm. Paksuuksia saa 30...200 mm asti 10 mm välein, liimattuna myös paksumpana. Levyt voivat olla suorareunaisia tai pontattuja joko kahdelta sivulta tai ympäripontattuja. Betonielementiteollisuudessa melko useasti käytetään määräpituuteen valmistettua ja 600 mm leveää eristelevyä, jolloin ansaat saada levyjen saumoista tuotua toiseen betonikuoreen. Levyjen saumat pääsääntöisesti vaahdotetaan.

## LÄMMÖNJOHTAVUUS

Lämmönjohtavuuden, +10 °C keskilämpötilassa mitatusta laboratorioarvosta, käytetään lyhennettä  $\lambda_{10}$ . Näiden laadunvalvonnan laboratoriossa mittaamien tulosten perusteella valmistaja määrittää tuotteelle  $\lambda_{\text{declared}}$ -arvon. Arvon määrittämispeusteet jäykille polyuretaanilevyille on annettu tuotestandardissa EN 13165, joka ohjaa jäykkien polyuretaanilevyjen valmistusta ja laadunvalvontaa.  $\lambda_{\text{declared}}$ -arvon perusteella määritetään varsinaisen suunnittelussa käytettävä  $\lambda_{\text{design}}$ -arvo ottaen huomioon materiaalista riippuvat heikennykset (mm. kosteuden vaikutus, ilmanläpäisevyyden, lämpötilan, vanhenemisen vaikutus).

PU tuotteiden pieni lämmönjohtavuus perustuu punneaineen (pentaani) ilmaa paljon pienempään lämmönjohtavuuteen. Lämmönjohtavuuden määrittämisessä otetaan huomioon eristeen vanheneminen ts. punneaineen diffuusionopeus eristeen huokosista. Tuotestandardissa annetaan vanhenemisen laskemiseen menetelmä, jolla laskettuna tuotteen lämmönjohtavuus täyttää ilmoitetun arvon yli

1  
Polyuretaanin (PUR/PIR) kemiallinen kestävyys.

Building materials / chemical substances	Behaviour of rigid polyurethane foam (PUR/PIR)
Lime, gypsum (plaster), cement	+
Bitumen	+
Cold bitumen and bituminous cements on water basis	+
Cold bituminous adhesive	+/-
Hot bitumen	+/-
Cold bitumen and bituminous cements with solvents	+/-
Silicon oil	+
Soaps	+
Sea water	+
Hydrochloric acid, sulphuric acid, nitric acid Caustic soda (10% resp.)	+
Ammonium hydroxide (conc.)	+
Ammonia water	+
Normal petrol / diesel fuel / mixed	+
Toluene / chlorobenzene	+/-
Monostyrene	+/-
Ethyl alcohol	+/-
Acetone / Ethyl acetate	+/-

Key: + resistant +/- partly resistant



2

Artikkelin kuvat SPU Systems Oy ellei toisin mainittu

25 vuoden kuluttua valmistuksesta. Tämän jälkeen kaasujen diffuusiokerroin on niin vähäistä, ettei sillä ole enää merkitystä. Laboratoriossa mitatut  $\lambda_{10}$  arvot ovat noin  $0,004 \text{ W/mK}$   $\lambda_{\text{design}}$  -arvoa pienempiä, joten uuden eristeen lämmönjohtavuus on siis selvästi pienempi kuin ilmoitettu arvo. Koska SPU Eriste on umpisolulainen ja lähes täysin ei-hygroskooppinen, lämmönjohtavuusarvoon ei sisälly muita korjauksia, vaan ainoa huomioon otettava heikennys on vanheneminen. Sen vaikutuksen valmistaja ottaa huomioon ilmoittaessaan lämmönjohtavuuden arvoa.

SPU Eristeille laboratoriossa mitatut arvot ( $\lambda_{10}$ ) ovat luokkaa  $0,019 \text{ W/mK}$ . Kun huomioon otetaan tilastolliset tekijät ja vanheneminen tuotestandardin EN 13165 mukaisesti saadaan ilmoitetuksi arvoksi  $0,023 \text{ W/mK}$ , joka on siis myös suunnitteluarvo ( $\lambda_{\text{declared}} = \lambda_{\text{design}}$ ).

Betonielementeissä, riippuen käytetyistä ansaita tai kiinnikkeistä, määräysten mukainen U-arvo saavutetaan 130...150 mm eristepaksuudella ja passiivenergiatasoiset elementit 230...260 mm eristepaksuudella.

## KOSTEUS

Polyuretaanieristeiden vesihöyrynvastus on erittäin suuri. Pinnoittamattoman SPU Eristelevyn (100 mm) vesihöyrynvastus on luokkaa  $150 \dots 200 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ , diffuusiotiiviillä laminaateilla pinnoitettuna  $> 4000 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ . Vertailuksi voi-

daan ottaa höyrynsulkumuovi (PE 0,2 mm), jonka vesihöyrynvastus on noin  $500 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ . SPU AL eristeiden vesihöyrynvastus on siten noin 8 kertaa suurempi kuin höyrynsulkumuovilla.

Polyuretaani kestää 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 (110 pv, upotussyvyys 60 cm) enintään 3,0 tilavuus-%.

## KEMIALLINEN KESTÄVYYS

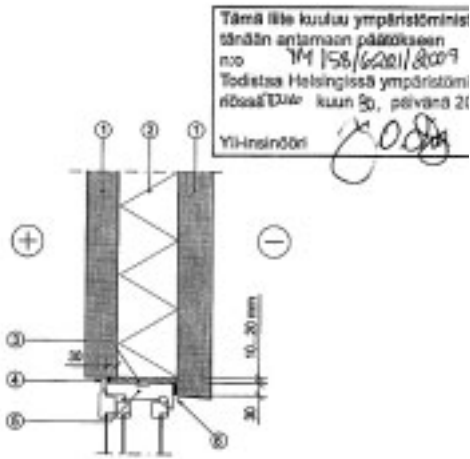
Polyuretaani kestää hyvin mm. polttoaineita, mineraaliöljyjä, liimoja, pakokaasuja, teollisuusilmaa, laimeita happoja ja emäksiä. Polyuretaani ei lahoa, mätäne eikä homehdu. Se on hajuton ja fyysiologisesti haitaton. Kemiallisesti polyuretaani on neutraalia ja toimii hyvin betonin kanssa.

## ELINKAARI

Vertailtaessa eri lämmöneristeitä keskenään, PU-eristeillä toteutettuna matala- ja jopa passiivenergiarakenteet ovat ohuita, mikä merkitsee suurta säästöä sekä materiaali että työkuksannuksissa. Paksummista rakenteista aiheutuu lisäkustannuksia runkomateriaaleihin, sokkeleihin, ulkopinnoitteeseen ja kattomateriaaleihin. Myöskään passiivitalon arkkitehtuuri ei kärsi "bunkkeri"-seinistä ja -katoista, vaan ohuemmillä rakenteilla arkkitehtisuunnitteluun jätetään lisää mahdollisuuksia – onhan

2

Passiivenergiatason talon betonielementtien asennus käynnissä.


 3  
 Tyyppihyväksyntädetalji 1A.

talon ulkonäkö tärkeää myös energiatehokkaassa rakentamisessa. Ahtaille tonteille rakennettaessa matalaenergia- tai passiivenergiarakennuksissa tehokkaita eristeitä käyttämällä saavutetaan myös etua erilaisina hyödynnettävänä pinta-aloina.

Tutkimukset osoittavat polyuretaanin edullisuuden sekä rakennuskustannuksissa että elinkaarikustannuksissa sekä TKK:n että englantilaisen BRE:n tutkijat ovat todenneet, että passiivenergiarakentaminen on edullisinta polyuretaanieristeillä toteutettuna. *TKK:n Kestävä Energia-tutkimusohjelman* tulosten mukaan SPU Eristeillä toteutettuna passiivitalon rakennuskustannus on noin 5000 euroa edullisempi kuin villaeristeillä toteutettuna. Niin ikään englantilaisen BRE-tutkimuslaitoksen tutkijat vertailivat polyuretaani- ja villaeristeisen matalaenergiarakennuksen elinkaarikustannuksia. Tässä vertailussa polyuretaani oli edullisin ratkaisu.

PU-eristeet säilyttävät ominaisuutensa rakenteissa hyvin eikä perusmateriaalissa tapahdu ikääntymisestä johtuvia muutoksia. Rakennuksen elinkaaren päätyttyä PU-eristeet voidaan uusioikäyttää esimerkiksi routaeristeinä.

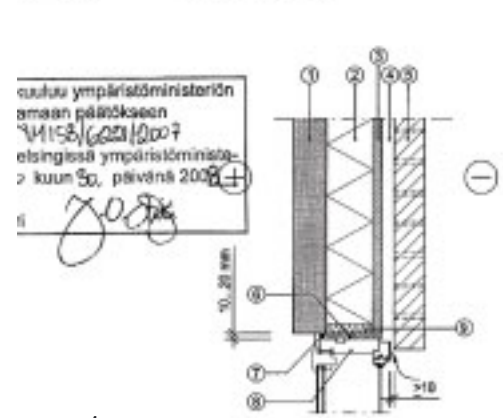
### TYYPPIHYVÄKSYNTÄ

*SPU Systems Oy:llä* on ympäristöministeriön tyyppihyväksyntäpäätös, jonka mukaan SPU Eristeitä voidaan käyttää enintään kahdeksankerroksisen P1-luokan rakennuksen ulkoseinän lämmöneristykseen ja tiivistämiseen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 kohdan 8.3.1 mukaisena rakennustarvikkeena edellyttäen, että ulkoseinään liittyvän osastoivan rakennusosan osastoivuusvaatimus on enintään 60 minuuttia.

Tyyppihyväksynnässä esitetään detaljeja mm. ikkunaliittymien osalta, millä tavoin ne tulee toteuttaa niin, että vaaditut RakMk osan E1 vaatimukset täytetään. Pääperiaatteena detaljeissa on riittävä suojaus eristetilaan. Suojaus voidaan tehdä käyttämällä hyväksi ikkunakarmin tai erillistä palosuojakerrosta. Käytettävä suojaustapa eristeelle riippuu siitä, onko elementti tuulettuva vai ei ja tietyksi ikkunakarmin leveydestä. Tyyppihyväksyntäpäätös on saatavilla SPU Systems Oy:n kotisivuilta, [www.spu.fi](http://www.spu.fi).

### KUIVUMINEN JA ERISTEIDEN URITUSTARVE

PU-eristeiden ilman- ja vesihöyryntiiviyys on hyvä asia, mutta tietyissä tapauksissa rakenteiden kuivumista ajatellen se on myös otettava huomioon.


 4  
 Tyyppihyväksyntädetalji 2B.

PU-eriste sallii kuivumisen vain yhteen suuntaan. Tämä tulee ottaa huomioon pinnoitettaessa, varsinkin, jos pinnoitus tapahtuu tiiviillä pinnoitteella, esim. kosteissa tiloissa.

PU-eristeen urituksen vaikutus BSW-elementin ulkokuoren kuivumiseen on olematon eikä urien käytölle löydy perusteita. VTT:llä tehdyn tutkimuksen mukaan urituksen tarvetta SPU eristeisten betonielementtirakenteiden eristeen ulkopinnassa ei voida perustella muulloin, kuin ulkopinnastaan rajoitetusti vesihöyryn diffuusiota läpäisevissä tapauksissa. Tällaisia tapauksia voi olla esim. suuret luonnonkivilaatat elementin pinnassa. Muissa tapauksissa urien käyttö saattaa jopa heikentää elementtien toimintaa.

### KORJAUSRAKENTAMINEN

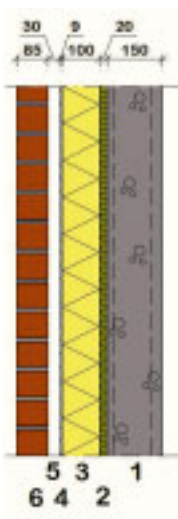
SPU Eristeet soveltuvat myös korjauskohteisiin etenkin, kun halutaan parantaa vanhan kohteen energiatehokkuutta paksuntamatta rakenteita.

Vanha ulkoverhous eristykseen puretaan ja sisäkuori pestään. Suurimmat epätasaisuudet piikataan pois ja syvennykset tasoitetaan. SPU Eristettä voidaan tarvittaessa myös paikallisesti työstää suurimpien epätasaisuuksien kohdalta. Tuuletusrakon sisäpinnalle asetettujen palovaatimusten mukaisesti, voidaan eristeen tuuletustilan puoleisen pinnan palo- ja pintaluokkavaatimus täyttää joko hyväksytyllä mineraalivillalla, tuulensuojakipsi- tai kuitusementtilevyllä riippuen vaatimuksesta.

Palosuojavilla asennetaan SPU Eristeen pintaan muuraustyön yhteydessä tai käytettäessä muuta suojalevyä, se voidaan liimata SPU Eristeeseen kiinni jo tehtäällä. Julkisivuverhouksen tiili toimii seinässä varsinaisena palosuojana. Käytettäessä kevyitä julkisivuja, esim. laattoja, täytyy PU-eristeen pintaan tulevan suojavillan täyttää sille asetettujen palovaatimukset, koska julkisivuverhousta ei katsota palosuojaksi. Ohut villakerros tasoittaa sisäkuoren pieniä epätasaisuuksia sekä puristettuna estää ilman liikkeen SPU-eristeen ja sisäkuoren välissä.

### ENERGIATEHOKKUUS

Polyuretaanieristeet soveltuvat erittäin hyvin matala-, passiivi ja nollaenergiarakennuksiin niin alhaisen lämmönjohtavuuden takia, kuin myös eristyksellä saavutettavan hyvän ilmatiiviuden takia. SPU Eristeillä toteutetuista matala- ja passiiviergiataloista mitatut ilmatiiviyysluvut ovat olleet alle 0,5 1/h, pienimmillään 0,09 1/h.

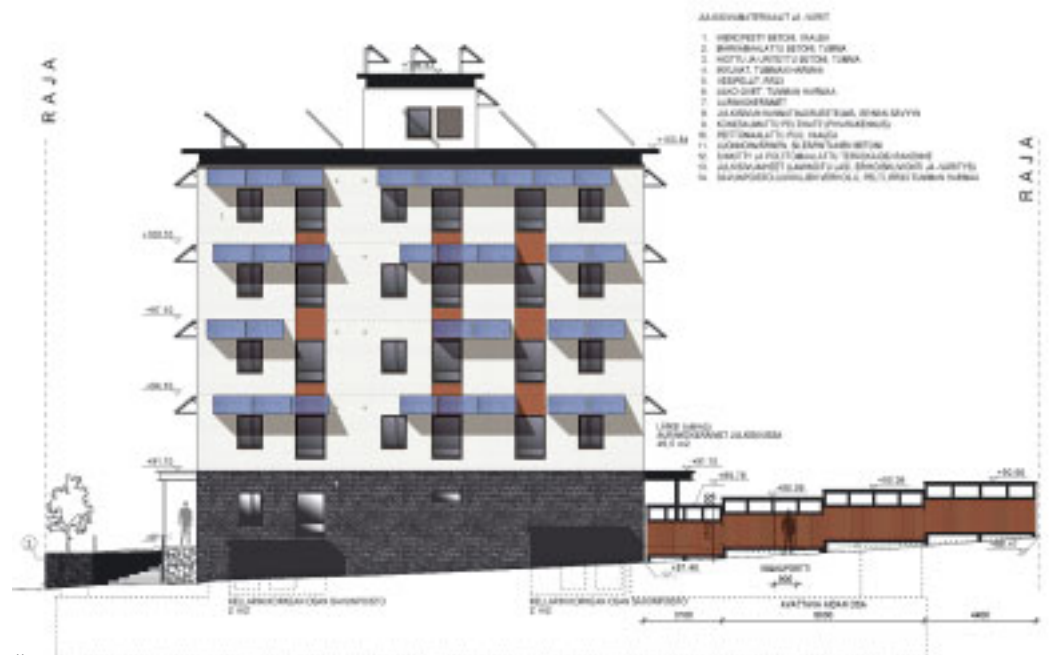


1. Vanha betonisisäkuori
2. Puristettu pehmeä villa >20 mm
3. SPU AL -eriste (paksuus vaaditun U-arvon mukaisesti)
4. Kipsilevy 9 mm tvs. liimattuna SPU Eristelevyyn
5. Tuuletusrako
6. Tiilimuuraus 85 mm (toimii palosuojana)

 5  
 SPU korjausmenetelmä, kipsilevy palosuojana. Tuuletusrakon sisäpinnalle asetettujen palovaatimusten mukaisesti, voidaan eristeen tuuletustilan puoleisen pinnan palo- ja pintaluokkavaatimus täyttää joko hyväksytyllä mineraalivillalla, tuulensuojakipsi- tai kuitusementtilevyllä riippuen vaatimuksesta.



6



6, 7

Kuopion Opiskelija-asunnot Oy:n (Kuopaksen) nollaenergiatalon pilottihanke käynnistyi syksyllä 2009 Kuopiossa. Hankkeessa kehitetään ARA-tuotantoon soveltuvaa kohtuhintaista nollaenergiatalon konseptimallia.

Kuopaksen kohde valmistuu kesällä 2010. Rakennukseen tulee 47 esteetöntä opiskelija-asuntoa. Hanke toteutetaan yhteistyössä ARAn, Kuopaksen, Järvenpään Mestariasunnot Oy:n, Tekesin, Sitran ja VTT:n kanssa.

Talon seinien lämmöneristyksen lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on ainoastaan 0,08 W/m<sup>2</sup>K. Eristeratkaisuna on 300 millimetriä SPU Eristettä.

6

Kuopion nollaenergiatalo rakennusvaiheessa keväällä 2010. Betonielementtien toimittajana ja asennuksesta on vastannut Lujabetoni Oy/Lujatalo Oy.

7

Kuopion nollaenergiatalon julkisivupiirros.

7



Lahden Talot Oy

Sen lisäksi että tiiviit rakenteet säästävät energiaa suoraan pienempinä vuotoina, hyvällä ilmatiiviydellä saadaan betonirakenteiden massiivisuus hyödynnettyä parhaalla mahdollisella tavalla. Tiiviyys on myös edellytys LTO-laitteistojen tehokkaalle toiminnalle. Kaikki nämä osatekijät vaikuttavat sisäilmaan ja -olosuhteisiin.

SPU Eristeillä on toteutettu Suomen ensimmäinen betonielementtirakenteinen matalaenergiakerrostalo. Rakenteilla on myös Suomen ensimmäinen betonielementtirakenteinen nollaenergiakerrostalo. Kuopion asuntomessujen oheiskohdeeksi valittu nollaenergiakerrostalo on seuraava askel passiivirakentamisesta kohti energiaomavaaraista rakennusta. Rakennus perustuu passiivitalolle tyypillisiin energiatehokkaisiin rakenneratkaisuihin, joita täydentää talon oma uusiutuvan energian tuotanto. Talon seinien lämmöneristyksen lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on ainoastaan 0,08 W/m<sup>2</sup>K. Eristeratkaisuna on 300 millimetriä SPU Eristettä. Tehokkaasti eristävän ulkovaipan lisäksi talon energiantarvetta vähentävät muun muassa ilmanvaihdon lämmön talteenottolaitteet ja energiatehokkaat hissit, kodinkoneet ja valaistus-

järjestelmät sekä luonnonvalon tehokas käyttö. Taloon asennetaan myös huoneistokohtainen veden- ja energianmittaus.

#### LÄHTEITÄ:

- Thermal insulation materials made of rigid polyurethane foam (PUR/PIR), Properties-Manufacture. BING Report N1, October 2006.
- Tyypiphyväksyntäpäätös YM158/6221/2007. Ympäristöministeriö 2007.
- Life cycle environmental and economical analysis of polyurethane insulation in low energy buildings. BRE March 2010.
- SPU-eristeen betonisandwich-elementtien uritustarve. Tutkimuslaskelma nro VTT-S-06111-09. VTT, 2009.

#### **SPU INSULATION IMPROVES THE ENERGY EFFICIENCY OF CONCRETE STRUCTURES**

*The industrial production of polyurethane really started in Germany, England and USA after World War II. In Finland the use of polyurethane gained wider ground in the 1960s. Polyurethane replaced almost all other insulation materials in refrigeration appliances in the 1960s. With the introduction of the tighter energy efficiency requirements, the popularity of the material has since 1970s increased at an ever higher rate in the construction industry and as thermal insulation in buildings. The most important advantages of polyurethane include properties related to thermal insulation, airtightness, durability and moisture resistance.*

*Low energy and even passive energy structures implemented using PU insulation are quite thin in comparison with other thermal insulation materials, which translates into considerable savings in both material and work costs. PU insulation retains its properties in the structures without any changes caused by ageing appearing in the basic material. At the end of the life cycle of the building, PU insulation can be reused as e.g. frost insulation.*

*PU insulation only allows drying in one direction, which is something that has to be considered in the application of coatings.*

*Polyurethane insulation materials are well suited to low energy, passive energy and zero energy buildings not only due to their low thermal conductivity but also owing to the excellent airtightness that can be achieved with the insulation. The air-leak rates measured in low energy and passive energy houses implemented using SPU Insulation have been under 0.5 l/h, even down to 0.009 l/h.*

*The first low energy pre-cast concrete apartment building in Finland was also built using SPU Insulation. The first Finnish zero energy pre-cast concrete apartment building is also under construction. The zero energy apartment building chosen as a spin-off project at the Kuopio Housing Fair is the next step from passive construction toward a building self-sufficient in energy.*

Lahden Talot Oy



8, 9

Lahden Talot Oy, Lanssikatu. Rakenteilla oleva Lahden kaupungin omistaman Lanssikadun vuokrataloyhtiön uudiskohde on matalaenergiatalo. Talojen lämmitysmuoto on maalämpö ja lisäksi lämmin käyttövesi tuotetaan osin aurinkokeräimillä.