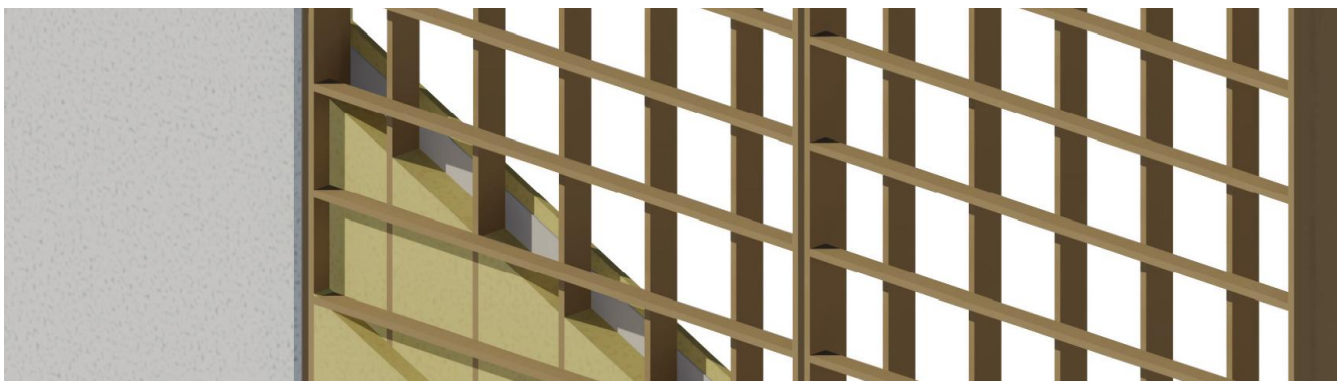


TES *Energy Facade*

ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN PUURUNKOISILLA JA
ESIVALMISTEISILLA JULKISIVUELEMENTEILLÄ

Tutkimushankkeen loppuraportti



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
TEKNISKA HÖGSKOLAN
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TEKNILLINEN KORKEAKOULU TUTKIMUSRYHMÄ

TKK Arkkitehtuurin Laitos / Puurakentamisen oppituoli

professori Pekka Heikkinen, arkkitehti, vastuullinen johtaja
tutkimuspäällikkö Kimmo Lylykangas, arkkitehti
tutkija Yrsa Cronhjort, arkkitehti
oppilasassistentti Anna Kaila, arkkitehti ylioppilas
Juha Lehto, arkkitehti ylioppilas
Ville Riikonen, arkkitehti ylioppilas

TKK Puunjalostustekniikan Laitos/

Puutuotetekniikan laboratorio

professori Matti Kairi, tekniikan tohtori

TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan Laitos / Talonrakennustekniikka

professori Jari Puttonen, tekniikan tohtori
professori Seppo Junnila, tekniikan tohtori
projektipäällikkö Erno Huttunen, diplomi-insinööri
vanhempi tutkija Fahim Al-Neshawy, tekniikan lisensiaatti
laboratorioinsinööri Hannu Hirsi, diplomi-insinööri
tutkija Jukka Piironen, diplomi-insinööri
tutkimusapulainen Markus Derry, tekniikan ylioppilas

TKK Maanmittaustieteiden Laitos/

Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio

professori Henrik Haggren, tekniikan tohtori
tutkija Nina Heiska, diplomi-insinööri
tutkija Milka Nuikka, diplomi-insinööri

TKK Energiatekniikan Laitos /

LVI-tekniikan laboratorio

tutkimuspäällikkö Jarek Kurnitski, tekniikan tohtori

VTT Technical Research Centre of Finland

vanhempi tutkija Jukka Hietaniemi, tekniikan tohtori

Avainsanat:

asuinkerrostalot, energialaskenta, energiatarkastelu, energiatehokkuus, esivalmistus, hiilitase, il-
matiivisuus, julkisivukorjaus, julkisivuelementit, korjausmenetelmä, korjausrakentaminen, korjausrak-
entamisen logistiikka, kosteuden hallinta, lämmöneristävyyden, paloturvallisuus, passiivitalo, puurunko,
retrofitting, suurelementit, tes, tes energy facade, ulkovaippa.

TES *Energy Facade*

ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN PUURUNKOISILLA JA
ESIVALMISTEISILLA JULKISIVUELEMENTEILLÄ

Tutkimushankkeen loppuraportti



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
TEKNISKA HÖGSKOLAN
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ABSTRACT

During 2008-2009 researchers at TKK working in co-operation with German and Norwegian partners realised the research project titled Timber-based element systems for improving the energy efficiency of the building envelope (TES Energy Façade). The goal was to develop a façade renovation method based on large scale, timber based elements for substantial improvement of the energy efficiency of a renovated building, applicable throughout Europe. Buildings targeted for the renovation method included those built between the 1950's and 1980's.

The TES method is a holistic renovation method aimed to increase both energy efficiency and living conditions in existing residential buildings. The method increases the thermal insulation, air tightness and architectural quality of the building with timber based façade elements. Elements are assembled over the existing façade (retrofitting) or replace a demolished, non load bearing façade.

The TES method is based on a high level of prefabrication and chiefly scaffolding free assembly. Prefabrication in the renovation process demands accurate measuring information of the renovation object. Measuring information produced by laser scanning is received in electronic format, and a BIM created based on measuring information is utilized throughout the design process.

The TES method is especially suitable for renovation objects in which façade renovation is necessary for technical or other reasons, the heating energy demand is high and the renewal of the building appearance is considered necessary. These criteria are typically met in apartment buildings built in 1960's or 1970's.

The most efficient measures for reducing the heating energy demand are as follows:

- 1) Efficient heat recovery in ventilation
- 2) Renewal of windows
- 3) Additional thermal insulation to the building façade

With the TES method the energy efficiency of an existing building can be improved to the level of a passive house. It usually requires all of the measures above. To achieve a demanding energy efficiency goal in a renovation project and optimize costs of renovation measures, the utilisation of energy analysis at an early stage of the project is required. The design process is planned and interactive, with the energy consumption and losses analysed continually throughout the process creating a better, more efficient design.

TES elements consist of following structural layers (from inside out): compressing wool , board, air tight layer, thermal insulation and frame, wind protective board, cladding. TES elements have a self load bearing timber frame: the façades of the renovation object may be renewed by changing and modifying façade materials, openings and balconies, ductwork and other building services may be integrated into the elements.

A TES façade can be designed and built without compromising fire safety. If the insulations are of class A2, s1-d0, e.g. mineral wool, the façade fulfills the Finnish fire regulations. If the insulation is of inferior class than A2, s1-d0, e.g. wood-based products, the façade shall be designed so that fire spread is prevented to the insulation, within the external wall, to joints of external walls and the fire-separating building elements. The proper design solutions can be found by using Fire Safety Engineering using modern fire simulation (E1, point 1.3.2).

In the TES method the choice of cladding materials depends on architectural objectives. Limitations are set by fire regulations, planning regulations, possible maximum size and weight of elements.

In TES modernizations the goal should always be to completely avoid moisture damage during manufacturing, transportation and building works of timber based prefabricates. The moisture control plan is always project specific, and is undertaken separately for each building work site.

A CO₂ balance analysis highlights the favourable environmental properties of wood. The best possible environmental outcome is thus achieved by a renovation method leading to a low total primary energy demand and realized with materials and measures causing only a small quantity of CO₂ emissions.

Calculations of lifetime costs of a TES – renovation show that the rate of interest is the most important single factor when evaluating achieved savings in district heating payments.

TIIVISTELMÄ

Teknillisen Korkeakoulun tutkijat toteuttivat saksalaisten ja norjalaisten yhteistyökumppanien kanssa vuosina 2008–2009 tutkimushankkeen Timberbased element systems for improving the energy efficiency of the building envelope (TES Energy Façade). Tutkimushankkeen tavoitteena oli kehittää Euroopan laajuisesti sovellettavissa oleva, puurunkoihin suurelementteihin perustuva julkisivujen korjausmenetelmä jolla pystytään oleellisesti parantamaan korjattavien rakennusten energiatehokkuutta. Tutkimushankkeen kohteena on 1950 -80-luvuilla valmistunut rakennuskanta.

TES - menetelmä on kokonaisvaltainen, asuinrakennuksen energiatehokkuuden ja asumisviihtyvyyden parantamiseen tähtäävä korjausmenetelmä, jossa korjattavan rakennuksen julkisivujen lämmöneristävyyttä, ilmanpitävyyttä ja arkkitehtonista laatua parannetaan puurunkoisilla julkisivuelementeillä. Elementit asennetaan joko olemassa olevan julkisivun päälle (retrofitting), tai puretun, ei-kantavan julkisivun tai sen osan paikalle.

TES - menetelmä perustuu korkeaan esivalmistusasteeseen ja pääsääntöisesti rakennustelinettömään asennukseen. Esivalmistus korjausrakentamisessa edellyttää erityisesti riittävällä tarkkuudella toteutetun mittauksen. Laserkeilaamalla ja täydentävillä geodeettisilla mittauksilla tuotettu mittatieto saadaan suoraan sähköisessä muodossa, ja mittatiedon perusteella luotua tietomallia voidaan hyödyntää koko suunnitteluprosessissa.

TES - menetelmä soveltuu erityisesti korjauskohteisiin, joissa julkisivujen korjaaminen on teknisistä tai muista syistä välttämätöntä, lämmitysenergian tarve on korkea ja rakennuksen ulkonäön uudistaminen koetaan tarpeelliseksi. Nämä kriteerit täyttyvät erityisesti 1960 -70-luvuilla valmistuneissa asuinkerrostaloissa.

Tehokkaimmat toimenpiteet rakennuksen lämmitysenergian tarpeen pienentämiseksi ovat:

- 1) tehokas lämmöntalteenotto ilmanvaihdossa
- 2) ikkunoiden uusiminen
- 3) ulkovaipan lisälämmöneristäminen

Passiivitalon kriteerien saavuttaminen korjauskohteessa on mahdollista ja edellyttää yleensä kaikkia edellä mainittuja toimenpiteitä. Vaativan energiatehokkuustavoitteen saavuttaminen korjauskohteen suunnittelussa ja energiatehokkuutta parantavien korjaustoimenpiteiden kustannusoptimointi edellyttää energialaskennan hyödyntämistä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa suunnittelua, tiivistä suunnitteluyhteistyötä sekä vuorovaikutteista suunnitteluprosessia, jossa energialaskennan ohjaava vaikutus hyödynnetään suunnittelussa.

TES - elementit koostuvat seuraavista rakennekerroksista (lueteltuna sisältä ulos): kokoonpuristuva tasausvilla, rakennuslevy, ilmansulku, lämmöneriste ja runko, tuulensuojalevy, ulkoeristys. TES - elementeissä on itsekantava puurunko: korjattavan rakennuksen julkisivut voidaan uudistaa muuttamalla julkisivumateriaaleja, aukotusta ja parvekkeita, TES - korjaus mahdollistaa rakennuksen kokonaisvaltaisen saneerauksen, jossa talotekniikka-asennuksia tehdään julkisivuelementteihin.

TES - menetelmällä julkisivu on toteutettavissa siten, että se täyttää paloturvallisuusvaatimukset: jos eristeet ovat luokkaa A2, s1-d0, esim. mineraalivilla, julkisivu on sellaisenaan SRMK:n osan E1 luokien ja lukuarvojen mukainen. Jos eristeet ovat tätä alempaa paloluokkaa, esim. puupohjaiset eristeet, tulee suunnitteluratkaisut tehdä siten, että palo ei pääse leviämään eristykseen, ulkoseinärakenteen sisällä, ulkoseinän ja osastoivan rakennusosan liitoksen kautta. Paloturvallisuuden toteutuminen voidaan osoittaa kehittyneen palosimuloinnin avulla (E1, kohta 1.3.2).

TES - menetelmässä julkisivumateriaalin valinta on arkkitehtonisten tavoitteiden ohjaamaa. Valintaa rajoittavat paloturvallisuusmääräykset, mahdolliset kaavamääräykset, mahdollinen elementtien maksimikoko ja paino.

Puupohjaisten esivalmisteiden valmistuksen, kuljetusten ja rakennustöiden aikainen päämäärä on aina oltava välttää kosteusvauriot kokonaan. Kosteudenhallintasuunnitelma on aina hankekohtainen, ja se tehdään yksilöllisesti kullekin työmaalle.

Hiilitasetarkastelu nostaa esiin puun suotuisat ympäristöominaisuudet. Suotuisa ilmastovaikutus saavutetaan alhaiseen primäärienergian tarpeeseen johtavalla korjauksella, joka tapahtuu vähän hiilidioksidipäästöjä aiheuttavien materiaaleja ja menetelmiä käyttäen.

Arvio TES - korjauksella saavutettavasta säästöstä kaukolämmön energiamaksuissa osoittaa että esitettyjen laskelmien perusteella korkokanta on merkittävin yksittäinen tekijä arvioitaessa TES - korjauksella saavutettavaa säästöä kaukolämmön energiamaksuissa.

ALKUSANAT

Teknillisen Korkeakoulun tutkijat toteuttivat saksalaisten ja norjalaisten yhteistyökumppanien kanssa vuosina 2008–2009 tutkimushankkeen Timber-based element systems for improving the energy efficiency of the building envelope (TES Energy Façade). Tutkimushankkeen tavoitteena oli kehittää Euroopan laajuisesti sovellettavissa oleva, puurunkoisiin suurelementteihin perustuva julkisivujen korjausmenetelmä jolla pystytään oleellisesti parantamaan korjattavien rakennusten energiatehokkuutta. Korjausmenetelmän kohteena on 1950 -80-luvuilla valmistunut rakennuskanta, jonka tekninen kunto edellyttää suuria korjaustoimenpiteitä lähitulevaisuudessa. Suomessa korjausrakentamisen suurin energiansäästöpotentiaali liittyy 1960- ja 70-lukujen asuinkerrostalokantaan, joka on erityisesti tarkastelujen kohteena.

TES - menetelmässä rakennuksen ulkovaippaa lisälämmöneristetään esivalmistusta hyödyntäen. Julkisivuelementeillä voidaan samalla parantaa ulkovaipan ilmatiiviyttä, korjauksessa voidaan asentaa uudet ikkunat ja elementteihin voidaan integroida talotekniikka-asennuksia. TES - menetelmällä voidaan siten toteuttaa tyypillisessä korjauskohteessa kaikki vaikuttavuudeltaan tehokkaimmat energiatehokkuutta parantavat korjaustoimenpiteet. Esivalmistuksen ansiosta korjaustoimenpiteistä aiheutuu rakennuksen käyttäjille lyhytaikaisempi häiriö kuin tavanomaisia korjausmenetelmiä käytettäessä. Korjaustoimenpiteiden kustannukset ovat aiempaa tarkemmin ennakoitavissa, ja kosteudenhallinta laadukkaammin toteutettavissa.

TES - hankkeeseen osallistuneet tutkimuslaitokset olivat Technische Universität München (TUM) Saksasta, Norwegian University of Science and Technology (NTNU) Norjasta sekä Teknillinen Korkeakoulu (TKK) Suomesta. Tutkimushankkeen johtajana toimi professori Hermann Kaufmann ja koordinaattorina DI Frank Lattke Technische Universität Münchenistä. Hanke toteutettiin osana Wood-Wisdom.net – tutkimusohjelmaa.

Suomalaistutkijoiden toteuttamaa osiota rahoittivat TEKES sekä seuraavat hankkeeseen osallituneet yritykset ja yhteisöt:

NCC Rakennus Oy
Stora Enso Timber Oy
Woodpolis
Puuinfo Oy
Suomen Kiinteistöliitto
Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA

Suomalaisen tutkimusosion vastuullisena johtajana toimi professori Pekka Heikkinen Teknillisestä korkeakoulusta. Suomalaista tutkimusosiota koordinoivat arkkitehdit Kimmo Lylykangas (2008) ja Yrsa Cronhjort (2009). Tutkimushanke toteutettiin PRA - yhteistyöhankkeena, joka tarkoittaa Puutuotetekniikan, Talonrakennustekniikan ja Puurakentamisen oppituolien monitieteellistä yhteistyötä puurakentamisen tutkimuksessa ja opetuksessa.

Tutkimustyössä avustivat lisäksi Tero Lahtela Insinööritoimisto Lahtela, Jari Virta Suomen Kiinteistöliitto, Mika Vuolle Equa Simulation Finland Oy, sekä laserkeilausasiantuntijat Vahur Joala Nilomark Oy, Jukka Mäkelä Pöyry Environment Oy ja mallintaja Arto Ala-Hiiri Suomen Mallinnummittaus Oy.

Espoossa 31.12.2009

SISÄLTÖ

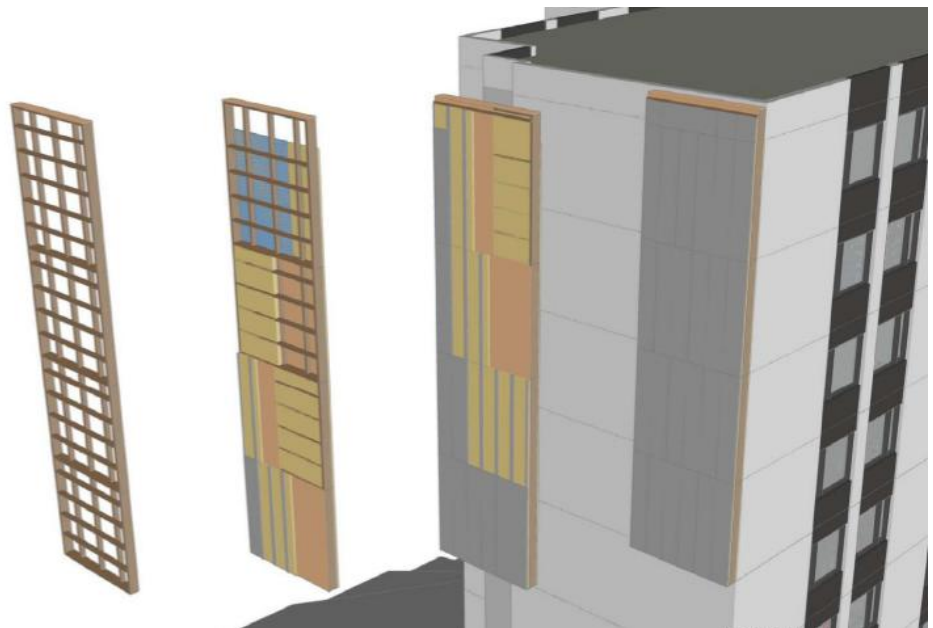
ABSTRACT	
TIIVISTELMÄ	
ALKUSANAT	
SISÄLTÖ	
1 TES - MENETELMÄ	11
1.1 Johdanto	11
1.2 Esivalmistukseen perustuva korjaus	12
1.3 TES - prosessi	12
1.4 Energiatehokkuuden tasokorotus	13
1.5 Arkkitehtuurin uudistaminen	14
2 TES - MENETELMÄN MUKAINEN SUUNNITTELU- JA RAKENNUSPROSESSI	16
2.1 Hankesuunnittelu	16
2.2 Energiatehokkuutta parantavien korjaustoimenpiteiden kustannusoptimointi	16
2.3 Tiedonkulku TES - menetelmän mukaisessa korjaushankkeessa	19
2.3.2 Mittaus ja mallinnus	19
2.3.3 Suunnitteluprosessi TES - menetelmässä	22
2.3.4 Rakennuksen ylläpito	23
2.4 Logistiikka	24
2.4.1 Puuelementtien logistiikan erityispiirteet	24
2.4.2 Julkisivun korjausprosessit	26
3 TES - ELEMENTIT JA TYÖMAAVALMISTELUT	30
3.1 Julkisivuelementtien suunnitteluperiaatteet	30
3.2 Julkisivuelementtien esivalmistusaste	31
3.3 Julkisivuelementtien rakenneosat	32
3.4 Elementointi	33
3.5 Julkisivuelementtien julkisivupinta-vaihtoehdot	34
3.6 Työmaavalmistelut	35
4 PUURAKENTEISTEN JULKISIVUELEMENTTIEN RAKENNUSFYSIKAALINEN TOIMIVUUS	36
4.1 Ilmanpitävyys	36
4.2 Lämpötekkinen toimivuus	36
4.3 Kosteustekkinen toimivuus	38
4.4 Ilmaston ja maantieteellisen sijainnin rakennusfysikaalinen merkitys	38
4.5 Ilmatiiveys energiatehokkuuskorjauksessa	38
5 PALOTURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN TES - MENETELMÄN MUKAISESSA JULKISIVUKORJAUKSESSA	40
5.1 Määräysten mukaisuuden osoittaminen	40
5.2 Paloturvallisuus TES - menetelmässä	40
5.3 Yhteenveto	41
6 ENERGIALASKENTA JA YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN INDIKAATTORIT	42
6.1 Energialaskenta	42
6.2 Energiakulutuksen ympäristövaikutukset	42
7 TES - KORJAUKSEN KÄYTTÖIÄN AIKAISTEN KUSTANNUSTEN LASKENTA	44
7.1 Korjausvaihtoehtojen kustannusten vertailumenetelmät	44
7.2 Arvio TES - korjauksella saavutettavasta säästästä kaukolämmön energiamaksuissa	45
8 TES ESIMERKIT	51
8.1 Pilotti Oulun Pohjankaleva	52
8.2 Energiakäytön laskentaesimerkki	56
8.3 Tyypiesimerkki: Lähiökerrostalon elementointi	59
LÄHTEET	64
LIITE A MALLITYÖSELOSTUS	67
LIITE B TES DETALJIESIMERKKIEN SELOSTUS	71
LIITE C LÄHIÖKERROSTALON ESIMERKKIDETALJIT	73

TES-menetelmän periaate.
Kuva Juha Lehto.

1 TES - MENETELMÄ

1.1 Johdanto

TES - menetelmä on kokonaisvaltainen, asuinrakennuksen energiatehokkuuden ja asumisviihtyvyyden parantamiseen tähtäävä korjausmenetelmä, jossa korjattavan rakennuksen julkisivujen lämmöneristävyyttä, ilmanpitävyyttä ja arkkitehtonista laatua parannetaan puurunkoisilla julkisivuelementeillä. Elementit asennetaan joko olemassa olevan julkisivun päälle, tai puretun, ei-kantavan julkisivun tai sen osan paikalle.



Korjauksessa mahdollisesti uusittavat ikkunat voidaan asentaa seinän syvyyssuunnassa tarkoituksenmukaiseen kohtaan uusien julkisivuelementtien puurunkoon. Julkisivuelementteihin voidaan tehdä talotekniikka-asennuksia, mikä mahdollistaa esimerkiksi ilmanvaihtokanavien reitittämisen ja lämpöpumppuratkaisujen yhteydessä lämpöputkistojen sijoittamisen. Uuden koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen ja tehokkaan lämmöntalteenoton hyödyntäminen parantavat sisäilman laatua ja mahdollistavat rakennuksen energiatehokkuuden tasokorotuksen jopa suomalaisen passiivitalon kriteereiden mukaiseksi. Tavoitteena on rakennusfysikaalisesti riskitön ratkaisu.

TES - menetelmän keskeiset ominaispiirteet ovat:

- energiatehokkuuden tasokorotus
- puupohjaisten materiaalien käyttäminen julkisivuelementeissä
- korkea esivalmistusaste
- nopea työmaavaihe
- uusien mittausmenetelmien hyödyntäminen
- tietomallin hyödyntäminen suunnittelussa, toteutuksessa ja ylläpidossa
- kokonaisvaltaisuus: menetelmä mahdollistaa lisärakentamisen ja laajentamisen, lisäksi esimerkiksi talotekniikkajärjestelmiä ja kiinteistökohtaista energiantuotantoa voidaan integroida julkisivuelementteihin
- korjattavan rakennuksen arkkitehtoninen uudistaminen ja asumisviihtyvyyden parantaminen

1.2 Esivalmistukseen perustuva korjaus

TES - menetelmä perustuu korkeaan esivalmistusasteeseen ja pääsääntöisesti rakennustelineettömään asennukseen. Tavanomaisiin korjausmenetelmiin verrattuna huomattavasti lyhyemmän työmaa-ajan myötä rakennuksen käytölle aiheutuu vähemmän häiriötä, kustannukset ovat ennustettavampia ja kosteudenhallinta koko rakennusprosessin aikana on luotettavammin toteutettavissa.

Korjaustoimenpiteet toteutetaan tyypillisesti kaupunkirakenteessa, jossa työmaa aiheuttaa häiriötä sekä korjattavan rakennuksen että lähistöllä sijaitsevien rakennusten käytölle. Lyhytaikaisemmalla työmaatoteutuksella on huomattava vaikutus asumisviihtyvyyteen sekä korjaustoimenpiteen kannattavuuteen kiinteistön tuotojen (vastikkeet, vuokrat, liiketilöiden kannattava käyttö) kautta.

TES - elementeissä on itsekantava puurunko. Tämä mahdollistaa mm. seuraavat asiat:

- julkisivun lämmöneristävyyttä voidaan parantaa lisäämällä ulkoseiniin tarkoituksenmukainen määrä eristettä, tarvittaessa jopa 300 – 400 mm
- ikkuna-asennus kantaviin, puurunkoisiin elementteihin on helppoa
- talotekniikka-asennuksia voidaan tehdä julkisivuelementteihin
- vanha, ei-kantava julkisivu voidaan tarvittaessa kokonaan poistaa ja korvata TES - elementein
- vanhan julkisivun aukotuksia, julkisivumateriaaleja ja julkisivun arkkitehtoni-
sta jäsennystä voidaan muuttaa
- lisärakentaminen ja huoneistojen laajentaminen on mahdollista samaa menetelmää käyttäen
- parvekkeita voidaan muuttaa, uusia tai niitä voidaan lisätä

TES - elementit valmistetaan hankekohtaisten suunnitelmien mukaan tehtaalla, sisältäen suunnitelmien mukaisesti mahdollisesti valmiiksi asennetun ulkoverhouksen sekä tarvittaessa myös uuden sisäverhouksen. Elementit on mitallistettu valmiina tehtaalla työmaalta saatujen mittojen mukaisiksi. Rakennuksen ulkovai-
pan ilmatiiviyden parantaminen voidaan toteuttaa vähemmän työvaltaisesti kuin huoneistojen sisäpuolelta toteutettavissa tiivistämis-toimenpiteissä.

1.3 TES - prosessi

Esivalmistus korjausrakentamisessa edellyttää yksityiskohtaisia lähtötietoja korjattavasta rakennuskohteesta, erityisesti riittävällä tarkkuudella toteutetun mittauksen. Nykyisillä mittausmenetelmillä laaja ja monimuotoinenkin rakennus voidaan mitata tarkasti, lyhyessä ajassa ja kohtuullisin kustannuksin. Laserkeilaamalla tuotettu mittatieto saadaan suoraan sähköisessä muodossa, ja mittatiedon perusteella luotua tietomallia voidaan hyödyntää koko suunnitteluprosessissa. Simulointityökalujen käyttö liittyy luontevasti tietomalliin perustuvaan suunnittelu-
prosessiin ja tekee energiatehokkuustavoitteiden kannalta välttämättömän kokonaisenergiatarkastelun helpoksi.

TES - menetelmä perustuu vuorovaikutteiseen 3D-suunnitteluprosessiin rakennuksen mittauksesta työmaalle. Tavoitteena on ehdoton mittatarkkuus läpi prosessin, vuorovaikutteinen suunnittelu sekä tietomallin (BIM) hyödyntäminen suunnittelussa, toteutuksessa ja rakennuksen ylläpidossa. Mallipohjainen suunnittelu mahdollistaa myös rakennusfysikaaliset, lujuus- ja valmistustekniset sekä logistiikan simuloinnit.

TES - menetelmällä toteutettavan korjauksen suunnittelu ja toteutus käsittää seuraavat osiot:

hankesuunnittelu

- lähtötietojen kokoaminen
- kuntotutkimus
- elinkaarikustannusten arviointi, energiatehokkuustavoitteen sekä muiden mahdollisten tavoitteiden alustava asettaminen, saavutettavien hyötyjen arviointi
- rahoitussuunnittelu, korjaustyön kustannusarvio

korjaussuunnittelu

- mittaus, ensisijaisesti laserkeilaamalla
- tietomallinnus korjauskohteesta
- arkkitehtisuunnittelu
- energialaskenta, ensisijaisesti energiasimulaatio
- visualisointi
- ATE ja rakennesuunnittelu
- kosteudenhallintasuunnitelma
- paloturvallisuustarkastelut, tarvittaessa palosimulaatio (FSE)

toteutus

- elementtivalmistus
- elementteihin liittyvät talotekniikka-asennukset
- purkutyö
- elementtiasennus
- paikan päällä tehtävät rakennustyöt

1.4 Energiatehokkuuden tasokorotus

TES - menetelmällä parannetaan rakennuksen ulkovaipan lämmöneristävyyttä ja ilmanpitävyyttä. TES - korjaus mahdollistaa myös rakennuksen kokonaisvaltaisen saneerauksen, jossa talotekniikka-asennuksia tehdään julkisivuelementteihin. Tämä avaa uusia mahdollisuuksia esimerkiksi linjasaneerauksen toteuttamiseen, lämpöpumppujen hyödyntämiseen sekä mahdollistaa koneellisen tulo- ja poisto-ilmanvaihtojärjestelmän rakentamisen käyttämällä julkisivuelementtejä reitityksiin, asuntokohtaiset ratkaisut.

Energiatehokkuutta parannetaan tehokkaalla lämmöntalteenotolla ilmanvaihdossa, parantamalla ikkunoiden ja muun ulkovaipan lämmöneristävyyttä sekä varmistamalla ulkovaipan ilmanpitävyys. Korjaustoimenpiteillä tavoiteltava energiatehokkuus määritellään suunnitteluvaiheessa kokonaisenergiatarkastelun kautta.

Tavanomaisessa betonielementtikerrostalossa voidaan TES - menetelmällä säästää suomalaisen passiivitalon kriteerit [Lylykangas Nieminen 2008], jotka ovat:

- 1) tilojen lämmitysenergiantarve on enintään 20 – 30 kWh/m²a sijainnista riippuen
- 2) rakennuksen kokonaisprimäärienergiantarve on enintään 130 - 140 kWh/m²a sijainnista riippuen
- 3) ulkovaipan painekokeessa mitattu ilmavuotoluku n_{50} on enintään 0.6 1/h

Tyypillisessä korjauskohteessa tämä tarkoittaa jopa 80 – 90 % säästöä vuotuisissa tilojen lämmityskustannuksissa. TES - korjauksen energiatehokkuustavoite voidaan hankekohtaisesti asettaa myös vähemmän vaativaksi.

Erilaisin korjaustoimenpitein rakennusten käytöstä aiheutuvaa energiankulutusta voidaan merkittävästi pienentää. Myös itse korjaustoimenpiteistä aiheutuu ympäristökuormitusta: rakentamiseen ja materiaalien valmistukseen käytetyn energian merkitys nousee merkittäväksi, kun tilojen lämmitykseen tarvittava energia pienenee huomattavasti. Korjaustoimenpiteistä aiheutuvaa ympäristökuormaa arvioitaessa puupohjaisten materiaalien käyttöä puoltaa vähäinen materiaaleihin sitoutunut energia ja suotuisa hiilitase.

1.5 Arkkitehtuurin uudistaminen

Yhä useampi tutkimus on nostanut esille kaupunkirakenteen hajautumisen yhdyskuntarakenteen kehittymisen suurimpana ongelmana. Hajautuminen merkitsee suurempaa liikenteen määrää ja infrastruktuurin tehotonta käyttöä. Kaupunkisuunnittelussa etsitään keinoja olemassa olevan kaupunkirakenteen tiivistämiseen, joka voi tapahtua esimerkiksi kattokerroksen lisärakentamisella, korttelikohtaisella täydennysrakentamisella tai rakennuksen tilojen laajentamisella. TES - menetelmällä voidaan toteuttaa kaikki mainitut toimenpiteet. Keski-Euroopassa on myös useita toteutuneita esimerkkejä tehokkuutta lisäävistä toimenpiteistä, jotka on toteutettu puurunkoisia elementtejä hyödyntäen.

TES – menetelmässä uudet julkisivuelementit asennetaan korjattavan julkisivun päälle (retrofitting), purettavan julkisivukerroksen paikalle tai korvaamaan kokonaan purettavaa, ei-kantavaa julkisivua. Korjattavan rakennuksen julkisivut voidaan uudistaa muuttamalla julkisivumateriaaleja, aukotusta ja parvekkeita. TES - menetelmä soveltuu erityisesti korjauskohteisiin, joissa julkisivujen korjaaminen on teknisistä tai muista syistä välttämätöntä, lämmitysenergian tarve on korkea ja rakennuksen ulkonäön uudistaminen koetaan tarpeelliseksi. Nämä kriteerit täyttyvät tyypillisesti 1960 -70-luvuilla rakennetuissa asuinkerrostaloissa, joissa julkisivujen ei-kantavat betoni sandwich elementit ovat tulleet korjausikänsä. 1960- ja 70-lukujen asuinkerrostaloihin liittyy myös suurin energiansäästöpotentiaali.

TES - menetelmällä toteutettavaan korjaushankkeeseen voidaan sisällyttää:

- julkisivujen ja katon korjaus tai uusiminen, lisälämmöneristys ja uudet pintamateriaalit
- ikkunoiden uusiminen, ikkuna-aukotuksen muutokset, parvekeovien lisääminen
- laajentaminen ja lisärakentaminen
- putkistokorjaus
- uudet talotekniikkajärjestelmät, esimerkiksi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto
- parvekkeiden uusiminen tai lisääminen

TES - menetelmällä talon arkkitehtuurin kokonaisvaltainen muutos on mahdollista. Eimerkkinä tyypillisen lähiökerrostalon korjaus tes - elementein, sisältäen lisäkerroksen. Alueen yleisen arvostuksen noustessa osakkeiden hinta nousee ja viihtyisyys paranee.





2 TES - MENETELMÄN MUKAINEN SUUNNITTELU- JA RAKENNUSPROSESSI

2.1 Hankesuunnittelu

TES - menetelmän mukaisen korjausrakentamisprosessin hankesuunnittelun pohjaksi tilaaja kokoaa korjattavaa rakennuskohdetta koskeva lähtöaineisto.

- inventointimateriaali, valokuvaus
- arkistokuvat
- kuntoselvitys
- mahdollinen lämpökuvausraportti
- kiinteistön kokonaisenergian kulutiedot, teknisten järjestelmien tiedot
- muu korjaustyön suunnittelun kannalta oleellinen aineisto

Korjaustyölle asetetaan tarpeita ja budjettia vastaavat tavoitteet, perustuen vaihtoehtojen vertailuun elinkaarilaskelmineen.

- kustannusarvio/budjetti
- korjaustyön laajuus ja tavoitteet
- rakennuksen korjattavien ominaisuuksien kartoitus
- talotekniset tavoitteet
- energiatehokkuustavoite
- arkkitehtoniset tavoitteet

2.2 Energiatehokkuutta parantavien korjaustoimenpiteiden kustannusoptimointi

Korjattavan kohteen energiatehokkuutta ei Suomessa tällä hetkellä ohjata määräyksillä. Korjaushankkeelle asetetaan harvoin varsinaista energiatehokkuustavoitetta. Korjaustoimenpiteen arviointi perustuu yleensä hankekohtaisesti laadittavaan kustannusarvioon ja takaisinmaksuajan laskemiseen. Tarkastelut on syytä kuitenkin aina toteuttaa kokonaisvaltaisina ja suhteuttaa yksittäinen korjaustoimenpide kiinteistön pitkän tähtäimen korjaussuunnitelmaan.

Korjaustoimenpiteen kannattavuuden arviointia hankaloittaa se, ettei energian hinta ole varmuudella ennakoitavissa. Lisäksi useat korjaustoimenpiteet ovat luonteeltaan energiatehokkuuden lisäksi asumisen laatutasoa parantavia, ja aiheutuneen hyödyn hinnoittelu esimerkiksi rakennuksen arvossa on haastavaa.

Energiankulutuksen pienentämisen perimmäinen motiivi on rakennusten käytön haitallisten ympäristö- ja ilmastovaikutusten pienentäminen. Esimerkiksi asunto-osakeyhtiöissä ympäristövaikutukset eivät kuitenkaan yleensä motivoi päätöksentekoa.

TES - menetelmällä voidaan parantaa olevan rakennuksen energiatehokkuutta jopa passiivitaloa vastaavaksi. Energiatodistuksessa tämä merkitsee rakennuksen energiatehokkuusluokan paranemista tyypillisesti luokasta D – G huomattavasti A-luokan kriteereitä paremmaksi. RIL:in matalaenergiakäsikirjan [RIL 249-2009] ehdottamaa luokitusta noudattaen energiatehokkuusluokaksi tulee korjauksen

jälkeen A+ tai A++. Tyypillisessä kerrostalokohteessa tilojen lämmitysenergiantarvetta voidaan pienentää jopa 90 %. Tilojen lämmitys on pohjoisessa ilmastossa suurin yksittäinen energiankulutusta aiheuttava tekijä.

Tehokkaimmat toimenpiteet rakennuksen lämmitysenergiantarpeen pienentämiseksi ovat:

- 1) tehokas lämmöntalteenotto ilmanvaihdossa
- 2) ikkunoiden uusiminen
- 3) ulkovaipan lisälämmöneristäminen

Korjaustoimenpiteiden yhteydessä on varmistettava ulkovaipan riittävä ilmatiiviys.

Passiivitalon kriteerien saavuttaminen korjauskohteessa edellyttää yleensä kaikkia edellä mainittuja toimenpiteitä. Lähtötilanteet voivat kuitenkin olla rakennuskohtaisesti hyvinkin erilaisia, ja energiataarkastelut on tehtävä aina rakennushankekohtaisesti. Energiatehokkuutta parantavien korjaustoimenpiteiden kustannusoptimointi edellyttää korjaussuunnittelun aikana tapahtuvaa energialaskentaa.

Korjaustoimenpiteet

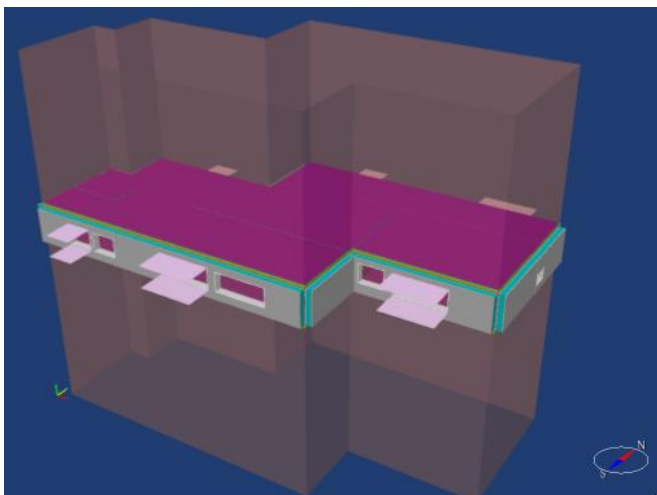
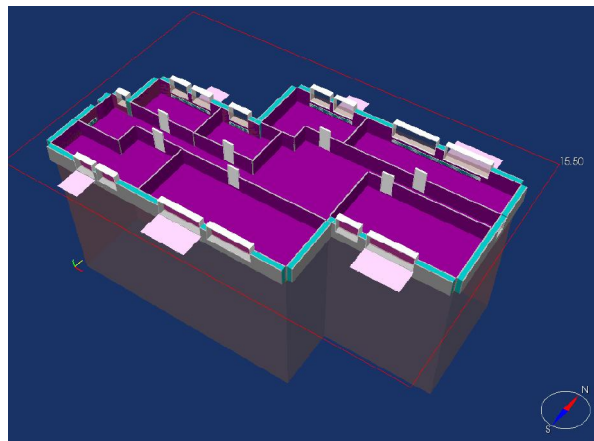
Tehokas lämmöntalteenotto ilmanvaihdossa edellyttää käytännössä koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa, joka puuttuu suurimmasta osasta 1950 - 80-luvuilla valmistuneista asuinrakennuksista. Mikäli tulo- ja poistoilmanvaihtokanavisto on olemassa, lämmöntalteenoton hyötysuhdetta voidaan parantaa uuden ilmanvaihtokoneen avulla. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto voidaan toteuttaa joko keskitetyllä ilmanvaihtokoneella tai huoneistokohtaisilla ilmanvaihtolaitteilla. Suomen Rakentamismääräyskokoelma edellyttää uudisrakennuksilta 30 %:n vuosihyötysuhteella tapahtuvaa lämmöntalteenottoa. Parhaimmillaan vuosihyötysuhde voi olla yli 80 %, mikä vähentää merkittävästi tilojen lämmitysenergiantarvetta normiratkaisuun verrattuna. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen pienentää merkittävästi lämmityskustannuksia, mutta parantaa myös sisäilman laatua. Suuri osa ilmanvaihtokanavista ja jopa huoneistokohtainen ilmanvaihtokone voidaan asentaa valmiiksi TES - elementteihin.

Ikkunoiden uusiminen on tyypillisesti verrattain kannattava korjaustoimenpide, mikäli korvattavien ikkunoiden lämmöneristävyys on huono. Uusimmilla ikkunaratkaisuilla voidaan saavuttaa alle 0.8 W/m²K:n U-arvo. Ikkunoiden uusimisen kannattavuutta korjaustoimenpiteenä tukevat puutteet ikkunoiden teknisessä kunnossa, ulkonäössä tai toimivuudessa. Puuikkunoilla toteutettuna korjauksen hiilidioksidiemissiot ovat huomattavasti pienemmät kuin puu-alumiini-ikkunoilla toteutettuna.

Ulkovaipan lisälämmöneristys ei yleensä ole erillisenä energiatehokkuutta parantavana korjaustoimenpiteenä kannattava. TES - elementeillä toteutettavassa korjauksessa julkisivumateriaali voidaan vaihtaa ja julkisivua voidaan jäsentää uudella tavalla rakennuksen arkkitehtonisen ilmeen parantamiseksi. Etenkin 1960- ja 70-luvuilla rakennetuissa pesubetonielementtitaloissa ulkoseinien lisälämmöneristäminen voidaan tehdä samalla, kun betoni sandwich -elementtien usein huonokuntoinen ulkokuori uusitaan. Lisälämmöneristämisen yhteydessä voidaan myös parantaa ulkovaipan ilmanpitävyyttä. Tilojen lämmitysenergiantarpeen pienentäessä vuotoilman aiheuttamat lämpöhäviöt voivat muodostua merkittäviksi.

Ajoitus

Yksittäisten korjaustoimenpiteiden kannattavuus on aina arvioitava rakennuskohtaisesti huomioiden kaikki mahdollisuudet ja hyödyt, mitä toimenpiteellä saavutetaan. Vastuullinen kiinteistönpito edellyttää energiakatselmusta ja pitkän tähtäimen suunnitelmaa, jossa energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä voidaan toteuttaa myös vaiheittain. Korjausta suunniteltaessa on myös huomioitava toimenpiteen käänteinen vaikutus: mikäli julkisivu korjataan, seuraava realistinen mahdollisuus julkisivujen lisälämmöneristykseen siirtyy vuosikymmenten päähän. Yksittäisen rakennusosan tai teknisen järjestelmän uusiminen kannattaa siten tehdä verrattain korkeaan laatutasoon, jotta korjattu osa tai järjestelmä vastaa myöhemmässäkin vaiheessa energiatehokkuudeltaan alati kiristyviä vaatimuksia ja käytäntöjä. Passiivitalo tarjoaa hyvän vertailutason toteutettavien korjaustoimenpiteiden laatu- ja energiatehokkuustavoitteille.



TES - menetelmä perustuu vuorovaikutteiseen suunnitteluun jossa dynaamista energiasimulointia suositellaan hyödynnettäväksi kohteelle asetetun energia-tehokkuus tavoitteen saavuttamiseksi. Simulointiohjelmaan tuodaan IFC tietomalli jonka perusteella pystytään simuloimaan rakennuksen energiankulutusta vuorokauden ympäri, vuositasolla.

2.3 Tiedonkulku TES - menetelmän mukaisessa korjaushankkeessa

2.3.1 TES tiedonkulku ja suunnitteluprosessi

TES suunnitteluprosessi alkaa 3D mallin siirtymisellä mallintajalta arkkitehtisuunnittelijalle. Suunnitteluprosessi noudattaa Rakennusmääräyskokoelman mukaista työ- ja urakkajakoa. Suunnitteluprosessia edeltää kohteen mittaus ja mallinnus.

2.3.2 Mittaus ja mallinnus

TES - menetelmä edellyttää rakennuksen ulkopuolisen perusverkon luomisen, kohteen ja mahdollisen lähiympäristön laserkeilaamisen sekä kohteen 3D mallinnuksen. Mittaus ja mallinnus voidaan teettää suunnittelusta erillisenä urakkana.

Menetelmän edut:

- tarkat, kattavat ja luotettavat lähtökohdat
- kustannussäästöt (suunnittelu, toteutus)
- hyödyntää ylläpitoa

Perusverkon luonti

Työ kohteessa aloitetaan rakennuksen ulkopuolisten kiintopisteiden määrittelyllä takymetrin avulla. Laadunvarmistus: Raportti kiintopisteiden asettamisesta sekä takymetrin kalibrointitodistus.

Laserkeilaus

TES - menetelmän suunnitteluprosessi alkaa tietomallin luomisella rakennuskohteesta. Mittatarkka malli edellyttää kohteen ja mahdollisen lähiympäristön mittaamista laserkeilaimella tai vastaavalla menetelmällä riittävällä tarkkuudella.

Korjaustyön laajuudesta riippuen laserkeilauksen tuloksia voidaan tilata seuraavasti:

- 1) keilaus, pistepilvien yhdistäminen ja tarvittaessa nimettyjen kohteiden apumallinnus
- 2) keilaus, pistepilven yhdistäminen, kohteen 3D mallinnus pintamallina ja tarvittaessa nimettyjen kohteiden apumallinnus
- 3) keilaus, pistepilvien yhdistäminen, kohteen 3D mallinnus tilavuusmallina tai tietomallina (BIM) ja tarvittaessa nimettyjen kohteiden apumallinnus

Laadunvarmistus: Raportti pistepilven rekisteröinnistä, tulosten välitarkastus.

Välitarkastukseen voidaan käyttää esimerkiksi seuraavia ohjelmistoja: Cloudworks, TruView, Navisworks, Adobe Reader.

Mallinnus

Mittauksen ja mallinnuksen tilaaja/toimeksiantaja toimittaa mallinnukseen tarvittavat tiedot kohteen rakenteista. Mallintaja toimittaa kohteesta 3D mallin rakenteilla, käyttäen 3D objekteja. Lähiympäristön kohteita ja puustoa mallinnetaan tarvittaessa sopimuksen mukaisesti esimerkiksi apumallinnuksena. Malli luovutetaan hankekohtaisessa koordinaatistossa (esimerkiksi rakennuksen koordinaatistossa). Tarvittaessa malliin voidaan sopia liitettäväksi esimerkiksi lämpökamerakuvausten tulokset. Tiedonsiirtoformaatti IFC.

MITTAUS, MALLINNUS JA DIGITAALINEN TIEDONKULKU TES - MENETELMÄSSÄ		
HANKE-SUUNNITTELU LÄHTÖ-AINEISTO	Arkistokuvat Kuntotutkimus Lämpökuvaus Valokuvaus Nykyinen primäärienergian kulutiedot	KORJAUSTYÖN TAVOITTEIDEN ASETTAMINEN, TARPEIDEN KARTOITUS Saavutettavan energiatehokkuuden tavoitteen asettaminen. Budjetin asettaminen. Muiden tarpeiden ja tavoitteiden kartoitus.
INVENTOINTI	MITTAUS Kiintopisteet (Takymetri) • perusverkon luonti, kiintopisteiden määrittely • sijainti rakennuksen ulkopuolella LASERKEILAUUS Pisteväli enintään 5mm. Mittalaitteen ominaisuudet: • kupolimainen mittauslaite (julkisivujen, ympäristön ja huoneiston mittaus) • sektorikeilain (pelkät julkisivut) Pistepilven ominaisuudet: • ikkunasyvennysten molemmat sivut nähtävä pistepilvessä. • enimmäisetäisyys mittauspisteiden välillä 5-10m • mittaussektorin kulma enintään 45 astetta • laitteen mittaustarkkuus: • yksittäisen pisteen virhe enintään 6mm • mittausetäisyys mittauslaitteen valmistajan ohjeiden mukaisesti • pistepilven yhdistämistarkkuus (enintään 10mm) Mallin tarkistus luovutusvaiheessa Lähiympäristön varjostavat elementit keilattava riittävällä tarkkuudella vähintään 50 metrin etäisyydeltä kohteesta. • arvio etäisyydelle h x 5m • ympäröivistä rakennuksista mitataan vähintään etäisyys kohteeseen sekä päämitat • ympäristön puustosta mitataan vähintään rungon sijainti ja puun korkeus (Sisätilojen keilaus) Huoneistotyyppi arkistokuvista	LAADUNVARMISTUS Raportti kiintopisteiden asettamisesta. Takymetrin kalibrointitodistus.
MITTATIEDON KÄSITTELY	PISTEPILVEN ANALYSOINTI Toimitus tilaajalle yhdistettynä pistepilvenä. TruView-mallit tai vastaava. Raportti pistepilven rekisteröinnistä.	LAADUNVARMISTUS Raportti pistepilven rekisteröinnistä Yhdistäminen + georeferointi = rekisteröinti

	MALLINNUS (mittaustuloksista) Tilaaaja toimittaa mallinnuksen apukei- noksi rakennekuvat / -selosteet. Mallinnuksen (voi) suorittaa muu kuin arkkitehti. Mallinnetaan: • talovarusteet • mahdolliset julkisivuelementit mallinnettava erikseen • elementtisaumat • ikkunasyvennykset • seinät • yhtenäiset seinäpinnat mallinnet- tava yhtenä alueena, seinäpin- tojen sisällä yksittäiset elementit mallinnettu • vain 3D objekteja • tarvittaessa lähiympäristön rakennuksista vähintään etäisyys kohteeseen, päämitat (apumal- linnus) • tarvittaessa ympäristön puut vähintään rungon keskipisteen sijainti, korkeus (apumallinnus) Mallinnuksen koordinaatisto sopimuksen mukaan, esimerkiksi: • yksi nurkka tai sivujen jatkeet origossa • pitkä sivu x-akselilla • ei negatiivisia koordinaattiarvoja Mallin toimitus, tulosteet: • IFC-malli • suurin mittapoikkeama • BIM-malli • tarvittaessa lisäksi 3D pdf	VÄLITARKASTUS Tulosten välitarkastus (esim. tilaajan asiantuntijan toimesta)
SUUNNITTELU	Lähtöaineisto + 3D malli IFC tiedos- tona Korjaustyön suunnittelu 3D mallissa (CAD 3D design) Tarvittaessa visualisointi 3D Rakennesuunnittelu 3D TATE suunnittelu 3D Vuorovaikutteinen, dynaaminen ener- giasimulointi (suositeltava) Tarvittaessa palosimulointi (FSE)	LAADUNVARMISTUS Asetetun energiatehokkuuden tavoit- teen saavuttamiseksi edellytettävä dynaamista energiasimulointia
TUOTANTO	3D malli tehtaal- > tarvittaessa 2D tulostus (dwg, dxf)	LAADUNVARMISTUS koeasennus mitoituksen tarkistus
TYÖMAA	4D malli työmaalle Rakennuksen ulkopuolisen perus- verkon (kiintopisteiden) hyödyntämin- en asennusvaiheessa Elektroniset koodit ja kohdistus (RFID tracking)	
YLLÄPITO	4D malli toimeksiantajalle – ”As built” tarvittaessa lisäksi 3D pdf Perusverkon, kiintopisteiden ja dynaamisen energiasimulaation hyö- dyntäminen rakennuksen ylläpidossa	

2.3.3 Suunnitteluprosessi TES - menetelmässä

Luonnossuunnittelu

TES - korjauksen suunnitteluprosessi alkaa tietomallin luovuttamisella mallintajalta arkkitehtisuunnittelijalle. Arkkitehtisuunnittelijalle toimitetaan hankesuunnitteluvaiheessa koottu lähtöaineisto sekä mittauksen ja mallinnuksen tulostus (pistepilvet, 3D malli).

Huomioitavaa TES - menetelmää hyödyntävän korjauskohteen suunnittelussa:

- 0-malli ARK
- uudisrakenteissa vain suorakulmaiset muodot
- vain 3D piirustusobjektit
- rakennetyypit materiaalitiedoilla
- tiedonsiirtoformaattina käytetään ensisijaisesti IFC standardia

TES - elementit suunnitellaan suorakulmaisina siten että elementtien kantava runko sijoittuu kokonaisuudessaan mittaustuloksena syntyneen olevan rakennuksen mallin ulkopuolelle (jos julkisivua puretaan, jäljelle jäävän massan ulkopuolelle). Mallin/pistepilven pisteiden etäisyys suorakulmaisen 3D mallin sisäpinnasta on elementtivalmistajan tarvitsema tieto mittapoikkeamista: tätä käytetään mitoittamaan kokoon painuva eristekerros TES - elementin sisäpinnassa. Jos seinärakenteita puretaan, purkamisesta johtuva muutos rakennuksen ulkomittoihin on huomioitava mallinnuksessa.

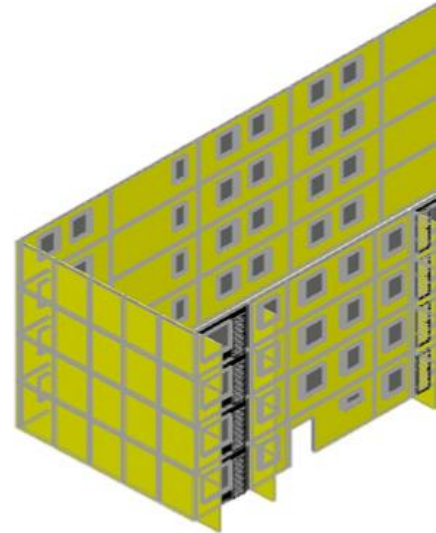
Energialaskenta

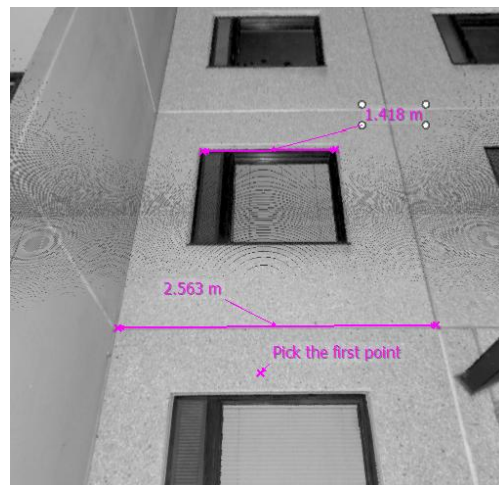
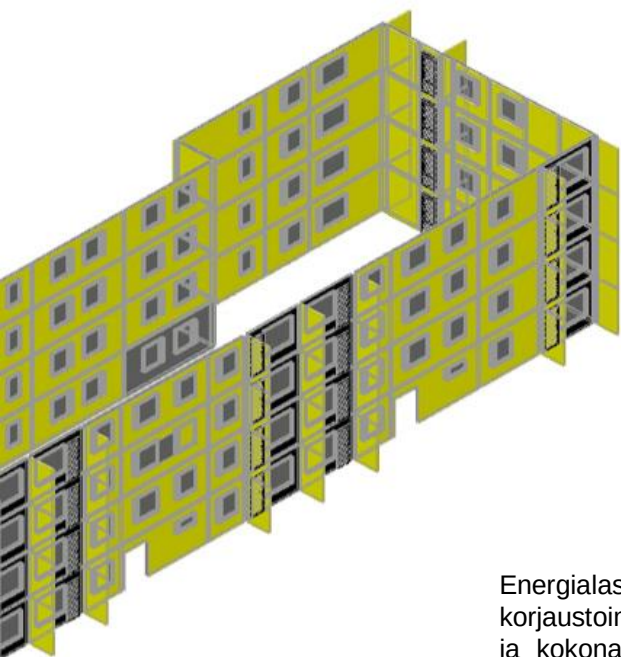
Vaativan energiatehokkuustavoitteen saavuttaminen korjauskohteen suunnittelussa edellyttää tiivistä suunnitteluyhteistyötä sekä vuorovaikutteista suunnitteluprosessia, jossa energialaskennan ohjaava vaikutus hyödynnetään suunnittelussa jo varhaisesta vaiheesta lähtien.

Yksityiskohtaisimmat tiedot suunnitteluratkaisujen vaikutuksesta rakennuksen energiantarpeeseen saadaan käyttämällä energialaskennassa dynaamista simulaatio-ohjelmaa, jonka avulla voidaan energiantarpeen lisäksi tarkastella esimerkiksi huonetilojen sisälämpötiloja eri vuodenaikoina. Simulaatiotyökalun käyttö tukee myös tietomalliin perustuvaa suunnitteluprosessia. Sen sijaan, että rakennusta koskevat tiedot syötettäisiin numeerisessa muodossa laskentaohjelmaan, rakennuksen muotoa, rakenteita ja ikkuna-aukoksia koskeva tieto voidaan tuoda laskentaohjelmaan tietomallina. Suunnitteluratkaisuja kehitetään energialaskennan tulosten perusteella kunnes laskenta osoittaa hankesuunnitteluvaiheessa asetetun energiatehokkuustavoitteen täyttyvän. Laskennan lähtötietojen kokoaminen ja suunnitelmien kehittäminen asetettua tavoitetta vastaavaksi ennen rakennusluvan hakemista on hankkeen pääsuunnittelijan vastuulla.

Lähtötiedot

- säilytettävät, olevat rakenteet
- suunnitellut rakenteelliset korjausmenetelmät ja – tavat (lämmöneristyksen määrä, ikkunoiden U-arvo (+g))
- suunnitellut talotekniset korjaustoimenpiteet
- tiedot lähiympäristön varjostavista elementeistä (esimerkiksi apumallinnus)
- tiedot aurinkokertymästä
- tietomalli, tiedonsiirtoformaatti IFC





Energialaskennan tuloksena suunnittelija saa numeerista tietoa suunniteltujen korjaustoimenpiteiden vaikutuksesta mm. tilojen lämmitysenergiantarpeeseen ja kokonaisprimäärienergiantarpeeseen. Tulosten avulla suunnittelija kehittää ratkaisuja asetetun energiatehokkuustavoitteen saavuttamiseksi, esimerkiksi lisäämällä lämmöneristeen määrää, muuttamalla ikkuna-aukotusta tai tarvittaessa varjostavia elementtejä rakennuksen julkisivuun. Energialaskelma päivitetään tehtyjä muutoksia vastaavaksi, kunnes asetettu energiatehokkuustavoite täyttyy.

Palosimulaatio suunnitteluprosessissa

Suunnittelulle TES - korjaukselle suoritetaan tavanomainen, taulukkomitoitukseen perustuva palotarkastelu. Jos tämä tarkastelu ei sellaisenaan osoita palomääräysten täyttymistä, paloturvallisuus osoitetaan tarvittaessa toiminnallisella palomitoitusmenetelmällä (FSE).

Elementtien tuotanto

Elementtien tuotantoa varten toimitetaan valmistussuunnitelmat, tarvittaessa 2D dwg/dxf tulostein.

4D ominaisuus mallinnuksessa

Mallin 4D ominaisuudella TES - menetelmässä tarkoitetaan aikadimension ja esimerkiksi elementtien asennusjärjestystä osana suunnitteluprosessin lopputuotteena syntyvää tietomallia josta voidaan tulostaa myös asennussuunnitelmat.

TES - menetelmässä suositellaan laserkeilausta mittaustekniikänä erityisesti silloin kun olevaa julkisivupintaa ei pureta. Laserkeilauksella saadaan tehokkaasti ja nopeasti erittäin tarkkaa mittaustietoa rakennuksen muodosta ja esimerkiksi pinnan epätasaisuuksista. Laserkeilauksen lopputuloksena saadaan pistepilvi joka mallinnetaan 3D IFC tietomalliksi. Tarvittaessa apumallinnetaan myös lähiympäristön rakenteita ja muita varjostavia elementtejä kuten puita.

Suosittelavat tiedonsiirtoformaattit

Digitaalinen tiedonkulku perustuu tietomallin sisällön siirtymiseen mallintajalta suunnittelijalle, suunnittelijalta toiselle ja tarvittaessa suunnittelijalta simulaatio-ohjelmiin. Tietomallista tulostetaan myös elementtituotantoa ja työmaata varten tarvittavat tiedostot. TES -menetelmässä suositellaan tietomallin siirtoa IFC standardin mukaisessa formaatissa.

2.3.4 Rakennuksen ylläpito

Rakennuksen ylläpidon ja tulevien korjaustarpeiden suunnittelua varten toimeksiantajan käyttöön toimitetaan katselumalleja BIMistä, tarvittaessa myös 3D pdf tiedosto. Korjausprosessin ensimmäisessä vaiheessa paikan päälle luotu perusverkko jää ympäristöön mahdollisiin tulevaisuuden tarpeisiin.

2.4 Logistiikka

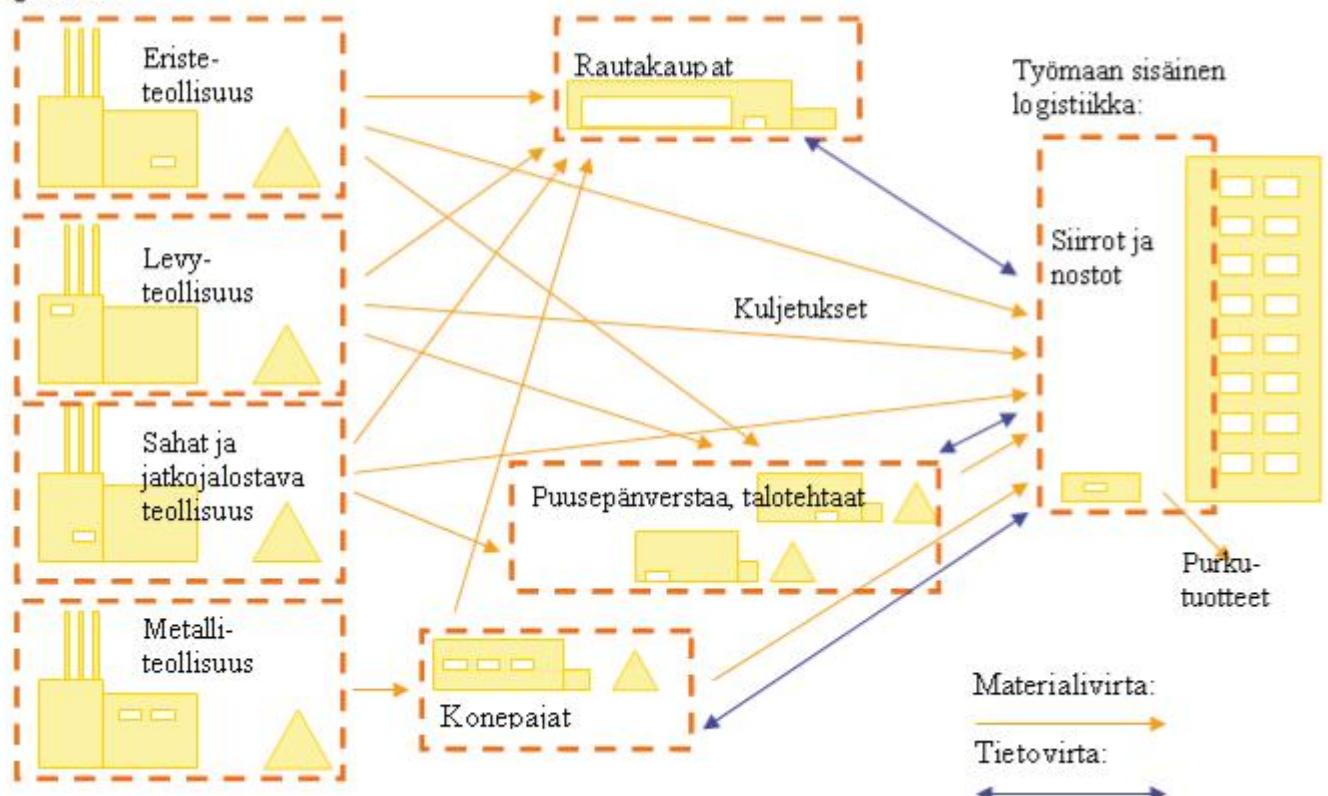
2.4.1 Puuelementtien logistiikan erityispiirteet

Julkisivukorjausten logistiikalla tarkoitetaan julkisivujen korjaustöihin liittyvien yritysten materiaalivirtojen sekä näihin liittyvien pääoma- ja tietovirtojen hallintaa toimitusverkoissa toimivien yritysten välillä. Logistiikka käsittää näiden virtojen suunnittelun, organisoinnin ja ohjauksen, raaka-aineiden hankinnasta tuotteiden loppusijoitukseen saakka. Logistiikka vaikuttaa hyvin suureen osaan toimintoja rakennushankkeessa ja sen järjestelyillä on suuri taloudellinen merkitys.

Logistiikkaverkon avulla voidaan kuvata hankkeen osapuolet, näiden tehtävät ja keskinäiset suhteet sekä logistiikkavirtojen materiaali- ja tietosisällöt. Hankkeen eri toimijoiden muodostama logistiikkaverkko voidaan jakaa teollisuuden sisäiseen logistiikkaan, alihankkijoiden sisäiseen logistiikkaan, kaupan logistiikkaan, kuljetuksiin ja työmaan sisäiseen logistiikkaan.

Logistiikkaverkko voidaan yksinkertaistaa yhden tuotteen, esimerkiksi julkisivuelementin osalta logistiikkaketjuksi, missä on esitetty elementtien valmistus, kokoonpano ja asennustyövaiheet, näiden tehtävien väliset siirrot, välivarastoinnit ja kuljetukset sekä pääoma ja tietovirrät.

Teollisuuden sisäinen logistiikka:

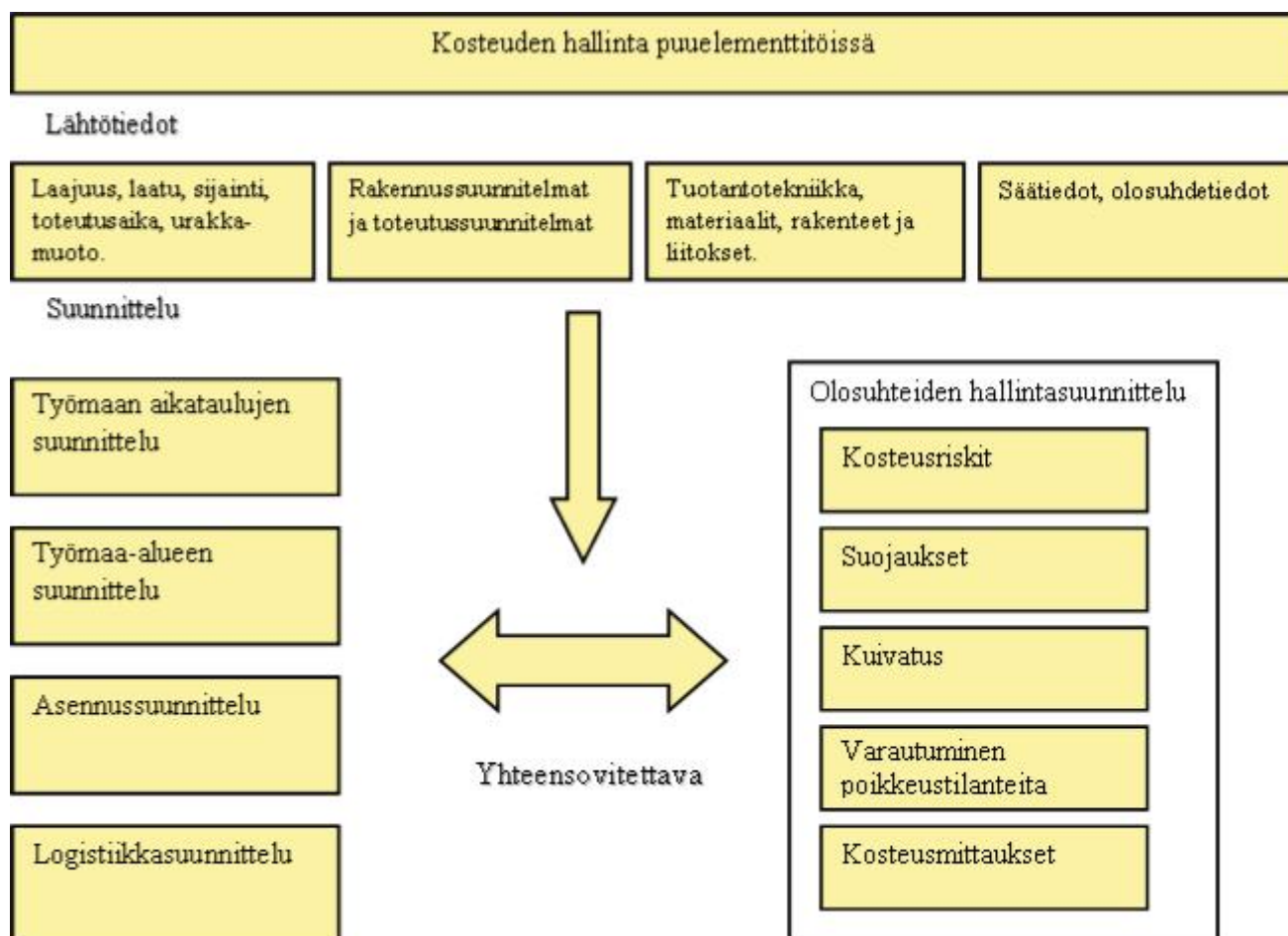
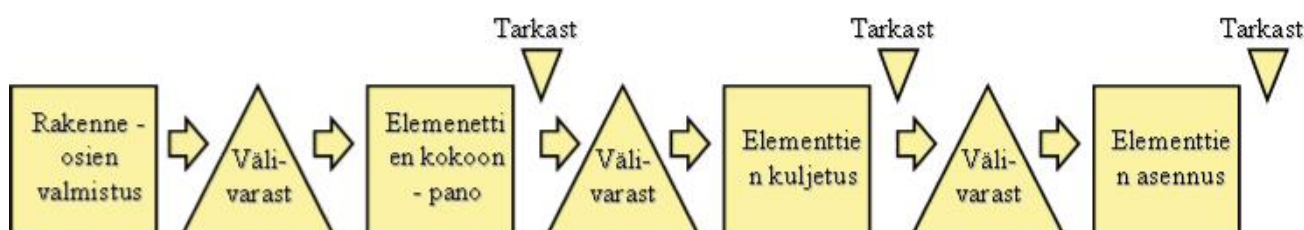


Ylempi kuva: Julkisivukorjausten logistiikkaketju.

Alla: Kosteuden hallintasuunnitelman sisältö puuelementti-työtä varten [Leppänen 2005].

Alhaalla vasemmalla: julkisivukorjauksen logistiikka.

Merkittävin ero puutuotteiden ja muiden rakennustuotteiden logistiikkojen välillä aiheutuu puurakenteiden tarvitsemista kostumisen estävistä suojauksista. Erityisesti tämä koskee rakenteita, joissa on onteloita tai kotelaita ja hyvin eristettyjä rakenteita. Betonirakenteita ja teräsrakenteita on perinteisesti kuljetettu, varastoitu ja asennettu työmaalla ilman minkäänlaisia suojauksia. Sen sijaan puurakenteet on aina suojattava jokaisessa logistiikkaketjun vaiheessa. Logistiikka suunniteltaessa on tehtävä yksityiskohtainen kosteudenhallintasuunnitelma, ja sen toteutusta on huolellisesti valvottava työmaalla. Vastuu kosteuden hallinnan osalta jakaantuu hankkeen urakkasopimuksien ja hankintasopimuksien perusteella. Puurakennusten laadun ja käytettävyyden kannalta on puutuotteiden kosteuden hallinnan koko logistiikkaketjun ajan onnistuttava.



Puupohjaisten esivalmisteiden valmistuksen, kuljetusten ja rakennustöiden aikainen kosteustila on hallittavissa mutta edellyttää aina erityistä paneutumista ja organisointia. Päämääränä on aina oltava välttää kosteusvauriot kokonaan. Kosteuden hallinnan ensisijainen tavoite on suunnitella rakenteet ja rakenteiden liitokset niin, että ne eivät varastoi vettä, ja ne eivät helposti vaurioidu kosteuden vaikutuksesta. Toiseksi puurakenteiden logistiikka on suunniteltava siten, että rakenteiden altistuminen kostumiselle minimoidaan. Lyhytaikainen kastuminen ei aiheuta rakenteisiin kosteusvaurioita, jos kosteus saadaan poistettua nopeasti rakenteiden pinnoilta tai rakenteiden onteloista.

Kosteudenhallintasuunnitelma on aina hankekohtainen, ja se tehdään yksilöllisesti kullekin työmaalle. Kosteuden hallintaan liittyvät tehtävät jaetaan ennakko-suunnitteluun, tehdasvalmistuksen, kuljetuksen ja työmaan aikaisiin toimenpiteisiin, dokumentointiin ja valvontaan. Kosteudenhallintasuunnitelma sisältää mm. kosteusriskien kartoittamisen, rakenteiden kuivumisaika-arviot, työmaaolosuhteiden hallinnan (suojaus ja kuivaus), kosteusmittaus-suunnitelman sekä organisoinnin, seurannan ja valvonnan [Leppänen 2005].

2.4.2 Julkisivun korjausprosessit

Puuelementtien varastointi tehtaalla

Puuelementtien varastointiaika elementtitehtaalla on minimoitava. Varastointia yli kuukauden ajaksi tehtaalla ulko-olosuhteisiin ei voida suositella suojattunakaan. Varastointi katoksen alla ei juuri vähennä kostumista eikä mahdollista pidempää tehdasvarastointia mutta pienentää kastumisvaaraa ja helpottaa elementtien kunnon tarkkailua varastoinnin aikana.

Jos elementit varastoidaan ulos, maapohjana on oltava kuiva, salaojitettu, tassattu sorapeti tai asfaltti. Elementtejä ei saa koskaan varastoida maan varaan. Aluspuina käytetään puusoiroja, joiden avulla elementit nostetaan riittävän ylös, vähintään 250 mm maanpinnasta. Aluspuiden avulla estetään kosteuden tunkeutuminen elementteihin sadeveden, lumen tai rännän kasautumisen seurauksena ja mahdollistetaan hyvä tuuletus. Maasta nouseva kosteus voidaan estää asettamalla varaston alle muovikalvo. Varastointialueella ja suojausten päällä on oltava irtoveden poisjohtamiseksi riittävä kaato.

Pilarit ja palkit suojataan valmistuksen jälkeen ympäriinsä muovilla, ja kaikki saumat teipataan. Paperilla suojaaminen ei riitä. Vaurioitumisherkkä, mittatarkat reunat ja nurkat suojataan tarvittaessa kulmasuojauksin. Elementtien ympärysmuovien lisäksi elementtipinot suojataan vielä yhtenäisillä suojapeitteillä, jotka eivät ulotu maahan saakka ja sallivat säilytyksen aikaisen tuuletuksen. Peitteiden olisi hyvä olla mahdollisimman vaaleita, ettei lämpötila nouse peitteen alla liian korkeaksi. Elementtien mahdollista pinoamista varten suunnitellaan välirimojen käyttö, ja niiden paikat sekä päällekkäisten elementtien sallittu lukumäärä. Elementtien pinoamisjärjestys tulee selvittää asennusjärjestyksen pohjalta. Elementtien päiden eli liitoskohtien suojaaminen on tehtävä erityisellä huolella, ja suojausten pysyvyyttä on valvottava koko toimitusketjun ajan.

Julkisivuelementtien sisäpinnat suojataan tehtaalla yhtenäisillä muoveilla, jotka kiinnitetään tarvittaessa listojen avulla paikoilleen. Muovin tehtävänä on suojata elementtejä ensisijassa likaantumiselta ja sateelta, mutta muovi ei ole riittävä kosteussuoja. Auringon paistaessa muovipakattuihin elementteihin, niiden

alkaessa kuivua, tapahtuu muovin alla kosteuden kondensoitumista yöaikaan. Muovipakkauksien sisäpuolisen vesihöyryn ja kondenssiveden poisto on järjestettävä hallitulla riittävällä tuuletuksella ja elementin suojamuovien alareunan vedenpoistorei'illä. Suojapeitteitä asennettaessa on kiinnitettävä huomiota peitteiden pysyvyyteen, veden ja lumen poisjohtamiseen peitteiden päältä sekä riittävän tuuletuksen järjestämiseen.

Yksittäisessä elementissä on oltava tarpeelliset tunnistetiedot valmistajasta, valmistuspäivästä, elementin painosta sekä merkinnät sen turvallisesta nostamisesta (nostokohdat, nostolenkit). Samoin mahdolliset kiinnitysosat on merkittävä.

Puuelementtien kuljetus ja välivarastointi työmaalla

Puupilarit ja palkit kuljetetaan tehtaalta työmaalle laidattomilla kuljetusajoneuvoilla. Julkisivuelementit kuljetetaan työmaalle alareunansa varassa katetussa kuljetusyksikössä. Elementit suojataan tehdassuojauksen lisäksi suojapeitteillä, joiden kiinnitys on tehtävä erityisen huolella. Mahdolliset tuuletusaukot on suljettava teippaamalla ennen kuljetusta. Vastuu sääsuojauksesta kuuluu kuljetusyhtiölle.

Kosteudenhallintasuunnitelmaan sisällytetään elementtien kuljetuksen osalta selostus käytettävästä kuljetuskalustosta ja kuljetuksen aikaisesta sääsuojauksesta kiinnityksineen. Kuljetuksen aikaisen suojauksen lähtökohtana pidetään elementtien täydellistä suojausta kosteusrasituksilta. Elementtien kuljetuksen aikainen tuenta sekä tarvittava pintojen suojaus tulee selvittää elementtien vaurioitumisvaaran minimoimiseksi.

Lähtökohtaisesti elementtien väliaikaista varastointia työmaalla on vältettävä, sillä ylimääräinen elementtien siirtely saattaa turmella elementtien valmista pintaa ja välivarastoinnin aikana on suuri kostumisvaara. Elementtien asennuksen odotusaika tulee pitää mahdollisimman lyhyenä ja elementit pitää asentaa mahdollisuuksien mukaan suoraan kuljetuskalustosta kohteeseen.

Elementit välivarastoidaan tukien varaan maasta irti vähintään 10 cm ja suojataan tehdassuojauksen lisäksi suojapeitteillä sateelta, tuulelta ja likaantumiselta. Suojaus tehdään siten, että saadaan aikaan riittävä kaato veden poisjohtamiselle elementtien päältä. Julkisivuelementit varastoidaan työmaalla elementtipukkeihin ja peitetään suojapeitteillä.

Elementtien nostot ja asennustyö

Elementti on nostettava ja asennettava asennussuunnitelman ja elementin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Nostoapuvälineiden on oltava tarkastettuja ja niissä on oltava hyväksymis- ja maksimikuormamerkinnät [VaET 2003]. Puset elementit on nostettava leveillä nistorakseilla ja kulmissa on käytettävä lisäksi teräskulmia. Nostoista ei saa jäädä mitään jälkiä elementteihin. Kaikkien nostovälineiden on oltava puhtaita, eikä elementtien päällä saa koskaan kävellä.

Jos suunnitelmista tai ohjeista joudutaan poikkeamaan, on elementtirakentamisessa arvioitava muutoksen vaikutus työn toteuttamisen turvallisuuteen, ja tarvittaessa muutos on hyväksyttävä kyseisen suunnitelman laatijalla ennen töiden jatkamista. Muutokset on merkittävä suunnitelmiin.

Vaikeita nostoja varten on tehtävä erillinen nostotyösuunnitelma. Vaikeita nostoja ovat poikkeuksellisen raskaat nostot (> 20 tn) ja nostettaessa elementtejä useammalla kuin yhdellä nosturilla. Mahdollinen nostosuunnitelma hyväksytetään eri osapuolilla kuten asennussuunnitelma. Tarvittaessa on nostoja varten oltava työmaalla tiedot elementin painopisteen sijainnista. Merkitsemätöntä elementtiä ei saa nostaa, siirtää eikä asentaa ilman luotettavaa erillistä selvitystä.

Elementtien asennuksen yhteydessä tehdassuojaus poistetaan vasta juuri ennen asentamista ja ainoastaan asennuksen kannalta välttämättömistä paikoista. Pila-reiden yläpäästä sekä liitosalueet kokonaisuudessaan suojataan erillisillä muovihu-puilla aina asentamisen jälkeen, jos asennustyö keskeytyy. Julkisivuelementtien saumat on myös aina suojattava asentamisen keskeytyessä.

Jos elementtejä ei päästä asentamaan heti julkisivun purun jälkeen, avoimet tilat, ennen julkisivuelementtien asentamista, suojataan viistosateelta suojapeitteillä kiinnittämällä peitteet seiniin ja tasojen suojakaiteisiin. Julkisivun suojapeitteiden saumojen on oltava tiiviit. Julkisivupeitteiden asennusjärjestys päätetään sääennus-teiden tuulensuuntien mukaan. Talvella lumi poistetaan kaikilta vaakapinnoilta me-kaanisesti lapioimalla ja kolaamalla vahingoittamatta suojauksia.

TES - menetelmässä työmaavai-he on nopea esivalmistuksen johdosta. Logistiikka ja työmaan aikataulutus ovat ratkaisevia tekijöitä projektin hallinnan kann-alta. Kuva Saksassa sijaitsevan pilotti-kohteen Buchloen koulun rakennustyömaalta. Suomessa sijaitsevilla työmailla noudate-taan suomalaisia työturvallisuus-ohjeita. Kuva Frank Lattke.

LÄHTEET:

[VaAKT 1997]	Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä, joka maton kuorma, päämitat ja massa-arvot 670/97
[LMp 1992]	Liikenneministeriön päätös erikoiskuljetuksista ja erikoiskuljetusajoneuvoista 17.12.1992/1715, muutoksineen.
[VaET 2003]	Valtioneuvoston asetus elementtirakentamisen työtur-vallisuudesta 18.6.2003/578
[VpRT 1994]	Valtioneuvoston päätös rakennustyön turvallisuudesta 23.6.1994/629
[RunkoRYL 2000]	Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 2000, Talonrakennuksen runkotyöt. RT 14 – 10652 Rakennustietosäätiö 1998, Rakennustieto Oy.
[Leppänen 2005]	Rakennusaikainen kosteuden hallinta puurakenteisessa toimistotalossa, diplomityö, puunjalostustekniikka, Teknillinen korkeakoulu 2005.
[RATU]	Puulelementtityö, Ratu 53-0262. Rakennustietosäätiö 2003, Rakennustieto Oy.
[STMp 1998]	Sosiaali- ja terveysministeriön päätös työtelineiden ja putoamisen estävien suojarakenteiden käytöstä raken-nustyössä (156/1998).

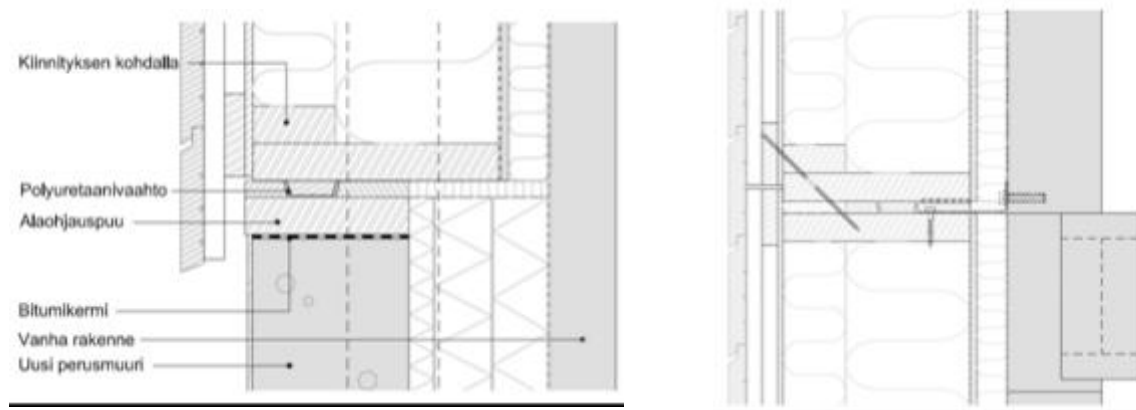


3 TES - ELEMENTIT JA TYÖMAAVALMISTELUT

3.1 Julkisivuelementtien suunnitteluperiaatteet

TES - elementit on suunniteltava vähintään kulloinkin voimassa olevien viranomais määräyksien mukaan. Näiden suunnitteluohjeiden avulla on mahdollista päästä huomattavasti minimitason ylittäviin ratkaisuihin. Suunnittelussa on oleellista kiinnittää huomiota elementtien lämpö- ja kosteustekniseen toimivuuteen, ilmatiiveyteen, akustisiin ominaisuuksiin, kosteusmuodonmuutoksiin, perustamiseen, julkisivuelementtien kiinnityksiin sekä nostojen aikaisiin rasituksiin. Tässä ohjeessa käsitellään TES - elementin kannalta olennaisia suunnitteluperiaatteita sekä huomioon otettavia rakennusteknisiä asioita.

Elementtien runkovaihtoehtoja ovat: monikerroksinen ristiin koolattu tai yksikerroksinen runko. Rangat voivat olla sahatavaraa tai niissä voi olla yksinkertainen lämpökato tai I-profiili ranka. Elementtien rakennevaihtoehdon valintaan vaikuttaa elementin koko ja suunta. Pystysuuntaisilla kapeilla elementeillä voimat siirtyvät pääsääntöisesti elementin reunarakojen kautta, joten elementin sisällä runko voi olla kevyempi, esimerkiksi ristiin koolattu. Vaakasuuruisilla leveillä elementeillä sisällä olevilla rangoilla on suurempi vaikutus elementin kantavuuteen, jolloin myös rakenteen sisällä olevat runkotolpat suunnitellaan kantaviksi. Elementeissä voidaan käyttää kylmäsiltaikutusta pienentävää lämpökato- tai I-profiilirunkotolppia. Elementit jäykistetään rakennuslevyin sisä- ja ulkopuolelta runkoa. Ristiin koolattu runko voidaan jäykistää myös rankakerrosten väliin asennettavilla rakennuslevyillä.



Puurakenteita suunniteltaessa kosteuden vaikutus on merkittävä, koska kosteus aiheuttaa rakenteisiin muodonmuutoksia, esimerkiksi liitoksiin väljistyistä ja elementtien käyristymistä. Siksi jo esisuunnitteluvaiheessa tulee kosteusmuodonmuutokset ottaa huomioon. Elementtien käyristyminen aiheuttaa elementin kiinnityspisteisiin ylimääräisiä ankkurointivoimia, jotka tulee huomioida kiinnityksiä suunniteltaessa. Rakenteet on suunniteltava niin, että kosteusmuodonmuutokset eivät vahingoita niitä. Tämä edellyttää esimerkiksi toleranssien määrittämistä kosteusmuodonmuutoksia varten. Kosteusmuodonmuutokset ovat materiaalista riippuvia. Kertopuulla muodonmuutokset voivat suurilla palkeilla olla noin 5 – 7 mm palkin korkeuden suunnassa (katso VTT Sertifikaatti nro 184/03). Sahatavaraalla muodonmuutokset ovat noin 4 mm palkin korkeuden suunnassa. Kosteudesta johtuvaan puun kutistumiseen ja turpoamiseen vaikuttavat voimakkaasti olosuhteet

Alla kuvat 1 ja 2: Elementin perustaminen uudelle perusmuurille ja oikealla esimerkki TES - elementin kevyestä kiinnitystavasta.

Vastakkaisella sivulla: TES - elementin rakenneperiaate.



missä puu kulloinkin on. Tämän vuoksi kosteusmuodonmuutokset voivat vaihdella huomattavasti käyttöympäristöstä johtuen.

Kosteudesta aiheutuvien muodonmuutosten lisäksi elementteihin on suunniteltava veden poistumisreitit, jotta elementin sisään mahdollisesti päässyt kosteus ei keräännä elementin sisällä rakenteen alareunaan ja aiheuta kosteusvaurioita ja puun lahoamista. Vedenpoistoa varten voidaan mm. tehdä elementin alareunaan pienet reiät, jotta vesi pääsee ulos.

Julkisivuelementtejä varten tehtävän uuden sokkeliperustuksen suunnittelussa tulee varmistua, että perustus on riittävän leveä, jotta puun poikittaista puristuslujuutta ei ylitetä. Elementtien reunoille voidaan tehdä pontit helpottamaan asennusta. Pontit voidaan tehdä kokoponteiksi (kuten kuvassa 1) tai puoliponteiksi. Puolipontit voidaan tehdä koko elementin ympärille elementtien asennusjärjestyksen mukaan.

Elementin kiinnitys välipohjiin tai vastaavaan kantavaan rakenteeseen suunnitellaan tapauskohtaisesti riippuen elementin tuentatavasta. Jos elementti tuetaan maanvaraisilla perustuksilla, kiinnitykset välipohjiin voivat olla kevyitä siten, että elementti pysyy vaakasuunnassa paikallaan (kuva 2). Jos elementit ripustetaan välipohjista, tulee kiinnitysten olla massiivisempia kantaakseen myös pystysuuntaisia kuormia.

Julkisivuelementit tulee suunnitella myös kantamaan oman painonsa nostettaessa elementit kuljetuksen jälkeen tai välivarastosta paikoilleen. Elementtien jäykistyslevyt kiinnityksineen tulee suunnitella kestäämään elementin nostaminen ja kääntäminen, joka voi tapahtua myös vinosti aiheuttaen elementtiin tason suuntaisia leikkausvoimia. Elementin nostokiinnitykset asetetaan elementin ylänurkkiin tai yläreunaan riippuen elementin suunnasta ja runkojärjestelmästä.

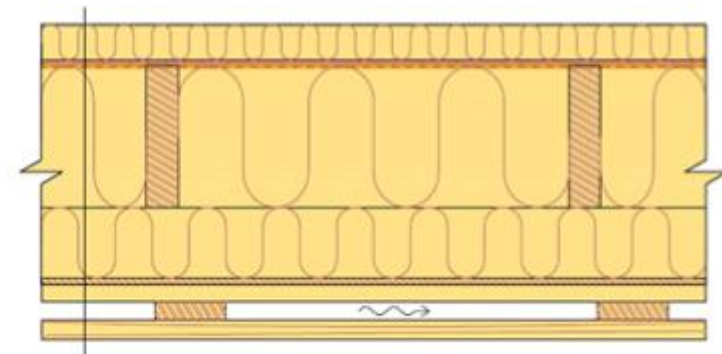
3.2 Julkisivuelementtien esivalmistusaste

Julkisivuelementtien esivalmistusaste on riippuvainen valitusta korjausmenetelmästä.

Korjauksessa, jossa TES - elementit asennetaan suoraan olevan julkisivun päälle, esivalmistus sisältää itse runkoelementin, tasausvillan ja suunnittelijan päätöksen mukaisesti valinnaisesti myös itse julkisivupinnan sekä myös mahdollisia uusia ikkunoita ja ovia.

Jos alkuperäinen julkisivu päätetään poistaa kokonaisuudessaan ja korvata TES -elementeillä, elementtien esivalmistusaste voi sisältää myös valmiin sisäpinnan. Työmaalla peitetään ainoastaan sovitukset.

3.3 Julkisivuelementtien rakenneosat



Ristiin koolatun TES - elementin rakenne. Rakennekerrokset kuvan mukaan ylhäältä alaspäin (sisältä ulospäin):

- kokoonpuristuva tasausvilla
- rakennuslevy
- höyrynsulku
- lämmöneriste ja ranka
- lämmöneriste ja ristikoolaus
- tuulensuojalevy
- tuuletusrako ja ristirimointus
- ulkooverhous

TES - elementeissä on tietyt rakennekerrokset, joihin voidaan valita eri materiaaleja aina kunkin tilanteen mukaan. Elementit koostuvat seuraavista rakennekerroksista (lueteltuna sisältä ulos):

Kokoonpuristuva tasausvilla

Kerros toimii eräänlaisena joustokerroksena, kun elementit asennetaan vanhan epätasaisen rakenteen päälle. Tarkoituksena on varmistaa elementin ja vanhan rakenteen tiivis yhteenliittyminen. Tasausvillan paksuus määritetään kuntotutkimuksien yhteydessä tehtävien pintojen ja rakennusmassan mittausten tuloksien perusteella (pintojen epätasaisuudet, rakennuksen muodon pysty- tai vaakasuuntaiset poikkeamat). Tasausvillan tulee olla helposti kokoonpuristuva, jotta epätasaisuudet saataisiin peittymään ja rakenteeseen ei jäisi rakoja. Tasausvillaa ei tule ottaa huomioon lämpöteknisessä tarkastelussa, koska villa voi olla voimakkaasti kokoon puristunut, jolloin sen lämpötekniset ominaisuudet eivät ole hallittavissa.

Käytettäessä suuria elementtejä, ja kun vanhan rakenteen pinta on hyvin epätasainen, elementti voi olla hankala puristaa oikeaan asentoon kokoonpuristuvan tasausvillan takia. Tällöin vaihtoehtona on jättää vanhan rakenteen ja TES - elementin välille rako, joka täytetään märkäpuhallettavalla eristemateriaalilla. Tällöin täytyy varmistaa, että puhallettava eristemateriaali täyttää koko raon myös seinässä olevien rakojen läheisyydestä.

Rakennuslevy

Elementit jäykistetään ulko- ja sisäpuolisilla levyillä. Sisäpuolinen levy voi olla esimerkiksi kipsilevy, vaneri, OSB -levy tai kova puukuitulevy. Levyn valintaan vaikuttavat palomääräykset (katso RakMK E1 Rakennusten paloturvallisuus). Levy sitoo rungon osat toisiinsa, antaa elementille jäykkyyttä kuljetuksia, nostoja ja kuormia varten sekä toimii myös ilmansulkua suojaavana kerroksena.

Höyrynsulku

Höyrynsulun höyrynläpäisevyys tulee suunnitella riippuen elementin alle jäävästä vanhasta rakenteesta. Jos vanha rakenne on diffuusiotiivis, kuten esimerkiksi betonikuori, höyrynsulkua rakenteessa ei tarvita vaan varmistetaan rakenteen ilmatiivisyys. Jos vanha rakenne ei ole diffuusiotiivis, tulee höyrynsulku asettaa rakenteeseen. Höyrynsulku toimii oikein elementin sisälevyn takana, kun vanhan rakenteen lämmönvastus ei ole liian suuri. Normaaleilla 1950 – 1980 luvun taloilla tämä kriteeri täyttyy helposti. Höyrynsulun tarpeellisuus ja diffuusiovastus

tulee mitoittaa tapauskohtaisesti vähintään yksiulotteisella suhteellisen kosteuden jakaumatarkastelulla.

Lämmöneriste ja runko

Elementin runko voidaan toteuttaa esimerkiksi ristiin koolauksella, I-palkilla tai lämpökatkotpalla. Lämmöneristysmateriaalin valintaan vaikuttavat palomääräykset (katso RakMK E1 Rakennusten paloturvallisuus).

Eristekerroksen paksuus vaikuttaa runkotyyppin valintaan. Paksujen eristekerrosten (n. 250 - 300 mm) tapauksessa on eristekerroksen väliin asennettava rakennuspaperi sisäisen konvektion vähentämiseksi. vapaan eristekerroksen, eli ilman rakennuspaperia, paksuus saa olla enintään 250 mm.

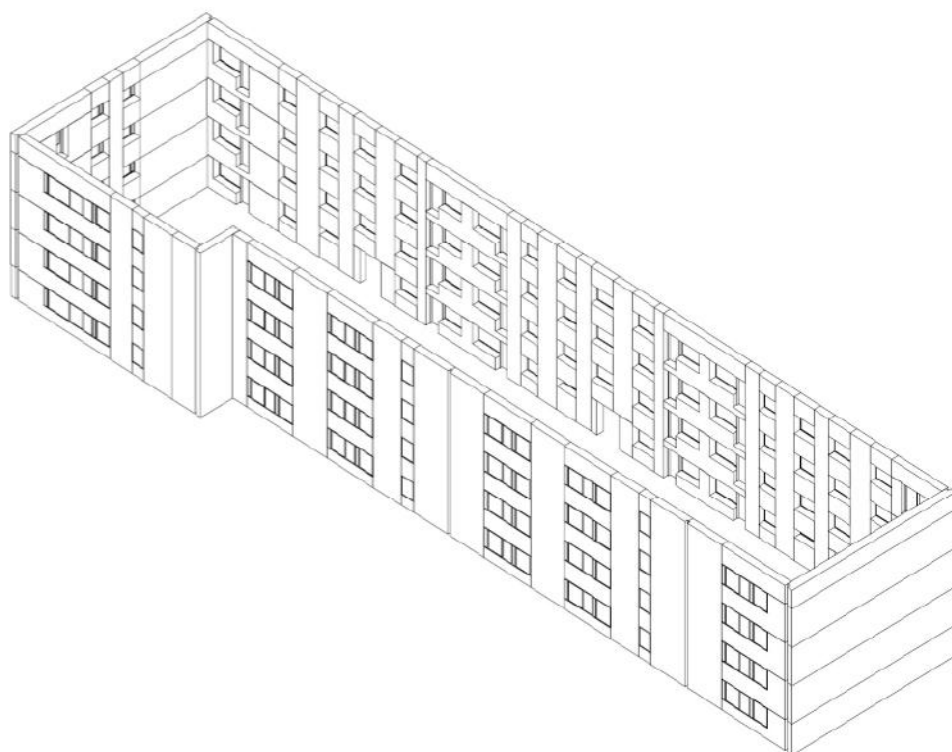
Tuulensuojalevy

Julkisivuelementtien tuulensuojalevynä voidaan käyttää esimerkiksi huokoista puukuitulevyä tai kipsilevyä. Korkeissa rakennuksissa tulee käyttää palamatonta tuulensuojalevyä palomääräysten mukaisesti (katso RakMK E1 Rakennusten paloturvallisuus).

Ulkoverhous

TES -elementtien ulkoverhousmateriaali on, paloturvallisuusmääräysten puitteissa, arkkitehdin vapaasti valittavissa.

Julkisivuelementtien liitokset ovat tyyppidetallien mukaiset ja rakennekerrosten materiaaleista riippumattomat. Tyyppidetallit ovat esitetty liitteessä C.



TES - menetelmässä elementointi voidaan suunnitella vaakatai pystysuuntaisena, riippuen esimerkiksi työmaalogistiikasta ja talon arkkitehtuurista.

3.4 Elementointi

Elementointi suunnitellaan arkkitehtonisista lähtökohdista. Elementointi voi perustua pystyelementteihin, vaakaelementteihin tai näiden yhdistelmiin.

Tässä ohjeessa esiteltävissä esimerkeissä pääperiaatteena on suunnitella pitkät julkisivut pystyelementein, päätyjulkisivut vaakaelementein. Ikkunat asennetaan suoraan elementteihin paikan päällä. Asennus täydennetään kaksiosaisilla, ikkunoiden väliin jälkikäteen asennettavilla pienenäelementeillä, joihin tarvittaessa sijoitetaan esimerkiksi ilmanvaihtolaite.

TES - menetelmä soveltuu hyvin julkisivupinnan uudistamiseen esivalmisteisin menetelmin. Mahdollisuudet ja vaihtoehdot ovat lukemattomia, rajoitteina paloturvallisuus, kaavamääräykset ja arkkitehtoniset tavoitteet.

3.5 Julkisivuelementtien julkisivupinta-vaihtoehdot

TES – menetelmässä julkisivumateriaalin valinta on arkkitehtonisten tavoitteiden ohjaamaa. Valintaa rajoittavat paloturvallisuusmääräykset, mahdolliset kaavamääräykset, mahdollinen elementtien maksimikoko ja paino. TES -elementtien koko määrittyy elementtitehtaan tuotannon mahdollisuuksien, rakennuskohteen mitoituksen ja maantiekuljetusten rajoitusten perusteella. Pääsääntönä voidaan pitää 3500mm x 12000mm:n maksimikokoa. Julkisivujen ulkoverhous voidaan asentaa tehtaalla esivalmisteisena tai tarvittaessa työmaalla.



Puun paloturvallisuus julkisivumateriaalina

P1-paloluokan asuinkerrostalossa puujulkisivujen käyttö taulukkomitoituksen perusteella vaatii automaattista vesisammutusjärjestelmää, sprinklausta ellei paloturvallisuuden toteutumista osoiteta toiminnallisella palomitoituksella.

Puun käyttöä lähiökerrostalossa julkisivumateriaalina on käsitelty laajasti teoksessa Puujulkisivu lähiökerrostalossa. Puu-ulkoverhouksen toteuttamisperiaatteet korjausrakentamisessa [Wood Focus 2005].

3.6 Työmaavalmistelut

TES - korjaus alkaa purettavaksi määriteltyjen julkisivuosien poistamisella. Purkutyön jälkeen julkisivupinta suojataan välittömästi veden- ja tuulenpitävällä, vesihöyryä läpäisevällä tuulensuojakankaalla (Tyvek®-tuulensuojakangas tai vastaava tuote), joka jää pysyväksi osaksi seinärakennetta ja muodostaa ilmatiiviin kerroksen valmiissa rakenteessa.

Tuulensuojakangas asennetaan julkisivupintaan pystysuuntaisesti räystääslinjasta sokkeliin saakka ulottuvina kaistoina. Pystysaumat teipataan ilmatiiviisti tarkoitukseen soveltuvalla teipillä (Tyvek Tape tai vastaava). Tuulensuojakankaan alle jäävät rakenteet on purku- ja asennustyön aikana pyrittävä pitämään kuivina ja säältä suojattuina. Rakennuksen koko ulkovaippa päällystetään kauttaaltaan tuulensuojakankaalla, joka muodostaa yhtenäisen, ilmatiiviin kerroksen valmiiseen rakenteeseen.

Tuulensuojakangas sallii vanhan rakenteen kuivumisen, mutta estää sadeveden tai muun ulkopuolisen kosteuden pääsyn rakenteeseen. Vanhaa rakennetta voidaan tarvittaessa kuivattaa puhaltamalla lämmintä ilmaa tuulensuojakankaan ja vanhan rakenteen väliin. Puhaltimia käytettäessä on varmistettava paloturvallisuudesta. Tuulensuojakangas on palavaa materiaalia.

Elementtiasennuksen ei tarvitse tapahtua välittömästi tuulensuojakankaan asennuksen jälkeen, mutta kuitenkin muutamien kuukausien kuluessa, jotteivät sääolosuhteet aiheuta vaurioita tuulensuojakankaassa. Tuulensuojakankaan ehjänä pysymisestä on varmistettava.

Kangas on hieman läpikuultavaa, joten huoneistoissa ei tule aivan pimeää vaikka kangas peittäisi jonkin aikaa ikkunoitakin. Ikkuna-aukot leikataan kankaaseen ikkuna-asennuksen yhteydessä.

Julkisivuelementtiasennus tehdään suoraan tuulensuojakankaan päälle. Ennen elementtiasennusta kankaan alla olevan rakenteen kosteuspiitoisuus mitataan tarkistusluonteisesti pintakosteusmittarilla eri kohdista julkisivua ja varmistetaan ettei rakenteeseen jää työmaa-aikaista kosteutta. Pintakosteusmittauksesta laaditaan pöytäkirja, josta ilmenee mittauspisteiden määrä ja sijainti julkisivussa, mittaustulokset, mittausajankohta, mittaustilanteessa vallinneet sääolosuhteet, käytetty mittauslaite ja mittauksen tekijä. Mittaushetkellä julkisivupinnan tulee olla tuulensuojakankaan suojaama.

4 PUURAKENTEISTEN JULKISIVUELEMENT-TIEN RAKENNUSFYSIKAALINEN TOIMIVUUS

4.1 Ilmanpitävyys

Laskennassa käytettävä ilmanvuotoluku n_{50} voimassa olevan Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 [SRMK D3 2007] mukaan on 4,0 1/h, vuoden 2010 alusta 2,0 1/h, jos erillisiä mittauksia ei ole suoritettu. Pienen lämmitysenergiantarpeen saavuttaminen vaatii ilmanpitävyyden huolellista varmistamista. Passiivitaloksi korjattavan rakennuksen ilmanvuotoluvun n_{50} tulee olla $< 0,6$ 1/h paineko-keessa mitattuna. Ilmanpitävyyden parantaminen tuo lähes pelkästään positiivisia vaikutuksia rakennuksen ja rakenteiden toimintaan [TTY 2008]. Ilmanpitävyyden parantaminen tuo energiankulutuksessa säästöjä erityisesti ilmanvaihdon tapah- tuessa lämmöntalteenottolaitteiston kautta.

4.2 Lämpötekniinen toimivuus

TES - menetelmän pääasiallinen tarkoitus on lisätä vaipan seinä rakenteen läm- mönvastusta. Passiivitalon kriteerien saavuttamiseksi seinän U-arvojen on yleensä oltava n. 0,08 – 0,15 W/m²K riippuen rakennuksen ympäristöolosuhteista ja käytettävästä talotekniikasta. Alkuperäisen rakenteen mukaan lisättävän läm- möneristekerroksen paksuus tulee olla noin 200 mm – 400 mm (taulukossa 1 on lueteltu TES -elementin lämmönvastuksen lisäys elementin eristekerroksen paksuudesta riippuen).

Taulukko 1: TES -elementin lisäävä lämmönvastus, kun eristeen lämmönjohtavuus oletetaan olevan 0,037 W/mK ja sisäisen konvektion on oletettu huonontavan 10% eristeen lämmönjohtavuutta (vapaa eristetila noin 200 mm).

d [mm]	200	225	250	275	300	325	350	375	400
R[m ² K/W]	4,357	4,890	5,423	5,954	6,489	7,020	7,554	8,086	8,621

Paksujen lämmöneristekerrosten yhteydessä on huomioitava lämmöneristeiden sisäinen konvektio. Sisäinen konvektio heikentää eristeen lämmöneristävyttä ja kuljettaa kosteutta mukanaan. Tämä kosteus saattaa tiivistyä esimerkiksi julkisivelementin kylmiin alanurkkiin. Sisäinen konvektio alkaa vaikuttaa merkittävästi lämmöneristeen lämmönjohtavuuteen, kun eristekerroksen paksuus suurenee 250 mm suuremmaksi [TTY 2008]. Sisäinen konvektio voidaan estää asettamalla eristekerrosten väliin ilmansulkukerroksia. Laskennallisesti se voidaan ottaa huo- mioon pienentämällä eristekerroksen laskennallista lämmönjohtavuutta.

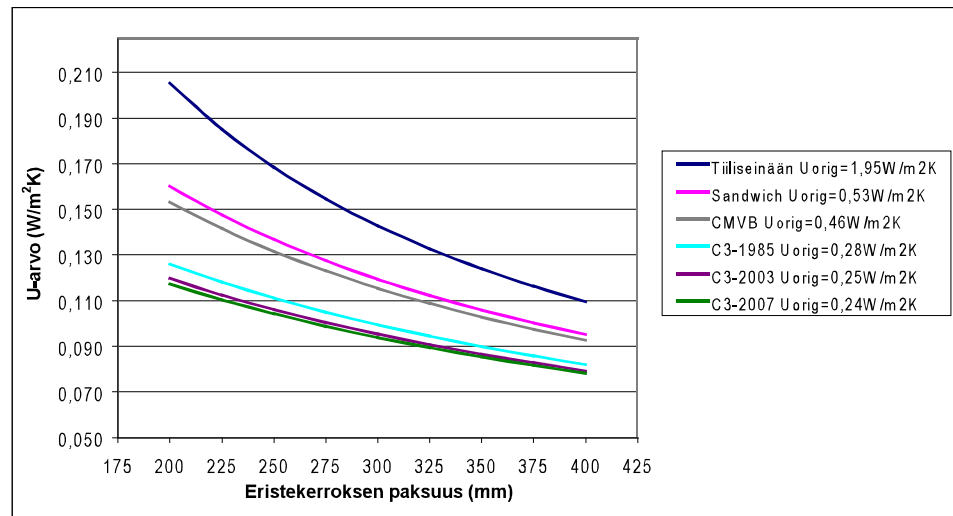
Paksu eristekerros ei vaikuta merkittävästi tuuletusraon toimivuuteen sillä tuule- tusrako toimii jo hyvin pienilläkin, melkein mitättömällä ilmavirtauksilla. Yleisesti tuuli ylläpitää tuuletusraon ilmavirtausta. Kuitenkin jos on tyyni, pienikin lämpövirta sisältä rakenteen läpi lämmittää tuuletusraon ilmaa, mikä aiheuttaa ilman liikkumi- sen tuuletusraossa. Ilmaraon jatkuvuudesta pitää huolehtia erityisesti julkisivun aukkojen kohdalla ja julkisivun verhouksmateriaalin vaihtuessa.

Paloturvallisuuden takia ilmaraon kokoa ei saa kasvattaa liian suureksi. Ilmaraon alapäähän pitää rakentaa riittävä kuristus, joka sallii pienet ilmavirrat mutta ei mahdollista palotilanteessa tulipalon leviämistä ilmaraon kautta. Myös ilmarako

Julkisivun U-arvo TES - elementin eristekerroksen paksuuden mukaan, kun TES - elementti lisätään erilaisten alkuperäis-seinätyyppien päälle.

CMVB = betoninen sisäkuori, vil-lakerros, ilmarako, julkisivu tiili.

tulee palokatkaista paloturvallisuus ohjeiden mukaan.



Runkotolppa vaikuttaa aina epäsuotuisasti rakenteen U-arvoon. Eri runkotolpilla tämä kylmäsiirtavaikutus voi vaihdella huomattavasti. Ohuilla uumapilareilla (I-profiili) sekä lämpökatkotolpilla on pienempi kylmäsiirtavaikutus kuin esimerkiksi sahatavaratolpalla.

Taulukko 2: Runkotolppien kylmäsiirtavaikutukset

Runkotolppa ja jako	Kylmäsiirtavaikutuksen arvo Ψ [W/mK]
Sahatavara 60x300 k600	0,011
Sahatavara 50x250 k500	0,023
Sahatavara 60x240 k600	0,012
I-profiili 58x300 k600	0,004
I-profiili 48x250 k500	0,007

Liitoksia suunniteltaessa täytyy pyrkiä kylmäsiirtojen pienentämiseen. Viivamaisen kylmäsiirran maksimi lisäkonduktanssi tulisi olla luokkaa 0,01 W/mK. Huolellisella liitoksen suunnittelulla voidaan saada aikaan jopa negatiivinen kylmäsiirtavaikutus, jolloin esimerkiksi välipohja lisää ulkoseinän lämmönvastusta. Aina ei kuitenkaan ole mahdollista päästä negatiivisiin kylmäsiirtavaikutuksiin.

Työmaalla tehtävät liitokset tulee aina tiivistää ilmatiiviiksi ilmasulkukerroksen jatkuvuudesta huolehtimalla. Ilmasulku on aina jatkoksissa limitettävä riittävästi ja jatkoksen toiminta on varmistettava päälle asennettavilla, liitospintaa puristavilla kerroksilla tai teippaamalla. Elastisella polyuretaanivaahdolla ei työmaaolosuhteissa aina kyetä varmistamaan saumojen ilmatiiveyttä, jotta haitallinen konvektio ei pääsisi vaikuttamaan rakenteen lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan.

4.3 Kosteustekninen toimivuus

Paksun TES - elementin lisääminen edistää ulkoseinärakenteen kosteusteknistä toimivuutta, kun lämmönvastusta lisätään alkuperäiseen nähden ja rakenteen tiiveydestä huolehditaan. Lämmönvastuksen lisääminen alkuperäisen seinärakenteen päälle nostaa alkuperäisen rakenteen lämpötilan lähelle sisälämpötilaa, mikä nostaa kriittistä vesihöyryn pitoisuutta. Tämä lisää rakenteen kuivumispotentiaalia ja estää kosteuden tiivistymisen rakennuksen nurkissa ja kylmäsiltojen kohdalla.

Rakenteita suunniteltaessa tulee ottaa huomioon kaikki mahdolliset kosteuden lähteet. Näihin kuuluvat mm. sisätiloista diffuusiolla kulkeutuva kosteus ja ulkotilasta konvektion sekä sateen mukana kulkeutuva kosteus. Myös vanhan seinärakenteen alkuperäinen rakennekosteus tulee ottaa huomioon. Esimerkiksi TES - elementtien asennuksessa täytyy varmistua, että vanhassa rakenteesta oleva mahdollinen kosteus pystyy vähitellen kuivumaan pois rakenteesta.

4.4 Ilmaston ja maantieteellisen sijainnin rakennusfysikaalinen merkitys

Ilmastolla on suuri merkitys rakennusfysikaalisen suunnittelun kannalta. Pääsääntöisesti kylmillä ilmastovyöhykkeillä tarvitaan enemmän lämmöneristystä, jotta päästäisiin pieneen kokonaisenergian kulutukseen. Ilmaston kylmyyden lisäämä kosteusriski voidaan välttää käyttämällä kunnollisia höyrynsulkumuoveja ($\mu \geq 10^5$), tiivistämällä höyrynsulkujen reunat kunnolla ja olemalla rikkomatta höyrynsulkumuovia. Höyrynsulkumuovien ja käytettävien tiivistysmenetelmien pitkäaikaiskestävyydestä on varmistuttava.

4.5 Ilmatiiveys energiatehokkuuskorjauksessa

Olemassa olevan rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyyden parantaminen sisäpuolelta käsin merkitsee käytännössä saumojen, ikkuna- ja ovisovitusten sekä läpivientien tiivistämistä työvaltaisoin menetelmin. TES - menetelmässä ilmatiivis kerros asennetaan lähelle uuden julkisivuelementin sisäpintaa.

TES - elementit esivalmistetaan tehdasolosuhteissa ja ilmatiivis kerros suositellaan asennettavaksi itse elementtiin - näin varmistetaan kerroksen ehjyys itse asennusvaiheen jälkeen.
Kuva Knut Larsen.



TES - menetelmä mahdollistaa rakennustelineettömän asennuksen jossa elementit voidaan asenta suoraan lavalta julkisivuun. Kosteudenhallinta läpi prosessin on ensisijaisen tärkeää. Buchloen koulun työmaalla käytettiin esi-valmisteisia suurelementtejä mutta julkisivuverhous tehtiin paikan päällä. Kuva Frank Lattke.



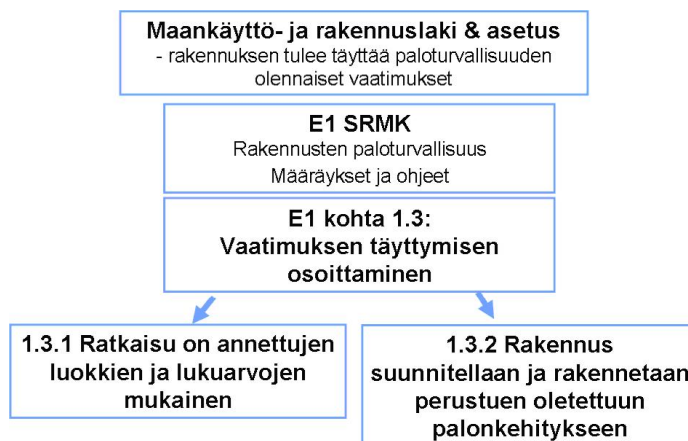
5 PALOTURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN TES - MENETELMÄN MUKAISESSA JULKISIVU- KORJAUKSESSA

5.1 Määräysten mukaisuuden osoittaminen

Suomen paloturvallisuusmääräykset on esitetty Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa E1 Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2002. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.

Olennaiset tekniset vaatimukset koskien rakennusten ja rakennustöiden paloturvallisuutta:

- rakennuksen kantavien rakenteiden tulee palon sattuessa kestää niille asetetun vähimmäisajan;
- palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa tulee olla rajoitettua;
- palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin tulee rajoittaa;
- rakennuksessa olevien henkilöiden on voitava palon sattuessa päästä pois-tumaan rakennuksesta tai heidät on voitava pelastaa muulla tavoin;
- pelastushenkilöstön turvallisuus on rakentamisessa otettava huomioon.



Määräysten toteutuminen kohteessa voidaan osoittaa kahdella tavalla: Ratkaisu on, taulukkomitoituksen perusteella, annettujen luokkien ja lukuarvojen mukainen tai paloturvallisuuden toteutuminen voidaan osoittaa kehittyneen palonsimuloinnin avulla eli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen.

5.2 Paloturvallisuus TES - menetelmässä

Palon kehittymisen rajoittamisen pääsääntö on käyttää rakennuksessa rakennustarvikkeita, jotka eivät myötävaikuta palon kehittymiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla. TES – menetelmän kannalta keskeisiä ovat vaatimukset rakennuksen ulkoseinän osalta. Näitä ovat palo-osastointi, palon rajoittaminen palo-osastoon, palon leviämisen estäminen osastosta, palon kehittymisen rajoittaminen sekä näihin liittyvät rakennusmateriaalien valinnat.

Palon rajoittaminen palo-osastoon

Kukin asuinhuoneisto muodostaa oman palo-osastonsa (luku 5, taulukko 5.2.1). Ulkoseinä ei yleensä ole osastoiva (kohta 7.6.2): ulkoseinän mahdolliset osastoivuusvaatimukset liittyvät palon leviämiseen naapurirakennukseen.

Pääsääntö on että ”palon leviäminen rakennuksesta toiseen ei saa vaarantaa henkilöturvallisuutta eikä aiheuttaa kohtuuttomana pidettäviä taloudellisia eikä yhteiskunnallisia menetyksiä” (kohta 9.1.1). Lisäksi ”rakennusten välisen etäisyyden tulee olla sellainen, että palo ei leviä helposti naapurirakennuksiin ja aluepalon vaara jää vähäiseksi. Jos rakennusten välinen etäisyys on alle 8 metriä, tulee rakenteellisin tai muin keinoin huolehtia palon leviämisen rajoittamisesta” (kohta 9.1.2). Palomuurien mitoitus taulukon 9.2.2. mukaisesti.

Palon leviämisen estäminen osastosta

Ulkoseinät ja parvekkeet on rakennettava niin, että palo ei leviä niiden kautta vaaraa aiheuttavalla tavalla, mikä käytännössä merkitsee sitä, että (7.6.2) ulkoseinärakenteiden suunnittelussa otetaan huomioon:

- palon leviämisvaara ulkoseinän ulkopintaa pitkin
- ulkoseinärakenteen sisällä sekä
- ulkoseinän ja osastoivan rakennusosan liitoksen kautta

Palon kehittymisen rajoittaminen

Yli kaksikerroksisen rakennuksen kantamattoman ulkoseinän runko voidaan tehdä D-s2, d2-luokan rakennustarvikkeesta eli puusta. Jos runko on tehty D-s2, d2-luokan tarvikkeesta, lämmöneristeenä tulee käyttää vähintään A2-s1, d0-luokan tarviketta. (Kohta 8.3.1). P1-luokan rakennuksessa tulee ulkoseinässä pääosin käyttää vähintään B-s1, d0-luokan rakennustarvikkeita.

Lämmöneristys, joka on B-s1, d0-luokkaista huonompaa, tulee suojata ja sijoittaa niin, että

- palon leviäminen eristykseen,
- palo-osastosta toiseen
- rakennuksesta toiseen on estetty.

5.3 Yhteenveto

TES - menetelmällä julkisivu on toteutettavissa siten, että se täyttää paloturvallisuusvaatimukset:

- jos eristeet ovat luokkaa A2, s1-d0, esim. mineraalivilla, julkisivu on sellaisenaan SRMK:n osan E1 luokkien ja lukuarvojen mukainen
- jos eristeet ovat tätä alemmaa paloluokkaa, esim. puupohjaiset eristeet, tulee suunnitteluratkaisut tehdä siten, että palo ei pääse leviämään
 - eristykseen
 - ulkoseinärakenteen sisällä
 - ulkoseinän ja osastoivan rakennusosan liitoksen kautta
- paloturvallisuuden toteutuminen voidaan osoittaa kehittyneen palonsimuloinnin avulla (E1, kohta 1.3.2), FSE

LÄHTEET:

[SRMK E1 2002] E1 SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA
 Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2002.
 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.
 Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja Rakennusosasto. (2002)

6 ENERGIALASKENTA JA YMPÄRISTÖ- VAIKUTUSTEN INDIKAATTORIT

6.1 Energialaskenta

Vaativan energiatehokkuustavoitteen saavuttaminen korjauskohteen suunnittelussa edellyttää energialaskennan hyödyntämistä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa suunnittelua, tiivistä suunnittelu yhteistyötä sekä vuorovaikutteista suunnitteluprosessia, jossa energialaskennan ohjaava vaikutus hyödynnetään suunnittelussa.

Yksityiskohtaisimmat tiedot suunnitteluratkaisujen vaikutuksesta rakennuksen energiantarpeeseen saadaan käyttämällä energialaskennassa dynaamista simulaatio-ohjelmaa, jonka avulla voidaan energiantarpeen lisäksi tarkastella mm. huonetilojen sisälämpötiloja eri vuodenaikoina. Sisätilojen koneellisen viilennystarpeen välttäminen suunnittelun keinoin on tärkeää, kun ulkovaipan lämpöhäviöt pienenevät paremman lämmöneristävyyden ja ilmanpitävyyden myötä. Suuri koneellisen viilennyksen tarve voi mitätöidä lämmitysenergiantarpeessa saavutetut säästöt.

Simulaatiotyökalun käyttö tukee myös tietomalliin perustuvaa suunnitteluprosessia. Sen sijaan, että rakennusta koskevat tiedot syötettäisiin numeerisessa muodossa laskentaohjelmaan, rakennuksen muotoa, rakenteita ja ikkuna-aukokuksia koskeva tieto voidaan tuoda laskentaohjelmaan tietomallina.

Vaihtoehtoisesti suunnittelussa voidaan käyttää kuukausipohjaista laskentamenetelmää esimerkiksi Suomen Rakentamismääräyskokoelman kuvaamalla tavalla. Excel-pohjaista PHPP -laskentaohjelmaa käytettäessä on käytettävä Suomen ilmastoa, määräyksiä ja rakentamisen käytäntöjä vastaavia lähtötietoja.

Rakennuksen kokonaisprimäärienergia

Tilojen lämmitysenergiantarpeen leikkaaminen merkitsee säästöjä ylläpitokustannuksissa. Lämmitysenergiantarpeen pienentyessä passiivitalotaseiseksi lämpimän käyttöveden osuus nousee prosentuaalisesti merkittäväksi osaksi rakennuksen energiantarvetta. Rakennuksen kokonaisprimäärienergiantarve huomioi kaiken rakennuksessa käytetyn energian sekä lisäksi energian laadun. Primäärienergia lasketaan kansallisesti määriteltävien kertoimien avulla. Suomessa kansallisia primäärienergiakertoimia ei ole vielä määritetty.

6.2 Energiakulutuksen ympäristövaikutukset

Energian laadulla on merkitystä erityisesti silloin, kun korjaustoimenpidettä arvioidaan ympäristövaikutusten näkökulmasta. Laajennettuun tarkasteluun tulisi sisällyttää myös itse korjaustoimenpiteen energiankulutus, johon esimerkiksi materiaalinvalinnat vaikuttavat merkittävästi. Korjaustoimenpiteitä ja rakennuksen käyttöä voidaan arvioida myös käyttäen mittayksikkönä yleisintä ilmaston lämpenemistä aiheuttavaa yhdistettä eli hiilidioksidiemissioita. Käytön aikaisen energiankulutuksen pienentäminen merkitsee myös hiilidioksidiemissioiden pienenemistä. Rakennuksessa käytettävän energian laatu vaikuttaa tähän luonnollisesti ratkaisevasti. Rakennuksen kokonaisprimäärienergiantarve ei esimerkiksi sähkön osalta

TES - menetelmällä saavutetaan edullinen hiilitase korjaustyön osalta puumateriaalin käytöllä ja rakennuksen käytön aikaisella energiansäästöllä. Kuvassa toteutunut pilottikohde Risørin koulu Norjassa. Kuva Liv Øvland.

korreloi hiilidioksidipäästöjen kanssa, sillä esimerkiksi sähkön tuottaminen ydinvoimalla ei aiheuta hiilidioksidipäästöjä, mutta sähköllä on silti poikkeuksetta korkea primäärienergiakerroin. Hiilitasetarkastelu nostaa esiin puun suotuisat ympäristöominaisuudet. Energiaintensiivisiä raaka-aineita ja valmistusmenetelmiä käytettäessä korjaustoimenpiteen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt saattavat olla niin suuret, että rakennuksen pienempi lämmitysenergiantarve kompensoi korjauksen aiheuttamat CO₂- päästöt vasta erittäin pitkän ajan kuluttua. Suotuisa ilmastovaikutus saavutetaan siten alhaiseen primäärienergiantarpeeseen johtavalla korjauksella, joka tapahtuu vähän hiilidioksidipäästöjä aiheuttavien materiaaleja ja menetelmiä käyttäen.



7 TES - KORJAUKSEN KÄYTTÖIÄN AIKAISTEN KUSTANNUSTEN LASKENTA

Rakennuskorjauksista aiheutuu kustannuksia sekä rakentamisen aikana että myöhemmin rakennuksen käytön aikana. Eri korjaustapavaihtoehtojen kustannuksia vertailtaessa on otettava huomioon kaikki käyttöiän tai valittavan tarkasteluajan jakson aikana aiheutuvat kustannukset. TES -korjausten kustannusten laskentaan sisältyvät tällöin:

- rakennuskustannukset,
- kunnossapitokustannukset,
- hoitokustannukset,
- tarkastelujakson pituus,
- laskentakorko ja
- mahdollinen jäännösarvo.

Tässä ei ole huomioitu eikä arvottu julkisivun korjauksella saavutettavia mahdollisia asukkaiden viihtyvyyteen, rakennusten ulkonäköön tai arvostukseen tai muihin vastaaviin seikkoihin vaikuttavia muutoksia.

7.1 Korjausvaihtoehtojen kustannusten vertailumenetelmät

Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmä on laskentakorkokannan käyttöön perustuva investointilaskentamenetelmä. Nykyarvo- eli diskonttausmenetelmällä saadaan eri aikoina tapahtuvat kustannukset vertailukelpoisiksi.

Nykyarvomenetelmässä korjaustoimenpiteen kaikki kustannukset sekä haluttaessa korjatun rakenteen, rakennusosan tms. jäännösarvo diskontataan nykyhetkeen valitun korkokannan ja tarkasteluajan perusteella. Korjaustoimenpide saat-
taa vaikuttaa myös hoitokustannuksiin, esim. julkisivun lisälämmöneristäminen vähentää rakennuksen lämmitysenergian tarvetta. Kustannusvertailua tehtäessä kustannuksiin sisällytetään tällöin sekä korjaustoimenpiteen rakennuskustannus että korjatun rakenteen kunnossapito- ja hoitokustannukset. Korjaustoimenpiteen korjauskustannuksen nykyarvo lasketaan yhtälöllä:

$$KK_{NY} = R_{NY} + K_{NY} + H_{NY} - J_{NY}$$

jossa

KK_{NY}	on korjauskustannuksen nykyarvo [€],
R_{NY}	on rakennuskustannusten nykyarvo [€],
K_{NY}	on kunnossapitokustannusten nykyarvo [€],
H_{NY}	on hoitokustannusten nykyarvo [€] ja
J_{NY}	on jäännösarvon nykyarvo [€].

Rakennuskustannus on kertasuoritus, joka syntyy korjaustoimenpiteestä. Kunnossapitokustannus on tietyn väliajoin syntyvä rakenteen, rakennusosan tms. ylläpidosta aiheutuva kustannus.

Kunnossapitokustannuksen nykyarvo lasketaan yhtälöllä:

$$\text{jossa } K_{NY} = \text{Summa } K_i (1 / (1 + r)^i) = K_i \times d_i,$$

K_{NY} on kunnossapitokustannusten nykyarvo [€],
 K_i on kunnossapitokustannus vuonna i [€],
 r valittu korkokanta [%],
 i vuosi, jolloin kunnossapitotoimenpide tehdään [a] ja
 d_i diskonttaustekijä [-].

Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmäkin on laskentakorkokannan käyttöön perustuva investointilaskentamenetelmä. Tässä menetelmässä korjaustoimenpiteen kaikki kustannukset muunnetaan yhtä suuriksi vuosimaksuiksi eli annuiteeteiksi.

7.2 Arvio TES - korjauksella saavutettavasta säästöstä kaukolämmön energiamaksuissa

Ulkoseinän lisälämmöneristämisen kannattavuuden arviointi

Lisälämmöneristämällä saavutettavaan kustannussäästöön vaikuttavat:

- toteutunut lämmitysenergian säästö,
- lämmitysenergian hinta,
- tarkastelujakson pituus ja
- vallitseva korkokanta.

Ulkoseinän lisälämmöneristämisestä aiheutuva lämmitysenergian tarpeen väheneminen voidaan laskea yhtälöllä:

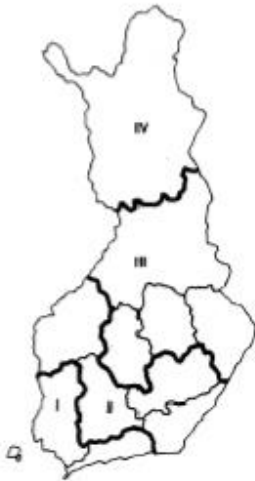
$$Q_{s, \text{delta}} = a \times 120 \times \sum A_n \times (U_1 - U_2)$$

jossa $Q_{s, \text{delta}}$ on rakennuksen vaipan läpi johtuvan energian väheneminen [kWh],
 a on astepäivälukukerroin ($= S_D / 5000$) [-],
 S_D on normaalivuoden astepäiväluku [Kd],
 120 on muuntokerroin, 103 Kh. Kun U -arvo on 1 W/m²K ja astepäiväluku on 5000 Kd, johtuu vaipan läpi energiaa 120 kWh/ m²,
 A_n on kyseisen rakennusosan pinta-ala [m²],
 U_1 on kyseisen rakennusosan alkuperäinen lämmön läpäisykerroin [W/m²K] ja
 U_2 on kyseisen rakennusosan lämmönläpäisykerroin lisäeristettynä [W/m²K].

Normaalivuoden astepäiväluku S_{20} vuotta kohden eri ilmastoluokissa on esitetty taulukossa ja ilmastovyöhykkeet on esitetty kuvassa.

Normaalivuoden astepäiväluku S_{20} eri ilmastovyöhykkeissä.

	Astepäiväluku, S_{20} [Kd]			
	Ilmas- tovyöhyke I	Ilmas- tovyöhyke II	Ilmas- tovyöhyke III	Ilmas- tovyöhyke IV
Vuosi	5577	5855	6278	7600

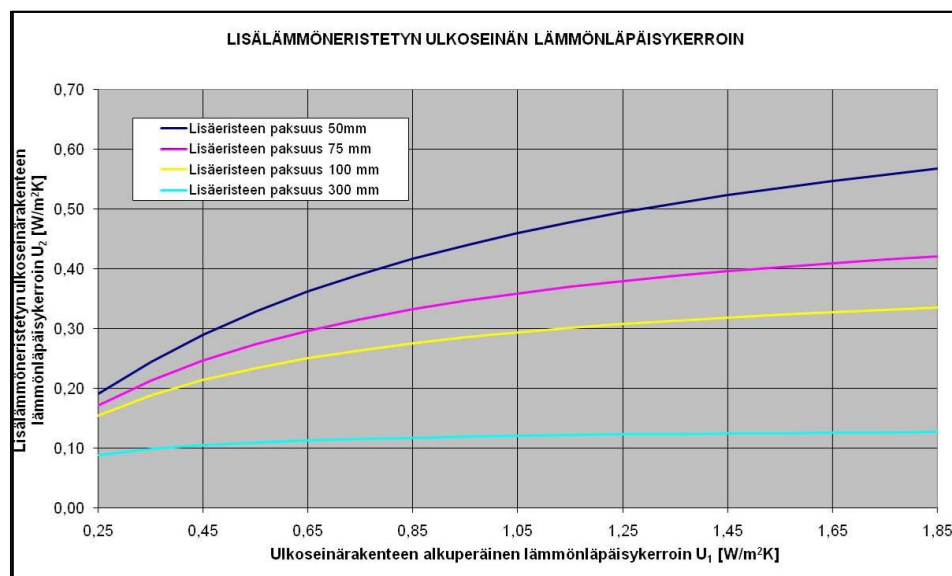


Ilmastovyöhykkeet.

Kuvassa on esitetty eri lisälämmöneristeen paksuuksilla saavutettava lisälämmöneristetyin ulkoseinän lämmönläpäisykerroin (W/m^2K).

Lisälämmöneristämisen tehokkuus käytettäessä samaa lisäeristeen paksuutta kasvaa kuvan 2 mukaan huomattavasti alkuperäisen ulkoseinän lämmönläpäisykerroimen kasvaessa (tavanomaiset lisäeristeen paksuudet):

- alkuperäinen ulkoseinän lämmönläpäisykerroin $0,45 W/m^2K$ pienenee $75 mm$ lisäeristeellä arvoon $0,25 W/m^2$,
- ulkoseinä, jonka alkuperäinen lämmönläpäisykerroin on $0,75 W/m^2K$ pienenee $75 mm$ lisäeristeellä arvoon $0,32 W/m^2$,
- lämmönläpäisykerroimen absoluuttinen pieneminen on jälkimmäisessä tapauksessa $2,15$ kertaa suurempi,
- huomattavan paksuilla lisäeristekerroksilla alkuperäisen ulkoseinän lämmönläpäisykerroimen vaikutus lisäeristetyin ulkoseinän lämmönläpäisyyn miltei merkityksetön.



Kuva 2. Lisälämmöneristetyin ulkoseinän lämmönläpäisevyys eri lisäeristepaksuuksilla. Lisäeristeen lämmönjohtavuus, $\lambda = 0,041 W/mK$.

TES - korjauksella saavutettava säästö kaukolämmön energiamaksuissa on seuraavassa laskettu nykyarvomenetelmällä. Laskenta on perustunut seuraaviin olettamuksiin:

- rakennus sijaitsee Oulussa
- kerroksen pinta-ala 389,50 m²
- rakennuksen korkeus 26 m
- alkuperäinen lämmitysenergian kulutus 165 kWh/m² (arvioitu nykyinen kulutus 57 kWh/m³) tai 130 kWh/m²,
- korjaustoimenpiteillä saavutettava lämmitysenergian kulutus 35 kWh/m² (TES - korjauksen tavoite) tai 50 kWh/m²,
- tarkastelujaksojen pituus 40 vuotta,
- kaukolämmön energiamaksun vuosittainen korotus 3 % tai 5 %,
- kaukolämmön perusmaksua ei huomioida (osuus 20-30% kaukolämpölaskusta)
- nykyarvolaskennan reaalikorkokanta 3 % tai 5 %,
- lämmitysenergian energiamaksu 26, 30, 35, 40, 45, 50, 55 tai 60 €/MWh.

Oulun Energian ilmoittamat tämänhetkiset kaukolämmön energiamaksut esimerkissä käytetyn kokoiselle rakennukselle ovat (ei sis. alv):

- Oulun runkoverkon alueelle 26,40 €/MWh,

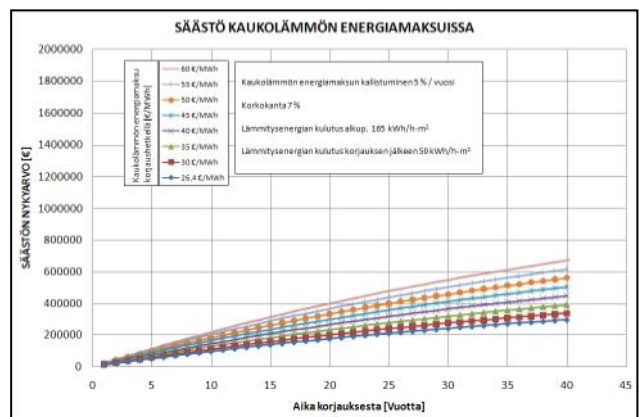
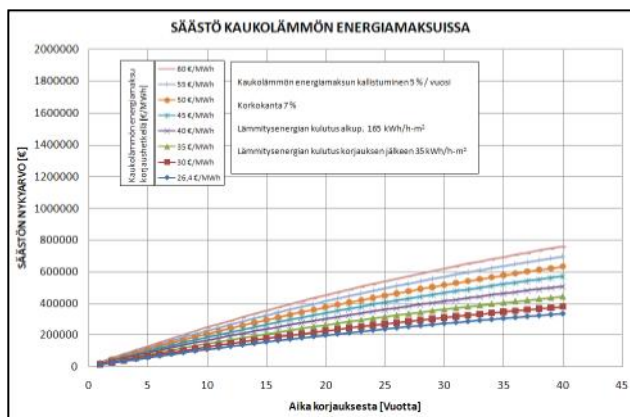
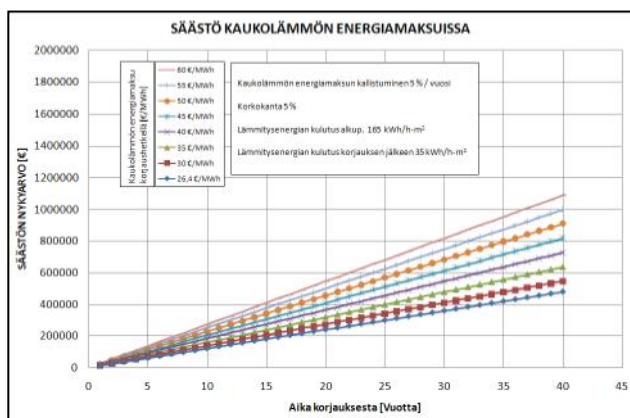
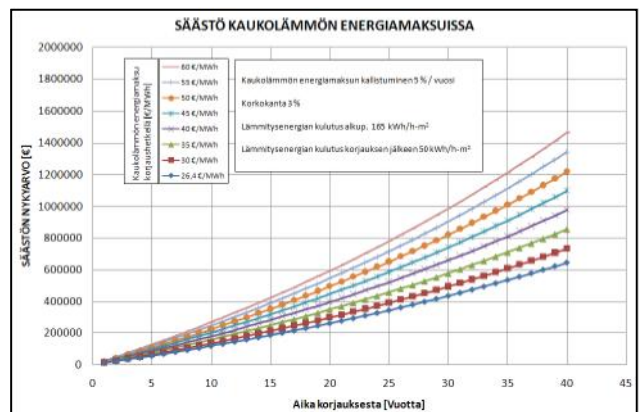
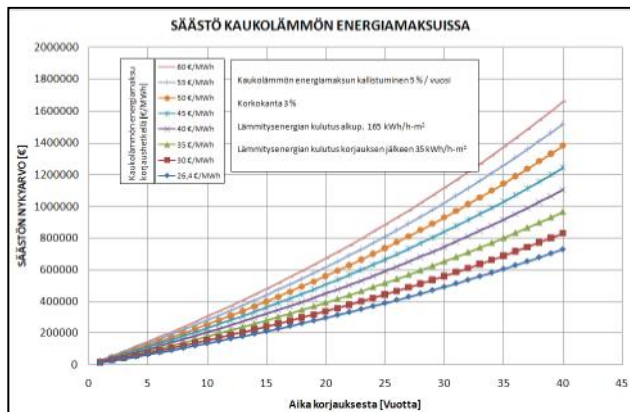
Eriävän hinnoittelun alueet:

- Pateniemen aluelämpöverkon alueelle 44,96 €/MWh,
- Oulunsalon kuntakeskuksen kaukolämpö 32,76 €/MWh,
- Oulunsalon Niemenranta 35,32 €/MWh,
- Kiimingin kuntakeskus 38,55 €/MWh,
- Kiimingin yrityspuisto 35,32 €/MWh.

Energiamaksut saattavat vaihdella kuukausittain esimerkiksi lämpövoimalaitoksissa käytettävän polttoaineen hinnan muuttuessa.

Seuraavan sivun kuvissa esitetään vertailu energiamaksun säästön nykyarvosta, kun kaukolämmön energiamaksun korotus on vuosittain 5%. Lämmitysenergian kulutus korjauksen jälkeen vähenee nykyisestä arvioidusta 165 kWh/m² tavoiteltuun 35 kWh/m² tai suurempaan arvoon 50 kWh/m². Reaalikorkokantana on käytetty joko 3%, 5% tai 7%.

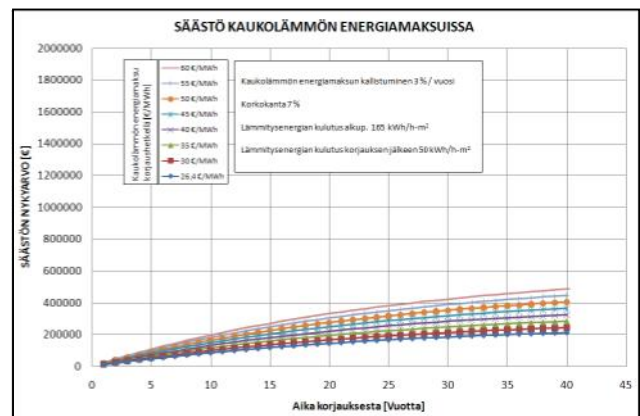
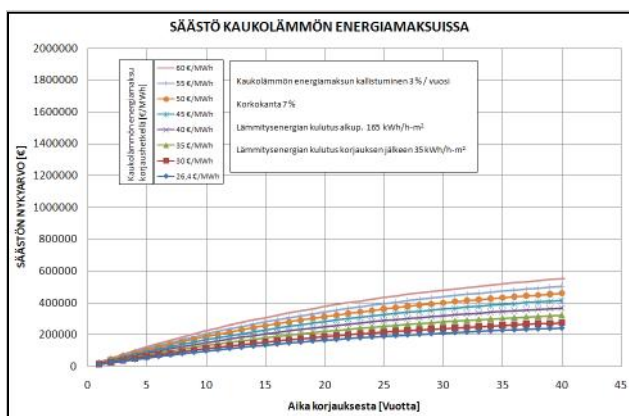
Kuvan mukaan käytettävä korkokanta vaikuttaa hyvin voimakkaasti saavutettavaan laskennalliseen säästöön kaukolämmön energiamaksuissa. Korkokannan kasvattaminen pienentää laskennallista säästöä huomattavasti. Esimerkiksi kaukolämmön energiamaksulla 40 €/MWh korkokannan kasvattaminen 3 %:sta 7 %:iin pienentää laskennallista säästöä 40 vuoden tarkastelujaksolla noin puoleen. Säästön pieneneminen on korkeilla energiamaksuilla hyvin suurta, jos tarkastelujakson pituus ylittää 15 vuotta. Korjauksen jälkeisen lämmitysenergian kulutuksen kasvattaminen (35 kWh/m² -> 50 kWh/m²) vaikuttaa laskennalliseen säästöön korkokantaan verrattuna hyvin vähän.



Kuva 3. Energiamaksun säästö nykyarvo eri energiamaksuilla. Alkuperäinen lämmitysenergian kulutus 165 kWh/m², korjauksen jälkeinen lämmitysenergian kulutus 35 kWh/m² tai 50 kWh/m², energiamaksun vuosittainen korotus 5 % ja reaalikorkokanta 3 %, 5 % tai 7 %.

Kuvassa esitetään vertailu energiamaksun säästön nykyarvosta kaukolämmön energiamaksun kohotessa vuosittain 3%, ja reaalkorkokannan ollessa 7%. Lämmitysenergian kulutus korjauksen jälkeen vähenee nykyisestä arvioidusta 165 kWh/m² tavoiteltuun 35 kWh/m² tai suurempaan arvoon 50 kWh/m².

Kuvien mukaan kaukolämmön energiamaksun vuosittaisen korotuksen pieneneminen 5%:sta 3%:iin pienentää laskennallista säästöä noin 30%, jos tarkastelujakson pituutena käytetään 40 vuotta, reaalkorkokantana 7% ja energiamaksuna 40 €/MWh. Korjauksen jälkeisen lämmitysenergian kulutuksen kasvattaminen (35 kWh/m² -> 50 kWh/m²) vaikuttaa laskennalliseen säästöön hyvin vähän.

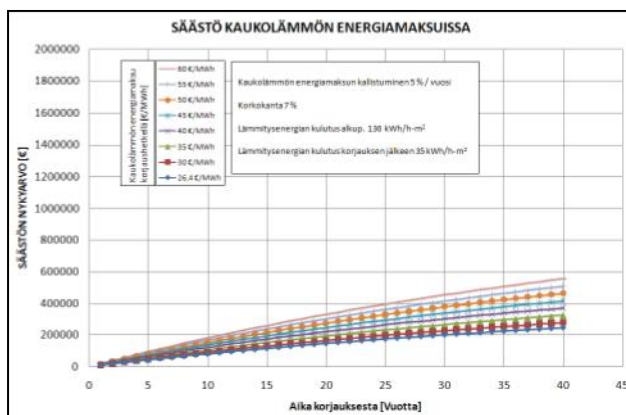
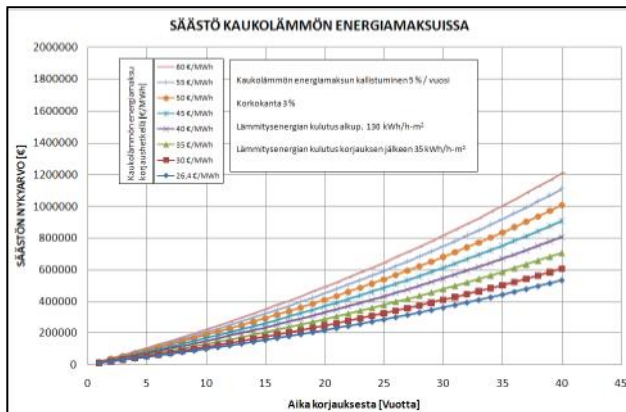


Kuva 4. Energiamaksun säästön nykyarvo eri energiamaksuilla. Alkuperäinen lämmitysenergian kulutus 165 kWh/m², korjauksen jälkeinen lämmitysenergian kulutus 35 kWh/m² tai 50 kWh/m², energiamaksun vuosittainen korotus 3% ja reaalkorkokanta 7 %.

Seuraavalla sivulla on esitetty arviot energiamaksun säästön nykyarvosta, jos lämmitysenergian kulutus ennen korjausta olisi 130 kWh/m² ja korjauksen jälkeinen lämmitysenergian kulutus joko 35 kWh/m² tai 50 kWh/m². Energiamaksun vuosittainen kasvu on 5% ja korkokanta 3% tai 7%.

Kuvien mukaan kaukolämmön alkuperäisen kulutuksen muuttaminen 165 kWh/m² -> 130 kWh/m² pienentää laskennallista säästöä noin 30%, jos tarkastelujakson pituutena käytetään 40 vuotta, kaukolämmön energiamaksun vuosittaisena korotuksena 5% ja kaukolämmön energiamaksuna 40 €/MWh.

Tässä esitettyjen laskelmien perusteella korkokanta on merkittävin yksittäinen tekijä arvioitaessa TES - korjauksella saavutettavaa säästöä kaukolämmön energiamaksuissa. Alhainen reaalkorkokanta, vuosittainen reaalkorkokantaa suurempi energiamaksun korotus ja korkea kaukolämmön energiamaksu yhdessä yli 15 vuoden tarkastelujakson kanssa kasvattaa laskennallisen säästön huomattavaksi. Reaalkorkokannan kasvattaminen puolestaan pienentää laskennallista säästöä yli 15 vuoden tarkastelujaksoilla selvästi.



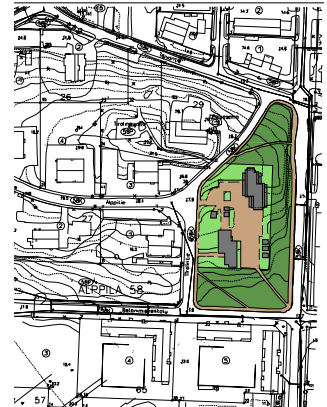
Kuva 5. Energiamaksun säästön nykyarvo eri energiamaksuilla. Aluperäinen lämmitysenergian kulutus 130 kWh/m², korjauksen jälkeinen lämmitysenergian kulutus 35 kWh/m² tai 50 kWh/m², energiamaksun vuosittainen kohoaminen 5% ja reaalkorkokanta 3 % tai 7 %.

8 TES ESIMERKIT



8.1 Pilotti Oulun Pohjankaleva

KOHDE	Pohjankaleva opiskelija-asuntola, Oulu
OMISTAJA	PSOAS Pohjois-Suomen opiskelija-asuntosäätiö
SIJAINTI	Tirolintie 2, Oulu, Finland
ARKKITEHTI	diplomityö ark yo Juha Lehto
RAKENNUSVUOSI	1970
KORJAUSVUOSI	kohdetta on tutkittu hankepilottina
RAKENNUSTYYPPI	opiskelija-asuntola
BRUTTOPINTA-ALA	3568 m ²
KERROKSIA	9



Energia-tarve kWh/m ² ,a	ennen	jälkeen
Primäärienergia	220,70	70,9 (tavoite)
Lämmitysenergia	165	30 (tavoite)

U-arvot W/m ² K	ennen	jälkeen
seinät	0,48	0,14
katto	0,28	0,07
ikkunat	1,8	0,8



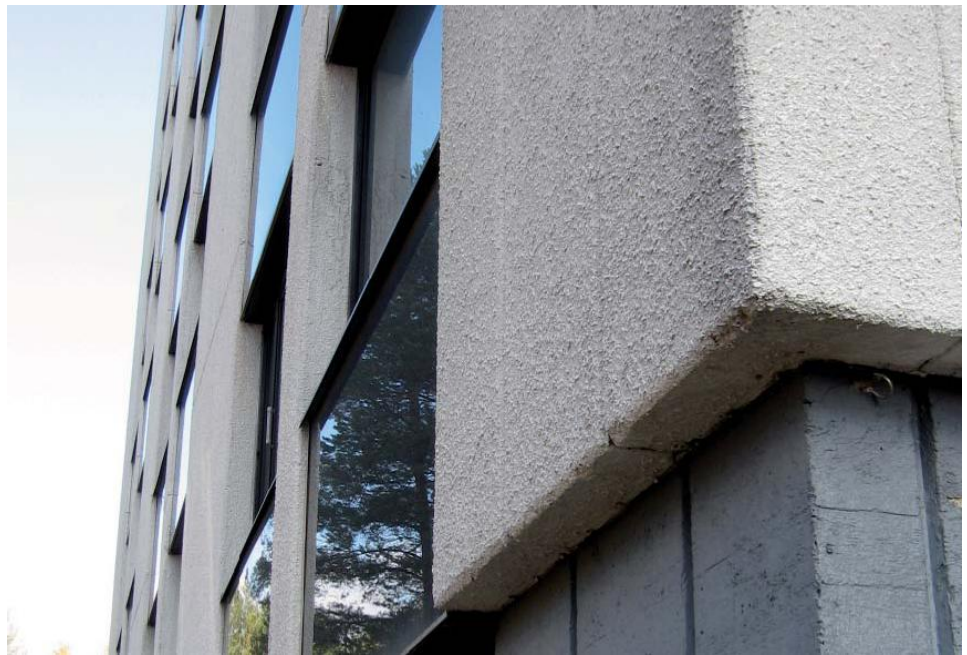
Edellinen sivu, ylhäällä:
Asemapiirros. Kuva Juha Lehto.

Alla kohdekuva, oikealla detalji-
kuva.

Alhaalla: Fotogrammetriseen
menetelmään perustuvan mal-
lituksen tuloksena saadun
rautalankamallin sovittamista ja
vertailua aiemmin tehtyyn ark-
kitehdin 3D -malliin.

Esimerkki elementoinnin suun-
nittelusta pystysuuntaisin TES
- elementein. Ehdotuksessa on
tutkittu myös lisäkerroksen rak-
entamista TES - elementein.

Kuvat Juha Lehto.

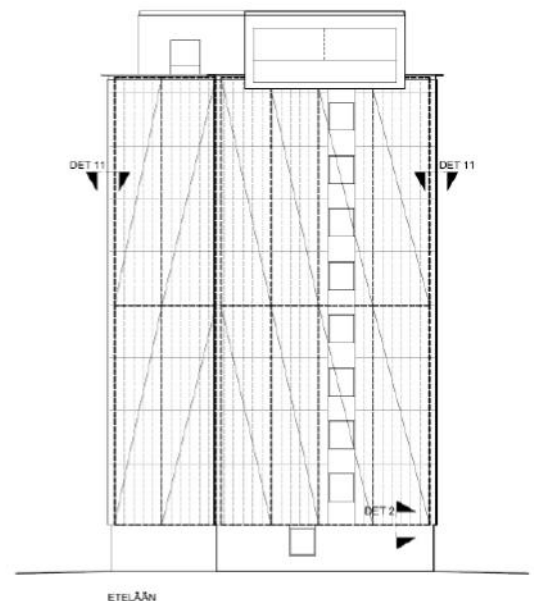


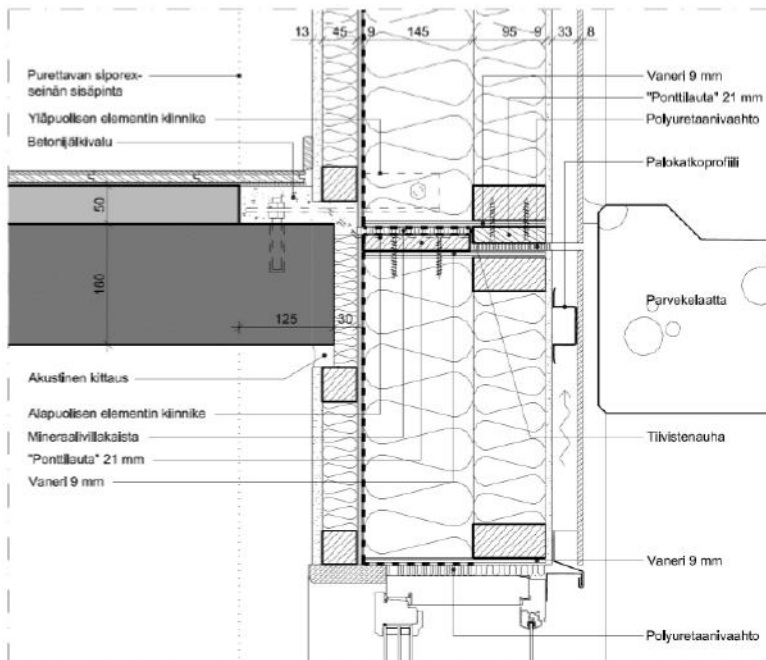
Alkuperäiset rakenteet

Rakennuksessa on kantava betonirunko, niin sanotulla kirjahyllyratkaisulla. Julki-
sivut koostuvat ei kantavista Siporex elementeistä, paksuus 300 mm, sekä osit-
tain puurunkoisista, lasipinnoitteisista osuuksista. Rakennuksen päätyseinissä on
kantava betonirunko, 160 mm, sekä julkisivupintana 300 mm Siporex elementit.
Diplomityössä Siporex elementit ja muut olevat julkisivupinnat ehdotetaan koko-
naan poistettaviksi ja korvattaviksi TES elementein.

Alkuperäiset julkisivut

- Siporex elementit
- osittain puurunkoinen, lasipeitteinen julkisivu





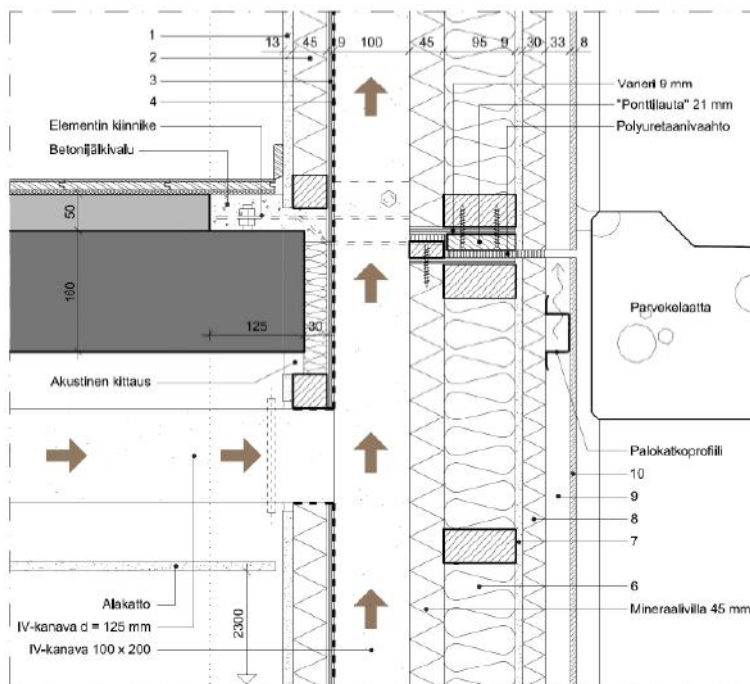
TES ELEMENTIT

U - arvo: 0,14

13mm	kipsilevy
45mm	runko + mineraalivilla
9 mm	vaneri
	höyrynsulku
145 mm	pystyrunko + mineraalivilla
95 mm	vaakarunko + mineraalivilla
9 mm	tuulensuoja kipsilevy
30 mm	tuulensuoja mineraalivilla
33 mm	tuuletusrako
8 mm	kuitusementtilevy
387 mm	Rakennepaksuus yhteensä

PALOTURVALLISUUS

- elementin runko on suojattu ulko- ja sisäpuolisin kipsilevyin
- lämmöneriste luokkaa A2, s1-d0,
- välipohjien kohdalla metallinen hattuprofiili palokatko



DET 15 (IV-kanava elementin sauman kohdalla)

Ylävasen: Esimerkkidetallit TES -elementin liittäminen välipohjaan ja parvekelaattaan, ikkuna-asennus. Pystyleikkaus.

Alavasen: Esimerkkidetallit LVI-kanaviston integrointi ja reititys TES -elementissä. Pystyleikkaus.

Yläoikea: Esimerkki julkisivun elementointi pystyelementein. Ehdotuksessa on tutkittu myös lisäkerroksen rakentamista TES -elementein.

Kuvat Juha Lehto.



Tavoitteet

Oulun Pohjankalevan kohde sijaitsee Pohjois Suomessa ja pohjoisimmassa Euroopassa. Rakennus on myös korkea, mikä osaltaan lisää energiatehokkuuden tasokorotukseen pyrkivän saneerauksen haasteita. Näitä haasteita on lähestytty detajli- ja rakennussuunnittelulla sekä arkkitehtuurin että rakenteiden näkökulmasta. Lisäksi on suoritettu rakennusfysikaalisia tarkasteluja ja testauksia, paloturvallisuustarkastelu ja energiatehokkuuden simulointi dynaamisella IDA ICE energiatehokkuuden arviointityökalulla. Energiatehokkuuden simuloinnilla on pyritty löytämään kustannusten ja toteutuksen näkökulmasta optimaalisimmat tekniset ja rakenteelliset ratkaisut.

Oulun Pohjankalevassa energiatehokkuuden tavoitteiksi asetettiin lämmitysenergian pienentymisen nykyisestä noin 165 kWh/m² vuositason arvoon 30 kWh/m²,a. Lisävaatimuksina on ilmanpitävyyden parantaminen arvoon $\eta_{50} \leq 0,6$ 1/h, primäärienergian tarpeen pienentäminen haarukkaan 130 - 140 kWh/m²a. Energiasimuloinnit ovatkin osoittaneet että ulkoseinän U-arvolla 0,24 W/m²K, katon U-arvolla 0,08 W/m²K voidaan saavuttaa alle 25 kWh/brutto m² jäävä lämmitysenergiatarve. Edellytyksenä on ilmanvaihto tehokkaalla lämmöntalteenotolla, vuositainen hyötysuhde yli 85%. Näillä arvoilla voidaan saavuttaa alle 90 kWh/m²,a primäärienergiatarve (oletetut PE kertoimet 0,5 kaukolämmölle, 2,5 sähkölle).

Suunnittelutyön ja simulointien tuloksena voimme todeta, että passiivitalon tason energiatehokkuuden saavuttaminen Oulun Pohjankalevassa ja korjaustyön toteuttaminen TES - menetelmällä on mahdollista. Edellytyksenä on vuorovaihteellinen suunnittelu sisältäen energiasimuloinnin asetettujen energiatehokkuustavoitteiden saavuttamiseksi.

Alla laskennassa käytetty plaani: Kerrostalo, jossa 8 samanlaista asuinkerrosta + kellari ja ullakko. Simuloitu oheinen kerros välikerroksena tai ylimpänä kerroksena.

Vuosittainen energiakäyttö asunto-m² kohti on esitetty taulukossa 2. Alkuperäisessä talossa ilmanvaihdon lämmittävät huoneissa sijaitsevat radiaattorit, jonka vuoksi taulukossa lukee ilmanvaihdon lämmityksen kohdalla 0. Suurin osa ”tilojen lämmityksestä” mene tässä tapauksessa juuri ilmanvaihdon lämmittämiseen. Muissa tapauksissa ilmanvaihdon lämmitys tarkoittaa tuloilman lämmitystä ilmanvaihtokoneessa lämmön talteenoton jälkeen.

Energiatohokkuuden parannus alkuperäisestä talosta normitaloon 2010 on erittäin suuri. Myös parannus normitalosta 2010 minimienergiataloon on merkittävä erityisesti parempien ikkunoiden ja ilmanpitävyyden takia. Minimenergiatalon ja passiivitalon ostoenergiankäytön ero on jäänyt maltilliseen 10 %:iin, mikäli verrataan tapauksia samalla lämmön talteenottolaitteella. 60 % tuloilman lämpötilasuhteella lasketut normitalon 2010 ja passiivitalo vaihtoehdot osoittaa lämmön talteenoton hyvän hyötysuhteen suuren merkityksen, joka on jopa 26 kWh/(asunto-m²a).

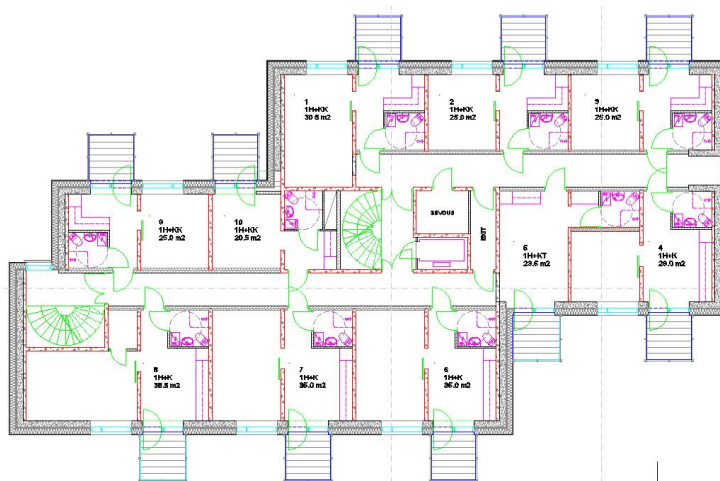
Taulukko 2. Kerrostalon energiankäytön erittely.

	Energiankulutus, kWh/(asunto-m ² a)					
	Alkuperäinen talo 1972	Normitalo 2010 LTO 60%	Normitalo 2010 LTO 85%	Minimi-energiatalo LTO 85%	Passiivitalo LTO 60%	Passiivitalo LTO 85%
Tilojen lämmitys	296	46.9	46.9	22.3	14.6	14.6
Ilmanvaihdon lämmitys	0.0	37.2	11.9	11.4	37.2	11.0
Lämmin käyttövesi	41.7	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2
Puhaltimet ja pumput	6.1	9.9	9.9	9.9	10.0	7.3
Kotitaloussähkö	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8
Valaistus	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
Ostoenergia yhteensä	372	154	128	103	121	92
Primäärienergia¹ yhteensä	494	211	178	145	169	131

¹Primäärienergiakerroin 1.3 kaukolämmölle ja 1.6 sähkölle

Kerrostalo-esimerkin tulosten perusteella voidaan asettaa parannustoimenpiteet seuraavaan tärkeysjärjestykseen:

1. Lämmön talteenoton hyötysuhde
2. Ikkunat
3. Ulkoseinät, joiden U-arvo on kerrostalossa vähiten kriittinen ja mahdollistaa kustannuksiltaan optimaalisimman ratkaisun valinnan.

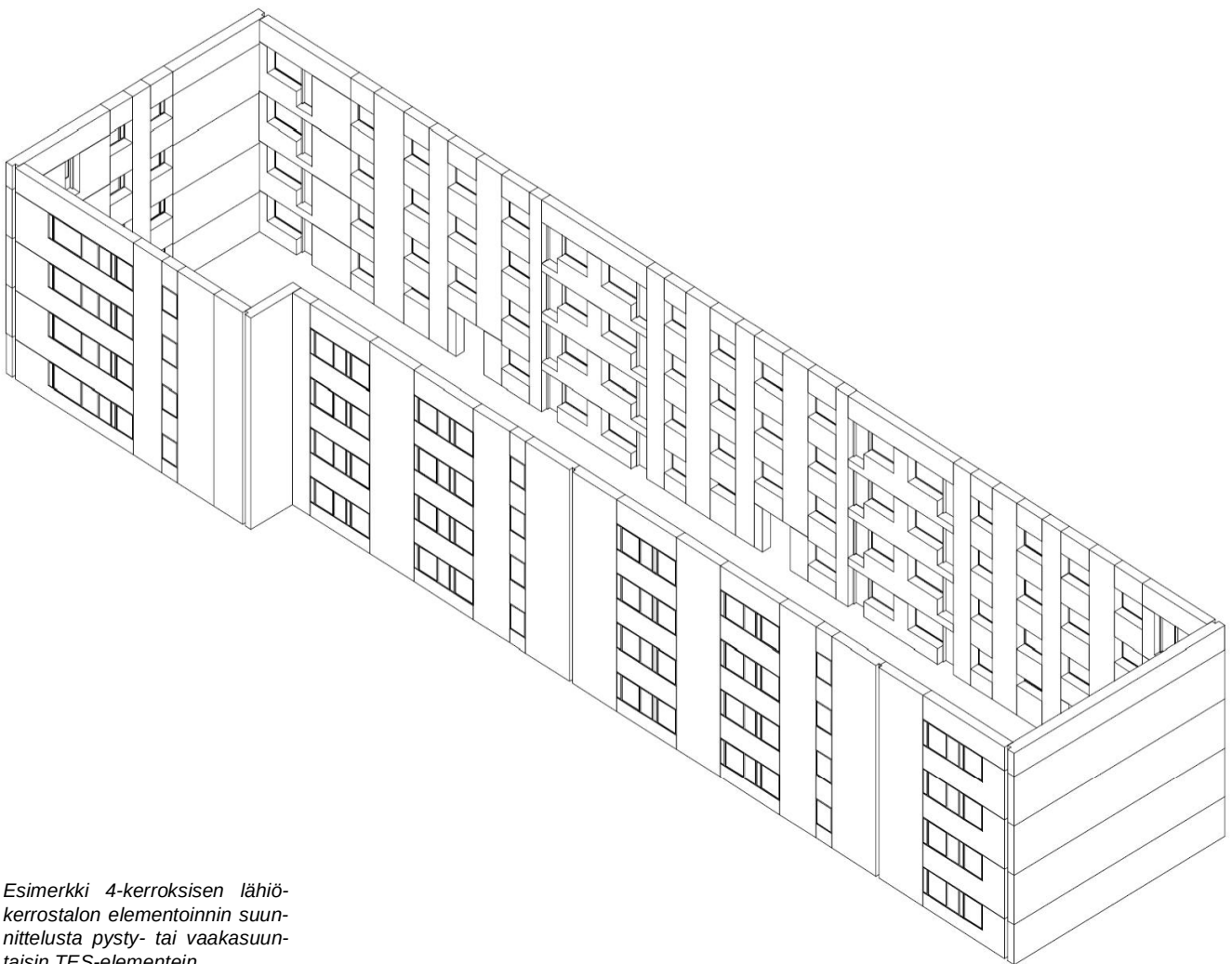


8.3 Tyypiesimerkki: Lähiökerrostalon elementointi

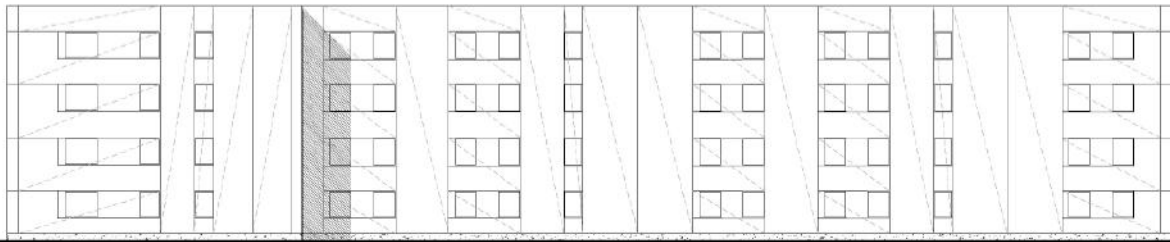
TES - menetelmä perustuu esivalmisteisten suurelementtien käyttöön. Korjaustyön sujuvuuden ja logistiikan kannalta sekä arkkitehtonisesta näkökulmasta rakennuksen elementoinnin suunnittelu on ratkaisevaa.

Elementointi edellyttää mittatarkkaa mallinnusta, jonka pohjalta suunnitelmat laaditaan. Elementointi voidaan suunnitella käyttäen joko vaaka- tai pystysuuntaisia elementtejä tai molempia. Pystysuuntaisten elementtien etuna on mahdollisten integroitujen kanavien liittymäkohtien pieni määrä.

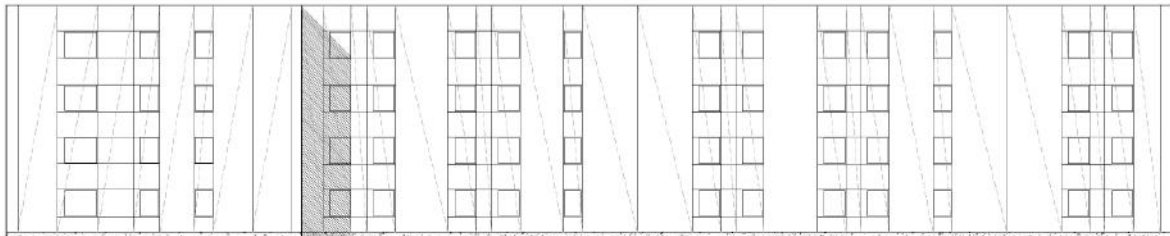
Alla ja seuraavilla sivuilla on esitetty esimerkkejä elementoinnin suunnittelusta 4 kerroksiseen lähiökerrostaloon hyödyntäen liite C:ssä esitettyjä detaljeja.



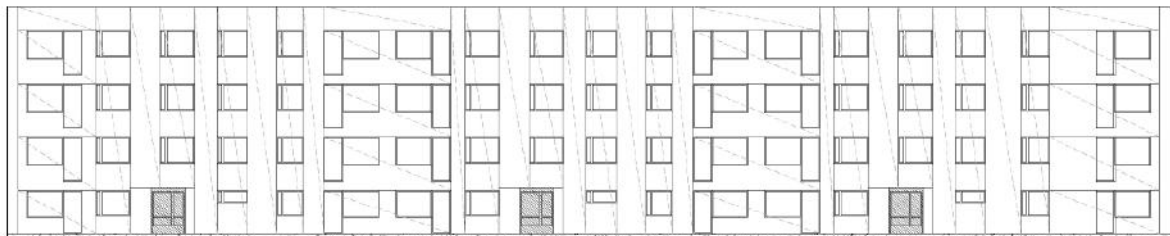
Esimerkki 4-kerroksisen lähiökerrostalon elementoinnin suunnittelusta pysty- tai vaakasuuntaisin TES-elementein.



julkisivu itään (vaihtoehto 1)



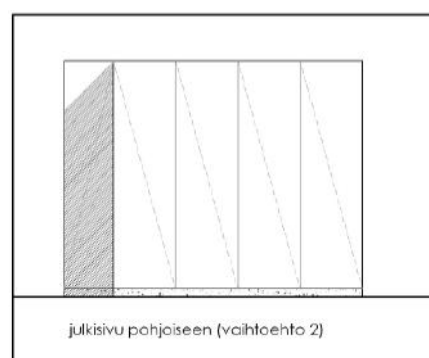
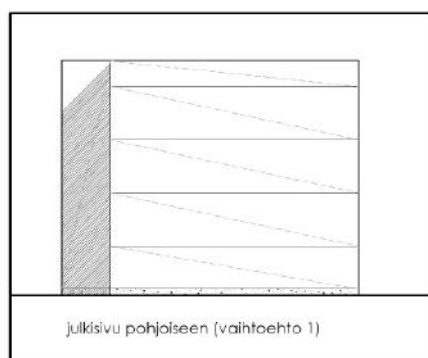
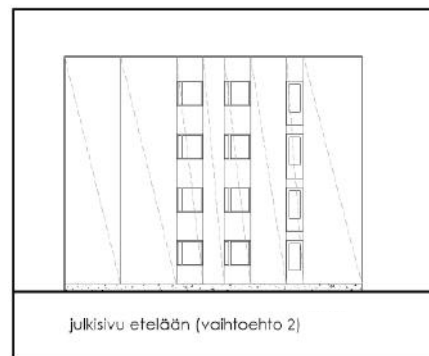
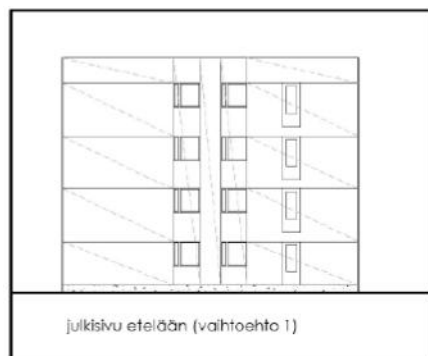
julkisivu itään (vaihtoehto 2)



julkisivu länteen (vaihtoehto 1)

Esimerkkejä 4-kerroksisen lähiökerrostalon elementoinnin suunnittelusta pystytai vaakasuurtaisiin TES-elementtein.

Ei mittakaavassa.



TES *Energy Facade*

ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN PUURUNKOISILLA JA
ESIVALMISTEISILLA JULKISIVUELEMENTEILLÄ

Tutkimushankkeen loppuraportti

LÄHTEET, LIITTEET



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
TEKNISKA HÖGSKOLAN
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LÄHTEET

[Leppänen 2005]

Rakennusaikainen kosteuden hallinta puurakenteisessa toimistotalossa.
Diplomityö, puunjalostustekniikka, Teknillinen korkeakoulu 2005.

[LMP 1992]

Liikenneministeriön päätös erikoiskuljetuksista ja erikoiskuljetusajoneuvoista 17.12.1992/1715, muutoksineen.

[Lylykangas Nieminen 2008]

Lylykangas, Kimmo; Nieminen, Jyri: What is a Passive House in Finland? Conference Proceedings.
12th International Conference on Passive Houses 2008. 11. – 12. April 2008 Nuremberg, Darmstadt, Saksa 2008, ss. 337 – 342.

[RATU]

Puuelementtityö, Ratu 53-0262. Rakennustietosäätiö 2003, Rakennustieto Oy.

[RIL 107-2000]

RIL 107-2000. Veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki. Suomen rakennusinsinööriliitto r.y. 2000.

[RunkoRYL 2000]

Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 2000, Talonrakennuksen runkotyöt.
RT 14 – 10652 Rakennustietosäätiö 1998, Rakennustieto Oy.

[RIL 249-2009]

RIL 249-2009 Matalaenergiarakentaminen Asuinrakennukset.
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2009.

[SRMK C4 2002]

SRMK C4 SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRYSKOKOELMA.
Lämmöneristys. Ohjeet 2003.
Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Helsinki. 2002.

[SRMK D3 2007]

D3 SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRYSKOKOELMA.
Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2007.
Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta.
Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja Rakennusosasto. (2007)

[SRMK E1 2002]

E1 SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRYSKOKOELMA
Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2002.
Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.
Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja Rakennusosasto. (2002)

[STMP 1998]

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön päätös työtelineiden ja putoamisen estävien suojarakenteiden käytöstä rakennustyössä (156/1998).

[TTY 2008]

Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tutkimustuloksia ja suosituksia uusiin lämmöneristys- ja energiankulutusmääryksiin ja -ohjeisiin, loppuraportti.
Talonrakennustekniikka. Tutkimusselostus nro TRT/1706/2008.
Tampereen Teknillinen Yliopisto. Rakennustekniikan Laitos.

[VaET 2003]

Valtioneuvoston asetus elementtirakentamisen työturvallisuudesta 18.6.2003/578

[VaAKT 1997]

Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä, jakamaton kuorma, päämitat ja massa-arvot 670/97

[VpRT 1994]

Valtioneuvoston päätös rakennustyön turvallisuudesta 23.6.1994/629

[Wood Focus 2005]

Puujulkisivu lähiökerrostalossa. Puu-ulkoverhouksen toteuttamisperiaatteet korjausrakentamisessa.
Wood Focus Oy 2005.

LIITTEET

Liite A Mallityöselostus

Liite B TES Detaljien selostus

Liite C TES Detaljit

LIITE A

MALLITYÖSELOSTUS

1. Yleistä
2. Elementtien suunnittelu
3. Elementtien valmistus
 - 3.1 Materiaalit
 - 3.2 Mittatarkkuus
 - 3.3 Elementtien pinta
 - 3.4 Ikkunat 19
 - 3.5 Laadunvalvonta 19
4. Elementtien toimitus
 - 4.1 Varastointi elementtitehtaalla, kuljetus, vastaanotto ja aikataulu
 - 4.2 Elementtien käsittely korjauskohteessa
5. Toimet ennen korjaustyön aloittamista
 - 5.1 Rakennuttajan toimet ennen korjaustyön aloittamista
 - 5.2 Urakoitsijan toimet ennen korjaustyön aloittamista
 - 5.3 Työmaajärjestelyt
6. Alkuperäisen julkisivun kunnostus ja vahvistus
7. Alkuperäisten ikkunoiden purku
8. Elementtien asennus

1 Yleistä

Tämä ohje työselostuksen sisällöstä koskee julkisivujen korjausta TES - menetelmän mukaisella korjaushankkeella.

Työselostuksessa esitetään verhouselementtien valmistus-, kuljetus-, asennus- ja saumaustyöt. Korjaustyön laajuus, käytettävät materiaalit ja rakenteelliset yksityiskohdat esitetään arkkitehti- ja rakennesuunnitelmissa sekä rakennusselostuksessa.

2 Elementtien suunnittelu

Suunnittelun aloituskokous rakennuttajan, pääurakoitsijan ja arkkitehdin kesken ennen elementtisuunnittelun aloittamista.

Elementtisuunnittelija laatii rakennuskohteeseen soveltuvat:

- liitosdetaljit, joissa esitetään mm.
- ikkunapielet
- vesipellit
- palokatkot
- elementtien kiinnitysdetaljit
- asennussuunnitelman

Elementtisuunnittelijan on hyväksyttävä suunnitelmat ennen valmistuksen aloittamista (rakennuttaja, rakennesuunnittelija, pääurakoitsija).

3 Elementtien valmistus

Elementit valmistetaan elementtisuunnitelmien mukaisesti. Valmistuksen aikana on huolehdittava, että elementit on suojattu likaantumista, rikkoontumista ja kosteutta vastaan.

3.1 Materiaalit

- käytettävät materiaalit
- vaatimukset, mm. lujuusluokka, lämmönläpäisy, vesihöyrynläpäisevyys

3.2 Mittatarkkuus

- esitetään toleranssivaatimukset

3.3 Elementtien pinta

- vaatimukset

3.4 Ikkunat

- lämmönläpäisy
- ikkunapielet
- vesipellit

3.5 Laadunvalvonta

- esitetäänkö vaatimus mallielementistä

4 Elementtien toimitus

4.1 Varastointi elementtitehtaalla, kuljetus, vastaanotto ja aikataulu

Elementit on varastoitava elementtitehtaalla ja kuljetettava elementtitehtaalta niin, että ne säilyvät naarmuuntumattomina ja lohkeamattomina. Elementit on suojattava likaantumista, sadevettä ja muuta mahdollista kosteutta vastaan.

Elementtien valmistaja ja asennusurakoitsija yhdessä varmistavat, että elementit toimitetaan korjauskohteeseen asennussuunnitelmassa esitetyssä järjestyksessä ja aikataulussa.

4.2 Elementtien käsittely korjauskohteessa

Asennusurakoitsija ja korjauskohteen valvoja tarkastavat korjauskohteeseen toimitetut elementit. Jos elementti ei täytä sille asetettuja vaatimuksia, sitä ei saa asentaa ilman rakennuttajan hyväksyntää.

Elementit on varastoitava, siirrettävä ja asennettava korjauskohteessa niin, että ne säilyvät naarmuuntumattomina ja lohkeamattomina.

Elementtien valmistajan on annettava asennussuunnitelman laadintaa ja asennusta varten ohjeet elementtien käsittelyä, nostoa ja tukemista varten. Varastointi ja suojaus on tehtävä valmistajan ohjeiden mukaisesti.

5 Toimet ennen korjaustyön aloittamista

5.1 Rakennuttajan toimet ennen korjaustyön aloittamista

Rakennuttaja sopii asukkaiden kanssa asuntojen käytölle asetettavista rajoituksista ja vaatimuksista korjaustyön aikana.

5.2 Urakoitsijan toimet ennen korjaustyön aloittamista

Urakoitsija esittää yksityiskohtaisen korjaustyön aikataulun, elementtien asennussuunnitelman ja suunnitelman työmaan järjestelyistä rakennuttajalle ennen korjaustyön aloittamista. Urakoitsija esittää asuntojen käyttöön kohdistuvat rajoitukset ja vaatimukset.

Urakoitsija suojaa korjaustyön ajaksi kaikki korjauskohteessa mahdollisesti vaurioituvat säilytettävät rakenteet ja materiaalit.

5.3 Työmaajärjestelyt

Kaikki korjaustyötä haittaavat esteet julkisivun läheisyydestä ja julkisivulta poistetaan.

6 Alkuperäisen julkisivun kunnostus ja vahvistus, julkisivun purku

- alkuperäisen julkisivun kiinnitys rakennuksen runkoon; tarve, menetelmät
- alkuperäisen julkisivun vaurioiden korjaus; tarve, menetelmät
- purkumenetelmä; kierrätys
- puretun julkisivun suojaus

7 Alkuperäisten ikkunoiden purku

- Purkumenetelmä; kierrätys

8 Elementtien asennus

- työnjohto
- asennussuunnitelma, -aikataulu
- mittatarkkuus, asennustarkkuus
- kiinnitys, väliaikainen tuenta
- suojaustarve ja -menetelmät
- elementtien väliset saumat
- palokatkot

LIITE B

TES DETALJIESIMERKKIEN SELOSTUS

DA001

Elementin pystykuormat (omapaino) välitetään uudelle kantavalle perusmuurille (2) elementin runkotolpilla. Elementin vaakakuormat (tuulikuormat) välitetään uudelle kantavalle perusmuurille (2) ponttiliitoksella (8) ja vinoruuveilla (9). Sauman tiivistys tehdään polyuretaanivaahdolla (5) (8).

DV001

Elementin pystykuormat (omapaino) välitetään perustuksille elementin runkotolpilla. Elementin vaakakuormat (tuulikuormat) välitetään betonirungolle teräsosilla (2), jotka asennetaan elementin pystyreunoihin. Ulkoverhouksen tuuletusraon palokatkona käytetään rei'itettyä peltiprofiilia.

DV002

Elementin pystykuormat (omapaino) välitetään perustuksille elementin runkotolpilla. Elementin vaakakuormat (tuulikuormat) välitetään betonirungolle teräsosilla (2), ponttiliitoksella (5) ja vinoruuveilla (6). Sauman tiivistys tehdään polyuretaanivaahdolla (5). Ulkoverhouksen tuuletusraon palokatkona käytetään rei'itettyä peltiprofiilia.

DI001

Ikkunoiden ylä- ja alapuolelle tehdään erillinen kaksiosainen elementti. Elementti on kaksiosainen, jotta se voidaan kiinnittää ja tiivistää pystyelementteihin luotettavasti. Kaksiosaisen elementin pystykuormat (omapaino) ja vaakakuormat (tuulikuormat) välitetään ruuveilla (2) ikkuna-aukon pystyreunoihin päättyville pystyelementeille. Osa 2 kiinnitetään osaan 1 ruuveilla (3). Sauman tiivistys tehdään polyuretaanivaahdolla (6) ja höyrynsulkunauhalla (4). Elementissä ikkuna-aukko tehdään jokaiselta reunalta noin 10 mm pienemmäksi kuin vanhassa betoniseinässä, jotta sisäpuolen smyygien tasoitteelle (5) jää tilaa. Ikkuna asennetaan työmaalla.

DI002

Elementin reunassa on puolipontti, jotta pystyelementin reunat olisivat elementtien valmistamisen kannalta samanlaiset (vrt. DN001). Sauman tiivistys tehdään polyuretaanivaahdolla (4) ja höyrynsulkunauhalla (2). Elementissä ikkuna-aukko tehdään jokaiselta reunalta noin 10 mm pienemmäksi kuin vanhassa betoniseinässä, jotta sisäpuolen smyygien tasoitteelle (3) jää tilaa. Ikkuna asennetaan työmaalla.

DI003

Vaihtoehto detaljille DI002. Sauman tiivistys tehdään polyuretaanivaahdolla (4) ja höyrynsulkunauhalla (2). Elementissä ikkuna-aukko tehdään jokaiselta reunalta noin 10 mm pienemmäksi kuin vanhassa betoniseinässä, jotta sisäpuolen smyygien tasoitteelle (3) jää tilaa. Ikkuna asennetaan työmaalla.

DS001

Ikkunadetaljin DI002 ylä- ja alapuolelle tehdään erillinen kaksiosainen elementti. Elementti on kaksiosainen, jotta se voidaan kiinnittää ja tiivistää pystyelementteihin luotettavasti. Kaksiosaisen elementin pystykuormat (omapaino) ja vaakakuormat (tuulikuormat) välitetään ruuveilla (3) ikkuna-aukon pystyreunoihin päättyville pystyelementeille. Osa 2 kiinnitetään osaan 1 ruuveilla (5). Sauman tiivistys tehdään polyuretaanivaahdolla (4).

DS002

Ikkunadetaljin DI003 ylä- ja alapuolelle tehdään erillinen kaksiosainen elementti. Elementti on kaksiosainen, jotta se voidaan kiinnittää ja tiivistää pystyelementteihin luotettavasti. Kaksiosaisen elementin pystykuormat (omapaino) ja vaakakuormat (tuulikuormat) välitetään ruuveilla (3) ikkuna-aukon pystyreunoihin päättyville pystyelementeille. Osa 2 kiinnitetään osaan 1 ruuveilla (5). Sauman tiivistys tehdään polyuretaanivaahdolla (4).

DS003

Elementtien pystysauma piilotetaan syöksytorven taakse. Elementin pystykuormat (omapaino) välitetään perustuksille elementin runkotolpilla. Elementin vaakakuormat (tuulikuormat) välitetään betonirungolle teräsosilla (2) (4). Sauman tiivistys tehdään polyuretaanivaahdolla (3).

DN001

Elementin pystykuormat (omapaino) välitetään perustuksille elementin runkotolpilla. Elementin vaakakuormat (tuulikuormat) välitetään betonirungolle teräsosilla (2), jotka asennetaan elementin pystyreunaan ja vaakaelementin yläreunaan. Lisäksi elementit kiinnitetään toisiinsa havuvanerilla (4). Sauman tiivistys tehdään polyuretaanivaahdolla (3).

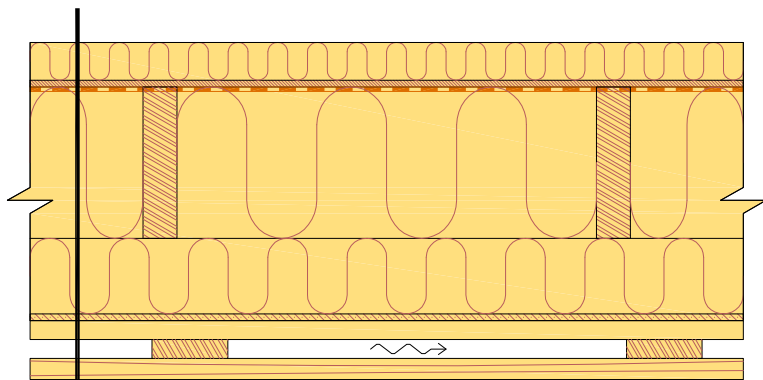
DY001

Seinäelementin pystykuormat (omapaino) välitetään perustuksille elementin runkotolpilla. Seinäelementin vaakakuormat (tuulikuormat) välitetään betonirungolle teräsosilla (2), jotka asennetaan elementin pystyreunoihin. Lisäksi seinäelementti kiinnitetään kattoelementtiin ruuveilla (3). Kattoelementti tukeutuu päistään huoneistojen välisen seinän kohdalla olevaan muotoon sahattuun puupalkkiin, joten kattoelementti toimii kantavana rakenteena huoneiston alueella. Sauman tiivistys tehdään polyuretaanivaahdolla (4), joka asennetaan kattoelementissä olevan aukon (5) kautta.

LIITE C

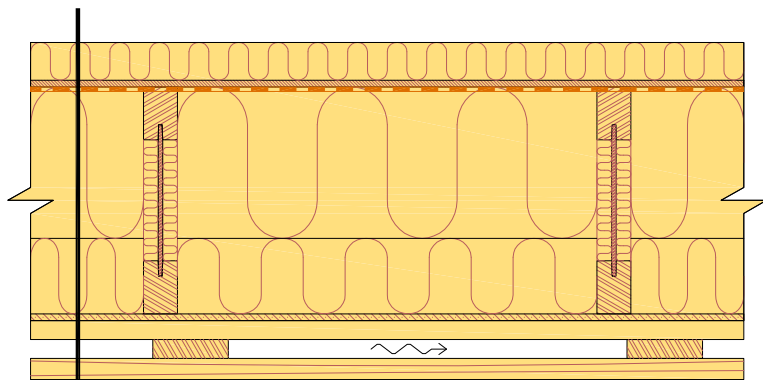
LÄHIÖKERROSTALON ESIMERKKIDETALJIT

Ulkoseinäelementti (PE 1)



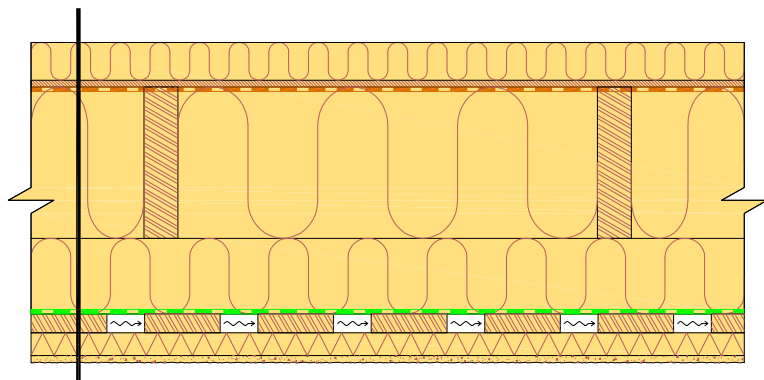
- pehmeä lasivillamatto liimattuna levyyn
- havuvaneri tai OSB-levy 9 mm
- verkkovahvistettu ilmansulkupaperi
- tolpparunko + villa 200 mm
- vaakakoolaus + villa 100 mm
- tuulensuojakipsilevy 9 mm
- julkisivuverhous

Ulkoseinäelementti (PE 2)



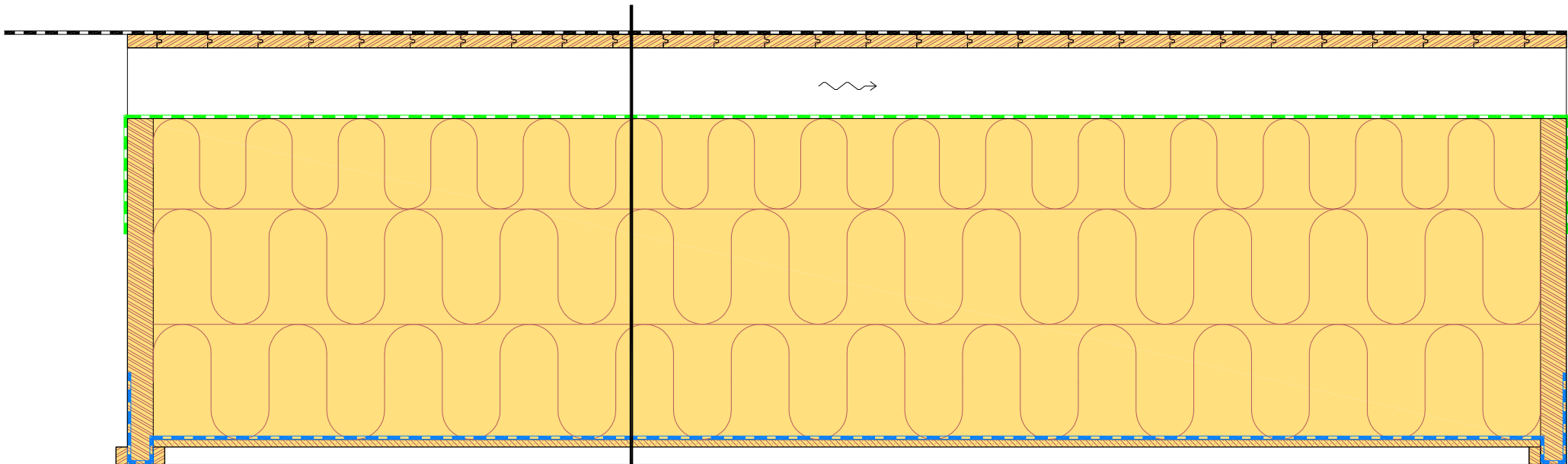
- pehmeä lasivillamatto liimattuna levyyn
- havuvaneri tai OSB-levy 9 mm
- verkkovahvistettu ilmansulkupaperi
- uumapalkit + villa 300 mm
- tuulensuojakipsilevy 9 mm
- julkisivuverhous

Ulkoseinäelementti (PE 3)



- pehmeä lasivillamatto liimattuna levyyn
- havuvaneri tai OSB-levy 9 mm
- verkkovahvistettu ilmansulkupaperi
- tolpparunko + villa 200 mm
- vaakakoolaus + villa 100 mm
- tuulensuojakangas
- vinolaudoitus (jäykistys ja tuuletus)
- rappausvilla 30 mm
- rappaus

Yläpohjaelementti (PE 4)



- bitumikermikate
- raakaponttilauta tai vaneri
- koolaus (tuuletusväli 100 mm)
- tuulensuojakangas
- palkkirunko + villa 550 mm
- höyrynsulkumuovi
- kipsilevy 13 mm

RAKENNUSKOHTEN NIMI JA OSOITE

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA
1:10

TUNNUS

PÄIVÄYS

2.7.2009

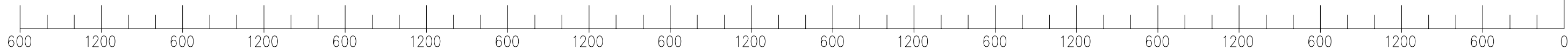
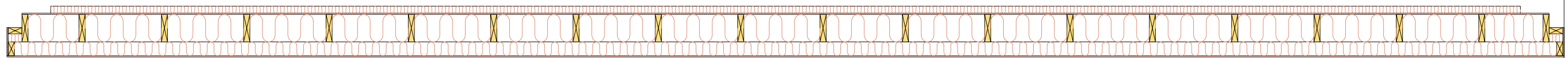
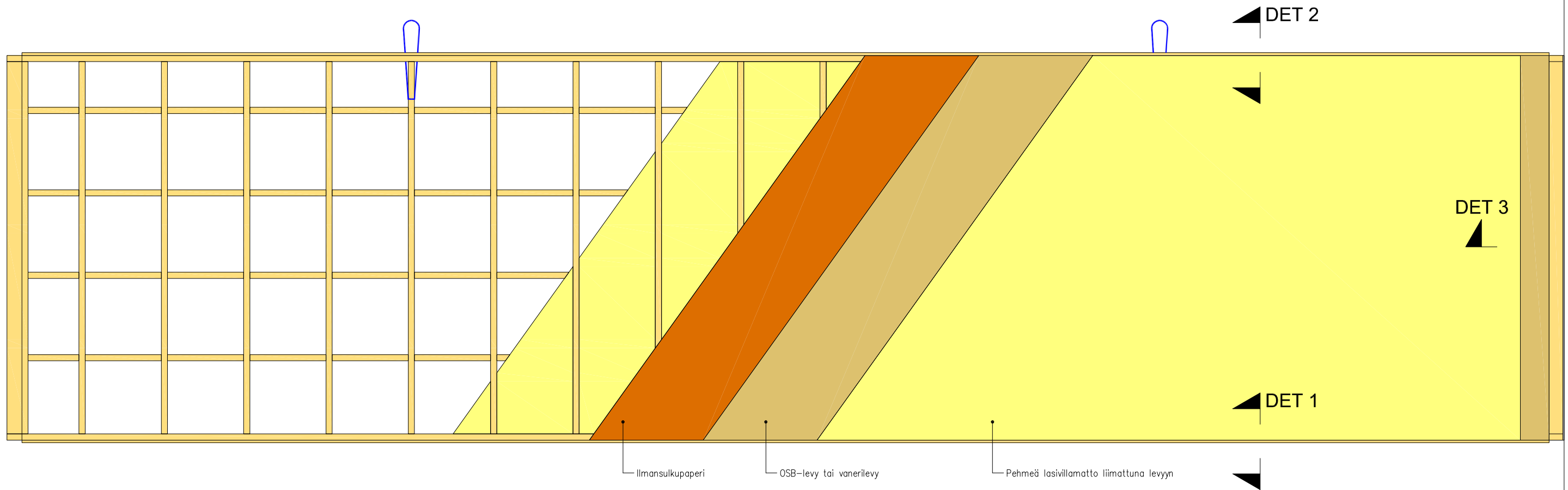
PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

Rakennetyypit

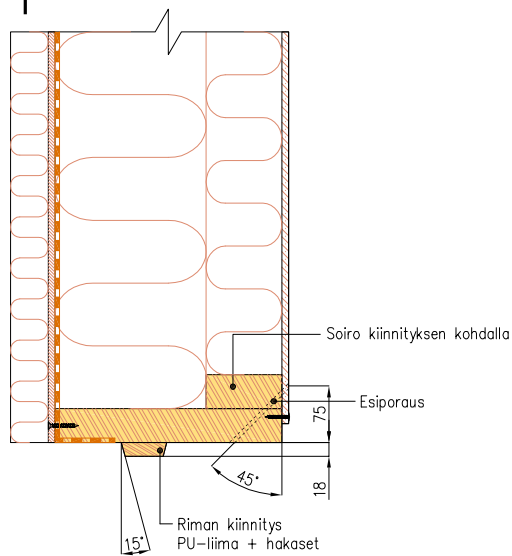
PIIR. NUMERO



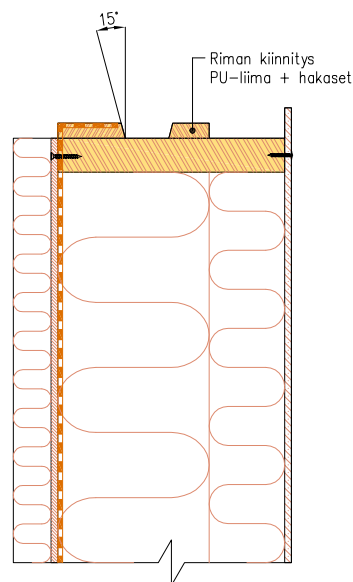
TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



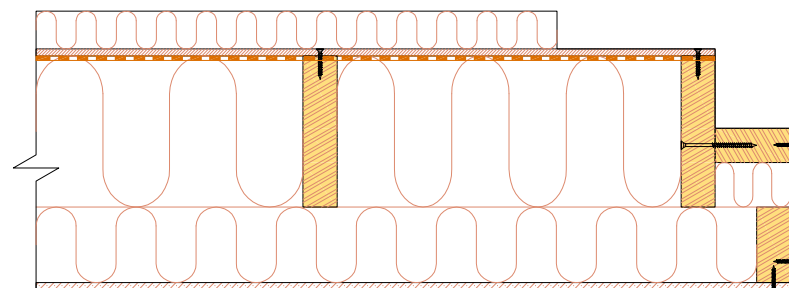
DET 1



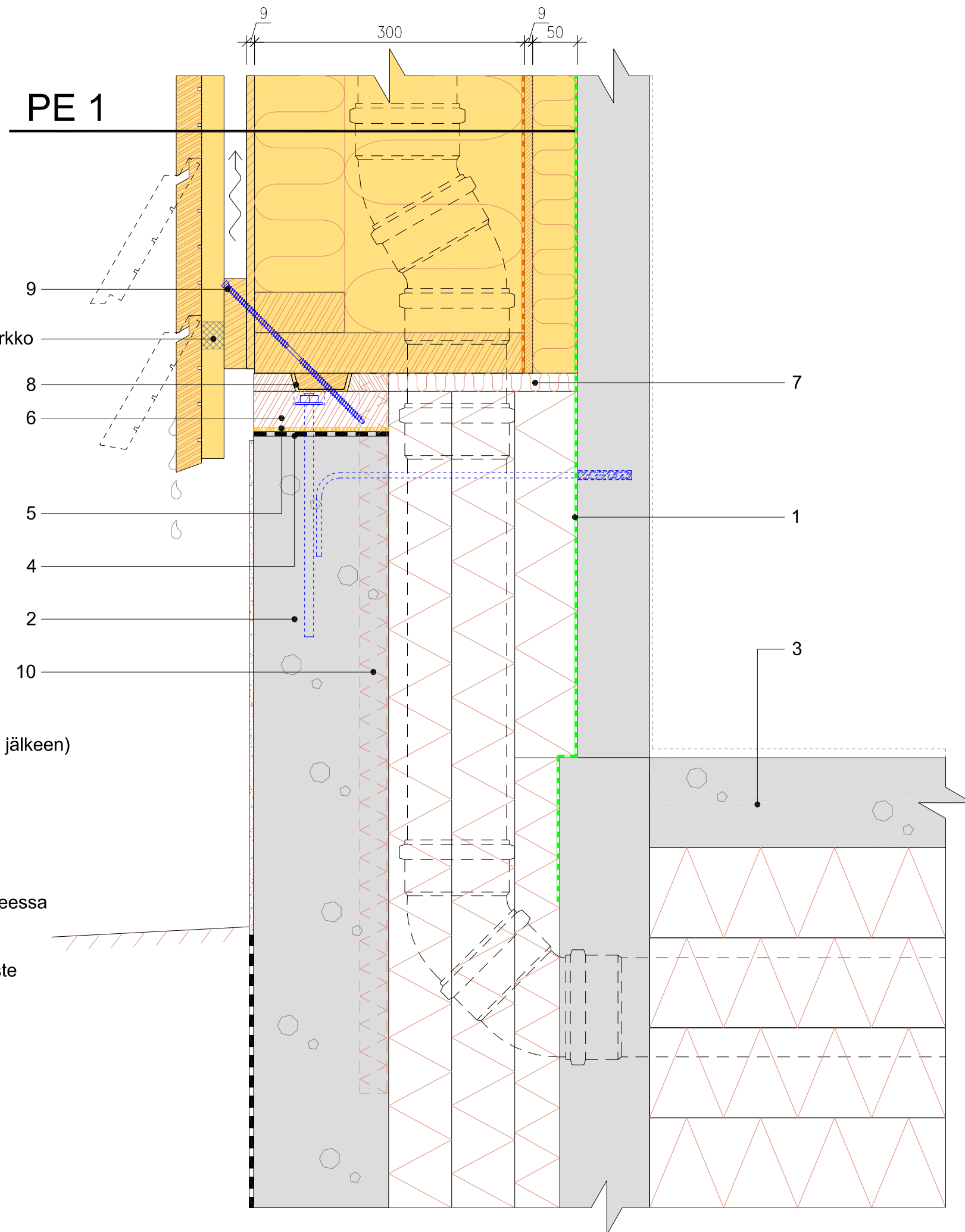
DET 2



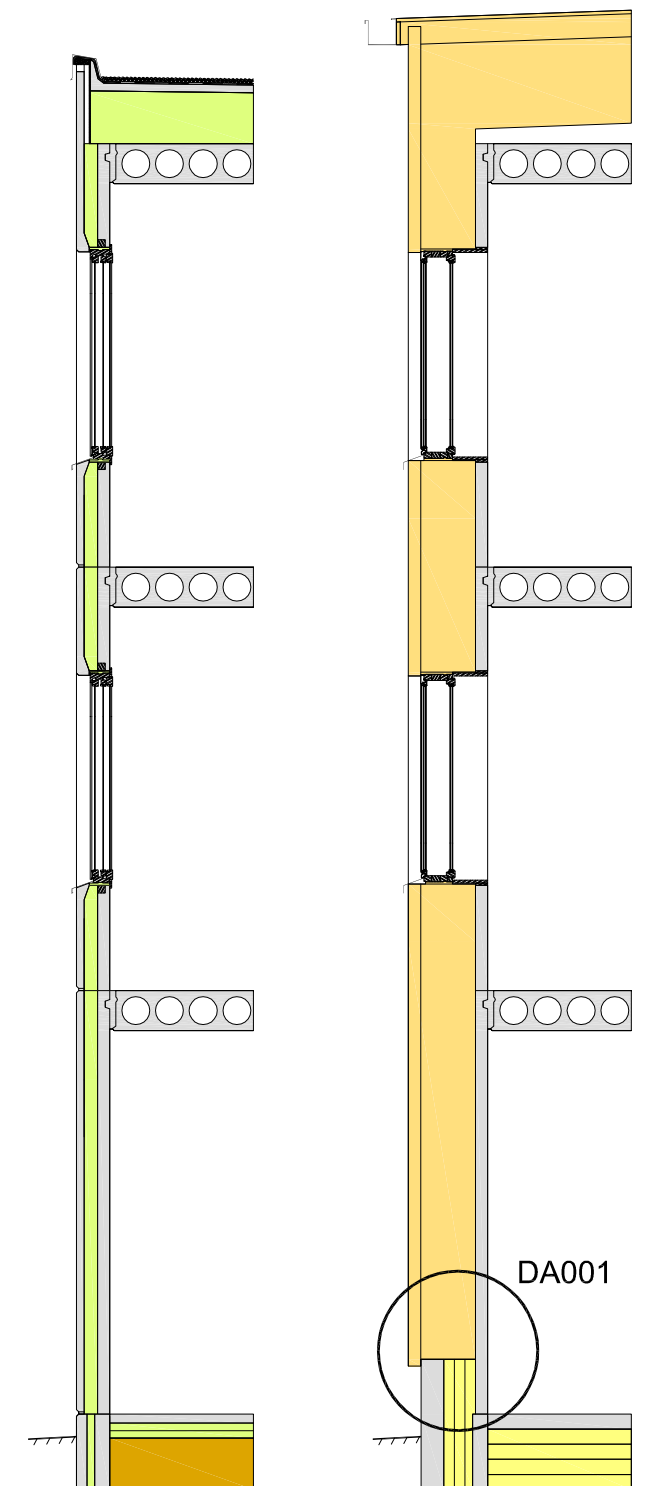
DET 3



KOHDE TES-projekti		
TYÖN NRO	MITTAKAAVA 1:30/1:15	TUNNUS US002
PÄIVÄYS 2.7.2009		PIIR. NUMERO
SISÄLTÖ Vaakaelementti		



1. Ilmansulkukangas
(asennus välittömästi ulkokuoren poiston jälkeen)
2. Uusi perusmuuri RAK mukaan
3. Uusi alapohja RAK mukaan
4. Bitumikermi
5. Polyuretaanivaahdot asennusvaiheessa
6. Alaohjauspuu
7. Kivi- tai lasivilla asennusvaiheessa
8. Ponttiin polyuretaanivaahdot asennusvaiheessa
9. Elementin kiinnitysruuvit RAK mukaan
(elementissä esiporaus)
10. Viemärin kohdalla perusmuurissa lisäeriste



RAKENNUSKOHTEN NIMI JA OSOITE

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

TUNNUS

1:5

PÄIVÄYS

2.7.2009

DA001

PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

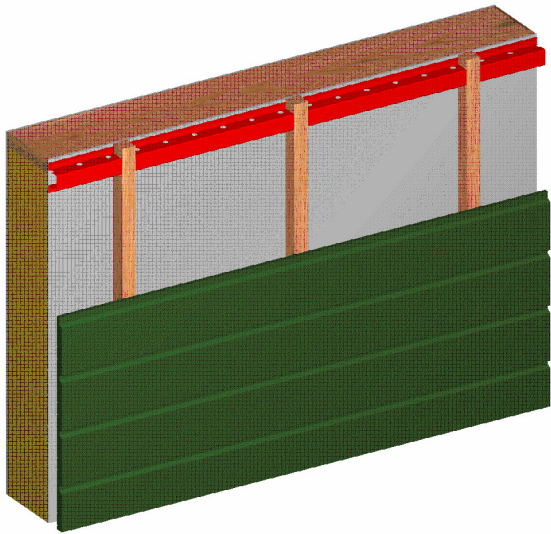
Alapohjaliittymä

PIIR. NUMERO



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Palokatkon periaate



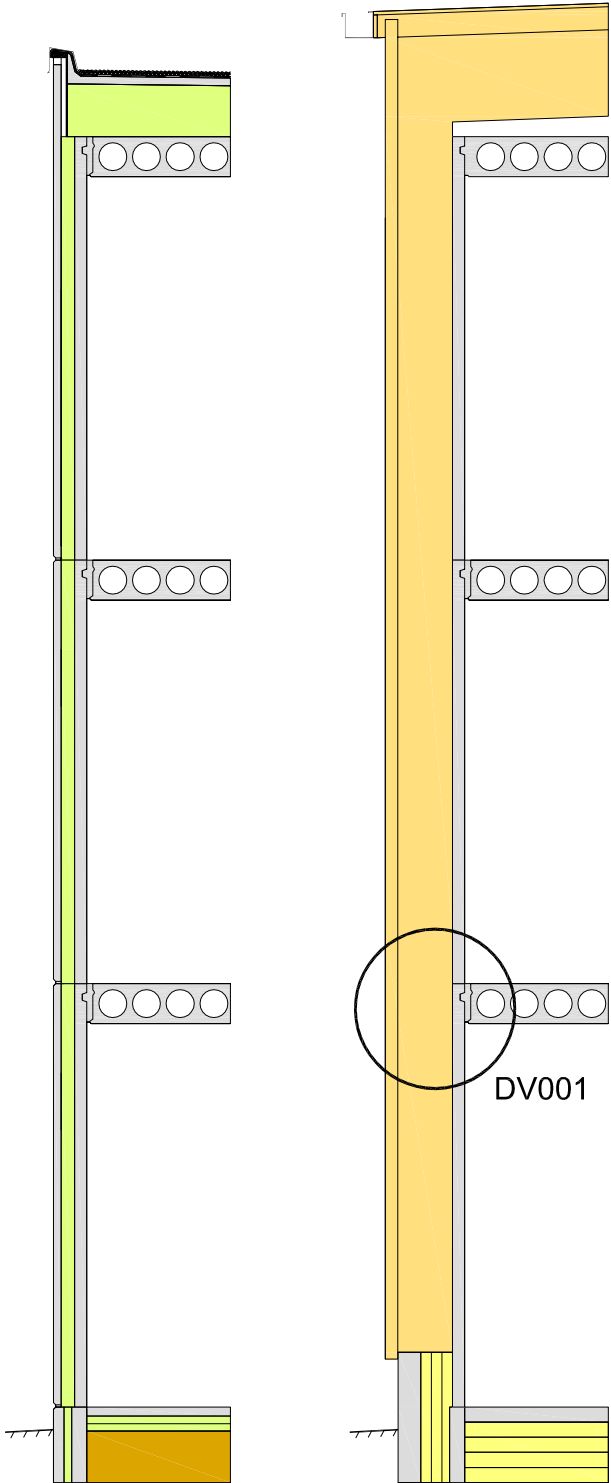
PE 1

Palokatko (peltiprofiili)

- 1. Ilmansulkukangas
(asennus välittömästi ulkokuoren poiston jälkeen)
- 2. Elementin kiinnitys RAK mukaan
(kulmalevy + injektioankkuri)

2

1



RAKENNUSKOOTTEEN NIMI JA OSOITE

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

TUNNUS

1:5

PÄIVÄYS

2.7.2009

DV001

PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

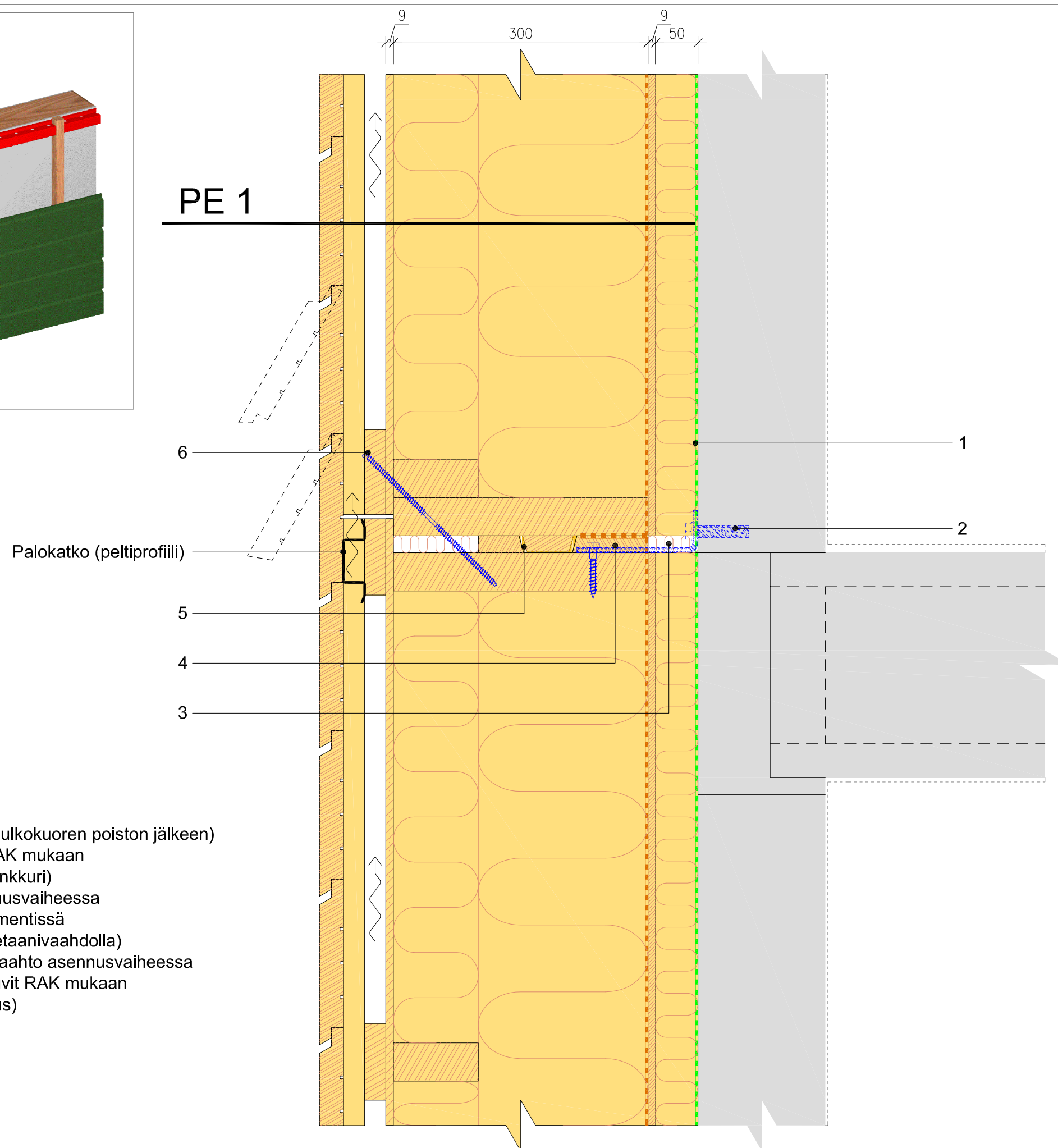
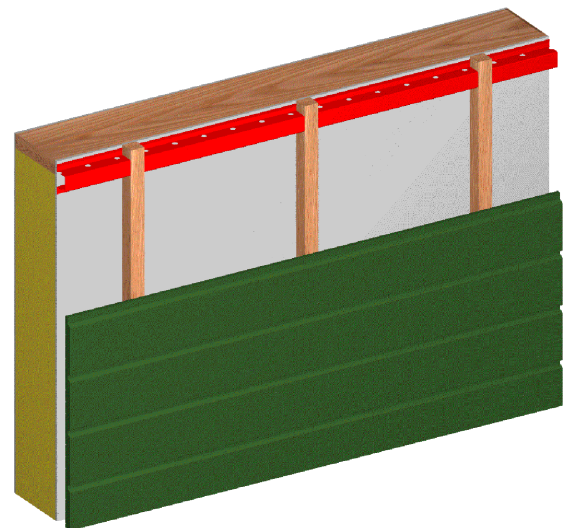
Välipohjaliittymä

PIIR. NUMERO

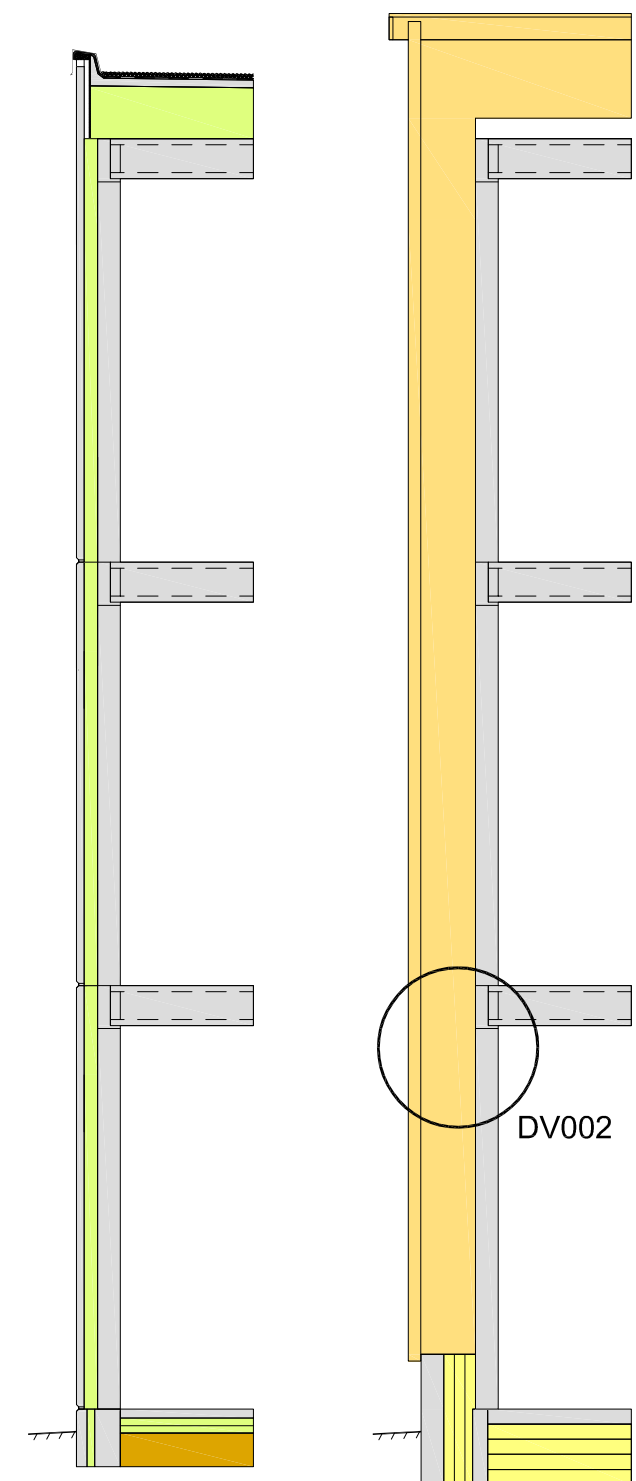


TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Palokatkon periaate



1. Ilmansulkukangas
(asennus välittömästi ulkokuoren poiston jälkeen)
2. Elementin kiinnitys RAK mukaan
(kulmalevy + injektioankkuri)
3. Kivi- tai lasivilla asennusvaiheessa
4. Kulmalevylle kolo elementissä
(kolon tiivistys polyuretaanivaahdolla)
5. Ponttiin polyuretaanivaaho asennusvaiheessa
6. Elementin kiinnitysruuvit RAK mukaan
(elementissä esiporaus)



RAKENNUSKOHTEN NIMI JA OSOITE

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

TUNNUS

1:5

PÄIVÄYS

2.7.2009

DV002

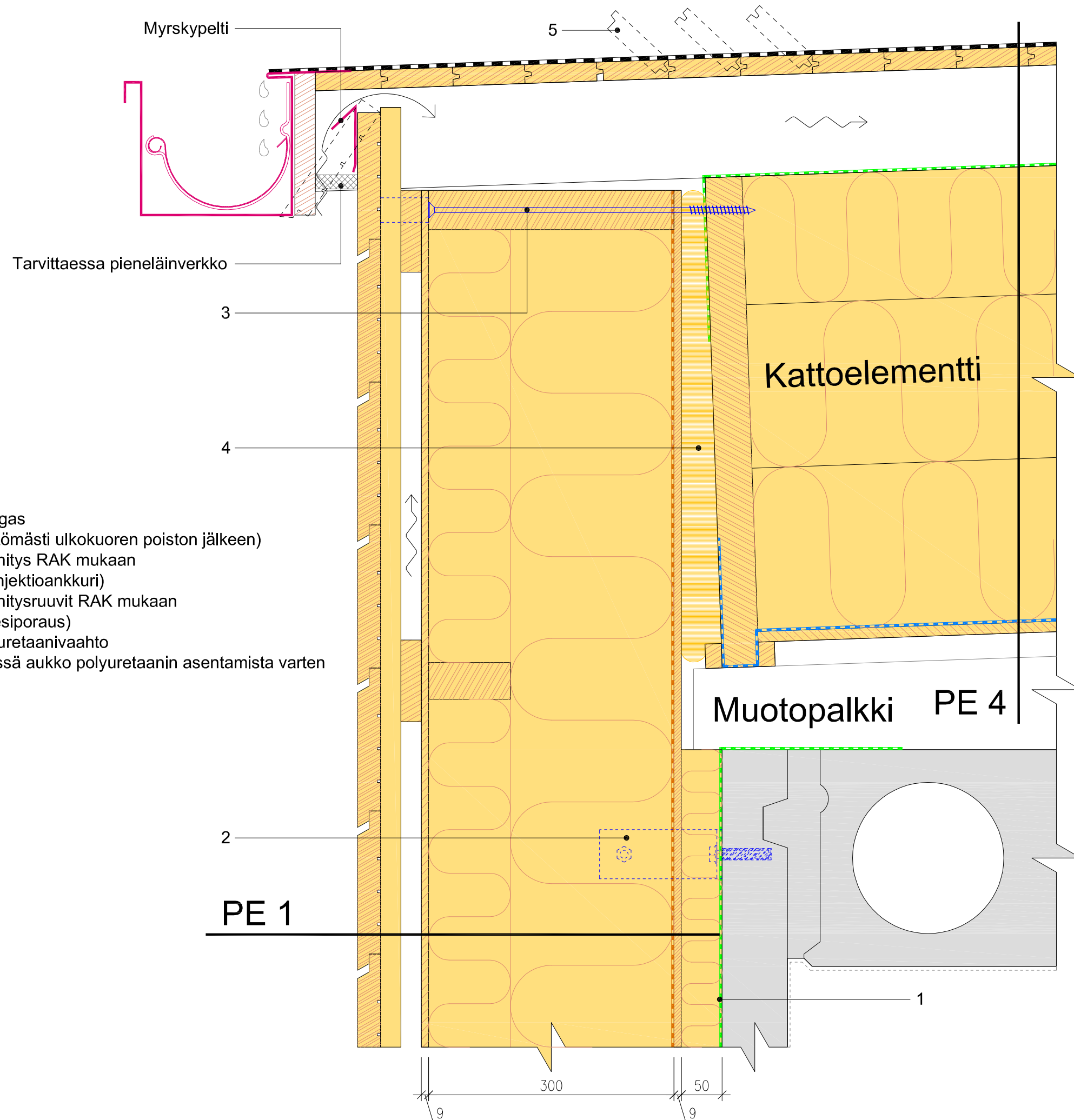
PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

Välipohjaliittymä

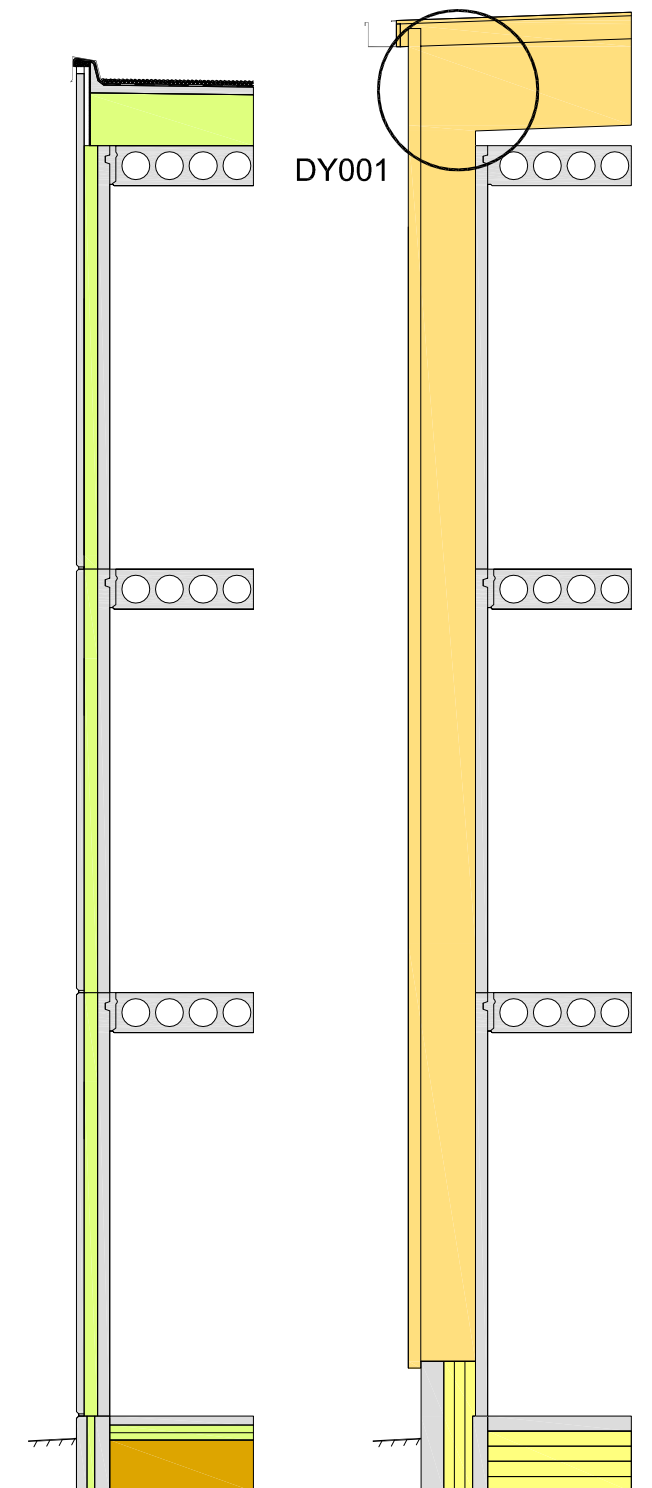
PIIR. NUMERO



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



1. Ilmansulkukangas
(asennus välittömästi ulkokuoren poiston jälkeen)
2. Elementin kiinnitys RAK mukaan
(kulmalevy + injektioankkuri)
3. Elementin kiinnitysruuvit RAK mukaan
(elementissä esiporaus)
4. Elastinen polyuretaanivaaho
5. Kattoelementissä aukko polyuretaanin asentamista varten



RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

TUNNUS

1:5

PÄIVÄYS

2.7.2009

DY001

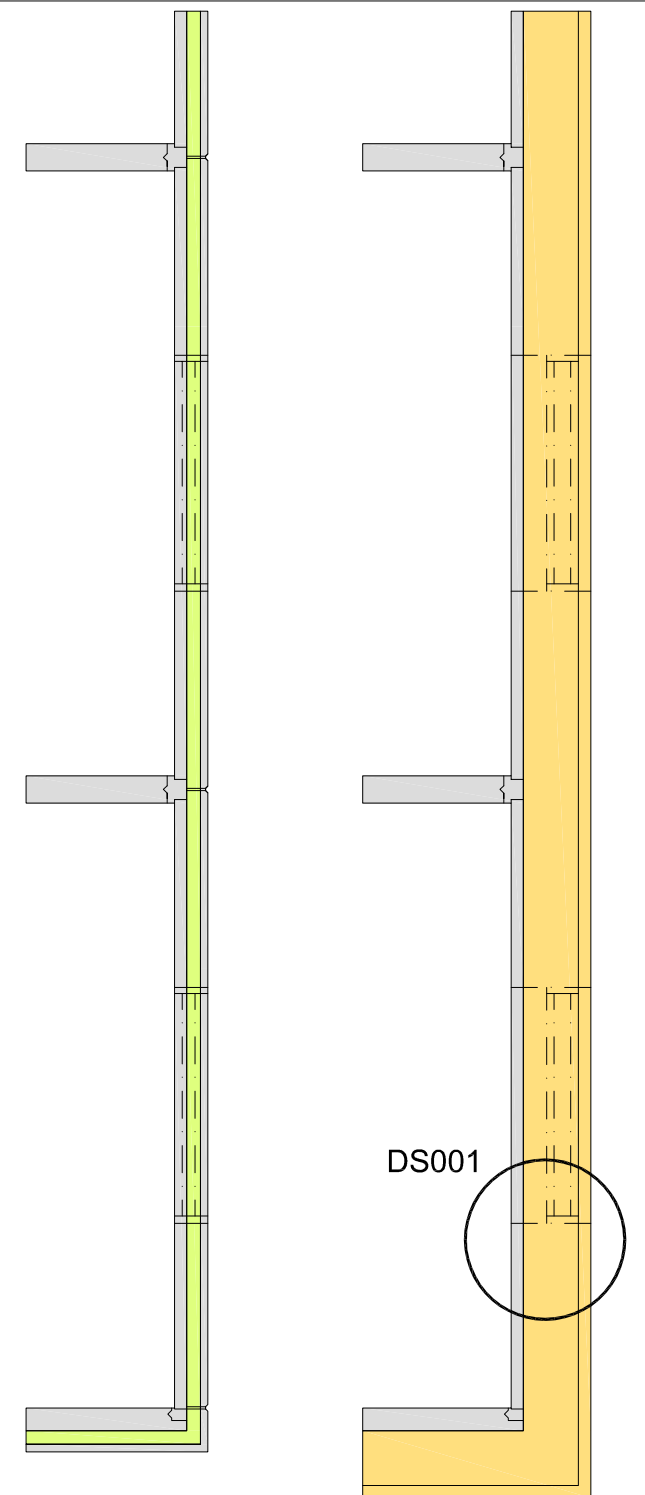
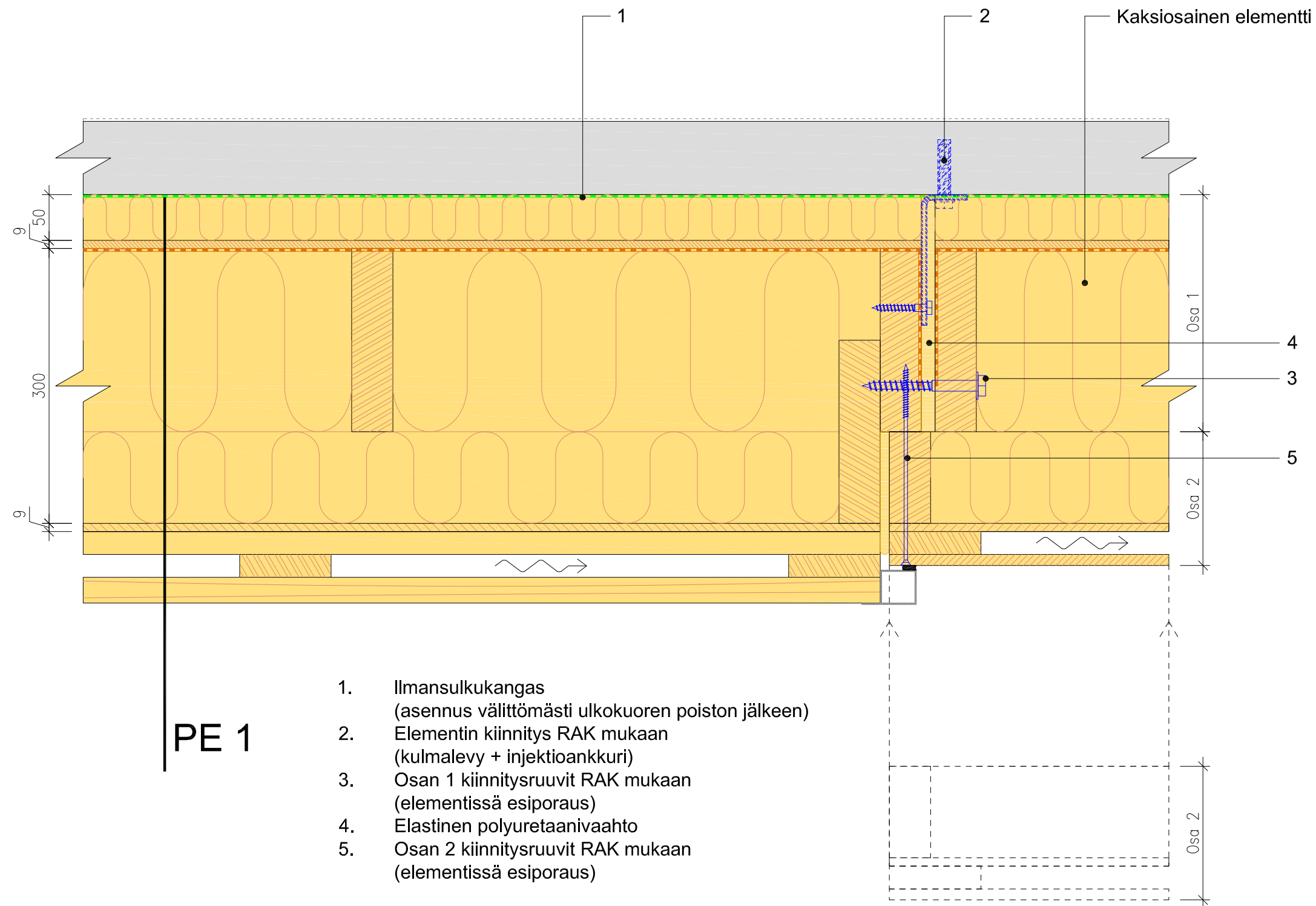
PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

Yläpohjaliittymä

PIIR. NUMERO



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



RAKENNUSKOOTTEEN NIMI JA OSOITE

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

TUNNUS

1:5

PÄIVÄYS

2.7.2009

DS001

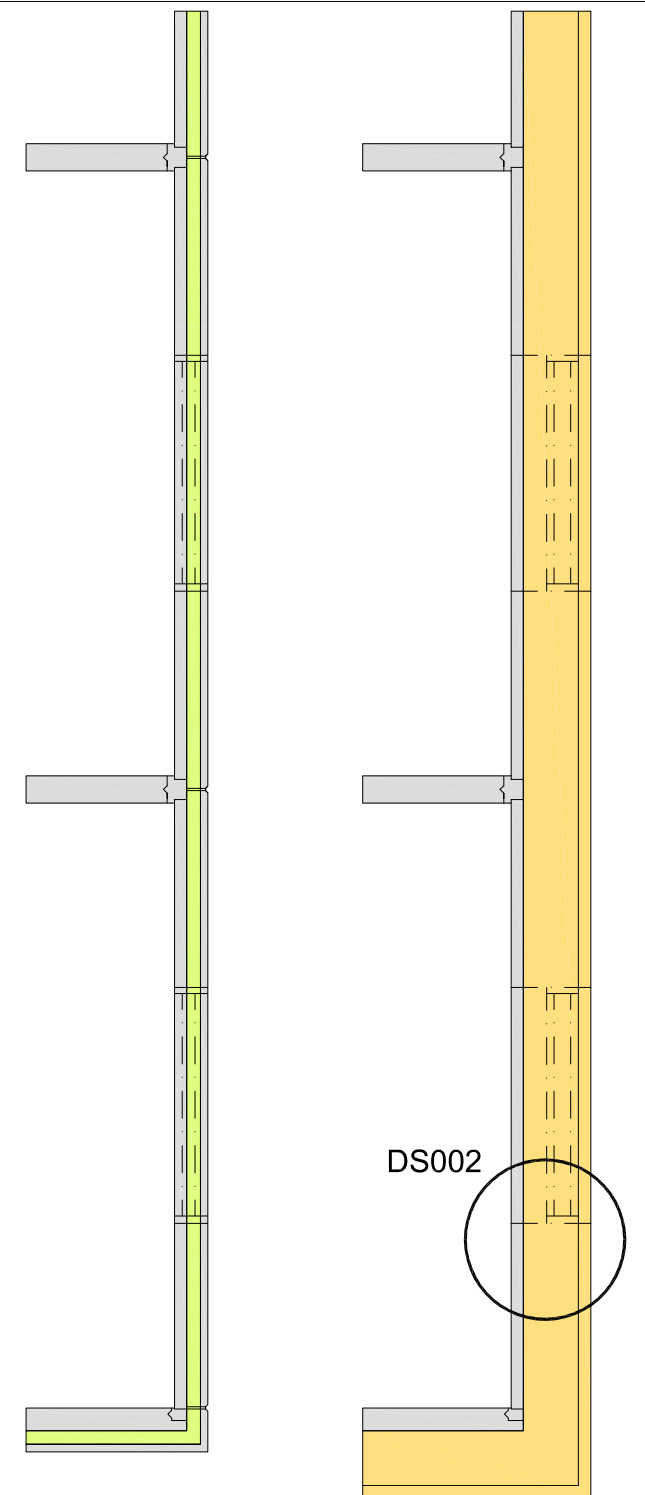
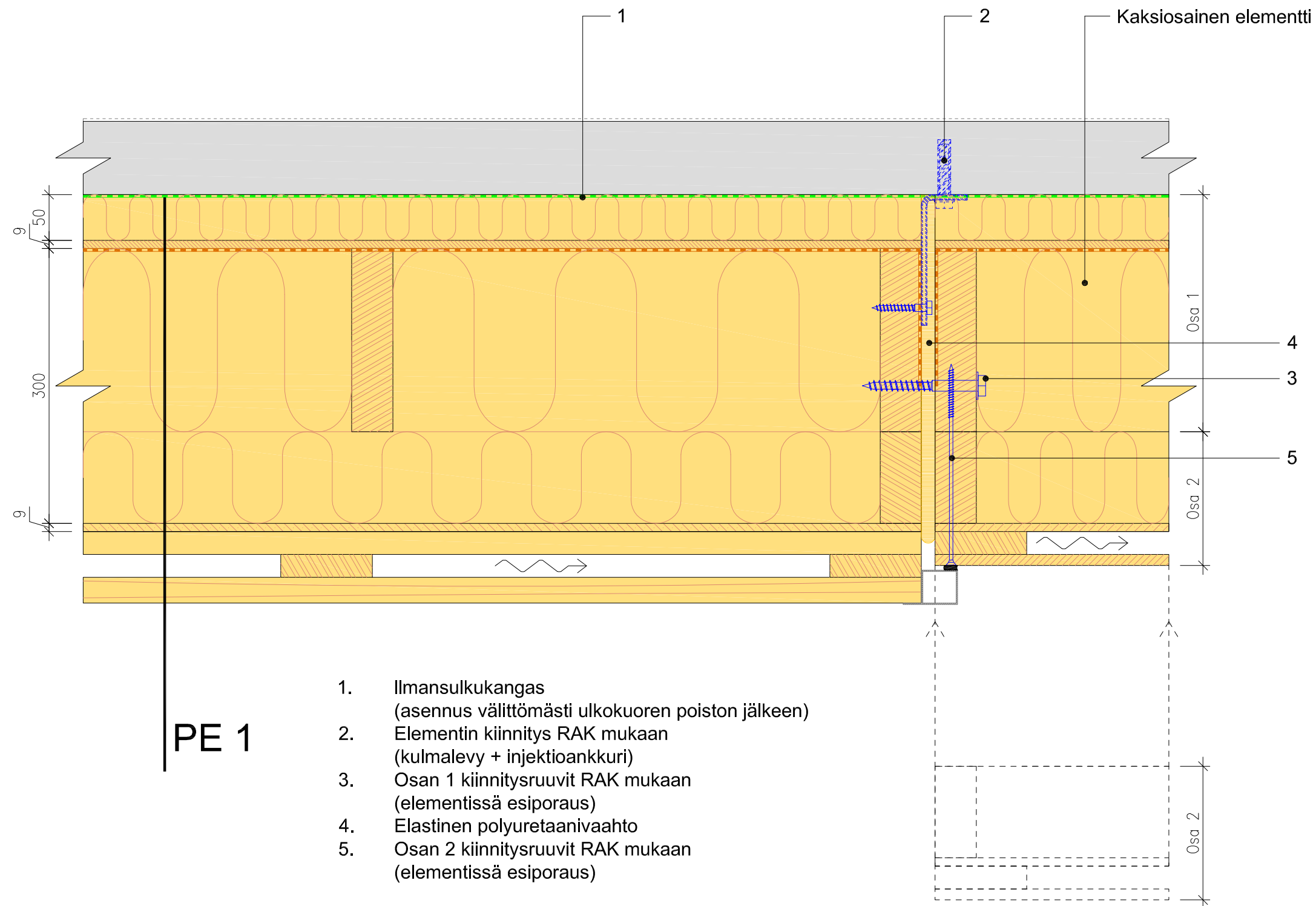
PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

PIIR. NUMERO

Elementtien pystysauma (A)



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA Osoite

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

TUNNUS

1:5

PÄIVÄYS

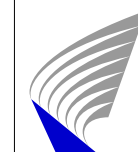
2.7.2009

DS002

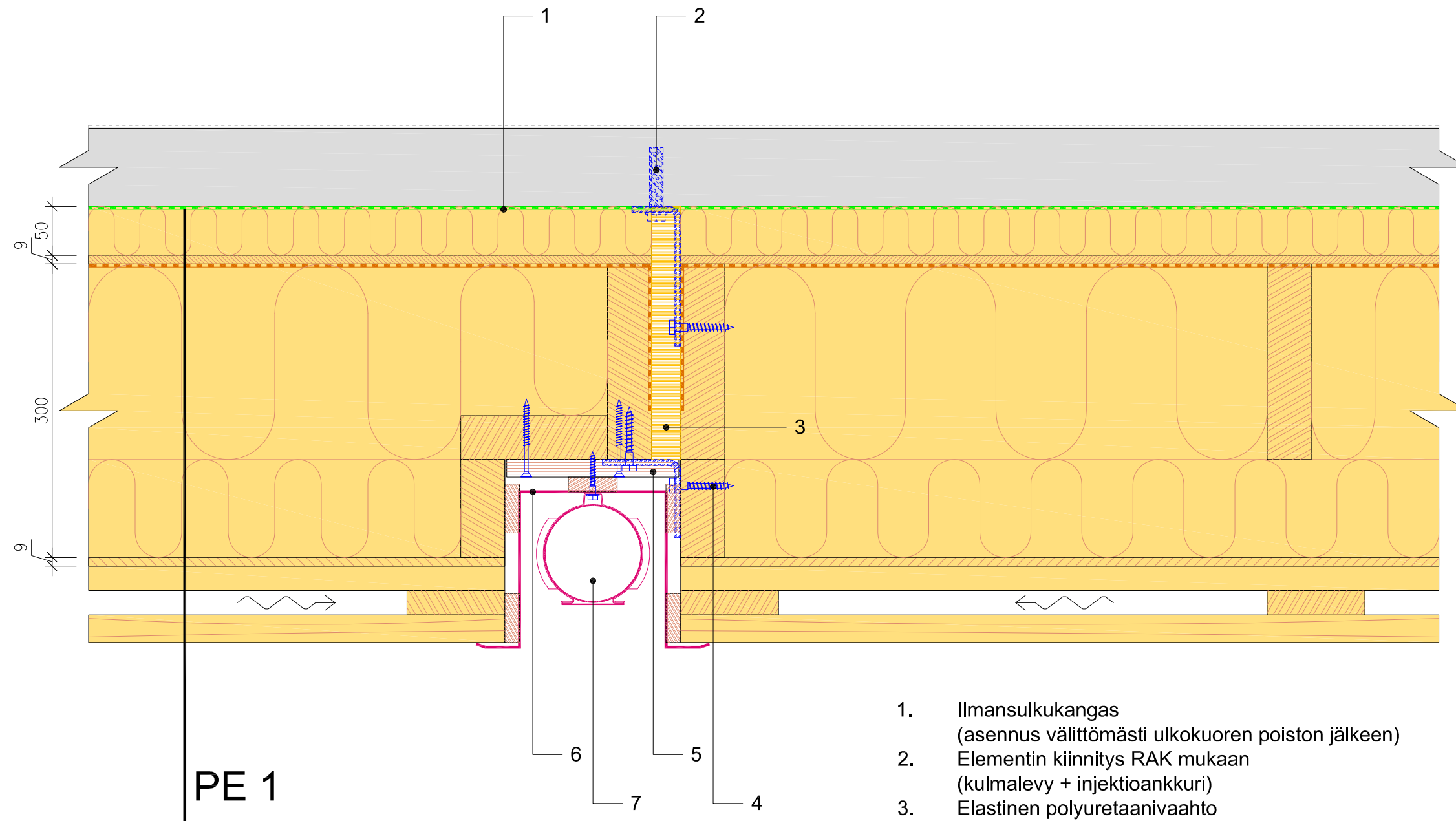
PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

Elementtien pystysauma (B)

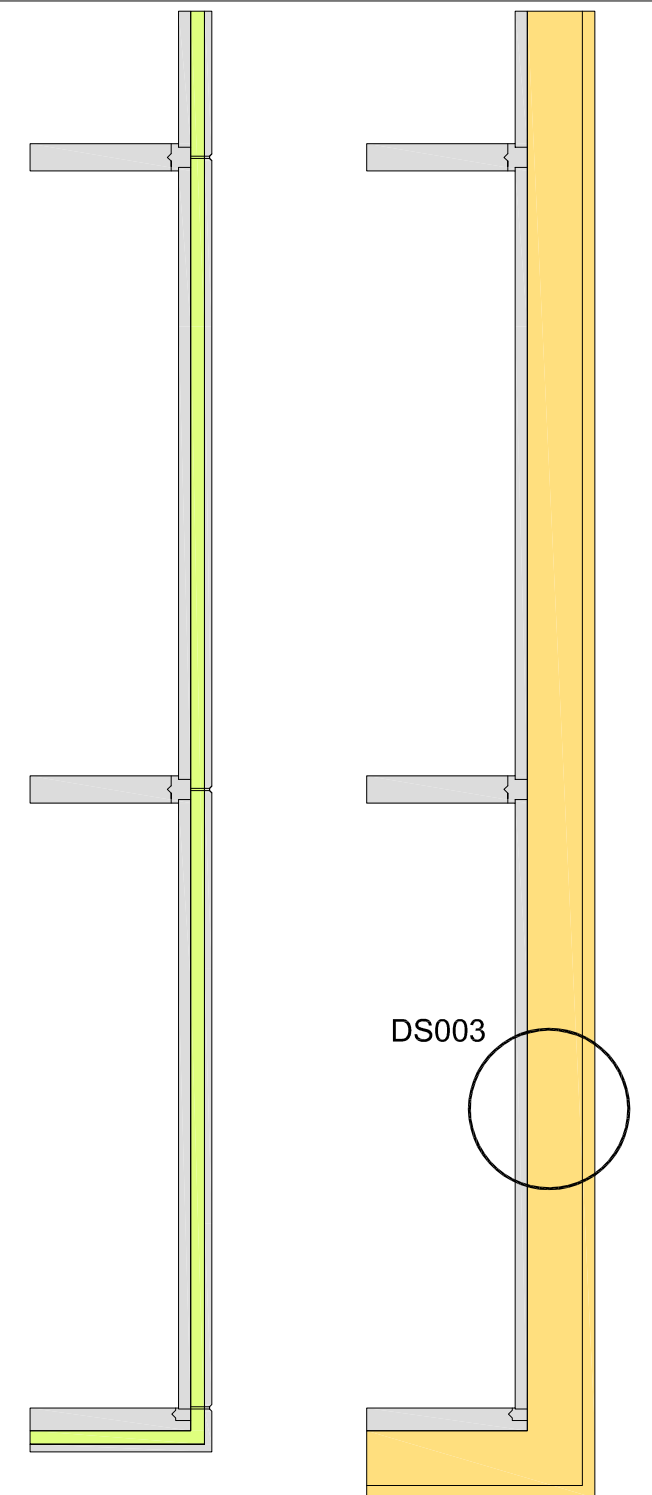
PIIR. NUMERO



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



1. Ilmansulkukangas
(asennus välittömästi ulkokuoren poiston jälkeen)
2. Elementin kiinnitys RAK mukaan
(kulmalevy + injektioankkuri)
3. Elastinen polyuretaanivaaho
4. Elementin kiinnitys RAK mukaan
(kulmalevy + ruuvit)
5. Havuvanereri 18 mm
6. Suojapeltti
7. Syöksytorvi



RAKENNUSKOHTEN NIMI JA OSOITE

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

TUNNUS

1:5

PÄIVÄYS

2.7.2009

DS003

PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

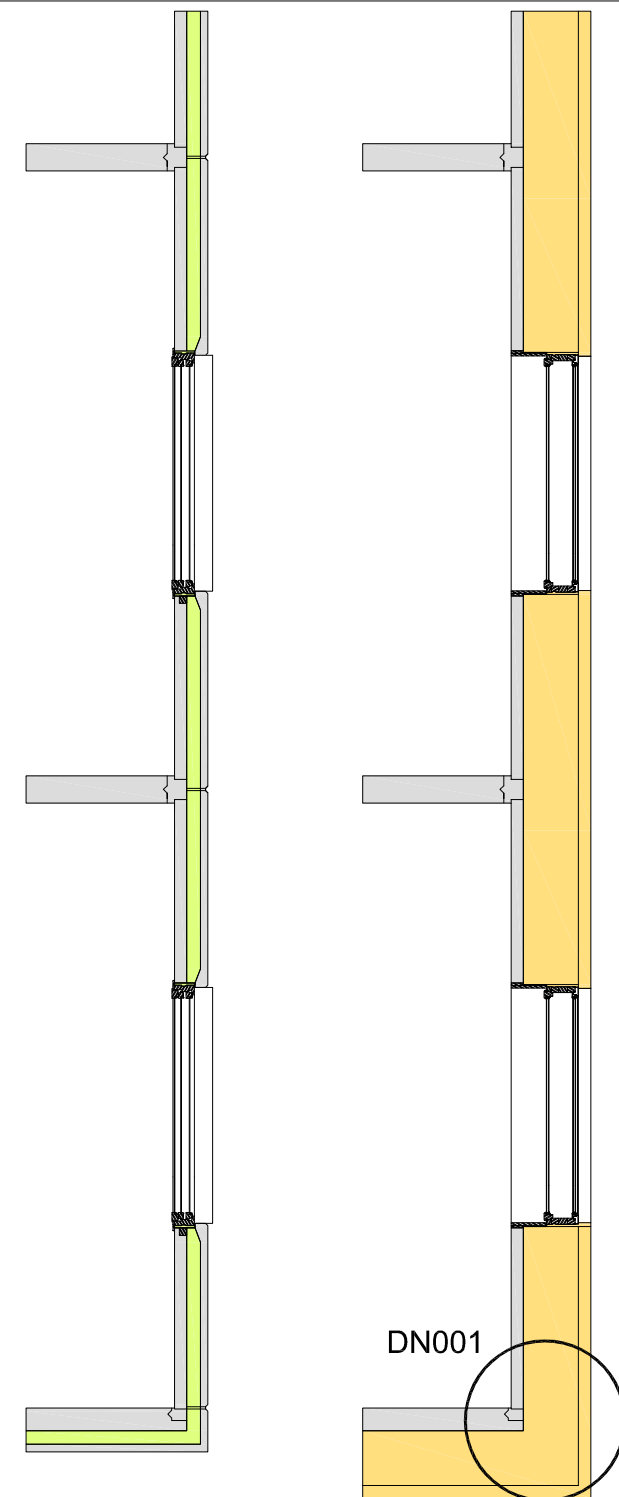
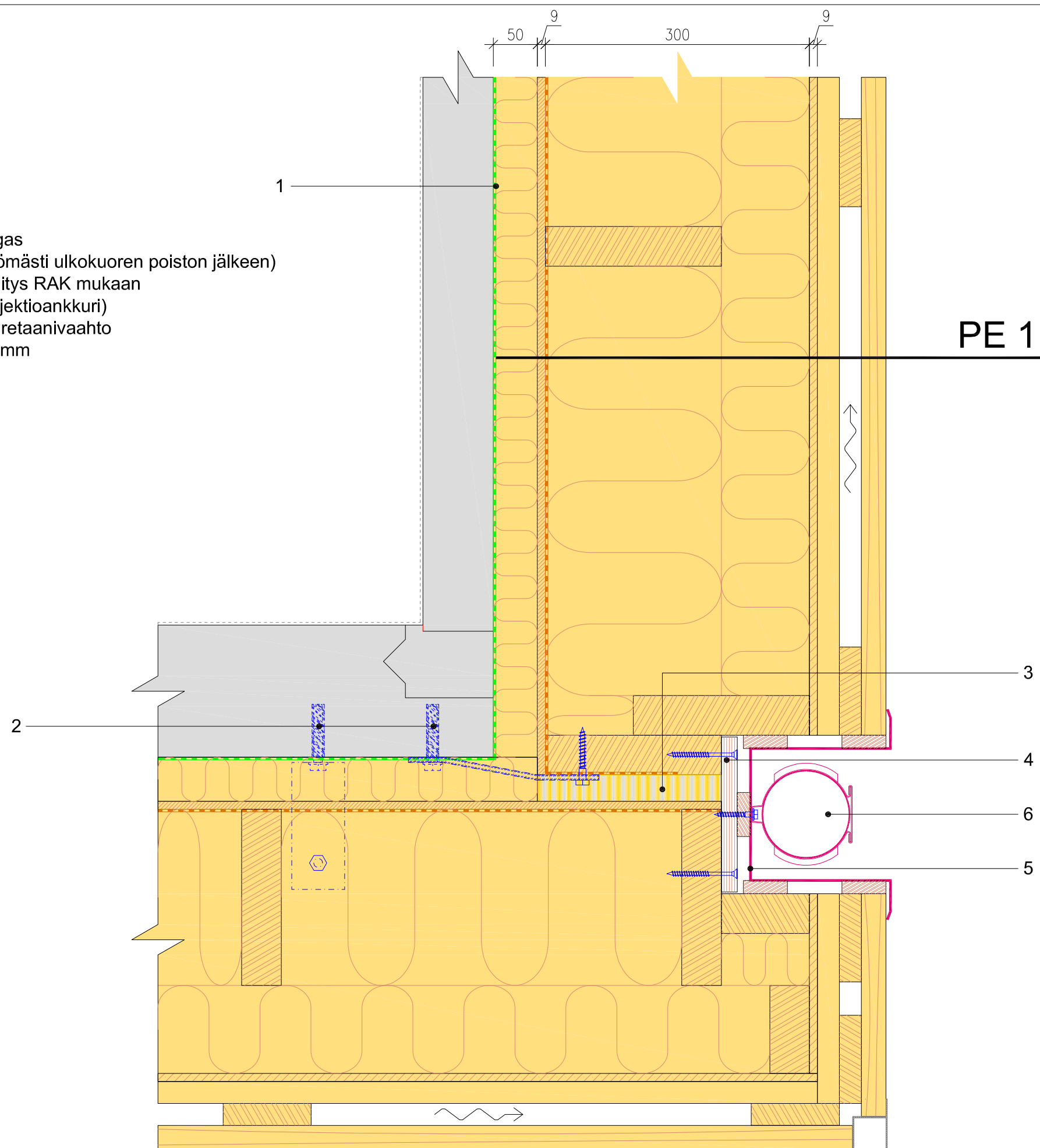
PIIR. NUMERO

Elementtien pystysauma



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

1. Ilmansulkukangas
(asennus välittömästi ulkokuoren poiston jälkeen)
2. Elementin kiinnitys RAK mukaan
(kulmalevy + injektioankkuri)
3. Elastinen polyuretaanivaaho
4. Havuvaneri 18 mm
5. Suojapelti
6. Syöksytorvi



RAKENNUSKOHTTEEN NIMI JA OSOITE

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

TUNNUS

1:5

PÄIVÄYS

2.7.2009

DN001

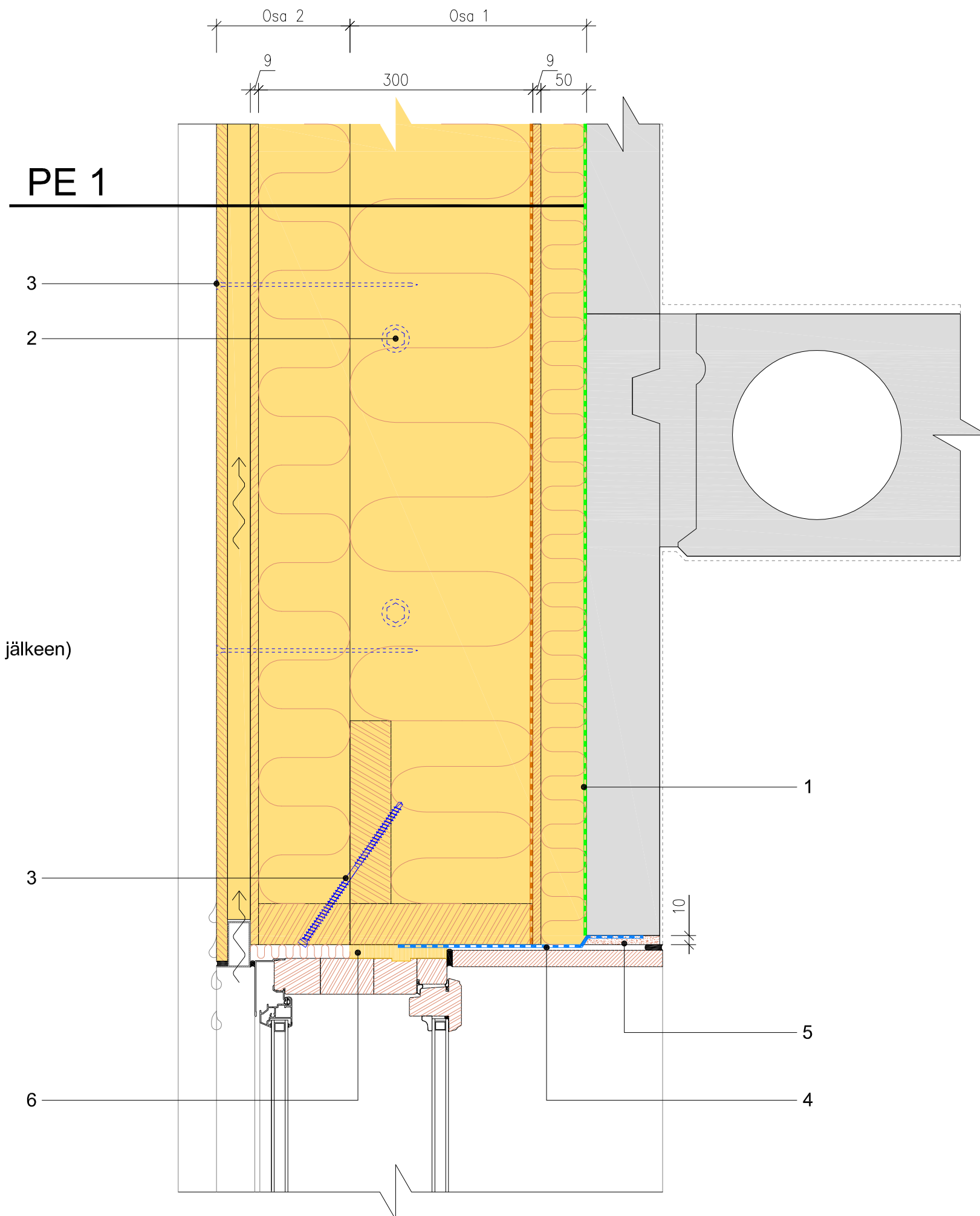
PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

Nurkkaliittymä

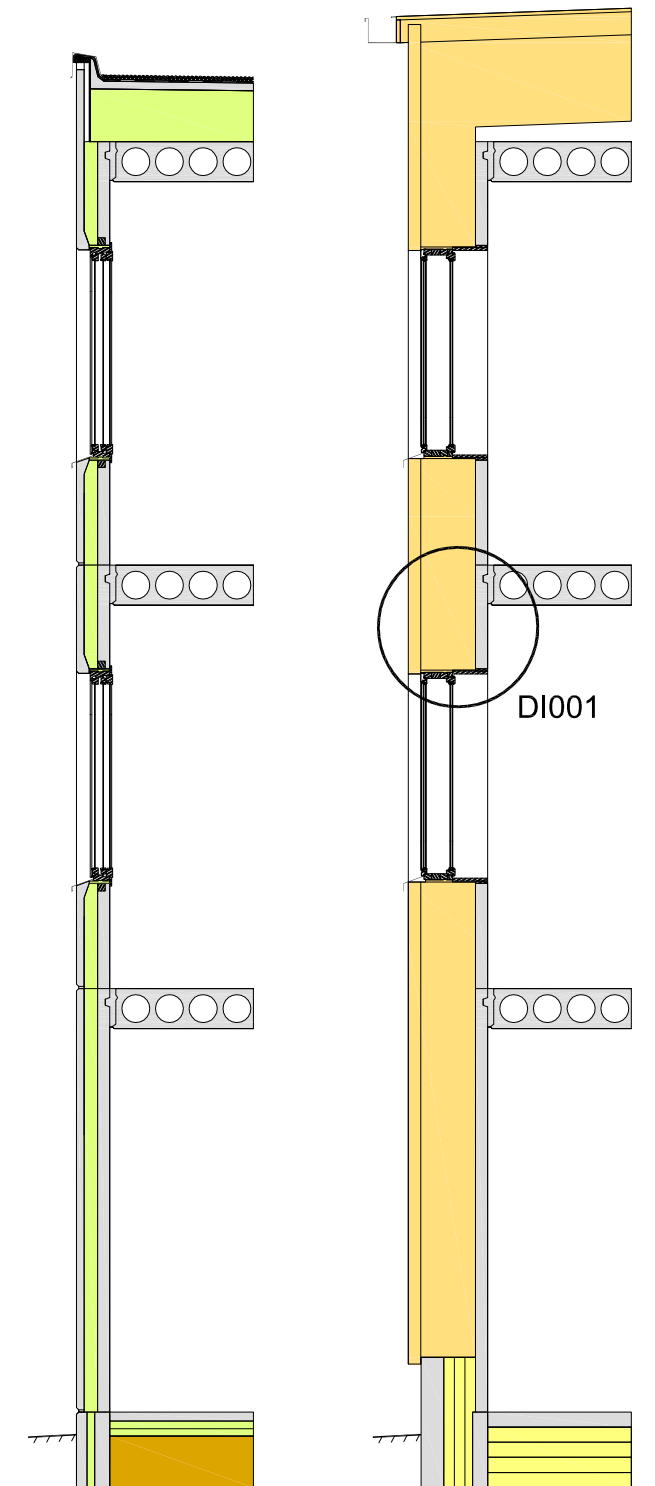
PIIR. NUMERO



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



1. Ilmansulkukangas
(asennus välittömästi ulkokuoren poiston jälkeen)
2. Osan 1 kiinnitysruuvit RAK mukaan
(elementissä esiporaus)
3. Osan 2 kiinnitysruuvit RAK mukaan
(elementissä esiporaus)
4. Höyrynsulkunauha
5. Tasoite
6. Polyuretaanivaaho



RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA OSOITE

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

TUNNUS

1:5

PÄIVÄYS

2.7.2009

DI001

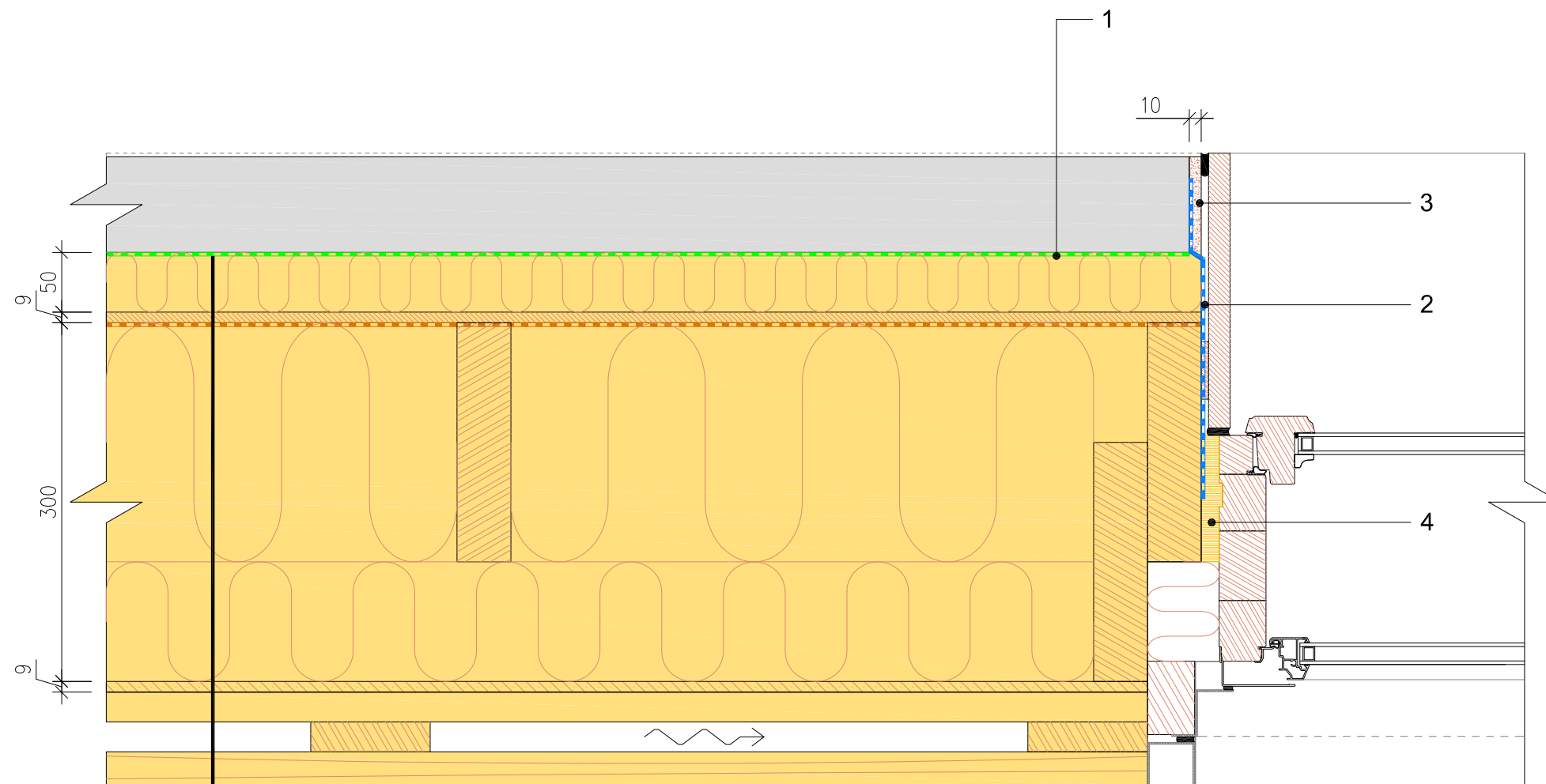
PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

Ikkunaliittymä

PIIR. NUMERO

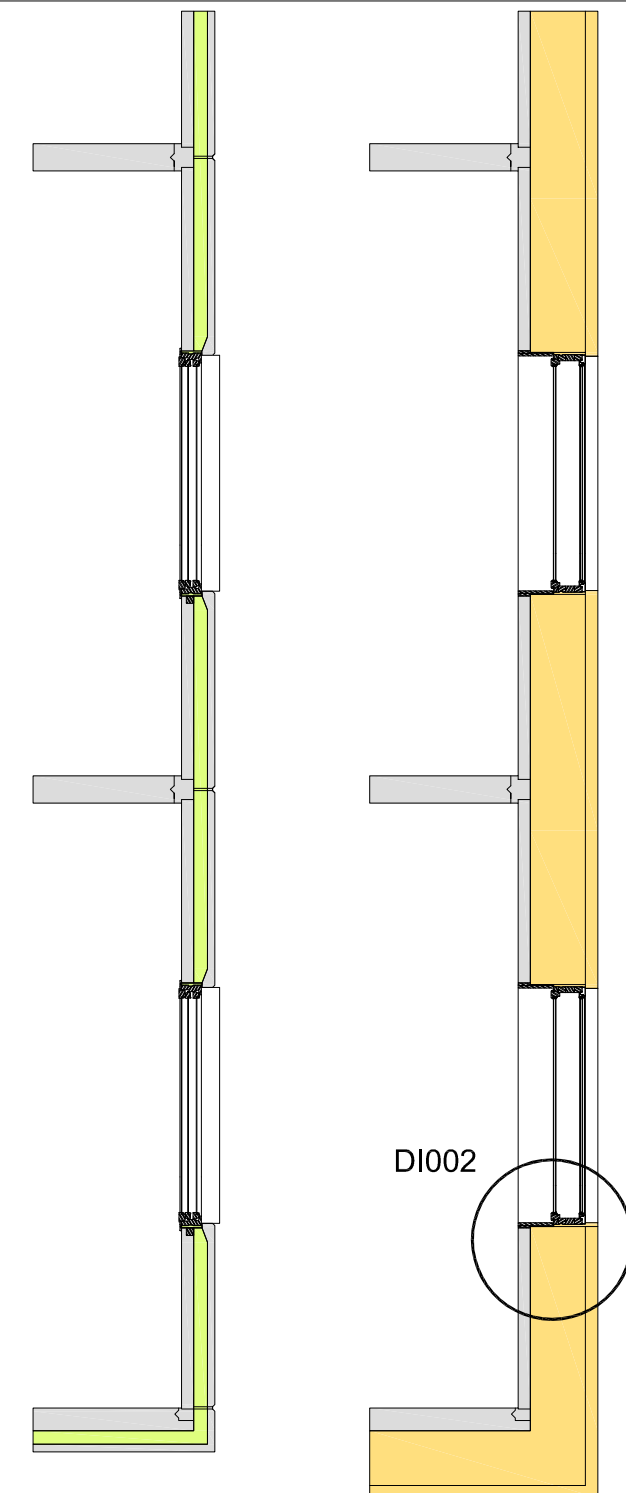


TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



PE 1

1. Ilmansulkukangas
(asennus välittömästi ulkokuoren poiston jälkeen)
2. Höyrynsulkunauha
3. Tasoite
4. Polyuretaanivaaho



RAKENUSKOHTIEN NIMI JA Osoite

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

TUNNUS

1:5

PÄIVÄYS

2.7.2009

DI002

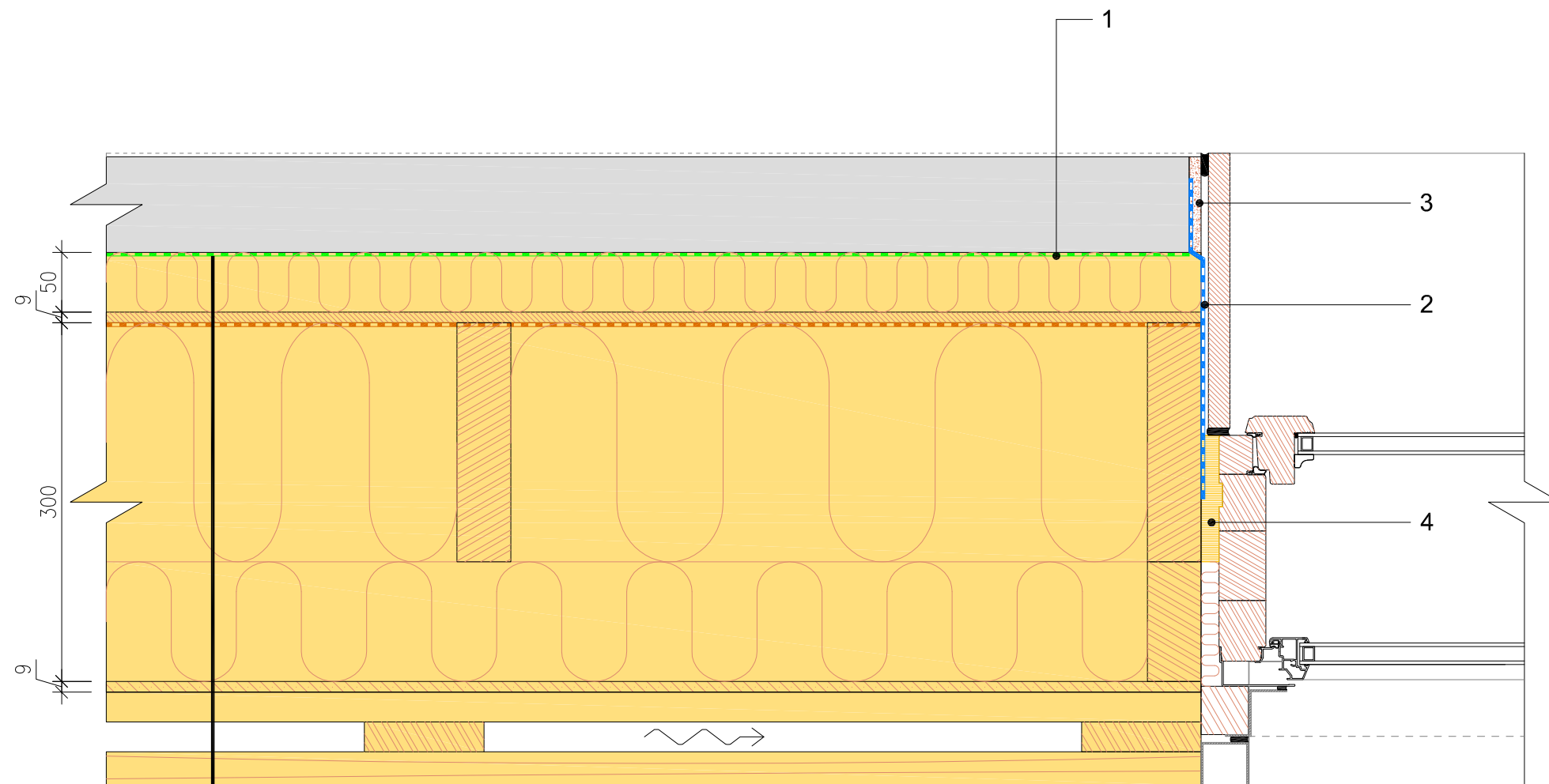
PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

PIIR. NUMERO

Ikkunaliittymä (A)

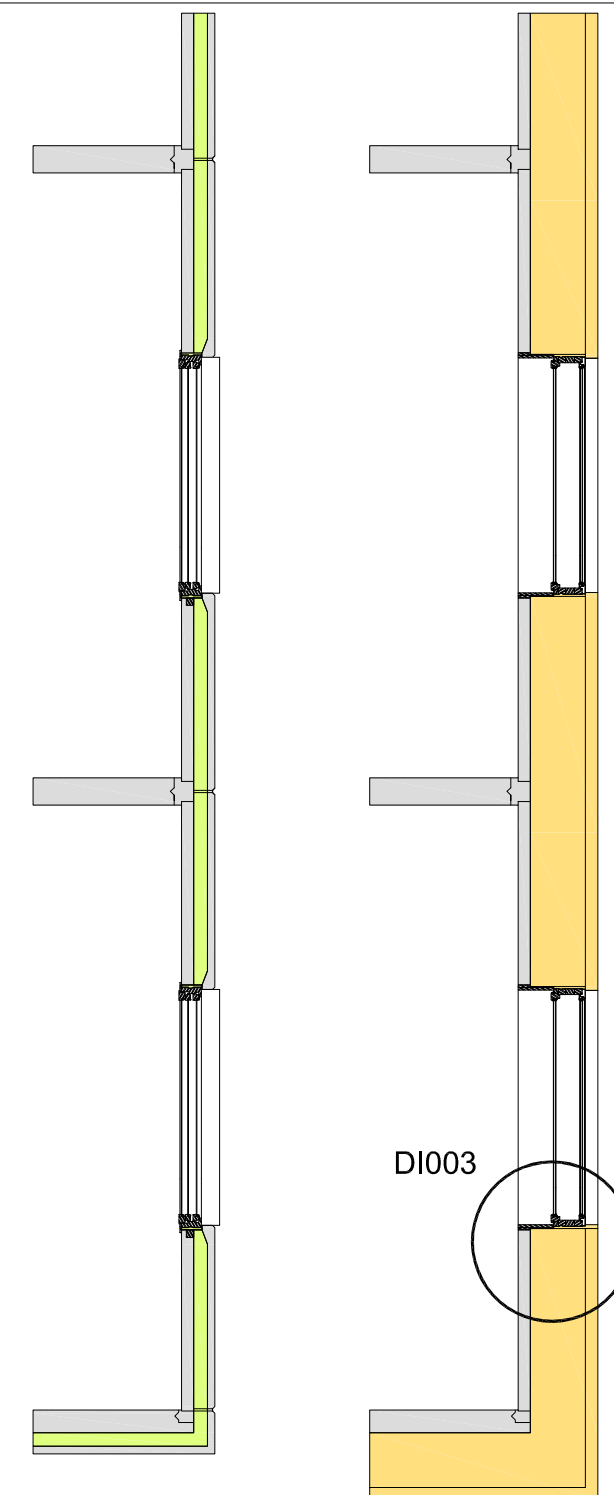


TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



PE 1

1. Ilmansulkukangas
(asennus välittömästi ulkokuoren poiston jälkeen)
2. Höyrynsulkunauha
3. Tasoite
4. Polyuretaanivaaho



RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA Osoite

TES-projekti

TYÖN NRO

MITTAKAAVA

1:5

TUNNUS

PÄIVÄYS

2.7.2009

DI003

PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ

Ikkunaliittymä (B)

PIIR. NUMERO



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY