

Juho Kuusikko

# ERISTETTY RAKENNEPANEELI

SIP-Elementtien käyttömahdollisuudet Suomessa

Kandidaatintyö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Tarkastajat: Prof. Sami Pajunen  
Kesäkuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Juho Kuusikko: Eristetty rakennepaneeli  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tutkinto-ohjelma  
Kesäkuu 2023

---

Rakennusteollisuus muuttuu hitaasti ja on luonteeltaan konseratiivinen. Siksi uusien rakennustapojen ja -tekniikoiden yleistyminen käytössä on hidasta. Yksi näistä vähän käytetyistä, mutta tehokkaista, rakennustuotteista on SIP-elementti. SIP-elementit, eli Structural Insulated Panels, ovat rakentamisessa käytettyjä rakennuselementtejä, jotka koostuvat kahdesta rakennelevystä, joiden välissä on eristekerros. Tyypillisesti rakennelevyt ovat OSB-levyjä ja sisäinen eristekerros EPS:ää. SIP-elementtien edut verrattuna vastaavaan puurankarakenteeseen ovat parempi lämmöneristävyyys vastaavalla paksuudella, nopeampi rakennusaika, asunnusten helppous, materiaalitehokkus ja suunnittelun helppous. Tutkimuksen pohjalta SIP-elementit ovat Suomessa liian vähän käytettyjä, vaikkakin ovat hieman suosiotaan kasvattaneet.

Avainsanat: Structural Insulated Panel, SIP, Elementtirakentaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

## ABSTRACT

Juho Kuusikko: A Descriptive Title

Thesis type

Tampere University

Degree Programme

June 2023

---

The construction industry evolves slowly and is conservative in its nature, which is why adaptation and wide spread usage of new techniques and ways of building is slow. One of these efficient but underused building products is structural insulated panel. Structural insulated panels, or SIPs, are elements used in construction industry. SIPs are formed from three layers, a layer of insulation in between two panels. Typical SIP is made of EPS in between two OSB-panels. Some of the advantages of SIPs compared to a more traditional style of timber walls include: better insulation with a thinner structure, faster time of building, efficient use of materials and ease of installing and designing. Based on this study SIPs are underused in Finland, even though they have been slightly popularized.

Keywords: Structural Insulated Panel, SIP, prefabricated building

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

## ALKUSANAT

Tämä työ käsittelee SIP-elementtejä rakenteena, ja vertaa niitä perinteisempään puurankaratkaisuun. Työn aiheen valinta oli helppo, sillä heti kun ohjaajani Sami Pajunen edotti aihetta, innostuin välittömästi, koska puurakentaminen on kiinnostanut minua jo opintojen alkumetreiltä lähtien. Tämän lisäksi sain mahdollisuuden perehtyä sekä puuelementtien valmistamiseen, että käyttöön ympäri maailmaa. Aiheen rajaus tuotti haasteita, sillä oli vaikea valita halutut näkökulmat SIP-elementtien vertailuun. Tämän työn tekeminen kuitenkin opetti paljon, etenkin Pohjois-Amerikan rakennuskulttuurista. Haluan kiittää ystäviäni tuesta ja ilosta työn vaikeillakin hetkillä. Erityisesti haluan mainita ohjaajani Sami Pajusen, joka osoitti poikkeuksellista kärsivällisyyttä ja ammattitaitoa sekä innoitti minua valitsemaan kyseisen aiheen.

Tampereella, 4. kesäkuuta 2023

Juho Kuusikko

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	Johdanto . . . . .	1
1.1	Tutkimuksen tausta . . . . .	1
1.2	Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset . . . . .	1
1.3	Työn rakenne . . . . .	2
2.	SIP-elementit . . . . .	3
2.1	Käyttö . . . . .	4
3.	SIP-rakenteen vertailu puurankarakenteeseen . . . . .	10
3.1	Rakennusvaihe . . . . .	10
3.2	Esimerkkirakenne . . . . .	11
4.	Mallirakennus . . . . .	15
5.	Yhteenveto . . . . .	18
	Lähteet . . . . .	19

# 1. JOHDANTO

Rakennusteollisuus konservatiivisuudessaan on hidas muuttumaan ja hyödyntämään uusia innovaatioita. Rakentamiskulttuurissa epävarmuutta ja riskitekijöitä vältellään. [4] Elementtirakentamisen kasvattaessa suosiotaan myös SIP-elementit (Structural Insulated Panels, suom. eristetty rakennelevy) ovat yleistyneet rakennusmateriaalina. Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on perehtyä SIP-elementtien käyttöön rakennusmateriaalina ja verrata SIP-elementtejä perinteisempiin vaihtoehtoihin, kuten vastaaviin puurakenteisiin. Vertailu tapahtuu tarkastelemalla rakenteiden U-arvoja, sekä rakentamiseen käytettyä aikaa, työnteen helppoutta, materiaalihukkaa sekä yleisiä kokemuksia rakennusvaiheesta työntekijän näkökulmasta. Työssä hyödynnetään muun muassa Michael A. Mullensin ja Mohammed Arifin tapaustutkimusta liittyen SIP-elementtien rakennusvaiheeseen.

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennuskanta kehittyy hitaasti, sillä rakennuttajat välttävät turhia riskejä ja siksi uusia rakennusmateriaaleja vältetään. Näihin riskeihin sisältyvät esimerkiksi epävarmuudet lainsäädännöllisistä ongelmista, rakennuksen ostajan tai käyttäjän riskiensietokyky, pitkän aikavälin rakennuksen kestävyys ja uuden rakennusmateriaalin asentamiseen liittyvät muutokset rakennusvaiheessa.[4] Tämä kandidaatintyö perehtyy yhteen innovatiiviseen, mutta vähän käytettyyn teknologiaan: SIP-elementteihin ja niiden käyttömahdollisuuksiin Suomessa. SIP-elementtien käyttö Suomessa on vielä verrattain harvinaista, ja siksi Suomessa ei ole erillistä SIP-elementtien valmistajaa.

## 1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen lähtökysymyksenä on SIP-elementtien hyödyntämisen kannattavuus Suomessa. Työssä tarkastellaan SIP-elementtien ominaisuuksia sekä niihin liittyviä ominaispiirteitä rakennuksen elinkaaren rakennus- ja käyttövaiheessa. Olennaiset kysymykset tutkimuksen kannalta voidaan muotoilla seuraavasti:

1. Mitä SIP-elementit ovat?
2. Miten SIP-elementtejä käytetään?
3. Miten SIP-elementit eroavat perinteisemmistä vaihtoehdoista?

#### 4. Kannattaako SIP-elementtejä hyödyntää?

Tutkimuksessa pyritään selvittämään SIP-elementtien oleelliset ominaisuudet ja löytämään vastaukset tutkimuskysymyksiin.

### 1.3 Työn rakenne

Tutkimus on kirjallisuuskatsaus SIP-elementtien materiaaliominaisuuksista, valmistustekniikoista ja käyttökohteista. Koska kyse on puurakenteesta, riippuu elementin/rakenteen lujuus käytetyn puun lujuudesta, joka on valittavissa sekä perinteisessä rakenteessa että elementissä. Tämän vuoksi työssä tarkastellaan vain valmiin rakenteen U-arvoja. Tutkimuksessa analysoidaan muun muassa valmistajien tarjoamia selvityksiä ominaisuuksista, sekä olemassa olevaa kirjallisuutta käyttökohteista sekä määräyksistä ja ohjeista. Lisäksi työssä tarkastellaan SIP-elementtien tyypillisiä käyttökohteita.

Työn toinen luku osa käsittelee SIP-elementtejä rakennusmateriaalina sekä valmistustekniikoista ja taustoja. Kolmannessa luvussa tutkitaan SIP-elementtien ja vastaavien puurakenteiden ominaisuuksia ja niiden eroja. Osiossa myös suunnitellaan esimerkkirakenne sekä SIP-elementeillä, että puurakenteilla ja verrataan niiden eroja lämpöteknisestä näkökulmasta. Luvussa 4 suunnitellaan mallirakennus SIP-elementeistä. Tutkimuksen lopussa esitetään johtopäätökset erojen suuruudesta ja käyttömahdollisuuksista sekä yhteenveto työn tuloksista.

## 2. SIP-ELEMENTIT

SIP-elementit, eli Structural Insulated Panels, ovat rakentamisessa käytettäviä rakennuselementtejä jotka koostuvat kolmesta osasta: kahdesta rakennelevystä, sekä yhdestä lämpöä eristävästä kerroksesta, joka on puristettu kahden rakennelevyn väliin. Rakennelevyt kiinnitetään eristävään kerrokseen sopivalla liimalla. Eristävänä kerroksena käytetään tyypillisesti polystyreenivaahtoa (XPS tai EPS) tai polyuretaanivaahtoa. Myös "kennorakenteita" (honeycomb structure) ja polyisomateriaaleja (polyisocyanurate, PIR tai ISO) voidaan käyttää SIP-elementtien ytiminä. Rakennelevyinä käytetään tyypillisesti vaneria, metallilevyjä, sementtilevyjä ja OSB-levyjä (Oriented Strand Board). [8] Versiota jossa käytetään rakennelevynä metallia, kuten peltiä, käytetään Suomessa nimitystä sandwich-elementti. Peltisandwich-elementtejä käytetäänkin usein kevytrakentamisessa Suomessa. Tavallisin SIP-levy koostuu kahdesta OSB-levystä ja niiden välisestä polystyreenivaahtoytimestä. Tyypillinen SIP-levy esitetty alla kuvassa 2.1.



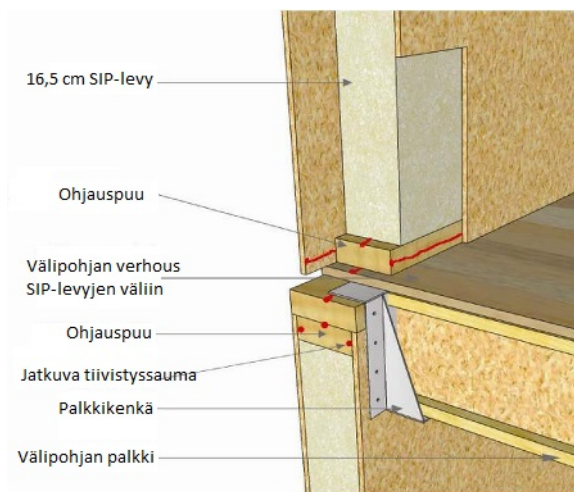
**Kuva 2.1.** Tyypillinen SIP-levy, Wood Solutions

SIP-elementtien valmistaminen on yksinkertainen prosessi, joka aloitetaan levittämällä tasainen kerros liimaa rakennelevyjen päälle. Tämän jälkeen eristerkerros asetetaan rakennelevyjen väliin ja rakennelevyjen liimapinta painetaan eristerkerrokseen kiinni. Liiman tarttuvuus varmistetaan puristamalla rakennelevyjä molemmiin puolin. Lopuksi kokonaisuus leikataan haluttuun muotoon ja pakataan kuljetusta varten. [6]



## 2.1 Käyttö

SIP-elementit rakennusmateriaalina ovat lujia, energiatehokkaita ja helppokäyttöisiä. Elementtien vahvuuksiin rakenteina kuuluvat lämpötehokkuus, korkea lujuus/paino -suhde ja ympäristöystävällisyys. [4] SIP-levyjä käytetään tavallisimmin sisä- ja ulkorakenteissa, seinissä, katoissa ja lattioissa. SIP-elementtejä käytetään pienemmissä rakennuksissa sekä kantavana, että ei kantavana rakenteena. Elementtejä voi löytää esimerkiksi kouluista, asuinrakennuksista, kirkoista, sairaaloista ja toimistorakennuksista. [4] Tyypillinen SIP-rakenne esitetty kuvassa 2.2.

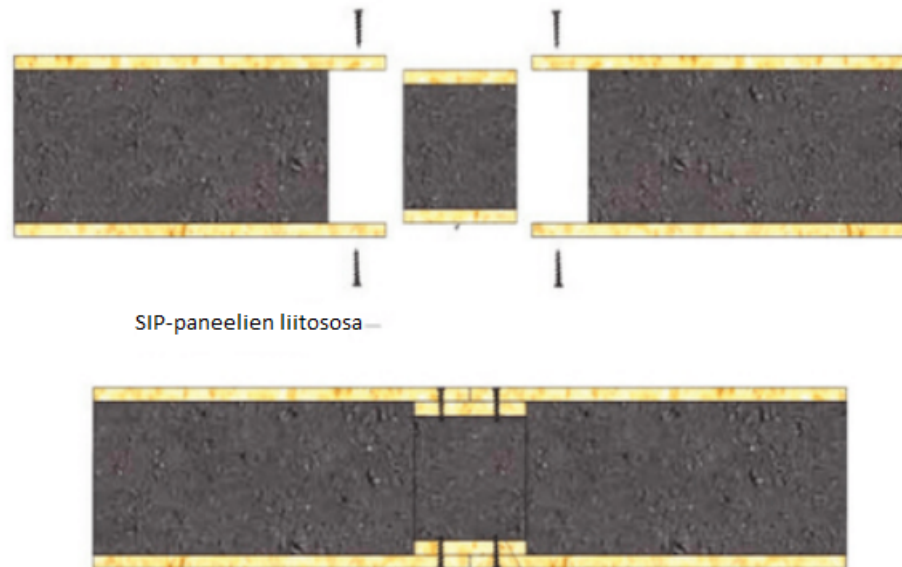


**Kuva 2.2.** SIP-rakenne, Ontario Home Builders

SIP-paneeli voi toimia sellaisenaan kantavana rakenteena kevytrakennuksissa. Samaa paneelia voidaan käyttää sekä vaaka- että pystyrakenteissa. Elementin kantavuus on kuitenkin rakennelevyn lujuudesta riippuvainen, joten mikäli halutaan parantaa rakenteen lujuutta, täytyy lisätä elementtien väliin kantavia rakenteita. Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa rakennetaan paljon pientaloja jossa ainoana kantavana rakenteena ovat SIP-elementit. Luvussa 4 suunniteltu pientalo hyödyntää pilareita SIP-elementtien välissä. Levyjen väliin on helppo upottaa kantavia rakenteita kuten kuvassa 4.3. Tällä tavalla voidaan toteuttaa haluttu jännepituus elementeissä. Vaakarakenteena SIP-elementit toimivat I-palkin tavoin [3], jossa ulkoreunan levyt toimivat I-palkin laippoina, jotka vastaanottavat suurimman osan puristus- ja taivutusrasituksesta. Keskellä oleva eriste parantaa elementin leikkausaljuutta ja tukee ulkolevyjä nurjahdusta vastaan. Vastaavasti pystyrakenteet toimivat I-pilarin tavoin.

SIP-paneelien ympäristöystävällisyys perustuu valmistustapaan, materiaalivalintaan ja energiatehokkuuteen. SIP-levyt valmistetaan tehtaissa valmiiksi elementteinä, jolloin rakennusvaiheessa vältetään suuria määriä materiaali-jätettä. [5] Rakennelevynä käytettäessä OSB-levyä, on päärakennusmateriaalina puu. Rakennusmateriaalina puu on ympäristöystävällinen valinta uusiutuvuuden sekä pienen hiilijalanjäljen vuoksi. [2] SIP-ele-

menttien erinomainen eristyskyky parantaa rakennuksen energiatehokkuutta sekä lämmityksen, että viilennyksen yhteydessä. [4] Oikein käytettyinä elementit vähentävät kylmäsiltojen määrää merkittävästi paneelimaisen luonteensa vuoksi.[9] Toimiva liitostapa esitetty kuvassa 2.3 ja 2.4.



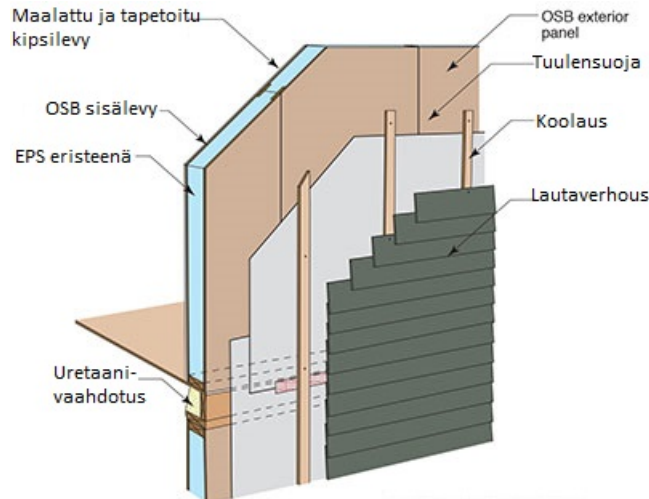
**Kuva 2.3.** SIP-elementtien välinen liitos, SipsEco



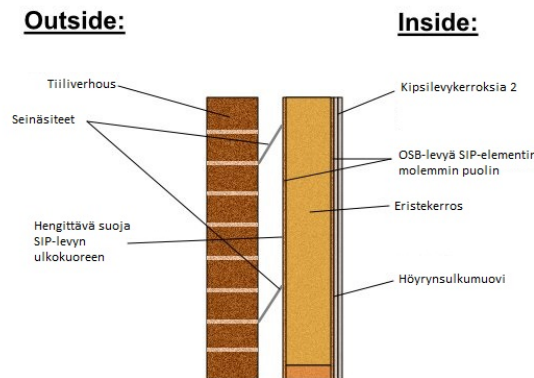
**Kuva 2.4.** Sips-elementtien välinen liitos, Sips@clay

Elementtien sisään ei tarvita erillistä tuuletusta. Tyypillisesti elementin rakenteen ulkopuolella olevan osan puolelle jätetään tuuletusrako ulkoverhouksen ja elementin väliin. Tällöin SIP-levyn ulkopuoliselle pinnalle asennetaan huokoisasta materiaalista suoja kuvien 2.5 ja 2.6 mukaisesti. Elementin sisäpinnalle lisätään esimerkiksi höyrynsulkumuovi.

SIP-elementeistä rakennettu esimerkkiseinä esitetty kuvassa 2.5 ja 2.6. Kuvassa 2.5 nähdään tyypillinen ulkoseinä lautaverhouksella, kun taas kuvassa 2.6 on vastaava ulkoseinä rakenne, mutta tiiliverhouksella. Kattorakenne SIP-elementeistä esitetty kuvassa 2.7.

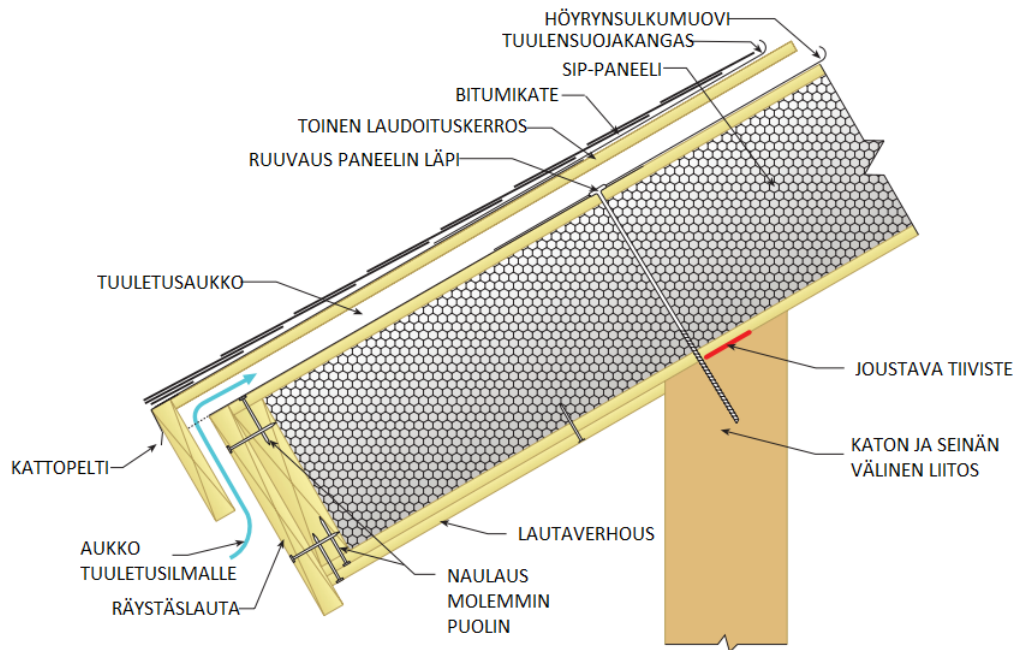


**Kuva 2.5.** Esimerkkiseinä rakenne, puuverhouk, Building Science Corporation



**Kuva 2.6.** Esimerkkiseinä rakenne, tiiliverhouk, Eco Home Essentials

SIP-elementtejä käytettäessä kattorakenteissa on monia etuja. Ensinnäkin, paneelit ovat kevyitä ja helppoja asentaa, mikä tekee rakennusprosessista nopeampaa. Toiseksi, niiden eristysominaisuudet auttavat vähentämään lämpöhäviötä ja parantamaan energiatehokkuutta. Kolmanneksi, SIP-paneelit tarjoavat vahvan ja jäykän rakenteen, joka voi kestää kuormitusta, kuten lumen painoa tai tuulen aiheuttamaa räsitusta. SIP-paneelirakenteisen katon asennuksessa paneelit liitetään yleensä kattoristikoihin ja ne tyypillisesti kiinnitetään paikoilleen ruuveilla. SIP-paneelit ovat myös hyvin tiiviitä, joten ne auttavat estämään ilman ja kosteuden tunkeutumisen rakenteen läpi. [3] Seuraavan sivun kuva 2.7 esittää tyypillistä kattorakennetta.



**Kuva 2.7.** Esimerkkikattorakenne, Structural Insulated Panel Association, sips.org

SIP-elementtien sisäkerroksen materiaalina käytetään useimmiten EPS-, XPS-, GrEPS- tai PIR-eristettä. Rakenneosan lämpötehokkuutta ja eristävyttä tarkastellaan yleisesti lämmönjohtavuuden avulla. Lämmönjohtavuudella tarkoitetaan lämpövirran määrän siirtymistä rakennekappaleen läpi. Yksikkönä käytetään  $W/m \cdot K$  ja symbolina toimii  $\lambda$ . Mitä pienempi lämpövirta kulkee kappaleen läpi, sitä pienemmän  $\lambda$ -arvon kappale saa. Kappaleen eristävyys paranee  $\lambda$ -arvon pienentyessä. Seuraavaan taulukkoon 2.1 on kerätty SipCon valmistamien SIP-levyjien lämmönjohtavuuden  $\lambda$  -arvoja.

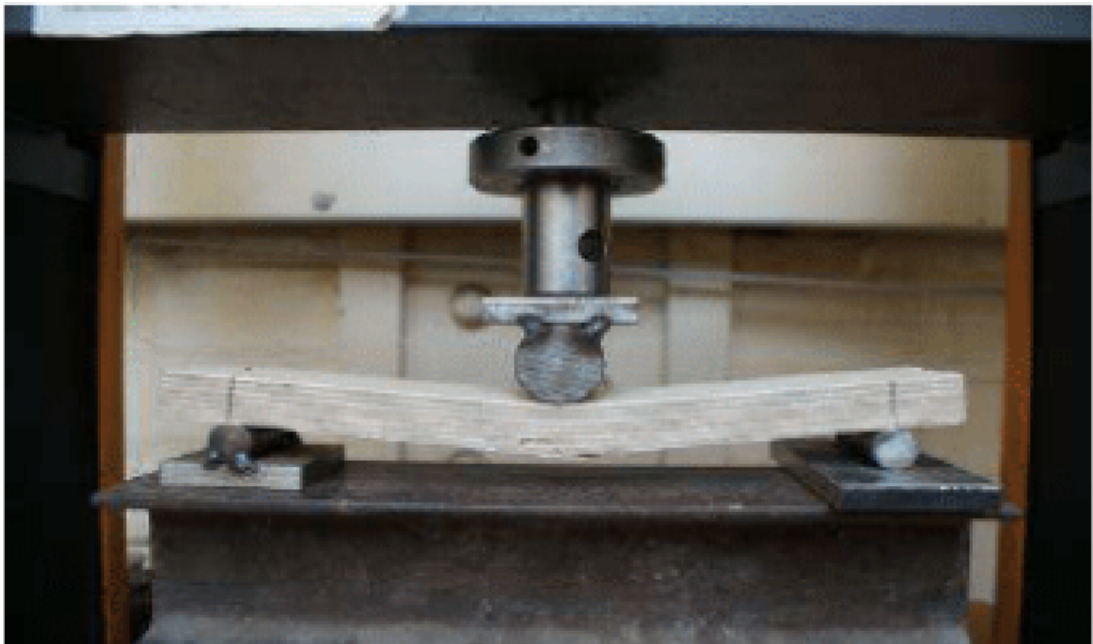
**Taulukko 2.1.** SIP-paneelien lämmönjohtavuus, SipCo

Paneelin paksuus [mm]	$\lambda$ [ $W/m \cdot K$ ]
75	0.38
100	0.35
125	0.26
150	0.21
175	0.17
200	0.15
225	0.13
250	0.12

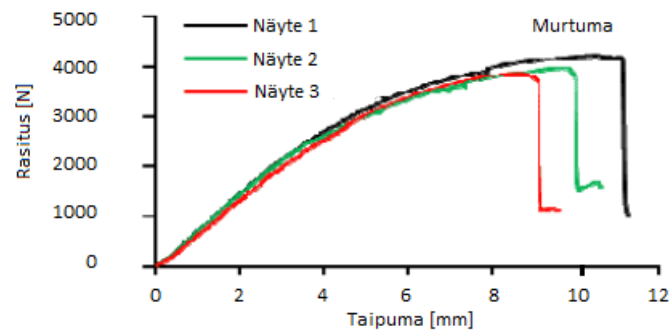
Taulukon 2.1 arvoista nähdään, että SIP-paneelien lämmöneristyskyky on erinomainen, ja paranee paneelin paksuuntuessa. Tämä johtuu siitä, että elementin paksuuntuessa eristyskerroksen paksuuden suhde sivupaneeleihin kasvaa, sillä sivupaneeleiden paksuus on

vakio. Kuoriosien paksuutta ei ole standartisoitu, mutta monet valmistajat, kuten SipCo, pitävät kaikissa SIP-levyissään OSB-levyn paksuuden vakiona suunnittelun ja rakentamisen helpottamiseksi. Esimerkiksi mineraalivillan lämmönjohtavuus  $\lambda$  -arvo on yleensä 0,033 - 0,041  $W/m * K$ . SIP-paneelit ovat siis tehokkaampia lämmöneristykseen paneelin paksuuden ylittäessä 125 mm.

Kokonaisuutena SIP-elementit tajoavat ulkolevyjensä avulla erinomaista rakenneteknistä lujuutta yhdistettynä sisäkerroksen lämpöä eristävään vaikutukseen. Rakenne toimii siis samalla eristävänä kerroksena. Liimakerrokset kerroksien välissä lisäävät rakenteen ilmatiiviyttä ja Oak Ridge Laboratories:n tutkimuksien mukaan SIP-rakenne on jopa 15-kertaa ilmatiiviimpi kuin vastaava puurankainen rakenne. [8] SIP-elementtien käyttäytymistä turvallisena rakenteena on tutkittu laajasti ja niiden on todettu olevan turvallisia pitkänkin aikavälin kuluessa. [10] Yangin, Lin ja Dun toteuttamassa tutkimuksessa tehtiin rasituskokeita erilaisille SIP-elementeille. Rasituskokeissa mitattiin elementtien taipumaa, leikkaus-, puristus- ja vetolujuutta. Esimerkiksi paneelin taipumaa mitattiin kuvan mukaisella 2.8 järjestelyllä, jossa eristesydän on poistettu ja rasituksessa on vain rakennelevyt.



**Kuva 2.8.** SIP-paneelin taipuman mittaamisessa käytetty mittausjärjestely, Yang, Li ja Du



**Kuva 2.9.** SIP-elementin taipuma, Yang, Li ja Du

Tutkimuksen [10] taipumamittaus sai kuvassa 2.9 esitetyt tulokset. Kokeessa käytettyjen paneelien mitat olivat: leveys 50 mm, pituus 270 mm ja paksuus 17,8 mm. Kuvaajasta nähdään kuinka näytteet kestivät miltei 4 kN rasituksen ennen murtumaa.

### **3. SIP-RAKENTEEN VERTAILU PUURANKARAKENTEeseen**

Tässä luvussa vertaillaan SIP-elementtirakennetta ja vastaavaa puurankarakennetta. Vertailussa tarkastellaan rakennusvaiheen vaikutusta Michael A. Mullensin ja Mohammed Arifin tutkimukseen [5] perustuen. Lisäksi tarkastellaan SIP-esimerkkirakenteen ja vastaavan puurankaisen rakenteen eroja eristävytydessä U-arvon laskemisen kautta.

#### **3.1 Rakennusvaihe**

Michael A. Mullensin ja Mohammed Arifin tutkimus "Structural Insulated Panels: Impact on the Residential Construction Process"[5] koostuu tapaustutkimuksista, joissa tarkkailtiin kahden samantapaisen asuinrakennuksen rakentamisvaihetta. Tutkimuksen talot rakennettiin Pohjois-Amerikassa vuonna 1997. Rakennetut talot ovat verrattavissa Suomessa rakennettaviin pientaloihin, ja rakennustavoissa ei ollut mitään suuresti poikkeavaa verrattuna Suomessa käytettyihin tapoihin.

Toinen asuinrakennus rakennettiin SIP-elementeistä ja toinen vastaavanlaisesta puurungosta. SIP-elementit valmistettiin tehtaassa ja kuljetettiin työmaalle paketoituna. Vastava rakenne koostui 50 x 100 mm puurangasta ja OSB-ulkolevyistä molemmin puolin. Rakenteen sisään asennettiin lasivillaa ja ulomman levyn päälle asetettiin styrofoameristettä. Tutkimuksessa tarkasteltiin rakennusten rakentamiseen kuluvaa aikaa, työntekijöiden määrää, työntekijöiden kokemuksia ja materiaalihukkaa. Materiaalihukkaa mitattiin tarkastelemalla ja dokumentoimalla kaikki työmaalle tuleva, sekä jätteeksi menevä materiaali. Elementit valmistettiin tehtaalla, ja tutkijat eivät siksi päässeet tarkastelemaan niiden valmistamisessa hukattua materiaalia. Mullens ja Arif arvioivat sen määrää raportissaan. [5] Puurankaisen talon kohdalla hukkamateriaalia oli hankala arvioida, sillä kyseisen talon rakentajalla oli kolme projektia käynnissä samaan aikaan samalla alueella, joten osa meni suoraan muihin rakennuksiin. Näiden hankaluuksien vuoksi Mullens ja Arif eivät saaneet luotettavia tuloksia tai johtopäätöksiä materiaalihukasta. Lopullisen rakennuksen laatua ei erikseen tarkasteltu, mutta molemmat rakennukset läpäisivät laatutarkastuksen. Tosin SIP-rakennukset ovat tutkitusti energiatehokkaampia ja ilmatiiviimpiä. [5]

Rakentamiseen käytetyn ajan normalisoinnin jälkeen Mullens ja Arif päätyivät tulokseen, että SIP-talon rakentamisen kuluu 65% vähemmän aikaa rakennusvaiheessa perinte-

sempään vaihtoehtoon verrattuna. [5] Tutkimuksessa myös todettiin, että työntekijät kokivat SIP-elementtien vähentävän työmäärää merkittävästi, keskimäärin noin puolet vastaavan rakennuksen työmäärästä. [5] Huomattavaa on, että vaikka tutkimuksen SIP-talon rakentajilla ei ollut aikaisempaa kokemusta SIP-talojen rakentamisesta, erot ajankäytössä kahden talon välillä ovat huomattavat. Vaikkakin tutkimuksessa käsiteltiin vain kahta kohdetta, ovat erot kohteiden niin huomattavat, että Mullens ja Arif päätyivät tulokseen, että lisätutkimus on tarpeen.

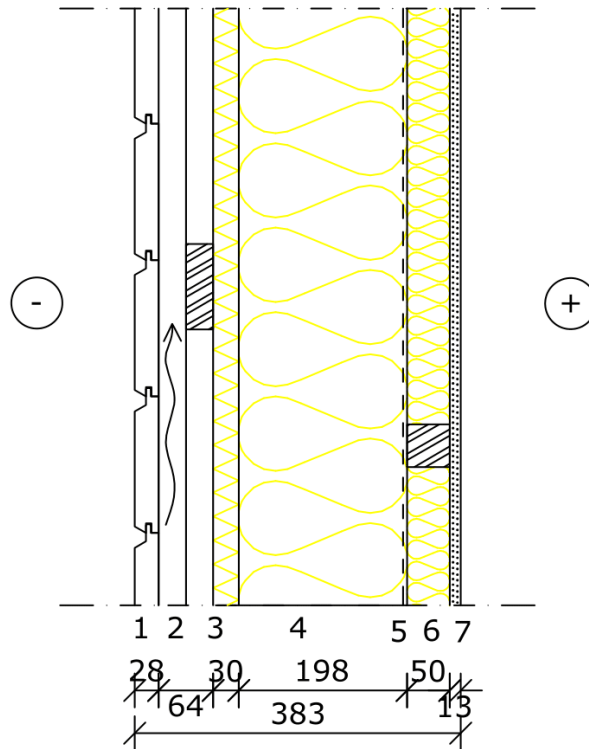
## 3.2 Esimerkkirakenne

U-arvo, jota kutsutaan myös lämmönläpäisykerroimeksi tai lämmönjohtavuuskerroimeksi, on numeerinen arvo, joka kuvaa materiaalin tai rakenteen kykyä läpäistä lämpöä. U-arvo ilmaisee lämpövirran tiheyden jaettuna pinta-alan ja lämpötilan muutoksen tulolla. Yksikkönä U-arvolle käytetään  $W/(m * K)$ . U-arvoa käytetään arvioimaan rakennusmateriaalien tai rakenteiden lämmöneristyskykyä. Mitä pienempi U-arvo on, sitä vähemmän lämpöä pääsee läpäisemään rakennetta tietyssä aika- ja lämpötila-asetelmassa. Tämä viittaa parempaan lämmöneristykseen ja vähäisempään lämpöhäviöön. Alhainen U-arvo osoittaa myös tehokkaampaa energiankulutusta, kun rakennuksen sisätilan lämpötila halutaan pitää vakiona.

Lämmönvastusarvo, eli R-arvo, on toinen tärkeä käsite rakennusten lämmöneristysominaisuuksien arvioinnissa. R-arvo kuvaa materiaalin tai rakenteen kykyä vastustaa lämmön siirtymistä läpi sen. Korkeampi R-arvo viittaa parempaan eristyskykyyn ja pienempään lämpöhäviöön. Yksikkönä R-arvolle käytetään  $m^2 * K/W$ , missä  $m^2$  on pinta-ala ja  $K/W$  on lämpötilan muutos per watit lämpöä. R-arvo lasketaan kerroksen paksuuden  $d$  sekä lämmönjohtavuuden  $\lambda$  osamääränä  $R = d/\lambda$ . U-arvo sen sijaan on R-arvon käänteisluku.

Muodostetaan vertailua varten kaksi esimerkkiulkoseinärakennetta. Ensimmäinen perinteisemmästä puurakenteesta, esitetty kuvassa 3.1 3.2 ja taulukossa 3.1 3.3, ja toinen SIP-elementeistä. SIP-rakenteen rakennetyyppi esitetty kuvassa 3.2 ja kerrosten tarkemmat selitykset löytyvät taulukosta 3.3. Tämän luvun kuvat ja laskelmat ovat itse tekemiäni tätä työtä varten.





**Kuva 3.1.** Puurankainen ulkoseinä, rakennetyyppi

**Taulukko 3.1.** Puurankaisen ulkoseinän rakennekuvaus

Numero	Paksuus d [mm]	Kerros
1	28	Puuverhous
2	64	Tuuletusväli, ristiinkoolaus 2 x 32x100 k500
3	30	Tuulensuojalevy
4	198	Runko 48x198 k600 + Mineraalivilla
5	0.2	Höyrynsulkumuovi
6	50	Vaakakoolaus 50x50 k600 + Mineraalivilla
7	13	Kipsilevy

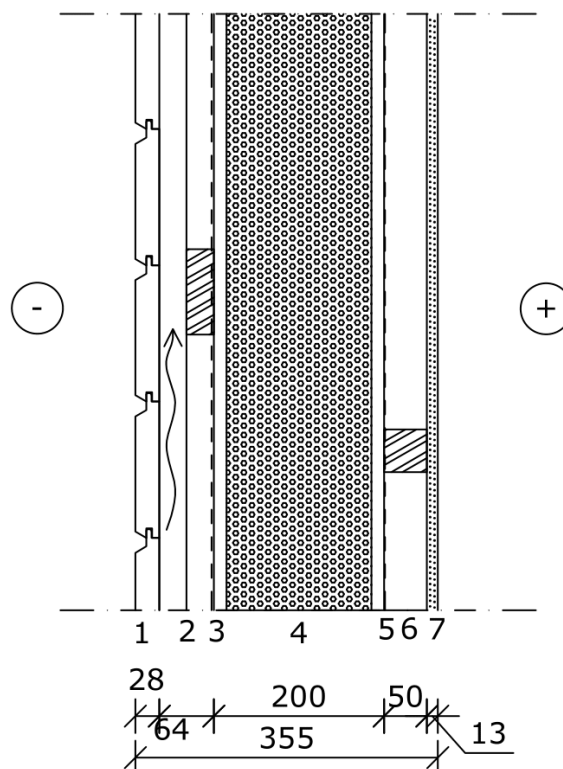
Lasketaan rankarakenteen U-arvo käyttäen standardin SFS-EN ISO 6946 mukaisia laskentaperiaatteita. U-arvon lasketaan kaavalla  $U = 1/(R_1 + R_2 + R_3 \dots R_n)$ , jossa  $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$  ovat rakenteen kerrosten R-arvot. Kerätään kerrosten R-arvot taulukkoon ja summataan ne. Puurankaseinän U-arvon laskutaulukko esitetty seuraavan sivun taulukossa 3.2.

**Taulukko 3.2.** Puurankaisen rakenteen U-arvo

Kerros	Paksuus d [mm]	$\lambda$ [W/m*K]	R [ $m^2 K/W$ ]
Sisäpintavastus			0,13
Kipsilevy	13	0,25	0,052
Vaakakoolaus 50x50 k600 + Mineraalivilla	50	0,037	1,351351351
Höyrynsulkumuovi	0,2	0,33	0,000606061
Runko 48x198 k600 + Mineraalivilla	198	0,037	5,351351351
Tuulensuojalevy	30	0,049	0,612244898
Tuuletusväli, ristiinkoolaus 2 x 32x100 k500	64	-	ei huomioida
Puuverhous	28	0,13	0,215384615
Ulkopintavastus			0,13
Summa $\Sigma$			7,842938277
U-arvo [ $W/(m^2 * K)$ ]			0,127503235

Puurankarakenteen U-arvoksi saadaan siis  $0,13 m^2/m * K$ .

SIP-rakenne koostuu puolestaan sisältä-ulos seuraavasti: kipsilevy, tuuletusaukko/koolaus, ilman- ja höyrynsulkumuovi, SIP-elementti (OSB-EPS-OSB), tuulensuojamuovi, tuuletusaukko / ulkoverhouksen kiinnityskoolaus ja ulkolautaverhous. Rakennetyyppi esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 3.2 sekä taulukossa 3.3.

**Kuva 3.2.** SIP-levystä rakennettu ulkoseinä, rakennetyyppi

**Taulukko 3.3.** SIP-ulkoseinän rakennekuvaus

Numero	Paksuus d [mm]	Kerros
1	28	Puuverhous
2	64	Tuuletusväli, ristiinkoolaus 2 x 32x100 k500
3	0.2	Tuulensuojamuovi
4	200	SIP-levy
5	0.2	Höyrynsulkumuovi
6	50	Vaakakoolaus
7	13	Kipsilevy

Rakenteen U-arvo lasketaan käyttäen Eco Sips Homesin ilmoittamia arvoja SIP-tuotteilleen. Lasketaan vastaavasti SIP-rakenteen R- ja U-arvo. Tulokset alla taulukoituna.

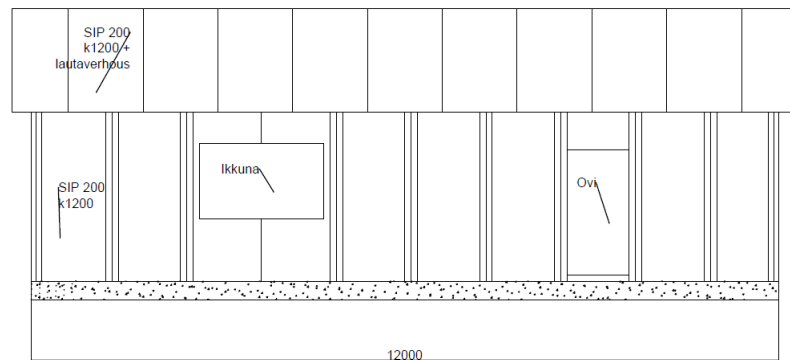
**Taulukko 3.4.** SIP-rakenteen U-arvo

Kerros	Paksuus d [mm]	$\lambda$ [W/m*K]	R [ $m^2K/W$ ]
Sisäpintavastus			0,13
Kipsilevy	13	0,25	0,052
Vaakakoolaus 50x50 k600 + Mineraalivilla	50	0,037	1,351351351
Höyrynsulkumuovi	0,2	0,33	0,000606061
SIP-levy	200	0,025	8
Tuulensuojamuovi	0,2	0,33	0,000606061
Tuuletusväli	64	-	ei huomioida
Puuverhous	28	0,13	0,215384615
Ulkopintavastus			0,13
Summa $\Sigma$			9,879948088
U-arvo [ $W/(m^2 * K)$ ]			0,101215107

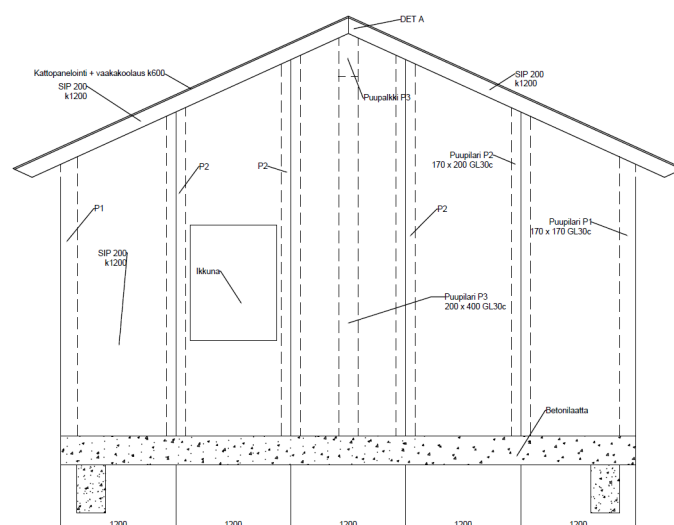
SIP-rakenteen U-arvoksi saadaan vastaavasti  $0,10 m^2/m * K$ . SIP-rakenteen U-arvo on pienempi vaikka rakenteen paksuus on myös pienempi. SIP-rakenteella saadaan siis parempi lämpötehokkuus pienemmällä paksuudella kuin vastaavalla perinteisemmällä puurankarakenteella.

## 4. MALLIRAKENNUS

Tässä luvussa suunnitellaan yksinkertainen kuvitteellinen pientalo SIP-elementeistä. Kuvitteellinen pientalo on asuintarkoitukseen tarkoitettu rakennus, joka sijaitsee Tampereella. Tässä työssä ei mitoiteta kantavia rakenteita, vaan kuvitteellinen rakennus demonstroimiltä SIP-rakennus voisi näyttää periaatetasolla. Alla olevissa kuvassa esitetään esimerkkirakennuksen sivukuva kuvassa 4.1 ja päätykuva kuvassa 4.2. Kaikki piirustukset suunnitelmat ovat itse tekemiäni tätä työtä varten.



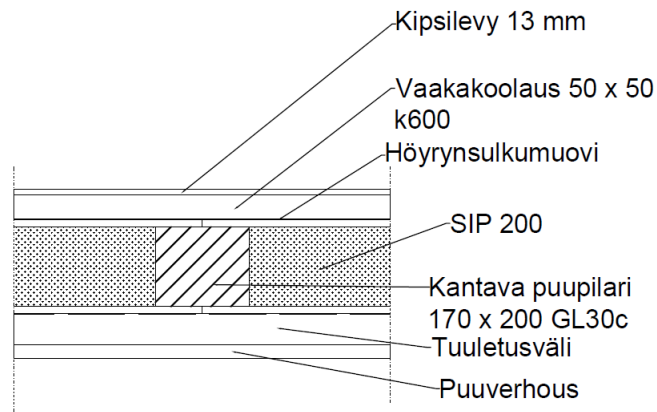
**Kuva 4.1.** Esimerkkirakennus sivusta



**Kuva 4.2.** Esimerkkirakennus päädyistä

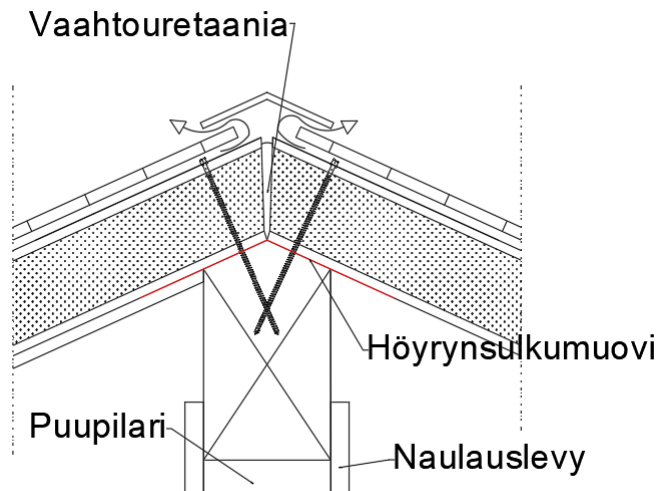
Rakennuksen runko koostuu kantavista puupilareista, jotka pystytetään kantavaan be-

tonialapohjalaattaan. Puupilarit kantavat koko pystykuorman, eikä SIP-elementeille tule muuta kuin vaakakuormaa. Talon jäykistäminen tapahtuu SIP-elementeillä. Pilarit sijoitetaan SIP-elementtien väliin, jolloin pilarijakoiksi tulee k1200. Pilarien ja palkkien sekä muiden rakenteiden koot arvioidaan. Kaikki seinät ja katto toteutetaan SIP-rakenteina. Valitaan alustavaksi SIP-paneelin paksuudeksi 200 mm. Suunnittelun apuna käytetään puuinfon lyhennettyä suunnitteluohjetta [7], sekä Hemsecin omaa suunnittelun tukena käytettävää tietolehtistä [1]. Ulkoseinän rakennetyypiksi valitaan aikaisemmin esitelty rakennetyyppi kuvasta 3.2. Kantavat runkopilarit upotetaan SIP-elementtien sisään, alla olevan kuvan 4.3 osoittamalla tavalla.



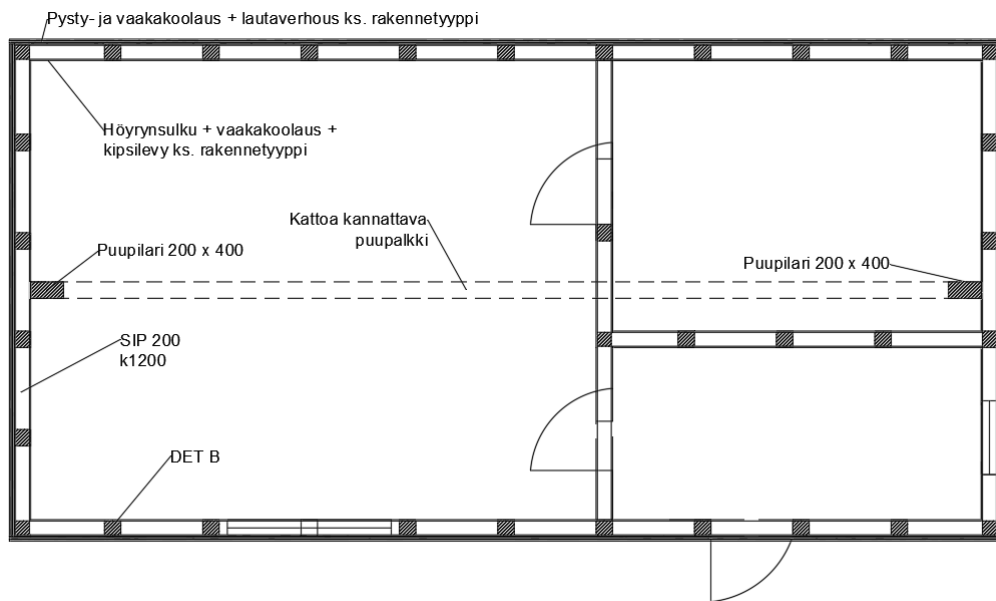
**Kuva 4.3.** SIP-elementtien välinen liitos

Detaljeista yksi oleellisimmista on katon korkeimman kohdan liittymä kahden SIP-elementin välillä, joka on esitetty kuvassa 4.4. Katon korkeimmassa kohdassa SIP-levyjen välinen aukko täytetään polyuretaanivaahdolla. Muut liitokset tehdään vastaavalla tavalla.



**Kuva 4.4.** SIP-elementtien välinen liitos katon korkeimmassa kohdassa

Esimerkkitalon pohjapiirustus esitetty alla kuvassa 4.5.



**Kuva 4.5.** SIP-elementtitalon pohjapiirustus

Kokonaisuutena rakennus on yksinkertainen, mutta toimiva. Taloon tarvittaisiin kokonaisuudessaan 52 kappaletta 1200 x 200 tehtaalla muotoon leikattua SIP-elementtiä.

## 5. YHTEENVETO

SIP-elementit ovat lämpötekniisesti tehokkaita sekä rakennetekniisesti lujia ja kestäviä rakennuselementtejä. SIP-elementtien edut perinteisempään puurankaratkaisuun sisältävät muun muassa rakentamisvaiheen helppouden, ja nopeuden, suunnittelun helpottamisen, lämpötehokkuuden sekä materiaalin tehokkaamman hyödyntämisen.

SIP-elementtejä on käytetty joissain paikoissa maailmaa, esimerkiksi Pohjois-Amerikassa, jo 1940-luvulta lähtien, mutta Suomessa käyttö ei ole vielä yleistynyt. Tämän tutkimuksen perusteella SIP-elementit ovat monella tapaa parempia, kuin tavanomaiset puurankaratkaisut, joten SIP-elementeillä on todellakin hyödyntämätöntä potentiaalia Suomessa.

Rakennusteollisuus muuttuu hitaasti ja on luonteeltaan konseratiivinen. Siksi uusien rakennustapojen ja -tekniikoiden yleistyminen käytössä on hidasta. Yksi näistä vähän käytetyistä, mutta tehokkaista, rakennusmateriaaleista on SIP-elementti.

SIP-elementit, eli Structural Insulated Panels, ovat rakentamisessa käytettyjä rakennuselementtejä, jotka koostuvat kahdesta rakennelevystä, joiden välissä on eristekerros. Tyypillisesti rakennelevyt ovat OSB-levyjä ja sisäinen eristekerros EPS:ää. SIP-elementtien edut verrattuna vastaavaan puurankarakenteeseen: parempi lämmöneristävyys vastaavalla paksuudella, nopeampi rakennusaika, asunnusten helppous, materiaalitehokkus ja suunnittelun helppous.

Tutkimuksen pohjalta SIP-elementit ovat Suomessa toimiva rakennusratkaisu ja niiden hyödyntäminen on jäänyt liian alhaiseksi, vaikkakin ovat hieman yleistyneet.

## LÄHTEET

- [1] [Online; accessed 9-January-2023]. URL: <https://www.hemsec.com/quality-technical-and-testing-downloads>.
- [2] Celia Martinez-Alonso ja Lorena Berdasco. "Carbon footprint of sawn timber products of *Castanea sativa* Mill. in the north of Spain". *Journal of Cleaner Production* 102 (2015), s. 127–135.
- [3] Michael Morley. *Building with Structural Insulated Panels (SIPs) Strength and Energy Efficiency Through Structural Panel Construction*. Taunton Press, 2000.
- [4] Alison E Moynihan. "Evaluating the Benefits of and Barriers to Building with Structural Insulated Panels". *University of Massachusetts Amherst* (2014).
- [5] Michael A Mullens ja Mohammed Arif. "Structural insulated panels: Impact on the residential construction process". *Journal of construction engineering and management* 132.7 (2006), s. 786–794.
- [6] *Our Manufacturing Facility Innova Panel*. <https://innovapanel.com/manufacturing-facility/>. (Viitattu 03.08.2022).
- [7] Puuinfo. *Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje*. 2020. URL: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje/> (viitattu 01.09.2023).
- [8] Prathan Rungthonkit. "Structural behaviour of structural insulated panels (SIPS)". *University of Birmingham* (2012).
- [9] SIPEUROPE. *SIPEUROPE Advantages for Architects*. 2022. URL: <https://www.sipeurope.eu/en/se-sip-system-advantages/advantages-for-architects/> (viitattu 04.08.2022).
- [10] Jian Yang, Z Li ja Q Du. "An experimental study on material and structural properties of structural insulated panels (SIPs)". *Applied Mechanics and Materials* 147 (2011).