

Jyri Pitkänen

# SANDWICH-ELEMENTTIKERROSTALON JULKISIVUSANEERAUS LVL-ELEMEN- TEILLÄ

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Teollinen puurakentaminen

2022



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Jyri Pitkänen
Työn nimi	Sandwich-elementtikerrostalon julkisivusaneeraus LVL-elementeillä.
Toimeksiantaja	Ideastructura Oy
Vuosi	2022
Sivut	44 sivua,
Työn ohjaaja(t)	Petteri Härkönen ja Marko Voutilainen

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda IdeaStructuran osalta tarvittavat piirustukset ja laskelmat elementtien kuormituksista sekä kiinnityksestä 1970–1980-luvun Sandwich-elementtikerrostalojen julkisivujen saneeraukseen Punkaharjun Puutaidon alustavasti hahmottelemalla LVL-elementtirakenteella.

Tuotteen tavoitteena on luoda markkinoille kustannustehokas menetelmä, jolla saataisiin toteutettua pääasiassa 1970–1980-luvulla rakennettuihin Sandwich-elementtirakenteella toteutettuihin rakennuksiin parempi energiatehokkuus sekä uusi julkisivupinnoitus. Julkisivusaneeraus olemassa olevaan kohteeseen ennalta mitoitetuilla elementeillä on nopea rakennustapa, jonka pystyy suorittamaan minä vuodenaikana tahansa sekä tilanteissa, jossa elementit päästään asentamaan suoraan vanhan julkisivun päälle. Tällöin säästytään suurilta purkukustannuksilta sekä isoilta suojaustoimenpiteiltä, jotka vaikuttavat suoraan kokonaiskustannuksiin.

Opinnäytetyön kohteena käytettävä rakennus on kuvitteellinen 1970–1980-luvun kerrostalokohde, jossa tyypillinen ulkoseinärakenne on sisältä ulospäin 150 mm paksu kantava teräsbetoniseinä, 50–80 mm paksu lasivillaeriste ja ansaat sekä 40–80 mm vahva teräsbetoniulkokuori.

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Jyri Pitkänen
Thesis title	The sandwich element Facade renovation of an apartment building with LVL elements
Commissioned by	Ideastructura Oy
Time	2022
Pages	44 pages
Supervisor	Petteri Härkönen and Marko Voutilainen

## **ABSTRACT**

The aim of the thesis was to create the necessary drawings and calculations for IdeaStructura on the loads and fastening of the elements, the 1970–1980 Sandwich element for the renovation of the facades of apartment buildings, with the LVL element structure tentatively outlined by Punkaharjun Puutaito.

The goal of the product is to create a cost-effective method for the market, which would lead to better energy efficiency in buildings built mainly with the sandwich element structure built in the 1970s and 1980s, as well as a new facade coating. The facade renovation of an existing object with pre-dimensioned elements is a quick construction method that can be carried out at any time of the year, in situations where the elements can be installed directly on top of the old facade. This saves on high demolition costs as well as large security measures that directly affect the total cost.

The building used as the subject of the thesis is an imaginary apartment building project of the 1970s and 1980s, where the typical exterior wall structure is a 150 mm thick reinforced concrete wall, 50–80 mm thick glass wool insulation and traps, and a 40–80 mm strong reinforced concrete outer shell.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	JULKISIVUN KUNTOON LIITTYVÄT RAJOITTEET .....	8
2.1	Palotekniset asiat/rajoitteet .....	9
2.1.1	Rakennusten julkisivulle asetettuja palomääräyksiä.....	9
2.1.2	Rakennusten paloluokat ja julkisivulle asetetut materiaalivaatimukset.....	10
3	ELEMENTTIEN SUUNNITTELU .....	10
3.1	Elementtijako uusilla elementeillä, joissa leveä elementtisauma.....	11
3.2	Elementtijako uusilla elementeillä, jossa on ponttisauma.....	11
4	RAKENNUSFYSIKAALINEN TARKASTELU .....	12
5	RAKENNETYYYPIT .....	15
6	ELEMENTTIDETAJIT.....	18
7	KUORMAT .....	22
7.1	Elementin omapaino.....	22
7.2	Tuulikuorma .....	23
8	SUUNNITTELUN PERUSTEET .....	27
8.1	Käyttöluokat .....	28
8.2	Kuormitusyhdistely .....	31
8.3	Kuormitusyhdistelmät .....	34
9	MITOITUS .....	35
9.1	Seinäkiinnikkeiden mitoitus .....	35
9.2	Alaliitos pulteilla.....	37
10	POHDINTA.....	38
	LÄHTEET .....	40

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

## KÄSITTEET

### Sandwich-elementti

Sandwich-elementti on yleinen elementtirakenne kerrostalo rakennuksissa, jossa on yhdistettynä kantava sisäkuori, lämmöneristys ja kantamaton ulkokuori, joka suojaa muita kerroksia säärasitukselta.

### LVL-elementti

LVL-elementillä tarkoitetaan kertopuulevystä valmistettua rakennekokonaisuutta. Kertopuu valmistetaan liimaamalla yhteen 3 mm paksuisia havupuusta sorvattuja viiluja. Viilujen määrästä ja ladontasuunnista levytuotteille saadaan eri paksuuksia sekä ominaisuuksia. Kertopuun ominaisuuksiin kuuluvat lujuus, jäykkyys ja mittapysyvyys, jotka tekevät tuotteesta mainion tuotteen kantaviin ja tarkkuuta vaativiin rakenteisiin.

### Rakennusfysikaalinen tarkastelu

Rakennusfysikaalisella tarkastelulla tarkastellaan rakennuksen tai jonkin rakenteen kosteus- ja lämpötekniistä käyttäytymistä. Tarkastelulla varmistetaan rakenteen toimivuutta sekä vaurioherkkyyttä. Mikäli tarkastelulla huomataan rakenteen olevan riskialtis kondensoitumiselle, voidaan rakenneratkaisua muuttaa, jotta rakenteen riskeiltä vältytään.

### Kondensoituminen

Kondensoituminen on ilmiö, jossa ilmankosteuden määrä ylittää ilman kykenemän määrän sitoa kosteutta. Tällöin ilman sitomiskyvyn ylittävä kosteus tiivistyy vesimolekyyleiksi. Suuri määrä vesimolekyylejä voi kastella ja vaurioittaa rakenteita

## U-arvo

U-arvolla tarkoitetaan rakenteen lävitse kulkevaa lämpövirtaa. U-arvolle on määritetty tietyt raja-arvot Suomen rakennusmääräyskokoelmassa C3. Yläpohjalle 0,09, seinille 0,17, maanvaraisille alapohjille 0,16, ikkunoille ja oville 1,0.

## 1 JOHDANTO

IdeaStructuran osalta tämän työn tavoitteena on luoda uudelle tuotteelle suunnitelmat, jonka pohjalta Punkaharjun Puutaito pystyy aloittamaan markkinoinnin sekä jatko kehittämään tuotetta. Tuotteen tavoitteena on saada markkinoille nopea ja kustannustehokas tapa toteuttaa julkisivusaneeraus sekä parantaa rakennusten energiatehokkuutta.

IdeaStructura Oy on suomalainen rakennusalan suunnittelutoimisto, joka on perustettu vuonna 2011. Yrityksessä työskentelee yli 100 asiantuntijaa ja yrityksen toiminta kattaa koko Suomen. Yrityksen palvelut ovat suunnattu kiinteistöalan ammattilaisille sekä taloyhtiöille. Yrityksen pääosaaminen keskittyy rakennustekniikkaan, korjausrakentamiseen, rakennusfysiikkaan sekä sisäilmatekniikkaan. (IdeaStructura s.a.)

Punkaharjun Puutaito Oy on vuonna 1989 perustettu noin 50 henkilöä työllistävä puunjalostukseen keskittyvä yritys, jonka tuotantotilat sijaitsevat Punkaharjulla sekä Kerimäellä. Pääasiallisia yhteistyökumppaneita ovat mm. kaikki globaalisti toimivat metsäyhtiöt, paperi- ja kartonkiteollisuus, levytyöstöt sekä erilaisten rakenneosien valmistus puurakentamiseen. (Punkaharjun Puutaito s.a.)

## 2 JULKISIVUN KUNTOON LIITTYVÄT RAJOITTEET

Julkisivulle määrääviä asioita uusien elementtien kiinnitystavasta. Uuden elementin kiinnityksessä käytettävät betoniruuvit vaativat alustaltaan C20/25-lujuuden. Vanhan julkisivun ja sisäkuoren välisten ansaiden kuormansiirtokapasiteetti pitää tarkastaa, mikäli uusi LVL-elementti kiinnitetään lisäkuormana vanhaan julkisivuun. Myös rakennuksen perustusten kantokykyä pitää tarkastella, mikäli uudet LVL-elementit aiheuttavat rakennukselle lisäkuormaa. Huomioitavaa on myös rakennuksen olemassa olevan julkisivun ja eristekerroksen kunto. Nämä vaikuttavat siihen, pystytäänkö uusi julkisivuelementti kiinnittämään suoraan vanhaan julkisivuun, esimerkiksi lisäämällä julkisivuun lisäkiinnitystä erillisen selvityksen ja suunnitelman mukaisesti vai joudutaanko huonokuntoinen julkisivu poistamaan kokonaan.

Ennen elementtien asennusta on rakennuksen vanhan julkisivun epätasaisuus pitänyt ottaa huomioon. Liialliset epätasaisuudet vanhan julkisivun pinnasta on pitänyt ennen asennuksen aloittamista poistaa tai huomioida asennuksessa. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi julkisivun ja uuden elementin väliin asennettavalla mineraalivillakerroksella, jolloin uusien elementtienliitoksiin muodostuu liian suuria tasoeroja. Elementtien asennus tapahtuu työmaalla nosturilla. Nosturin avulla elementti asennetaan sokkelin/teräshyllyn päälle tai tuetaan väliaikaisesti, jolloin elementin alareuna saadaan kiinnitettyä vanhaan rakenteeseen. Kiinnityksen jälkeen elementin ylemmät kiinnityskohdat kiinnitetään joko telineiltä tai korinostimelta.

## 2.1 Palotekniset asiat/rajoitteet

Suomessa rakennukset jaetaan neljään eri paloluokkaan: P0, P1, P2 ja P3. Paloluokat määräytyvät rakennuksen käyttötarkoituksen, korkeuden, henkilö- ja kerrosmäärän mukaan. Paloluokilla määrätään rakennuksille palo-osastointia tietyn pinta-alan mukaan sekä rakenteille tiettyjä palovaatimuksia, joilla ohjataan rakennuksen paloturvallisuutta. Materiaalien palovaatimukset ilmoitetaan kolmen termin mittaisella tunnuksella. Tunnuksen ensimmäinen termi A1-F, joka kuvaa materiaalin osallistumista paloon tulipalonaikana. Seuraava termi s1-3, joka kuvaa materiaalin savuntuottoa palonaikana. Viimeinen termi d0-2, joka kuvaa palonaikana materiaalista irtoavia palavien kappaleiden ja pisaroiden määrää, kuten kuvassa 1 on esitelty. (Lahtela 2021, 23; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 4 §.)

Osallistuminen paloon		Savun tuotto		Palavien pisaroiden ja osien tuotto	
Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä
Ei osallistu paloon	A1	Erittäin vähäinen	s1	Ei esiinny	d0
Osallistuu erittäin rajoitetusti	A2	Vähäinen	s2	Nopeasti sammuvia esiintyy	d1
Osallistuu hyvin rajoitetusti	B	Muu kuin s1 tai s2	s3	Muu kuin d0 tai d1	d2
Osallistuu rajoitetusti	C				
Osallistuminen hyväksyttävää	D				
Käyttäytyminen hyväksyttävää	E				
Käyttäytymistä ei ole määritetty	F				

Kuva 1. Rakennustarvikkeen luokkamerkinnän muodostuminen yleisesti (Lahtela 2021, 23)

### **2.1.1 Rakennusten julkisivulle asetettuja palomääräyksiä**

Rakennuksen tuuletusväliin on asennettava palokatko aina kerroksittain, sekä tuuletusvälien sivuttainen palon leviäminen on huomioitava. Tuuletusvälissä olevaa pystykoolausta voidaan käyttää sivusuunnan palokatkona. (Lahtela 2021, 41; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 25–26 §.)

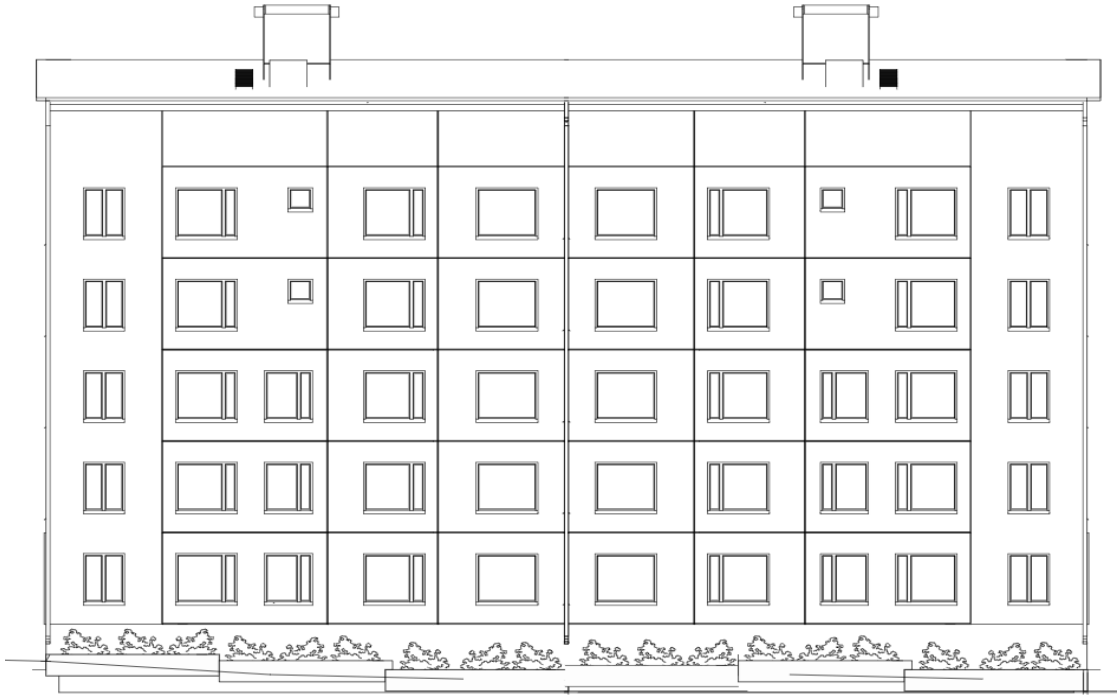
### **2.1.2 Rakennusten paloluokat ja julkisivulle asetetut materiaalivaatimukset**

P3-luokan rakennuksissa ei ole rajoituksia julkisivun materiaaleilla. P2-luokan rakennuksissa julkisivulle asetettu materiaalivaatimus on D-s2, d2.

P1-paloluokan sekä P0 (toiminnallinen palomitoitus) -rakennuksissa julkisivulle asetettu materiaalivaatimus on A2-s1, d0 (palamaton materiaali), minkä takia näissä rakennuksissa ei ole mahdollista käyttää puumateriaalia julkisivun pintamateriaalina. (Lahtela 2021, 23; Ympäristöministeriö 848/2017, 22–28 §.)

## **3 ELEMENTTIEN SUUNNITTELU**

Jotta tarvittavat laskelmat saadaan tehtyä, täytyy kohteen mitat, sijainti sekä ulkoseinärakenne määrittää ensin. Suunnittelun kohteeksi valikoitui viisikerroksinen kerrostalo (kuva 2), jonka suunnittelussa jouduttaisiin käyttämään kahta päällekkäistä elementtiä. Tällöin suunnittelussa pitää huomioida elementtien välinen vaakaliitos sekä kuormien siirtyminen elementiltä toiselle. Rakennuksen mitat ovat: rakennuksen korkeus 20,6 m, rakennuksen pidempi sivu 30,6 m sekä rakennuksen lyhyempi sivu 15,8 m. Rakennus sijaitsee Savonlinnassa taajama-alueella, ei vesistön läheisyydessä sekä tasaisella maastolla.



Kuva 2. Esimerkkikohteen lähtötilanne alkuperäisellä elementtijaolla

### 3.1 Elementtijako uusilla elementeillä, joissa leveä elementtisauma.

Uutta elementtijakoa suunnitellessa elementtijakoon vaikuttaa se, voidaanko elementit kiinnittää vanhaan julkisivuun lisäkuormana vai joudutaanko kuorma tuomaan elementtiä pitkin perustuksille. Mikäli kuorma joudutaan tuomaan perustuksille, pitää elementteihin jäädä riittävä määrä ehjää elementtiä kuorman siirtämiseksi (kuva 3). Joissain tilanteissa voi olla myös järkevää tarkastella uuden elementin kiinnittämistä paikallisesti tai kokonaan vanhan julkisivun lävitse rakennuksen sisäkuoreen.



Kuva 3. Esimerkkikohteen saumajako leveillä saumoilla

### 3.2 Elementtijako uusilla elementeillä, jossa on ponttisauma.

Elementtienjakoa on pyritty tekemään niin, että sama elementti ylettäisi ikkuna-aukkojen ylitse, ettei liitossaumoja sekä mahdollisia elementin asennuksissa tulevia korkoeroja tulisi aukkoihin kuvan 4 mukaisesti.



Kuva 4. Esimerkkikohteen saumajako ponttisaumoilla

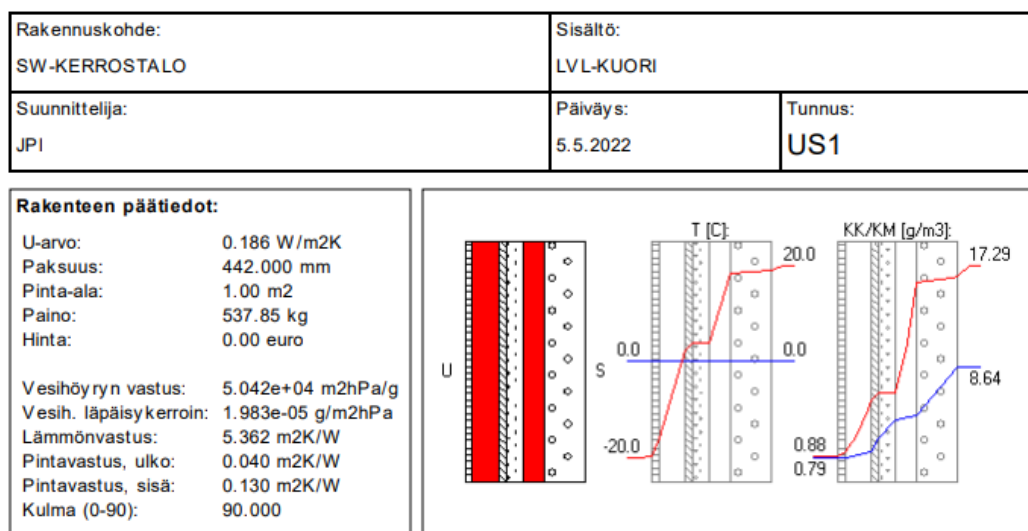
Elementtijaolla, joka on toteutettu ponttiliitoksella (kuva 4), saadaan huomattavasti pienemmät saumat elementtien väleihin kuin kuvan 2 mallilla. Mikäli julkisivuverhous asennetaan vasta työmaalla elementtien asennuksen jälkeen, saadaan elementtien saumat piilotettua kokonaan. Tällöin julkisivusta saadaan täysin yhtenäinen.

#### 4 RAKENNUSFYSIKAALINEN TARKASTELU

Työmäärän sekä työn selkeyttämiseksi rajattiin tarkasteltavia rakenneratkaisuja kolmeen vaihtoehtoon, jotka toimivat perusideana tuotekehityksessä. Todellisuudessa tarkasteluja sekä mahdollisesti uusia rakennetyyppejä voidaan joutua tekemään kohdekohtaisesti, jolloin rakenteen toimivuudesta voidaan varmistua.

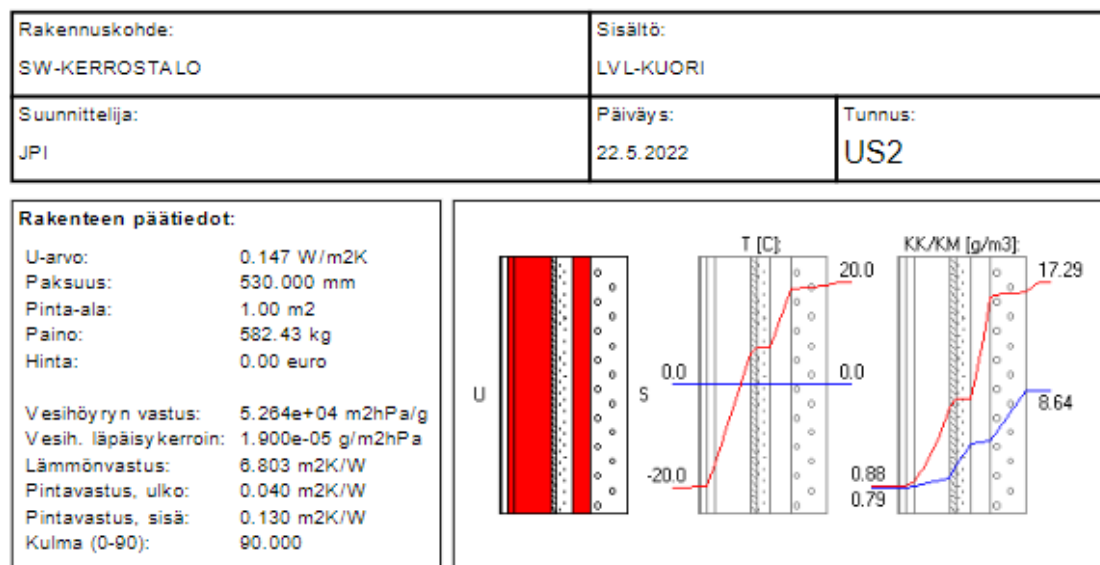
Uutta tuotetta suunnitellessa työ alkaa luonnostelulla. Luonnosteluvaiheessa mietitään halutut materiaalit sekä mahdolliset materiaalivahvuudet. Luonnostelun jälkeen, ennen tarkempaa suunnittelua, rakenteelle tehdään olosuhdetarkastelu. Olosuhdetarkastelun tarkoituksena on varmistua tulevan rakenteen rakennusfysikaalisesta toiminnasta. US1-rakenteessa tarkoituksena on tehdä kohtalaisen ohut LVL-elementti, jolloin rakennuksen ulkokuori paksunisi mahdollisimman vähän, mutta rakenne olisi rakennusfysikaalisesti toimiva. Huomioitavaa on myös ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13 4 §, jossa määrätään rakennuksen energiatehokkuuden parantamista korjaus- ja muutostöissä. Ulkoseinänosalta, seinän alkuperäistä U-arvoa pitää parantaa kaavalla, jossa  $U\text{-arvo} \times 0,5$  kuitenkin enintään  $0.17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . (Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13, 4 §.)

US1:n LVL-elementin rakenne on: 27 mm LVL-levy, 100 mm eriste, 30 mm tuulensuojavilla, 25 mm tuuletusväli ja 8 mm ulkoverhouslevy. Kuvassa 5 on esitelty US1-seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen tarkastelu.



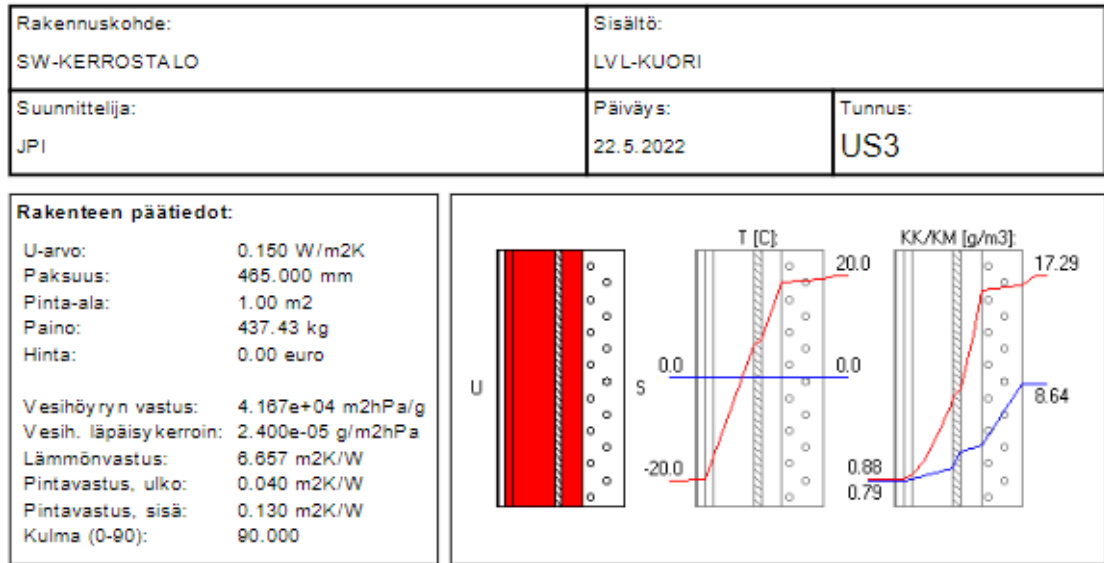
Kuva 5. US1-seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen tarkastelu

US2:n rakennetarkastelussa pyrittiin parempaan lämmönvastukseen paksumalla eristekerroksella verrattuna US1:n LVL-elementtiin. US2:n LVL-elementtirakenne on: 27 mm LVL-levy, 150 mm eriste, 30 mm tuulensuojavilla, 25 mm tuuletusväli ja 8 mm ulkoverhouslevy. Kuvassa 6 on esitelty US2-seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen tarkastelu.



Kuva 6. US2-seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen tarkastelu

US3:n rakenteessa LVL-elementti on sama kuin US2:n rakenteessa. Tarkastelussa tarkasteltiin tilannetta, jossa vanha ulkokuori sekä eristekerros ovat poistettu kokonaan ja vanhan rungon päälle asennetaan uusi 75 mm kovavilla tasaamaan rakennuksen epätasaisuuksia. Kuvassa 7 on esitelty US3-seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen tarkastelu.




Kuva 7. US3-seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen tarkastelu

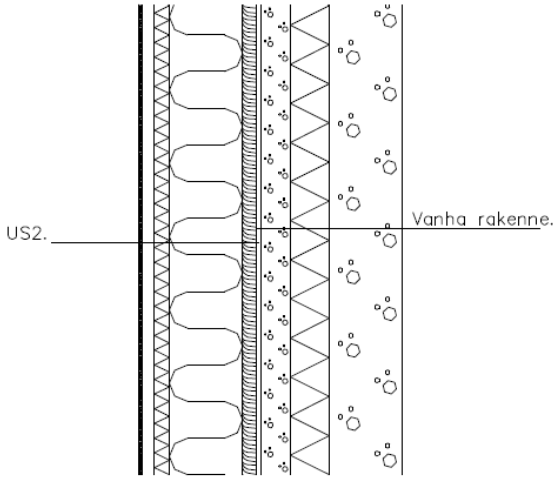
Asuinrakennusten energiatehokkuutta parantaviin korjauksiin voi hakea uutta energia-avustusta. Avustusta voi saada kaikenikäisiin rakennuksiin, avustuksen myöntää Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. Lisätietoa sekä neuvoja hakemukseen löytyy Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA Internet sivuilta. (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA, s.a.)

## 5 RAKENNETYYBIT

Rakennusfysikaalisen tarkastelun jälkeen elementtityypeistä tehdään rakennetyypit rakennusvalvonnan sekä muun suunnittelun tueksi. Kuvissa 8, 9 ja 10 on esitelty rakennetyypit jokaisesta erilaisesta ulkoseinä vaihtoehdosta.



Rakennuskohde KERROSTALO	Sisätilä LVL-ELEMENTTI		
	Työn no 4500	Suunnittelija JPI	US2
	Päiväys 29.04.2022	Piirtäjä JPI	

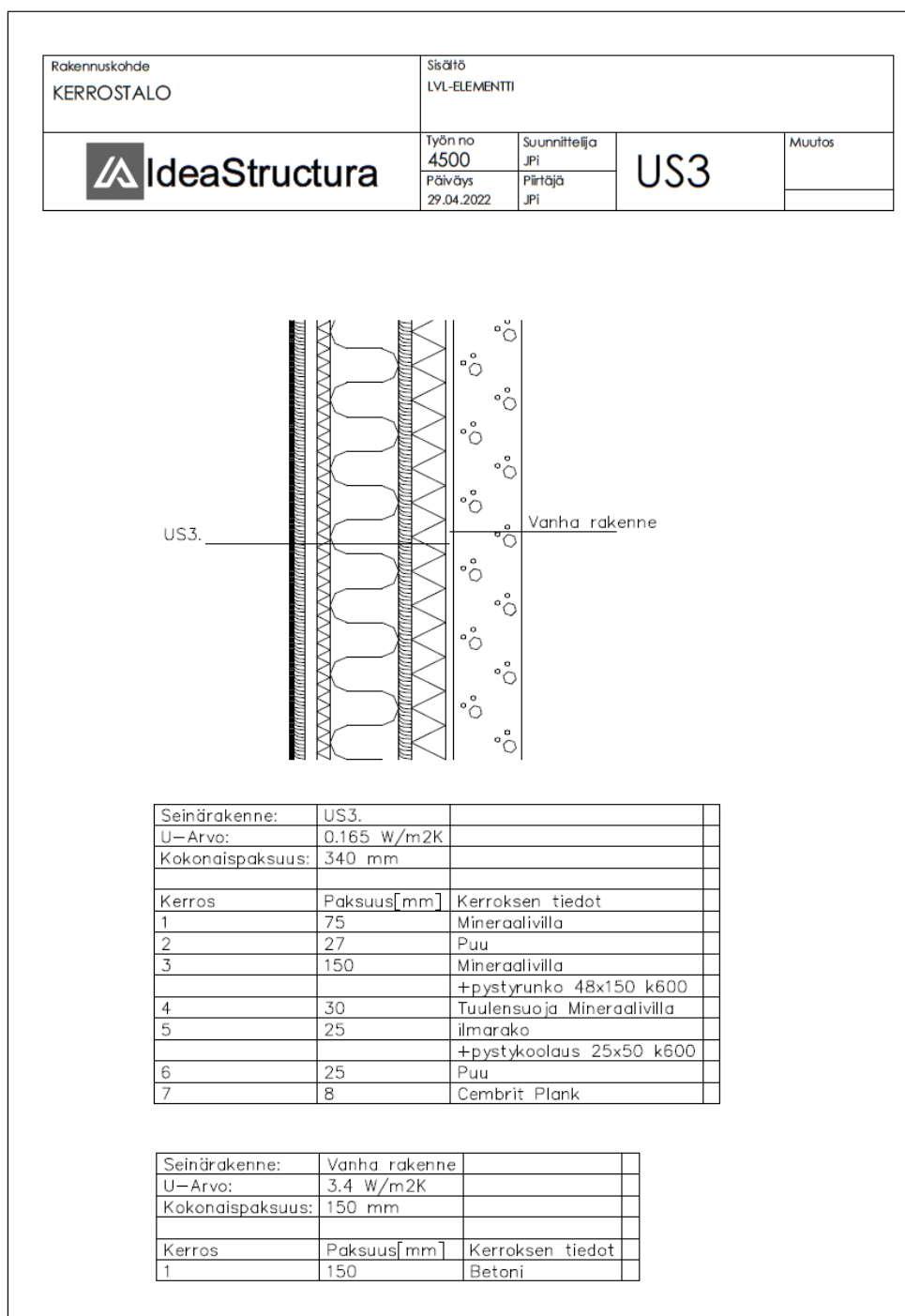
  

  

Seinärakenne:	US2.	
U–Arvo:	0.23 W/m2K	
Kokonaispaksuus:	240 mm	
Kerros	Paksuus[mm]	Kerroksen tiedot
1	27	LVL
2	150	Mineraalivilla + pystyrunko 48x150 k600
3	30	Tuulensuoja mineraalivilla
4	25	ilmarako + pystykoolaus 25x50 k600
5	8	Cembrit Plank

Seinärakenne:	Vanha rakenne.	
U–Arvo:	0.45 W/m2K	
Kokonaispaksuus:	290 mm	
Kerros	Paksuus[mm]	Kerroksen tiedot
1	150	Betoni
2	80	Mineraalivilla
3	60	Betoni

Kuva 9. US2-rakenteen rakennetyyppi

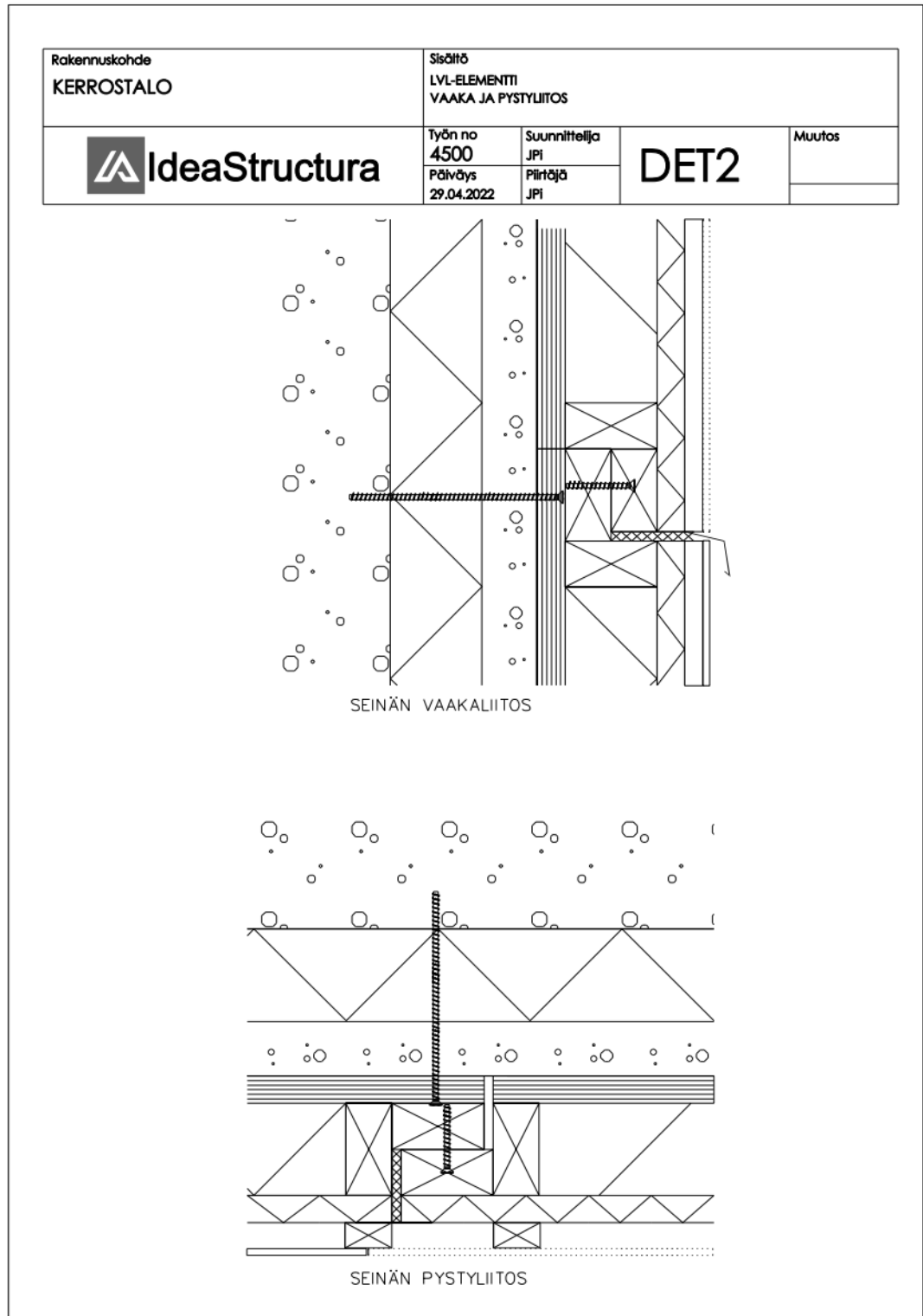


Kuva 10. US3-rakenteen rakennetyyppi

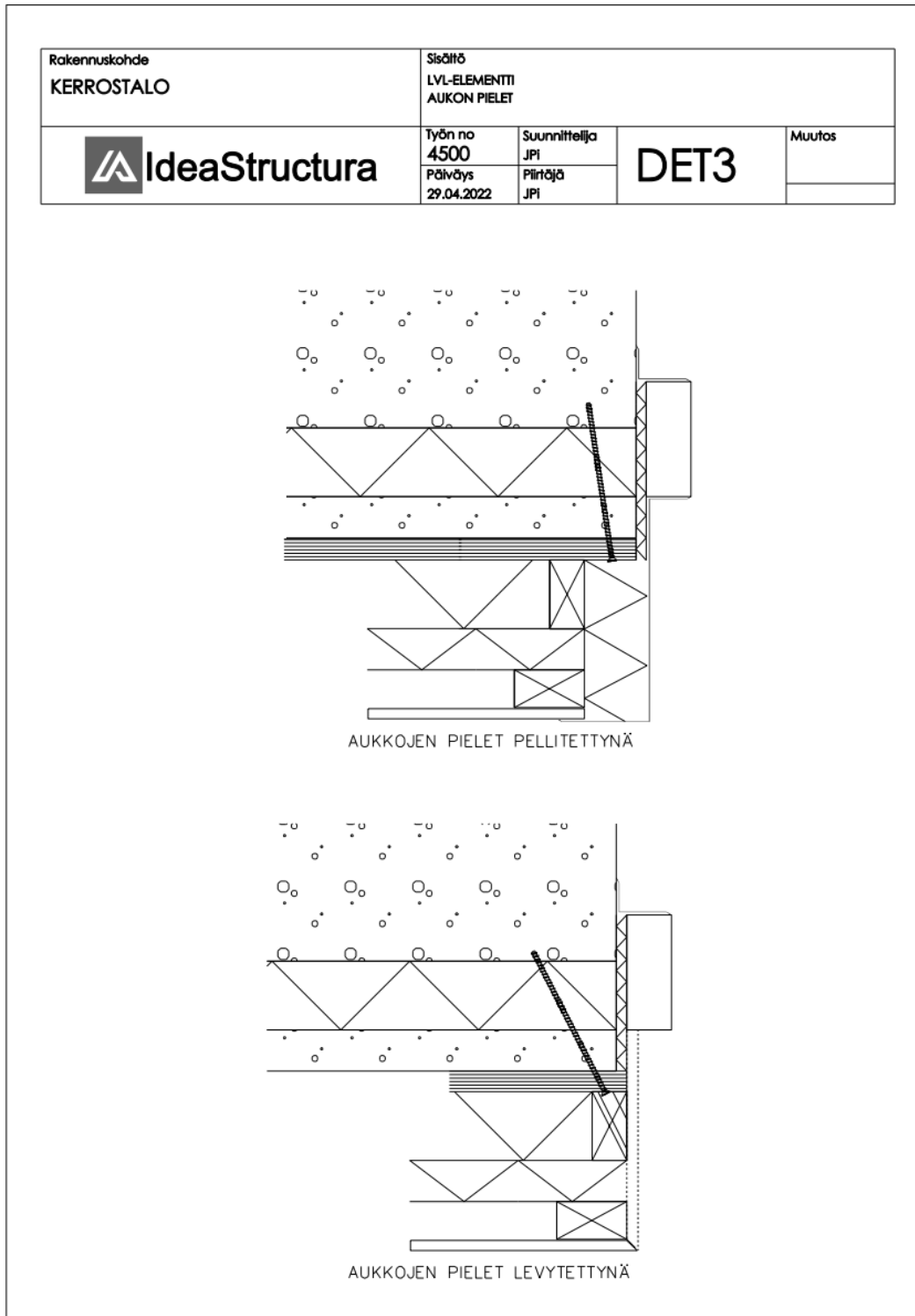
Tarvittavien rakennetyyppien suunnittelun jälkeen suunnitellaan tarvittavat liitokset elementtien pysty- ja vaakaliitoksiin seinän osalle sekä sisä- ja ulkonurkkiin. Liitoksien osalta Punkaharjun Puutaidon kanssa päädyttiin suunnittelemaan kaksi erilaista liitostyyppiä. Liitostyyppienä olivat yksi ponttiliitos sekä yksi saumaliitos. Ponttiliitoksesta saadaan hyvin huomaamaton sauma valmiiksi paneloidulla elementillä tai saumaton, jos ulkovuori asennetaan vasta kohteessa. Saumallisessa liitostavassa on vapaammat kädet tehdä saumasta selkeästi näkyvä asentamalla saumaa peittävä puuprofiili haluttuun

syvyyteen. Kuvissa 11, 12 ja 13 on esitetty liitosdetaljit ponttisaumallisesta elementtityypistä.

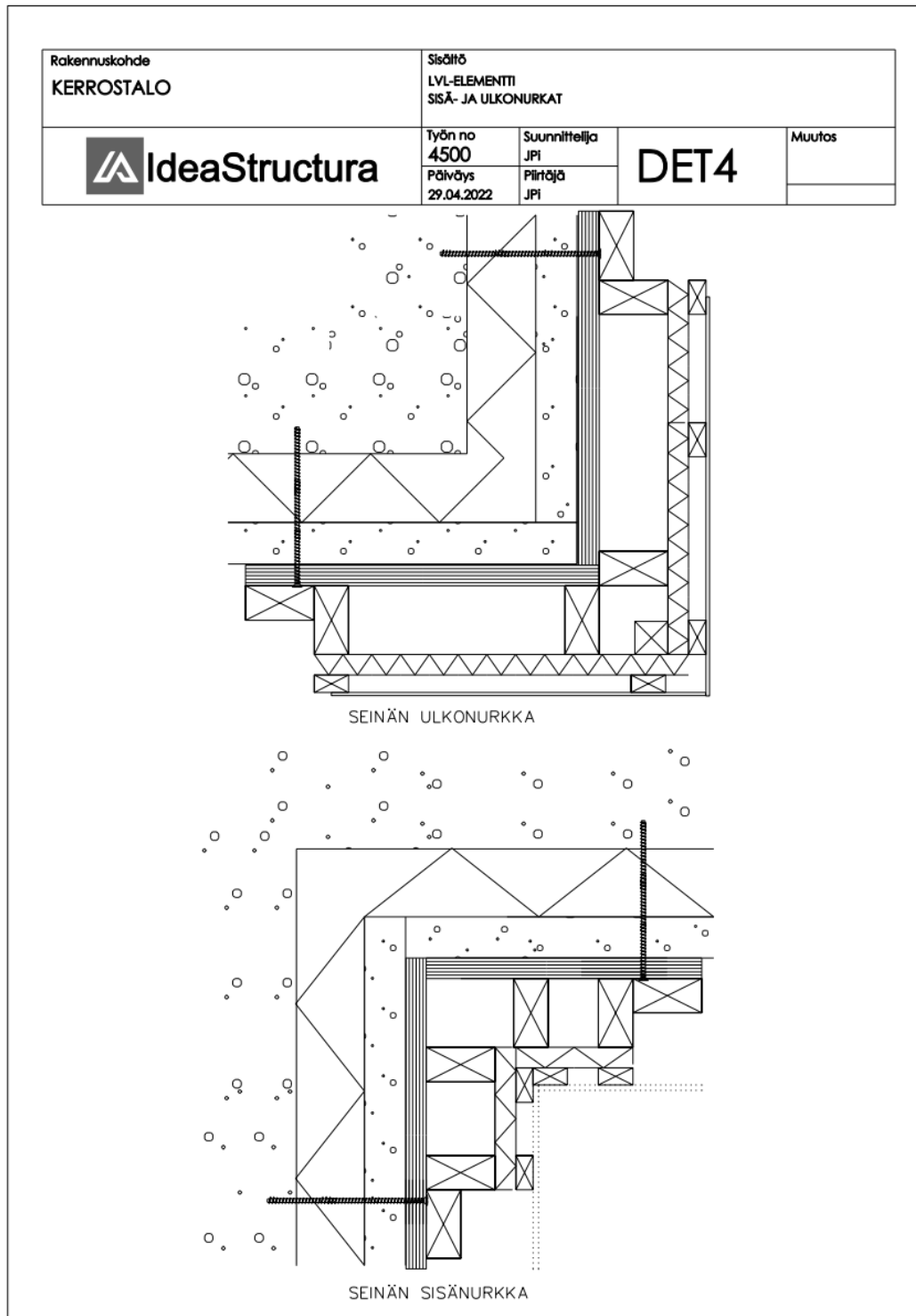
## 6 ELEMENTTIDETAJIT



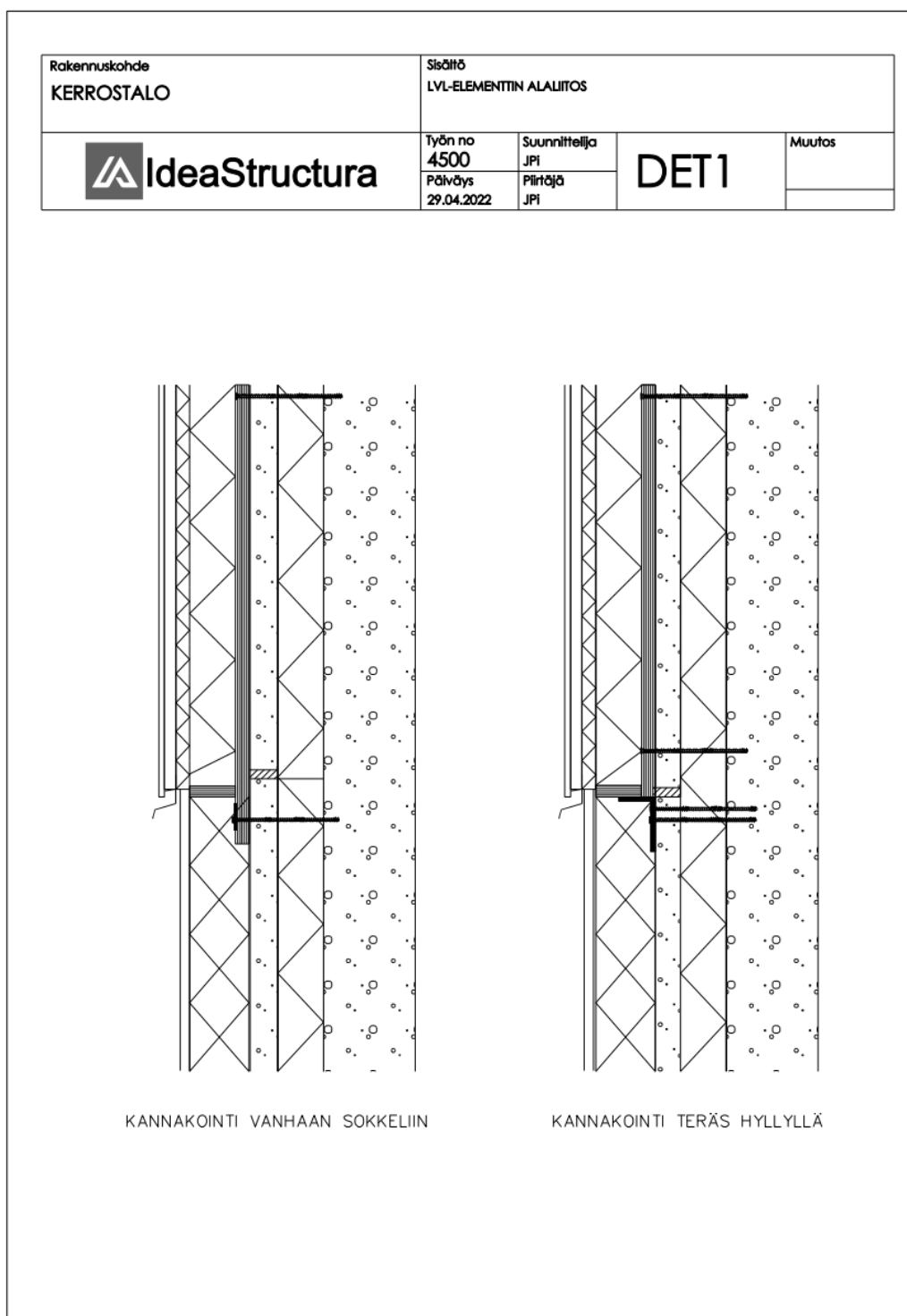
Kuva 11. Elementtien pysty- ja vaakaliitos



Kuva 12. Elementtien aukkojen pielet



Kuva 13. Elementtien sisä- sekä ulkonurkat



Kuva 14. Elementtien alaliitos

Viimeiseksi jäävä suunnitteluosuus on seinäelementtien ja sokkelin välinen liitos, johon pystykuormat kohdistuvat, mikäli elementtejä ei voida kiinnittää vanhaan julkisivuun lisäkuormana. Kiinnitystapa ja vanhan julkisivun kantokyvyn riittävyys pitää tarkastella aina kohdekohtaisesti, jolloin varmistutaan oikeasta kiinnitystavasta sekä kiinnityksen riittävydestä. Joissain tilanteissa vanhan ulkokuoren lisäksi kiinnittäminen runkoon voi mahdollistaa uusien elementtien kiinnittämisen lisäkuormana vanhaan julkisivuun. Mikäli rakennuksen sokkelia ei

paksunneta betonirakenteisesti, voidaan vanhan sokkelin pintaan asentaa lisälämmöneristys EPS-eristeellä, joka verhotaan esimerkiksi sementtikuitupohjaisella sokkelilevyllä. Kuvassa 14 on esitettyä elementin alapään kiinnitys sekä sokkelin lisäeristys.

## **7 KUORMAT**

### **7.1 Elementin omapaino**

Elementtien kiinnityksen mitoituksessa on huomioitava rakennuksen korkeus ja elementtityyppi, jolloin saadaan laskettua yhden elementtirivin kokonaiskuorma. Tässä kohteessa lasketaan kuormat painavimmalla elementtityypillä, jolloin saadaan selkeä käsitys elementin kiinnitystarpeesta. Painavin elementtityyppi on US3, jonka neliöpaino on  $0,395 \text{ kN/m}^2$ . Neliökuormalla saadaan laskettua yksittäisen sekä elementtirivin kokonaiskuorma. Elementtien painosta voisi poistaa aukkojen osuuden, mutta aukkojen pinta-alan ollessa vähäinen lasketaan elementti kokonaisena, jolloin laskennassa jäädään elementinpainon puolesta hiukan varmemmalle puolelle. Kohteen ollessa 20,6 m korkea joudutaan rakenne toteuttamaan kahdella päällekkäisellä elementillä. Tällöin ylemmän elementin painoksi tulee 4,74 kN ja alemman täysikokoisen elementin paino on 12,35 kN. Molempien elementtien yhteenlaskettu kuorma, joka pitää ankkuroida perustuksille ilman kertoimia, on 17,1 kN. Kuvassa 15 on esitetty elementin massan laskentaa rakenne kerroksittain.

Elementin massan laskenta					
Kerros	Pinta materiaali	Tuulensuoja	Eriste	LVL + runko	
kg/m3 paino	1750,0 kg	151,0 kg	50,0 kg	500,0 kg	
paksuus	8 mm	30 mm	150 mm	27 mm	
materiaalin m2 paino	14,0 kg	4,5 kg	7,5 kg	13,5 kg	
Elementin m2 paino yhteensä					39,5 kg
Elementti 1. ylempi. Elementin kokonaispaino					
Elementin mitat	leveys	korkeus	m2 paino	elementin paino	
	2,5 m	4,8 m	39,5 m	474,4 kg	
Elementti 2. alempi. Elementin kokonaispaino					
Elementin mitat	leveys	korkeus	m2 paino	elementin paino	
	2,5 kg	12,5 kg	39,5 kg	1235,3 kg	
Elementtien yhteispaino				1709,7 kg	
				17,1 kN	

Kuva 15. Elementin massan laskenta

## 7.2 Tuulikuorma

Tuulen imua laskettaessa joudutaan ensin laskemaan rakennuksen tuulen nopeuspaineen ominaisarvo. Tätä arvoa käytetään tuulen imun laskennassa. Laskentaa varten pitää rakennukselle määrittää maastoluokka sekä rakennuksen korkeus. Rakennuksen laskennassa käytettävä sijainti on harvaan rakennettu taajama-alue. Alla olevasta taulukosta määritetään rakennuksen maastoluokka, joka tässä kohteessa on III. (Tikanoja ym. 2017, 43.)

Taulukko 1. Maastoluokat (Tikanoja ym. 2017, 43)

Maastoluokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus.
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.

IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m
----	--

Tuulen puuskanopeuspaineen arvo saadaan alla olevasta taulukosta edellä määritetyn taulukon 1 maastoluokan III-sarakkeesta. Taulukon 2 vasemmasta laidasta katsotaan rakennuksen korkeutta lähinnä oleva rivi ( $z = 20$  m). Näillä arvoilla tuulen puuskanopeuspaineen arvoksi saadaan ( $0,6 \text{ kN/m}^2$ ). (Tikanoja ym. 2017, 42.)

Taulukko 2. Nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa (Tikanoja ym. 2017, 42)

rakennuksen korkeus $z$ (m)	Maastoluokka				
	0	I	II	III	IV
0	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
1	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
2	0,78	0,52	0,39	0,35	0,32
5	0,96	0,65	0,53	0,35	0,32
8	1,05	0,73	0,61	0,43	0,32
10	1,09	0,76	0,65	0,47	0,32
15	1,18	0,83	0,72	0,55	0,40
20	1,24	0,88	0,77	0,60	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,50
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,40	1,01	0,91	0,74	0,60

Tuulen imu lasketaan nettopainemenetelmällä. Laskentamalleja on vain yksi, ja se on hiukan varmallalla puolella.

Ensimmäisenä tuulen imua laskiessa määritetään  $e$ : ( $e_{\min} = b; 2 \cdot h$ ).  $e$  on tuulta vasten olevan sivun viereiset sivut (päädyt), jossa A-sektorille kohdistuu suurempi imu kuin B-sektorille. A-sektorin leveys  $e/5 = 6,12$  m, ja B-sektorin leveys  $d-e/5 = 24,48$  m.

$C_{pe}$ -arvo on interpoloitu taulukon 3 arvoista tarkasteltavan vyöhykkeen mukaan. Tässä tilanteessa tarkastellaan metrin korkuista kaistaletta elementistä, joka on kaksi ja puolimetriä leveä, eli mitoittava alue on  $2,5 \text{ m}^2$ . Interpoloidut  $C_{pe}$ -arvot, A-sektorin  $C_{pe} = -1,60$ , B-sektorin  $C_{pe} = -1,26$ . Sektoreiden tuulen imun arvo saadaan kertomalla aiemmin määritetty tuulen osapaine kyseisen sektorin  $C_{pe}$ -kertoimella A-sektori  $0,6 \cdot -1,60 = -0,96 \text{ kN/m}^2$   
B-sektori  $0,6 \cdot -1,26 = -0,75 \text{ kN/m}^2$ . (Tikanoja ym. 2017, 44.)

Taulukko 3. Ulkoseinien paikallisen tuulenpaineen nettopainekertoimia. \* nurkka-alue ulottuu rakennuksen ulkonurkasta molempiin suuntiin etäisyydelle  $e/5$ .  $e = \min(b; 2h)$ . (Tikanoja ym. 2017, 44)

Ulkoseinät	Suurin imu nurkka-alueilla*		Suurin imu keskialueilla		Suurin paine sisäänpäin	
	$A \geq 10 \text{ m}^2$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10 \text{ m}^2$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10 \text{ m}^2$	$A \leq 1 \text{ m}^2$
Tarkasteltava pinta-ala						
$C_{p,net}$	-1,5	-1,7	-1,1	-1,4	+1,1	+1,3

$e = \min: 30,6 \text{ m}; 41,2 \text{ m}$

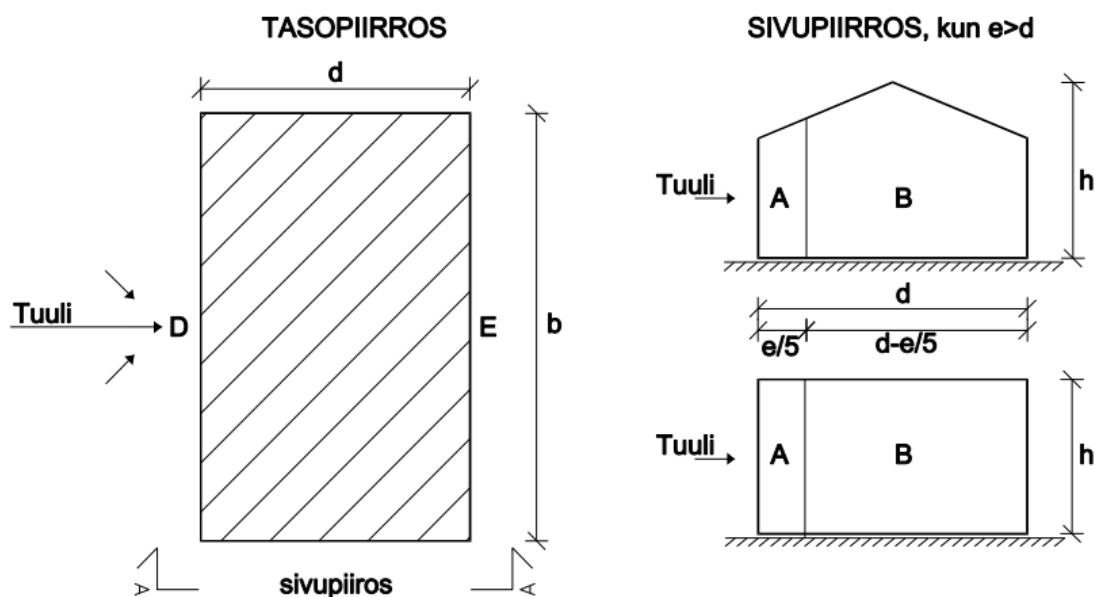
Jossa  $h$  on rakennuksen korkeus ja  $b$  on rakennuksen suurempi sivumitta, muualla tuulen imulle voidaan käyttää keskialueen nettopainekerrointa.

Tuulen nettopaine lasketaan kaavalla (1).

$$C_{p,net} q_{p(h)} = q_{w,k} \quad (1)$$

jossa  $C_{p,net}$  nettotuulenpainekerroin (taulukko 3)  
 $q_{p(h)}$  nopeuspaine (taulukko 2).

A-sektorin imu osamenetelmällä  $0,6 \text{ kN} \cdot -1,30 = -0,78 \text{ kN}$  sekä  $e = 30,6/5 = 12,6 \text{ m}$ . B-sektorin imu osamenetelmällä  $0,6 \text{ kN} \cdot -0,96 = -0,57 \text{ kN}$  sekä  $e = e - (e/5) = 24,48 \text{ m}$



Kuva 16. Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio (Tikanoja ym. 2017, 150)

Tuulen imun laskentaan osapainemenetelmällä on olemassa kolme laskentamallia, josta käytettävä menetelmä määräytyy rakennuksen mittasuhteiden  $e/d$ :n mukaan. Tässä kohteessa määräävä menetelmä on kakkonen, jossa päädyn imusektoreita on kolme, A-, B- ja C-sektori. A-sektorin leveys  $e/5 = 6,12$  m, ja B-sektorin leveys  $d-e/5 = 24,48$  m.

Jotta taulukosta 4 saadaan valittua oikeat arvot, on rakennuksen päädyn leveyden ja korkeuden suhdeluku laskettava. Rakennuksen  $h/b$  on 1,3. Tällöin taulukosta 4 valitaan 1,3 arvoa lähinnä oleva rivi, josta valitaan tarkasteltavan pinta-alan  $C_{pe}$ -arvot

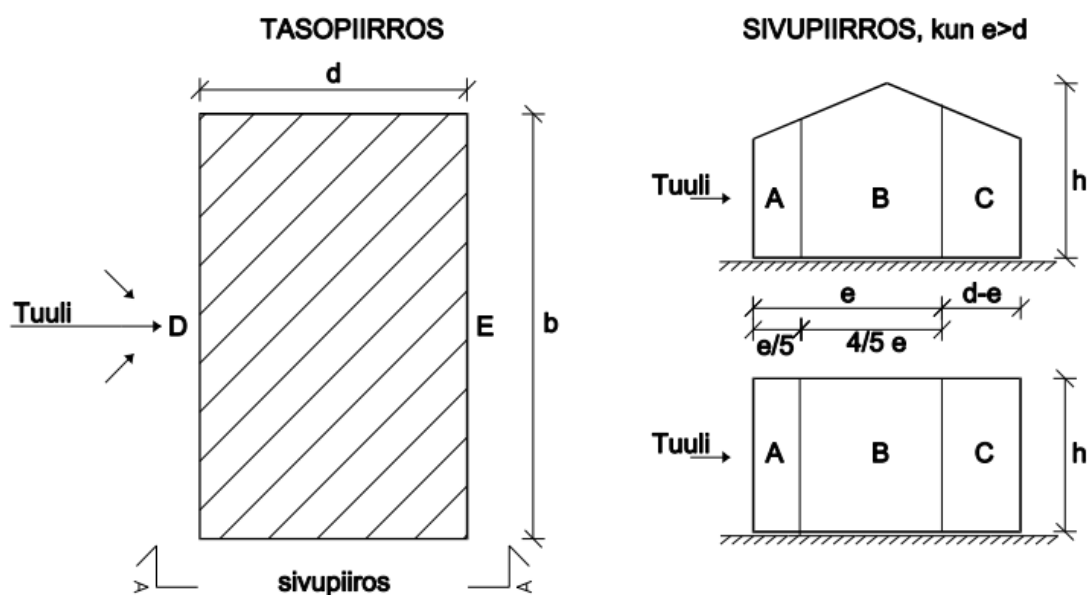
$C_{pe}$ -arvo on interpoloitu taulukon 4 arvoista tarkasteltavan vyöhykkeen mukaan. Tässä tilanteessa yhden metrin korkuinen kaistale elementistä, joka on kaksi ja puolimetriä leveä eli mitoittava alue on  $2,5$  m<sup>2</sup>. Interpoloidut  $C_{pe}$ -arvot ovat: A-sektorin  $C_{pe} = -1,30$ , B-sektorin  $C_{pe} = -0,96$ , C-sektorin  $C_{pe} = +0,8$ .

A-sektorin imu osamenetelmällä on  $0,6 \cdot -1,30 = -0,78$  kN sekä  $e = 30,6/5 = 12,6$  m. B-sektorin imu osamenetelmällä on  $0,6 \cdot -0,96 = -0,57$  kN sekä  $e = e - (e/5) = 24,48$  m. C-sektorin paine osamenetelmällä on  $0,6 \cdot 0,8 = 0,48$  kN sekä  $e = d - e = 14,8$  m.

Taulukko 4. Ulkopuolisen paineen kertoimet, pohjaltaan suorakulmaisten rakennusten pysty-suorille seinille (Tikanoja ym. 2017, 150)

vyöhyke	A		B		C		D		E
h/d	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe}$
$\geq 5^*)$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,8		+0,8	+1,0	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,8		+0,8	+1,0	-0,5
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,8		+0,7	+1,0	-0,3

Taulukon 4  $C_{pe.10}$ -arvoja käytetään, kun rakennetta tarkasteltavan osan pinta-ala on  $10 \text{ m}^2$  tai suurempi.  $C_{pe.1}$ -arvoja käytetään, kun tarkasteltavan osan suuruus on  $1 \text{ m}^2$ . Mikäli tarkasteltavan osan pinta-ala on näiden arvojen välissä, voidaan arvoja interpoloida logaritmisesti. (Tikanoja ym. 2017, 150.)



Kuva 15. Tuulenpaineen vyöhykkeet (Tikanoja ym. 2017, 150)

## 8 SUUNNITTELUN PERUSTEET

Elementtien kiinnityksen mitoittamisen osalta pitää elementin pohjalevyn lujuusarvo määrittää kahdesti kuorman luonteen perusteella. Seinäpulteille kohdistuva tuulen imu on hetkellistä kuormaa ja elementin alapään kiinnityspulttien kuormitus on pysyvä, joka vaikuttaa pohjalevyn laskennallisiin lujuusarvoihin.

## 8.1 Käyttöluokat

Rakenteet tulee jaotella alla olevien käyttöluokkien mukaan 1, 2 tai 3. Käyttöluokkajärjestelmä on tarkoitettu pääasiassa lujuusarvojen jaottelua varten ja määrittelyssä ympäristöolosuhteista syntyvän muodonmuutoksen laskemista varten. (Kevärimäki ym. 2017, 33.)

**Käyttöluokka 1.** Käyttöluokalle 1 on tyypillistä, että materiaalien kosteus on lämpötilaa 20°C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 65 % vain muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokassa 1 havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 12 %. (Kevärimäki ym. 2017, 33.)

Käyttöluokkaan 1 kuuluu puurakenne, joka on lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusoloissa. Käyttöluokka 1 voidaan yleensä lukea myös lämpöeristekerroksessa olevat rakenteet sekä palkit, joiden vetopuoli on lämmöneristeen sisällä. (Kevärimäki ym. 2017, 33.)

**Käyttöluokka 2.** Käyttöluokalle 2 on tyypillistä, että materiaalien kosteus on lämpötilaa 20°C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 85 % vain muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokassa 2 havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 20 %. (Kevärimäki ym. 2017, 33.)

Käyttöluokkaan 2 kuuluu ulkoilmassa kuivana oleva puurakenne. Rakenteen tulee olla katetussa ja tuuletetussa tilassa sekä alta ja sivuilta kastumiselta hyvin suojattu. Tähän käyttöluokkaan kuuluu yleensä esimerkiksi rossipohjan ja kylmän ullakkotilan puurakenteet. (Kevärimäki ym. 2017, 33.)

**Käyttöluokka 3.** Käyttöluokalle 3 on tyypillistä, että ilmasto-olosuhteet johtavat suurempiin kosteusarvoihin kuin käyttöluokassa 2. Käyttöluokkaan 3 kuuluu ulkona säälle alttiina, kosteassa tilassa tai veden välittömän vaikutuksen alaisena oleva puurakenne. Puun tasapainokosteuden lisäksi käyttöluokan valinnassa tulee kiinnittää huomiota kosteuden vaihteluihin. Kosteuden vaihtelun vaikutus puurakenteeseen voi olla suurempi kuin korkeankin tasaisen kosteuden vaikutus. Käyttöluokassa 1 tulee kiinnittää erityistä huomiota puutavaran halkeiluvaaraan. (Kevärimäki ym. 2017, 33.)

Taulukko 5. Kuormituksen aikaluokat (Kevärinmäki ym. 2017, 32)

Kuorma aikaluokka	Ominaiskuorman vaikusajan suuruusluokka	Kuormitukset
Pysyvä	Yli 10 vuotta	Omapaino. Pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja kevyet väliseinät. Maanpaine.
Keskipitkä	1 viikko – 6 kuukautta	Lumi. Lattioiden ja parvekkeiden hyötykuorman pintakuormat luokissa A-D. Autotallien ja liikennöintialueiden hyötykuormat luokissa F ja G. Kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormitukset.
Hetkellinen		Tuuli. Onnettomuuskuorma.

Taulukko 6. Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroimen  $k_{mod}$  arvot (Kevärinmäki ym. 2017, 49)

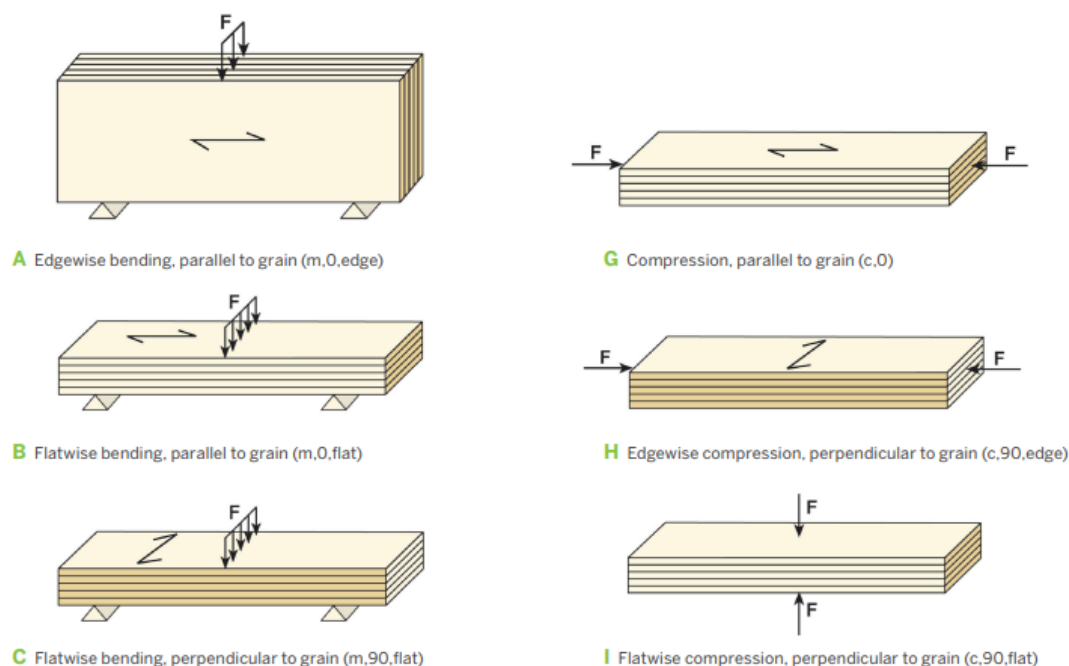
Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
sahatavara, pyöreäpuu, liimapuu, LVL, vaneri, CLT	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90

Taulukko 7. Materiaalien osavarmuuskerroin,  $\gamma_m$  (Kevärinmäki ym. 2017, 47)

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara, pyöreä puutavara yleensä	1,3
Liimapuu, CLT	1,25
LVL, vaneri, OSB-levy	1,2
Muu lastulevy, kuitulevyt	1,3
Liitokset	1,3
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Taulukko 8. Virumaluvun  $K_{def}$  arvot puulle ja puutuotteille (Kevärinmäki ym. 2017, 50)

Materiaali	Standardit	Käyttöluokka		
		1	2	3
Sahatavara, pyöreä puu	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Liimapuu	EN 14080			
LVL, CLT syrjällään	EN 14374			



Kuva 18. Materiaalien kuormitussuuntien kuvaus (LVL-handbook s.a., 117)

Taulukko 9. Kerto-s levyn materiaalin ominaisuudet (Kerto LVL s.a., 10)

Materiaali ominaisuudet (N/mm <sup>2</sup> )		Kerto-s
paksuudet (mm)		21–90
Taivutus syrjällään	$f_{m,k}$	44
Kokovaikutuseksponentti	s	0,12
Taivutus lappeellaan	$f_{m,0,flat,k}$	50
Veto syynsuuntaan	$f_{t,0,k}$	35
Veto poikittain syrjään	$f_{t,90,edge,k}$	0,8
Puristus syynsuuntaan	$f_{c,0,k}$	35
Puristus poikittain syrjällään	$f_{c,90,edge,k}$	6
Puristus poikittain lappeellaan	$f_{c,90,flat,k}$	1,8
Leikkaus syrjällään	$f_{v,k}$	4,1
Lappeellaan pintaviilun suuntaan	$f_{t,0,k}$	2,3

Kimmomoduuli	$E_{\text{mean}}$	13800
Liukumoduuli	$G_{\text{edge,mean}}$	600
Ominaisihteys $\text{kg/m}^3$	$P_k$	480
Tiheyden keskiarvo $\text{kg/m}^3$	$P_{\text{mean}}$	510

Elementin pohjalevyn suunnitteluarvoihin vaikuttavat kertoimet ovat: käyttöluokka 1, rakennekerrosten puolivälissä sijaitseva rakennelevy. Kuormituksen aikaluokat, hetkellinen  $k_{\text{mod}} = 1,10$  sekä pysyvä  $k_{\text{mod}} = 0,60$ . Materiaalin osavarmuuskerroin  $Y_m = 1,2$ . Kuvassa 18 on esitetty LVL-levyn kuormitus suunnasta riippuvat lyhenteet.

Taulukko 10. Materiaalien suunnitteluarvot

Materiaalin suunnitteluarvot ( $\text{N/mm}^2$ )		Kerto-s	
		$k_{\text{mod } 0,6}$	$k_{\text{mod } 1,1}$
paksuudet (mm)		21–90	
veto syynsuuntaan	$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \times f_{m,k} / Y_m$	17,5	32,1
Puristus syynsuuntaan	$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \times f_{c,0,k} / Y_m$	17,5	32,1
Puristus poikittain syrjällään	$f_{c,90,\text{edge},d} = k_{\text{mod}} \times$ $f_{c,90,\text{edge},k} / Y_m$	3	5,5
Puristus poikittain lappeellaan	$f_{c,90,\text{flat},d} = k_{\text{mod}} \times f_{c,90,\text{flat},k} /$ $Y_m$	0,9	1,65
Leikkaus syrjällään	$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \times f_{v,k} / Y_m$	2,05	3,7
Lappeellaan pintaviilun suuntaan	$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \times f_{t,0,k} / Y_m$	1,15	2,1
Kimmomoduuli	$E_{\text{mean}}$	13800	13800
Liukumoduuli	$G_{\text{edge,mean}}$	600	600
Ominaisihteys $\text{kg/m}^3$	$P_k$	480	480
Tiheyden keskiarvo $\text{kg/m}^3$	$P_{\text{mean}}$	510	510

## 8.2 Kuormitusyhdistely

Taulukko 11. Seuraamusluokkien CC määrittely rakennuksille ja rakenteille ja luottavuusluokat RC/kuormakerroin (kansallinen liite) (Tikanoja ym. 2017, 28.)

Seuraamus-luokkan (CC) kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä	luotettavuus- luokka/ kuorma- kerroin $K_{fi}$
----------------------------------	---	---

<p>CC3</p> <p>Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristö- vahinkojentakia</p>	<p>Rakennuksen kantava runko<sup>1)</sup> jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- yli 8-kerroksiset<sup>2)</sup> asuin-, konttori- ja liikerakennukset</li> <li>- konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot</li> <li>- raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset.</li> </ul> <p>Erikoisrakenteet, kuten esim. korkeat tornit.</p> <p>Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalajien alueella.</p>	<p>RC3</p> <p><math>K_{fi} = 1,1</math></p>
<p>CC2</p> <p>Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. .</p>	<p>Rakennukset ja rakenteet jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.</p>	<p>RC2</p> <p><math>K_{fi} = 1,0</math></p>
<p>CC1</p> <p>Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkittymättömien taloudellisten,</p>	<p>1- ja 2-kerroksiset<sup>2)</sup> rakennukset joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä<sup>3)</sup>, kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m<sup>2</sup> tai suurin jänneväli enintään 6 metriä.</p> <p>Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa, kuten</p>	<p>RC1</p> <p><math>K_{fi} = 0,9</math></p>

sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	- matalalla olevat alapohjat, ilman kellaritiloja - ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne -sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavana tai jäykistävänä rungon osana.	
Taulukkoon liittyviä huomautuksia: 1) pienehköt rakennusrungosta erilliset välipohjat kuuluvat kuitenkin luokkaan CC2, elleivät ne toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena. 2) kellarikerrokset mukaan luettuina. 3) tilapäisenä oleskeluna pidetään päivittäistä käymistä rakennuksessa, mutta ei siellä pitäenmpään viipymistä.		

Taulukko 12. Muuttuvan kuorman yhdistelykertoimet (Tikanoja ym. 2017, 29)

Kuorma	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (katso SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,5	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvvon paino $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6 <sup>**</sup> )
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30$ kN < ajoneuvvon paino $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3 <sup>**</sup> )
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3) <sup>*</sup> ) kun			
$S_k < 2,75$ kN/m <sup>2</sup>	0,7	0,4	0,2
$S_k \geq 2,75$ kN/m <sup>2</sup>	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma <sup>***</sup> )	0,7	0,3	0

Rakennusten tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
Pakkomuodonmuutokset	1,0	1,0	1,0
Tukien painumat	1,0	1,0	1,0
<p>*) Ulkotasoilla ja parvekkeilla <math>\psi_0 = 0</math> luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huom: mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään <math>\psi</math>-arvoa, joka antaa epäedullisimman vaikutuksen.</p> <p>***) Ajokäytävillä <math>\psi_2 = 0</math>.</p> <p>***) Koskee huurtumista, jäätävästä sateesta ja räntäsateesta aiheutuvia jääkuormia.</p>			

### 8.3 Kuormitusyhdistelmät

Taulukko 13. Kuormitusyhdistelmät (Tikanoja ym. 2017, 45.)

Murtorajatilän mitoittava kuormitusyhdistelmä saadaan seuraavista kaavoista.	
$1,15 \cdot K_{fi} \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot K_{fi} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot K_{fi} \cdot \sum G_{k,j} \cdot Q_{k,i}$	
tai	
$1,35 \cdot K_{fi} \cdot \sum G_{k,j}$	
$G_{k,j}$ $Q_{k,1}$ $Q_{k,i}$	<p>pysyvien kuormien ominaisarvo eli rakenteen omapaino</p> <p>määräävän muun muuttuvan kuorman ominaisarvo, Tuuli-, hyöty- tai lumikuorma</p> <p>muun muuttuvan kuorman ominaisarvo, Tuuli-, hyöty- tai lumikuorma</p>
$\psi_{0,i}$	<p>Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin:</p> <p><math>\psi_0</math> Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin</p> <p><math>\psi_1</math> Muuttuvan kuorman tavallisen arvon yhdistelykerroin</p> <p><math>\psi_2</math> Muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin</p>
$K_{fi}$	Kuormakerroin

## 9 MITOITUS

Elementtien kiinnitys betonirakenteeseen on suunniteltu käytettäväksi Wurth-betoniruuveja, joille valmistaja antaa valmiin mitoitusaulukon ulosvedolle sekä leikkaukselle, kuva 19. Tällöin suunnittelijan ei tarvitse itse mitoittaa kiinnikkeiden kestävyttä. 10 mm halkaisijalla olevalla betoniruuvilla saavutetaan vähintään 55 mm uppouma C20/25 lujiseen betoniin, saavutetaan kiinnikkeelle halkeilussa betonissa 4,3 kN vetolujuus sekä 4,8 kN leikkauslujuus.

Tekniset tiedot Betoni													
Ankkurin koko mm		5			6			8			10		
Asennussyvyys		$h_{nom}$ mm		35	35	40	55	45	55	65	55	75	85
Sallittu kuormitus <sup>1)</sup> suoravelo (yksi ankkuri ilman reunaetäisyyden vaikutusta)	(Halkeillut betoni C20/25) <sup>2)</sup> , $s \geq 3 h_{gr}$ , $c \geq 1,5 h_{gr}$	$N_{zul}$ [kN] = C20/25 <sup>2)</sup>		0,6 <sup>3)</sup>	0,6 <sup>3)</sup>	1,0	1,9	2,4	4,3	5,7	4,3	8,0	9,6
	(Halkeilematon betoni C20/25) <sup>2)</sup> , $s \geq 3 h_{gr}$ , $c \geq 1,5 h_{gr}$			0,6 <sup>3)</sup>	0,6 <sup>3)</sup>	1,9	4,3	3,6	5,7	7,6	5,7	9,5	11,9
Sallittu kuormitus <sup>1)</sup> leikkaus (yksi ankkuri ilman reunaetäisyyden vaikutusta)	(Halkeillut betoni C20/25) <sup>2)</sup> , $c \geq 10 h_{gr}$	$V_{zul}$ [kN] = C20/25 <sup>2)</sup>		2,0 <sup>3)</sup>	2,0 <sup>3)</sup>	3,0	3,3	3,6	4,8	6,4	4,8	15,9	16,2
	(Halkeilematon betoni C20/25) <sup>2)</sup> , $c \geq 10 h_{gr}$			2,1	2,8	3,3	3,3	5,0	6,8	8,1	6,8	16,2	16,2
Sallittu taivutusmomentti		$M_{zul}$ [Nm]				4,8		12,4			26,7		
Sallittu palokuormitus (R30 - R120) katso ETA-16/0043													

1) Sallittu kuormitus yksittäisankuroinnissa ilman reunaetäisyyden vaikutusta. (ETA-16/0043)

2) Sallittu kuormitus käytettäessä min. keskinäistä ja reunaetäisyyttä (katso. ETAG, liite C)

3) Sallittu kuormitus sarjakiinnityksissä (ETA-16/0128)

Kuva 19. Wurth betoniruuviin mitoitusarvot (Wurth betoniruuvi s.a)

Mikäli elementtien kuormaa ei voida kiinnittää vanhaan julkisivuun, on kuormat johdettava elementtejä pitkin sokkelille, josta ne siirtyvät perustuksille. Sokkelirakenteen kuntoa ja kantokykyä pitää aina tarkastella kohdekohtaisesti, jolloin voidaan varmistua vanhan sokkelirakenteen kestävydestä sekä kuormansiirtokyvystä. Mikäli vanhaa sokkeliä ei voida käyttää, täytyy rakennukselle suunnitella erikseen teräshylly, joka kiinnitetään alkuperäiseen sisäkuoreen. Vaihtoehtoisesti voidaan tehdä uusi teräsbetoninen sokkelirakenne, joka kantaa uuden julkisivurakenteen. Lähtökohtaisesti pyritään kiinnittämään elementit suoraan vanhaan rakenteeseen ja sokkelin turvotus kevytrakenteisena. Tällöin saavutetaan työmäärältään ja hinnaltaan halvin ratkaisu.

### 9.1 Seinäkiinnikkeiden mitoitus

Seinäkiinnikkeiden määränlaskennassa määritetään ensimmäiseksi tarkasteltava pinta-ala, kuva 20. Tässä tarkastelussa tarkastellaan rakennuksen reuna-



Murtorajatilan mitoittava kuormitusyhdistelmä saadaan seuraavista kaavoista. Suurempi arvo valitaan.	
$1,15 \cdot K_{fi} \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot K_{fi} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot K_{fi} \cdot \sum G_{k,j} \cdot Q_{k,i}$	3,37 kN
tai	
$1,35 \cdot K_{fi} \cdot \sum G_{k,j}$	3,04 Kn
$G_{k,j}$ pysyvien kuormien ominaisarvo	0 kN
$Q_{k,1}$ määrävän muun muuttuvan kuorman ominaisarvo	2,25 kN
$Q_{k,i}$ muun muuttuvan kuorman ominaisarvo	0 kN
$\psi_0$ Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin (tuuli)	0,6
$K_{fi}$ Kuormakerroin	1,0

## 9.2 Alaliitos pulteilla

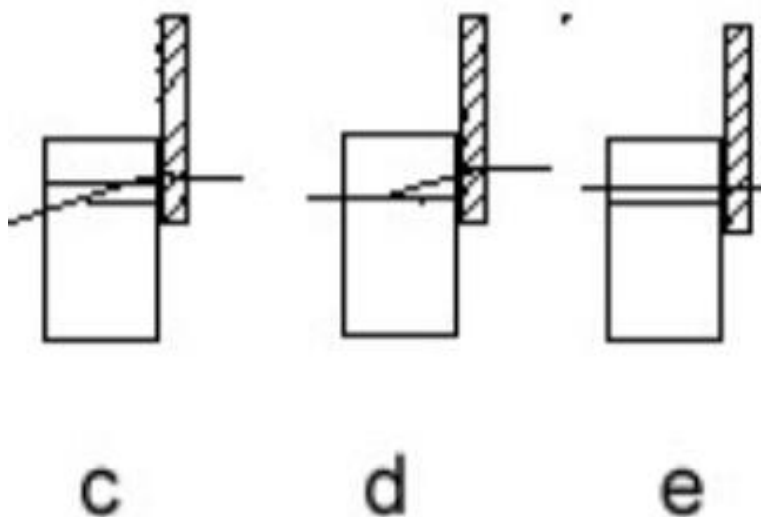
Elementin alaliitoksen kiinnityspulttien määrän mitoittaminen LVL-levyn ja betonirakenteen välillä voidaan mitoittaa puuteräslevy liitoksena (paksu teräslevy). Teräslevyn ja paksun betonirakenteen voidaan mitoituksen kannalta ajatella käyttäytyvän kiinnikkeen osalta samankaltaisesti. Laskennallisesti elementti tarvitsee omanpainon kannattamiseen 15,06 kappaletta kiinnikkeitä ja kiinnikemäärä pyöristetään aina ylöspäin. Kuvassa 21 on esitetty taulukon 15  $F_{V,Rk}$  laskennassa käytettyjen kaavojen murtomekanismit.

Taulukko 15. Kuormitusyhdistelmä/kiinnikemäärän laskenta

Mitoitettava kuorma	23,9 kN	
$F_{V,Rk}$ Kestävyyden ominaisarvo liitintä kohden		
$f_{hk}$ LVL-osan reunapuristuslujuus	35 N/mm <sup>2</sup>	
$t_1$ LVL-levyn paksuus	27 mm	
$d$ Liittimen paksuus	10 mm	
$M_{y,Rk}$ Liittimen myötömomentti	800 N/mm <sup>2</sup>	
e	$f_{hk} t_1 d$	9450 N/liitin
$F_{V,Rk} = \min:$	c $f_{hk} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{hk} d t_1^2}} - 1 \right]$	12361 N/liitin
	d $2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{hk} d}$	1587 N/liitin
$F_{V,Rk} = \min =$	mitoitettava murtomekanismi= (d)	1,59 kN/liitin
Liittimien määrä	23,9 kN / 1,59 kN/liitin =	15,06 liitintä

Liittimien määrä pyöristetään aina ylöspäin	16 kpl liitimiä
---	-----------------

Murtorajatilän mitoittava kuormitusyhdistelmä saadaan seuraavista kaavoista. Suurempi arvo valitaan.	
$1,15 \cdot K_{fi} \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot K_{fi} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot K_{fi} \cdot \sum G_{k,j} \cdot Q_{k,i}$	23,04 kN
tai	
$1,35 \cdot K_{fi} \cdot \sum G_{k,j}$	23,9 Kn
$G_{k,j}$ pysyvien kuormien ominaisarvo	17,1 kN
$Q_{k,1}$ määrävän muun muuttuvan kuorman ominaisarvo	2,25 kN
$Q_{k,i}$ muun muuttuvan kuorman ominaisarvo	0 kN
$\psi_0$ Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin (tuuli)	0,6
$K_{fi}$ Kuormakerroin	1,0



Kuva 21. Murtomekanismit (SFS-EN-1995-1-1:2014, 57.)

## 10 POHDINTA

Tällaisella tuotteella on lähiaikoina hyvät mahdollisuudet kehittyä nopeaksi ja kustannustehokkaaksi tavaksi toteuttaa rakennukselle uusi julkisivu, jolla saadaan parannettua rakennusten energiatehokkuutta **kaksin tai jopa kolminkertaiseksi**. Tämä näkyy välittömästi pienentyvinä energiankulutuksina niin lämmityksen kuin jäähdytyksenkin osalta. Samanaikaisesti rakennukselle saadaan toteutettua moderni-ilme puuverhouksella tai muilla markkinoilla olevilla julkisivupintamateriaaleilla, joilla voidaan saavuttaa lähes huoltovapaita julkisivuja. **Puupohjaisilla rakennusmateriaaleilla toteutetuilla LVL-elementeillä on**

uuteen betonikuorirakenteeseen nähden pienempi hiilijalanjälki, jota tulevaisuudessa tullaan seuraamaan entistä tarkemmin myös korjausrakentamisessa.

Ennen projektin aloittamista tulee kohteen ulkoseinän sekä sokkelirakenteen kunto selvittää, jolloin varmistutaan elementtien oikeasta kiinnitystavasta ja mahdollisesta lisätuennan tarpeesta. Rakennuksen julkisivuun tulevan lisäkuorman ankkuroimista täytyy tutkia alkuperäisistä rakennesuunnitelmista sekä rakennuksen kunnosta pitää varmistua. Mikäli rakennuksen rakenteiden kunnosta ei pystytä aiemmillä tiedoilla varmistumaan, jolloin julkisivulle on tehtävä kuntotutkimus, jossa asiasta saadaan varmuus. Vanhojen rakenteiden lisätuennasta, tai kiinnityksestä, pitää aina tehdä erillinen suunnitelma. Mikäli rakenteiden ollessa huonokuntoisia, kannatta vanhan ulkokuoren poistamista harkita yhtenä vaihtoehtona.

Tällaisella tuotteella olisi järkevä toteuttaa pienimuotoinen testikohde, jossa elementtien kiinnittämistä sekä liitoksien toimivuutta päästäisiin testaamaan. Markkinoilla olevien erilaisten ripustusosien käyttökelpoisuutta kannattaisi tarkastella ja testata, jotta tuotteesta saadaan suunniteltua mahdollisimman toimiva ja kustannustehokas tapa toteuttaa julkisivuremontti.

## LÄHTEET

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA, s.a. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.ara.fi/fi-FI>

IdeaStructura s.a. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.ideastructura.com/> [viitattu 21.5.2022].

Kevärinmäki, A. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Puurakenteiden suunnitteluohje: eurokoodi EN1995-1-1: RIL 205-1-2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri Liitto RIL-ry 2017. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 21.5.2022].

Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, Asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_nettil\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf) [viitattu 21.5.2022].

Punkaharjun Puutaito. s.a. WWW-artikkeli. Saatavissa: <http://www.puutaito.fi/> [viitattu 21.5.2022].

Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G & Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry 2017. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13.

## KUALUETTELO

Kuva 1. Rakennustarvikkeen luokkamerkinnän muodostuminen yleisesti. Lahela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitila rakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palo-kirja\\_netti\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palo-kirja_netti_kokonainen.pdf) [viitattu 19.5.2022].

Kuva 2. Esimerkkikohteen lähtötilanne alkuperäisellä elementtijaolla. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 3. Esimerkkikohteen saumajako leveillä saumoilla. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 4. Esimerkkikohteen saumajako ponttisaumoilla. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 5. US1 seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen tarkastelu. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 6. US2 seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen tarkastelu. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 7. US3 seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen tarkastelu. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 8. US1-rakenteen rakennetyyppi. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 9. US2-rakenteen rakennetyyppi. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 10. US3-rakenteen rakennetyyppi. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 11. Elementtien pysty- ja vaakaliitos. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 12. Elementtien aukkojen pielet. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 13. Elementtien sisä- sekä ulkonurkat (ulkonurkan levitys). Pitkänen, J. 2022.

Kuva 14. Elementtien alaliitos. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 15. Elementtipainon laskenta. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 16. Tuulenpaineen vyöhykkeet. Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Kuva 17. Tuulenpaineen vyöhykkeet. Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Kuva 18. Materiaalien kuormitussuuntien kuvaus. s.a. LVL-handbook. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsagroup.com/globalassets/metsa-wood/attachments/european-lvl-handbook/lvl-handbook.pdf> [viitattu 22.5.2022].

Kuva 19. Wurth betoniruuvien mitoitusarvot. s.a. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://media.wuerth.com/stmedia/wuerth/documents/documents/LANG\\_fi/56402485.pdf](https://media.wuerth.com/stmedia/wuerth/documents/documents/LANG_fi/56402485.pdf) [viitattu 22.5.2022].

Kuva 20. Tuulen imun tarkastelualue. Pitkänen, J. 2022.

Kuva 21. Murtomekanismit. s.a. SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC [2014]. Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General Common rules and rules for buildings. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/en/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/380211.html.stx> [viitattu 22.5.2022].

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Maastoluokat. Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 2. Nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa. Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 3. Ulkoseinien paikallisen tuulenpaineen nettopainekertoimia.  
\* nurkka-alue ulottuu rakennuksen ulkonurkasta molempiin suuntiin etäisyydelle  $e/5$ .  $e = \min(b; 2h)$ . Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 4. Ulkopuolisen paineen kertoimet, pohjaltaan suorakulmaisten rakennusten pystysuurille seinille. Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 5. Kuormituksen aikaluokat. Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 6. [Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroimen  \$k\_{mod}\$  arvot](#). Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 7. Materiaalien osavarmuuskerroin ym. Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 8. [Virumaluvun  \$K\_{def}\$  arvot puulle ja puutuotteille](#). Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 9. Kerto-s levyn materiaalin ominaisuudet. Kerto LVL. s.a. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsagroup.com/contentassets/e39dfa793cc343918376a4166feda0c4/kerto\\_lv\\_for\\_load-bearing\\_applications.pdf](https://www.metsagroup.com/contentassets/e39dfa793cc343918376a4166feda0c4/kerto_lv_for_load-bearing_applications.pdf) [viitattu 22.5.2022].

Taulukko 10. **Muuttuvan kuorman yhdistelykertoimet**. Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 11. Seuraamusluokkien CC määrittely rakennuksille ja rakenteille ja luotettavuusluokat RC/kuormakerroin (kansallinen liite): Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 12. Yhdistelykertoimien  $\psi$  arvot rakennuksille. Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 13. Kuormitusyhdistelmät. Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://finna.kaakkuri.fi> [viitattu 21.5.2022].

Taulukko 14. Seinäkiinnikkeen kuormitusyhdistelmä/mitoitus. Pitkänen, J. 2022.

Taulukko 15. Kuormitusyhdistelmä/kiinnikemäärän laskenta. Pitkänen, J. 2022.