



Luonnonkivi julkisivuverhouk- sessa

LEEVI HEIKKILÄ

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024

Yhdyskunta- ja rakennustekniikka
Rakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Yhdyskunta- ja rakennustekniikka
Rakennustekniikka

HEIKKILÄ, LEEVI:
Luonnonkivi julkisivuverhouksessa

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Huhtikuu 2024

Tämä opinnäytetyö keskittyy luonnonkivijulkisivuverhouksiin ja niiden toteuttamiseen. Työssä tarkastellaan luonnonkiveä rakennusmateriaalina rakentamisen historian sekä kivimateriaalin fysikaalisten ominaisuuksien näkökulmasta. Luonnonkiviverhouksen toteuttamistavan mahdollisuuksia on esitelty erilaisilla kiinnitystavoilla. Kiinnitystavan valitsemista varten eri toteutustapoja on analysoitu projektien vaatimuksien, laadun ja taloudellisten hyötyjen näkökulmasta.

Opinnäytetyössä käsitellään luonnonkiven hyötyjä ja haasteita rakennusprojekteissa. Opinnäytetyössä esitellään myös erilaisia elementtiteollisuudessa käytettyjä kiinnitys- ja asennusmenetelmiä, jotka mahdollistavat luonnonkivijulkisivun tehokkaan valmistuksen. Uutta tutkimuksessa on tutustuminen Stonegroup Finlandin keksimään kiinnitysmekanismiin. Opinnäytetyössä tarkastellaan Stonegroup Finlandin ja Tampereen ammattikorkeakoulun yhdessä kehittämiä kokeita kiinnitysmekanismeille ja näistä kokeista saatuja koetuloksia. Tutkimustulosten analysointia varten on haastateltu työn tilaajaa, jonka mukaan testien tulokset näyttivät lupaavilta.

Luonnonkivi on ympäristöystävällinen materiaali joka omaa pitkän elinkaaren ja on lähes huoltovapaa. Kivirakenteiden hankinta ja asennus on kuitenkin tehtävä huolellisesti, jotta siitä saadaan täysi taloudellinen ja tekninen hyöty. Tämä opinnäytetyö esittelee luonnonkiviverhouksen haasteita ja mahdollisuuksia myös elementtien pinnassa antaen lukijalle kattavan tietopaketin aiheesta.

Asiasanat: luonnonkivi, julkisivuverhous, kiinnitysmenetelmät

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

Heikkilä Leevi
Natural Stone Cladding Facades

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 5 pages
April 2024

This thesis delves into the implementation and nuances of natural stone cladding facades in construction projects, examining natural stone as a building material from both historical perspectives and its physical properties. The study presents various anchoring mechanisms and methods for executing facades made of natural stone, considering project-specific requirements, quality, and economic benefits.

Rooted in research, this thesis highlights the advantages and challenges of using natural stone in construction endeavors. It discusses different fastening and installation techniques primarily in the prefabrication industry, enabling the efficient production of natural stone facades. One big aspect of the thesis is the exploration of an anchoring mechanism developed by Stonegroup Finland. The thesis reviews experiments and test results from a collaborative development effort between Stonegroup Finland and Tampere University of Applied Sciences. To analyze the research findings, interviews were conducted with the commissioning party.

Natural stone plays a significant role in construction, having a minimal impact on the environment thanks to its long lifecycle and nearly maintenance-free nature. However, the procurement and installation of stone structures must be meticulously planned and executed to fully realize their economic and technical benefits. This thesis aims to shed light on the sustainable and effective use of natural stone in facade construction, thereby contributing valuable insights for the construction industry.

Key words: natural stone, facade, anchoring

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LUONNONKIVI RAKENTAMISESSA	7
	2.1 Luonnonkivi rakentamisen historiassa	7
	2.2 Luonnonkiven ominaisuudet	8
	2.3 Yleiset ohjeet luonnonkivirakentamiselle.....	10
3	LUONNONKIVI ELEMENTTIRAKENTAMISESSA	12
	3.1 Elementtirakentaminen Suomessa.....	12
	3.2 Kivijulkisivu.....	13
	3.3 Kivijulkisivun suunnitteluohje.....	15
	3.4 Luonnonkivilaatat elementtirakentamisessa.....	16
	3.5 Elementtiteollisuudessa käytettyjä kiinnitysmekanismeja.....	23
4	STONEGROUPIN KIINNITYSMENETELMÄ	29
	4.1 Lähtötiedot	29
	4.2 Tartunnan pitävyys.....	31
	4.3 Testit ja mittaukset	35
	4.4 Testien valmistelut	35
	4.5 Ulosvetokoe	37
	4.6 Leikkauskestävyysskoe	41
	4.7 Tulokset	42
5	POHDINTA	44
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	48
	Liite 1. Taulukko tuloksista (Stonegroup Finland)	48

ERITYISSANASTO

AL	Altaskifer liuskekivi
BM	Betoni murtunut
BR	Bernardos liuskekivi
HG	Harmaa graniitti
IT	Irronnut tartunnasta
KL	Kivi lohjennut
MU	Murtovoima
P	Poltettu
TA	Tappi kiinnitys
TP	Tartunta poistettu
TU	Taustaura
VE	Vetolujuus

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on syventää ymmärrystä luonnonkivijulkisivuverhouksista ja niiden toteuttamisesta rakennusprojekteissa. Luonnonkivi, joka on ajan saatossa osoittautunut arvostetuksi rakennusmateriaaliksi, on merkittävässä roolissa myös nykyajan rakennusteollisuudessa. Sen ainutlaatuiset fysikaaliset ominaisuudet ja kestävyys tekevät siitä erinomaisen valinnan julkisivumateriaaliksi, joka ei ainoastaan paranna rakennuksen esteettistä ilmettä vaan myös sen toiminnallisuutta.

Lähtötietoina ennen työn tutkimuksellista osuutta, työssä tarkastellaan luonnonkiven käyttöä rakentamisessa sen historiallisesta perspektiivistä, sen fysikaalisia ominaisuuksia, sekä erilaisia kiinnitysmekanismia ja menetelmiä, jotka tekevät luonnonkiviverhouksen toteuttamisesta teknisesti tehokasta.

Opinnäytetyö perustuu tehtyihin tutkimuksiin, jotka valottavat luonnonkiven etuja ja haasteita rakennusprojekteissa. Kivienkiinnitys- ja asennusmenetelmiä katsotaan erityisesti elementtiteollisuuden näkökulmasta. Työn varsinaisessa osiossa syvennytään Stonegroup Finlandin kehittämään innovatiiviseen kiinnitysmekanismiin, jonka tehokkuutta on testattu yhteistyössä Tampereen ammattikorkeakoulun kanssa. Osana opinnäytetyötä analysoidaan Tampereen ammattikorkeakoulun ja Stonegroup Finlandin tekemiä tutkimuksia ja antamia haastatteluja, jotka antavat tietoa kiinnitysmekanismien toimivuudesta ja sen mahdollisuuksista rakennusprojekteissa.

Johdantona voidaan todeta, että luonnonkiven käyttö julkisivumateriaalina tarjoaa merkittäviä etuja rakennusalalle. Sen ympäristöystävällisyys, pitkä elinkaari ja huoltovapaus tekevät siitä houkuttelevan vaihtoehdon kestävään rakentamiseen.

2 LUONNONKIVI RAKENTAMISESSA

2.1 Luonnonkivi rakentamisen historiassa

Luonnonkivirakentaminen juontaa juurensa pitkälle historiaan, ja sen merkitys on nähtävissä kautta aikojen. Esihistorialliselta ajalta (600–800 jKr.) luonnonkiveä käytettiin ulkoseinän vahvikkeena, kivijalkana tai muinaisena linnoitusmateriaalina. Esimerkiksi kalliolinnat ja muut kivirakennelmat, joissa oli kivistä tehtyjä korkeita muureja, ovat osoitus luonnonkiven varhaisesta käytöstä varhaisissa rakennushankkeissa. (Mesimäki P. 1997. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje.)

Keskiajalla luonnonkiven merkitys rakennusmateriaalina kasvoi. Vaikka suurin osa keskiaikaisesta rakennuskannasta koostui hirsirakennuksista, on säilynyt todisteita, kuten luonnonkivistä rakennettuja kirkkoja ja linnoja, jotka osoittavat luonnonkiven käytön keskeisenä rakennusmateriaalina. (Mesimäki P. 1997. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje.)

Keskiaikaisessa rakentamisessa rakennusmateriaaleilla oli selkeä arvohierarkia. Kalkkikiveä käytettiin laajalti koristeellisiin rakenteisiin, kun taas tiili oli tyypillisesti varattu sen alkuvaiheessa verhouksiin ja holveihin. Harmaata luonnonkiveä käytettiin laajalti ja se oli kustannustehokkain kivimateriaali. (Mesimäki P. 1997. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje.)

Kun tiili nousi ensisijaiseksi kivirakennusmateriaaliksi, luonnonkiven käyttö väheni ajan myötä. Luonnonkivi säilytti kuitenkin paikkansa sisäverhouksissa ja julkisivurakennushankkeissa, josta hyvä esimerkki on vuonna 1907 valmistunut Tampereen tuomiokirkko (Kuva 1).



KUVA 1. Tampereen tuomiokirkko (Kuva: Igor Grochev)

2.2 Luonnonkiven ominaisuudet

Luonnonkivellä on lukuisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat sen käyttöön rakennusmateriaalina. Huomattavia käyttöön vaikuttavia ominaisuuksia ovat saataavuus, lujuus, palamattomuus, ainutlaatuinen ulkonäkö, pitkä käyttöikä ja pieni huoltotarve. (Mesimäki P. 1997. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje.)

Laboratoriokokeet, silmämääräinen tarkastus ja louhintatiedot voivat kaikki auttaa arvioimaan kiven laatua ja ominaisuuksia. (Kiviteollisuusliitto ry.) Luonnonkiven yleiset laatuvaatimukset on selitetty kirjassa ”Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 1990” (RYL 90). RYL 90 -standardien mukaan laatoissa ei saa olla halkeamia, kuoppia, irtonaisia fossiileja tai muita vikoja, jotka heikentäisivät niiden käyttökelpoisuutta.

Kiven fysikaaliset ominaisuudet (Taulukko 1), kuten tiheys, veden imeytyminen, puristuslujuus, kimmomoduuli, kovuus, taivutusvetolujuus, lämpö- ja kosteusmuodonmuutos sekä kulutuskestävyys, ovat olennaisia tekijöitä kivirakennusten suunnittelussa ja valinnassa. Esimerkiksi tiheässä kivessä tiheys voi vaihdella

2000–3100 kg/m³ välillä. Veden imeytyminen on tiheissä kivissä tyypillisesti 0,1–0,5 %. Pakkasekestävyys on olennaisen tärkeää. Puristuslujuusarvot antavat tietoa materiaalien teknisestä luonteesta, kun taas kimmomoduuliarvot kuvastavat niiden joustavuutta. Mohsin kovuusasteikon mittaukset antavat viitteitä kivityypin kulumiskestävydestä. Kivityyppien taivutusvetolujuus vaihtelee 6–55 MPa:n välillä, mikä tekee siitä merkityksellisen taivutusjännityksille alttiiden rakenneseosien suunnittelussa. Lämpö- ja kosteusmuodonmuutoksilla on olennainen merkitys rakenteiden suunnittelussa ja liikuntasuoritusvaatimusten arvioinnissa. Kulutuskestävyyden testaaminen standardimenetelmillä olisi myös arvioitava suunniteltaessa rakenteita, joihin kohdistuu suuria kulumiskuormia, kun taas ankkurointimenetelmien suunnittelussa on tärkeää käyttää 2–6 kN:n murto- kapasiteettia. (Kiviteollisuusliitto ry.)

TAULUKKO 1. Eri kivityyppien fysikaalisia ominaisuuksia (Kiviteollisuusliitto ry. 2006)

Kivityyppi	Bruttotiheys (DIN 52102) kN/m ³	Huokoisuus (DIN 52102) tilavuus-%	Vedenimukyky (DIN 52103) paino-%	Puristuslujuus (DIN 52105) MN/m ²	Taivutusvetolujuus (DIN 52112) MN/m ²	Kovuus Mohs	Kimmoduuli MN/m ² *10 ³	Lämpölaajeneminen 1/°C*10 ⁶
granitti	25-28	0.4- 1.5	0.1-0.5	150-300	6-25	6	30-60	5-9
dioriitti	28-30	0.5- 0.4	0.1-0.4	170-300	10-23	5-6	110-130	4-7
gabro	28-30	0.1- 0.4	0.1-0.4	170-300	10-23	5-6	110-130	4-7
basaltti	29-30	0.2- 0.9	0.1-0.3	250-400	15-27	5-6	58-105	8-9
diabaasi	28-29	0.3- 1.1	0.1-0.4	180-300	15-25	5-6	110-130	4-7
kvartsiitti	26-27	0.4- 2.0	0.2-0.5	300-400	13-25	6-7	70-80	5-10
hiekkakivi	20-26	0.5-25.0	0.2-9.0	30-180	3-15	5-6	8-20	3-10
gneissi	26-30	0.4- 2.0	0.1-0.6	160-280	8-22	5-6	40-100	5-8
marmori	26-29	0.5- 2.0	0.2-0.6	80-160	6-20	3-4	50-80	3-5
liuskeet	25-28	0.5- 1.5	0.1-0.5	100-200	8-27	4-6	10-60	2-7
vuolukivi	29-30	0.1- 0.5	0.1-0.5	20-30	15-18	2-3	30-35	20

2.3 Yleiset ohjeet luonnonkivirakentamiselle

Perusominaisuuksiltaan luonnonkivi on jo pitkään ollut tunnettu sen erinomaisista ja monipuolisista ominaisuuksista rakennushankkeissa, ja sitä tulisi aina käyttää viisaasti. Oikein käytettynä se tarjoaa monia etuja - joista mainittakoon mm. seuraavat: saatavuus, lujuus, kestävyys, palonkestävyys ja korroosiosuojaus ja käyttöikä. (Mesimäki P. 1997. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje.)

Luonnonkivirakenteita valittaessa ja suunniteltaessa on noudatettava varovaisuutta, sillä huonot valinta- ja suunnittelupäätökset voivat lyhentää niiden käyttöikä ja aiheuttaa aikataulu- ja budjettiongelmia. Luonnonkivirakenteiden laatuodotukset ovat erittäin korkeat, ja niiden onnistunut rakentaminen edellyttää laajaa tietämystä kiven ominaisuuksista ja tekniikoista. (Mesimäki P. 1997. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje.)

Kiven valinnassa ja kiviverhouksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon kiven käyttökelpoisuus ja kestävyys. Tärkeitä huomioon otettavia seikkoja ovat:

- kivipinnan ulkonäkö
- fysikaaliset ominaisuudet ja kestävyys
- saatavuus ja tasalaatuisuus
- referenssikohteet
- hintataso
- huoltotarve/kohteen suunniteltu käyttöikä. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Kiven ominaisuudet ja laatu arvioidaan laboratoriotestien ja aiempien käyttökohteiden perusteella. Rakentamisessa käytettävään luonnonkiveen sovelletaan lukuisia lakeja, asetuksia, ohjeita ja standardeja, jotka ovat viranomaisten, järjestöjen ja asiantuntijaelinten antamia lakeja, sitovia asetuksia, hyväksytyjä ratkaisuja tai epävirallisia ohjeita. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Sitovista määräyksistä on päättänyt aikoinaan Suomenrakentamismääräyskoelma (RakMK). Ympäristöministeriö voi antaa ennakkohyväksynnän tietyille rakennusmateriaaleille tai rakenteille, kuten luonnonkivirakenteille tai kiinnitys menetelmille, joita olisi muuten vaikea hyväksyä. Tämä tyyppihyväksynnäksi

kutsuttu prosessi on erityisen tärkeä silloin, kun käytetään uusia rakennustekniikoita.

Epävirallisia ohjeita ovat mm. SFS-standardit ja Suomen Rakennusinsinöörien liiton (RIL) normit ja ohjeet. Näihin voivat kuulua myös yritysten ja alan viranomaisten antamat tyyppiratkaisut, suositukset tai käsikirjat. Rakennustyön laatuvaatimusten osalta yleiset laatuvaatimukset on esitetty RYL 90:ssä. Suomen Kuntatekniikan yhdistys ry on julkaissut ”Betoni- ja luonnonkivituotteet päällysterakenteena”-nimisen käsikirjan, missä käydään läpi betoni- ja luonnonkivituotteiden laatuvaatimuksia ja käyttötekniikkaa. Muutamat luonnonkivirakentamiseen liittyvät RT-ohjekortit ovat:

- RT 824.21 Luonnonkivimuurit ja -verhoukset
- RT 30-10314 Luonnonkivet, suomalaiset rakennuskivet
- RT 30–10342 Luonnonkiviset lattiat, portaat ja seinät sisätiloissa

Rakennusmääräysten ohjeet, tyyppihyväksytyt ratkaisut ja viranomaisten hyväksymät standardiratkaisut ovat hyväksytyjä ratkaisuja, jotka sitovat tarkastusviranomaisia. Ne eivät kuitenkaan rajoita täysin suunnittelijan vapautta luoda omia vaihtoehtoja. (Mesimäki P. 1997. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje.)

Nämä ohjeet ja määräykset luovat perustan luonnonkivirakenteiden suunnittelulle ja toteutukselle ja varmistavat niiden turvallisuuden, kestävyys ja laadun rakennusprojekteissa.

3 LUONNONKIVI ELEMENTTIRAKENTAMISESSA

3.1 Elementtirakentaminen Suomessa

Suomessa kerrostalorakentaminen on ollut merkittävää 1800-luvun lopusta nykypäivään. Alun perin kolme- tai nelikerroksiset rakennukset Helsingin keskustassa korvattiin 1900-luvun alussa seitsemänkerroksisilla rakennuksilla, joissa käytettiin vielä osin uusklassismia ja jugendtyylejä. Rakennusmateriaaleina toimivat pääasiassa tiili ja luonnonkivi. (Heikki Saarenpää)

1900-luvun myötä, rakennustekniikat kehittyivät ja betonin käyttö yleistyi. Tämä johti mm. välipohjissa massiivilaattojen käyttöön 1950-luvulta alkaen, mikä mahdollisti suuremmat jännevälit. Elementtirakentamisen tekninen kehitys alkoi jo 1950-luvulla, mikä tehosti rakennusprosesseja ja mahdollisti vähitellen jatkuvan tuotannon läpi vuoden. (Heikki Saarenpää)

Vuonna 1968–1970 kehitettiin valtiojohtoisesti BES-elementtijärjestelmä (Kuva 2), joka perustui kantaviin seinäelementteihin ja esijännitettyihin pitkälaattoihin. Tässä järjestelmässä standardoitiin elementtien mitat ja detaljit, mikä mahdollisti monipuolisemmat pohjaratkaisut. BES-järjestelmä vahvisti myös Suomen kansantaloutta. (Heikki Saarenpää)



KUVA 2. Elementtien asennusta. (Elementtisuunnittelu.fi)

Tekninen kehitys on jatkunut, ja 2000-luvulle tultaessa betonirakenteet ovat monipuolistuneet ja käyttölaadultaan parantuneet. Nykyään BES-elementtijärjestelmä on edelleen käytössä, ja se on säilyttänyt asemansa betonirakentamisessa Suomessa. (Heikki Saarenpää)

3.2 Kivijulkisivu

Luonnonkivinen julkisivuarkkitehtuuri voi vaihdella huomattavasti ja ylittää usein odotukset monimuotoisuudessaan ja joustavuudessaan. Luonnonkivi antaa suunnittelijoille mahdollisuuden olla luovia ja hyödyntää joustavuutensa ansiosta suunnittelumahdollisuuksia täysimääräisesti. Lisäksi tämä vaihtelevuus ilmenee kivien kiinnittämisessä rakenteisiin kussakin hankkeessa, jotka eroavat toisistaan suunnitteluvaatimusten mukaan. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Luonnonkivijulkisivut voidaan suunnitella eri tavoin kunkin kohteen ainutlaatuisien olosuhteiden ja tavoitteiden mukaan. Luonnonkiviverhosten yleisiin suunnitteluperiaatteisiin kuuluu kivilaattojen tukeminen rakennuksen seiniin ja molempien muodonmuutosten huomioon ottaminen. Tärkeää on myös varmistaa ulkoseinien sateenpitävyys. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Kiinnitysjärjestelmät ja -rakenteet ovat muuttuneet ajan myötä, ja ne ovat tarjonneet yhä parempia, nopeampia ja usein myös halvempia ratkaisuja perinteisiin kiinnitysmenetelmiin verrattuna. Uusissa tekniikoissa otetaan paremmin huomioon luonnonkiven ominaisuudet ja niiden käsittelymahdollisuudet. Kiinnitysmenetelmät jaetaan yleisesti paikallarakentamisen menetelmiin ja elementtitekniikkaan. Suosituimpia toteutustapoja ovat perinteiset paikallarakennustekniikat, kiskokiinnitysjärjestelmät, kivilaattapintaisten betonielementtien ja muut kiinnitys- ja rakennetekniikat. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Rakennusratkaisua valittaessa on otettava huomioon työmaan olosuhteet ja arvioitava vaihtoehtoisia ratkaisuja optimaalisen ratkaisun löytämiseksi. Kiinnitystekniikoissa on otettava huomioon sellaiset ominaisuudet kuin kivityyppi, laatan koko, verhoilukuvio ja runkoratkaisu sekä hankkeen aikataulu, kivimiehen val-

miudet ja asennusresurssit, jotta voidaan löytää paras kiinnitystekniikan suunnitteluratkaisu, joka säästää kustannuksia ja nopeuttaa aikataulua, parantaa hankkeen hallintaa ja takaa rakennushankkeiden teknisen laadun. Hyvä kivitek-ninen suunnittelu auttaa säästämään kustannuksia, nopeuttamaan aikatau-lunopeutta ja varmistamaan rakenteiden teknisen laadun. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Kivijulkisivun suunnittelu vaatii useita vaiheita ja huolellista harkintaa. Suunniteluvaiheeseen voi vaikuttaa kiven ominaisuudet, kuten soveltuvuus, saatavuus, työstettävyys, muovattavuus sekä käytettävien luonnonkivien erityispiirteet. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Kiviverhous suunnitellaan kosteudelle alttiina rakenteena. Kosteuden kulkeutu-minen betonirakenteisiin voidaan estää tiivistämällä laatan saumat elastisilla materiaaleilla. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Tuulettuvassa kiviverhouksessa tuuletus voidaan suunnitella kivilaatan ja beto-nikuoren väliin. Tuulettuvassa kiviverhouksessa on otettava huomioon sisäpuo-lelta tuleva kosteus, joka voi tiivistyä takapinnalle ja jopa jäätyä, mikä lisää pak-kasrasitusta. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Kiviverhoukset altistuvat monille rasituksille, kuten tuulikuormille, kiven omapai-nolle ja liikenteen aiheuttamille iskukuormille sekä ilmasto- ja ympäristöstressi-tekijöille, kuten säälle. Rasitustekijöihin kuuluvat myös ainesosat, jotka voivat värjätä tai vahingoittaa kivipintoja. Mahdolliset rasitustekijät on otettava huolella huomioon suunnitteluvaiheessa. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Ilmasto rasituksia kivelle ovat kosteus, lämpötilan vaihtelut, pakkanen, UV-sä-teily ja tuuli. Kiveen voi myös kohdistua rasitteita kemiallisista yhdisteistä, kuten happamoittavat rikki- ja typpiyhdisteet sekä suolat. Kivirakenteita suunnitelta-essa on erittäin tärkeää ottaa nämä tekijät huomioon sekä olemassa olevien että vanhojen rakenteiden osalta; niiden käyttäytyminen ja olosuhteet voivat poi-keta huomattavasti toisistaan; säänkestävyys on entistä tärkeämpää, kun kiven paksuus pienenee tai laatat ohenevat. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

3.3 Kivijulkisivun suunnitteluohje

Kivijulkisivun suunnittelu vaatii useita vaiheita ja huolellista harkintaa. Suunnitteluvaiheeseen voi vaikuttaa kiven ominaisuudet, kuten soveltuvuus, saatavuus, työstettävyys, muovattavuus sekä käytettävien luonnonkivien erityispiirteet. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Kiviverhous suunnitellaan kosteudelle alttiina rakenteena. Kosteuden kulkeutuminen betonirakenteisiin voidaan estää tiivistämällä laatan saumat elastisilla materiaaleilla. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Tuulettuvassa kiviverhouksessa tuuletus voidaan suunnitella kivilaatan ja betonikuoren väliin. Tuulettuvassa kiviverhouksessa on otettava huomioon sisäpuolelta tuleva kosteus, joka voi tiivistyä takapinnalle ja jopa jäätyä, mikä lisää pakkasrasitusta. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

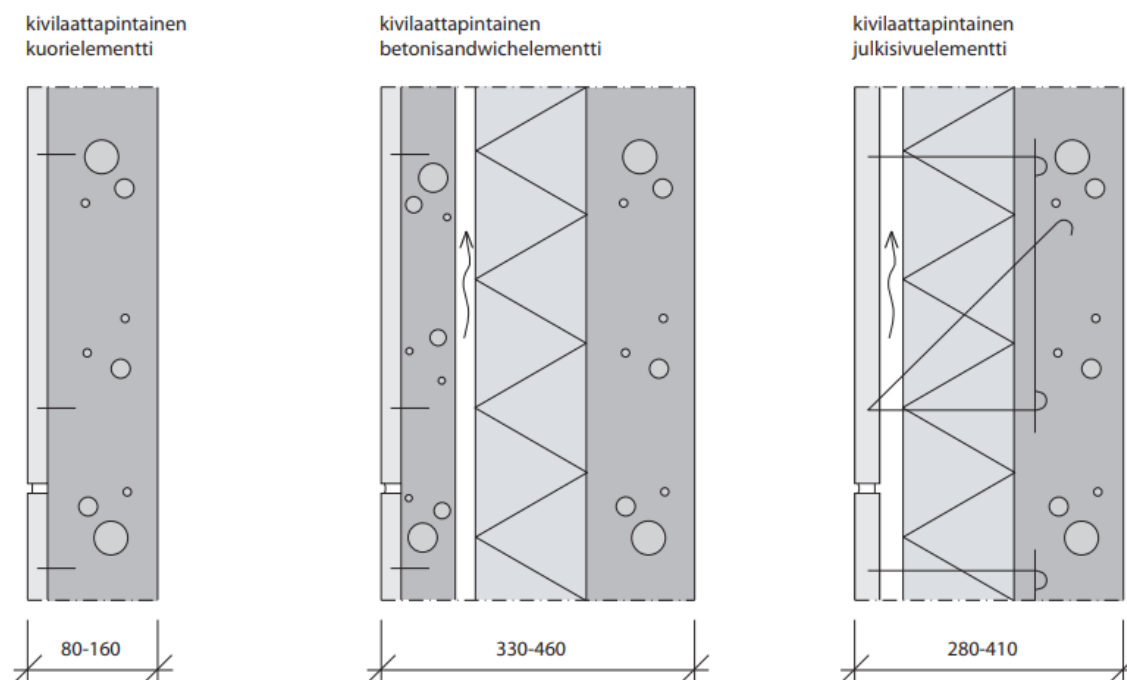
Kiviverhoukset altistuvat monille rasituksille, kuten tuulikuormille, kiven omapainolle ja liikenteen aiheuttamille iskukuormille sekä ilmasto- ja ympäristöstressitekijöille, kuten säälle. Rasitustekijöihin kuuluvat myös ainesosat, jotka voivat värjätä tai vahingoittaa kivipintoja. Mahdolliset rasitustekijät on otettava huolella huomioon suunnitteluvaiheessa. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Ilmasto rasituksia kivelle ovat kosteus, lämpötilan vaihtelut, pakkanen, UV-säteily ja tuuli. Kiveen voi myös kohdistua rasitteita kemiallisista yhdisteistä, kuten happamoittavat rikki- ja typpiyhdisteet sekä suolat. Kivirakenteita suunniteltaessa on erittäin tärkeää ottaa nämä tekijät huomioon sekä olemassa olevien että vanhojen rakenteiden osalta; niiden käyttäytyminen ja olosuhteet voivat poiketa huomattavasti toisistaan; säänkestävyys on entistä tärkeämpää, kun kiven paksuus pienenee tai laatat ohenevat. (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

3.4 Luonnonkivilaatat elementtirakentamisessa

Luonnonkivielementtejä kokeiltiin Suomessa 1970-luvun loppupuolella, ja 1980-luvulta lähtien alalla on tehty aktiivisesti tutkimus- ja tuotekehitystyötä. Tänä aikana on keskitytty niin laatan kiinnitysmenetelmiin rakennuksen julkisivuelementteihin kuin tuotantotekniikoiden tutkimiseen. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Kivilaattapintaiset betonielementit, kuten kuori- ja sandwich-elementit, tarjoavat vaihtoehdon perinteisille paikan päällä tapahtuville rakennusmenetelmille, ja niiden asennus on nopeampaa ja yksinkertaisempaa. Kivilaattapintaisia elementtejä voidaan valmistaa monenlaisia eri käyttötarkoituksiin. (Kuva 3) (Kiviteollisuusliitto ry.)



KUVA 3. Erityyppisiä kivilaattapintaisia betonielementtejä (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Elementtitekniikka tarjoaa useita selkeitä etuja perinteisiin paikan päällä tapahtuvaan työhön verrattuna: kaikki kivilaatat ja kiinnikkeet voidaan esivalmistaa valvotuissa olosuhteissa kivijalostamon sisällä, valmistusprosessit ovat yksinkertaisempia, mittatarkkuus ja rakenteellinen luotettavuus paranevat tehdasolosuhteissa, työmaalla työskentely vähenee ja asennusnopeus kasvaa - puhumattakaan alentuneista rakennuskustannuksista. Onnistuneiden tulosten

saavuttaminen edellyttää kuitenkin huolellista elementtien valmistusta ja asennusta. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Luonnonkivilaatoilla päällystettyjen betonielementtien rakennesuunnittelu vaatii useita toimenpiteitä. Näitä ovat muun muassa kivilaattojen mitoitus, kiinnikkeiden suunnittelu ja mitoitus, elementtien ulkokuoren leikkaaminen mittojen mukaan, saumojen suunnittelu sekä kivi- ja reunayksityiskohtien suunnittelu. Kivipinnan ja betonialustan välisten muodonmuutoseurojen vuoksi kivilaatoista valmistettu laattapäällysteinen elementti voi ajan myötä kaartua. Tämän välttämiseksi elementtien suunnittelun ja valmistuksen aikana toteutetaan useita ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä. Näitä toimenpiteitä ovat esimerkiksi betonissa suuri enimmäisraekoko ja pieni vesi-sementtisuhde, lämpökäsittely alkukovettumisprosessin aikana, pitkäaikainen varastointi kosteissa ja lämpimissä ympäristöissä sekä rakenteelliset jäykisteet/kehyksen kiinnitykset. (Kiviteollisuusliitto ry.)

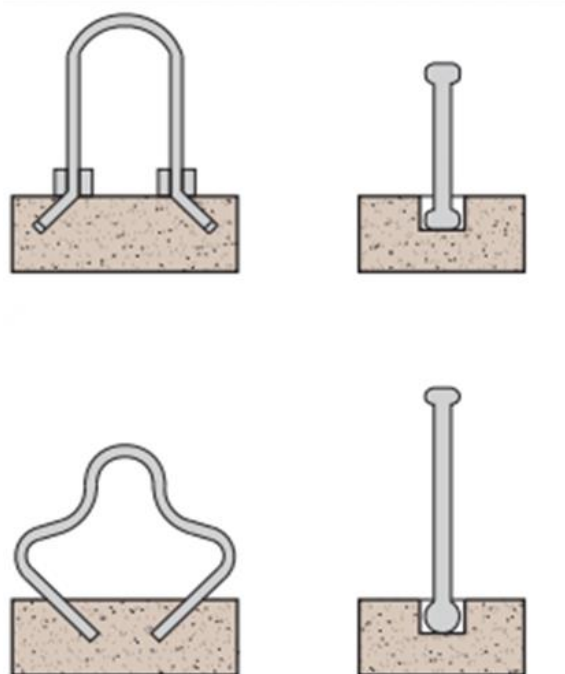
RT-ohjeessa ”RT 82-11015” sanotaan, että kuorielementin paksuus tulee olla vähintään 70 mm plus kiven paksuus. Tyypillinen maksimipituus kuorielementille vaihtelee välillä 3,6–4,0 metriä, kun taas sandwich-elementin maksimipituus voi olla 8,10–9,0 metriä. Korkeudet elementeillä voi nousta 3,6 metriin. Pidemmässä ulkokuorissa on tyypillisesti liikuntasaumot mahdollisten kaarevuuden määrittämiseksi tarkemmin. (Taulukko 2) (Kiviteollisuusliitto ry.)

TAULUKKO 2. Seinäelementtien paksuuksia, niiden eristysarvoja, sekä niiden kokonaispaksuudet ja maksimipituudet (mm). (Kiviteollisuusliitto ry.)

Sisäkuori	Eriste	Ulkokuori	Ulkokuori	Yhteensä	Pituus (mm)
		betoni	kivi		
80	145	70	15/20	310/315	< 4800
100	145	70	15/20	330/335	< 6000
120	145	70	15/20	350/355	< 9000
150	145	70	15/20	380/385	kantavat sisäkuoret

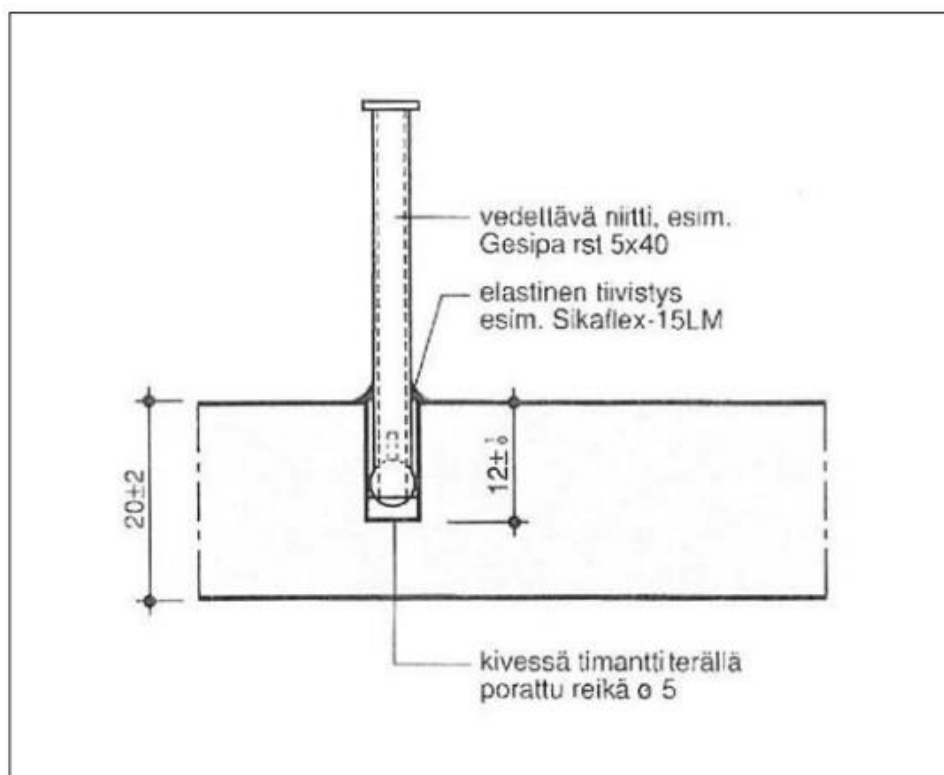
Yleensä minkä tahansa kokoinen laatta voidaan valita peittämään betonielementtien pinta. Kivilaattojen optimaalista tuotantoa ja käsittelyä varten olisi kuitenkin parempi käyttää vakiokokoja tai useita erilaisia laattakokoja, jotka yksinkertaistavat tuotantoa ja käsittelyä. Mekaaniset kiinnikkeet edellyttävät tyypillisesti, että laattojen paksuus on vähintään 25 mm. Tartuntamenetelmällä kiinnitettävät laatat voivat olla 10–20 mm:n paksuisia. Ristipäähakatut ja poltetut laatat ovat tyypillisesti 25–30 mm paksuja. Valmistajan ohjeiden noudattaminen on äärimmäisen tärkeää ja liian ohuiden laattojen käyttöä tulisi välttää. Kivilaatan pidemmän ja lyhyemmän sivun suhteen tulisi pysyä 4:1 (10 mm paksuissa laatoissa 3:1). (Kiviteollisuusliitto ry.)

Kivilaatat voidaan kiinnittää betoniin mekaanisesti tai tartunnan avulla. Kiinnitys tapahtuu tyypillisesti valun aikana, kuitenkin myös mekaaniset kiinnitykset tai liimaus jälkeinpäin ennen asennusta ovat mahdollisia. Valussa käytetään ankkuroitavia mekaanisia kannattimia, kuten ennen valua kivilaatan takapintaan tai reunaan liimattavia tappeja ja koukkuja (Kuva 4). RT-82-11015 antaa näille kivilaatoille suosituskooksi 0.5–1.0 m². (Kiviteollisuusliitto ry.)



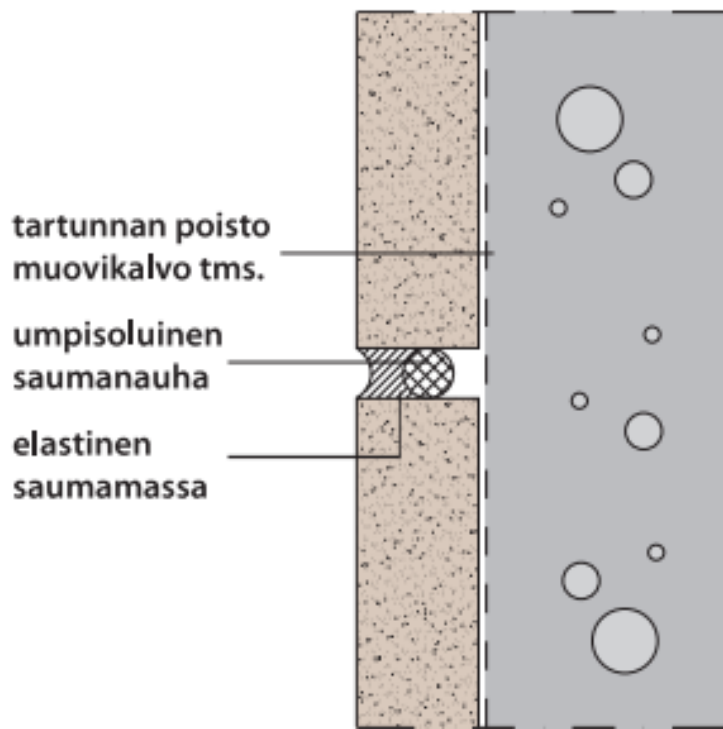
KUVA 4. Kivien takapintaan liimattava tappi (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Lohja Betonilan kiinnitysmenetelmä (Kuva 5) toimii parhaiten 10 mm paksuilla pienillä ja mittatarkoilla kivilaatoilla, kun taas OK elementti kehitti ratkaisun, jossa 15–30 mm paksut laatat kiinnitettiin betoniin jyrstyjen urien avulla, jotka täyttyvät valun aikana. Joissain tapauksissa (esim. pieli- tai kulmakivet) kivet voidaan kiinnittää jopa asennuksen jälkeen ja suunnitella niiden kiinnitystapa tapauskohtaisesti. (Kiviteollisuusliitto ry.)

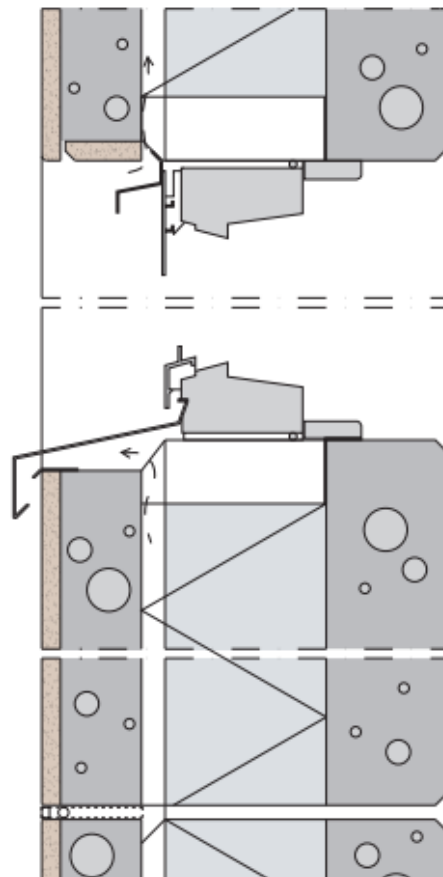


KUVA 5. Lohja-Betonilan kehittämä kiinnitysmenetelmä (Kiviteollisuusliitto ry.)

Elementtien välisten saumojen suunnittelun tulee olla 5–15 mm. Kivilaattojen väliset saumat voivat olla kovia sementtilaastilla tiivistettyjä tai taipuisia elastisella saumaussmassalla tiivistettyjä (Kuva 6) halutun vaikutuksen mukaan. Ilmanvaihdon suunnittelu on tärkeää, jotta kosteus pääsee ulos tuuletusaukkojen kautta. Kivipintaiset elementit on aina tuuletettava (Kuva 7). (Kiviteollisuusliitto ry.)



KUVA 6. Kivilaattojen välisen sauman elastinen tiivistys (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)



KUVA 7. Tuuletusvälin yhteys ulkoilmaan betonisandwich-elementissä (RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut.)

Normaalisti suunnitellut elementit täyttävät toleranssiluokan 1 standardit. Elementtipiirustukset esittävät ladontakaavioita ja erityisiä ohjeita. Kuljetuksen ja asennuksen aikana elementit tuetaan betonikuoresta, ja niitä suojataan ja käsitellään huolellisesti tämän prosessin aikana. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Kivilaattojen käsittely vaatii erityistä huolellisuutta vaurioiden välttämiseksi. Rik-koutuneet palat on poistettava varovasti ja uudet laatat kiinnitetään karhennettuun ja kasteltuun betonipintaan sementtipohjaisella erikoisseoksella tai tilanteen vaatiessa mekaanisilla kiinnikkeillä. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Rakenteellisesti kivipintainen julkisivuelementti koostuu betonilaatasta, johon ripustetaan luonnonkivilaatat. Sen suunnittelu ja valmistus noudattavat samoja prosesseja kuin sandwich-elementin sisäkuori (yleensä luokan K 30 betoni). Nostolenkit kiinnitetään betonikuoreen sen painopisteakselille. Betonielementin kuoret eivät jäykistä toisiaan, siksi rakennetta ei käsitellä sandwich-rakenteena laskelmissa. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Kiviverhous on tarkoitettu joustavaksi muodonmuutoksia varten, sallien liikkumisvaraa kaikissa saumoissa ja tiivistämällä se sateenkestäväksi elastisilla tiivistaineilla. Tuuletus tapahtuu yhtenäisen ilmaraon kautta, joka on luotu hienohiekkapohjaisella tekniikalla sen kivikuoriverhouselementtirakenteen taakse. Valmistuttuaan sen fyysiset ominaisuudet heijastavat perinteisten ilmastoitujen luonnonkiviverhousjärjestelmien ominaisuuksia. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Kivipäällysteinen julkisivuelementti on valmistettu käännettävällä pöytämuotilla, ulkopinta alaspäin. Valmistusprosessi on monessa suhteessa erilainen verrattuna standardielementtituotantoon. (Kiviteollisuusliitto ry.)

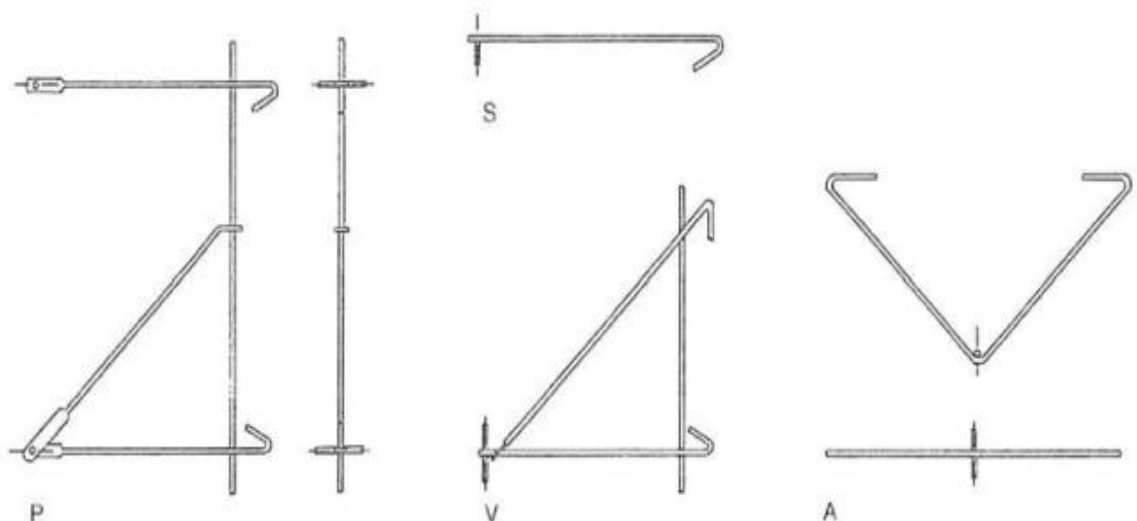
Kivipäällysteiset betonielementit on suunniteltu puristukseen ja taivutukseen kuten tavalliset yksikerroksiset seinät tai pylväät. Riippuvat kivilaatat aiheuttavat elementtiin taivutusrasituksia, jotka tulee ottaa huomioon valittaessa tällaisten elementtien mittoja. Nostaessaan elementtiä pois muotistaan, hiekka poistuu tuuletusraosta ja näin laukaisee ns. villapaineen (Taulukko 3). Villapaineilmiö johtuu lämmöneristeiden pyrkimyksestä laajentua alkuperäiseen tilavuuteensa.

Perinteinen elementtivillaeristys vaatii paineen mitoitusarvona noin 80 % betonivaipan painosta. Nostettaessa villapaine vaikuttaa vain hetken ennen kuin se vapautuu. (Kiviteollisuusliitto ry.)

TAULUKKO 3. Villapaineen kivilaatalle aiheuttamia kuormia (N) (Kiviteollisuusliitto ry.)

Kivilaatan pinta-ala [m ²]	0.5	1.0
Betonikuoren paksuus [mm] / Villapaine [kN/m ²]		
80	800	1600
120	1200	2400
160	1600	3200
200	2000	4000
240	2400	4800

Kivilaattojen kiinnitys vaatii erikoiskiinnikkeet (Kuva 8), jotka ankkuroidaan elementin betonirunkoon valun yhteydessä. Kaikki teräksen osat, jotka eivät jää betonikerroksen sisään, tulee olla ruostumatonta terästä. Kiinnikkeitä hitsattaessa tulee varmistaa hitsauksen korroosionkestävyys. (Kiviteollisuusliitto ry.)



KUVA 8. Kivikiinnikkeet. (P) pystykannatin, (S) vaakaside, (V) vaakakannatin ja (A) jäykiste. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Kivipäälysteiset julkisivuelementit tuuletetaan tasaisen ilmaraon kautta, jotta kosteus kuivuu ja valuu pois niistä. Ohjeellinen määrä tuuletukselle RT-82-11015 mukaan tulee olla 0,1 % pinta-alasta. Tuuletusaukkoja suunniteltaessa

on otettava huomioon, että vesi ei saa päästä kiviverhouksen taakse. Veden ulosjohtaminen rakenteesta on järjestettävä seinän alaosaan. (Kiviteollisuusliitto ry.)

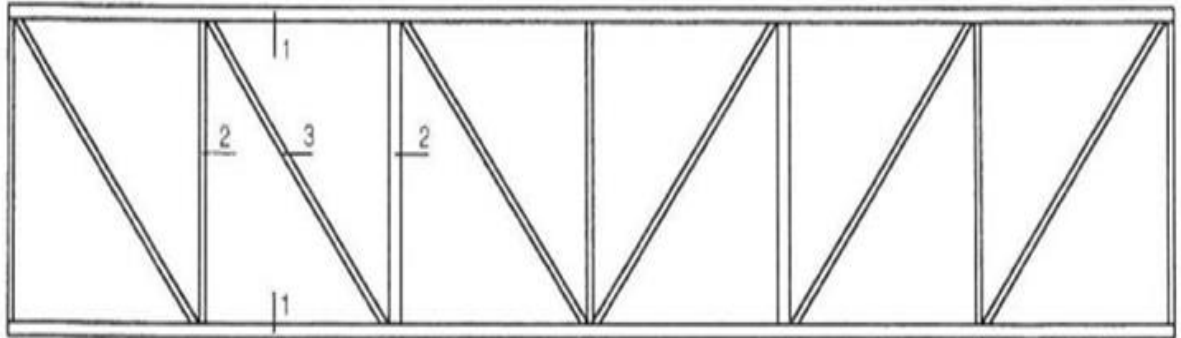
Toleranssit määritellään RT 02-10102 toleranssiluokan 1 mukaisesti. Kivilaatan vaipan mittojen tulee olla toleranssiluokan 1 mukaisia tai ylittäviä ja niiden tarkkuus on tarkastettava ennen muottien kiristämistä. Kivilaattojen mittatarkkuusvaatimukset vaihtelevat käyttötarkoituksen ja paksuuden mukaan. RYL-90 standardin määräykset ovat silloin voimassa myös tässä. Julkisivusuunnittelussa tulee ottaa huomioon toteutustapa, jotta ei aiheuteta liian tiukkoja tarkkuusvaatimuksia elementtirakennusprojekteille. (Kiviteollisuusliitto ry.)

3.5 Elementtiteollisuudessa käytettyjä kiinnitysmekanismeja

Itsekantavassa kivilaattaverhouksessa on 30 mm paksut vuolukivilaatat, joissa on kerroksittainen tukijärjestelmä. Jalostuslaitoksessa laattojen vaakasuoraan reunaan jyrsitään 3 mm leveät ja 15 mm syvät urat ennen 2 x 20 mm ruostumattomien vannelistojen asentamista seinän jäykkyyden lisäämiseksi. Verhous kiinnitetään rakennuksen runkoon vaakasuorilla tangoilla, jotka on suunniteltu kestäämään vain vaakasuuntaisia kuormia, kun taas pystysuorat kuormat siirretään puristuksen kautta toiselle laatalle. Tukitasot ulottuvat korkeintaan kahteen kerrokseen, ja kaikki kivilaatat tiivistetään kiinnityslaastilla asennuksen aikana, jolloin saadaan näyttävä ja saumaton ulkonäkö julkisivun verhouspinnalle. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Kivipintaiset teräsristikkoelementit (Kuva 9) edustavat kuorielementtejä, jossa teräsristikko toimii runkona kivilaattojen kiinnittämiselle, yleensä ennen elementin asentamista paikalleen. Tällaisia elementtejä on käytetty pitkään Yhdysvalloissa, erityisesti pilvenpiirtäjien julkisivuissa. Kokemuksen perusteella tällaiset järjestelmät vaativat kuitenkin usein kohdekohtaista suunnittelua. Kivilaattojen kiinnittäminen teräsristikkoon voi olla haastavaa, erityisesti mitä tulee takapinnan kiinnityksen seurantaan ja liikeratojen suunnitteluun. Pohjois-Amerikassa on nähty kekseliäitä yhdistelmiä graniitin, lasin ja metallien välillä, jotka heijastavat lasijulkisivujen inspiroimaa halua kevyempiin ratkaisuihin. VTT:n Suomessa

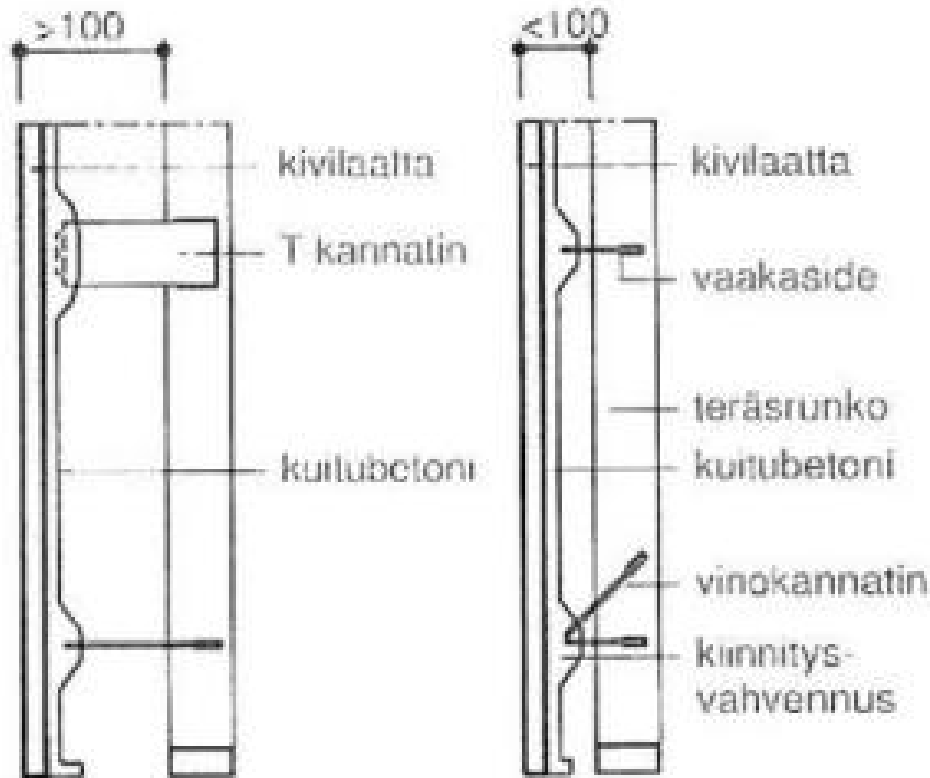
tehtyjen tutkimusten mukaan kivipintaiset teräsristikkoelementit tarjoavat sopivan vaihtoehdon. Vaikka kehitystä tarvitaan vielä paikallisiin olosuhteisiin, myönteisiä käyttäjäkokemuksia on jo raportoitu Suomen rakennustyömailla. (Kiviteollisuusliitto ry.)



1. putkipaalkki
2. putkipaalkki tai U-profiili
3. L-profiili

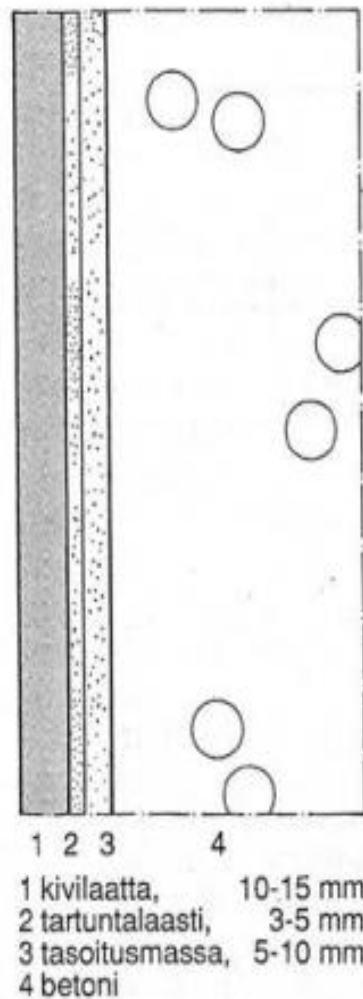
KUVA 9. Kivilaattapintaisen teräsristikkoelementin runkorakenne (Kiviteollisuusliitto ry.)

Kuitubetonirakenteista (Kuva 10) on tullut yhä suosittumia julkisivuverhouksia Yhdysvalloissa, koska ne tarjoavat arkkitehtonista joustavuutta perinteiseen betoniin verrattuna. Niiden vahvuuksia ovat erinomainen muovattavuus ja tilaa säästävät edut. Lasi-, teräs- tai puukuituvahvisteisia kuitubetonielementtejä voidaan valmistaa ruiskuttamalla ohut kerros betonia suoraan muotin pinnalle, jolloin saadaan noin 15–20 mm paksu rakenne. Tämä menetelmä mahdollistaa julkisivujen rakentamisen luonnonkivipinnoilla pitäen elementin painon kohtuullisessa 130 kg/m² rajassa. Kivilaatat, joiden paksuus on 20–30 mm, kiinnitetään mekaanisesti betoniin joustavuuden vuoksi, jotta voidaan torjua kosteuden ja lämpötilan vaihteluiden aiheuttamia muodonmuutoksia kivi- ja betonipintojen välillä. Kuitubetonin suurempi kutistuminen on otettava huomioon sen suunnittelussa. Valmistus alkaa asettamalla kiinnikkeillä varustetut kivilaatat muottiin. Tämä tekniikka tarjoaa vaihtoehtoisen menetelmän ohuiden ja kevyiden kivi- ja puupäällysterakenteiden valmistukseen ilman erillistä raudoitusta, mikä tarjoaa mielenkiintoisen vaihtoehdon tavanomaisemmille lähestymistavoille. Kiven pinnan ja kuitubetonin väliset muodonmuutoserot asettavat kuitenkin haasteita sen toteuttamiselle. (Kiviteollisuusliitto ry.)



KUVA 10. Kuitubetonelementin kiinnitys teräsrunkoon. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Laticrete tuotteita (Kuva 11) käytetään veden sijasta sementti- ja hiekkasekoituksessa sementtilaastien sekoitukseen, mikä takaa paremman tarttuvuuden kiinnitettäessä keraamisia tai luonnonkivilaattoja sekä sisätiloissa että julkisivuelementeissä. Näitä tuotteita on käytetty yli 25 vuoden ajan lämpimän ilmaston alueilla ilman merkittäviä toiminnallisia ongelmia. Laticrete-järjestelmä kiinnittää kivilaatat käyttäen tartuntaa ilman mekaanisia kiinnikkeitä. Kivilaattojen takapintoja ei käsitellä erikseen ennen kiinnitystä. Kiinnitystarvikkeita voidaan käyttää monella erityyppisellä alustalla, ja ne sopivat ihanteellisesti työmaasennuksiin sekä esivalmistettuihin rakenteisiin elementtiteollisuudessa. Laticrete-tuotteet ovat todistaneet pitkäaikaisen toimivuutensa kivilaattojen kiinnittämisessä useiden vuosien ajan, mutta kokemusta on vain vähän tämän tekniikan toimivuudesta pohjoisilla ilmastoalueilla. Niiden edut tulevat erityisen ilmeiksi, kun niitä käytetään ohuiden kivilaattojen kiinnittämiseen kevyisiin metallikasettirakenteisiin. (Kiviteollisuusliitto ry.)

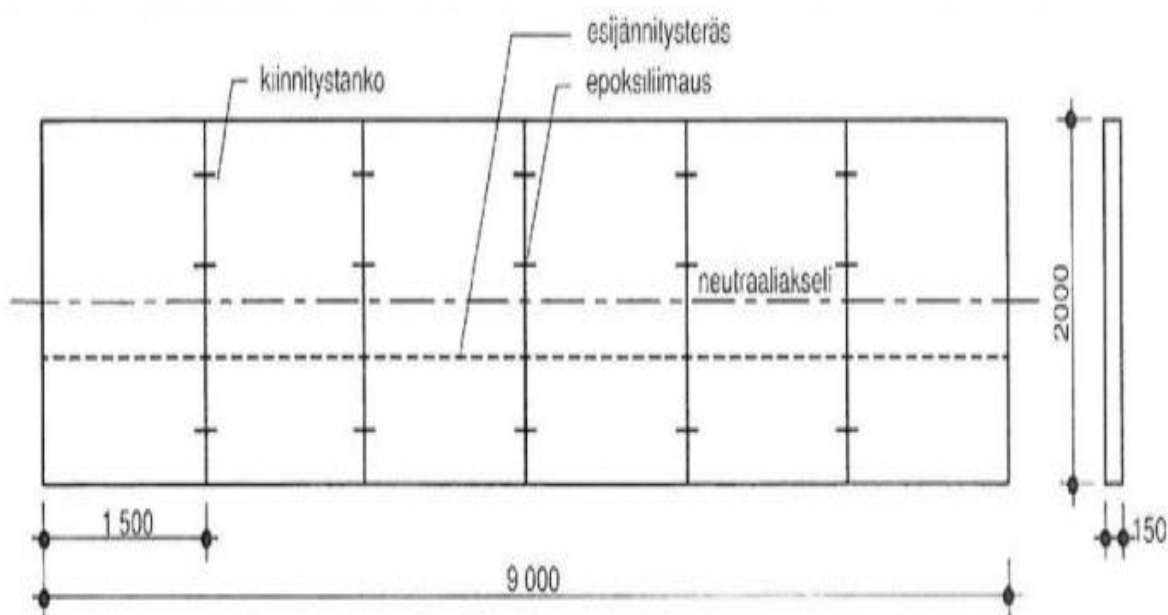


KUVA 11. Kivilaatan Laticrete kiinnitys betonielementtiin. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Täyskivisetelementit (tai kivikuoret) ovat jäykkiä rakenteita, jotka on koottu pienikokoisista kivilaatoista tarjoamaan vaihtoehdon paikan päällä rakennettavalle julkisivuverhoukselle, erityisesti kun käytetään pienempiä kiviä tai kun esivalmistusta on lisättävä. Näiden elementtien asennuskustannukset ovat yleensä alhaisemmat verrattuna vastaaviin paikan päällä oleviin verhousvaihtoehtoihin. Kivilaattojen yhdistämiseen käytetään mekaanisia tappiliitoksia, joilla saavutetaan vaadittu taivutuskyky ja jäykkyys. Kivilaattojen vähimmäispaksuuksien määrittäminen riippuu niiden koosta ja kiven ominaisuuksista, mutta minimipaksuuden tulisi olla 40 mm. Suomessa ei ole kokemusta tämän tyyppisistä rakenteista. (Kiviteollisuusliitto ry.)

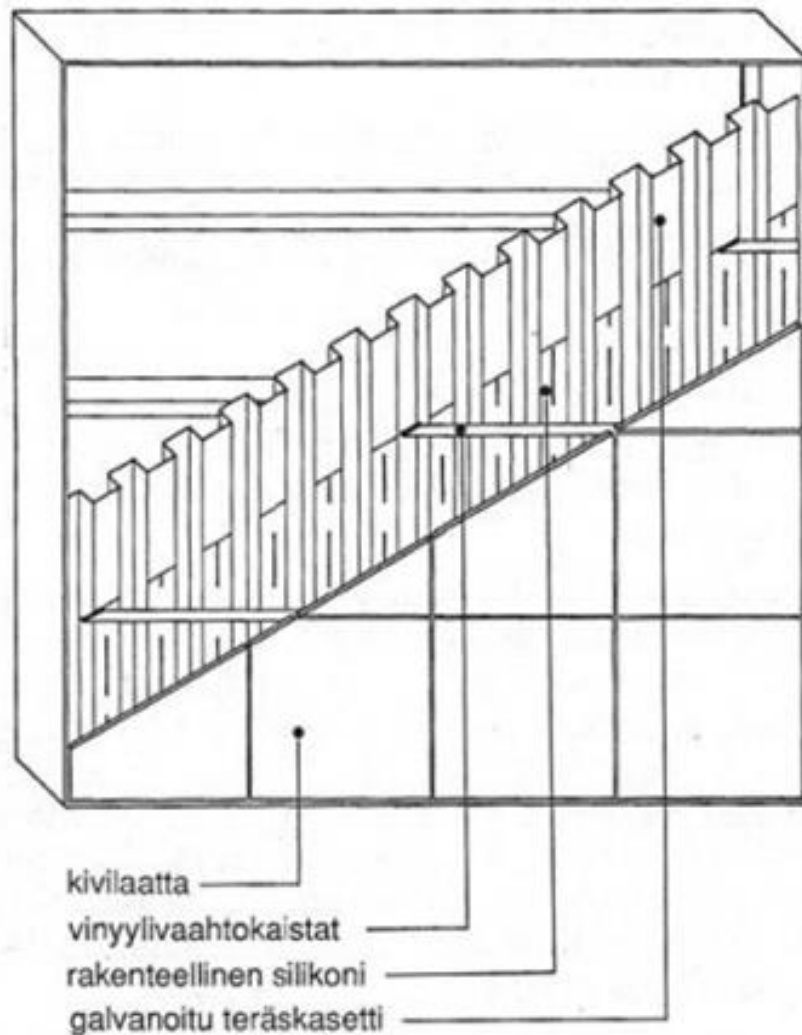
Eräs erikoisuus on esijännitetyt kalkkikivirakenteet (Kuva 12), jotka ovat toiminnaltaan samanlaisia kuin esijännitetyt teräsbetonielementit ja joita käytetään laajalti kaikkialla Yhdysvalloissa ei-kantavina verhourakenteina ja kokeellisesti

toissijaisina tukirakenteina. Esijännitetyissä kivikuorielementeissä käytetään jännityksen siirtoon suunniteltua levyä epoksiliimakerroksen kanssa, joka tasapainottaa tehokkaasti liitosten jännityksiä. Kivilaatat tiivistetään sitten epoksiliimatii- visteellä ilmapuotojen ja kosteuden tunkeutumisen tiivistämiseksi. Jännitystyön tarkkuuden ja työvoimavaltaisuuden vuoksi laajamittainen käyttö on kuitenkin epätodennäköistä. Lisäksi suurten kivien käsittelyyn liittyvät paino- ja käsittely- vaatimukset asettavat haasteita, ohuimmat kivilaattatekniikat voivat usein tarjota laadullisesti vastaavia lopputuloksia huomattavasti pienemmillä kustannuk- silla. (Kiviteollisuusliitto ry.)



KUVA 12. Esijännitetyn kalkkikivielementin rakenneperiaate. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Rakenteellisten silikoniliitosten (Kuva 13) käyttö lasijulkisivuissa on ollut yleistä jo 1960-luvulta lähtien, ja kokemukset niiden toiminnasta ja kestävydestä ovat olleet positiivisia. Rakenteellisia silikoniliitoksia voidaan käyttää tukemaan tuulikuormia, näin täydentäen mekaanisia tukia; kun taas uusissa ohut-laattaverhouselementeissä kivilaatan kannatus voi perustua kokonaan silikoniliitokseen. Vaikka kivilaattojen ja silikonin välisten liimaliitosten pitkäaikaisesta kestävydestä ollaan edelleen huolissaan, käyttökohteita on jo olemassa. (Kiviteollisuusliitto ry.)



KUVA 13. Kevyt ja ohut julkisivuelementti, jossa ohuiden kivilaattojen kannatukseen on käytetty rakenteellista silikonia. (Kiviteollisuusliitto ry.)

Valmistajat edellyttävät, että kivilaattojen pinnat ovat sileitä, kuivia, puhtaita ja pölyttömiä ennen niiden kiinnittämistä käyttämällä erikoisratkaisuja osana liimausprosessia. Alkoholipohjaisia rakenteellisia silikoneja suositetaan usein, jotta vältetään "sururaitaefekti", jonka aiheuttaa etikkahappopohjaiset silikonit, jotka imeytyvät kiveen sauman ympärille ja jättävät saumojen ympärille raidallisen kuvion. Kivilaattojen paksuus on yleensä 10–30 mm riippuen rakenteellisesta ratkaisusta, mikä tarjoaa lukuisia etuja, kuten kevyet suunnittelulementit ja joustavat muotoiluvaihtoehdot. Silikoniliitosten elastisuus on erityisesti seismisten kuormien kannalta edullista, ja voivat varmistaa rakenteiden sateenpitävyyden eri tavoin; avoimet laattasaumat voidaan tarvittaessa jopa jättää auki tiivistyksen ollessa kivipinnan takana. (Kiviteollisuusliitto ry.)

4 STONEGROUPIN KIINNITYSMENETELMÄ

4.1 Lähtötiedot

Yksi tämän opinnäytetyön päätavoitteista on tutkia Stonegroup Finlandin patentoimaa kiinnitysmenetelmää. Tutkimuksessa syvennyttään tehtyihin kokeisiin ja niistä saatuihin tuloksiin. Tavoitteena on saada luotua luotettava, helppo ja ennen kaikkea pitkäaikainen kiinnitys luonnonkivilaatan ja betonin välille. Mekaaninen kiinnitysmenetelmä on suunniteltu julkisivuverhouksiin, joten lujan kiinnipysyvyyden saavuttaminen on tärkeää, jotta laatat eivät irtoa ennen aikaisesta (Kuva 14). Kiinnikkeestä tai kiinnitysmenetelmästä ei jaeta tarkempaa tietoa. Kiinnipysyvyyttä kivilaatan ja betonin välillä on tutkittu Stonegroup Finlandin ja Tampereen ammattikorkeakoulun yhdessä kehittämällä kokeilla.

HS Turku | HS Turku

Verotoimisto sulki yllättäen ovensa katosta putoilevien laattojen takia

Turun verotoimiston katosta alkoi viime perjantaina putoilla laattoja. Syyksi arvellaan trooppista lämpöä ja sen tuomaa kosteutta. Nyt verotoimisto on toistaiseksi suljettu turvallisuussyistä.



KUVA 14. Laattoja irronnut Turun verotoimiston katolta (<https://www.hs.fi/kotimaa/turku/art-2000009772735.html>)

Kiinnipysyvyyden vähimmäislujuutta laatoille julkisivuissa on määritelty Suomen standardeissa, SFS-EN 12004-1:2017 seuraavasti:

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS-EN 12004-1:2017
24

Table ZA.1.2 (continued)

Construction Product: Adhesives for tiles in the form of cementitious adhesives (see 3.2)			
Intended uses: All internal and external wall and floor tiling			
Essential characteristics	Clauses in this European Standard related to essential characteristic	Classes and/or threshold levels	Notes
Release of dangerous substances	4.6		
Bond strength expressed as:	- initial tensile adhesion strength: 4.1, Table 1 - early tensile adhesion strength: 4.1, Table 1 (only applicable to fast setting adhesives)	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	4.1 as declared value
Durability of bond strength against climate/heat ageing action expressed as:	- tensile adhesion strength after heat ageing: 4.1, Table 1	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	4.1 as declared value
Durability of bond strength against water/humidity action expressed as:	- tensile adhesion strength after water immersion: 4.1, Table 1	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	4.1 as declared value
Durability of bond strength against freeze-thaw cycles expressed as:	- tensile adhesion strength after freeze-thaw cycles: 4.1, Table 1	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	4.1 as declared value

Standardissa määritellään laattojen kiinnipysyvyyden lujuudeksi vähintään 0.5 N/mm². (Huom. Standardi ei ota pakkausrapautumaa huomioon)

ja SFS-EN 1469:2015 seuraavasti:

”Seuraavassa on esimerkki täytetystä suoritustasoilmoituksesta, joka koskee rakennusten ulkoseiniinverhoukseen tarkoitettuja graniittilaattoja SEEBACH GRANIT (tyyppi 1234), joiden valmistaja on AnyCo SA:

Perusominaisuudet	Suoritustaso	Yhdenmukaistettu tuotestandardi
Palokäyttäytyminen	Paloluokka A 1	EN 1469:2015
Vesihöyryn läpäisevyys — μ (taulukkoarvo)	10 000	
Mekaaninen lujuus (taivutuslujuus) — alempi odotusarvo — keskiarvo — keskihajonta	11 MPa 14 MPa 1,4 MPa	
Kiinnitysten kestävyys — alempi odotusarvo — keskiarvo — keskihajonta	800 N 1 200 N 190 N	
Ilmaääneneristävyys — keskiarvo	2 750 kg/m³	
Lämmönvastus — keskiarvo	2 750 kg/m³	
Lämpöshokin kestävyys — huokoisuuden muutos — taivutuslujuuden muutos	5 % 7 %	
Taivutuslujuuden pitkäaikais-kestävyys jäädytys-sulatuskokeessa keskiarvo ennen jäädytys-sulatuskoeetta keskiarvo jäädytys-sulatuskokeen jälkeen	14 MPa 13 MPa	
Vaarallisten aineiden päästöt	-	

Tässä standardissa laatan kiinnipysyvyyden odotetaan kestävän 0.8 kN voima. (Huom. Taulukko käy läpi vain AnyCo SA:n valmistamia graniittilaattoja ulkoverhouksessa, joten arvot ovat vain suuntaa antavia.)

Koska rakentamismääräyksissä ei erikseen luokitella vaadittua tartuntalujuutta laatalle betonielementissä, ei vertauskohteita ole tehdyille kokeille. Kuitenkin SFS-EN 1469:2015:n ja SFS-EN 12004-1:2017:n määräysten pohjalta, voidaan olettaa hyvän tartunnan olevan lujuudeltaan $> 0,5 \text{ N/mm}^2$.

4.2 Tartunnan pitävyys

Putoava kivilaatta voi johtaa vakaviin omaisuus- tai henkilövahinkoihin ja pahimmassa tapauksessa jopa henkilön menehtymiseen. Tästä syystä on ehdottoman tärkeää olla varma kiinnitysmenetelmän luotettavuudesta sekä sen turvalli-

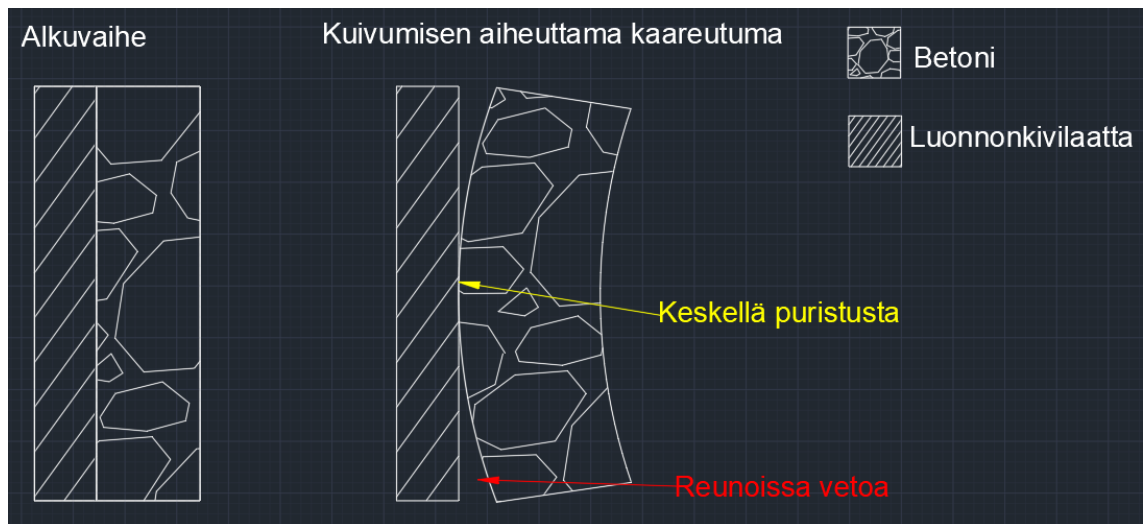
suudesta. Laatan irtoamiselle voi olla useita syitä, huolimattomasta asennustyöstä väärän kiinnitysmenetelmän valitsemiseen, mutta suurin uhka irtoamiselle on betonin pakkausrapautuminen. (Arttu Jokinen)

Betonin pakkausrapautuminen on ilmiö, joka vaikuttaa betonirakenteisiin ja -elementteihin, aiheuttaen niiden mekaanisten ominaisuuksien heikkenemistä. Tämä rapautumisen muoto johtuu betonin sisäisistä jännityksistä, jotka syntyvät materiaalin kutistuessa kuivuessaan, lämpötilan vaihteluista, tai kemiallisista reaktioista, kuten alkali-silikaattireaktiosta. Nämä sisäiset jännitykset voivat aiheuttaa mikrohalkeamia betonin rakenteessa, jotka ajan myötä laajenevat ja johtavat pakkausrapautumiseen. (Julkisivukonsultointi)

Pakkausrapautuminen ilmenee tyypillisesti halkeiluna, lohkeiluna tai pinnan rapautumisena, mikä voi heikentää kiinnipysyvyyttä betonin ja laatan välillä. Ilmiö on erityisen merkittävä silloin, kun betoni altistuu toistuville kosteus- ja kuivumisykleille, suolalle tai kemikaaleille, jotka tunkeutuvat materiaalin huokosiin ja edistävät rapautumisprosessia. (Julkisivukonsultointi)

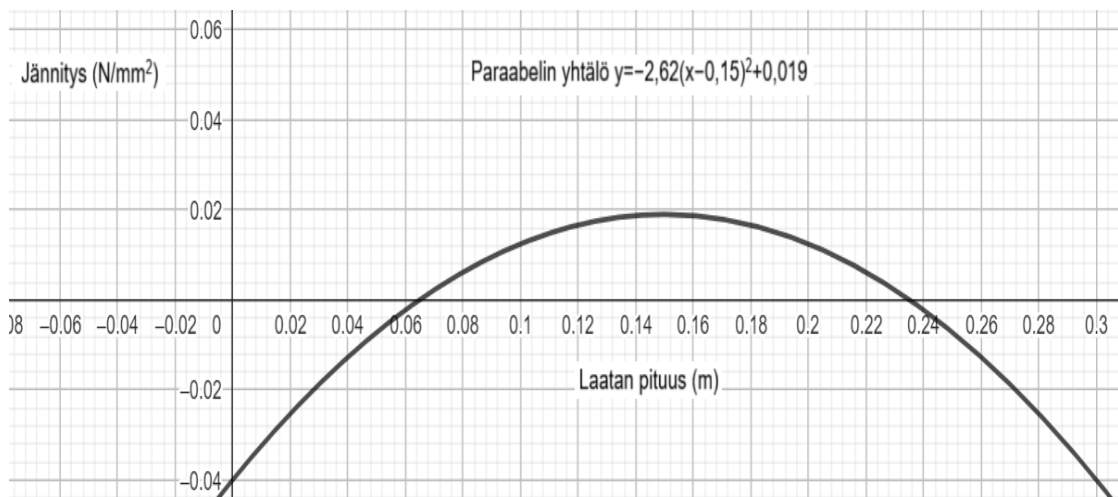
Kiinnipysyvyyttä ja tartuntaa voi myös heikentää luonnonkiven ja betonin väliset käyttäytymiserot, kertoo Heikki Saarenpää. Saarenpään mukaan nämä erot voivat aiheuttaa leikkaus- ja vetojännitystä tartunnassa. Näiden jännitysten noustessa liian suuriksi laatan kiinnipysyvyys heikkenee tai mahdollisesti pettää. Kutistumisesta ja pakkausrapautumisesta syntyvät käyttäytymiserot aiheuttavat rakenteissa monesti myös esteettisiä haittoja, jopa pullistaen elementit kaarelle joko ulos- tai sisäänpäin.

Taivutusta tartunnassa aiheuttaa betonikuoren kaareutuminen. Kuivuessaan betoni kutistuu. Luonnonkivilaatta kuitenkin estää kuivumisen siltä puolen mille se on asennettu suuren diffuusiovastuksensa takia, joten kuivuminen ja kutistuminen tulee tapahtumaan pääsääntöisesti vain betonikuoren toiselta puolen eli takapinnasta. Tämä yksipuoleinen kuivuminen aiheuttaa betonissa kaareutuvuutta (Kuva 15). Koska luonnonkivi ei kaareudu, se pyrkii pysymään suorana, samalla kun betoni yrittää repiä kivilaattaa kaarelle ja näin luoden tartuntaan rasitusta. (Heikki Saarenpää)



KUVA 15. Betonikuoren kutistuminen ja siitä johtuva kaareutuma (Leevi Heikkilä)

Jännitystilaa laatan tartuntapinnassa voidaan kuvailla paraabelilla (Kuva 16). Kuvaajassa x-akseli kuvastaa luonnonkivilaatan leveyttä (tässä esimerkissä 300x300x20mm kokoinen laatta). Y-akseli taas kuvastaa puristusta, kun arvo on positiivinen ja vetoa, kun arvo on negatiivinen. Kuvaajasta voidaan huomata, että laattaa kohdistuu puristavaa voimaa laatan keskellä. Irti vetävä voima on suurimmillaan laatan reunoissa. (Heikki Saarenpää)



KUVA 16. Paraabeli veto- ja puristuslujuuden kuvaajana (300mm² kivellä). (Leevi Heikkilä)

”Erityisen haitallista on, että jännitystila on leikkeessä paraabelin mallinen, eli laatan mitan kaksinkertaistuksessa vetovoima, eli tartuntaa irti repivä voima, laatan reunalla nelinkertaistuu. Voidaan helposti laskea, että jos nauhaelementin

betonilevy on 6 cm paksu ja kutistuma on hyvässä jälkihoidossa maltillinen, noin 0,02 %, niin rakenteen kaarevuussäde on yksi suuntaisessa kuivumisessa noin 300 m. Jos luonnonkivilaatta on 20 mm paksu niin 300 mm pitkän laatan taipuma olisi 150 mm matkalla 0,0225 mm. Kun tälle luonnonkivilaatan taipumalle laskee taivuttavan voiman, niin saadaan melko maltillinen 240 N käytettäessä kimmokerrointa 60.000 N/mm^2 ja 20 mm paksua laattaa. Laskettaessa 1-suuntaisesti kaareutuvan tartunnan reunajännitystilän arvoja, niin tulos on suuruusluokkaa $0,025 \text{ N/mm}^2$. Tällöin takapinnan paraabelin jännityskuvio vaihtuu puristuksesta vedoksi noin 65 mm reunasta ($300 \times 300 \text{ mm}^2$ laatta). Vetojännityksen maksimiarvo on noin 2,1 x suurempi kuin keskikohdan puristusjännitys. Tässä noin 65 mm pitkän ja 300 mm leveän paraabelin muotoisen jännitystilän vetoalkio on käytännössä kiilan muotoinen ja reunajännitys tuo $1/40 \text{ N/mm}^2$.” (Heikki Saarenpää)

”Tämän lisäksi taustan tartuntaa rasittaa leikkausvoima. Kun laatta lämpenee auringossa tai viilenee yöpakkasissa, syntyy tartuntapintaan leikkausjännitystä. Tämä leikkausjännitys on suurinta laatan reunoilla ja näin saadaan kriittiseen reunan kiinnitysalueeseen kohdistumaan kaksiakselinen jännitystila, leikkausjännitystä ja vetojännitystä. Mikäli lämpöliike täysin estetään, saadaan $300 \times 300 \text{ mm}^2$ ja 20 mm paksulle kivilaatalle (lausekkeella $\epsilon \times E = \delta$) 3 N/mm^2 jännitystila. Leikkausvoimana tämä on laatan tartuntapinnan reunassa $0,8 \text{ N/mm}^2$. Tämä on varsin suuri jännitys ja vastaavaa suuruutta tapaa rakentamisessa vain siltojen kansissa kermien kiinnityksissä, kun raskas kalusto tekee lukkojarutuksen.” (Heikki Saarenpää)

Ottaen huomioon, että tartuntapinnan rasitukset ovat dynaamisia, on tärkeää ymmärtää niiden vaihtelevuus. Lämpötilat vaihtelevat, mikä tarkoittaa, että leikkausrasitus ei ole vakio, vaan tartuntapinnalla esiintyy sekä vetoa että työntöä. Lisäksi, jos saumoista pääsee syysmyrskyissä tunkeutumaan sadevettä jopa paineellisesti taustabetoniin, betoni saattaa kastua. Tämä voi olla erityisen haitallista, jos sateen jälkeen seuraa pakkasöitä. Myös pakkasella betonin huokosrakenteeseen jäätyvä vesi luo painetta, joka kohdistuu laatan takapintaan ja vahingoittaa tartuntaa. Tällöin jäätyvä vesi moninkertaistaa puskemisvoiman, mikä on tartuntaan nähden ylivoimainen. (Heikki Saarenpää)

4.3 Testit ja mittaukset

Varsinaisia kokeita tehtiin yhteensä kahta erilaista, ulosvetokoe, sekä leikkauskestävyyskoe. Testien päätavoitteena oli selvittää luonnonkivilaatan ja betonirakenteen välistä leikkauskestävyyttä sekä ulosvetolujuutta eri kiinnitysmenetelmin. Kivilaattojen koko on $300 \times 300 \text{ mm}^2$ leikkauskestävyystesteissä ja $100 \times 100 \text{ mm}^2$ ulosvetotesteissä. Betonin ja kivilaatan tartuntana käytettiin erilaisia kiinnitysmenetelmiä, joista yksi on Stonegroup Finlandin kehittämä terästappi, näin mahdollistaen laajat tulokset vertailuja varten.

4.4 Testien valmistelut

Testejä tehtiin käyttäen kolmea erilaista luonnonkiveä, Harmaa graniitti, Bernardos liuskekivi (fylliittiliuske) & Altaskifer liuskekivi (kvartsiittiliuske) (Kuva 17). Betonivaluna käytettiin Fescon korrobetoni K-45-betoniseosta ja se valmistettiin tarkkaan noudattaen valmistajan ohjeita. Mittaukset suoritettiin Matertest oy:n FMT-MEC 225kW vetolujuuslaitteella (Kuva 18).

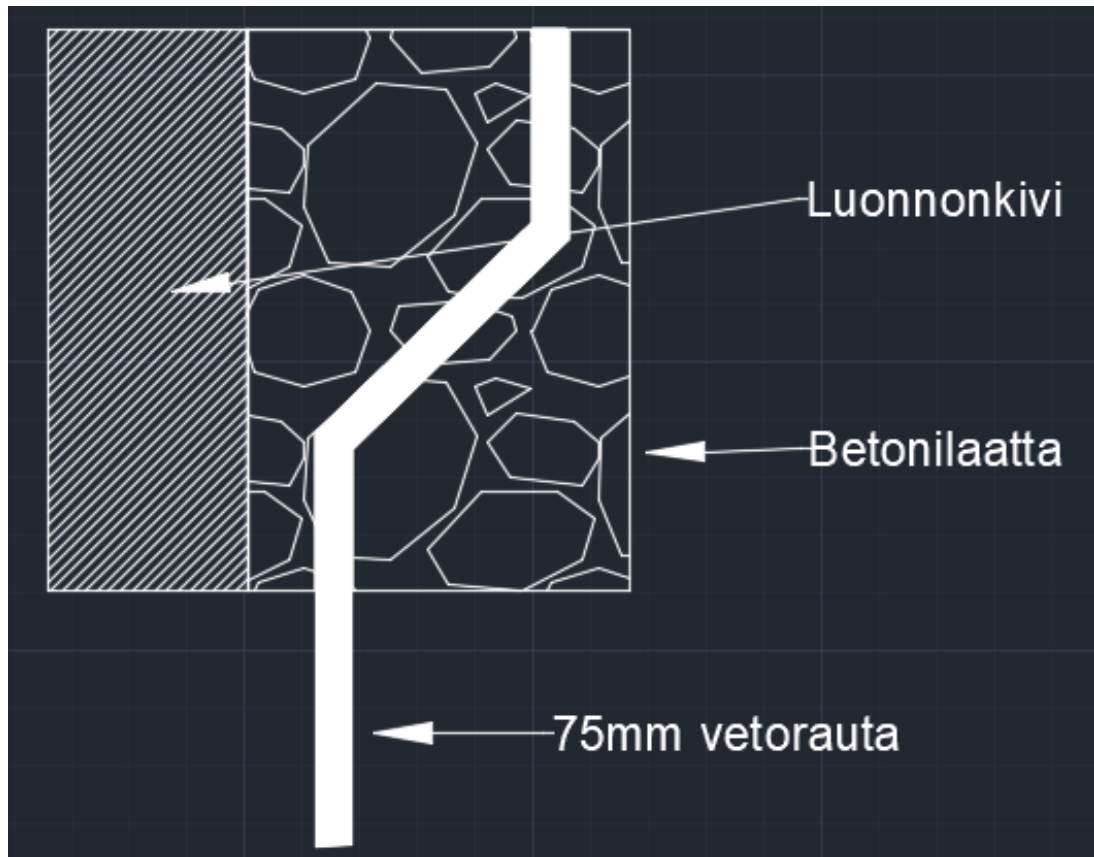


KUVA 17. Koekappaleiden murtumat, vasemmalta Harmaa graniitti, Bernardos ja Alta liuskekivi. (Stonegroup Finland)



KUVA 18. Tampereen ammattikorkeakoulun vetolujuuslaite. (Stonegroup Finland)

Betonikoekappaleet annettiin kuivua 28 vuorokautta todellisen lujuutensa saavuttamiseksi. Varsinaisia mittauksia varten valmistettiin yhteensä 93 koekappaleita. Betonikappaleita valmistettiin kolme ylimääräistä, joista mitattiin betonin puristuslujuus. Leikkauskestävyyskokeisiin käytettyihin betonilaattoihin valettiin 75 mm vetoraudat pienellä mutkalla (Kuva 19).



KUVA 19. Betonilaatan sisään valettu vetorauta periaatekuva (Leevi Heikkilä)

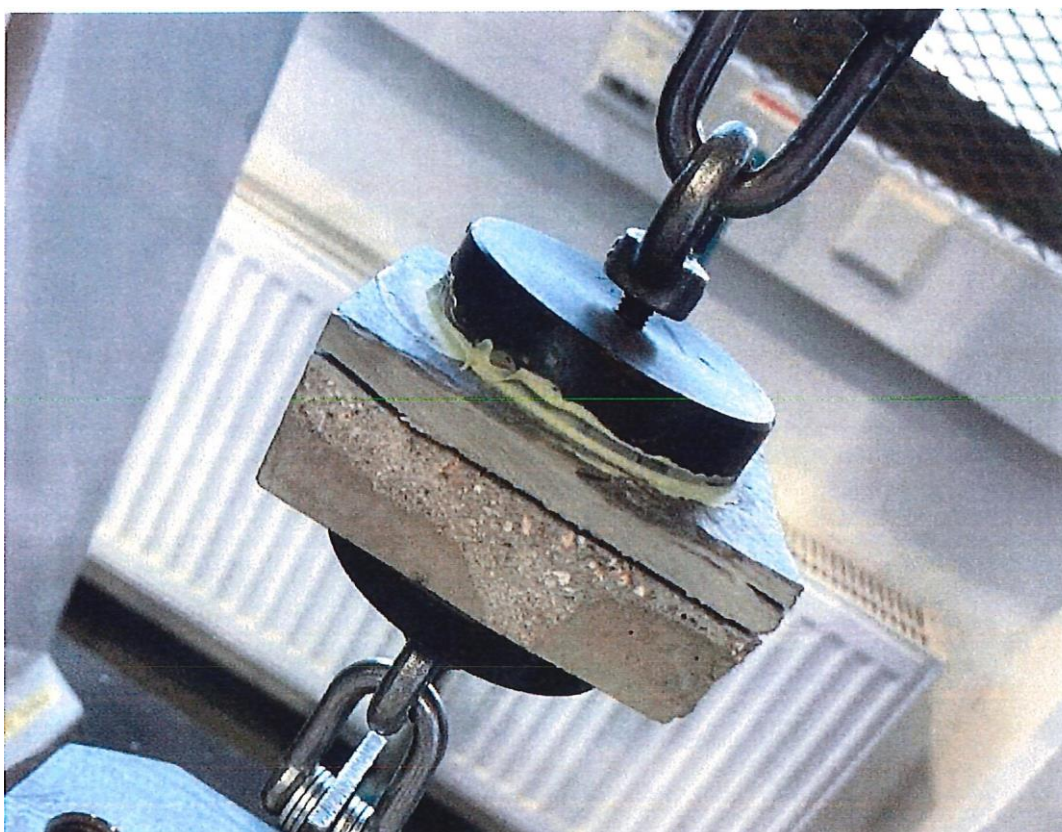
Testeissä kivilaatan ja betonin välistä tartuntaa vaihdeltiin käyttäen erilaisia kiinnitysmenetelmiä. Kiinnityksenä betonin ja kiven välillä toimi Stonegroup Finlandin kehittämä terästappi TA, taustaura TU, tartunta poistettu TP tai polttamalla pinta karheaksi P. Koekappaleita valmistettiin niin, että niissä käytettiin yhtä, useampaa tai ei yhtäkään näistä kiinnitysmenetelmistä (Uraton luonnollinen tartunta).

4.5 Ulosvetokoe

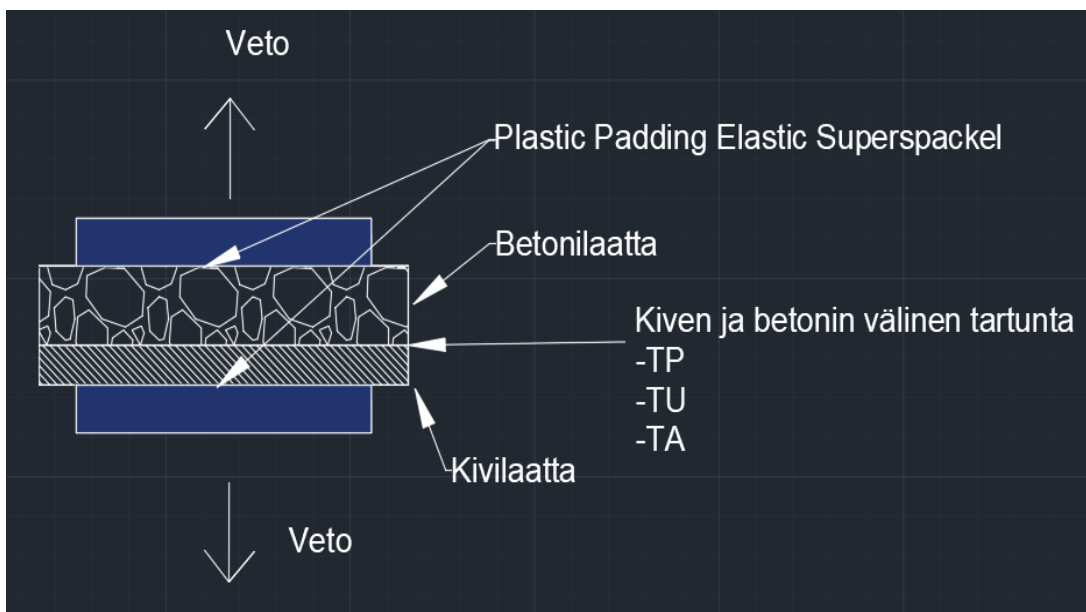
Ulosvetokokeessa tartuntaa betonin ja kiven välillä rasietaan vetämällä kappaleita kohtisuoraan toisistaan irti. Kivilaattaan sekä betoniin liimataan metallipidike (halkaisija 50 mm, korkeus 20 mm) vetokonetta varten (Kuva 20). Liimana metallipidikkeen ja koekappaleen välillä toimii Plastic Padding Elastic Superspackel. Tämän jälkeen koekappaleet asetetaan vetolujuuslaitteeseen (Kuva 21), joka mittaa koekappaleelle ulosvedon murtovoiman (Kuva 22).



KUVA 20. Lähikuva Altaskifer Liuskekivi ja liima Plastic Padding Elastic Superspackel. (Stonegroup Finland)



KUVA 21. Koekappale asennettu vetolujuuslaitteeseen (Stonegroup Finland)



KUVA 22. Ulosvetokoe periaatekuva (Leevi Heikkilä)

Kappaleesta murtuneen osan pinta-ala otetaan ylös (Kuva 23 & 24). Tämän jälkeen pinta-alaa verrataan murtovoimaa ja lasketaan käytetylle kiinnitykselle vetolujuus (Kuva 25).



KUVA 23. Tartunnan irtoaminen ulosvetokokeessa. Punaisella ympyröity kappale, jonka pinta-alaa tulee käyttää vetolujuutta laskiessa. (Stonegroup Finland)



KUVA 24. Tartunnan irtoaminen ulosvetokokeessa. Punaisella ympyröity kapale, jonka pinta-alaa tulee käyttää vetolujuutta laskiessa. (Stonegroup Finland)

8.3.4 Evaluation and expression of results

The individual tensile adhesion strength shall be determined to an accuracy of $0,1 \text{ N/mm}^2$ using the following formula:

$$A_s = L/A$$

where

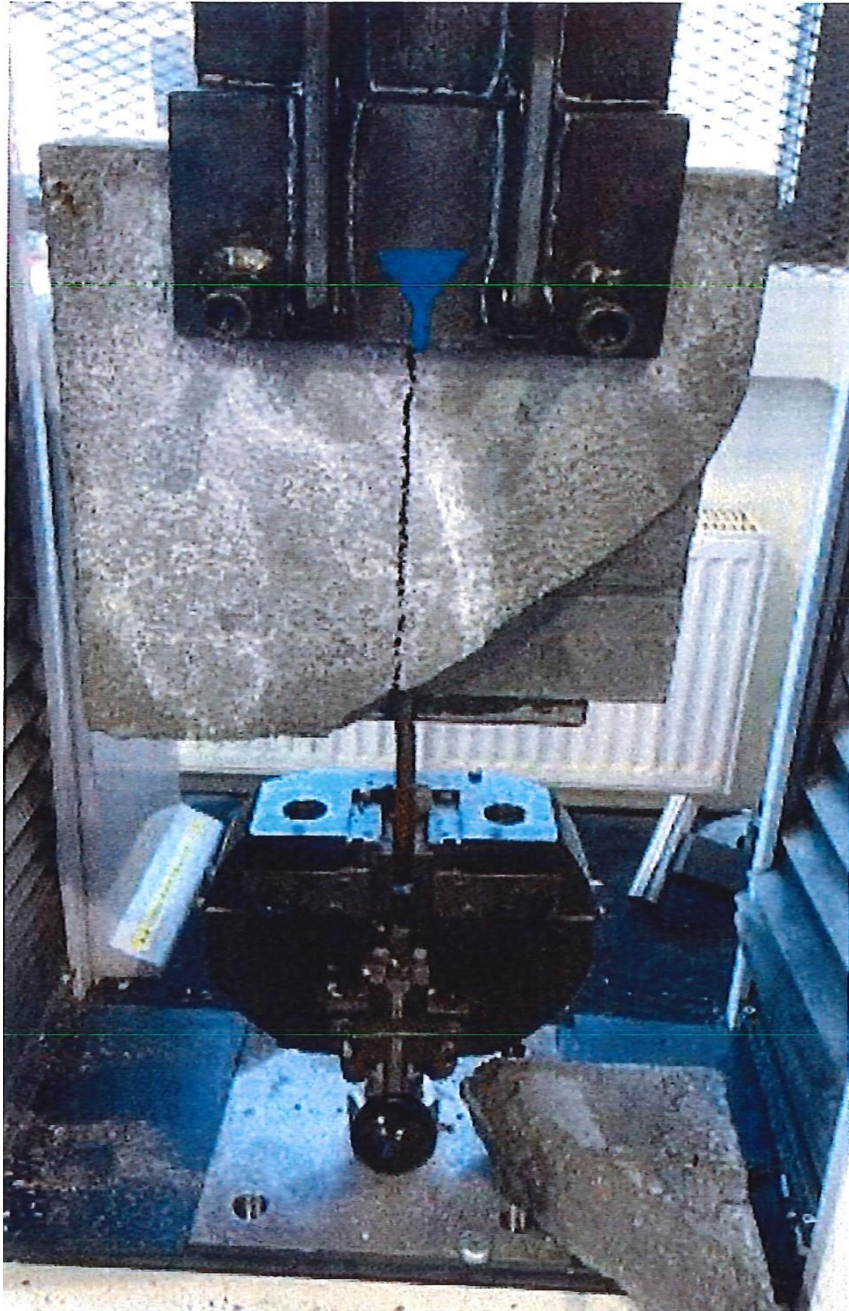
A_s is the individual tensile adhesion strength in Newton per square millimetre;

L is the total load in Newton;

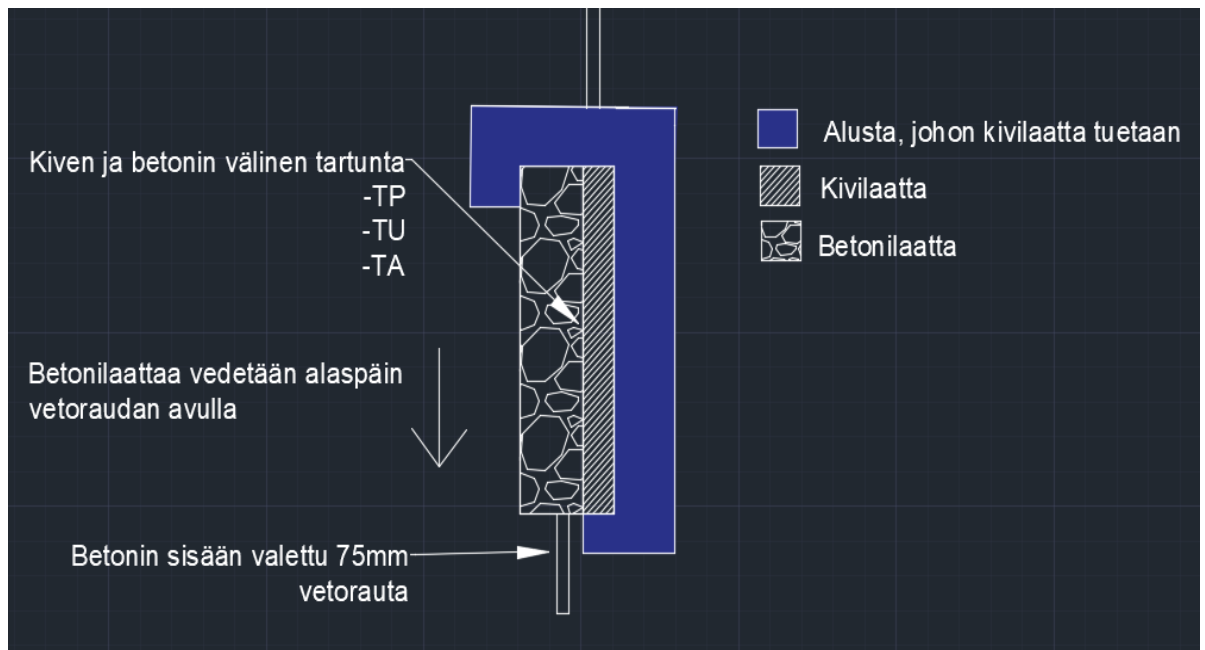
KUVA 25. SFS-EN 12004-2:2017 säännöksessä annettu kaava vetolujuuden laskemiselle käyttäen laatan pinta-alaa ja murtovoimaa. (SFS Suomen Standardit ry.)

4.6 Leikkauskestävyyskoe

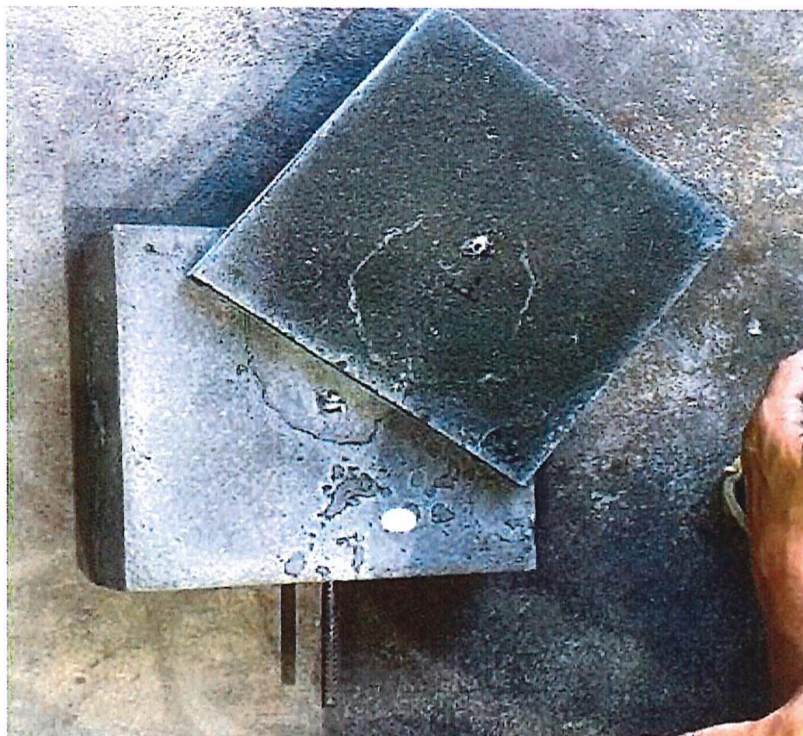
Leikkauskestävyyskokeessa tartuntaa betonin ja kiven välillä rasitetaan vetämällä kappaleita vaakasuoraan tartuntapinnan suuntaisesti toisistaan irti. Vaakasuoralla voimalla luodaan betonin ja kivilaatan välille leikkausvoimaa. Betonia vedetään niihin asennetuista vetoraudoista ja kivilaatat asennetaan alustalle vastavoimaksi vetoa vastaan (Kuva 26, 27 & 28).



KUVA 26. Leikkauskestävyyskokeessa murtunut betoni. (Stonegroup Finland)



KUVA 27. Leikkauskestävyyskoe periaatekuva (Leevi Heikkilä)



KUVA 28. Tartunta irronnut leikkauskestävyyskokeessa. (Stonegroup Finland).

4.7 Tulokset

Alla oleviin taulukoihin on haettu kivityypeittäin niiden suurimman ja pienimmän murtovoiman saaneet koekappaleet. Taulukossa 4 esitetyt tulokset ovat ulosve-

tokokeesta (100x100mm kivet) ja taulukossa 5 on esitetyt tulokset ovat leikkauskestävyyskokeesta (300x300mm kivet). Loput kokeista ja niiden tuloksista on taulukoitu liitteisiin.

TAULUKKO 3. Suurin ja pienin vetomurtovoima kivityypeittäin pienillä laatoilla. (Stonegroup Finland)

Tunniste	Kivityyppi	TP	TU	TA	P	MU (kN)	VE (MPa)	Murtolähtö	Muut huomiot
A56	HG			X		13,2	1,32	Irronnut tartunnasta	Graniitin suurin murtovoima
A2	BR		X			9,34	2,115	Kivi lohjennut	Bernardoksen suurin murtovoima
A7	AL		X			9,60	0,96	Kivi lohjennut	Altaskiferin suurin murtovoima
ASSH	HG			X		2,18	0,218	Irronnut tartunnasta	Graniitin pienin murtovoima
A36T	BR	X				0,45	0,045	Irronnut tartunnasta	Bernardoksen pienin murtovoima
A41	AL			X		0,44	0,044	Irronnut tartunnasta	Altaskiferin pienin murtovoima

TAULUKKO 4. Suurin ja pienin leikkausmurtovoima kivityypeittäin isoilla laatoilla. (Stonegroup Finland)

Tunniste	Kivityyppi	TP	TU	TA	P	MU (kN)	Murtolähtö	Muut huomiot
B22	HG			X		32,2 Koe keskeytetty	Betoni murtunut n.10%	Graniitin suurin murtovoima
B3	BR					28,8	Betoni murtunut n. 20%	Bernardoksen suurin murtovoima
B17	AL		X			38,1	Betoni murtunut n. 20%	Altaskiferin suurin murtovoima
BS	HG	X				15,9	Betoni murtunut n. 20%	Graniittin pienin murtovoima
B2	BR					11,0	Betoni murtunut n.10%	Bernardoksen pienin murtovoima
B29	AL	X		X		2,82	Irronnut tartunnasta	Altaskiferin pienin murtovoima

5 POHDINTA

Tässä osiossa pohditaan tutkimusmenetelmän luotettavuutta, testien tuloksia sekä mahdollisia jatkotutkimuksia. Näiden asioiden analysointia varten on haastateltu Stonegroup Finlandin myyntijohtajaa, Arttu Jokista. Jokinen on yksi näiden kokeiden tilaajista, sekä kiinnitysmenetelmän kehittäjästä.

Tilaaajan päätavoitteena tutkimuksissa oli selvittää betonielementin ja luonnonkiven välisen tartunnan haasteita ja niihin ratkaisuja. Stonegroup Finland, joka on erikoistunut luonnonkivien ja niiden kiinnitysratkaisujen alalla, pyrkii luomaan uusia mahdollisuuksia luonnonkiven käytölle rakenteissa ja kehittämään pitkäaikaisesti kestäviä kiinnitysratkaisuja. Tutkimuksessa arvioitiin kolmen eri kivilajin – graniitin (Harmaa graniitti), fylliittiliuskeen (Bernardos) ja kvartsiittiliuskeen (Altaskifer) – tartuntaa betonin valettaessa muotin pohjalle asetettujen kivilaattojen päälle. Tavoitteena oli selvittää, miten erilaiset tartunnan parantamistekniikat vaikuttavat näiden kivilajien tartuntaan, mukaan lukien testit ilman tartunnan parannuskeinoja. Joissakin testeissä betonin ja kivien välistä tartuntaa heikennettiin suoja-aineella, joka jäljitteli pakkasrapautumisen aiheuttamaa tartunnan heikkenemistä.

Testien tekeminen tartunnalle, ennen tosielämän käyttökokeiluja, ei ole pakollista, mutta antaa lisää luotettavuutta laatan kiinnipysyvyydestä, sekä ymmärrystä kivilaatan ja betonikuoren välisestä tartunnasta. Kaikki tehdyt kokeet ovat näin ollen vain lisäymmärrystä varten. Mitään määräyksiä laattojen pysyvyyden testaamiselle ei ole, kertoo Jokinen.

Vaikka luonnonkivilaattojen tartunnalle ei ole annettu tarkkoja määräyksiä, Saarenpään mukaan kivilaatan tartunnassa jonkinlaisena käytännön raja-arvona voidaan käyttää tiililaattoja (mittasuhteet 85 mm x 280 mm). Tämä siksi, koska tiililaattojen kiinnipysyvyydestä on runsaasti käytännön kokemusta. Saarenpää kehottaa varmistumaan pitkäaikaisrasituksista kiinnipysyvyydelle mekaanisilla kiinnikkeillä, kun asennetaan tiililaattoja suurempia laattoja julkisivuun. (Heikki Saarenpää)

Kokeissa tartuntaa parannettiin urittamalla kiveä tai kiinnittämällä taustalle erikoisvalmistettu terästappi. Koekappaleita valmistettiin sekä lohkoille että sahatuille pinnoille, ja joissakin tapauksissa sahattuja pintoja karhennettiin lisää. Tartuntaa testattiin sekä suoralla vedolla että suoralla leikkauksella, jotka molemmat voivat olla merkittäviä kuormitustilanteita julkisivun rasituksessa. Testien tarkoituksena oli simuloida tyypillisiä kuormituksia, kuten kiven omaa painoa ja lämpölaajenemisesta johtuvaa liikettä, sekä vauriotilanteita, joissa vesi työntää kiveä ulospäin. Koemenetelmät ovat Stonegroup Finlandin sekä Tampereen ammattikorkeakoulun yhdessä kehittämät.

Kokeista saadut tulokset olivat laadukkaita. Näistä tuloksista tilaaja kertoo seuraavasti:

”Koe antoi hyvää tietoa siitä, millä yritys voi kehittää tartunnanparantamisjärjestelmiä. Kokeet myös vahvistivat ymmärrystä siitä, kuinka hyvä kiven ja betonin tartunta on, mikäli siihen ei kohdistu rasituksia.” (Arttu Jokinen)

”Testituloksien suuri hajonta kertoo siitä, kuinka tartunnanparantamisjärjestelyillä kiven pitkäaikaiskestävyyttä elementtipinnassa voidaan parantaa eri tekniikoita käyttäen. Se myös kertoo siitä kuinka paljon kivilaatu vaikuttaa betonin ja kiven väliseen tartuntaan.” (Arttu Jokinen)

”Tämän kivitestauksen perusteella voidaan kehittää jatkotutkimuksia, joilla saadaan lisää varmuutta kivien pysymiseen elementin pinnassa. Kokeiden perusteella voidaan todeta, että näiden kolmen kivityypin tartuntalujuus on erinomainen, mutta jos tartunta pettää vauriotilanteessa niin lisävarmistusta tarvitaan. Erikoistapitus ja uritus ovat hyviä tartunnanparantamismenetelmiä.” (Arttu Jokinen)

Jatkotutkimuksia varten Jokinen on suunnitellut laittavansa koekappaleet pakkasrasituskokeeseen. Pakkasrasituskokeessa koekappaleet jäädytetään ja sulatetaan useamman kerran, näin luoden siihen ympäristön aiheuttamaa kuluusta. Useamman jäädytys- sulatussyklin jälkeen koekappaleille tehdään samat ulosveto- ja leikkauskestävyyskokeet. Tällä menetelmällä saadaan tarkkaa tietoa tartunnan pitkäkestoisuudesta.

Läpi käydyistä tiedoista ja tutkimuksista voidaan päätellä kivilaatoilla päällystetyn betonielementin teknisen suorituskyvyn ja ulkonäön paranevan tietyillä suunnitteluratkaisuilla ja elementin valmistuksen aikaisilla toimenpiteillä kuten:

- käyttämällä suuria betonin runkoaineen maksimiräekokoa (16 mm),
- käyttämällä pientä vesi-sementtisuhdetta ja hienoainesmäärää,
- välttämättä lämpökäsittelyä alkukovettumisen aikana, säilyttämällä elementtiä muotista noston jälkeen mahdollisimman, pitkään lämpimässä ja kosteassa tilassa sekä oikein tuettuna,
- rajoittamalla ulkokuoren pituutta erityisesti kuorielementtejä käytettäessä,
- käyttämällä mahdollisuuksien mukaan elementin rakenteellista jäykistystä ja elementtiä suoristavia runkokiinnityksiä,
- käyttämällä erikoistapitusta ja uritusta tartuntamenetelmänä ja
- minimoimalla kulutusta aiheuttavia tekijöitä, kuten kosteutta.

LÄHTEET

Mesimäki P. 1997. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje. Kiviteollisuusliitto ry. Viitattu 8.3.2024

Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje 2006. Kiviteollisuusliitto ry.
<https://kivi.info> Viitattu 29.1.2024

SFS-EN 1469 Luonnonkivituotteet. Verhoukseen tarkoitetut luonnonkivilaatat. Vaatimukset. Viitattu 15.2.2024

RT 88-11015 Luonnonkivijulkisivut. Viitattu 27.2.2024

SFS-EN 12004-2:2017. Adhesives for ceramic tiles. Part 2: Test methods. Viitattu 20.2.2024

SFS-EN 12004-1:2017. Adhesives for ceramic tiles. Part 1: Requirements, assessment and verification of constancy of performance, classification and marking. Viitattu 13.2.2024

Jokinen, A. Myyntijohtaja. 2024. Stonegroup Finland. Haastateltu 7.3.2024. Tampere.

Oravasaari, J. Laboratorioinsinööri. 2024. Tampereen ammattikorkeakoulu. Haastateltu 8.3.2024. Tampere.

SFS-EN 1341 Ulkotilojen luonnonkivipäällystelaatat. Vaatimukset ja testausmenetelmät. Viitattu 2.3.2024

Turun Sanomat. <https://www.hs.fi/kotimaa/turku/art-2000009772735.html> Viitattu 27.2.2024

Julkisivukonsultointi. <https://www.julkisivukonsultointi.fi/> Viitattu 3.4.2024

Saarenpää, H. Lehtori. 2024. Tampereen ammattikorkeakoulu. Haastateltu 13.3.2024.

Elementtisuunnittelu. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/> Viitattu 13.4.2024

LIITTEET

Liite 1. Taulukko tuloksista (Stonegroup Finland)

Tunniste	Kivityyppi	TP	TU	TA	P	MU (kN)	VE (MPa)	Murtolähtö	Muut humiot
A1	BR		X			8,63	0,863	Irronnut tartunnasta	
A2	BR		X			9,34	2,115	Kivi lohjennut	
A3	BR		X			5,8	1,312	Kivi lohjennut	
A4	BR		X			6,16	0,616	Irronnut tartunnasta	
A5	BR	X	X			2,08	0,208	Irronnut tartunnasta	
A6	BR	X	X			1,9	0,19	Irronnut tartunnasta	
A7	AL		X			9,6	0,96	Kivi lohjennut	
A8	AL		X			7,33	1,659	Kivi lohjennut	
A9	AL		X			3,63	0,363	Irronnut tartunnasta	
A10	AL		X			7,65	0,765	Irronnut tartunnasta	
A11	AL	X	X			2,17	0,217	Irronnut tartunnasta	
A12	AL	X	X			1,35	0,135	Irronnut tartunnasta	
A13	HG	X	X						
A14	HG		X						
A15	HG	X	X						
A16	HG		X						
A17	HG		X						
A18	HG		X						
A19									
A20	HG				X	10,9	1,09	Irronnut tartunnasta	
A21	HG				X	8,81	0,881	Irronnut tartunnasta	
A22	HG					10,4	2,35	Kivi lohjennut	
A23	HG					12,3	2,784	Kivi lohjennut	

A24	HG	X				2,88	0,288	Irronnut tartunnasta	
A25	HG	X				12,1	1,21	Irronnut tartunnasta	
A26									
A27	AL	X				Vaurioitunut ennen mittausta		Irronnut tartunnasta	
A28	AL					5,36	1,213	Kivi lohjennut	
A29	AL					6	0,6	Irronnut tartunnasta	
A30	AL	X				0,84	1,19	Irronnut tartunnasta	
A31	AL					6,45	0,645	Irronnut tartunnasta	
A32	AL					6,09	1,378	Kivi lohjennut	
A33	BR	X				Vaurioitunut ennenmittausta		Irronnut tartunnasta	
A34	BR					6,6	1,4938	Kivi lohjennut	
A35	BR					4,82	1,09	Kivi lohjennut	
A36	BR	X				0,45	0,045	Irronnut tartunnasta	
A37	BR					3,58	0,358	Irronnut tartunnasta	
A38	BR								Rikki
A39	AL	X		X		0,9	0,09	Irronnut tartunnasta	
A40	AL	X		X		0,91	0,091	Irronnut tartunnasta	
A41	AL			X		0,44	0,044	Irronnut tartunnasta	
A42	AL			X		6,68	0,668	Irronnut tartunnasta	
A43	AL			X		6,98	1,579	Kivi lohjennut	
A44	AL			X		5,32	0,532	Irronnut tartunnasta	
A45	AL			X		7,11	0,711	Irronnut tartunnasta	
A46	BR	X		X		0,75	0,075	Irronnut tartunnasta	
A47	BR	X		X		0,84	0,084	Irronnut tartunnasta	
A48	BR			X		3,46	0,346	Irronnut tartunnasta	
A49	BR			X		4,05	0,405	Irronnut tartunnasta	
A50	BR			X		3,3	0,33	Kivi lohjennut	

A51	BR			X		4,93	0,493	Irronnut tartunnasta	
A52	BR			X		4,8	1,086	Kivi lohjennut	
A53	HG			X		2	0,2	Irronnut tartunnasta	
A54	HG	X		X		7,31	0,731	Irronnut tartunnasta	
A55	HG			X		2,18	0,218	Irronnut tartunnasta	
A56	HG			X		13,2	1,32	Irronnut tartunnasta	
A57	HG	X		X		3,61	0,361	Irronnut tartunnasta	
A58	HG			X		3,89	0,389	Irronnut tartunnasta	
A59	HG	X		X		3,16	0,316	Irronnut tartunnasta	

Tunniste	Kivityyppi	TP	TU	TA	P	MU (kN)	VE (MPa)	Murtolähtö	Muut humiot
B1	BR	X				Vaurioitunut ennen mittausta		Irronnut tartunnasta	
B2	BR					11		Betoni murtunut n.10%	
B3	BR					28,8		Betoni murtunut n. 20%	
B4		X				13,1		Betoni murtunut n.10%	
B5	HG	X				15,9		Betoni murtunut n. 20%	
B6	HG					21,5		Betoni murtunut n. 20%	
B7	HG					19,3		Betoni murtunut n. 10%	
B8									
B9	AL	X							
B10	AL					25,3		Betoni murtunut n. 20%	
B11	AL					21,9		Betoni murtunut n.10%	
B12									
B13	BR		X			22,7		Betoni murtunut n. 20%	

B14	BR		X			22,8		Irronnut tartunnasta	
B15	BR	X	X			25,4		Irronnut tartunnasta	
B16	AL		X			23		Betoni murtunut n.10%	
B17	AL		X			38,1		Betoni murtunut n. 20%	
B18	AL	X	X			15,6		Betoni- murtunut n. 20%	
B19	HG		X			21		Betoni murtunut n. 20%	
B20	HG	X	X			20,3		Betoni murtunut n. 20%	
B21									
B22	HG			X		32,2 koe keskeytetty		Betoni murtunut n.10%	

B23	HG			X		26,9 koe keskeytetty		Betoni murtunut n. 20%	
B24	HG	X		X		29,7 koe keskeytetty		Betoni murtunut n. 20%	
B25	HG			X		19,3 koe keskeytetty		Betoni murtunut n. 20%	
B26	AL		X	X		20,9		Betoni murtunut n. 20%	
B27	AL			X		20,9		Betoni murtunut n.40%	
B28	AL			X		16,9		Betoni murtunut n. 30%	
B29	AL	X		X		2,82		Irronnut tartunnasta	
B30	BR			X		21,7		Betoni lohjennut n. 20%	
B31	BR			X		26,3		Betoni murtunut n. 40%	
832	BR	X		X		12,2		Irronnut tartunnasta	
B33	BR			X		22,2		Betoni murtunut n. 20%	
B0	HG					31,9		Betoni ja kivi murtunut n. 50 %	