



Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittäminen

Osa 3. Luonnonkivijulkisivun rakenteiden ja kivilaattojen kiinnitystekniikan kehittäminen

Pekka Mesimäki
Juha Ratvio
Markku Rämä

Betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio

ISBN 951-38-2233-8

ISSN 0358-5077

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1984

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, 02150 Espoo
puh. vaihde (90) 4561, telex 122972 vttha sf

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, 02150 Esbo
tel. växel (90) 4561, telex 122972 vttha sf

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, SF-02150 Espoo, Finland
phone internat. + 358 0 4561, telex 122972 vttha sf

VTT, Betoni- ja silikaattiteknikan laboratorio, Betonimiehenkuja 5, 02150 Espoo
puh. vaihde (90) 4561

VTT, Betong- och silikattekniska laboratoriet, Betongblandargränden 5, 02150 Esbo
tel. växel (90) 4561

VTT, Concrete and Silicate Laboratory, Betonimiehenkuja 5, SF-02150 Espoo, Finland
phone internat. + 358 0 4561

MESIMÄKI, Pekka, RATVIO, Juha & RÄMÄ, Markku, Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittäminen. Osa 3. Luonnonkivijulkisivun rakenteiden ja kivilaattojen kiinnitystekniikan kehittäminen [Development of using natural stones in building. Part 3. Development of structures and anchoring techniques of natural stone cladding]. Espoo 1984. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia - Statens tekniska forskningscentral, Forskningsrapporter - Technical Research Centre of Finland, Research Reports 310. 97 s./p. + liitt. 26 s./app. 26 p.

UDK 691.21:624.012.1
679.85

Key words natural stones, building stones, facades, slabs, stone slabs, fixings, flagstones, flags

TIIVISTELMÄ

Luonnonkiven käyttö rakentamisessa on rakennustekniikan ja -materiaalien kehittymisen myötä muuttunut merkittävästi. Kantavista, massiivisista kivirakenteista on nykyaikaisessa talonrakentamisessa luovuttu. Kivenjalostustekniikan kehittyessä luonnonkivilaattojen käyttö rakenteiden verhoilussa ja pinnoituksissa on toisaalta lisääntynyt. Merkittävin kivilaattojen käyttökohde on nykyisin julkisivuverhous.

Perinteisesti julkisivun luonnonkivilaattaverhous on asennettu työmaalla kiinnittämällä kivilaatat ruostumattomiin rakennuksen runkoon ankkuroituihin kiinnikkeisiin. Työvaltaisuudesta johtuen menetelmä on hidas ja kallis. Luonnonkiviverhouksen asennustyökustannusten pienentämiseksi ja asennusajan lyhentämiseksi on eräissä kotimaisissa kohteissa sovellettu kivilaattapintaisia betonisandwichelementtejä. Käyttökokemuksia on vähän ja varsin lyhyeltä ajalta ja kivilaattapintaisen betonielementin toiminnasta on käytettävissä hyvin vähän tutkimuksia.

Julkaisussa esitetään luonnonkivilaatoilla verhotussa ulkoseinärakenteessa nykyisin käytetyt rakenteet ja kiinnitystekniikat sekä tarkastellaan kivilaattapintaisen ulkoseinärakenteen toiminnan erityispiirteitä. Lisäksi esitetään kivilaattaverhouksen suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet sekä tarkastellaan kivilaattajulkisivun rakenteiden ja kiinnitystekniikan kehittämismahdollisuuksia. Lopuksi selvitetään kahdelle uudentyyppiselle kivilaattapintaiselle betonielementille tehdyt alustavat kokeet ja niiden tulokset sekä esitetään eri rakenteiden teknisten ominaisuuksien ja rakennuskustannusten vertailu sekä jatkotutkimusten sisältö pääpiirteissään. Kokeellisesti tutkitut rakenteet ovat kerroksellinen elementti, jonka ulkokuorena on pelkkä luonnonkivilaatta ja ohut kivilaattapintainen ferrobetoninen verhoiluelementti. Alustavien kokeiden perusteella molemmat rakenteet todettiin käyttökelpoisiksi.

MESIMÄKI, Pekka, RATVIO, Juha & RÄMÄ, Markku, Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittäminen. Osa 3. Luonnonkivijulkisivun rakenteiden ja kivilaattojen kiinnitystekniikan kehittäminen [Development of using natural stones in building. Part 3. Development of structures and anchoring techniques of natural stone cladding]. Espoo 1984. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia - Statens tekniska forskningscentral, Forskningsrapporter - Technical Research Centre of Finland, Research Reports 310. 97 s./p. + liitt. 26 s./app. 26 p.

UDK 691.21:624.012.1
679.85

Key words natural stones, building stones, facades, slabs, stone slabs, fixings, flagstones, flags

ABSTRACT

Use of thin dimension stone panels in cladding has significantly increased during the past few decades. The traditional method of fixing the cladding panels is to use four stainless steel anchors for each panel. This fixing method is, however, very work intensive, and therefore slow and expensive. In order to reduce both the building time and costs stone cladded prefabricated sandwich-elements have been used in some domestic buildings. However, more experience and knowledge of the function of this structure is needed.

In this publication the traditional ways of fixing a thin stone cladding in the leading stone-using countries are presented. In addition the principles of designing the cladding are given. The possibilities of developing the use of stone as a cladding material are also dealt with. Finally, the results of tests made with two new kinds of prefabricated facade structures are presented. Both structures, the prefabricated, thermally isolated concrete element (with only the cladding as the outer shell), and the stone cladded ferrocement structure, gave very promising results and were found to be suitable for use in facade construction.

ALKUSANAT

Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa (VTT) käynnistettiin keväällä 1982 luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittämiseen liittyvä tutkimusprojekti "Luonnonkivet ja niiden käyttö rakentamisessa", jonka tavoitteiksi asetettiin

- luonnonkivien tutkimus- ja testausvalmiuden perustaminen VTT:een,
- suomalaisten luonnonkivien, niiden jalostuksen ja käyttömahdollisuuksien perusselvitys,
- luonnonkivipintaisen ulkoseinärakenteen kehittämismahdollisuuksien selvitys ja suppean koeohjelman toteuttaminen sekä
- rakennuskiviesiintymän käyttökelpoisuuden arviointimenetelmien alustava selvitys.

Tutkimuksen rahoittivat Suomen Kiviteollisuusliitto, Oy Partek Ab ja VTT. Projekti toteutettiin VTT:n betoni- ja silikaattitekniikan laboratorion ja geotekniikan laboratorion yhteistyönä. Tutkimusta valvovaan johtoryhmään ovat kuuluneet joht. Reino Palin, Loimaan Kivi Ky (puheenjohtaja), toim.joht. Kalevi Tiinus, Kiviliikkeiden Oy ins. Jarmo Lesonen, Oy Partek Ab, ins. Lasse Pulli, A. W. Liljeberg Oy ja prof. Asko Sarja, VTT:n betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio. Projektin vastuunalaisena johtajana on toiminut dipl.ins. Pekka Mesimäki VTT:n betoni- ja silikaattitekniikan laboratoriosta. Projektin loppuraportti jakaantuu seuraaviin osiin:

- Osa 1. Suomalaiset rakennuskivet ja niiden käyttökohteet
(VTT Tutkimuksia 308 /24/)
- Osa 2. Rakennuskiveltä vaadittavat ominaisuudet ja niiden määrittäminen
(VTT Tutkimuksia 309 /25/)
- Osa 3. Luonnonkivijulkisivun rakenteiden ja kivilaattojen kiinnitystekniikan kehittäminen (VTT Tutkimuksia 310).

Tämän julkaisun ovat laatineet dipl.ins. Pekka Mesimäki, dipl.ins. Juha Ratvio ja dipl.ins. Markku Rämä VTT:n betoni- ja silikaattitekniikan laboratoriosta. Pekka Mesimäki on laatinut luvut 1, 4, 5 ja 8 sekä liitteet 1, 2, 3 ja 4. Pekka Mesimäki ja Juha Ratvio ovat laatineet luvut 2, 3, 6 ja 7 sekä liitteet 6 ja 7. Markku Rämä on tehnyt liitteen 5.

SISÄLLYSLUETTELO	sivu
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
1 KEHITYSTYÖN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET	8
1.1 Lähtökohdat	8
1.2 Tutkimuksen tavoitteet	10
2 SUOMESSA KÄYTETYT RAKENTEET JA KIINNITYSMENETELMÄT	11
2.1 Paikalla rakennettu verhous	11
2.2 Kivilaattapintainen betonisandwichelementti	15
3 ULKOMAILLA KÄYTETYT RAKENTEET JA KIINNITYSMENETELMÄT	17
3.1 Yleistä	17
3.2 Ruotsi	17
3.3 Norja	20
3.4 Saksan liittotasavalta	21
3.5 Englanti	24
3.6 Belgia	26
3.7 Ranska	27
3.8 Italia	28
3.9 Yhdysvallat	29
3.10 Japani	33
3.11 Yhteenveto eri maista	34
4 PAIKALLA RAKENNETUN KIVILAATTAVERHOUKSEN RAKENNESUUNNITTELU	35
4.1 Yleistä	35
4.2 Kivilaatan mitoitus	35
4.2.1 Mitoitusperiaatteet	35
4.2.2 Mitoitus taivutukselle	36
4.2.3 Mitoitus kiinnikkeen tappikuormalle	40
4.2.4 Luonnonkivilaattojen mitoitusarvoja	42
4.3 Kiinnitysten suunnittelu ja mitoitus	44
4.3.1 Suunnitteluperiaatteet	44
4.3.2 Kiinnikemateriaalit	46
4.3.3 Kiven ja kiinnikkeen liitoksen mitoitus	48
4.3.4 Kiinnikkeen ulokeosan mitoitus	53
4.3.5 Kiinnikkeen runkokiinnityksen mitoitus	57
4.4 Saumojen suunnittelu	58
4.5 Tuuletuksen suunnittelu	59

5	RAKENTEIDEN JA KIINNITYSMENETELMIEN KEHITTÄMINEN	61
5.1	Paikalla tehty luonnonkiviverhous	61
5.2	Kivilaattapintaiset betonielementit	61
5.2.1	Betonisandwichelementti	61
5.2.2	Luonnonkivikuorinen betoniulkoseinäelementti	63
5.2.3	Luonnonkivipintaiset betonikuorielementit	63
5.3	Muut kehitysmahdollisuudet	64
6	KOKEELLISET TUTKIMUKSET	66
6.1	Yleistä	66
6.2	Luonnonkivikuorisen betoniulkoseinäelementin tutkimus	66
6.2.1	Tutkimuksen tavoitteet	66
6.2.2	Tutkimuksen toteutus	67
6.2.3	Koe-elementtien valmistus	68
6.2.4	Koe-elementtien testaus laboratoriossa	73
6.2.5	Kokeiden tulokset	74
6.3	Kivilaattapintaisen ferrobetonielementin tutkimus	77
6.3.1	Tutkimuksen tavoitteet	77
6.3.2	Tutkimuksen toteutus	78
6.3.3	Koe-elementtien suunnittelu ja valmistus	79
6.3.4	Koe-elementtien testaus	84
6.3.5	Kokeiden tulokset	86
7	ULKOSEINÄRAKENTEIDEN VERTAILU	90
8	JATKOTUTKIMUKSET	92
8.1	Lähtökohdat	92
8.2	Jatkotutkimusten sisältö ja resurssit	92
	LÄHDELUETTELO	94
	LIITTEET	liite
	Ohuilla kivilaatoilla verhottuja rakennuksia	1
	Vaakasuoran kivilaatan mitoitus esimerkki	2
	Saksalainen kannatinlokkeen mitoitus	3
	Kiinnikkeiden rajatilamitoituksen periaatteet	4
	Koe-elementtien KE1-3 rakennekuvat	5
	Koe-elementtien KE4-5 rakennekuvat	6

1 KEHITYSTYÖN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

1.1 Lähtökohdat

Julkisivun kivilaattaverhous on perinteisesti asennettu työmaalla. Asennustyö on vaativaa, raskasta ja varsin kallista ammattityötä. Ulkotyönä sitä rajoittavat lisäksi sääolosuhteet. Varsinaiseen asennukseen liittyvät työt, kuten kiinnikkeiden ankkurointi kivirunkoon, telineiden pystytys, kivilaattojen siirrot, mittaukset ja verhouksen saumaus sekä kiinniketekustannukset voivat vaativissa kohteissa lisätä huomattavasti kivi-verhouksen kokonaishintaa. Paikallarakennetun verhouksen asennusaika on työn käsityövaltaisuudesta johtuen usein varsin pitkä, mikä rajoittaa osaltaan kiven käyttömahdollisuuksia.

Julkisivun kivilaattaverhousten suunnittelusta ei ole Suomessa julkaistu ohjeita. Kivikuorten kannatustapa ja kiinnikkeet suunnitellaan hankekohtaisesti yleisten kiinnityisperiaatteiden ja käytettävissä olevien ulkomaisten ohjeiden mukaan. Kiviverhousten rakennesuunnittelu on tästä syystä varsin kirjavaa ja käytetyt ratkaisut eivät aina ole kaikkein edullisimpia. Epäyhdenmukaiset kivilaattojen kiinnitystavat lisäävät osaltaan kiviverhouksen suunnittelu-, kiinnike- ja rakentamiskustannuksia.

Kivilaattapintaisia betonisandwichelementtejä on viime vuosina käytetty Suomessa muutamien rakennusten ulkoseinissä (ks. liite 1). Kokemukset ovat toistaiseksi olleet hyviä, mutta rakenteen käyttöä rajoittavat käyttökokemusten vähyys ja rakenteen toiminnan riittämätön tuntemus.

Suomessa tehdään nykyisin vuosittain noin 15 000 - 20 000 m² luonnonkivilaattapintaisia rakenteita, joista julkisivujen osuus on noin 12 000 - 16 000 m². Tämä on vain 0,15 % koko uudisrakennustuotannon julkisivupinoista. Kivilaattajulkisivun käyttö on sen korkean hinnan takia rajoittunut Suomessa lähinnä sellaisiin liike- ja julkisiin kohteisiin, joissa rakennuksen ulkonäölle asetetaan erityisiä vaatimuksia (taulukko 1)/26/. Liitteeseen 1 on koottu tietoja eräistä huomattavista luonnonkivilaatoilla verhotuista rakennuksista Suomessa.

Taulukko 1. Julkisivumateriaalit uudisrakennustuotannossa v. 1980 rakennustyypeittäin. Eri materiaalien nykyisiä painopiste-alueita on karkeasti havainnollistettu varjostetuilla alueilla /16/.

Rakennustyyppi	Julkisivumateriaalien jakaantuminen						
	Kaikki materiaalit Mm ²	Betoni	Tiili	Puu	Muu (sis. luonnonkiven)	Luonnonkivi	
Liikerakennukset	0,6						
Julkiset rakennukset	0,5						
Teollisuusrakennukset	1,0						
Asuinkerrostalot	0,9						
Omakotitalot	3,0						
Rivitalot	0,9						
Muut rakennukset	2,4						
Yhteensä	Mm ²	9,1	2,5	2,5	3,0	1,0	0,014
	%	100	28	28	33	11	0,15

Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittämiseksi ja edistämiseksi on hyvät edellytykset seuraavista syistä:

- kivipinta on eri tavoin pintakäsiteltyä luonnollisen ja miellyttävän näköinen sekä helppohoitoinen,
- suomalainen rakennuskivi on ulkonäöltään ja kestävyydeltään korkealuokkaista,
- Suomen kallioperässä on runsaasti rakennuskiveksi soveltuvaa luonnonkiveä (graniitti, dioriitti, gabro, diabaasi, liuskeet, dolomiitti, vuolukivi) ja
- Suomessa on kiven irrotukseen, jalostukseen ja asennukseen tarvittava ammattitaito ja laitekanta.

Luonnonkiven käytön lisäämistä rakentamisessa rajoittavat Suomessa lähinnä seuraavat tekijät:

- kivipinnan korkea hinta,
- kiviverhouksen pitkätkö toimitusaika ja hidas asennus sekä
- suunnittelu- ja valmistusohjeiden puute ja tietämättömyys kiven käyttömahdollisuuksista.

Perinteiseen kiinnitystekniikkaan liittyvä hankaluus on lisäksi vaativan ja raskaan asennustyön osaavien ammattimiesten harvalukuisuus, mikä rajoittaa joskus osaltaan hankkeiden toteutusta.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän esitutkimuksen tavoitteena oli selvittää nykyisin käytettyjen luonnonkivilaattapintaisten ulkoseinärakenteiden toiminnan ja suunnittelun periaatteet sekä rakenteiden ja kiinnitysmenetelmien kehitysmahdollisuudet ja tutkimustarve. Tavoitteena oli myös kehittää alustavasti suppean koeohjelman avulla uusia, entistä taloudellisempia ja erityisesti ohuille kivilaatoille soveltuvia julkisivun rakenne- ja kiinnitysratkaisuja.

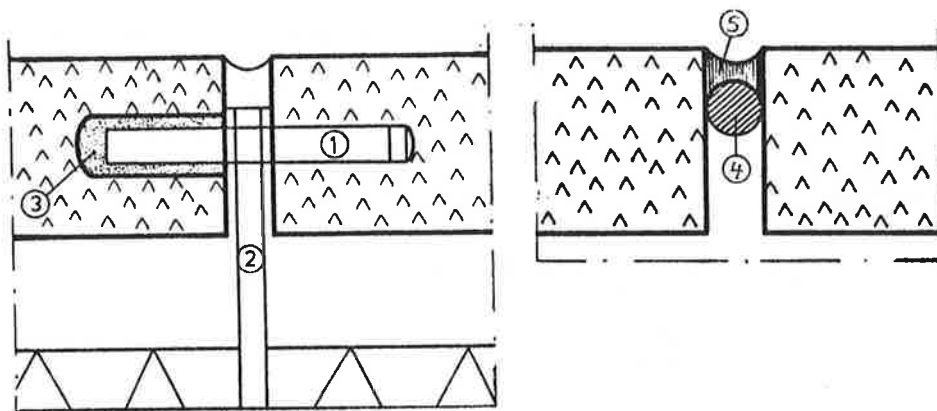
Rakenneteknisessä kehitystyössä oli osatavoitteina

- etsiä elementtitekniikasta uusia mahdollisuuksia nykyistä edullisempien luonnonkivipintaisen ulkoseinärakenteiden kehittämiseksi,
- kehittää arkkitehtien suosimalle suurelle kivilaattakoolle soveltuva elementtiratkaisu,
- soveltaa uutta ohutbetonitekniikkaa keveiden luonnonkivipintaisten betonirakenteiden valmistuksessa,
- etsiä mahdollisuuksia luonnonkivipintaisen elementtirakenteisen ulkoseinän elementtimäisen ulkonäön poistamiseksi ja
- suorittaa uusien rakenneratkaisujen ja valmistusmenetelmien alustavat testaukset.

2 SUOMESSA KÄYTETYT RAKENTEET JA KIINNITYSMENETELMÄT

2.1 Paikalla rakennettu verhous

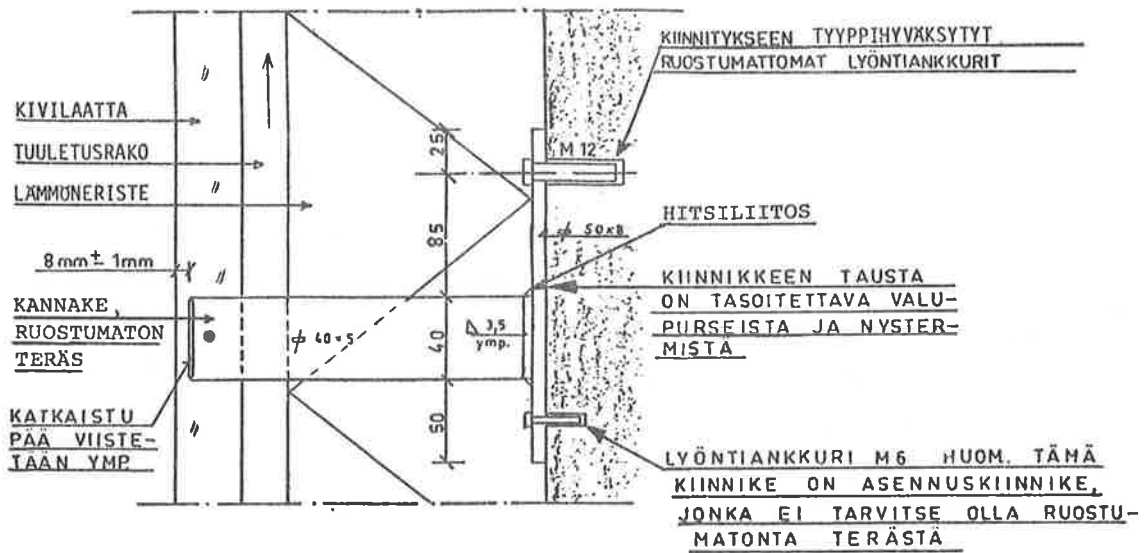
Kivilaatat kiinnitetään rakennuksen runkoon ankkuroituihin, ruostumattomasta teräksestä valmistettuihin, lämmöneristeen läpi meneviin kiinnikeulokkeisiin. Kukin kivilaatta kiinnitetään neljään vaaka- tai pysty-saumoihin sijoitettavaan ulokkeeseen, joista kaksi kantaa pysty- ja vaakakuormia (kannatin) ja kaksi pelkästään vaakakuormia (vaakaside). Kivilaattojen väliset saumat tiivistetään (kuva 1).



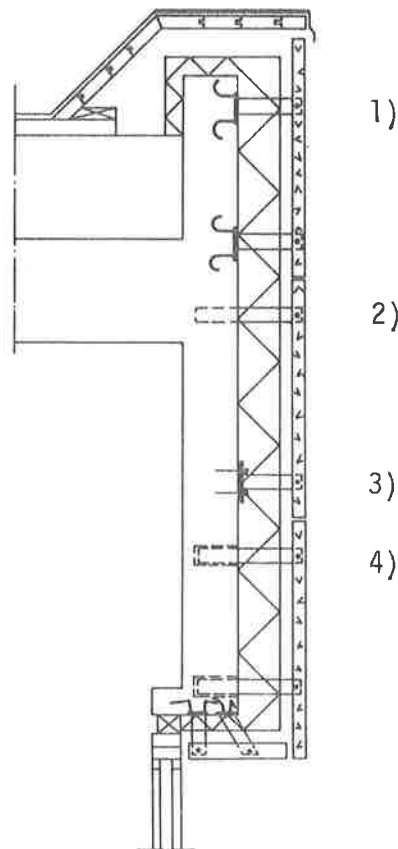
- 1) Ruostumaton tappi (esim. \varnothing 6 mm), joka liikkuu toisessa laatussa vapaasti ja on toiseen kiinnitetty kivikitin avulla jäykästi.
- 2) Ruostumaton kiinnike (esim. 5 x 40 mm²).
- 3) Kivikitti tms. kova liima.
- 4) Umpisolunauha.
- 5) Elastinen saumasmassa.

Kuva 1. Kiinnikkeiden ja kivilaatan liitos sekä julkisivulaattojen saumojen tiivistys /42/.

Kiinnikeulokkeet hitsataan tavallisesti tartuntalevyihin, jotka kiinnitetään runkoon joko valun yhteydessä tai ankkuripulteilla. Yleisin kivi-verhotun rakennuksen runkomateriaali on betoni, mutta myös muut kivirungot tai teräsrunko tulevat kyseeseen (kuva 2). Kiinnikkeet voidaan kiinnittää betonirunkoon myös rungon valun yhteydessä tai jälkijutoksella kivirunkoon porattuun reikään. Viimeksi mainittua menetelmää ei Suomessa nykyisin käytetä (kuva 3).



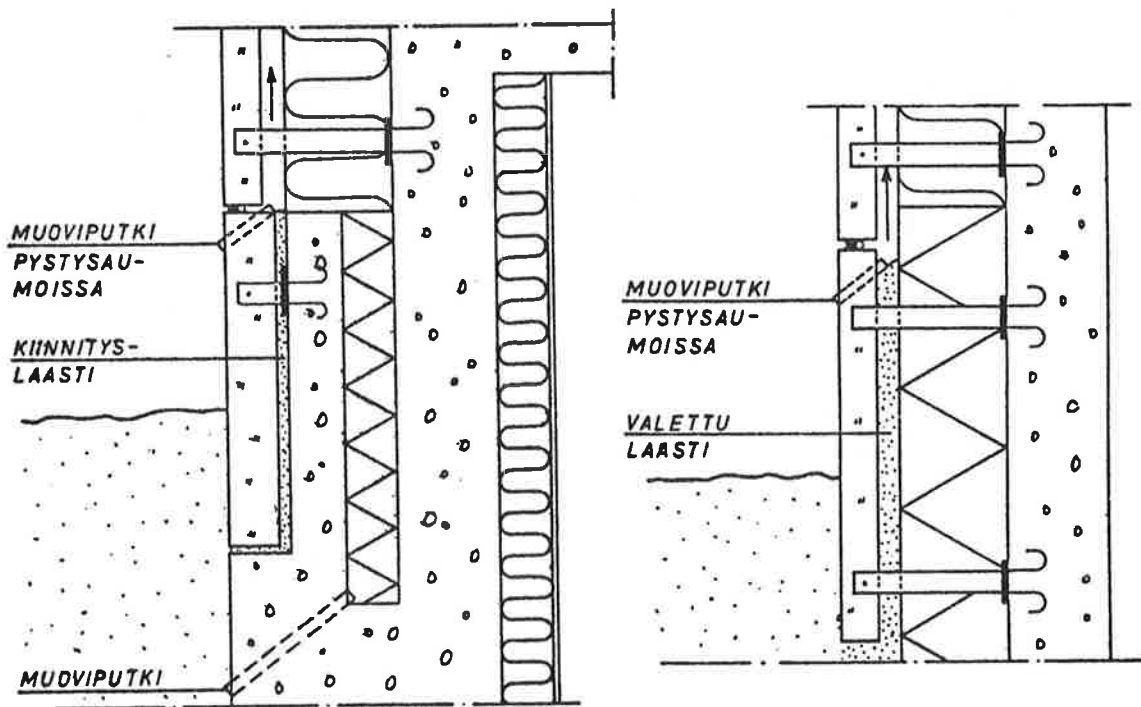
Kuva 2. Esimerkki Suomessa nykyisin yleisen kivilaatan teräskannakkeen mittakuvasta /27/.



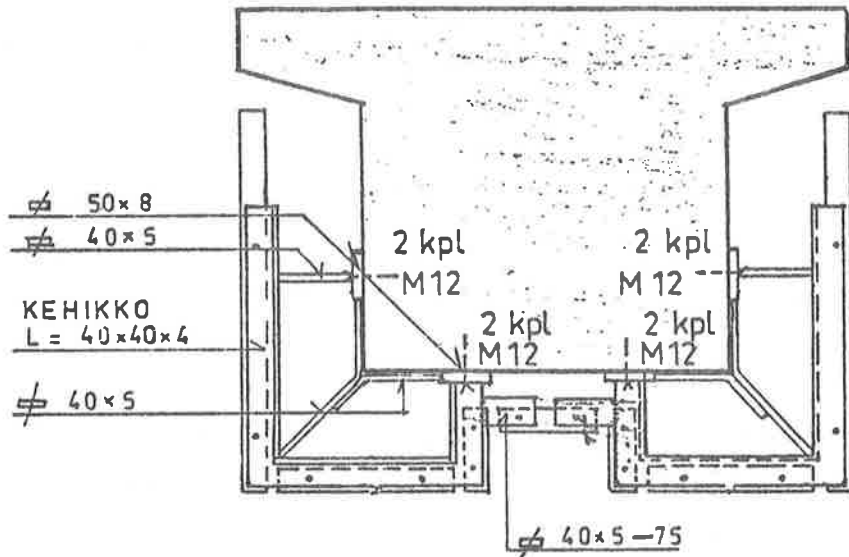
Kuva 3. Erilaisia Suomessa käytettyjä luonnonkivilaattaverhouksen teräskiinnikkeiden kiinnityksperiaatteita. 1) Valun yhteydessä asennetaan runkobetoniin tartuntalevyt, joihin varsinaiset kannakkeet kiinnitetään hitsaamalla. 2) Kannakkeet kiinnitetään runkoon valun yhteydessä. 3) Runkoon kiinnitetään ankkuripulteilla tartuntalevyt, joihin kannakkeet hitsataan kiinni. 4) Kannakkeet kiinnitetään jälkijuotoksella runkoon porattuihin reikiin /37/.

Rakenne tuuletetaan aina kivilaatan taakse, sijoitetulla 20 - 30 mm leveällä tuuletusraolla, joka on ylä- ja alaosastaan yhteydessä ulkoilmaan. Luonnonkivisen verhouslaatan paksuus riippuu kivilajista, kiven pintakäsittelystä, kivilaatan koosta ja kiinnitysmenetelmästä ja on tavallisesti 30 - 50 mm. Julkisivulaattojen koko vaihtelee yleensä välillä 0,2 - 1,2 m². Kolhuille alttiissa kohdissa, kuten seinän alaosissa, käytetään paksumpia kivilaattoja tai kivilaatta tuetaan taustavalulla (kuva 4).

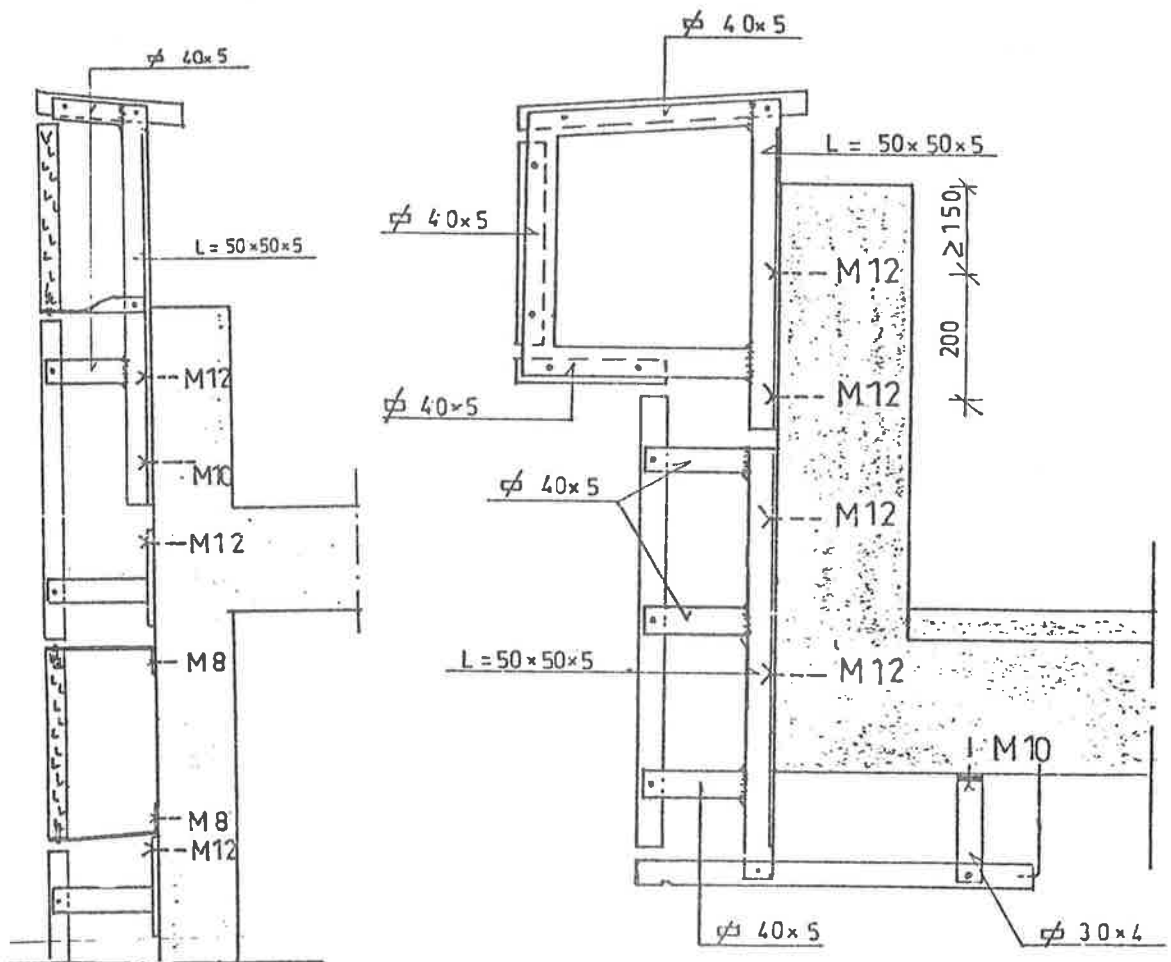
Kotimaisten kiviverhouksen suunnittelu- ja mitoitusohjeiden puuttuessa kiinnitysratkaisut vaihtelevat tapauskohtaisesti ja ovat usein tarpeettoman monimutkaisia ja kalliita. Eristeen läpi menevien kiinnikkeiden aiheuttama kylmäsilta on lisäksi varsin huomattava, etenkin käytettäessä pienehköjä kivilaattoja, jolloin kiinnikkeiden suhteellinen määrä (kpl/m²) on suuri. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty eräitä Suomessa käytettyjä kivilaattojen kiinnitysratkaisuja paikalla rakennetuissa julkisivuverhouksissa.



Kuva 4. Kivilaattajulkisivun alaosassa käytettyjä rakenteita.



Kuva 5. Esimerkki työläestä ja kalliista pilarin luonnonkiviverhouksen kannatuksesta.



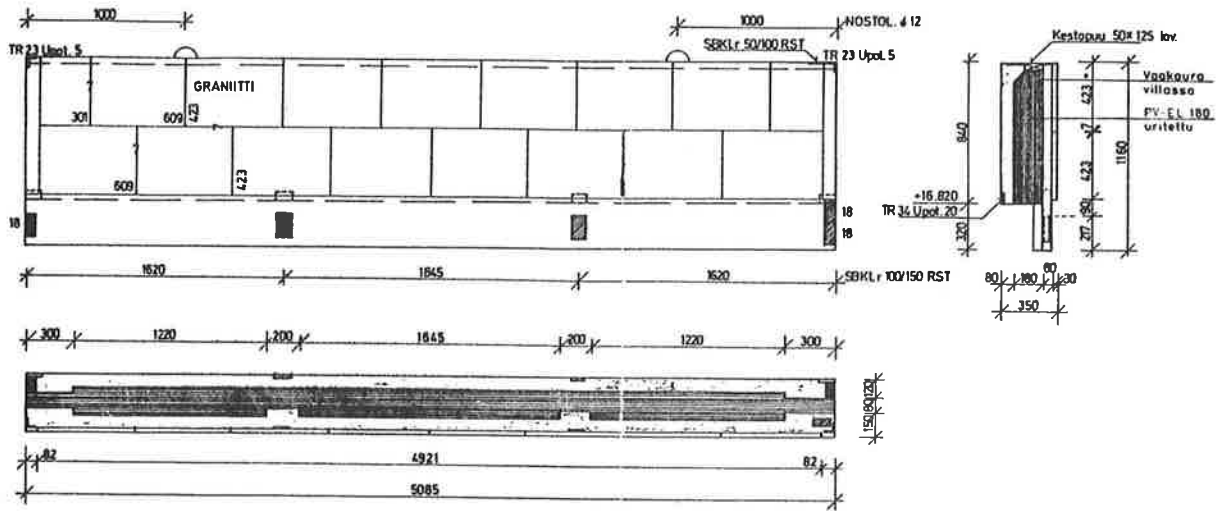
Kuva 6. Esimerkkejä monimutkaisista ja epätaloudellisista kivilaattaverhouksen kiinnitystavoista.

2.2 Kivilaattapintainen betonisandwichelementti

Suomessa toteutetuissa elementtijulkisivuissa (ks. liite 1) on kivilaattat kiinnitetty elementin ulkokuoreen tai kuorilaattaan periaatteessa lähes samalla tekniikalla kuin suuret keraamiset laatat (n. 150 x 150 mm²). Kivilaattojen kiinnipysyminen on lisäksi varmistettu kiven takapintaan tai laatan syrjiin kiinnitettyjen ruostumattomien, ulompaan betonikuoreen ankkuroituvien terästappien avulla (yleensä 4 kpl/laatta).

Elementin valmistuksen aluksi on tehty muotin pohjalle kivilaattajaon mukainen rasteri puulistasta tai muovinauhasta. Rasterin päälle on asennettu vaahtomuovikangas tai vastaava kivilaattojen suojaamiseksi tahriintumiselta. Kankaan päälle on asennettu kivilaatat rasteriin. Tässä vaiheessa on kiinnitetty laatan lisätartuntateräkset epoksiliimalla, kivikitillä tms. kovalla liimalla. Ennen ulkokuoren valua on laattojen väliset saumat valettu notkealla sementtipohjaisella saumamassalla. Tästä eteenpäin on elementin valmistus edennyt tavanomaisella tavalla. Jälkikutistuman minimoimiseksi on yleisesti vältetty elementin lämpökäsittelyä. Rakenteen tuuletus on järjestetty uritetun lämmöneristeen avulla /33/.

Elementtitekniikasta saadut kokemukset ovat olleet hyviä. Rakenteen käyttöä on tosin vaikeuttanut suurilla, tiiviillä kivilaatoilla pinnoitetun betonielementin toiminnan huono tuntemus. Käyttökokemuksia on kotimaassa toistaiseksi varsin vähän ja suhteellisen lyhyeltä ajalta eikä tutkimustietoa ole ollut käytettävissä juuri lainkaan. Kivilaattojen kiinnitykseen liittyvistä epävarmuustekijöistä johtuen on elementeissä käytetty huomattavasti pienempiä kivilaattoja kuin perinteisissä paikallarakennetuissa julkisivuissa. Elementtien pintalaatat ovat olleet 0,1 - 0,25 m²:n kokoisia ja 30 - 40 mm paksuja (kuvat 7 ja 8) Kivilaattapintaisia betonielementtejä on tietävästi käytetty ainakin Englannissa, Hollannissa, USA:ssa, Japanissa, Italiassa ja Länsi-Saksassa, mutta tietoa näissä maissa saaduista kokemuksista on niukalti saatavilla.



Kuva 7. Esimerkki luonnonkivilaattapintaisen sandwichelementin rakenteesta, mittapiirustus.



Kuva 8. Kivikartio Oy:n rakentama Sampoyhtiöiden toimitalo Turussa. Kivilaatat kiinnitetty valussa betonisandwichelementin pintaan.

3 ULKOMAILLA KÄYTETYT RAKENTEET JA KIINNITYSMENETELMÄT

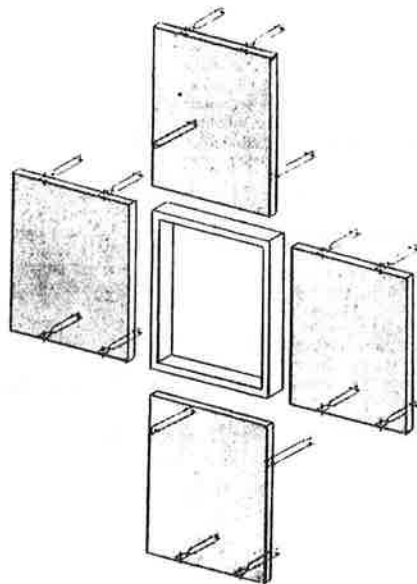
3.1 Yleistä

Rakennusten verhoilu luonnonkivilaatoilla on nykyisin yleistä eri puolilla maailmaa. Useissa maissa on laadittu standardeja ja ohjeita kivilaattojen testausta ja verhousrakenteiden suunnittelua ja rakentamista varten. Seuraavassa tarkastellaan kivilaattaverhousrakenteita ja kiinnitysmenetelmiä eräissä maissa, joissa luonnonkivipintoja käytetään yleisesti. Aiheen laajuuden vuoksi on käsittelyn pääpaino pantu kunkin maan kiinnostavien erityispiirteiden esittelylle.

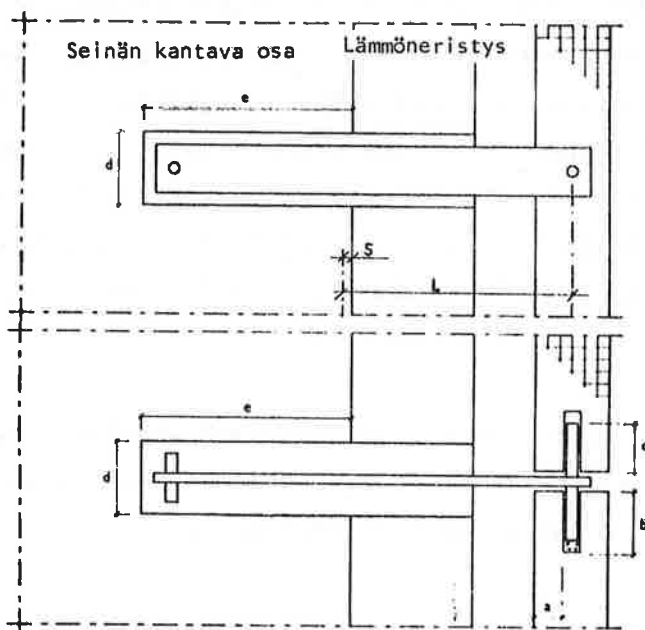
3.2 Ruotsi

Ruotsalaiset ovat esittäneet luonnonkivisten laattaverhousrakennus- ja valmistusohjeet julkaisussa Ventilerad fasadbeklädnad av natursten /44/. Julkaisussa esitetään paikallarakennetun, tuuletetun kivilaattaverhouksen rakenteet, kiinnikkeet, mitoitusaulukot ja asennusohjeet. Ruotsissa käytetyt rakenteet ja kiinnitystekniikka ovat periaatteessa samanlaiset kuin muualla Euroopassa. Suomalaiseen käytäntöön verrattuna eroa on lähinnä runkokiinnitystekniikassa. Ruotsissa kiinnikkeet ankkuroidaan rakennuksen runkoon pääasiassa jälkijuotostekniikalla. Elementtitekniikkaa ei Ruotsissa ole käytetty kivilaattaverhouksissa. Alan tutkimus- ja kehitystoiminta on nykyisin lähes pysähdyksissä, eikä muutosta ole Stenindustrins Forskningsinstitutin mukaan lähiaikoina odotettavissa.

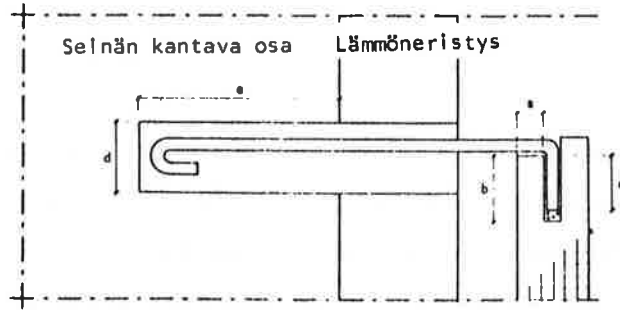
Kuvissa 9 - 12 on esitetty tyypillisiä Ruotsissa käytettyjä kiinnitysratkaisuja. Kuvassa 13 on erikoinen kaksiosainen vaakasaumaan sijoitettava kannatin, jonka etuna on hyvä säädettävyys.



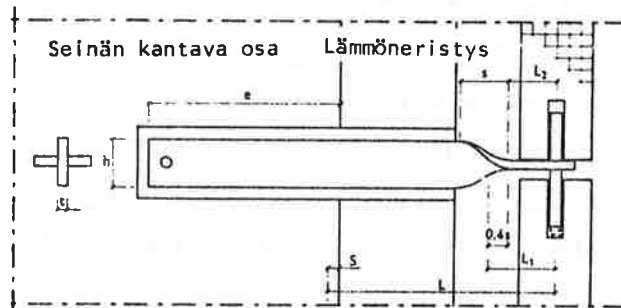
Kuva 9. Jokainen levy kiinnitetään ja kannatetaan tavallisesti kahdesta pisteestä joko pysty- tai vaakasaumasta /7/.



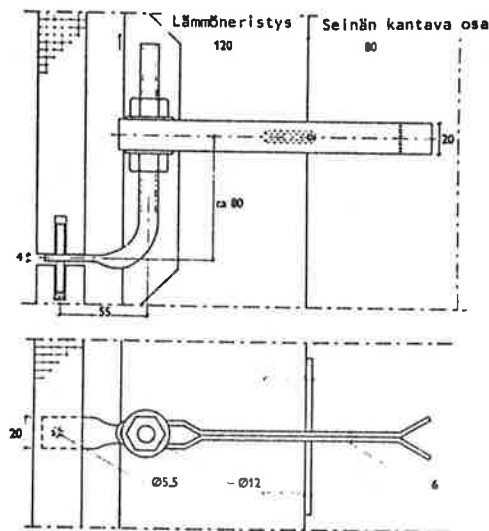
Kuva 10. Kiinniketyyppiä käytetään kantavana ja vaakakuormia siirtävänä pystysaumoissa. Sitä voidaan käyttää myös vaakasaumoissa vaakasiteenä /44/.



Kuva 11. Kiinnikettä käytetään vaakasiteenä kiven yläreunassa /44/.



Kuva 12. Kiinnikettä käytetään verhouksen vaakasaumoissa /44/.

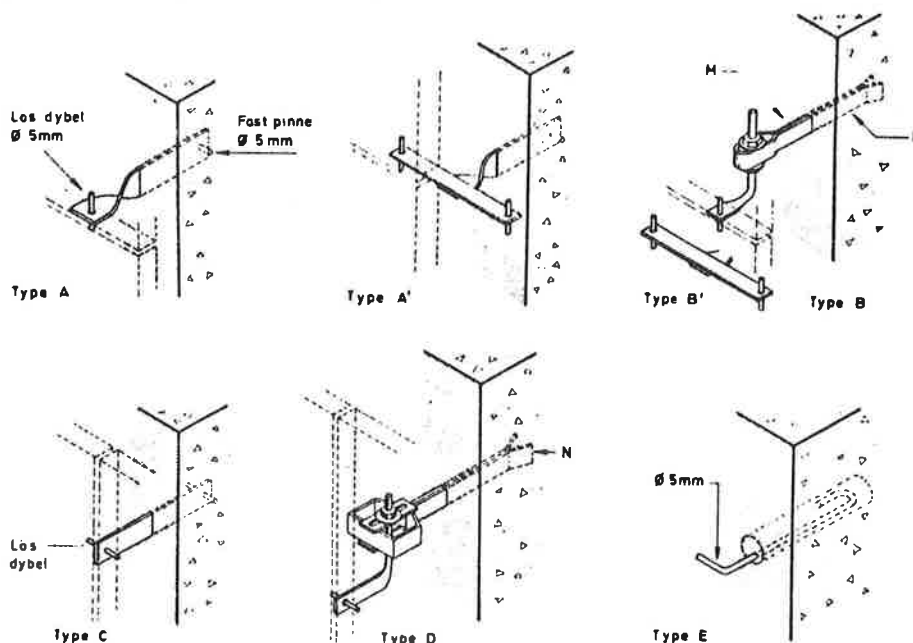


Kuva 13. Vaakasaumakiinnike, jonka kiinteä osa voidaan kiinnittää joko valamalla kantavan rungon valmistuksen yhteydessä tai juottamalla kiviverhouksen asennuksen yhteydessä /44/.

3.3 Norja

Norjassa on julkaistu ohjeet paikalla valettuun betonirunkoon kiinnitettävälle tuulettulle luonnonkivijulkisivuverhoukselle Norges byggforskningsinstituttin rakenneohjekortistossa (vastaa meidän RT-kortistoamme) /2/. Ohjekortissa on esitetty rakenteet, kiinnikkeissä käytettävät materiaalit, kiinniketyypit, niiden kantokykytaulukko ja asennusohjeita. Yleisimmin käytetyt rakenteet ja kiinniketyypit vastaavat yleistä eurooppalaista tekniikkaa. Norjalaisia kiinnikkeitä on esitetty kuvassa 14.

Norjassa on tutkittu kivilaatan kiinnitystapoja betonielementin pintaan kahdessa eri tutkimuksessa /40, 44/. Tutkimus- ja kehitystyöstä vastaavan Stenkontoretin käsitys on, että englantilaisten soveltama tekniikka, jossa kivilaatan ja betonin välinen tartunta poistetaan ja kivilaatta kannatetaan terästappien avulla on suositeltava kiinnitystekniikka betonielementeissä. Huolimatta tutkimuksissa saaduista, varsin myönteisistä tuloksista, ei Norjassa ole yhtään elementtitekniikalla toteutettua luonnonkivijulkisivua. Stenkontoretin mukaan elementti- ja rakennusteollisuus suhtautuvat varovasti kivilaattapintaisten elementtien kehittämiseen.



Kuva 14. Norjassa käytettyjä kiinniketyyppejä.

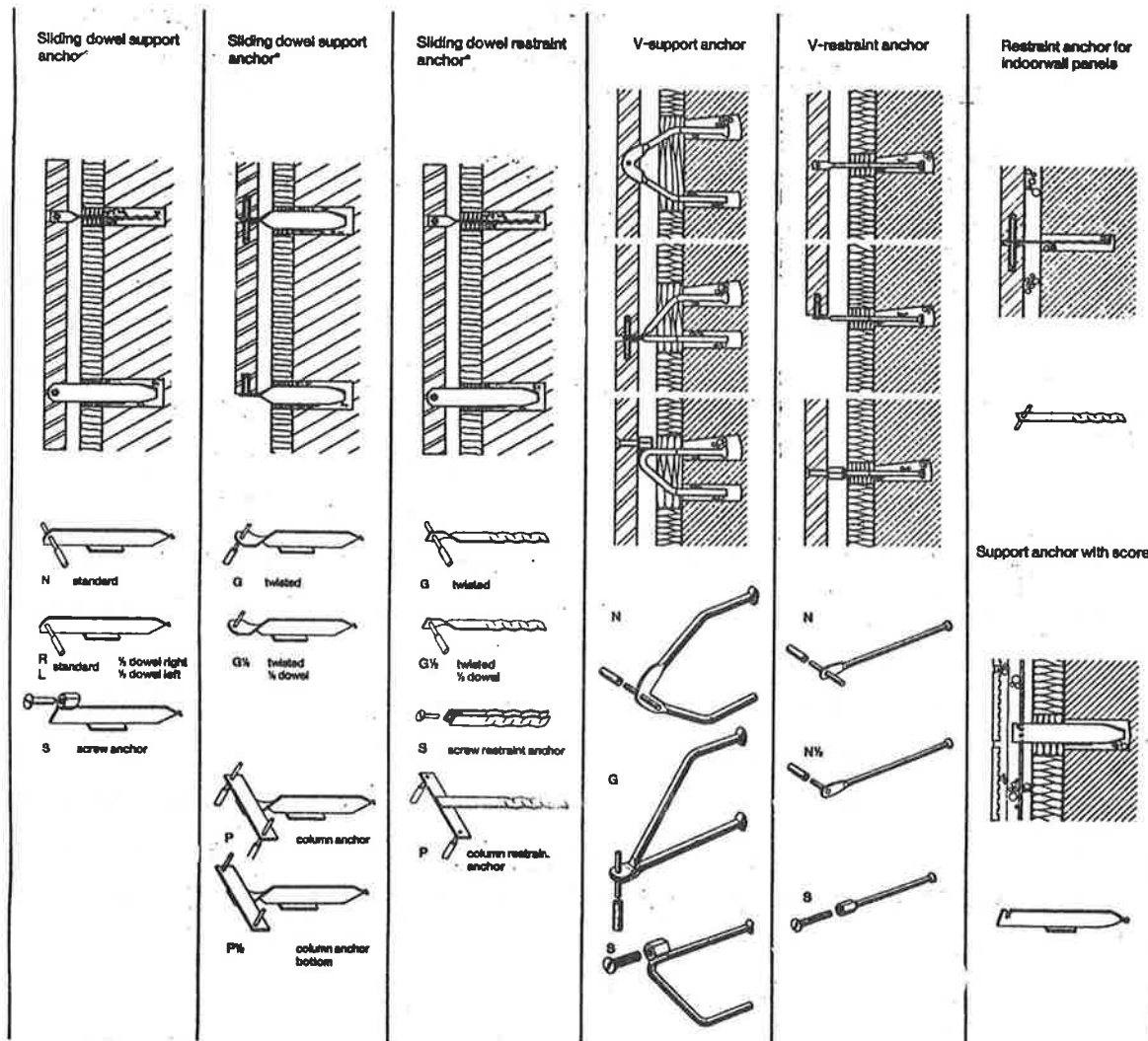
Kuvassa 14 kiinnikkeet A ja A' ovat vaakasaumaan sijoitettavia kannattimia, tyypit B ja B' säädettäviä vaakasaumaan sijoitettavia kannattimia, tyyppi C pystysaumakannatin, tyyppi D säädettävä pystysaumakannatin ja tyyppi E pysty- ja vaakasaumoissa käytettävä vaakaside.

3.4 Saksan liittotasavalta

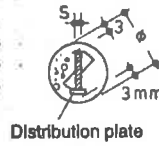
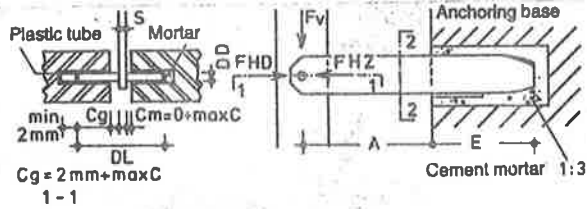
Länsi-Saksassa on julkisivun kivilaattaverhouksen suunnitteluohjeet annettu standardissa DIN 18515 /10/. Lisäksi Deutscher Naturwerkstein-Verband e.V. (DNV) on toimittanut suunnittelijoita varten useita, varsin perusteellisia paikallarakennettujen kivilaattarakenteiden suunnittelu- ja valmistusohjeita ja muuta alan kirjallisuutta. DNV toimittaa ohjemaateriaalia vain saksalaisille jäsenyhdistyksilleen, joten julkaisujen saanti suomalaisten käyttöön on varsin hankalaa.

DIN 18515:ssä esitetyt suunnitteluperiaatteet vastaavat varsin hyvin edellä käsiteltyjen Ruotsin ja Norjan käytäntöä. Toisin kuin Suomessa saksalaiset jälkijuottavat kiinnikkeet yleisesti betoni- tai tiilirunkoon. Kukin kivilaatta kannatetaan erikseen ja rakenteiden liikevarat huomioidaan kiinnikkeiden ja saumojen suunnittelussa (ks. myös luku 4). Yksittäisissä kohteissa on julkisivu tehty betonisista kuorielementeistä, joihin kivilaatat on kiinnitetty elementin valmistuksen yhteydessä. Yleensä elementtitekniikan käyttö kivijulkisivuissa on ollut varsin vähäistä.

Saksassa toimii muutamia kiinnikealan yrityksiä, joiden tuotevalikoimassa on kivilaattaverhouksen tyyppikiinnikkeet ja niiden mitoitusohjeet. Kuvassa 15 on esitetty erään laajalti tunnetun kiinnikkeiden suurtuottajan luonnonkivikiinnikkeitä. Kuvassa 16 on esimerkki saman yrityksen luonnonkivikiinnikkeiden mitoitusaulukosta.



Kuva 15. Saksalaisia kiinniketyyppejä /21/.



A max. Projection
 S Thickness of anchor web
 E min. Depth of penetration
 ϕ^* Bore diameter
 not type-examined
 DD: Pin diameter
 DL Length of pin
 C... Clearance width (max. C)
 FH... e.g. wind load

2-2

	TYPE	A mm	S mm	E mm	ϕ^* mm	
Fv = 200 N	GB 2.4 N	40	2.5	80	19	
	GB 2.5 N	50	2.5		2.1	
Max. perm. loading	GB 2.6 N	60	2.5		2.2	
	GB 2.7 N	70	2.5		2.4	
	GB 2.8 N	80	3	80	2.3	
FHD = 148 N	GB 2.9 N	90	3		2.4	
	GB 2.10 N	100	3		2.5	
FHZ = 352 N	GB 2.11 N	110	4		2.2	
	GB 2.12 N	120	4		2.3	
	GB 2.13 N	130	4	80	2.3	
	GB 2.14 N	140	4		2.4	
DD 5 mm	GB 2.15 N	150	5		2.4	
	GB 2.16 N	160	5		2.4	
DL 70 mm	GB 2.17 N	170	5		2.5	
	GB 2.18 N	180	5	80	2.5	
	GB 2.19 N	190	6		2.4	
	GB 2.20 N	200	6		2.4	
	max.C 7 mm	GB 2.16 N	160	5		2.4
		GB 2.17 N	170	5		2.5

	TYPE	A mm	S mm	E mm	ϕ^* mm	
Fv = 400 N	GB 4.4 N	40	2.5	80	2.6	
	GB 4.5 N	50	2.5		2.9	
Max. perm. loading	GB 4.6 N	60	2.5		3.2	
	GB 4.7 N	70	3		3.0	
	GB 4.8 N	80	3	80	3.2	
FHD = 296 N	GB 4.9 N	90	4		2.7	
	GB 4.10 N	100	4		2.9	
Max. perm. horizontal load	GB 4.11 N	110	4		3.0	
	GB 4.12 N	120	4		3.2	
	GB 4.13 N	130	4	80	3.3	
	GB 4.14 N	140	5		3.0	
DD 5 mm	GB 4.15 N	150	5		3.1	
	GB 4.16 N	160	5		3.1	
DL 70 mm	GB 4.17 N	170	5		3.2	
	GB 4.18 N	180	5	80	3.3	
	GB 4.19 N	190	6		3.1	
	GB 4.20 N	200	6		3.2	
	max.C 7 mm	GB 4.16 N	160	5		3.1
		GB 4.17 N	170	5		3.2

	TYPE	A mm	S mm	E mm	ϕ^* mm	
Fv = 1000 N	GB 10.4 N	40	4	80	3.4	
	GB 10.5 N	50	4	80	3.6	
Max. perm. loading	GB 10.6 N	60	5	80	3.4	
	GB 10.7 N	70	5	80	3.6	
	GB 10.8 N	80	5	80	3.8	
FHD = 740 N	GB 10.9 N	90	5	80	4.0	
	GB 10.10 N	100	6	80	3.7	
FHZ = 1760 N	GB 10.11 N	110	6	80	3.9	
	GB 10.12 N	120	6	80	4.1	
	GB 10.13 N	130	7	80	3.9	
	GB 10.14 N	140	7	80	3.9	
DD 5 mm	GB 10.15 N	150	7	80	4.1	
	GB 10.16 N	160	8	80	4.0	
DL 70 mm	GB 10.17 N	170	8	80	4.1	
	GB 10.18 N	180	8	80	4.2	
	GB 10.19 N	190	8	80	4.3	
	GB 10.20 N	200	8	80	4.4	
	max.C 5 mm	GB 10.16 N	160	8	80	4.0
		GB 10.17 N	170	8	80	4.1

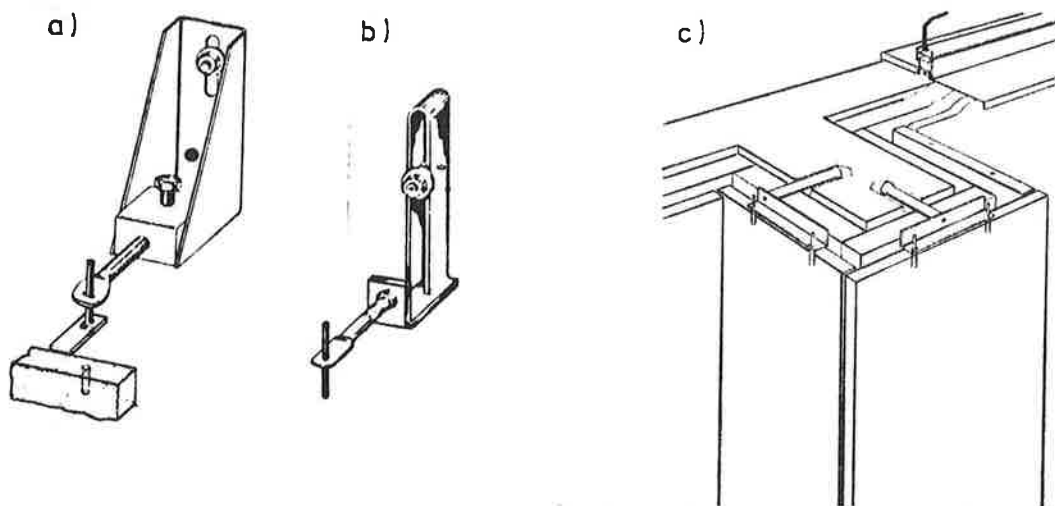
	TYPE	A mm	S mm	E mm	ϕ^* mm	
Fv = 1200 N	GB 12.4 N	40	5	80	3.2	
	GB 12.5 N	50	5	80	3.5	
Max. perm. loading	GB 12.6 N	60	5	80	3.7	
	GB 12.7 N	70	5	80	3.9	
	GB 12.8 N	80	6	80	3.7	
FHD = 888 N	GB 12.9 N	90	6	80	3.9	
	GB 12.10 N	100	6	80	4.1	
Max. perm. horizontal load	GB 12.11 N	110	7	80	3.9	
	GB 12.12 N	120	7	80	4.0	
	GB 12.13 N	130	7	80	4.1	
	GB 12.14 N	140	7	80	4.4	
DD 6 mm	GB 12.15 N	150	7	80	4.5	
	GB 12.16 N	160	8	80	4.3	
DL 75 mm	GB 12.17 N	170	8	80	4.4	
	GB 12.18 N	180	8	80	4.5	
	GB 12.19 N	190	8	85	4.6	
	GB 12.20 N	200	8	85	4.7	
	max.C 7 mm	GB 12.16 N	160	8	80	4.3
		GB 12.17 N	170	8	80	4.4

	TYPE	A mm	S mm	E mm	ϕ^* mm	
Fv = 1600 N	GB 16.4 N	40	5	90	3.5	
	GB 16.5 N	50	5	80	3.9	
Max. perm. loading	GB 16.6 N	60	5	80	4.2	
	GB 16.7 N	70	6	80	4.0	
	GB 16.8 N	80	6	80	4.2	
FHD = 1184 N	GB 16.9 N	90	6	80	4.6	
	GB 16.10 N	100	7	80	4.3	
Max. perm. horizontal load	GB 16.11 N	110	7	80	4.5	
	GB 16.12 N	120	8	80	4.3	
	GB 16.13 N	130	8	85	4.5	
	GB 16.14 N	140	8	85	4.6	
DD 6 mm	GB 16.15 N	150	8	85	4.9	
	GB 16.16 N	160	10	90	4.6	
DL 75 mm	GB 16.17 N	170	10	90	4.7	
	GB 16.18 N	180	10	90	4.8	
	GB 16.19 N	190	10	90	4.9	
	GB 16.20 N	200	10	90	5.0	
	max.C 5 mm	GB 16.16 N	160	10	90	4.6
		GB 16.17 N	170	10	90	4.7

	TYPE	A mm	S mm	E mm	ϕ^* mm	
Fv = 1800 N	GB 18.4 N	40	5	80	3.7	
	GB 18.5 N	50	5	80	4.1	
Max. perm. loading	GB 18.6 N	60	6	80	3.9	
	GB 18.7 N	70	7	85	3.9	
	GB 18.8 N	80	7	85	4.0	
FHD = 990 N	GB 18.9 N	90	7	80	4.5	
	GB 18.10 N	100	8	85	4.2	
Max. perm. horizontal load	GB 18.11 N	110	8	85	4.4	
	GB 18.12 N	120	8	85	4.5	
	GB 18.13 N	130	10	90	4.3	
	GB 18.14 N	140	10	90	4.4	
DD 6 mm	GB 18.15 N	150	10	100	4.5	
	GB 18.16 N	160	10	100	4.6	
DL 75 mm	GB 18.17 N	170	10	100	4.7	
	GB 18.18 N	180	12	100	4.5	
	GB 18.19 N	190	12	105	4.6	
	GB 18.20 N	200	12	105	4.7	
	max.C 5 mm	GB 18.16 N	160	10	100	4.6
		GB 18.17 N	170	10	100	4.7

Kuva 16. Saksalaisten kiinnikkeiden mitoitus taulukko /21/.

Kuvassa 17 on esitetty kolme uudentyyppistä saksalaista vaakasaumaan sijoitettavaa kiinniketyyppiä, joista mallit a) ja b) ovat varsin hyvin korkeussuunnassa säädettäviä.



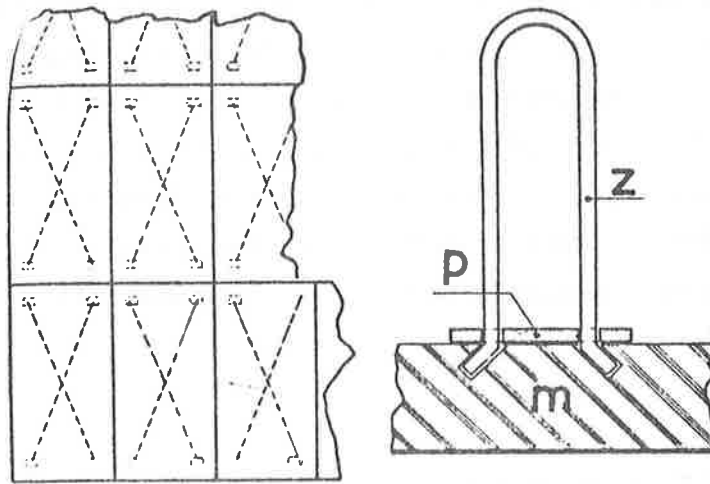
Kuva 17. Uusia Saksan liittotasavallassa kehitettyjä kivilaattaverhouksen vaakasaumakannattimia /21/.

3.5 Englanti

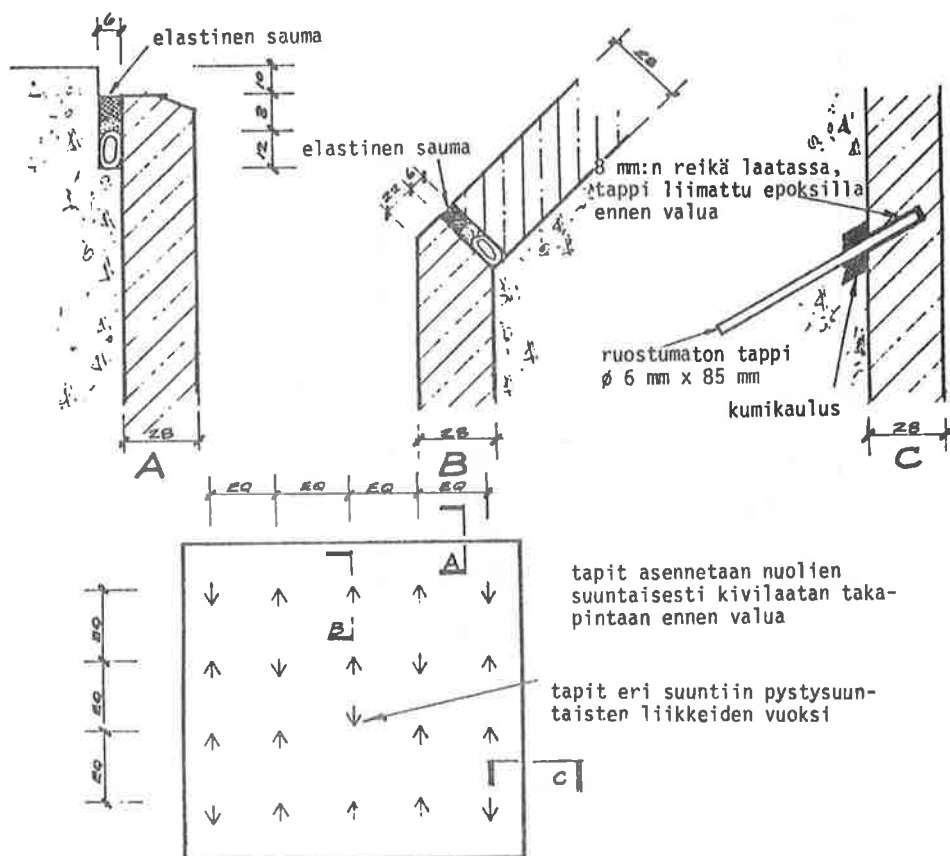
Kivilaattaverhouksen suunnittelu- ja valmistusohjeet on annettu standardissa CP 298:1972 Natural stone cladding (non loadbearing) /9/. Lisäksi Englannissa tehtyjen luonnonkivijulkisivujen rakenteita ja kiinnitysmenetelmiä on esitetty mm. kirjassa Stone in building /4/. Luonnonkivilaattapintaisia betonielementtejä on käytetty Englannissa 1960-luvulta alkaen. Kuvassa 18 on luonnonkivilaattojen kiinnityksissä käytetty erikoinen kiinnitystapa. Kuparinen kiinnike (z) asennetaan lukituslevyn (p) avulla kivilevyyn (m) ja kiinnikkeet sidotaan ristikkäin toisiinsa kuparilangoilla. Kiinnike ankkuroituu valussa betonikuoreen. Kivilaatan ja betonin välistä tartuntaa käytetään hyväksi kiinnityksessä.

Nykyisin on Englannissa yleinen kiinnitystekniikka, jossa kivilaatan ja betonin välinen tartunta poistetaan silikonikäsittelyn tai muovikalvon avulla. Kivilaatta kiinnitetään tällöin betonielementtiin pelkästään mekaanisesti, esim. kivilaatan takapintaan upotettavien ruostumattomien

terästappien avulla. Kivilaatat ja elementin yläreuna saumataan kimmoisella saumamassalla (kuva 19).



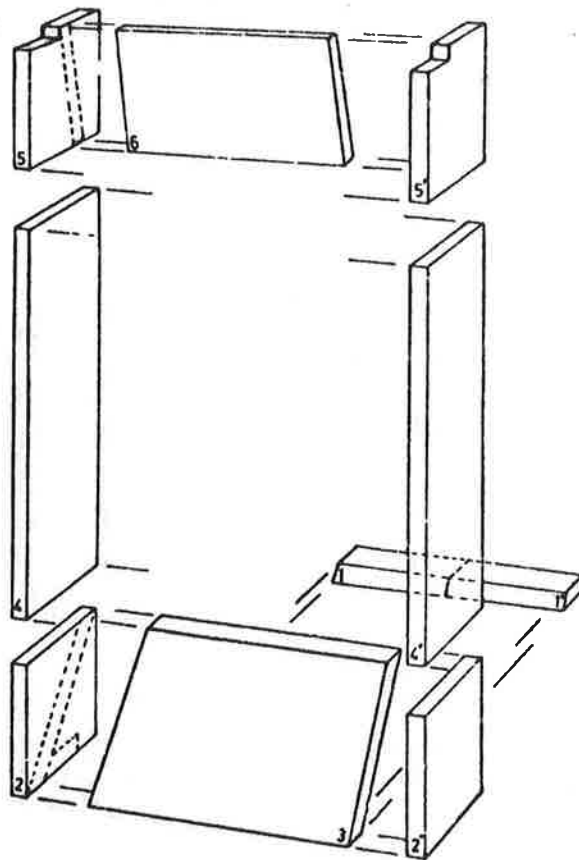
Kuva 18. Englantilainen kivilaatan kuparisidekiinnitys betonikuoreen /1/.



Kuva 19. Betonielementin pintalaattana käytetyn kivilaatan kiinnityisperiaate /8/.

3.6 Belgia

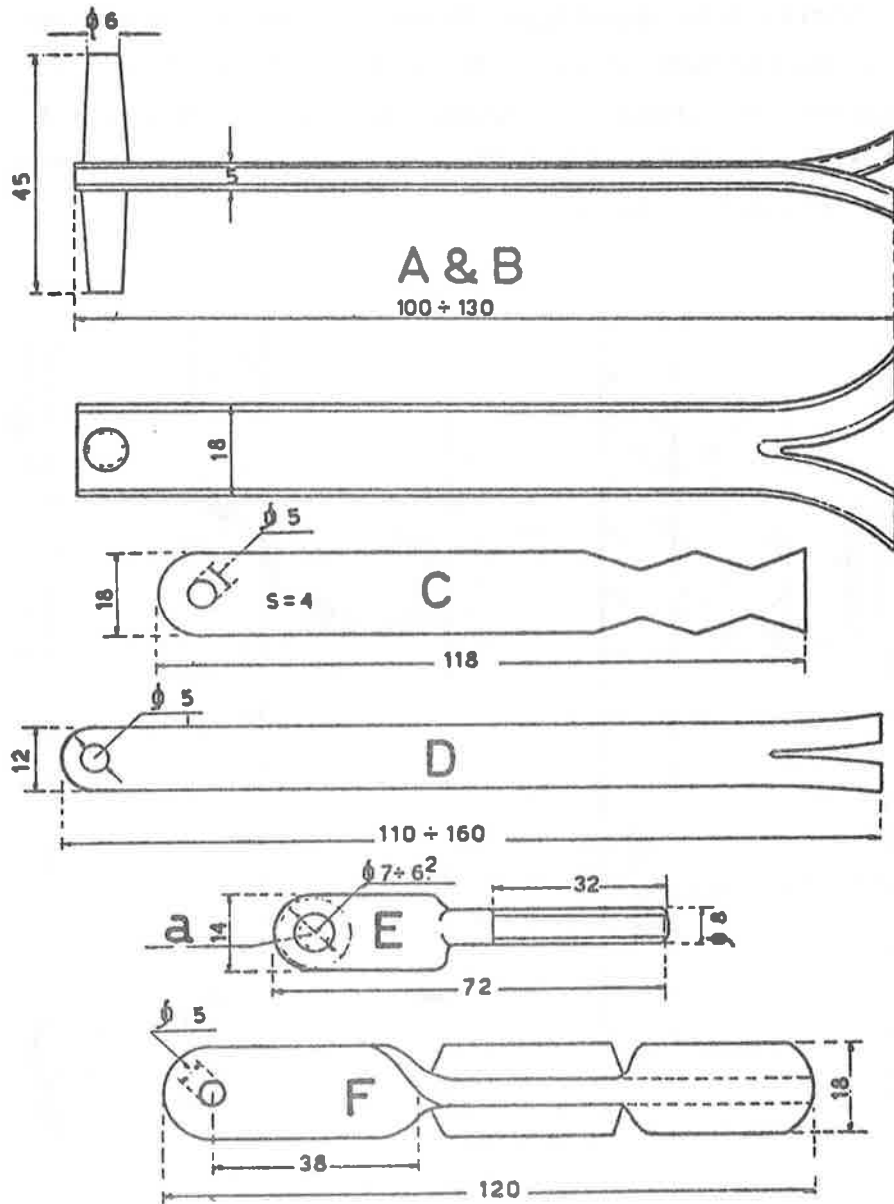
Belgiassa käytetään yleisesti samoja kiviverhousrakenteita ja kiinnitystapoja kuin muualla Euroopassa. Ohutlaattaverhouksen suunnitteluohjeet on annettu julkaisussa Les revêtements de facade en plaques de pierres naturelles /20/. Eräs mielenkiintoinen kokeilu on Belgiassa tehty vuonna 1974. Tällöin kehitettiin kuvassa 20 esitetty kuorielementti, missä luonnonkivilaatat on yhdistetty toisiinsa terästappien avulla. Elementti kiinnitetään teräskiinnikkeillä rakennuksen kantavaan runkoon. Tämän elementtityypin kehittämisen jälkeen sitä käytettiin myös käytännön rakennuskohteessa hyvällä menestyksellä.



Kuva 20. Belgialaisen luonnonkivilaatta-kuorielementin laattajako /23/.

3.7 Ranska

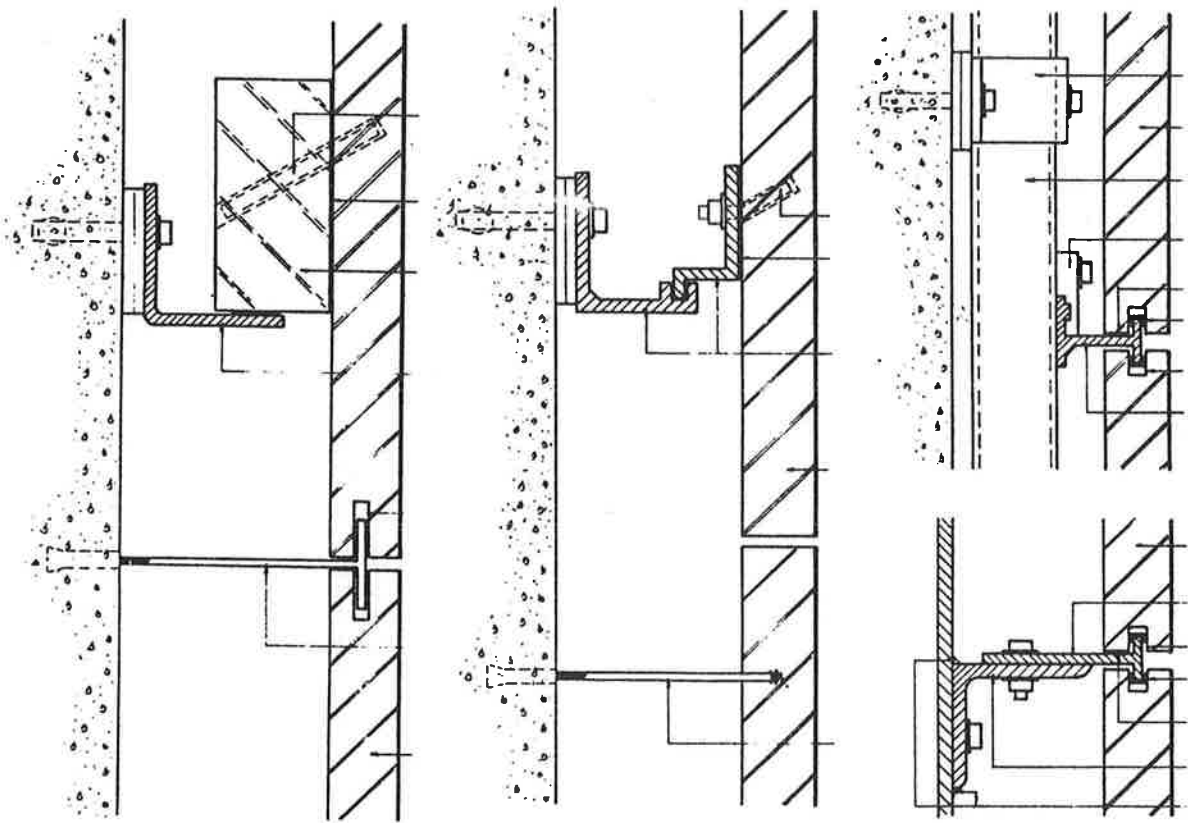
Ranskassa käytetyt rakenteet ja luonnonkivilaattojen kiinnitykset noudattavat perinteellisiä menetelmiä. Virallisia luonnonkiviverhouksen suunnitteluohjeita ei ole, mutta rakennusviraston tekninen osasto Centre scientifique et technique du Bâtiment on julkaissut ohjeita luonnonkiven käytöstä (CSTB) /1/. Ranskassa yleisesti käytettyjä tuuletetun luonnonkiviverhouksen ruostumattomia kiinnikkeitä on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Ranskalaisia kivilaattojen kiinnikkeitä. Materiaaleina alumiinipronssi ja messinki /1/.

3.8 Italia

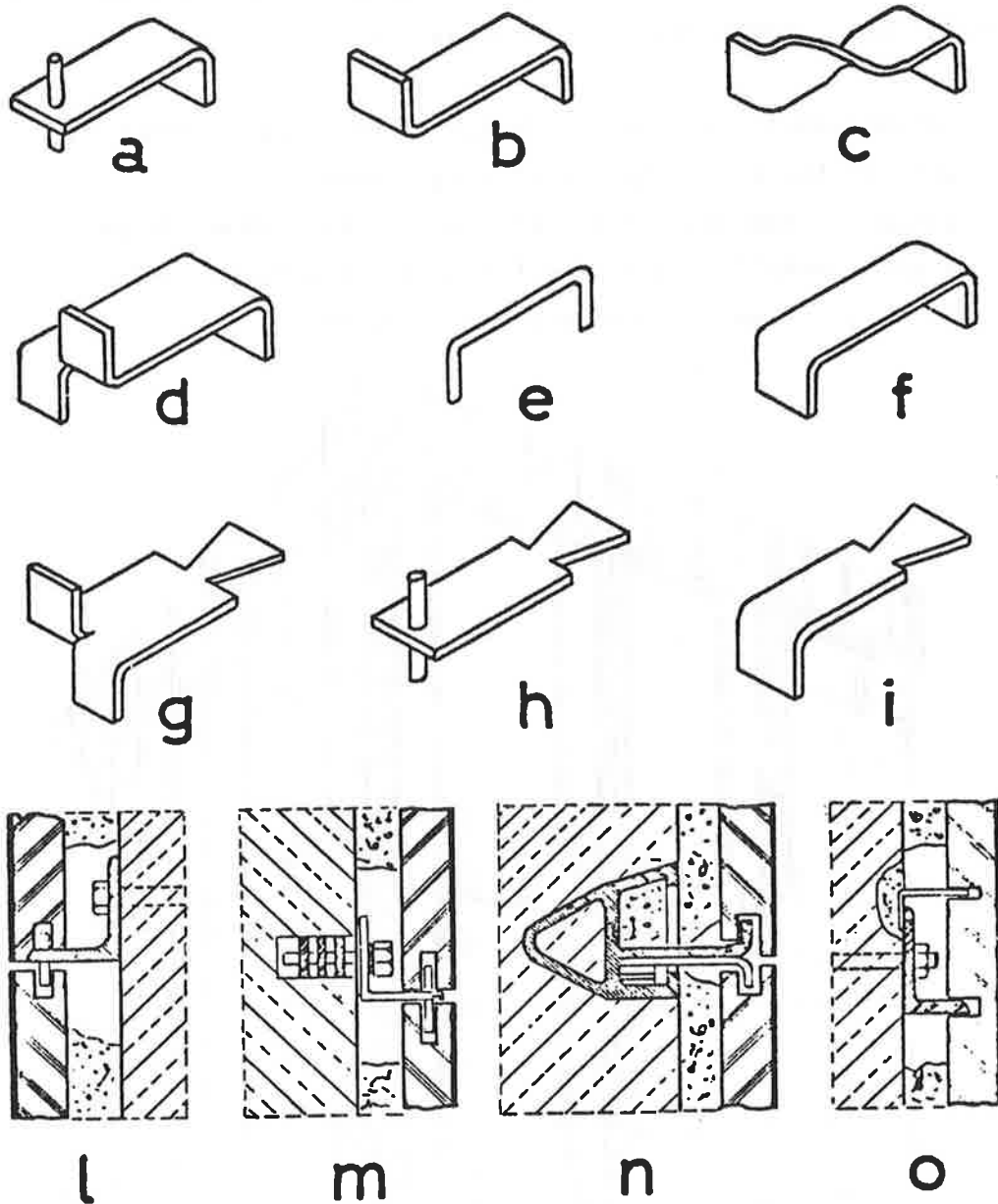
Italia on maailman luonnonkiven louhinnan ja jalostuksen johtava maa, jossa myös rakennuskiven käyttö on kautta aikojen ollut yleistä. Italiassa ei ole virallisia laattaverhouksen suunnitteluohjeita, mutta alan kirjallisuutta on varsin runsaasti. Useilla rakennusyrietyksillä on lisäksi omia kiinnitystekniikoita, joten käytössä on varsin suuri määrä erilaisia kiinnitysmenetelmiä. Kivilaattaverhousten rakenteet ja kannatusperiaatteet ovat viime aikoihin asti noudatelleet edellä käsiteltyjä vakiintuneita toimintamalleja. Viime vuosina on asennustyön helpottamiseksi kehitetty myös uusia, entistä nopeampia kivilaattaverhouksen kiinnitystekniikoita (kuva 22). Tyypillistä uusille menetelmille ovat pulttiliitokset, säädettävät kiinnikkeet ja usein jatkuvat, runkoon ankkuroitavat kiinnikeprofiilit.



Kuva 22. Uusia, lämpimän ilmaston maissa sovellettuja kiinnitystekniikoita /41/.

3.9 Yhdysvallat

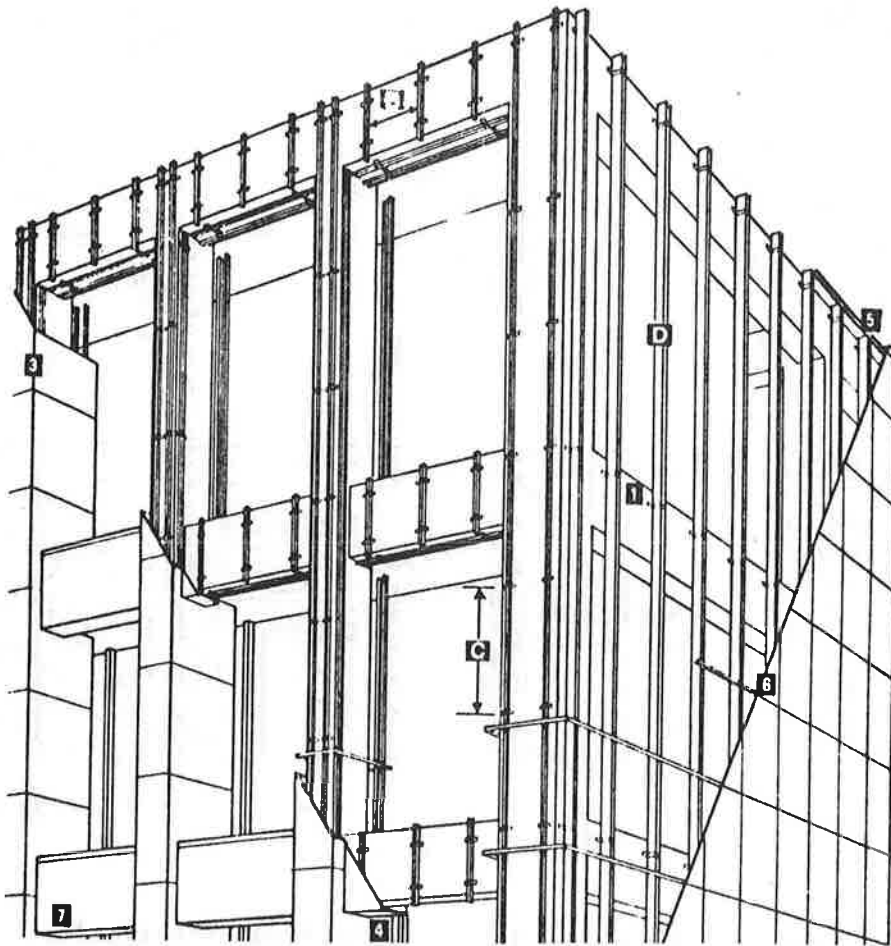
Yhdysvalloissa on perinteisesti käytetty vastaavia luonnonkiviverhosten rakenteita, työmenetelmiä ja kiinniketyyppejä kuin Euroopan maissa niin työmaalla kuin betonikuorielementtien valmistuksessa. Kuvassa 23 on muutamia Yhdysvalloissa yleisesti käytettyjä kiinnikkeitä /1/.



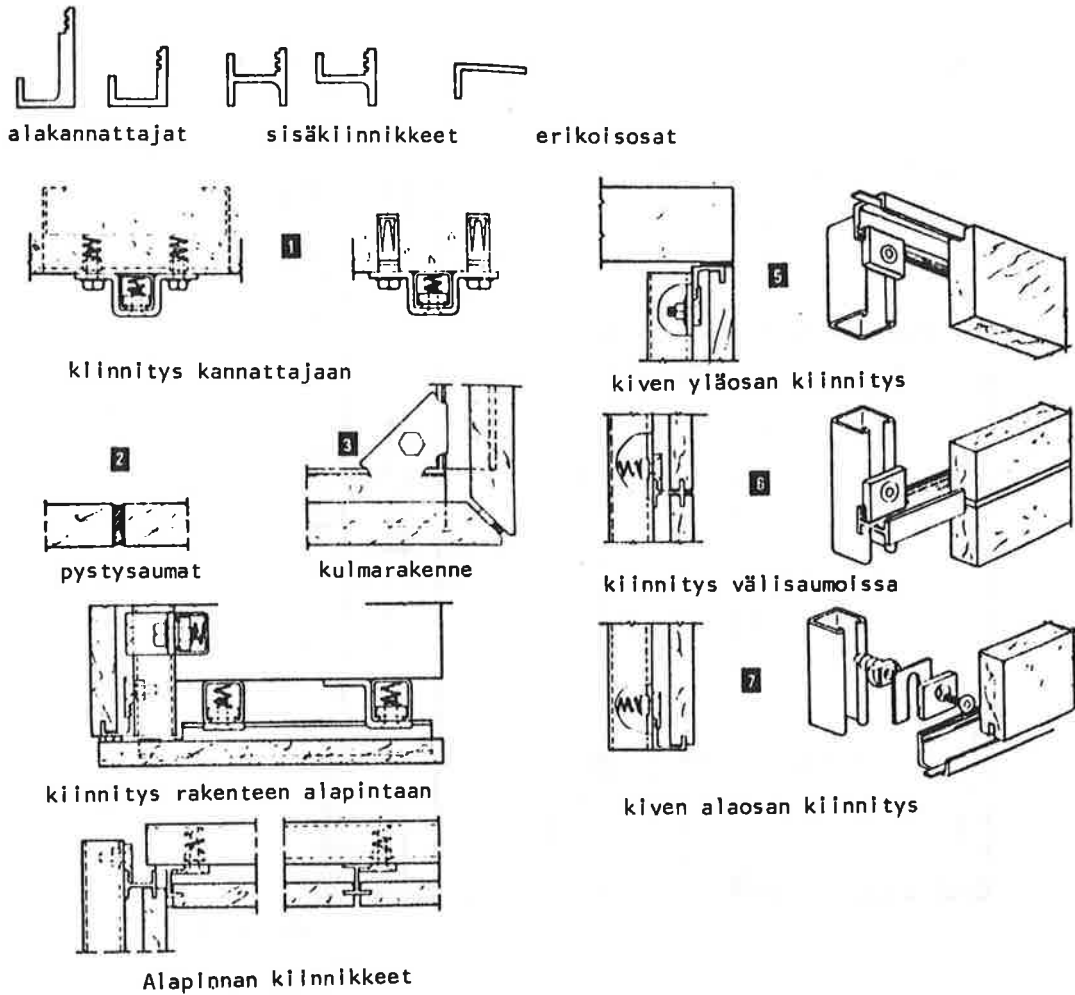
Kuva 23. Tyypillisiä Yhdysvalloissa käytettyjä kiinnikkeitä. Kiinnik-
keet a - i ovat vaakasiteitä ja l - o kannattimia /1/.

Kuvissa 24 ja 25 on esitetty uudentyyppinen kivilaattojen kiinnitysjärjestelmä. Siinä rakennuksen runkoon ankkuroidaan pystykiskot, joihin korkeussuunnassa säädettävät vaakakannattimet kiinnitetään. Kiinnitystä varten on kivilaattojen ylä- ja alareunoihin sahattu urat koko kiven pituudelle. Tavallisesti käytettyjä metalleja ovat alumiini ja galvanoitu tai ruostumaton teräs. Menetelmää on käytetty lähinnä lämpimän ilmaston alueella, missä lämmöneristysvaatimukset eivät rajoita ulkoverhousteknikan kehittämistä. Perinteiseen paikallarakentamistekniikkaan verrattuna järjestelmässä on seuraavia eroja:

- huomattavasti vähemmän kiinnityksiä rakennuksen runkoon,
- yksinkertainen ja nopea kivilaatan asennus,
- pysty- ja vaakasuuntainen kivilaatan säätömahdollisuus,
- enemmän metallia (joskin halvempaa) kiinnityksessä ja
- ei hitsaus- tms. työstötarvetta seinällä.



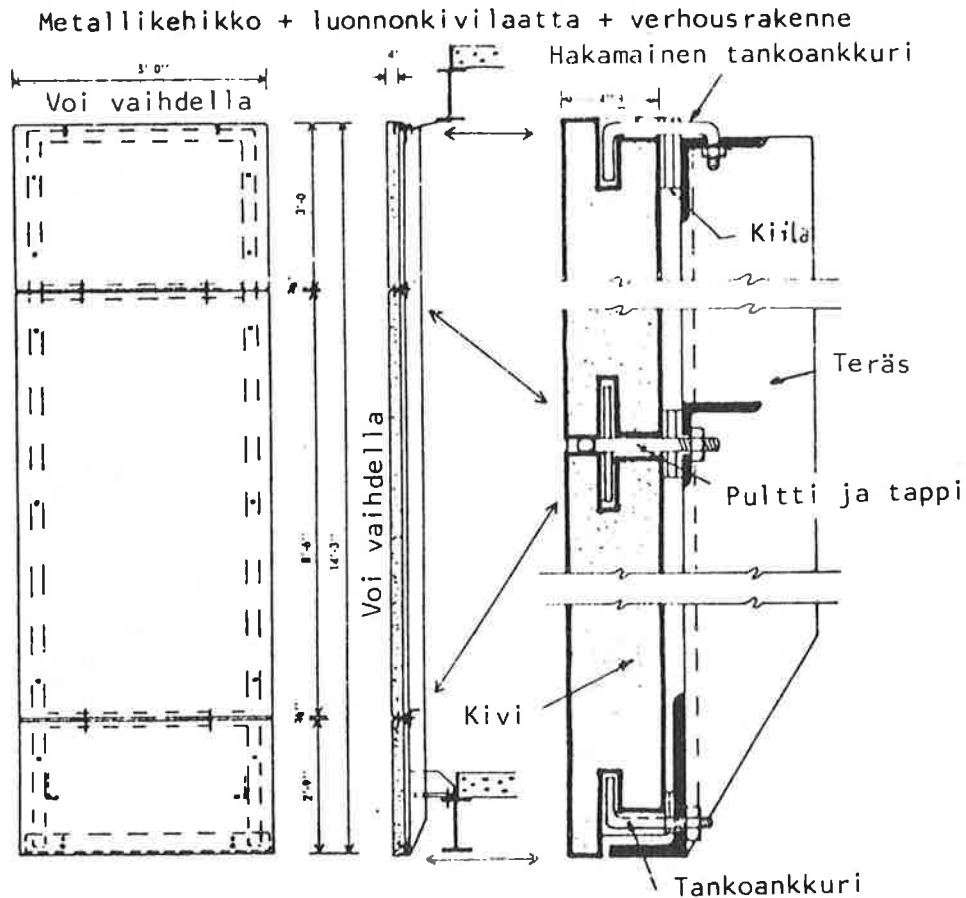
Kuva 24. Uudentyyppinen nopea ja varsin yksinkertainen paikallarakennetun luonnonkiviverhouksen kiinnitysjärjestelmä /14/.



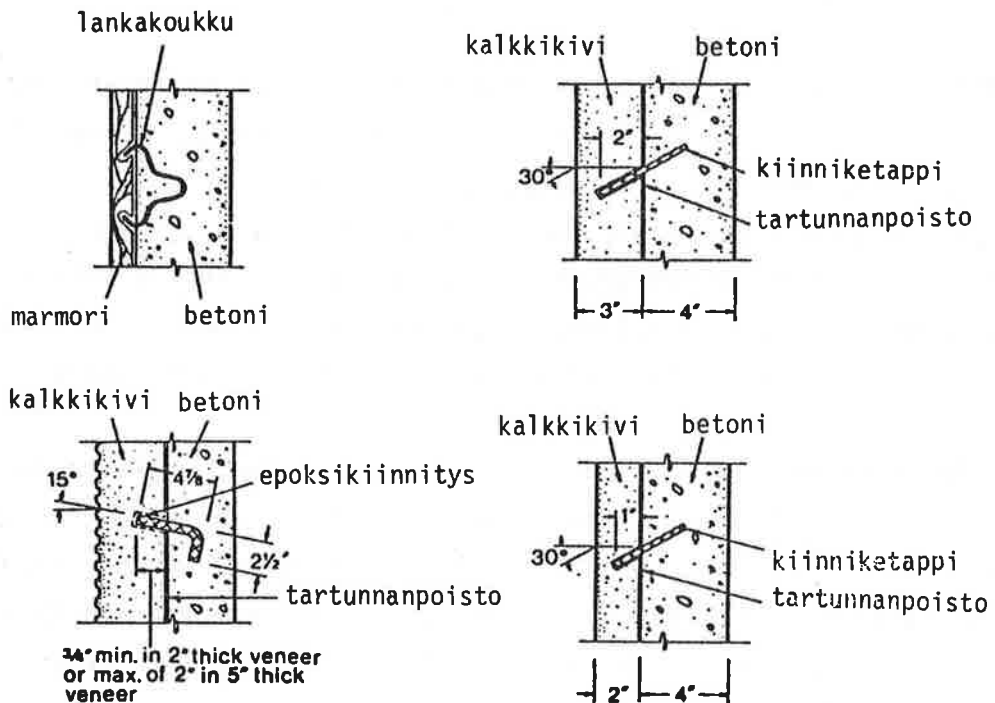
Kuva 25. Kuvan 24 järjestelmän kiinnitysdetaljeja /14/.

Yhdysvalloissa on julkisivuverhouksissa käytetty viime vuosina kasvava määrä myös kivilaattapintaisia kuorielementtejä. Vaihtoehtoina ovat joko teräs- tai betonirunkoiset kuoret. Teräsrunkoisiin kuoriin kivilaa-
 tat asennetaan jälkikiinnityksenä (kuva 26). Betonielementteihin kivet kiinnitetään valun yhteydessä. Teräsrunkoelementin etu betoniin verrattuna on keveys. Betonielementti puolestaan on yleensä edullisempi, etenkin jos teräsrunkoelementissä käytetään ruostumatonta terästä /39/.

Betonielementeissä suositaan kivilaatan ja betonin välisen tartunnan poistamista. Vaihtoehtoisina menetelminä käytetään kiven takapinnan sivelyä tartunnan estävällä aineella tai muovikelmun tms. sijoittamista kivilaatan ja betonikuoren väliin. Kivilaatat kannatetaan tällöin tavallisesti kiven takapintaan kiinnitettävillä, betoniin ankkuroituvilla koukuilla tai tapeilla (kuva 27).



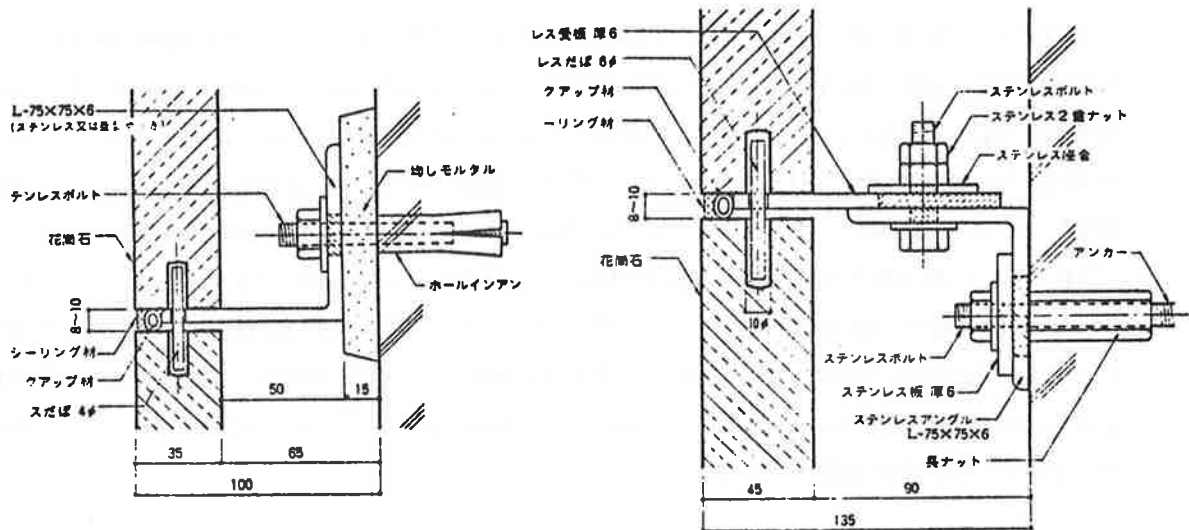
Kuva 26. Kivilaattapintainen teräsrunkoinen elementti /39/.



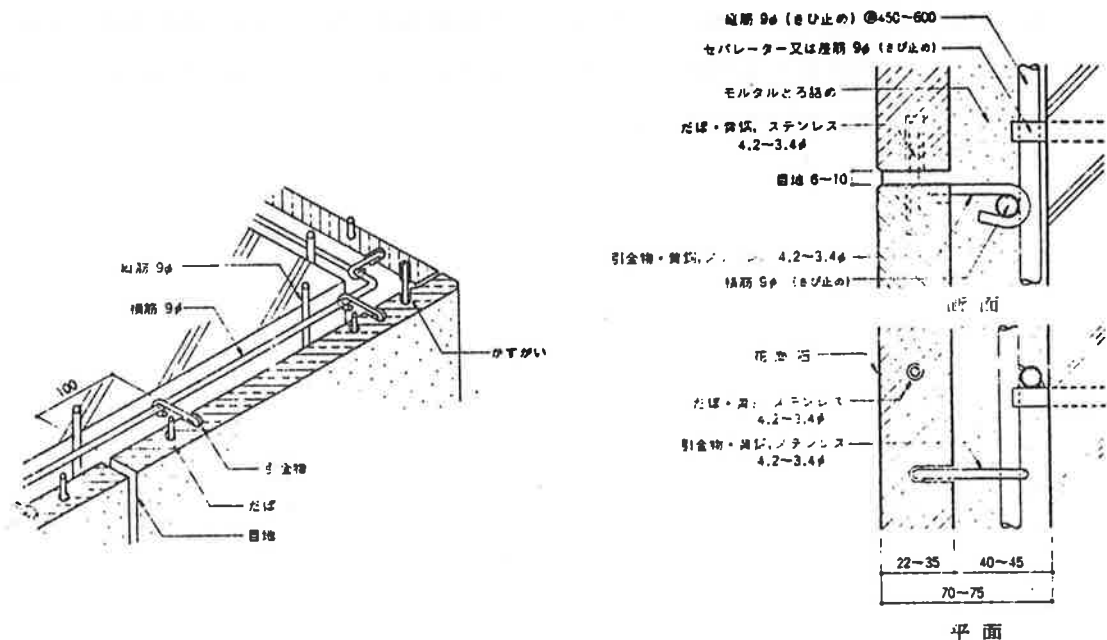
Kuva 27. Kivilaatan vaihtoehtoisia kiinnitystapoja betoni-elementtiin /39/.

3.10 Japani

Japanilaisista luonnonkivirakenteista ja kivilaattojen kiinnityksistä betonirunkoon on esimerkit kuvissa 28 ja 29. Kuvassa 28 on kantavia kiinnikkeitä ja kuvassa 29 on esitetty itsekantavan taustavaletun kivi-laattaverhouksen sitominen runkoon. Tiettävästi Japanissa on käytetty jossain määrin myös kivilaattapintaisia betonielementtejä /15/.



Kuva 28. Japanilaisia kivilaattojen kannattimia /15/.



Kuva 29. Esimerkki itsekantavan kuoren vaakasidonnasta /15/.

3.11 Yhteenveto eri maista

Kaikissa edellä tarkastelluissa maissa on kivilaattaverhoukset viime vuosiin saakka asennettu pääsääntöisesti työmaalla. Elementtirakenteiden käyttö on eräissä maissa lisääntynyt, mutta yleisesti ottaen elementtitekniikan merkitys luonnonkiviverhouksissa on toistaiseksi ollut varsin vähäinen.

Paikalla rakennetun kiviverhouksen kannatustavat, kiinnitysmenetelmät ja kiinniketyypit ovat eri maissa olleet perinteisesti varsin samanlaiset, joskin myös omia erikoisrakenteita ja -kiinnikkeitä on käytetty. Kiinnikkeiden yleisin materiaali on ollut ruostumaton teräs, jonka seossuhteet ja osa-aineet ovat hieman vaihdelleet, mutta muitakin materiaaleja, kuten kevytmetallia ja galvanoitua terästä, on kokeiltu ja eräissä tapauksissa myös hyväksytty käyttöön (ks. 4.3.2). Kantavan rungon varaan ripustettavien laattojen koot vaihtelevat tavallisesti 0,5 -1,0 m² ja paksuudet ovat yleensä 30 -50 mm. Itsekantavien kiviverhousien paksuus on yleensä vähintään 70 mm.

Vuosien mittaan tapahtunutta kiinnitys- ja rakenneteknistä kehitystyötä ovat ohjanneet vahvasti paikalliset olosuhteet. Paikallarakentamisen menetelmiä on kehitetty varsin voimallisesti erityisesti lämpimän ilmaston maissa, missä lämmöneristysvaatimukset ja sää eivät sanottavasti aseta rajoituksia kehitystyölle, ja paikallarakentaminen on perinteisesti vallitseva rakennustapa.

4 PAIKALLA RAKENNETUN KIVILAATTAVERHOUKSEN RAKENNESUUNNITTELU

4.1 Yleistä

Paikalla rakennetulla verhouksella tarkoitetaan tässä kivilaatoista tehtyä tuuletettua julkisivuverhousta. Laatat kiinnitetään rakennuksen runkoon yksitellen neljästä pisteestä. Kivilaattaverhous suunnitellaan niin, että rakenteiden liikkeet pääsevät tapahtumaan verhousta kuormittamatta. Muodonmuutoksien edellyttämä liikevara järjestetään kivilaattojen saumoihin. Tarvittaessa rakenteessa käytetään lisäksi erillisiä liikuntasauvoja. Rakenteet mitoitetaan normaalisti kivilaatan omalle painolle ja tuulikuormalle. Seinän alaosissa verhousta kuormittavat lisäksi liikenteen aiheuttamat iskut ja kolhut.

Suomessa luonnonkivilaattaverhous suunnitellaan yleisesti sateenpitäväksi. Laattojen väliset saumat tiivistetään kimmoisella saumamateriaalilla. Tiivispintaisen ulkoseinän rakennusfysikaalisen toimivuuden varmistamiseksi rakenne tuuletetaan kivilaatan taakse sijoitettavan yhtenäisen, n. 30 mm:n ilmaraon avulla.

Seuraavassa esitetään ulkoseinän kivilaattaverhouksen suunnittelun ja mitoituksen periaatteita. Tarkastelu perustuu soveltuvilta osin länsisaksalaisiin /10/, ruotsalaisiin /44/ ja englantilaisiin /9/ suunnitteluohjeisiin. Esitetyt mitoitukset perustuvat sallittujen jännitysten menetelmään, jota sovelletaan yleisesti kivilaattaverhousten mitoituksessa.

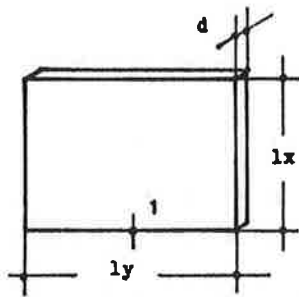
4.2 Kivilaatan mitoitus

4.2.1 Mitoitusperiaatteet

Verhouksen rakenteellisen suunnittelun lähtökohtana ovat yleensä rakennussuunnittelussa valittu laattajako, kivilaji ja pintakäsittely. Kivilaatalta vaadittava paksuus d_{min} tarkistetaan laatan taivutusvetolujuuden ja kiinniketappireikien lohkeamiskapasiteetin suhteen. Vaadittava varmuus murtumiselle on kummassakin tapauksessa yleensä kolminkertainen. Jos kivilajin lujuusominaisuuksia ei tunneta, ne voidaan testata standardimenetelmällä /25/.

4.2.2 Mitoitus taivutukselle

DIN 18515:n mukaan oletetaan kivilaatta taivutuslujuutta laskettaessa nurkistaan vapaasti kiinnitettyksi. Mitoittavat kuormat ovat laatan omapaino ja tuulikuorma. Saksalaisessa menetelmässä /3/ tarkastellaan vaakasuuntaisissa laatoissa taivutusjännitystä σ_t alareunan keskipisteessä (kuva 30).



Kuva 30. Vaakasuuntaisen verhouslaatan taivutusvetojännityksen tarkastelupiste 1.

Taivutusvetojännitykselle pisteessä 1 pätee

$$\sigma_t = \sigma_w + \sigma_g, \quad (1)$$

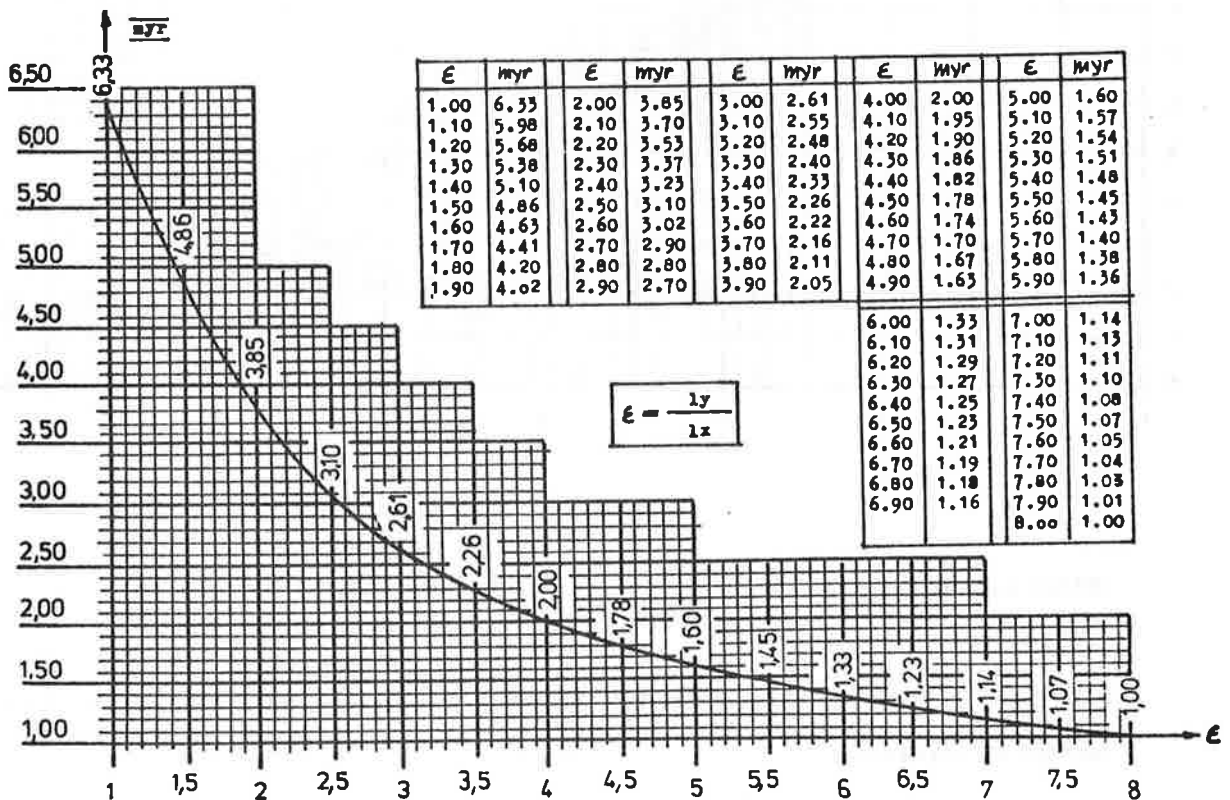
jossa σ_w on tuulikuormasta aiheutuva taivutusvetojännitys pisteessä 1 (saadaan kaavasta (2)) ja σ_g laatan omasta painosta aiheutuva taivutusvetojännitys pisteessä 1 (saadaan kaavasta (3)).

$$\sigma_w = \frac{6 \cdot Wk \cdot 10^{-3}}{myr \cdot d^2}$$

(2)

missä Wk on tuulikuorma (kN),
 myr momenttiluku (saadaan taulukosta 2) ja
 d laatan paksuus (m).

Taulukko 2. Kaavan (2) momenttiluku myr.

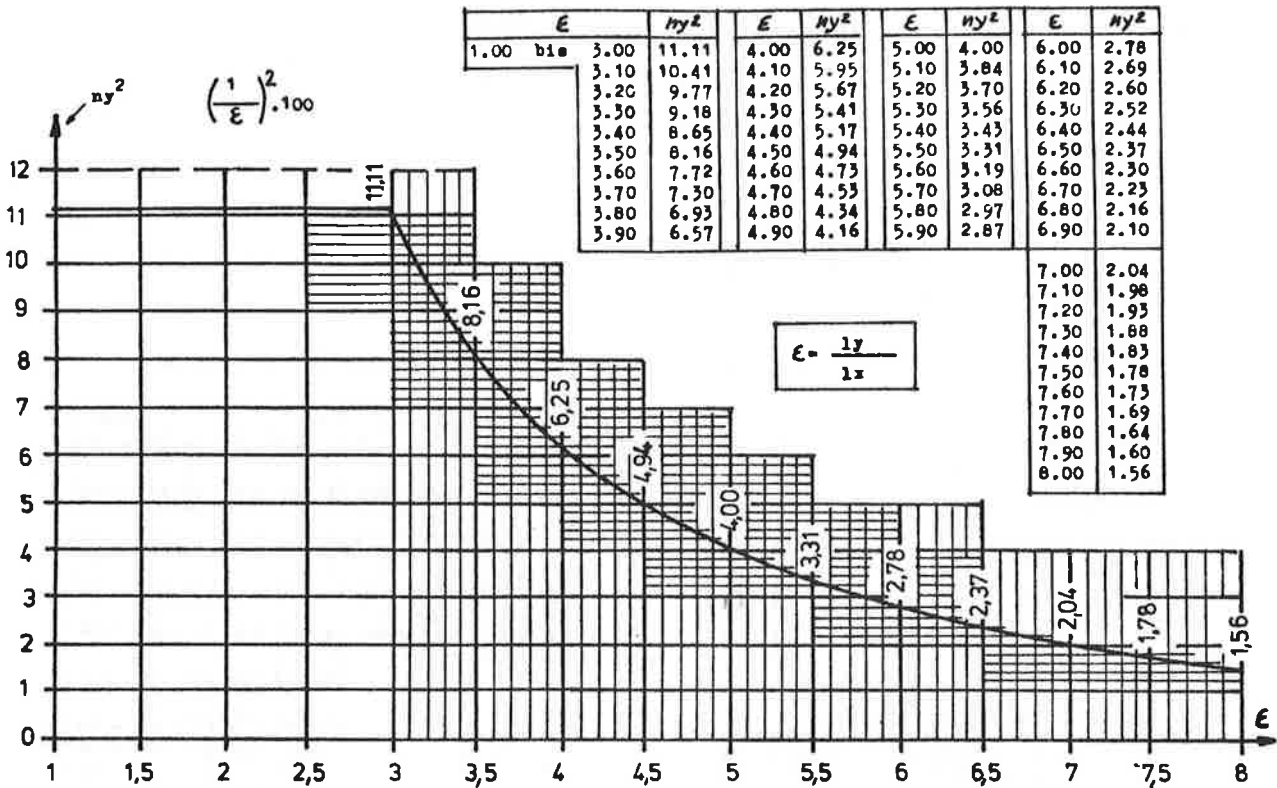


$$\sigma_g = \frac{7,5 \cdot G \cdot 10^{-2}}{ny^2 \cdot ly \cdot d}$$

(3)

missä G on laatan omapaino (kN),
 ny² momenttiluku (taulukosta 3),
 ly laatan pituus (m) ja
 d laatan paksuus (m).

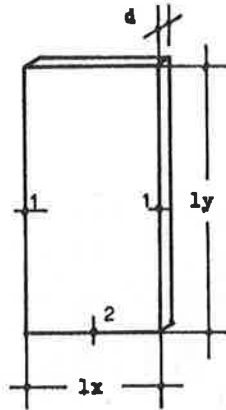
Taulukko 3. Kaavan (3) momenttiluku ny^2 .



Mitoitusehto on $\sigma_t \leq \sigma_{tsall}$

Liitteessä 2 on edellä esitetyn teorian mukainen vaakasuuntaisen laatan esimerkkilaskelma.

Pystysuuntaisten laattojen taivutusjännityksiä tarkastellaan alareunan keskipisteen lisäksi pystyreunojen keskipisteissä (kuva 31).



Kuva 31. Pystysuuntaisen verhouslaatan taivutusvetojännitysten tarkastelupisteet.

Kuvan 31 pisteessä 1 pätee

$$\sigma_{t1} = \frac{6 \cdot W_k \cdot 10^{-3}}{m_{yr} \cdot d^2} \quad (4)$$

Vastaavasti pisteessä 2 saadaan taivutusvetojännitys kaavasta

$$\sigma_{t2} = \sigma_{w2} + \sigma_{g2} \quad (5)$$

Kaavassa

$$\sigma_{w2} = \frac{6 \cdot W_k \cdot 10^{-3}}{m_{xr} \cdot d^2}, \quad (6)$$

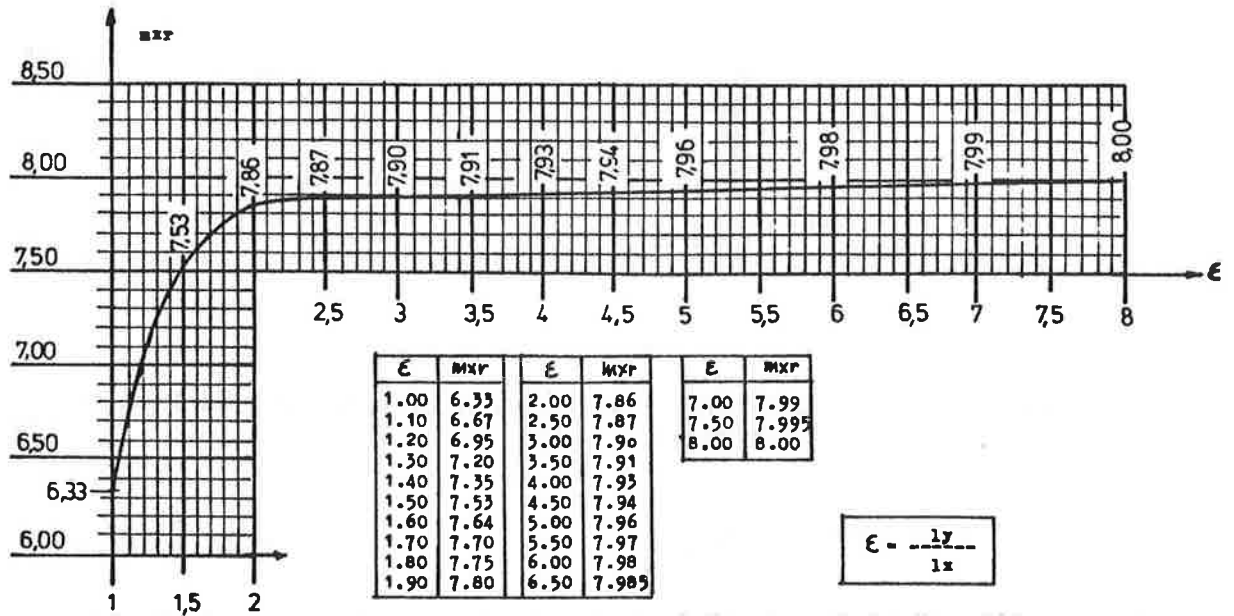
jossa m_{xr} on momenttiluku (taulukosta 4).

Oman painon osuus saadaan kaavasta

$$\sigma_{g2} = \frac{6,8 \cdot G \cdot 10^{-3}}{l_x \cdot d} \quad (7)$$

Mitoitusehto on $\sigma_{tmax} = \sigma_{tsall}$

Taulukko 4. Kaavan (6) momenttiluku m_{xp} .



4.2.3 Mitoitus kiinnikkeen tappikuormalle

Kivilaatan kantavien kiinnikkeiden kiinnityskohtissa kuormittaa kivilaattaa tappikuorma R (kuva 3?), jolle pätee

$$R = \sqrt{F_g^2 + F_w^2} \quad , \quad (8)$$

jossa F_g on $G/2$ ja

$$F_w = W_k/4$$

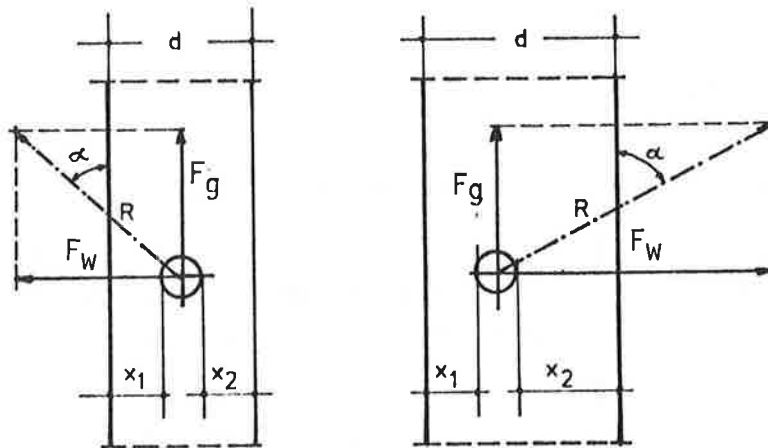
Resultantin R suuntakulman α tangenti saadaan kaavasta

$$\tan \alpha = \frac{F_w}{F_g} \quad (9)$$

Mitoitusehto on $R \leq R_{sall}$

$$R = \frac{R_{sall}}{3} \quad , \quad (10)$$

missä $R_{t \min}$ on alin tappilohkaisutestissä tietyllä kiinnitysreiän reunaetäisyydellä saatu lohkaisuvoiman arvo.

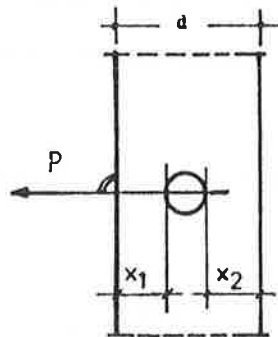


Kuva 32. Tappikuorman R muodostuminen kantavan kiinnikkeen kiinnityskohdassa. Tavallisesti $X_1 = X_2$.

Vaakasiteiden kiinnityskohdissa kivilaattaa kuormittaa kuvassa 33 esitetty tappikuorma P, jolle pätee

$$p = \frac{Wk}{4} \quad (11)$$

Mitoitusehto on $P \leq P_{sall}$



Kuva 33. Tappikuorma P vaakasiteen kiinnityskohdassa. Tavallisesti $X_1 = X_2$.

Liitteessä 2 on esitetty tappikuorman laskentaesimerkki.

4.2.4 Luonnonkivilaattojen mitoitussarvoja

Taulukkoon 5 on koottu tavallisimpien kivilajien mitoituksessa tarvittavia ominaisarvoja.

Taulukko 5. Luonnonkivien materiaaliominaisuuksia /18, 25, 28/.

Kivilaji	Tiheys	Taivutusvetolujuus (MPa)	Tappireiän lohkaissu kapasiteetti 10 mm:n reunaetäisyydellä (kN)	Kimmoduuli $\times 10^{-2}$ (MN/m ²)
Graniitti	2.6 - 2.7	10 - 20	4.5 - 5.5	300 - 600
Marmori	2.5 - 2.7	5 - 15	3.0 - 4.0	500 - 800
Kalkkikivi	2.3 - 2.5	4 - 10	2.5 - 3.5	
Liuske	2.5 - 2.8	10 - 35	2.5 - 3.5	100 - 800
Hiekkakivi	2.4 - 2.6	3 - 15	1.8 - 2.0	80 - 200
Vuolukivi	3.0	14 - 18	2.0 - 3.0	200 - 400

Kivilaattojen pinta-alat julkisivuissa ovat normaalisti 0,25 - 1,0 m². Poikkeustapauksissa voidaan käyttää suurempiakin laattoja. Kiviteollisuuden mukaan tekniset ja taloudelliset näkökohdat huomioon ottaen rakennuskivilaattojen sopivimmat koot julkisivuissa ovat taulukon 6 mukaiset.

Taulukko 6. Luonnonkivilaattojen sopivia mittoja eri kivilajeilla /24, 37, 38/.

Kivilaji	Pinta-ala (m ²)	Sivun pituus (m)	Paksuus (mm)
Graniitti	0.4 - 0.8	0.4 - 1.2	20 - 40
Marmori	0.4 - 0.8	0.4 - 1.2	30 - 40
Liuskeet	0.1 - 0.7	0.1 - 0.4	20 - 60

Ruotsalaiset edellyttävät, että kiven pidemmän sivun suhde lyhyempään on enintään 3 /44/. Saksalaiset suosittavat vastaavan suhteen ylärajaksi lukua 4 /3/. Kivilaattojen suositeltavat paksuudet julkisivuissa ovat eri maissa samaa suuruusluokkaa. RYL-81:ssä /36/ annetut paksuuden ohje-arvot on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Luonnonkivilaattojen suositeltavat paksuudet (mm) ulkopuo-
lisissa rakennusosissa /36/.

Rakenneosa	Lohkopinnat		Hakautetut tai poltetut pinnat				Sileät pinnat			
	Liuske (reunan paksuus)	Hiekkakivi	Granitti	Marmori	Kalkkikivi	Granitti	Marmori	Liuske	Hiekkakivi	
Julkisivuverhous	30	60...80	30...40	30...40	40	30	30	30	30...40	
Julkisivun jalusta (sokkeli)	30	60...80	30...40	30...40	40	30	30	30	30...40	
Terassin, parvekkeen tms. päällistys	15...60	60...80	30...40	30...40	40	30...40	-	15...30	30...40	
Portaanpäällistys:										
etenemät	30...40	60...80	30...40	30...40	40	40	-	30	40	
nousut	20...30	50...60	30...40	30...40	40	30	-	20...30	30	
Jalkalistat tms.	20...30	50...60	30...40	30...40	40	30	-	20...30	30	

RYL-81 määrittelee ohutkivilaattojen toleranssivaatimukset niin, että kivilaattojen mitoissa saa olla ainoastaan sellaisia poikkeamia, että laatat voidaan kiinnittää asiakirjojen määräysten mukaisesti. Verhoukseen käytettävien luonnonkivilaattojen paksuudessa saa olla ainoastaan sellaisia poikkeamia, jotka eivät huononna laattojen takana olevan tuuletusvälin toimintaa. Ruotsin suunnitteluohjeessa /44/ annetaan sileiden laattojen paksuuden enimmäispoikkeamaksi nimellimitasta + 5 mm ja karkeapintaisten kivien poikkeamaksi vastaavasti + 10 mm. Käytännössä sivumittojen mittatarkkuus on yleensä vähintään ± 2 mm. Saksalainen laatan sivumitan tarkkuusvaatimus on sivun pituuteen 60 cm asti ± 1 mm ja tätä pidemmällä sivuilla ± 2 mm. Pinnan tasaisuusvaatimus on ± 1 mm /35/.

Valmiille kivilaattapinnalle RYL-81 antaa sileiden, samassa tasossa olevien viereisten hiottujen laattojen hammastukselle ohjeellisen arvon 0,5 - 1,0 mm. Karkeampipintaisille laatoille annetaan vastaavasti 2,0 - 3,0 mm:n suurin sallittu hammastus /36/.

4.3 Kiinnitysten suunnittelu ja mitoitus

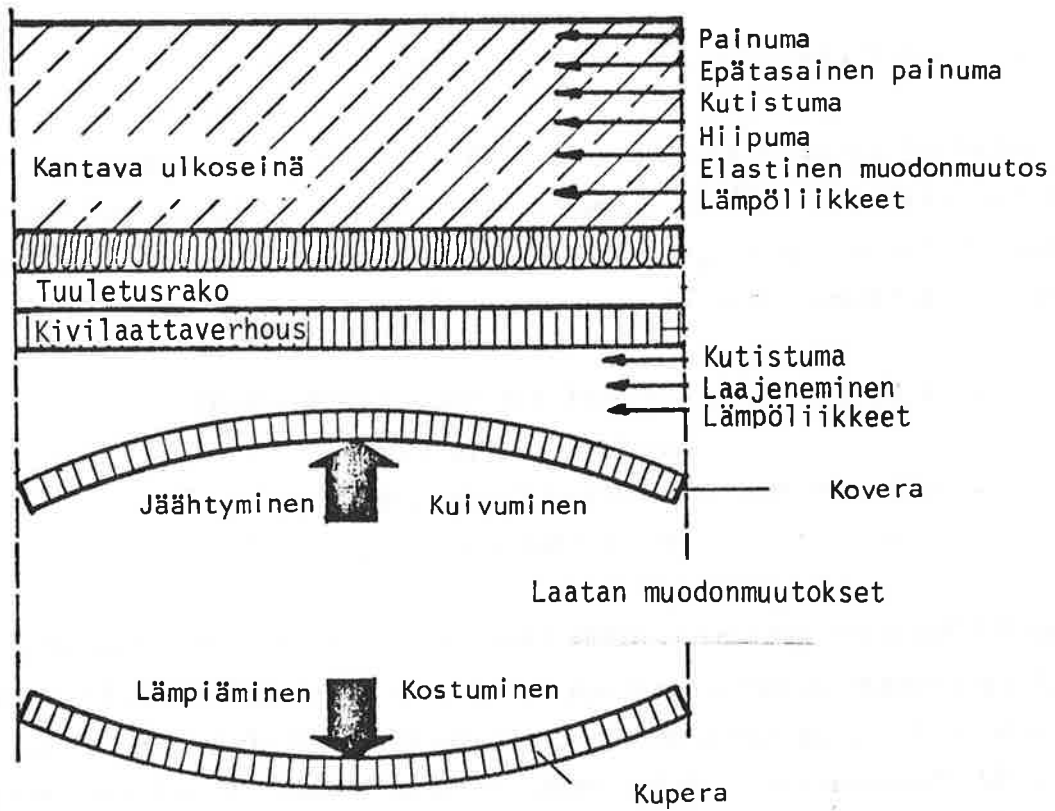
4.3.1 Suunnitteluperiaatteet

Kivilaattojen kiinnikkeet voidaan jakaa

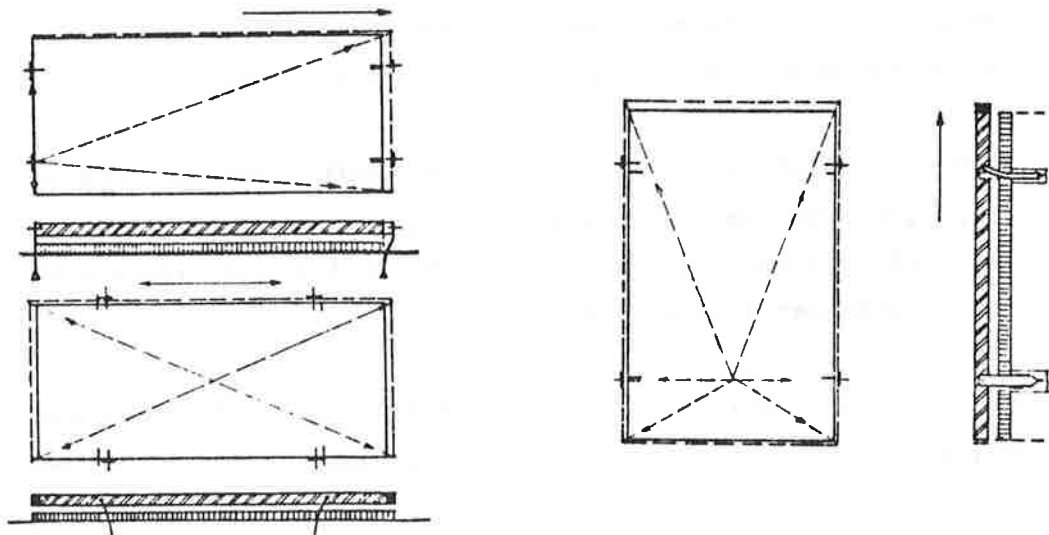
- kannattimiin ja
- vaakasiteisiin.

Kukin kivilaatta kiinnitetään runkoon kahdella kannattimella ja kahdella vaakasiteellä. Kiinnikkeet sijoitetaan tavallisesti laattojen saumoihin. Periaatteena on, että kussakin kohteessa valitaan joko pystysauma- tai vaakasaumakannatus pääkannatustavaksi, josta poiketaan tarvittaessa kivilaattojen näkyvien reunojen tai liikuntasauvojen kohdalla tms. tapauksessa, jossa kiinnikkeen ei haluta jäävän näkyviin. Verhouksen reuna-alueilla voidaan myös käyttää kiven läpi menevää kiinnikettä, jonka haittapuolena on, että kiinnityskohta jää yleensä näkyviin ja saattaa rumentaa pinnan ulkonäköä.

Kiinnitysten suunnittelussa huomioidaan myös rakenteiden odotettavissa olevien muodonmuutosten vaatimat liikevarat. Periaatteena on, että muodonmuutokset tapahtuvat kivilaattoja kuormittamatta (kuva 34). Pakko-voimia rajoitetaan suunnittelemalla kiinnikkeet niin, että ne ovat laatan kummankin sivun suunnassa "joustavat". Lyhyillä ulokevarsilla (≤ 100 mm) ja suurilla kivilaatoilla on syytä tarkistaa, etteivät kiinnikkeet joudu lämpö- ja kosteusliikkeiden seurauksena myötörajalle. Kuvassa 35 on esitetty kivilaattojen joustavan kiinnityksen periaatteita /30/. Verhouksen joustavuuden edellytyksenä on lisäksi, että kivikuoressa on riittävästi liikuntasauvoja.



Kuva 34. Kivilaattaverhouksen kuormitukset /30/.



Kuva 35. Muodonmuutosten huomiointi kivilaattojen kiinnikkeiden suunnittelussa /30/.

4.3.2 Kiinnikemateriaalit

Luonnonkivilaattojen kiinnikkeiden tulee olla korroosionkestäviä. Metallikiinnikkeissä käytetään Suomessa, Ruotsissa ja Saksassa ruostumatonta terästä. Saksalaisten DIN-normien mukaan kivilaattojen kiinnikemateriaaleiksi soveltuvat teräkset ovat

- X 10 CrNiMoTi = titaanistabiloitu CrNiMo-teräs,
hiilipitoisuus 10 % ja
- X 10 CrNiMoNb = niobistabiloitu CrNiMo-teräs,
hiilipitoisuus 10 %.

Ruuviliitoksissa voidaan käyttää terästä X 5 CrNiMo /35/. Ruotsalaisten ohjeiden mukaan kiinniketeräksen tulee olla standardin SIS 142324 mukaista (0,2 - raja 420 N/mm²). Suomalaisista teräksistä SFS 752 ja SFS 757 (haponkestäviä, 0,2 - raja 220 N/mm²) ovat lähinnä vastaavia kuin DIN:in X 10 CrNiMoTi -tyyppi. Ruotsalaisen austeniittis-ferriittisen SIS 142324 teräslaadun vastinetta ei Suomessa valmisteta.

Kiinnikkeissä on eri maissa käytetty myös muita metalleja kuin ruostumatonta terästä. Näitä ovat mm.


































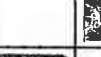




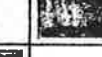
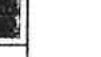

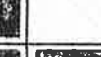




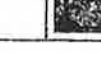

- Elektrolyyttisesti kuparilla pinnoitettu teräs, jossa yhdistyvät teräksen lujuus ja kuparin korroosionkestävyys. Heikkoutena on piste-mäisen korroosion vaara kuparipinnan vaurioituessa.
- Pronssi ja alumiinipronssi, joilla on hyvät lujuusominaisuudet ja erinomainen korroosionkestävyys. Valuvaarion vaaran takia tarvitaan kuitenkin erittäin tarkka laadunvalvonta. Eräissä maissa ovat valeset kiinnikkeet kiellettyjä.
- Kupari ja messinki, joilla on erinomainen korroosionkestävyys, mutta heikko lujuus. Soveltuvat keveiden kivilaattojen kannatukseen.
- Galvanoitu teräs, jolla on erinomainen lujuus, mutta jonka korroosionkestävyys on joskus puutteellinen. Käyttöä suositellaan lähinnä lämpimässä, kuivassa ilmastossa ja aina kokonaan hyvällä sementti-

laastilla ja hiekalla suojattuna.

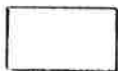
- Alumiini, jolla on sopivilla seossuhteilla hyvä korroosionkestävyys, hyvät lujuusominaisuudet ja hyvä työstettävyys. Alumiinin kestävyys on huono emäksisessä ympäristössä, kuten betonissa.

Käytettäessä eri metalleja kiinnikkeinä ja niiden osina on tarkistettava, ettei kahden tai useamman eri metallin koskettaessa toisiaan synny sähköparia, joka johtaa epäjalomman metallin syöpymiseen (taulukko 8). Muita kuin teräksisiä kiinnikkeitä ei saa päästää kosketuksiin betoniterästen kanssa.

Taulukko 8. Eri metallien yhdistelmien soveltuvuus /13/.

Metallit	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1. Kupari								
2. Fosforipronssi								
3. Alumiinipronssi								
4. Ruostumaton teräs								
5. Pehmeä teräs								
6. Mangaanipronssi								
7. Alumiini								
8. Valurauta								

Merkinnät:



Näitä metalleja voi käyttää yhdessä kaikissa olosuhteissa.



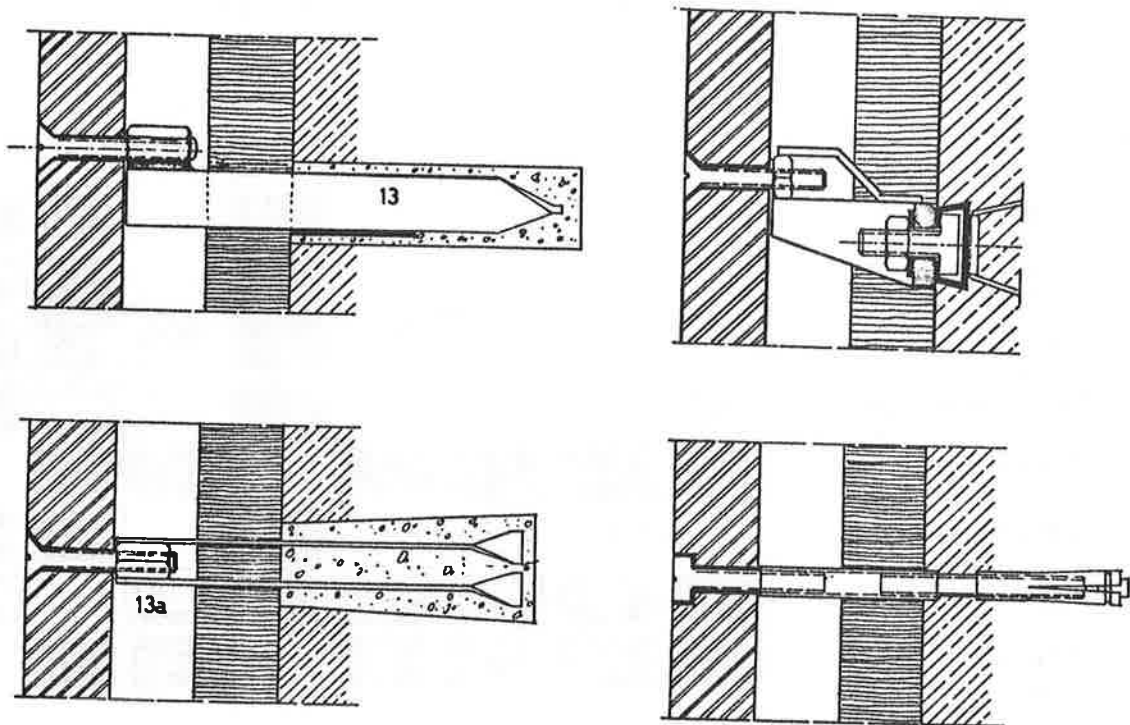
Näitä metalleja voi käyttää yhdessä vain kuivissa olosuhteissa.



Näitä metalleja ei saa käyttää yhdessä.

4.3.3 Kiven ja kiinnikkeen liitoksen mitoitus

Kivilaatta kiinnitetään uloketeräkseen tavallisesti kiven syrjään kiinnitetyn tapin avulla (kuva 1). Kun reunakiinnitys ei tule kyseeseen, voidaan käyttää esim. kuvassa 36 esitettyjä kiven läpi meneviä kiinnikkeitä. Muita vaihtoehtoja ovat erilaiset kiven takapintaan upotettavat kiinnikkeet, jotka eivät näy kiven ulkopinnalla. Takapintakiinnityksissä voi ohuilla kivilaatoilla olla vaikeutena riittävän kiinnityssyvyyden järjestäminen. Lisäksi kivilaatan vaihdettavuus on takapintaan kiinnittäessä huonompi kuin reunakiinnityksessä tai kiven läpi meneviä kiinnikkeitä käytettäessä.

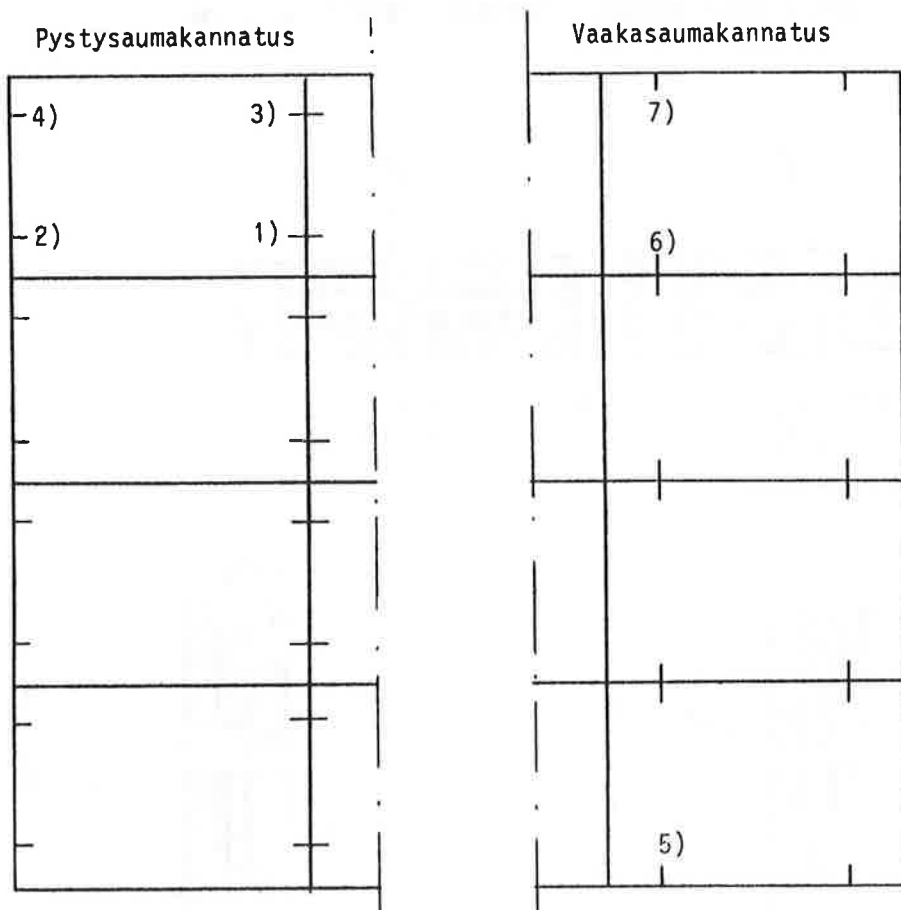


Kuva 36. Kiven läpi meneviä kiinniketyyppejä /35/.

Kivilaattojen reunakiinnitykset voidaan kuvassa 37 esitetyllä tavalla jakaa seitsemään perustapaukseen:

- pystysaumakiinnitys
 - 1) kiinnike kannattaa kahta vierekkäistä laattaa
 - 2) kiinnike kannattaa yhtä laattaa
 - 3) kiinnike toimii kahden vierekkäisen laatan vaakasiteenä
 - 4) kiinnike toimii yhden laatan vaakasiteenä

- vaakasaumakiinnitys
 - 5) kiinnike kannattaa yläpuolista laattaa
 - 6) kiinnike kannattaa yläpuolista laattaa ja toimii alapuolisen laatan vaakasiteenä
 - 7) kiinnike toimii alapuolisen laatan vaakasiteenä.



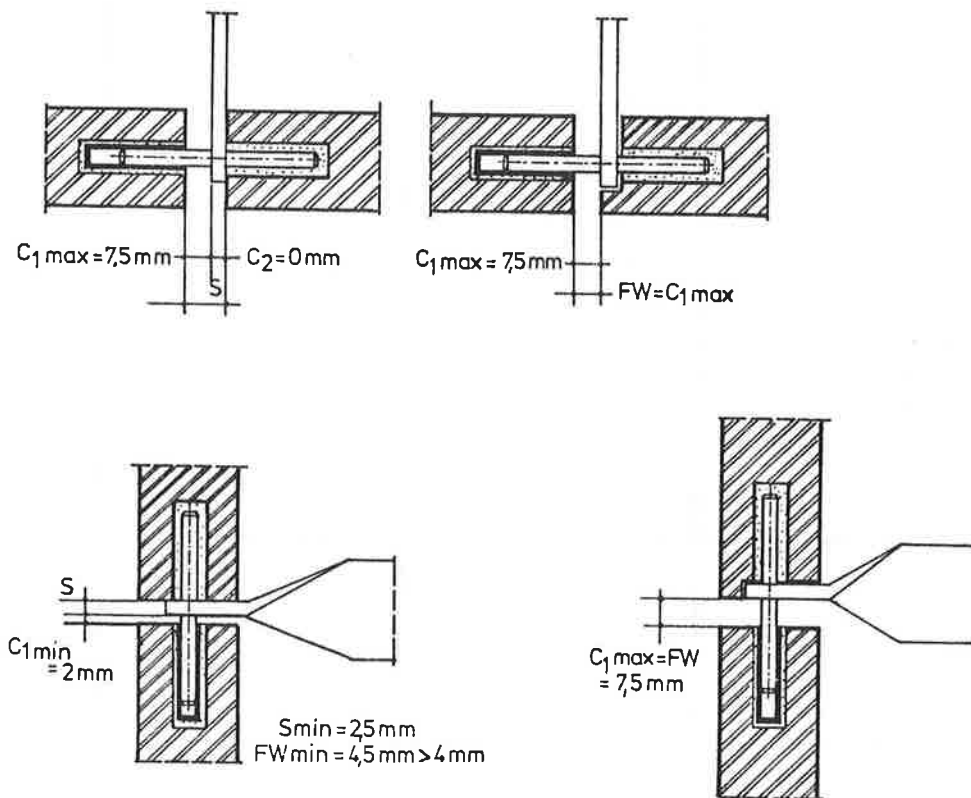
Kuva 37. Kivilaatan reunakiinnitystapaukset.

Kiinnityksen mitoituksessa selvittettäviä asioita ovat

- sauman vähimmäisleveys (= kiinnikkeen paksuus + liikevara),
- poikkitapin läpimitta ja pituus,
- tapin upotussyvyys kiveen,
- tappireikien halkaisija ja syvyys,
- tappireiän vähimmäisetäisyys kiven reunasta sekä
- kivilaatan paksuuden tarkistus (ks. 4.2.3)

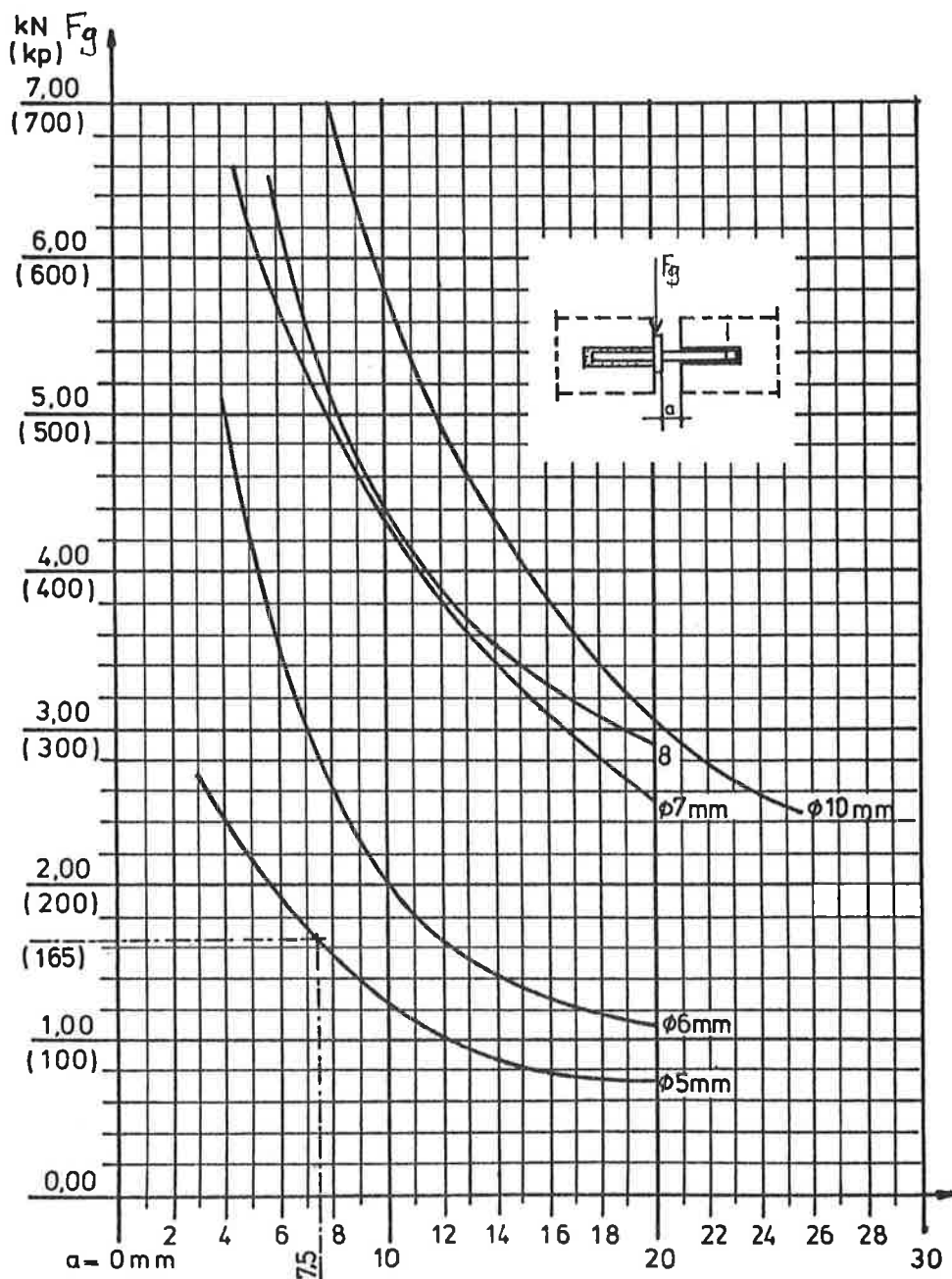
mitoittavina kuormina ovat kaikissa tapauksissa tuulikuorma ja kannattimilla lisäksi laatan omapaino.

Saksalaisessa mitoituskäytännössä kaikkiin saumoihin varataan 2 - 7 mm:n liikevara kivilajista ja laattakoosta (saumatiheys) riippuen. Kannatinulokkeen leveys on Suomen olosuhteissa normaalisti 4 - 6 mm. Tällöin sauman leveydet ovat 6 - 13 mm. Kiinnike voidaan myös kuvassa 38 esitetyllä tavalla upottaa kiven reunaan työstettyyn koloon. Jälkisaumauksen kannalta sauman suositeltava vähimmäisleveys on 6 mm.

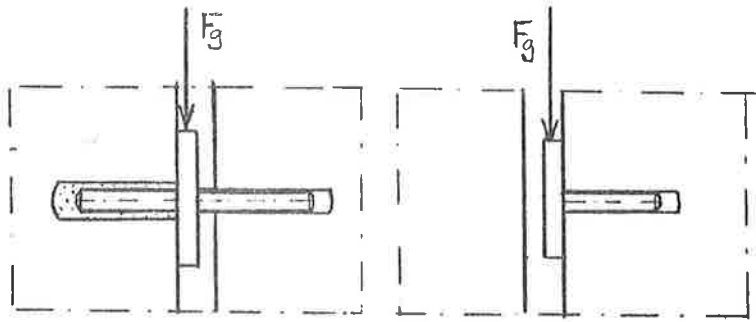


Kuva 38. Esimerkkejä ulokekannattimien sijoittamisesta saumaan /35/.

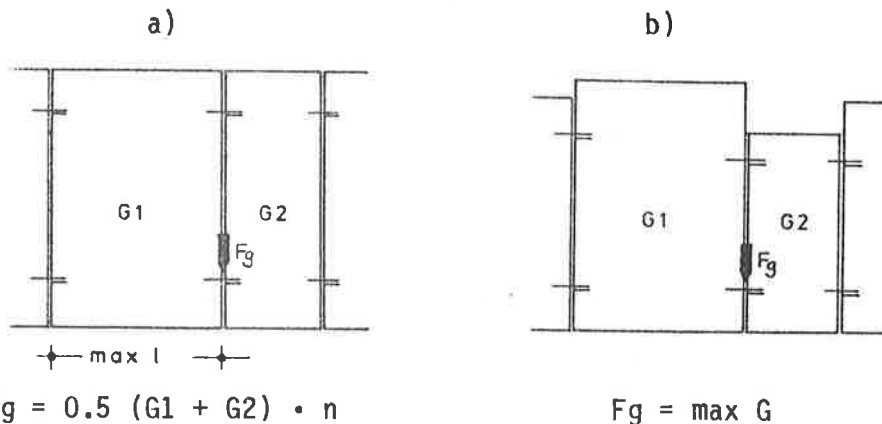
Kuvassa 39 on poikkitaipin saksalainen mitoituskäyrästä, jota sovelletaan sekä kaksi- että yksipuolisessa kiinnityksessä (kuva 40). Kun vieräkkäiset laatat ovat erikokoiset lasketaan laattojen painosta tapille tuleva kuorma F_g kuvassa 41 esitetyllä tavalla /3/.



Kuva 39. Poikkitaipin mitoituskäyrät. Teräksen 0,2-raja = 220 N/mm²/3/.



Kuva 40. Kaksi- ja yksipuolinen kannatus.



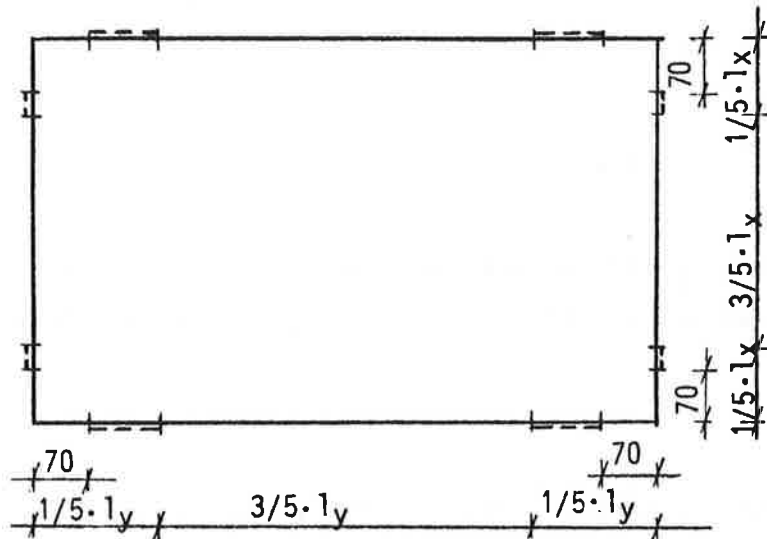
G1/G2	n
1	1
1.2	1.05
1.6	1.1
2.5	1.2
4	1.3

Kuva 41. Kuorman F_g laskenta epäsymmetrisissä kuormitustapauksissa. Tapauksessa a) laattojen paksuus on sama ja tapauksessa b) laatat ovat eripaksuiset /21/.

Tapin tulee ulottua kivillä, joiden puristuslujuus on > 50 MPa vähintään 25 mm:n syvyyteen kiveen ja heikommilla kivillä vastaavasti 35 mm:n syvyyteen. Kiven reunaan porataan reikä, jonka halkaisija on 3 - 4 mm suurempi kuin tapin läpimitta. Reikä tehdään noin 2 - 3 mm syvemmäksi kuin tapin ankkurointipituus. Reiän vaadittava etäisyys kiven reunasta riippuu kiven tappilohkaisukapasiteetista (ks. 4.2.3). Saksalaisten ohjeiden mukaan vähimmäisreunaetäisyys kivilajista riippumatta on 10 mm.

Kiinnityksen periaate on, että liikevaran puoleinen poikkitapin ja kiven liitos tehdään liukuvaksi. Saksalaiset käyttävät reiässä muovitulppaa, jossa poikkitappi liukuu vapaasti. Suomessa ei muovitulppaa tms. ole käytetty, jolloin liukukiinnityksen puoleisen reiän läpimitta tehdään tapin halkaisijan suuruiseksi. Muulloin tappi kiinnitetään kivessä olevaan reikään sementtillaastilla, "kivikitillä" (kova liima) tms. liimalla.

Kiinnityskohdan etäisyys kivilaatan kulmasta saa olla enintään $1/5$ x laatan sivun pituus. Kiinnityksen etäisyyden on oltava vähintään 70 mm laatan kulmasta. Kiinnikkeen näin saadut sallitut sijoitusalueet laatan syrjässä on esitetty kuvassa 42 /3/.



Kuva 42. Kiinnikkeiden sijoitusalueet .

4.3.4 Kiinnikkeen ulokeosan mitoitus

Kannatinulokkeiden mitoittavat kuormat ovat normaalisti pituusakselin suuntaisesti vaikuttava tuulikuorma ja poikkitapin kohdalla pystysuora kivilaattakuorma. Vaakasiteet mitoitetaan vain tuulikuormalle. Mitoitus käsittää kiinnikkeen poikkileikkauksen jännitystarkastelun ja ulokkeen stabiiliustarkastelun (nurjahdus). Lyhyillä ulokkeilla ($l < 100$ mm) tarkistetaan lisäksi tarvittaessa, että laattojen lämpö- ja kosteusliikkeistä johtuvat kiinnikkeiden taipumat eivät aiheuta teräksen myötö-

rajan ylittäviä jännityksiä. Kannattimen jännitystarkastelu suoritetaan kaavalla

$$\sigma = \frac{M}{W} \pm \frac{N}{A} \leq \sigma_{sall} \leq \frac{\sigma_{sa}}{1,5}, \quad (12)$$

jossa M on kivilaatakuorman aiheuttama momentti $F_g \cdot a$
(a = ulokkeen pituus),
N tuulikuormasta aiheutuva normaalivoima,
 σ_{sa} teräksen 0,2-rajan sallittu jännitys,
W ulokkeen taivutusvastus ja
A ulokkeen poikkipinta-ala.

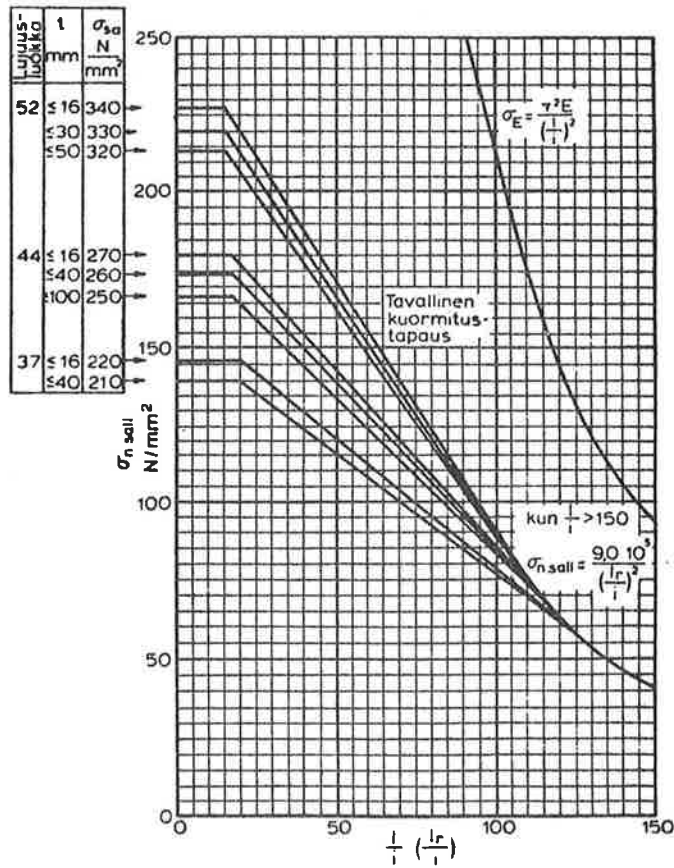
Vaakasiteen poikkileikkaukseen tuulikuormasta syntyviä jännityksiä tarkastellaan vastaavasti kaavalla

$$\sigma = \pm \frac{N}{A} \leq \sigma_{sall} \leq \frac{\sigma_{sa}}{1,5} \quad (13)$$

Ulokkeen stabiliteettimitoituksessa tarkastellaan tasonurjahdusta. Ulokkeen tasonurjahduksen sallittu jännitys σ_{nsall} saadaan hoikkeuden

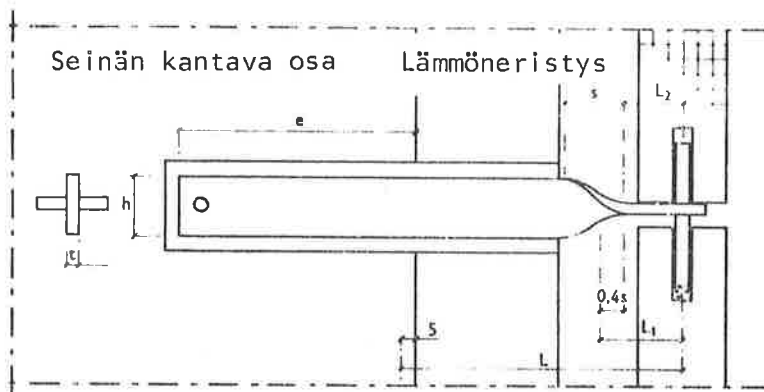
$$\lambda = \frac{l_r}{i} \quad (14)$$

avulla kuvasta 43. Suositeltava nurjahduspituus l_r on toisesta päästä vapaalle ja toisesta päästä jäykästi kiinnitetylle sauvalle $2,1 \times l$, jossa l on ulokkeen vapaa mitta. Jäyhyysäde $i = 0,289 \times b$ suorakaiteen muotoiselle poikkileikkaukselle (b = ulokkeen poikkileikkauksen leveys) /34/.



Kuva 43. Sallittu puristusjännitys tasonurjahduksessa /34/.

Kuvassa 16 on esimerkki saksalaisesta kiinnikkeen mitoitus-taulukosta. Liitteessä 3 on esitetty pystysauman kannatinulokkeen saksalainen mitoitustperiaate. Ruotsalaisessa ohjeessa on mitoitus-taulukot eri kiinnitystyypeille /44/. Kuvassa 44 olevan vaakasaumakannattimen sallitut kuormat kiinnikkeen koon ja ulokeosan pituuden mukaan saadaan taulukosta 9.



Kuva 44. Ruotsalainen kiinniketyyppi, jonka mitoitus on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Kannatinulokkeen suurin sallittu kuorma kiinnikkeen ulokeosan pituuden mukaan. Taulukko koskee teräslaatua SIS 142324 (myötöraja 420 N/mm²) /44/.

Poikkileikkaus h x t (mm)	Ulokeosa L ₁ (mm)	Kuorma kg						
		Ulokeosa L (mm)						
		50	90	100	125	150	170	200
15 x 5	26	65	55	50	40	35	30	25
20 x 3	28	30	-	-	-	-	-	-
15 x 6	26	80	70	60	50	40	35	30
20 x 4	28	50	50	50	50	50	45	35
20 x 5	28	80	80	80	75	60	55	45
25 x 4	30	60	60	60	60	60	60	55
25 x 5	30	80	80	80	80	80	80	70

4.3.5 Kiinnikkeen runkokiinnityksen mitoitus

Luonnonkivilaattojen kiinnikkeet ankkuroidaan betonirunkoon lähinnä kolmella tavalla (vrt. kuva 3):

- valun yhteydessä asennetaan betoniin kiinnityslevy, johon uloke kiinnitetään,
- asennetaan runkoon ankuripulteilla kiinnityslevy, johon uloke kiinnitetään tai kiinnitetään uloke sementtilaastilla runkoon porattuun reikään.

Kahta jälkimmäistä menetelmää voidaan soveltaa myös tiilirunkoon.

Suomessa käytetään kahta ensimmäistä tekniikkaa. Länsi-Saksassa ja Ruotsissa yli 90 % runkokiinnityksistä tehdään viimeksi mainitulla tavalla. Ensimmäinen kiinnitystapa edellyttää runkovaluvaiheessa varsin suurta mittatarkkuutta. Käytännössä tekniikka toimii parhaiten pienehköissä paikallavaluissa ja elementeissä, jolloin levyjen sijoituskohdat ovat varsin hyvin hallittavissa. Viimeksi mainitun tekniikan etuja kahteen ensimmäiseen verrattuna ovat

- yksinkertaisempi, keveympi ja helpommin valmistettava kiinnike,
- pienempi teräsmenekki ja materiaalikustannus,
- vähemmän asennustyötä, koska kiinnike on työmaalle tuotaessa valmis ja
- hyvä kiinnikkeen säätömahdollisuus laatan asennusvaiheessa.

Haittapuolena on vastaavasti, että reikäkiinnityksessä reiän halkaisija asettaa rajat kiinnikkeen poikkileikkauksen korkeudelle, joka johtaa Suomen pitkillä ulokevarsilla (n. 20 cm) helposti poikkileikkaukseltaan varsin leveisiin kannattimiin. Tämä voi aiheuttaa kiven loveustarvetta kiinnikkeen kohdalla verhouksen saumaleveyden hillitsemiseksi. Ruotsalaiset ovat ratkaisseet vastaavan tilanteen käyttämällä kiinnikemateriaalina erittäin lujaa terästä (ks. 4.3.2), jota vastaavaa ei Suomessa valmisteta.

Tartuntalevyjä käytettäessä kiinnityksen mitoitukseen sisältyy

- kiinnityslevyn valinta ja mitoitus,
- levyn ankkuroinnin mitoitus ja
- ulokkeen ja levyn välisen hitsiliitoksen mitoitus.

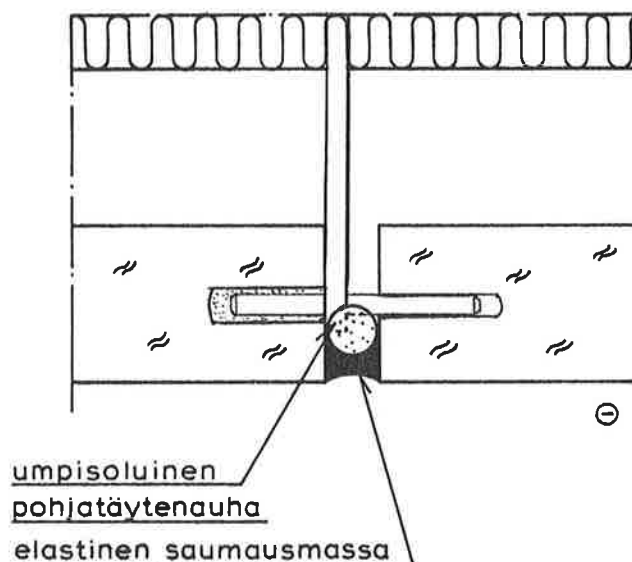
Kiinnityslevyjen ja ankkuripulttien toimittajat ovat taulukoineet mitoitusohjeet eri kuormitustapauksissa omiin esitteisiinsä. Mitoitustaulukoita on esitetty myös lähteissä /17/ ja /31/. Runkokiinnitykset voidaan mitoittaa käyttäen sallittujen jännitysten menetelmiä tai rajatilannenmenetelmiä. Rajatilamenetelmä kuvaa yleensä kiinnityksen toimintaa rakenteessa sallittujen jännitysten menetelmää paremmin, joten sen käyttö on suositeltavaa.

Liitteessä 3 on esitetty saksalaisen jälkijuotoksella kiinnitettävän kannatinulokkeen mitoitusperiaatteet. Mitoitus perustuu sallittujen jännitysten menetelmään. Liitteessä 4 käsitellään kivikiinnikkeiden betonirunkoankkuroinnin rajatilamitoituksen periaatteita /6, 22/.

4.4 Saumojen suunnittelu

Kivilaattaverhouksessa saumarakenteiden tärkein tehtävä on varmistaa julkisivun tiiviys ja toisaalta ottaa vastaan rakenteiden muodonmuutoksista johtuvat kivikuoren liikkeet. Saumat tasoittavat lisäksi kivilevyjen pienet mittapoikkeamat ja saumojen leveydellä, ryhmittelyllä sekä värillä voidaan vaikuttaa rakennuksen ulkonäköön.

Julkisivun saumarakenteita rasittavat lähinnä ilmasto ja liittyvien rakenteiden liikkeet. Joustava, muodonmuutoskykyinen massa ja saumanauha soveltuvat hyvin luonnonkivilaattojen ja laattapintaisten ulkoseinäelementtien välisiin saumoihin. Kuvassa 45 on esimerkki elastisesta saumarakenteesta. Sauman suunnittelussa on huomioitava, että elastisten massojen muodonmuutoskyky on yleensä vain 20 - 25 %, minkä jälkeen massa siirtää kuormituksia. Sauman leveyteen vaikuttavia tekijöitä käsitellään kohdassa 4.3.3.



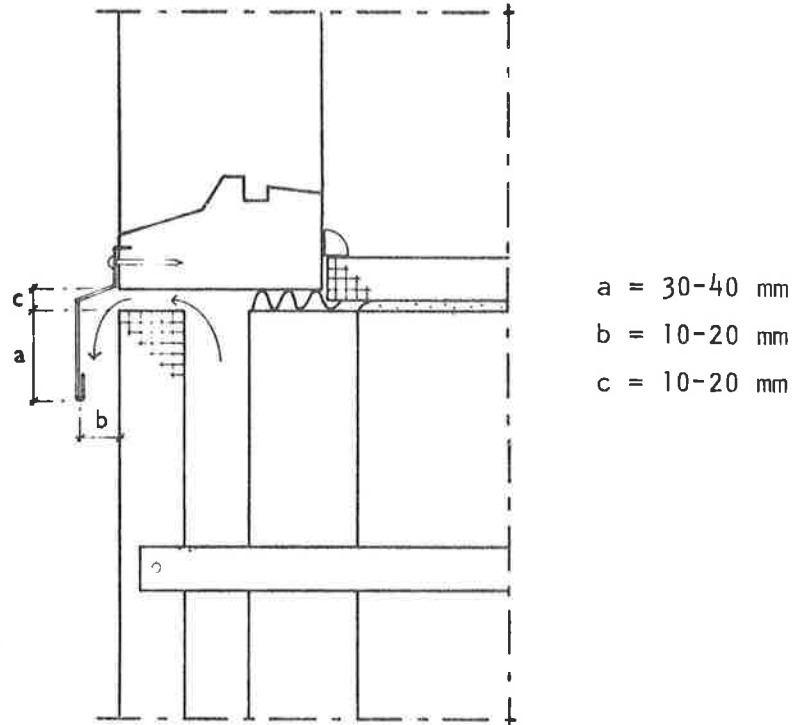
Kuva 45. Kivilaattaverhouksen saumarakenne.

Ulkomailla kivilaattaverhouksia tehdään varsin usein myös avosaumoilla. Tällöin edellytetään, että alusrakenteen pinta on sateenpitävä, mutta kuitenkin diffuusiokosteuden läpäisevä. Länsi-Saksassa avosauman enimmäisleveys on 5 mm. Avosaumojä käytetään suojaisilla paikoilla sijaitse-
vissa rakennuksissa, jolloin viistosateiden määrä on pieni. Rakenne tuuletetaan normaaliin tapaan kivilaattaverhouksen takaa.

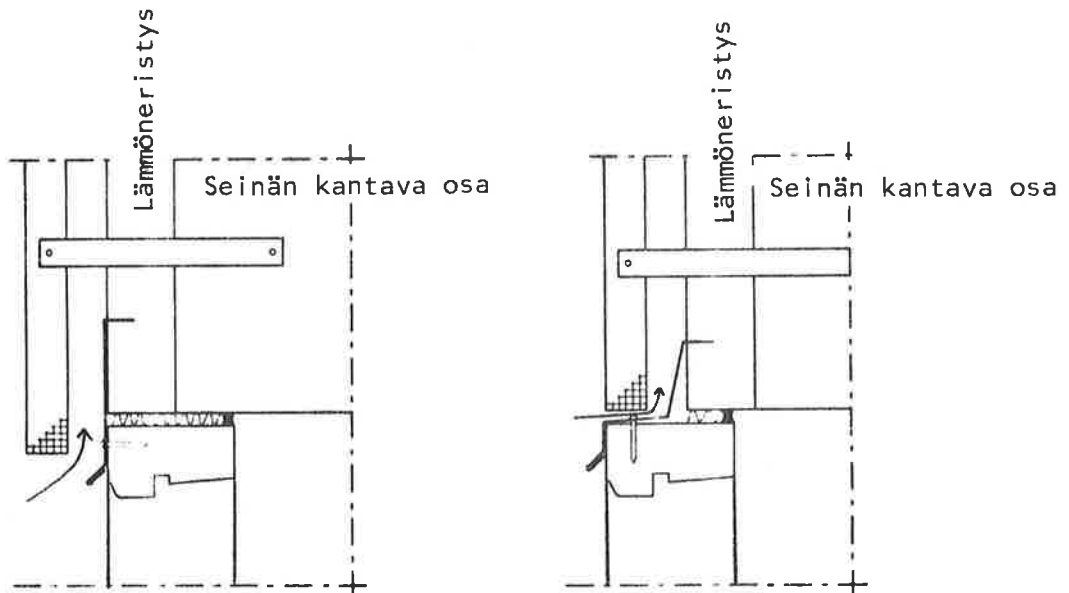
4.5 Tuuletuksen suunnittelu

Luonnonkiviverhouksen tiiviydestä johtuen on kivipinnan taakse aina järjestettävä tuuletusväli rakenteen kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi. Tuuletusraon leveyden tulee olla vähintään 20 mm ja sen tulee olla verhouksen ala- ja yläosasta yhteydessä ulkoilmaan. DIN 18515:ssä esitetään tuuletusaukkojen pinta-alalle vaatimus 1 - 3 o/oo koko verho-
tusta pinnasta. Saksassa ja Ruotsissa sallitaan myös tuuletusaukkojen

lisääminen jättämällä verhouksen vaaka- ja pystysaumoja avoimiksi sellaisissa verhouksissa, jotka on suunniteltu sateenpitäviksi. Kuvassa 46 on esitetty kivilaattaverhouksen tuuletusesimerkkejä.



Tuuletusrako ikkunan alla suojataan vesipellillä, jota asennetaan kiven reunan eteen.



Kuva 46. Kivilaattapintaisen ulkoseinän tuuletuksen järjestäminen /44/.

5 RAKENTEIDEN JA KIINNITYSMENETELMIEN KEHITTÄMINEN

5.1 Paikalla tehty luonnonkiviverhous

Perinteisen työmaalla yksittäisistä kivilaatoista tehdyn verhouksen heikkouksia ovat sen kalleus ja pitkäikäisyys asennusaika. Suomessa nykyisin sovellettava kiinnitystekniikka on varsin työvaltainen. Lisäksi kiinnikkeet ovat yleensä turhan monimutkaisia ja kalliita.

Materiaali- ja työkustannusten vähentämiseksi on paikkarakentamistekniikassa selvitettävä meidän olosuhteissamme soveliaimmat kiinnitysmenetelmät. Kiinnikkeiden tulee olla selkeitä ja yksinkertaisia sekä kokonaan esivalmisteisia. Perustyyppit tulee vakioida, jolloin niitä on mahdollista tuottaa pitkinä valmistussarjoina. Kiviverhouksen suunnittelua varten tarvitaan ohje, jossa esitetään suositeltavat kiinnitystavat ja kiinnikkeet, niiden mitoitus ja tarpeelliset rakenteelliset ohjeet.

Paikallarakennustekniikan kehitystyön osa-alueet ovat

- nykyisin Suomessa ja ulkomailla sovellettavan "neljän pisteen" -kiinnitystekniikan tutkiminen ja Suomeen parhaiten soveltuvien ratkaisujen kehittäminen,
- pysty- ja vaakasuuntaisiin kiskoihin perustuvien nopeiden ja yksinkertaisten kiinnitystekniikoiden soveltamismahdollisuuksien selvittäminen sekä
- itsekantavien tai kerroksittain kannatettujen kivikuorien käyttötapojen ja käyttökelpoisuuden selvittäminen.

5.2 Kivilaattapintaiset betonielementit

5.2.1 Betonisandwichelementti

Julkisivun kivilaattaverhouksen asennusajan huomattava lyhentäminen ja kustannusten alentaminen on mahdollista elementtitekniikan avulla. Betonisandwichelementillä on vakiintunut asema suomalaisessa rakentamisessa. Elementtiä on jo useiden vuosien ajan valmistettu myös erilaisilla

pienehköillä tiili- ja klinkkerilaatoilla pinnoitettuna. Rakenteen käyttöä kivilaattapintaisena on kiinnostuksesta huolimatta rajoittanut kokemusten vähyys ja rakenteen toiminnan puutteellinen tuntemus. Tästä syystä on tärkeä tutkia elementin toimintaa kivilaattapintaisena ja kehittää rakenteelle oikeat suunnitteluratkaisut, jotka mahdollistavat myös suurten kivilaattojen ($A > 0,1 \text{ m}^2$) käytön elementin pintalaattana.

Tiivis luonnonkivilaattaverhous, jossa saumojen osuus pinnasta on yleensä huomattavasti pienempi kuin pienlaattapinnoissa, asettaa betonisandwichelementin suunnittelulle uusia vaatimuksia. Keskeisin tutkimustarve on kivilaattojen ja betonin väliseen tartuntaan vaikuttavien tekijöiden perusteellinen selvittäminen. Tutkittavia asioita ovat

- kivilajin,
- laatan takapinnan struktuurin,
- kivilaattakoon,
- betonin koostumuksen,
- elementin koon,
- erilaisten tartuntaa lisäävien tekniikoiden (metallikiinnikkeet, epoksiliima),
- elementin valmistusolosuhteiden ja
- käyttöolosuhteissa esiintyvien rasitusten vaikutus tartuntaan.

Muita selvitystä kaipaavia asioita ovat tiivispintaisen elementin kosteusteknisen toiminnan kannalta riittävän tuuletuksen järjestämistavat. Lisäksi tulee selvittää kivilaattapintaisen elementin kosteus- ja lämpöliike-erojen synnyttämistä pakkovoimista aiheutuva käyristyminen ja mahdollisuudet käyristymän hillitsemiseen. Luonnonkiven ja betonin tartuntaan vaikuttavia tekijöitä on tutkittu aiemmin H. Laitisen ja P. Ojalan diplomitöissä /19, 32/.

Ilmeistä on, että luonnonkiven ja betonin väliseen sidokseen perustuvan kivilaattojen kiinnityksen varmistaminen ja elementin käyristymän hillitseminen johtavat betonisandwichelementissä kivilaattakoon rajoittamiseen. Suurehkot kivilaatat on tällöin kannatettava mekaanisesti erilaisilla ulkokuoreen kiinnittyvillä metallikiinnikkeillä. Kuoren ja alustan välinen joustavuus järjestetään poistamalla kivilaatan ja betonin tartunta ja tekemällä laattojen väliset saumat kimmoisiksi.

5.2.2 Luonnonkivikuorinen betoniulkoseinäelementti

Tämä on uudentyypinen elementtirakenne, joka vastaa toiminnaltaan työmaalla tehtyä perinteistä tuuletettua kiviverhousta. Staattisesti tarkasteltuna kyseessä on teräsbetonilevy, johon lämmöneriste ja luonnonkivilaatat on ripustettu. Kukin kivilaatta kannatetaan kahdella ulokekannattimella ja kiinnitetään kantavaan sisäkuoreen lisäksi kahdella vaakaliikkeet estävällä kiinnikkeellä. Kivilaattojen välit suunnitellaan liikuntasaumoiksi samalla periaatteella kuin kohdassa 4.4 on paikalla rakennetusta verhouksesta esitetty. Selvitettäviä asioita ovat lähinnä rakenteen valmistukseen, siirtoihin ja kuljetukseen liittyvät toimenpiteet ja elementtitekniikkaan soveltuvien kivilaattojen kiinnikkeiden ja kannatustapojen kehittäminen.

Rakenne ei aseta teknisiä rajoituksia kivilaatan koolle. Kiinnikkeiden tulee olla valmistettu ruostumattomasta materiaalista ja niiden vähimmäispituus nykyisillä eristyspaksuuksilla (mineraalivilla 150 mm) on noin 20 cm. Taloudellisinta on käyttää tässä rakenteessa suhteellisen suuria kiviä, jolloin kiinnikekustannus julkisivuneliötä kohden on mahdollisimman pieni.

Betonisandwichelementtiin verrattuna rakenne on n. 5 cm ohuempi ja myös kevyempi. Lisäksi vastaavan verhoustekniikan toimivuudesta on saatu kokemuksia jo useiden vuosien ajalta paikalla rakennetuissa julkisivuissa (ks. myös 6.2 ja 7).

5.2.3 Luonnonkivipintaisten betonikuorielementit

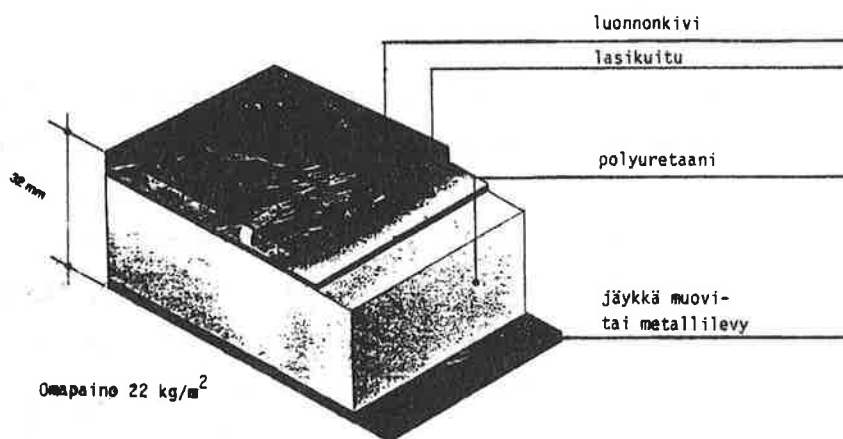
Betonisissa kuorirakenteissa, joihin luonnonkivilaatta kiinnitetään elementin valun yhteydessä, tutkimustarve liittyy lähinnä kivilaatan ja betonin tartuntaan vaikuttavien tekijöiden ja suositeltavien kivilaatan kiinnitystapojen selvittämiseen (vrt. 5.2.1). Kuorirakenteen voidaan odottaa käyristyvän sandwichelementtiä enemmän, joten käyristymän hillitsemiskeinojen selvittäminen on kivilaattapintaisten kuorirakenteiden toinen keskeinen kehittämistarve.

Ohuiden ja keveiden kivilaattapintaisten ferro- ja kuitubetonikuorien käyttömahdollisuudet julkisivua täydentävinä muotoelementteinä on myös kiinnostava ja selvitystä kaipaava alue. Tutkittavia asioita ovat kivilaattojen kiinnityksen ja elementin muodonmuutosten lisäksi valmistus-, siirto-, kuljetus- ja asennustekniikka (ks. myös 6.3).

5.3 Muut kehitysmahdollisuudet

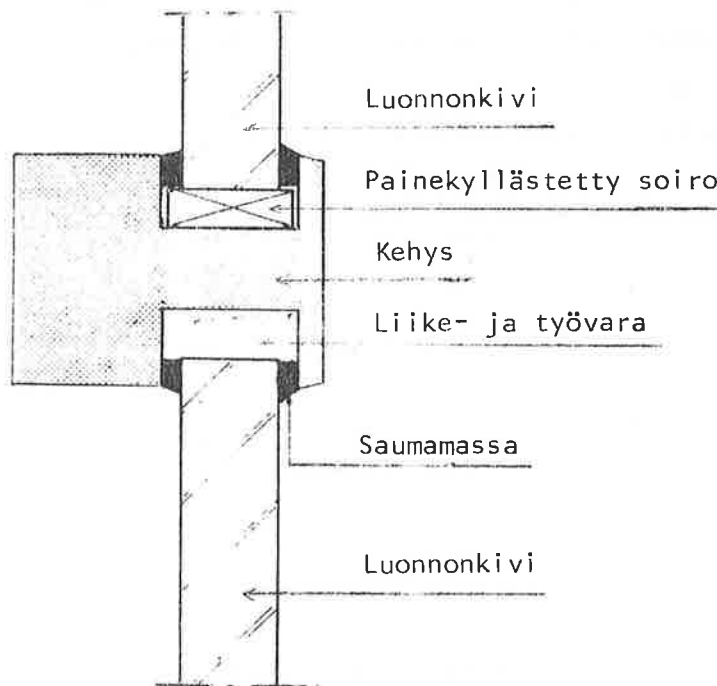
Korkeiden teräsrunkoisten rakennusten kiviverhouksissa USA:ssa käytetyn teräsrunkoisen kivilaattapintaisten elementtien soveltamismahdollisuudet Suomessa tulee selvittää (ks. 3.9). Ongelmana tässä rakenteessa on lähinnä riittävän korroosionkestävän, mutta kohtuuhintaisiin metalleihin perustuvan rakenteen kehittäminen.

Uudentyyppinen ja kiinnostava on myös rakenne, jossa ulkopintana ovat ohuet luonnonkivilaatat ja jonka rungon muodostavat polyuretaani ja sisäverhouslevy. Polyuretaani vaahdotetaan muottiin ladottujen luonnonkivien ja sisäverhouslevyn väliseen tilaan. Rakenteen etu on sen keveys ja yksinkertainen ja nopea valmistus. Ongelmana on lähinnä tämäntyyppisten rakenteiden pitkäaikaiskäyttökokemusten puute. Polyuretaanirakenteen käyttöä rajoittavat toisaalta paloturvallisuusmääräykset. Kuvassa 47 esitettyä rakennetta on käytetty sisäverhouslevynä, jolloin se mahdollistaa luonnonkiven käytön sellaisissa kohteissa, missä suuri paino tai pieni taivutusvetolujuus estävät täyskivilaatan käytön.



Kuva 47. Kivipintainen polyuretaanirakenne /12/.

Kuvassa 48 on esimerkki Norjassa sovelletusta erikoisrakenteesta, jossa kivilaatta on kiinnitetty alumiiniseen kehyslokkeeseen. Rakenteessa ei käytetä erillisiä kivilaattojen kiinnikkeitä. Kivilaatoissa ei myöskään ole reikiä, uria tms. työstettyjä yksityiskohtia. Etuja ovat lisäksi vaivaton ja nopea asennus, jossa kivilaatta-asennuksen erikoisammattitaito ei ole välttämätön.



Kuva 48. Periaatekuva luonnonkivilaatan ylä- ja alapään kiinnityksistä alumiiniseen kehysprofiiliin /29/.

Luonnonkiven rakennusteknisen käytön edistämiseksi tarpeellisia toimenpiteitä ovat edellä esitettyjen rakenteellisten kehitystarpeiden lisäksi mm.

- käytettävien kivilaattakokojen standardointi, jolloin kivilaattojen tuotannon rationalisointimahdollisuudet paranevat,
- suunnittelu-, valmistus- ja asennusohjeiden laatiminen luonnonkivipintaisille rakenteille,
- selvitystyö luonnonkivipintaisten elementtien käyttöön liittyvistä arkkitehtonisista mahdollisuuksista,
- tuotannossa syntyvän sivukiven käyttömahdollisuuksien selvittäminen,

- kiven sisäpuolisen käytön kehittämismahdollisuuksien selvittäminen,
- tuotantotekniikan jatkuva kehittäminen käytännön tarpeiden mukaan (rationalisointi, monipuolisuus),
- kivenjalostajien, kivilaattojen asentajien ja suunnittelijoiden nykyistä tehokkaampi koulutus,
- uusien rakennuskiviesiintymien jatkuva etsintä ja esiintymän käyttökelpoisuuden arviointimenetelmien kehittäminen,
- vientikiven jalostusasteen kohottaminen sekä
- suomalaisen kivitietouden kohottaminen ja tiedottaminen kiven monipuolisista käyttömahdollisuuksista kaikille tahoille.

6 KOKEELLISET TUTKIMUKSET

6.1 Yleistä

Edellisen luvun kehitysideoista valittiin tutkimuksen tavoitteiden mukaisina (ks. 1.2) ja tutkimusprojektin resursseilla toteutettaviksi sopivina kokeellisesti tutkittaviksi kaksi rakennetyyppiä:

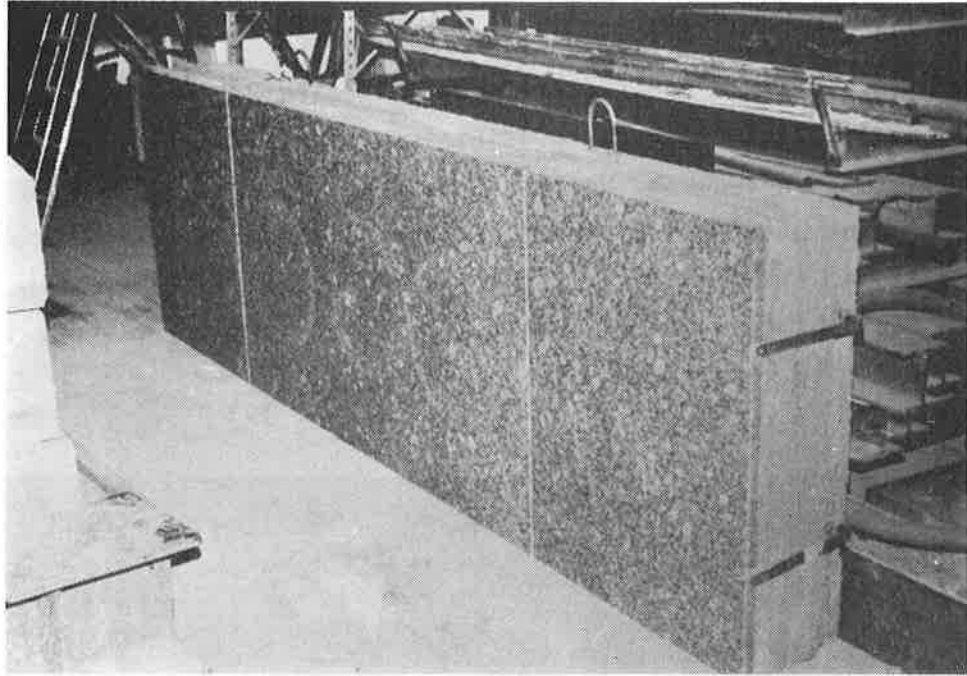
- luonnonkivikuorinen betoniulkoseinäelementti ja
- luonnonkivilaattapintainen ferrobetoninen kuorielementti.

Seuraavissa luvuissa esitetään koeohjelmien tavoitteet ja toteutus sekä tulokset.

6.2 Luonnonkivikuorisen betoniulkoseinäelementin tutkimus

6.2.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää alustavasti kuvassa 49 esitetyn rakennetyypin kivilaattojen kiinnitystavat, elementin valmistustekniikka ja kuljetuskestävyys.



Kuva 49. Kerroksellinen betonielementti, jonka ulkokuorena on pelkkä kivilaatta.

6.2.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus sisälsi koerakenteiden suunnittelun ja mitoituksen, kolmen koe-elementin valmistuksen Tammisaarella Raaseporin Tiili Oy:n elementtitehtaalla, elementtien kuljetuksen Otaniemeen ja elementtien keskimäisen kivilaatan leikkauskokeen suorittamisen VTT:n betoni- ja siliikaattiteknikan laboratoriossa. Koe-elementtien ja kivilaattojen kiinnikkeiden rakennekuvat on esitetty liitteessä 5.

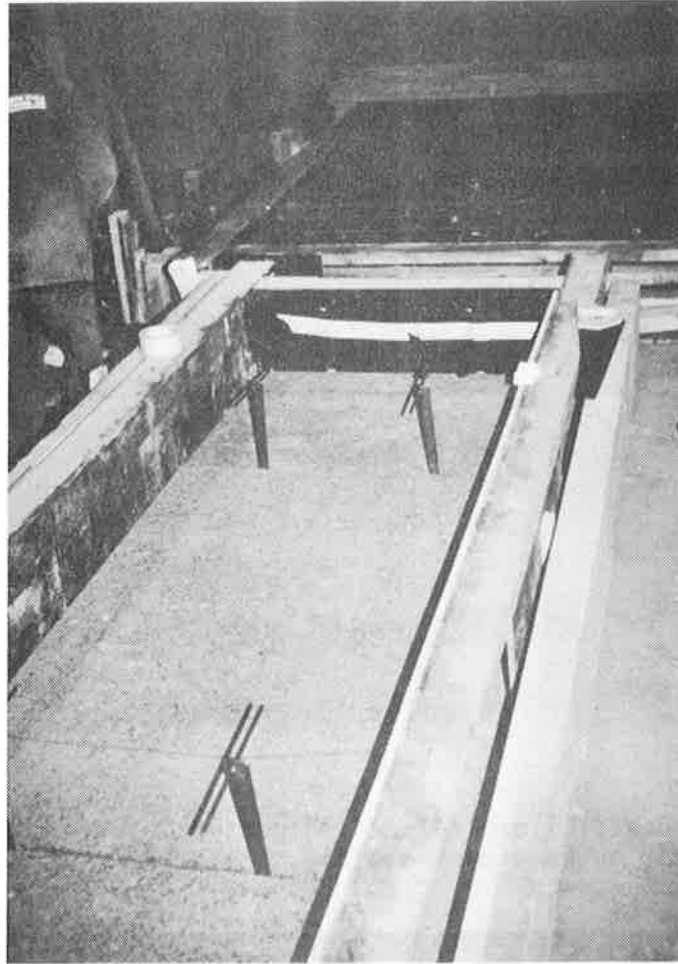
Kivilaattojen kiinnikkeet mitoitettiin pääasiassa ruotsalaisten ohjeiden mukaisesti /44/. Elementin ollessa kyseessä eivät paikallarakentamista varten tarkoitetut ohjeet kaikilta osin olleet riittäviä, vaan osa kiinnikkeistä suunniteltiin tähän tarkoitukseen sopiviksi. Kiinnikkeiden suunnittelussa otettiin huomioon kuljetuksen aikaiset elementin pinnan suuntaiset pysty- ja vaakakuormat käyttämällä kummassakin suunnassa mitoituskuormaa, jonka suuruus oli 1,5 x kiviverhouksen omapaino.

6.2.3 Koe-elementtien valmistus

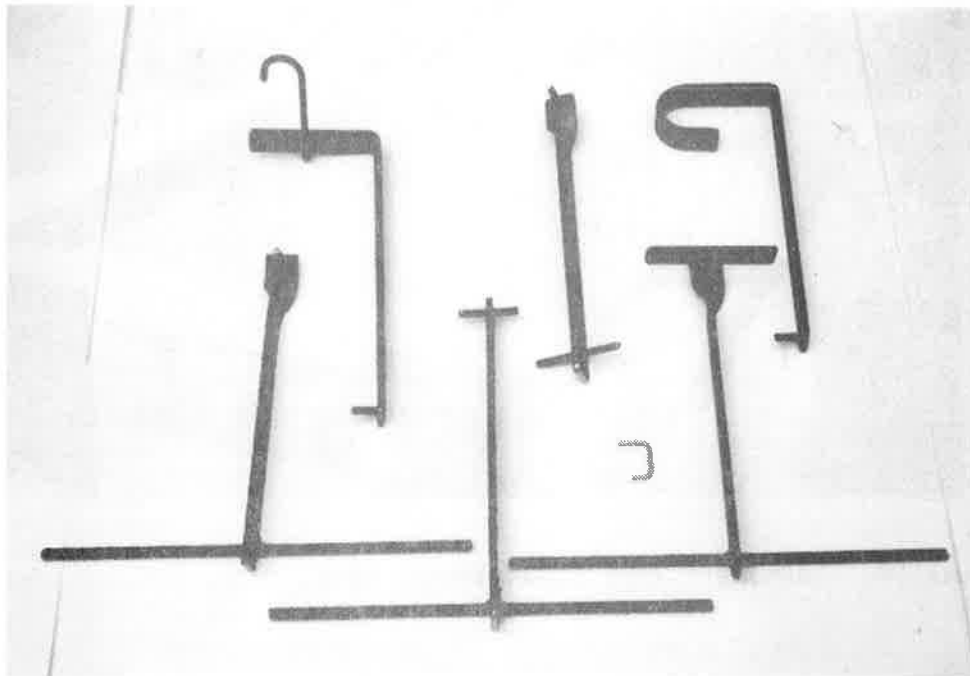
Elementit valmistettiin nk. käänteisellä työjärjestyksellä, kuten julkisivuelementit useimmiten tehdään. Sisäkuoren betonin suhteituslujuus oli K30. Kunkin elementin betonimassasta tehtiin kahdeksan normaalilieriötä betonin puristuslujuuden testausta varten. Neljää koelieriötä säilytettiin samoissa olosuhteissa kuin elementit, neljää lieriötä säilytettiin vedessä. Kummastakin säilytyserästä testattiin kahden lieriön lujuus elementin purkuhetkellä ja kaksi puristettiin 28 vuorokauden iässä. Kiinniketapit kiinnitettiin luonnonkivilaattoihin Plastic Padding-liimalla. Koe-elementtien valmistuksen eri vaiheet ja kuljetus on esitetty kuvissa 50 - 59.



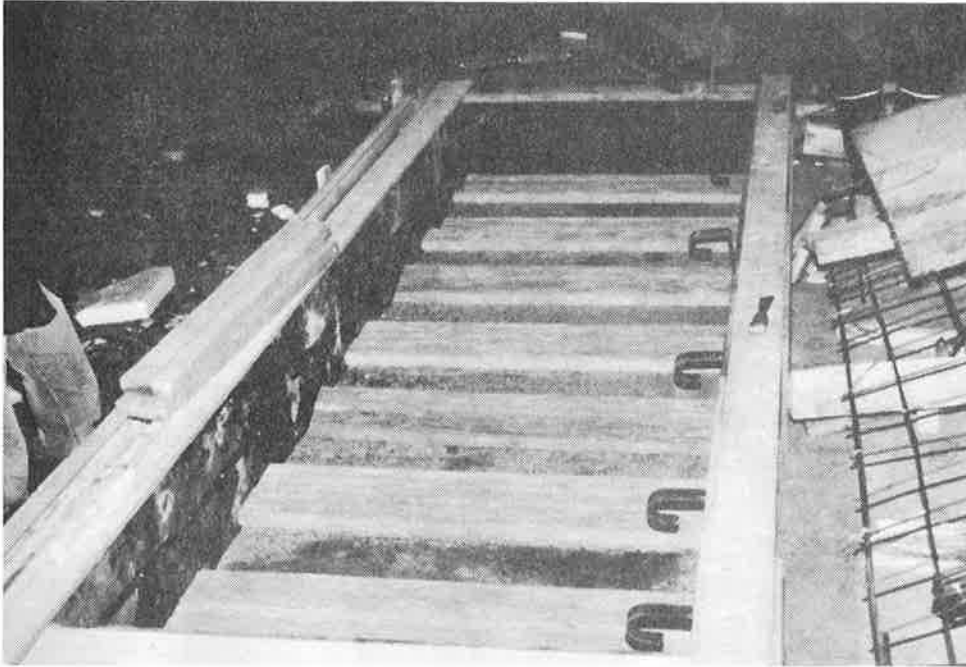
Kuva 50. Kivilaattojen asennus muottiin.



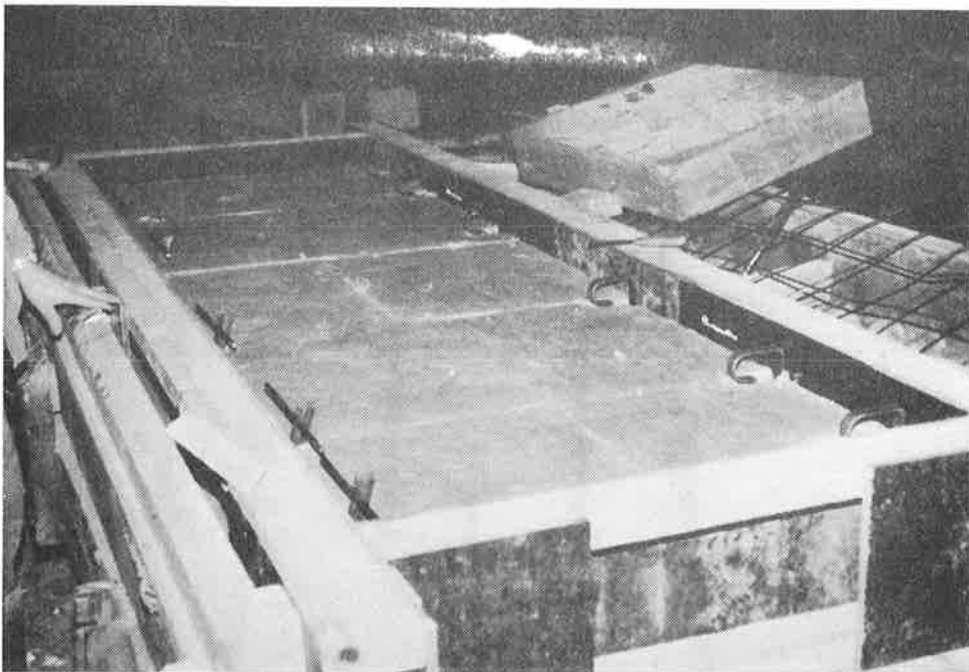
Kuva 51. Kiinnikkeet muottiin asennettuina, KE-2.



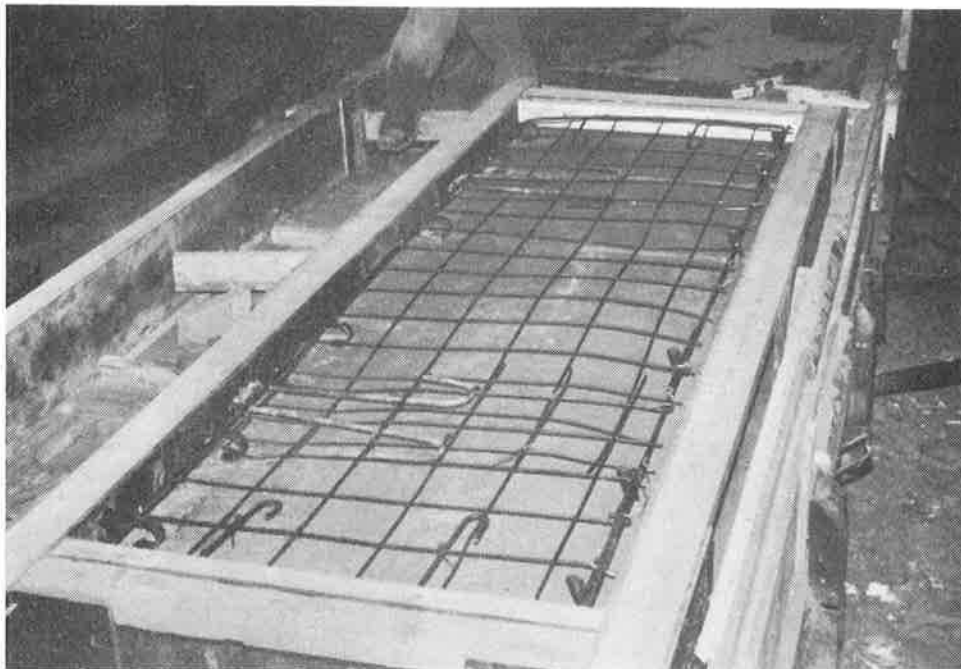
Kuva 52. Käytetyt kiinniketyypit, KE-1 - KE-3.



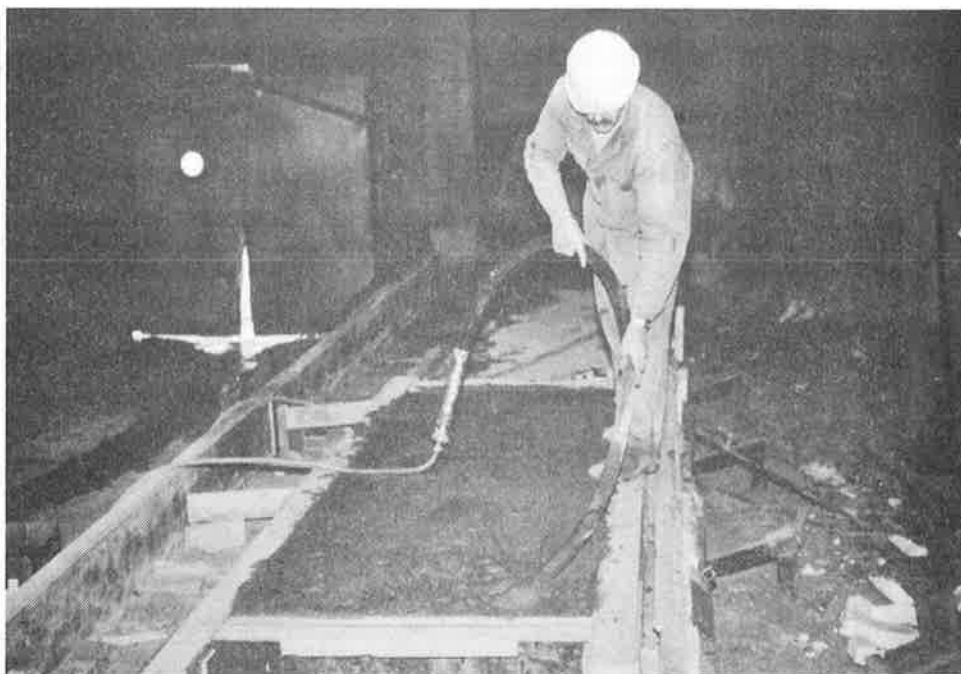
Kuva 53. Mineraalivillasuikaleet asennettuna. Tuuletuskanavat jäävät suikaleiden väleihin, KE-1.



Kuva 54. Lämmöneristeet asennettuna, KE-1.



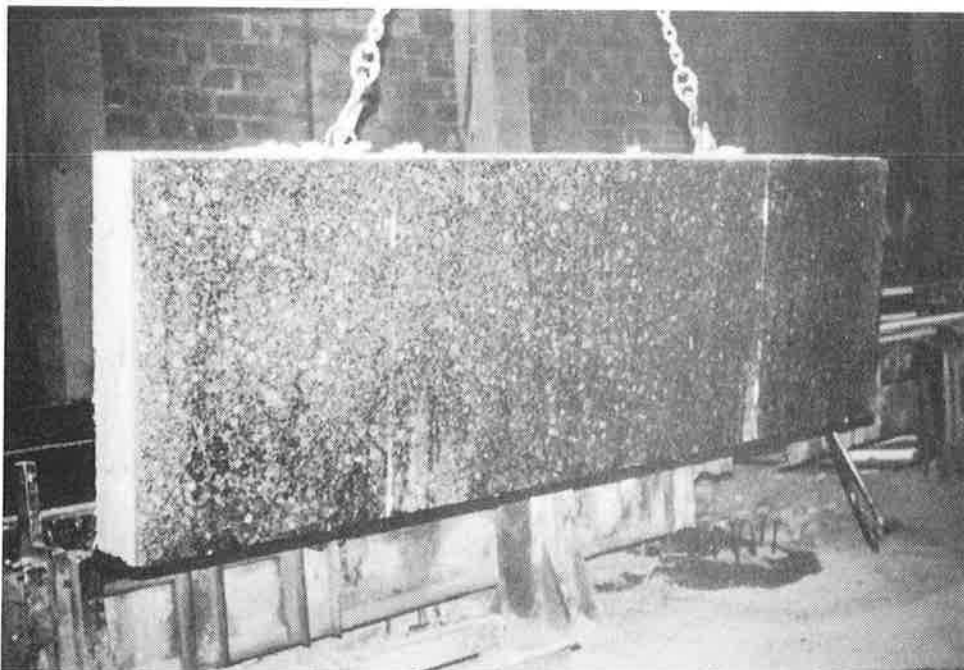
Kuva 55. Sisäkuoren raudoiteverkko asennettu muottiin, KE-1.



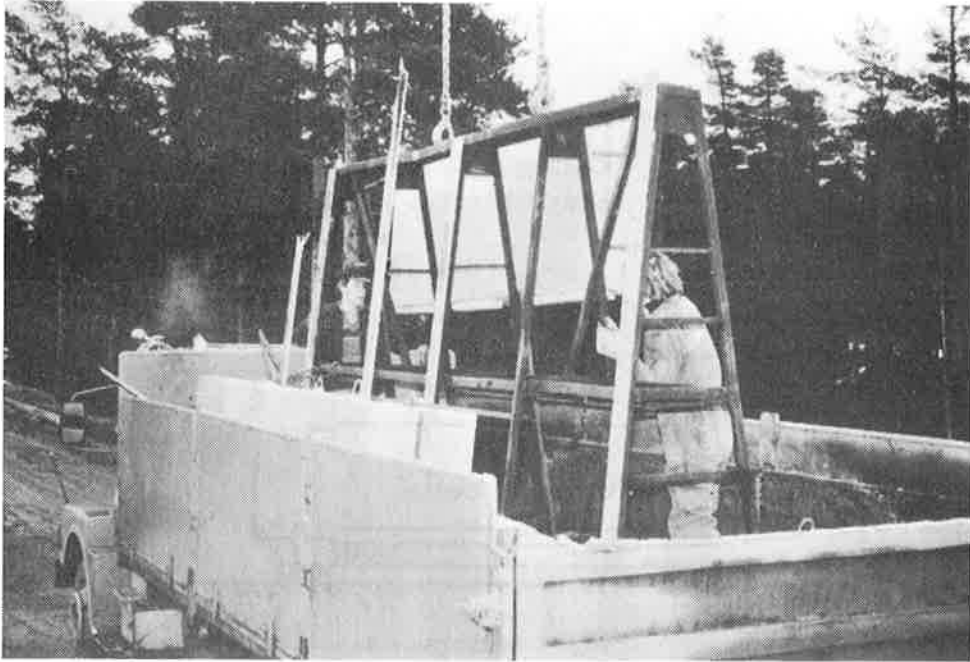
Kuva 56. Sisäkuoren betonimassan tiivistys, KE-1 - KE-3.



Kuva 57. Koe-elementin nosto muotista. Muotin on oltava mahdollisimman lähellä pystyasentoa, jotta elementin luonnonkivikuoren alareuna ei vaurioidu nostovaiheessa.



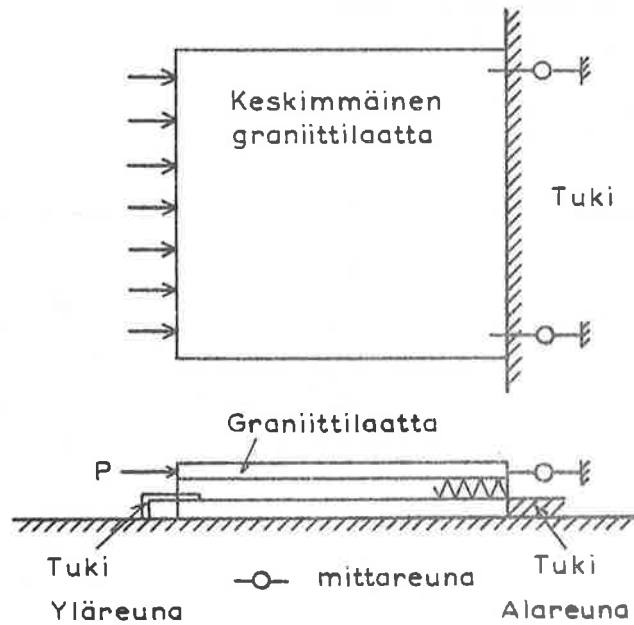
Kuva 58. Muotista nostettu koe-elementti, KE-1.



Kuva 59. Koe-elementtien lastaus kuljetusautoon. Luonnonkivilaattaverhouksen vaurioitumisen välttämiseksi koe-elementtien KE-1 - KE-3-tyyppisiä tuotteita ei tule kuljetuksen ajaksi asettaa vierekkäin A-telineessä välipuidenkaan avulla, vaikka kuvassa on niin tehty.

6.2.4 Koe-elementtien testaus laboratoriossa

Kuukauden ikäisille koe-elementeille tehtiin laboratoriossa kuvan 60 mukainen leikkauskoe, missä selvitettiin käytettyjen kiinnikkeiden kantokyky ja rakenteen murtotapa. Kokeessa elementin luonnonkiviulkokuorta ($900 \times 1500 \text{ mm}^2$) kuormitettiin portaittain levyn suuntaisella ulkoisella kuormalla, kunnes rakenne murtui ja luonnonkivilaatta irtosi. Kokeen aikana mitattiin ulkolevyn siirtymä voiman suunnassa.



Kuva 60. Koe-elementtien KE-1...KE-3 leikkauskoejärjestely.

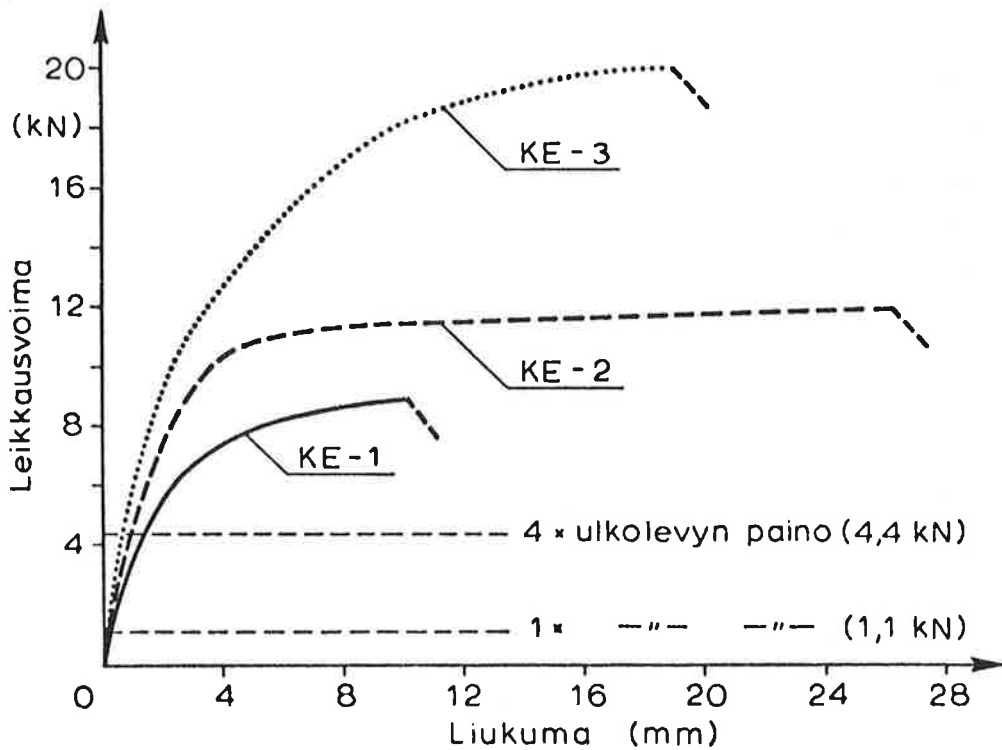
6.2.5 Kokeiden tulokset

Koe-elementtien sisäkuoren betonimassasta tehtyjen lieriöiden puristuslujuuksien keskiarvo oli 16 tunnin iässä muotin purkuvaiheessa KE-1:llä $25,2 \text{ MN/m}^2$, KE-2:llä $21,0 \text{ MN/m}^2$ ja KE-3:llä $16,6 \text{ MN/m}^2$. 28 vuorokauden iässä puristuslujuudet olivat vastaavasti $40,6 \text{ MN/m}^2$, $38,6 \text{ MN/m}^2$ ja $34,3 \text{ MN/m}^2$.

Laboratoriossa tehdyn leikkauskokeen kuormitustulokset on esitetty taulukossa 10. Taulukkoon on merkitty ulkolevyn keskimääräinen siirtymä voiman suunnassa erityyppisillä kiinnikkeillä. Taulukon perusteella on laadittu myös voima-siirtymäkäyrät, jotka on esitetty kuvassa 61. Kuviin merkitty alempi vaakasuora katkoviiva kuvaa koe-elementin luonnonkivilaatan ($900 \times 1500 \times 30 \text{ mm}^3$) painoa. Ylempi katkoviiva kuvaa vastaavaa kuormitusta nelinkertaisena.

Taulukko 10. Koe-elementtien KE-1 - KE-3 leikkauskokeiden tulokset.

Voima P	Keskimääräinen siirtymä levyn suunnassa mm		
	KE-1	KE-2	KE-3
0	0	0	0
2	0,53	0,46	0,31
4	1,29	0,93	0,69
6	2,31	1,49	1,10
8	5,28	2,25	1,70
9	9,57	2,74	1,98
10		3,72	2,33
12		25,44	3,48
14			4,99
16			6,86
18			9,40
20			18,22



Kuva 61. Koe-elementtien voima-siirtymät.

Koe-elementtien murtotavat olivat seuraavat:

- KE-1: luonnonkivilaatta irtosi elementin yläkiinnikkeistä kuormalla $P = 9,25$ kN.
- KE-2: graniittilaatta murtui kiinnikkeiden kohdalta, kun $P = 12,60$ kN.
- KE-3: pystysaumoissa olleiden kiinnikkeiden kohdalta murtui graniittilaatta, kun $P = 9,0$ kN. Kivilaatta irtosi elementin yläkiinnikkeistä kuormalla $P = 20,38$.

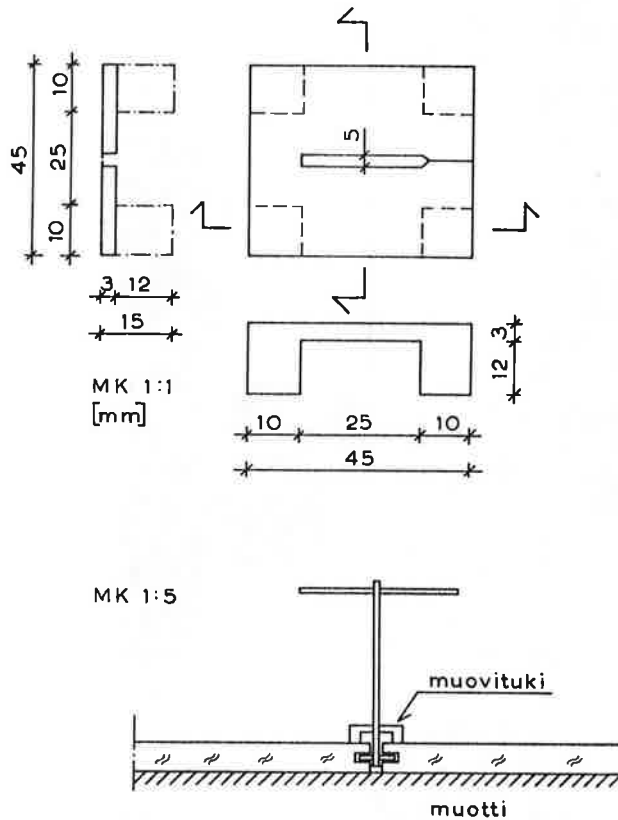
Kokeiden perusteella voidaan todeta, että jäykin kiinnitystyyppi oli koe-elementissä KE-3 (lattakiinnike alareunassa, kiinnike yläreunassa ja pystysaumassa). Kaikilla käytetyillä kiinniketyypeillä on kokeiden perusteella yli nelinkertainen varmuus keskimmäisen graniittilaatan irtoamiseen nähden. Yksittäisten lyhytaikaiskokeiden perusteella irtoamisvarmuus koe-elementillä KE-1 on 8,4-kertainen, KE-2:lla 11,5-kertainen ja KE-3:lla 18,5-kertainen.

Elementtien valmistus ja siirrot sujuivat hyvin tavanomaisella kalustolla. Lisäselvitystarpeita liittyy lähinnä rakenteen valmistukseen, mm. kiinniketerästen valmistuksen aikaiseen tuentaan. Kuvassa 62 on esitetty esimerkki tähän tarkoitukseen soveltuvasta tuesta.

Elementtien varastoinnissa ja kuljetuksessa on huolehdittava, että elementti tuetaan vain sisäkuorestaan, eikä luonnonkivikuorta kuormiteta päällekkäisillä elementeillä A-mallisessa telineessäkään. Kivilaatat on suojattava likaantumiselta varastoinnin ja kuljetuksen aikana. Kiven lohkeamisvaaran vuoksi elementtejä on käsiteltävä erityisen varovasti.

Kiinnitystekniikkaan liittyen rakenteessa on selvitettävä tarkemmin muut kiinnikevaihtoehdot, betonin vähimmäispurkulujuus ja paineenjakolevyn tarve kiinnikkeiden alapinnassa. Lisäksi on kokeellisesti tutkittava lämmöneristevillan kimmoisuuden merkitys rakenteen kiinnitysten mitoituksessa. Tähän liittyen on myös kehitettävä menetelmiä yhtenäisen, kuormia siirtämättömän tuuletusvälin tekemiseksi. Tämän tutkimuksen kokeet on tehty 80 mm paksulla sisäkuorella. Jos sisäkuoren paksuus on tätä suurempi, lämmöneristeen villapaine kivilaattoja vastaan kasvaa. Lisääntyneen paineen vaikutus kivilaattojen kiinnitysten varmuuteen tulee selvittää erikseen ottamalla huomioon myös paineen reklasoituminen.

Yleisarviona voitiin todeta, että elementti soveltuu valmistuksen ja kuljetuksen osalta hyvin teolliseen betonielementtituotantoon. Jatkotutkimuksissa selvitetään edelleen rakenteen suunnitteluun, valmistukseen ja käyttöön liittyviä jatkoselvitystä kaipaavia asioita (ks. 8).



Kuva 62. Kiinnikkeen tuki.

6.3 Kivilaattapintaisen ferrobetonielementin tutkimus

6.3.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää alustavasti kivilaattapintaisen, poikkileikkaukseltaan kourun muotoisen ferrobetonikuorielementin valmistustekniikka, kuljetettavuus ja rakenteen toimivuus mm. kivilaattojen tartunnan osalta. Tutkittu rakenne on esitetty kuvassa 63.



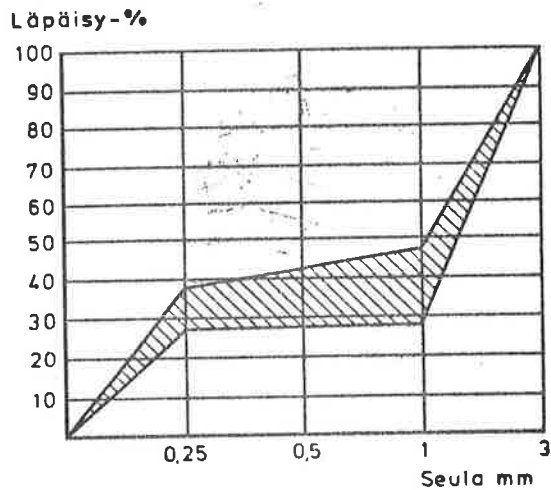
Kuva 63. Kivilaattapintainen ferrobetoninen koe-elementti.

6.3.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimukseen sisältyi koerakenteiden suunnittelu ja mitoitus, kahden koe-elementin valmistus (ks. liite 6) Tammisaarella Raaseporin Tiili Oy:n elementtitehtaassa, koe-elementtien kuljetus Otaniemeen, koe-elementtien säänkestävyyden ja kivilaattojen tartunnan testaus sekä kuorielementin kiinnityksen ideointi.

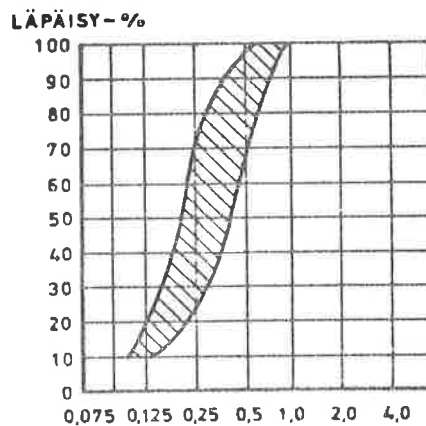
6.3.3 Koe-elementtien suunnittelu ja valmistus

Rakenteen betonikuoren suunnittelussa käytettiin yleisiä ferrobetonin suunnitteluperiaatteita. Betonin kiviaineksen suurin raekoko oli 3 mm (kuva 64). Betonin sementtimäärä oli 450 kg/m^3 (sementti/kiviaines = 1/3,5). Vettä käytettiin vain sen verran, että betonimassa oli työstettävää. Betoniin lisättiin lisähuokostinta pakkasenkestävyyden edellyttämä normaalimäärä. Kummastakin betonimassasta tehtiin 3 kpl normaalilieriöitä ($\varnothing 150 \text{ mm}$) betonin puristuslujuuden testausta varten.



Kuva 64. Ferrobetonin runkoaineen rakeisuusalue.

Luonnonkivilaattojen välinen saumaus tehtiin koe-elementissä KE-4 samalla massalla kuin laattojen taustabetonikin. KE-5:ssä saumaus tehtiin ennen ulkolevyn betonointia erikoismassalla. Saumasmassaa levitettiin ohut kerros myös luonnonkivilaattojen sisäpintaan. Saumasmassa valmistettiin hiekasta ja sementistä tilavuusosina 1 : 1. Hiekan rakeisuus oli kuvan 65 tummennetulla alueella. Luonnonkivilaattojen tausta betonoitiin välittömästi saumauksen jälkeen.



Kuva 65. Saumasmassan hiekan rakeisuusalue.

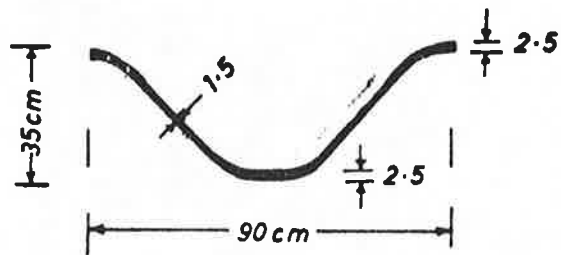
Elementtien raudoituksena käytettiin kahta ruostumatonta, tankokooltaan $\varnothing 2,0$ mm:n teräsverkkoa, joissa verkon silmäkoko oli 20 mm. Teräsverkkojen määrän laskentakaavoina käytettiin lähteen /11/ mukaisia ferrobetonirakenteen peruskaavoja:

$$K = \frac{2 \cdot \pi \cdot d \cdot n}{a \cdot t} \geq 2,0 \frac{1}{\text{cm}}, \text{ missä} \quad (15)$$

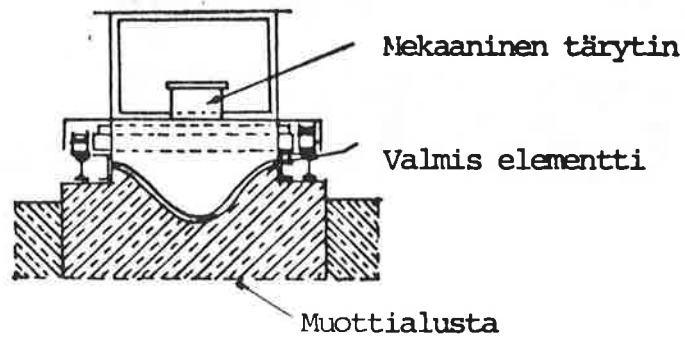
- K on halkeaman synnyn vastuksen mitta,
d terästangon halkaisija (cm),
n verkkokerrosten lukumäärä,
a verkon silmäkoko (cm) ja
t betonikuoren paksuus (cm).

Elementin luonnonkivilaattojen keskimmäiseen pystysaumaan asennettiin lisäksi $\varnothing 6$ mm:n teräs.

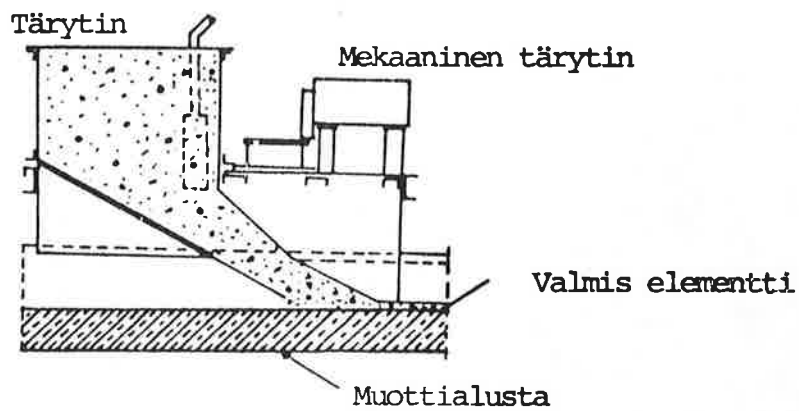
Muotin luonnonkivirasterin valmistuksessa käytettiin vanerisia saumanauhoja (korkeus 4 mm), kuten laattapintaisten ulkoseinäelementtien valmistuksessa yleensä. Ennen luonnonkivilaattojen asentamista laitettiin muotin pohjalle vahtomuovikangas. Ferrobetonielementtien valussa on ulkomailla käytetty kuvan 66 mukaista valukonetta. Alustavat kokeet päätettiin tehdä käsityökaluilla. Betoni tiivistettiin elementin poikkileikkauksen muotoisella tärylevyllä. Elementti peitettiin valun jälkeen. Lämpökäsittelyä ei käytetty. Koe-elementit nostettiin muotista ylös 1,4 vuorokauden ikäisinä. Elementit valettiin kääntömuotissa, jotta ne voitiin nostaa muottien avulla pystyasentoon. Koe-elementtien KE-4 ja KE-5 valmistusvaiheet on esitetty kuvissa 67 - 71.



a) Elementin poikkileikkaus

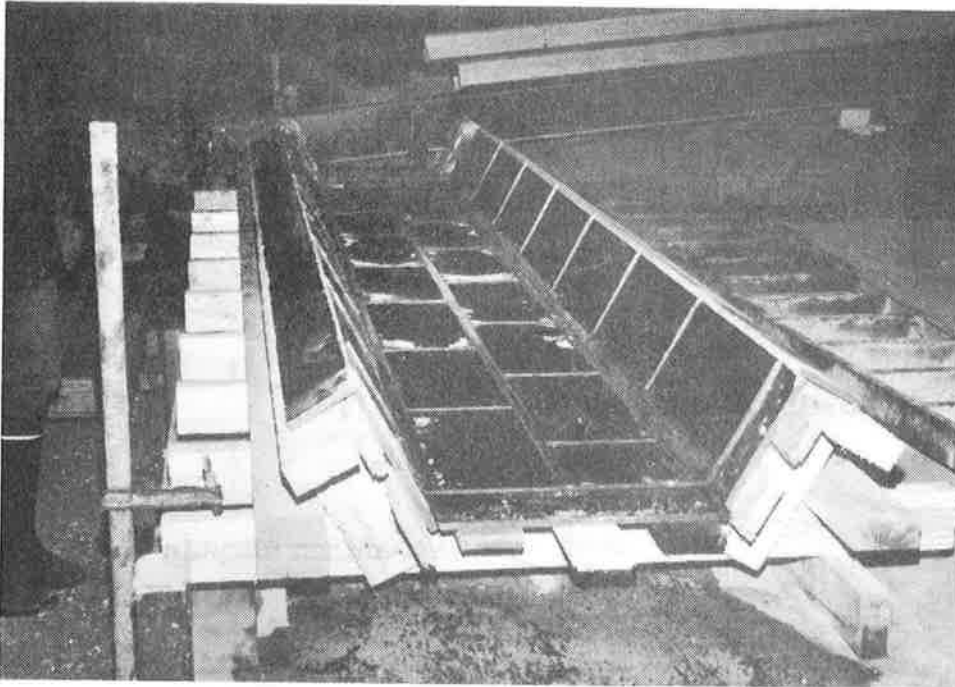


b) Poikkileikkaus



c) Pitkittäisleikkaus

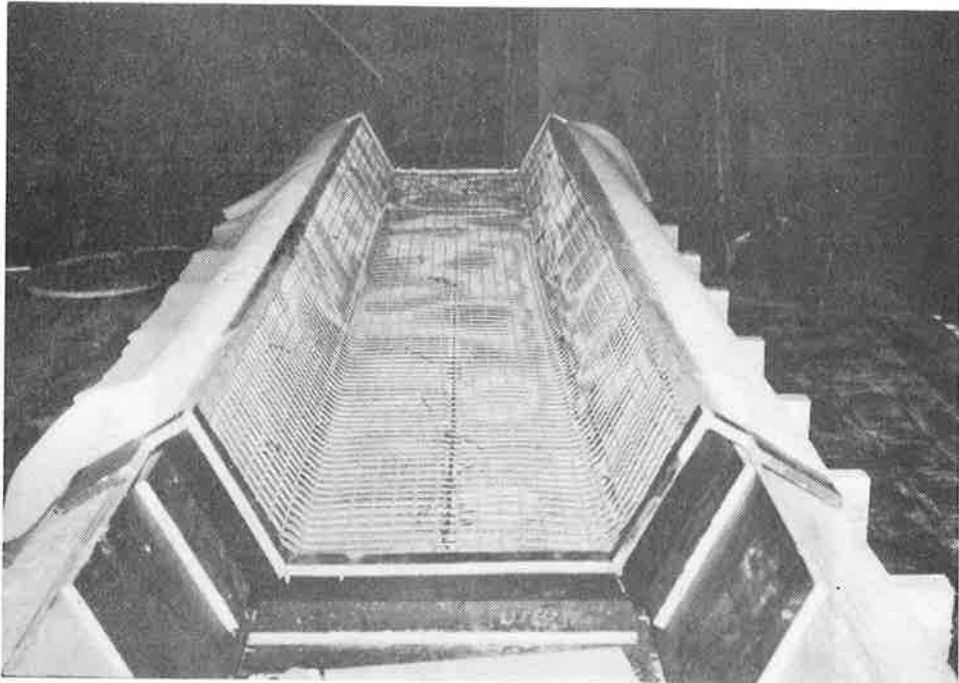
Kuva 66. Ferrobetonielementin valmistus valukoneella /5/.



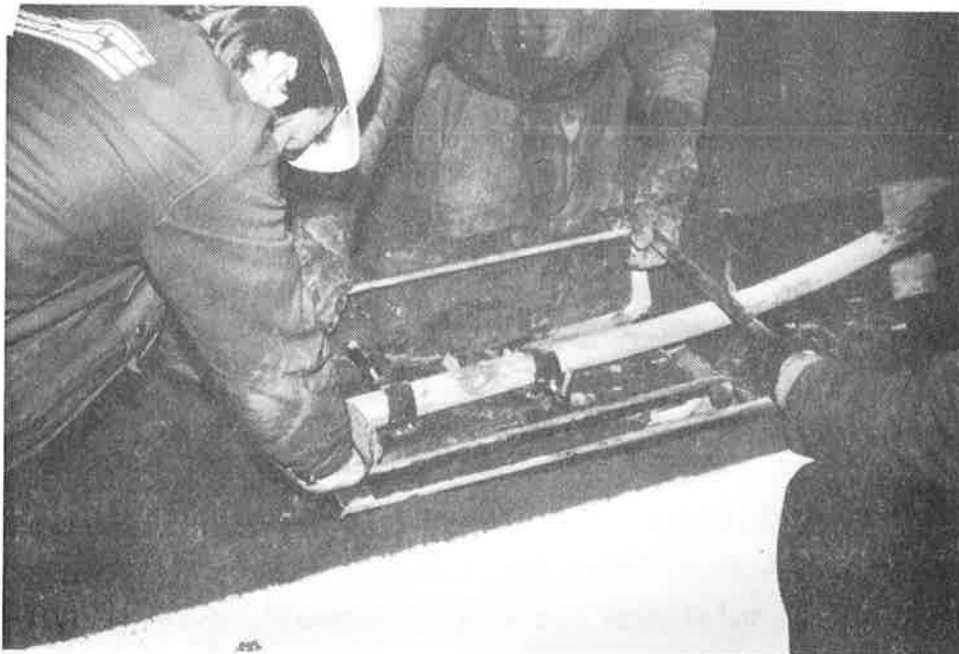
Kuva 67. Koe-elementtien KE-4 ja KE-5 muotti.



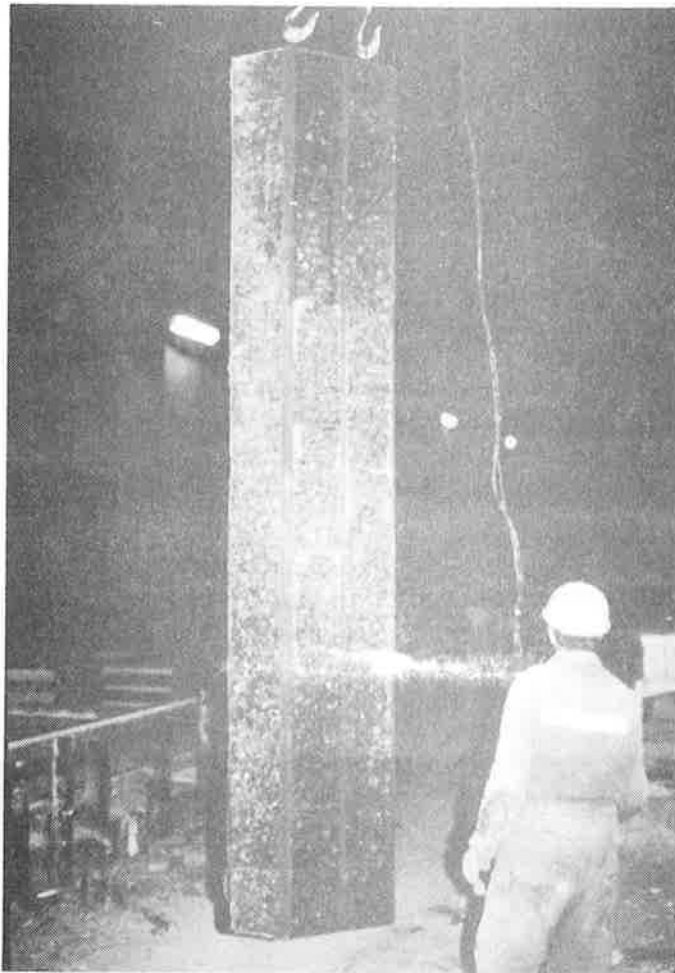
Kuva 68. Luonnokivilaatat ja tartuntakiinnikkeet muottiin asennettuina.



Kuva 69. Raudoiteverkot muottiin asennettuina.



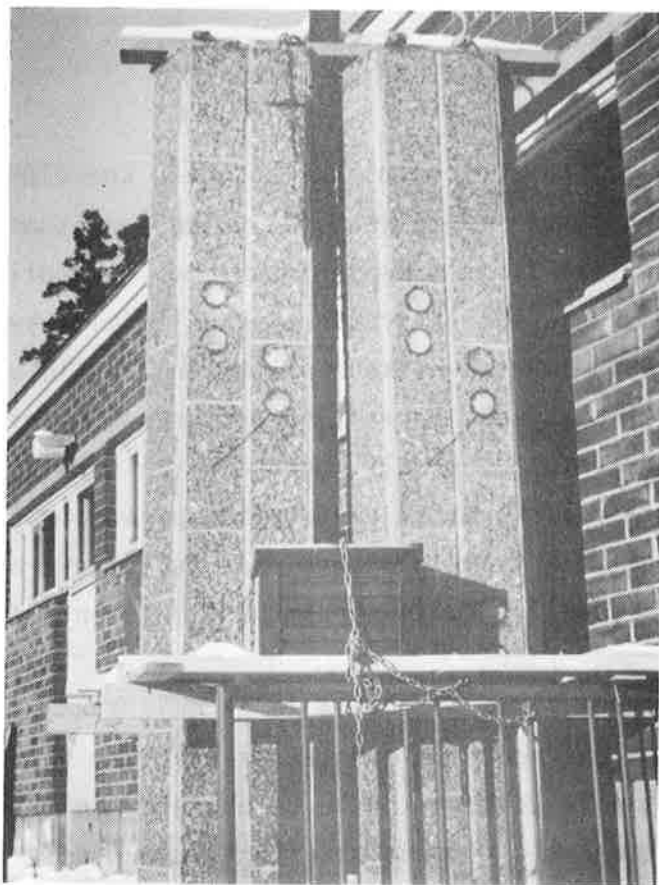
Kuva 70. Betonimassan tiivistys tärylevyn avulla.



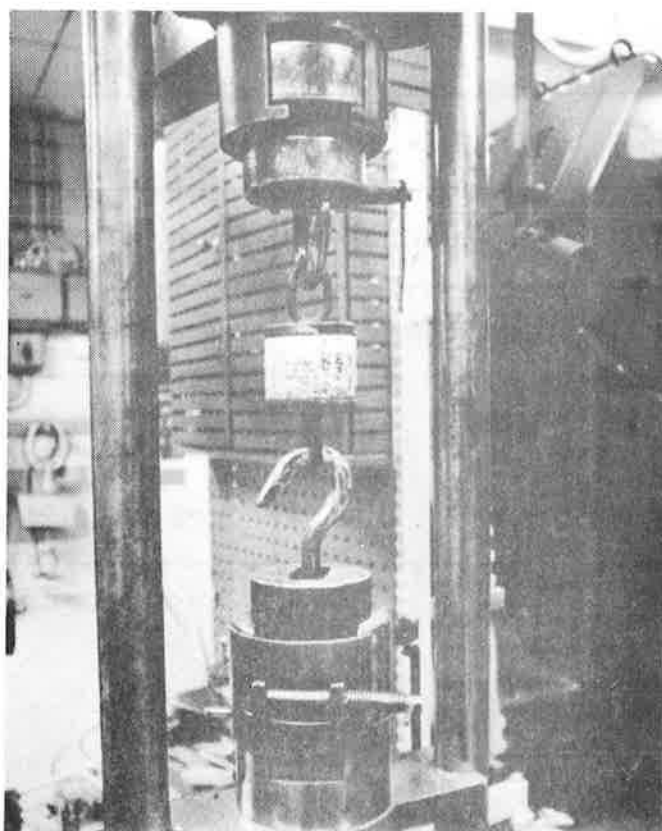
Kuva 71. Muotista nostettu valmis elementti.

6.3.4 Koe-elementtien testaus

Koe-elementtejä pidettiin Otaniemessä keväällä 1983 ulkona etelään suunnattuna 1.2. - 26.4. (kuva 72). Kivilaattojen tartunta betoniin testattiin kuvan 73 mukaisesti suoralla vetokokeella ennen ja jälkeen sääkokeen.



Kuva 72. Koe-elementit KE-4 ja KE-5 ulkona säärasituskokeessa.



Kuva 73. Koe-elementistä KE-4 poratun näytteen tartutavetokoe.

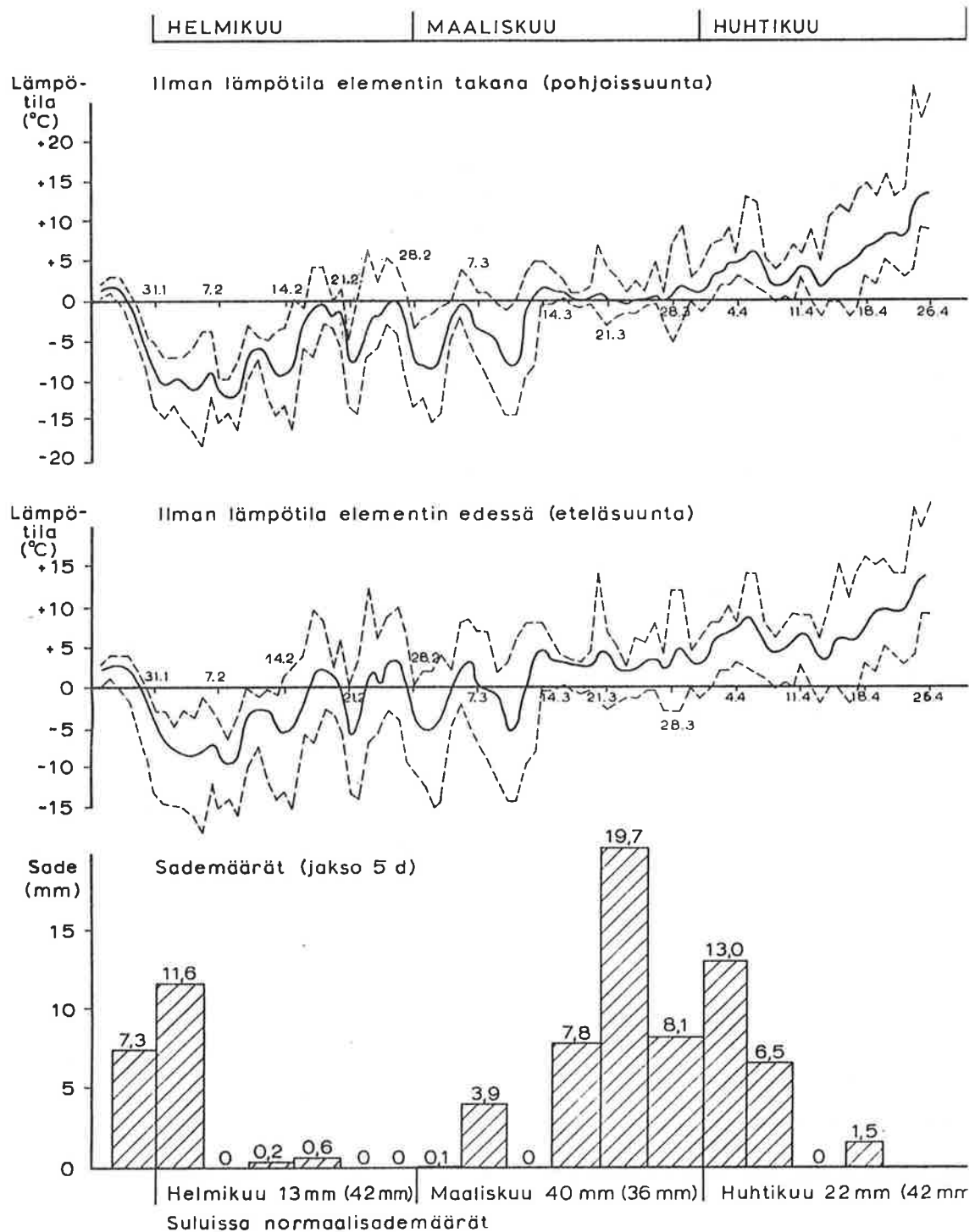
6.3.5 Kokeiden tulokset

Käytetty betonimassa ei ollut kummassakaan koe-elementissä paras mahdollinen. Elementin viistojen reunojen valun onnistumisen edellytys on betonimassan täsmälleen oikea notkeus. Koe-elementissä KE-4 betonimassa oli liian notkeata, ja se pyrki valumaan tiivistysvaiheessa. Koe-elementissä KE-5 betonimassan notkeus oli hyvin lähellä optimia ollen kuitenkin vähän liian jäykkä. Normaalisäilytyksessä olleiden KE-4:n betonieririöiden puristuslujuus oli kuukauden ikäisenä 30,2 MN/m² (kolmen kokeen keskiarvo). KE-5:ssä käytetystä kuivasta massasta ei saatu tehdyksi koelieriöitä työmaaolosuhteissa. Raudoiteverkkojen taivutus on syytä tehdä koneella. Kuljetusrasitukset elementit kestivät hyvin.

Sääkokeen aikana ilman lämpötila ja sademäärä vaihteli kuvan 72 mukaisesti. Kokeen jälkeen ei elementeissä havaittu vaurioita. Tartuntaveto-
lujuudet ennen ja jälkeen koetta on esitetty taulukossa 11. Ennen koetta testattiin kummankin elementin tartuntalujuus neljällä koekappaleella. Kokeen päätyttyä vetoja tehtiin molemmille elementeille 12 kpl.

Taulukko 11. Tartuntalujuustulosten yhteenveto, MN/m².

KE-4				KE-5			
Ennen sääkoetta		Sääkokeen jälkeen		Ennen sääkoetta		Sääkokeen jälkeen	
Reuna	Keskellä	Reuna	Keskellä	Reuna	Keskellä	Reuna	Keskellä
ka 0,79	1,11	1,05	0,89	0,75	0,66	0,70	0,28
ρ 0,29	0,35	0,39	0,36	0,28	0,24	0,46	0,20



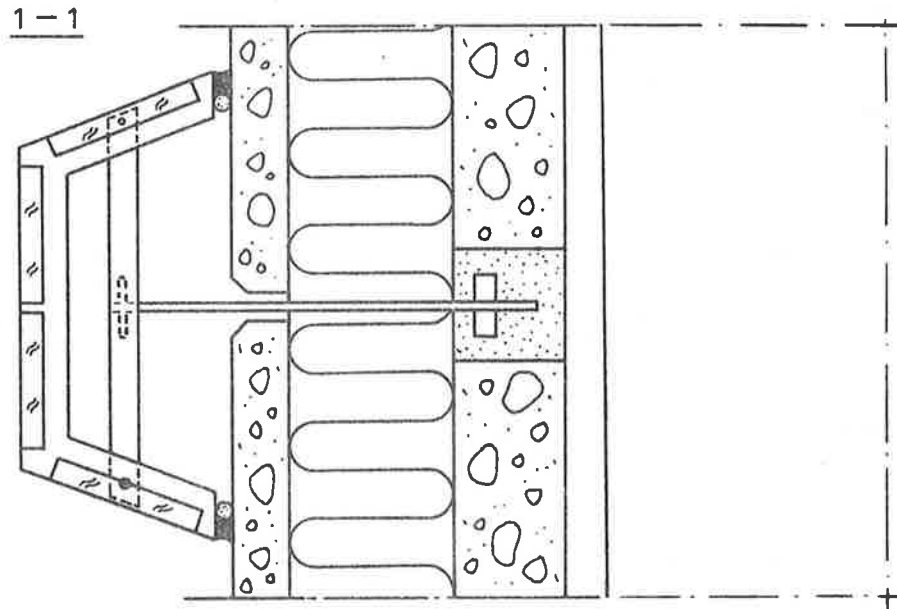
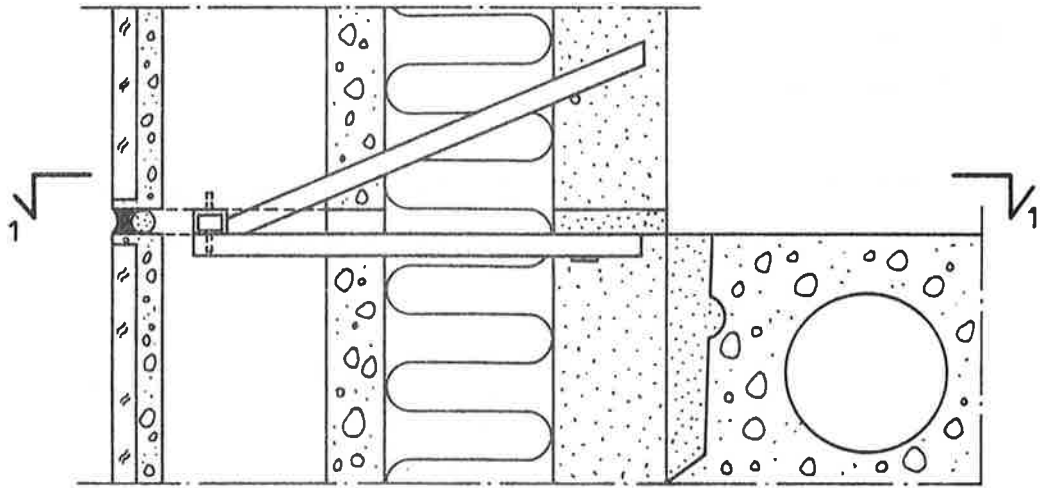
Kuva 74. Sääkokeen aikaiset lämpötilanvaihtelut ja sademäärät.

Tartuntalujuuksien keskihajonnat olivat varsin suuret, mikä selittyy osaltaan sillä, että lähes puolet poranäytteistä murtui betonista eikä kivilaatan ja betonin rajapinnasta. Näissä tapauksissa saatiin selville vain rajapinnan tartuntalujuuden alaraja-arvot ko. laatalle. Tämä heikentää saatujen tulosten luotettavuutta, mutta suuruusluokkaa ja suuntaa antavina tietoina ne ovat käyttökelpoisia. Syynä lukuisiin betonin murtumisiin varsin alhaisilla kuormilla oli osaltaan käsityönä tehdyn massan tiivistyksen hankaluudesta johtuva osittain huono tulos erityisesti KE-5:n keskialueilla. Notkeammalla massalla tehdyn KE-4:n tartunta-arvot olivat selvästi paremmat kuin KE-5:llä, mikä selittyy juuri KE-4:n paremmin onnistuneella massan tiivistyksellä. Taulukon 11 yhteenvedon mukaan tartuntalujuudet pienenevät sääkokeen jälkeen otetuissa poranäytteissä KE-4:ssä noin 20 % ja KE-5:ssä paikoin jopa alle yleisesti riittävänä pidetyn tartuntalujuustason (vrt. keraamisilla laatoilla käytetty tartuntalujuusvaatimus $0,6...0,8 \text{ MN/m}^2$).

Timanttipyörösahatulla kivilaatalla oli jonkun verran raamisahattuja paremmat tartuntalujuudet ennen sääkoetta, mutta sääkokeen jälkeen ei tuloksissa ollut eroa. Käytetyillä lisätartuntateräksillä ei tehdyssä kokeessa havaittu olevan merkittävää vaikutusta kivilaatan ja betonin väliseen tartuntaan.

Kuorielementin kiinnitystapoja ei tässä tutkimuksessa ollut mahdollista selvittää perusteellisesti. Kuvassa 75 on esitetty eräs ajatus kiinnityksen toteuttamistavasta. Periaatteena on, että kuoret kannatetaan kukin erikseen alaosastaan ja sidotaan lisäksi vaakasuunnassa yläosastaan.

Yhteenvedona voidaan todeta, että huolimatta valuvaiheen hankaluuksista tutkitut kuorielementit osoittautuivat alustavien kokeiden perusteella varsin käyttökelpoisiksi. Lisäselvityksiä kaivataan kivilaatan kiinnitykseen liittyvien kysymysten lisäksi lähinnä valmistustekniikassa ja kuorirakenteen kiinnitystavoissa. Jatkotutkimuksissa rakenteesta tehdään lisäselvityksiä (ks. 8).



Kuva 75. Kevyen kivilaattapintaisen kuorielementin kiinnitys betonielementtiin.

7 ULKOSEINÄRAKENTEIDEN VERTAILU

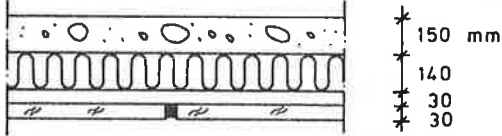
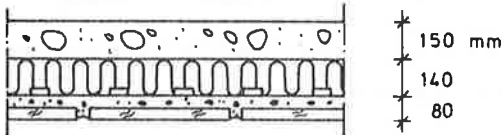
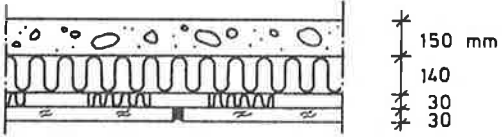
Taulukossa 12 tarkastellaan eri ulkoseinärakenteiden hyviä ja huonoja puolia eräiden suunnittelun, valmistuksen ja käytön kannalta tärkeiden teknisten ominaisuuksien suhteen. Esitys ei ole tyhjentävä, vaan huomiota on kiinnitetty rakenteiden erityispiirteisiin.

Taulukko 12. Ulkoseinärakenteiden teknisten ominaisuuksien vertailu.

Ominaisuus	Rakenne		
	Paikalla tehty kivilaatunverhous	Kivilaattapintainen betoni-sandwichelementti	Kerroksellinen elementti, jossa ulkokuorena pelkkä kivilaatta
Omapaino	Varsin kevyt ulkokuori; ei betonia mukana.	Raskas ulkokuori.	Varsin kevyt ulkokuori; ei betonia mukana.
Lujuus ja vakavuus	Hyvä.	Ulkokuoren muodonmuutokset voivat olla huomattavia. Kivilaattojen ja betonin välinen tartunta selvitetävä.	Suuria paikallisia jännityksiä kiinnikkeiden kohdilla elementtien valmistusvaiheessa. Vaadittava purkulujuus eri tapauksissa selvitetävä.
Lämmöneristävyyden tiivisyys	Hyvät. Kiinnikkeiden kohdalla kylmäsilta.	Hyvät.	Hyvät. Kiinnikkeiden kohdalla kylmäsilta.
Paloturvallisuus	Hyvä.	Hyvä.	Hyvä.
Pitkäaikaiskestävyys	Hyvä. Ruostumattomien kiinnikkeiden hitsausliitoksissa joskus ongelmia. Laattojen saumoissa jonkin verran huoltotarvetta.	Hyvä. Elementtitekniikka saumoissa jonkin verran huoltotarvetta.	Hyvä. Laattojen ja elementtien saumoissa jonkin verran huoltotarvetta.
Iskunkestävyys	Melko hyvä. Luonnonkivilaatan lohkeamisvaara.	Hyvä.	Melko hyvä. Luonnonkivilaatan lohkeamisvaara.
Valmistettavuus	Varsin huono. Vaatii runsaasti käsityötä työmaalla.	Hyvä. Elementtitekniikka käytössä. Käsityövaiheita melko paljon, jos sarjat ovat lyhyitä.	Hyvä. Elementtitekniikka käytössä. Vähemmän käsityötä kuin sandwichrakenteessa.
Materiaalien ja rakenteen siirrettävyys ja varastoitavuus	Hyvä. Kivilaattojen käsittelyssä vaaditaan varovaisuutta.	Hyvä. Kivilaattojen käsittelyssä vaaditaan varovaisuutta. Varastointikertoja useita.	Melko hyvä. Kivilaattojen ja elementin käsittelyssä vaaditaan varovaisuutta. Varastointikertoja useita.
Asennettavuus	Varsin huono. Työ kokonaan kallista käsityötä.	Hyvä. Elementtitekniikka.	Hyvä. Elementtitekniikka.
Työturvallisuus	Melko hyvä. Vaatii runsaasti asennustyötä työmaalla.	Hyvä.	Hyvä.
Likaantumisalttius ja puhdistettavuus	Likaantumisalttius pieni.	Laattojen likaantumismahdollisuus suurempi ja puhdistettavuus hieman huonompi kuin paikalla tehdyssä verhouksessa.	Laattojen likaantumismahdollisuus jonkin verran suurempi kuin paikalla tehdyssä verhouksessa. Puhdistettavuus hyvä.
Korjattavuus	Hyvä.	Kohtalainen. Voidaan korjata laatoittain.	Hyvä.
Ulkönäköominaisuudet	Hyvät.	Hyvät; voidaan käyttää vain pienemmille laatoille.	Hyvät; voidaan käyttää myös suuria kivilaattoja.

Kuvassa 76 on esitetty arvio eri ulkoseinärakenteiden valmistuskustannuksista laskettuna valmista seinä-m² kohden. Arvio on useista muutostekijöistä johtuen karkea, mutta antaa kuvan keskimääräisistä kustannustasoista. Kuvassa on perinteistä työmaalla tehtyä luonnonkivilaatoilla verhottua ulkoseinää merkitty 100:lla ja muille rakenteille on esitetty hintaeroarvio prosentteina. Halvimman rakenteen ja työmaalla tehdyn

rakenteen yksikköhinnan eroksi saatiin varovaisesti arvioituna noin 20 % uuden rakenteen eduksi. Eniten hintavaihtelua aiheuttavia tekijöitä ovat paikalla tehdyn rakenteen ja elementin vaikeusaste sekä elementti-sarjan pituus. Laskelmissa on oletettu sisäkuoret kantokyvyltään yhtä suuriksi. Käytetty luonnonkivilaatta on suomalaista rapakivigraniittia. Vertailussa ei ole otettu huomioon elementtitekniikalla saavutettavan kivilaattaverhouksen asennuksen ajansäästön vaikutusta kustannuksiin. Rakenteiden ja pinnoitteiden kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat rakentamiskustannusten lisäksi hankekohtaisesti vaihtelevat tilakustannus, koko rakennuksen yleiset elemantoimismahdollisuudet ja elementoimisen kannattavuus sekä rakenteen kestävyys ja hoitokustannukset. Luonnonkiviverhous on oikein toteutettuna erittäin pitkäikäinen ja sen hoitotarve on yleensä vähäinen.

Rakenne	Rakentamis-kustannus
<p>Paikalla tehty rakenne</p>  <p>150 mm 140 30 30</p>	100 %
<p>Kivilaattapintainen sandwichelementti</p>  <p>150 mm 140 80</p>	-10...-30 %
<p>Elementti, jonka ulkokuorena on pelkkä kivilaatta</p>  <p>150 mm 140 30 30</p>	-20...-40 %

Kuva 76. Luonnonkivipintaisten ulkoseinärakenteiden kustannusvertailu (vuoden 1983 hintataso).

8 JATKOTUTKIMUKSET

8.1 Lähtökohdat

Tehdyn tutkimuksen perusteella luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittämiseen liittyy selviä tutkimustarpeita. Luonnonkiven käytön yleisiä edellytyksiä voidaan tehtyjen selvitysten perusteella huomattavasti parantaa tutkimus- ja kehitystyöllä. Erityisesti voidaan todeta, että kivilaatoista voidaan kehitystyön avulla saada kohtuullisen taloudellinen ja laadullisesti korkeatasoinen vaihtoehto betonielementtien pinta-verhouksiin.

8.2 Jatkotutkimusten sisältö ja resurssit

Vuoden 1983 huhtikuussa käynnistetyssä kaksivuotisessa tutkimusprojektissa "Suomalaisten luonnonkivien rakennusteknisen käytön kehittäminen" jatketaan luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittämistä esitutkimuksessa tehtyjen selvitysten perusteella. Tutkimusten pääpaino suunnataan esivalmisteisten ulkoseinä- ja kuorirakenteiden kehitystyöhön. Kiinnostavien rakenteiden soveltuvuus selvitetään koeohjelman avulla. Luonnonkivipintaisten elementtien tarjoamat mahdollisuudet rakennuksen ulkonäön suunnittelussa selvitetään yhteistyössä arkkitehtien kanssa.

Tutkimuksen pääpaino on ensimmäisessä vaiheessa (1983 - 1985) kivilaattapintaisen betonisandwichelementin ja kiviakuorisen kerroksellisen betonielementin tutkimuksissa. Tavoite on rakenteiden suunnittelu- ja valmistusohjeiden julkaisu vuonna 1985.

Lisäksi tutkitaan edelleen kivilaattapintaisen ferrobetonielementin suunnitteluun, valmistukseen ja käyttöön liittyviä seikkoja sekä tehdään esitutkimuksena selvitykset kivilaattapintaisten polyuretaanielementtien käyttötekniikasta ja ohuiden kivilaattojen ($d < 15$ mm) käyttömahdollisuuksista. Paikalla rakennetun kivilaattaverhouksen rakenteiden ja kiinnitystekniikan kehittämistä tehdään myös esitutkimus kesällä 1985 päättyvässä projektissa.

Meneillään olevassa projektissa ovat omana osanaan geologiset selvitykset, joihin kuuluvat suomalaisten rakennuskivien perusominaisuuksien selvitys ja kiviesiintymän käyttökelpoisuuden arviomenetelmien kehittäminen. Projektin kokonaislaajuus on kaksi tutkijatyövuotta. Tutkimuksessa tehdään geologisilta osin yhteistyötä VTT:n geotekniikan laboratorion, Geologian tutkimuskeskuksen ja Oulun yliopiston kanssa. Projektia valvovan johtoryhmän kokoonpano on seuraava:

toim.joht.	Tommi Kainu	Suomen Kiviteollisuus Oy
yli-ins.	Mauno Kiiskinen	Rakennushallitus
toim.joht.	Kari Laukkanen	OMP-yhtymä Oy Rajaville
ins.	Jarmo Lesonen	Oy Partek Ab
toim.joht.	Gustav Mickos	Outokumpu Oy
joht.	Reino Palin	Loimaan Kivi Ky
ins.	Lasse Pulli	A.W. Liljeberg Oy
toim.joht.	Kalevi Tiinus	Kiviliiikkeiden Oy
prof.	Asko Sarja	VTT/Betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio.

LÄHDELUETTELO

1. A technical guide to the rational use of marble. Milano 1972. 76 s.
2. A 542.302. Bygghdetaljer. Plategledning med naturstein eller kunststein (betong) - ventilert. Norges byggforskningsinstitut, 1978. 8 s.
3. Anleitung zum statischen Nachweis für Naturwerkstein-Fassaden. Würzburg Bundesverband der Naturwerkstein-Fachbetriebe e.V., 1978. 42 s.
4. Ashurst, J. & Dimes, F. G., Stone in building. Its use and potential today. London, Architectural Press Ltd., 1977. 105 s.
5. Bayer, E., Ferrocement - Eigenschaften und Anwendungsgebiete. Beton- und Stahlbetonbau 77(1982)9, s. 231 - 235.
6. Betonirakenteet. Ohjeet 1981. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B 4. Helsinki, sisäasiainministeriö, 1981. 60 s.
7. Borgström, H., Stenhandboken. Stockholm, Institutionen för Materialbehandling med Formlära vid Kungl. Tekniska Högskolan Steninformation, 1968. 130 s.
8. Cladding angel court. Stone Industries 1982:3, s. 16 - 20.
9. CP 298:1972. Natural stone cladding (non-loadbearing). British Standards Institution, 1972. 43 s.
10. DIN 18515. Fassadenbekleidungen aus Naturwerkstein, Betonwerkstein und keramischen Baustoffen. Deutsches Institut für Normung, 1970. 7 s.
11. Ferrocement - materials and applications. Detroit 1979, American Concrete Institute, Publ. SP-61. 195 s.

12. Fibermar, T-process. Technomarmi Maiera, Societaper Azioni.
4 s. Esite.
13. Fixings for buildings - a design manual. Croydon, Harris and Edgar
Ltd, 1981. 99 s.
14. Georgia Marble Company. (Esite).
15. Granite stone tiling. Rakenteet 106 - 7 ja 106 - 8. Japaninkielinen
julkaisu. S. 66 - 67.
16. Julkisivumateriaalit uudisrakentamisessa. Espoo, Valtion teknilli-
nen tutkimuskeskus, rakennustalouden laboratorio. Julkaisematon.
17. Karvonen, O. & Rämä, M., Kiinnitykset betoniin. Espoo 1983. Valtion
teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 196. 59 s.
18. Koskinen, P., Vuolukiven tulenkestävyysominaisuudet. Diplomityö.
Helsingin teknillinen korkeakoulu, kemian osasto. Espoo 1982. 99 s.
+ liitt. 71 s.
19. Laitinen, H., Graniittilaattojen kiinnittäminen julkisivuelement-
teihin. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennus-
tekniikan osasto. Tampere 1982. 44 s.
20. Les revetements de facade en plaques de pierre naturelle. Concep-
tion et mise en oeuvre. Bruxelles 1967, Centre Scientifique et
Technique de la Construction. Note d'Information Technique 56. 34 s.
21. Lutz-Anker informiert. Karl Lutz. (Esite).
22. Marchais, K. & Mitchell, D., Precast concrete connections with
embedded steel members. Journal of the Prestressed Concrete
Institute 25(1980)4, s. 88 - 115.
23. Marechal, E., Panneaux architectoniques en pierres naturelles.
Teoksessa: Annales des Mines de Belgique 1977. S. 939 - 945.

24. Mesimäki, P. ym., Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittäminen Osa 1. Suomalaiset rakennuskivet ja niiden käyttökohteet. Espoo 1984. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 308. 96 s. + liitt. 11 s.
25. Mesimäki, P. ym., Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittäminen. Osa 2. Rakennuskiveltä vaadittavat ominaisuudet ja niiden määrittäminen. Espoo 1984. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 309. 77 s.
26. Mesimäki, P. & Ratvio, J. Korkealaatuinen julkisivu luonnonkivilaattapintaisilla betonielementeillä. Betonituote 54(1984)1, s. 56 - 60.
27. Mesimäki, P. & Ratvio, J., Luonnonkivijulkisivun rakenteiden ja kivilaattojen kiinnitystekniikan kehittäminen. Rakennustekniikka 40(1984)4, s. 329 - 333.
28. Müller, F., Internationale Naturstein Kartei, Bau 1. Ulm, Ebner Verlag. 280 s.
29. Naturstensfasaden - montasje - og festesystemer for ventilerte kledninger. Mur 1982:2, s. 25 - 28.
30. Naturwerkstein-Fassaden Reparaturarbeiten. Bauen mit Naturwerkstein. Frankfurt, Informationsstelle Naturwerkstein, 1976. 36 s.
31. Ohjeet kovettuneeseen betoniin asennettavien kiinnikkeiden tyyppi- hyväksyntää varten. Helsinki, sisäasiainministeriö, 1977. 16 s.
32. Ojala, P., Dioriitista valmistettujen verhouslaattojen ja betonin välisestä tartunnasta. Diplomityö. Oulun yliopisto, rakennusinsinööri-osasto. Oulu 1971. 67 s.
33. Parpala, M. & Kohtanen, J., Kokemuksia luonnonkivipintaisesta julkisivuelementistä. Betonituote 48(1978)3, s. 36 - 39.

34. Pynnönen, J., Teräsrakentamisen perusteet - liitosten ja rakenneosien mitoitus. Helsinki, Rakentajain Kustannus Oy, 1982. 74 s.
35. Richtlinien für das Versetzen und Verlegen von Naturwerksteinen Teil II. München, Deutscher Naturwerkstein Verband e.V., 1979. 83 s.
36. RT 14-10108. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 1981, RYL 81. Helsinki, Rakennustietosäätiö, Rakennuskirja, 1981. 438 s.
37. RT S-30669. Luonnonkivilaatta, Kiviliikkeiden Oy. Helsinki, Rakennustietosäätiö, 1979. 8 s.
38. RT S-31037. Marmori, travertiini, kalkkikivi ja kvartsiitti, A. W. Liljeberg Oy. Helsinki, Rakennustietosäätiö, 1982. 2 s.
39. Steel backed stone panels. Building stone news 1978: Sept., s. 75 - 86.
40. Sten på betongelementer. Larvik, Stenkontoret, 1983. 45 s.
41. Stenhandboken. Stavern, Stenkontoret, 1983. 113 s.
42. Suomalainen rakennuskivi. Kiviliikkeiden Oy. (Esite).
43. Udahl, S., Natursten som forblending på betongelementer. Stavern, Stenkontoret, 1964. 13 s.
44. Ventilerad fasadbeklädnad av natursten. Stockholm, Stenindustrins forskningsinstitut, 1968. 43 s.

OHUILLA KIVILAATOILLA VERHOTTUJA RAKENNUKSIA

A. Työmaa-asennus, perinteinen kiinnitystekniikka

Rakennus	Sijainti	Kivilaji	Pintakäsittely	Arkkitehdit	Rakennesuunnittelija	Valm. vuosi
- KOP:n liikerakennus	Helsinki Kamppi	Taivassalon punainen graniitti	Kiillotettu	Kaija & Erkki Siren	Erkki Juva Oy	1985
- Tikkurilan kirjasto-talo	Tikkurila	Taivassalon ruskea graniitti	Ristipäähakattu	Perkko & Rautamäki	Y-suunnittelu	1984
- Pohjola Oy:n pääkonttori	Niemenmäki	Kurun harmaa graniitti	Ristipäähakattu	Castrén-Jauhainen-Nuuttila	Ins.tsto Kukkonen	1982
- SYP Tempo	Mannerheimintie, Erottaja	Vehmaan punainen graniitti	Poltettu	Risto Skogström	Lauri Mehto	1973
- KOP/Bronda (Seppälä)	Et.esplandi	Kurun harmaa graniitti	Ristipäähakattu	Keijo Petäjä	Erkki Juva Oy/ Kalevi Laine	1975
- Seurakuntien virastotalo	Kallio	Taivassalon ruskea graniitti	Ristipäähakattu	Kaija & Heikki Siren	Ins.tsto Magnus MalMBERG Ky	1979
- Neuvostoliiton kaupallinen edustusto	Tehtaankatu 1 C	Kurun harmaa graniitti	Ristipäähakattu	Eino Tuompo		1972
- Kampin metroasema	Kamppi	Taivassalon punainen ja Kurun harmaa graniitti	Ristipäähakattu	Hyvämäki-Karhunen-Parkkinen	Ins.tsto Lauri Mehto	1983
- Finlandia-talo	Töötiö	Carraran valkoinen marmori	Mattahiottu	Alwar Aalto	Ins.tsto Magnus MalMBERG Ky	1971/74
- Hotelli-Hesperia	Töötiö	Carraran valkoinen marmori	Mattahiottu	Pauli Lehtinen		1972
- Enso-Gutzeitin toimitalo	Katajanokka	Pardic lieto, Carraran valkoinen marmori	Mattahiottu	Alwar Aalto		1962
- Kalastajatorppa	Munkkiniemi	Bardig lieto marmori	Mattahiottu	Einari Teräsvirta	Ins.tsto Elooranta	1967/75

Rakennus	Sijainti	Kivilaaji	Pintakäsittely	Arkkitehdit	Rakennesuunnittelija	Valm. vuosi
- Hirviniemi (yksityinen)	Kuusisaari	Carran valkoinen marmori	Mattahiottu	Timo Penttiä, Heikki Saarela	Mikko Vahanen	1981
- Autotalo	Kamppi	Carran valkoinen marmori, Lapin marmori, Ekebergin marmori	Mattahiottu	Luukkonen		1959/62
- As.hallitus	Malminkatu	Carran valkoinen marmori	Mattahiottu	Hurmerinta		1971
- Vuoksenniskan toimitalo	Korkeavuorenk. Rikh.k. kulma	Travertiini	Mattahiottu			1955
- Mauri Rätty, yksityisasunto	Kuusisaari	Vuolukivi	Hiekkapuhallettu	Jaakko Laapotti	Ins.tsto Kais-ta & Setsbas	1984
- SYP:n toimitalo	<u>Turku</u> Aurakatu 6	Ylämaan ruskea graniitti	Poltettu	Veijo Kahra	Ins.tsto T. Lindstad	1981
- Pohja-Yhtymän talo	Torin tuntumassa	Tumma Carran marmori	Mattahiottu	Alwar Aalto		
- Sampo-Tarmo?	Torin laidalla	Carran valkoinen marmori	Mattahiottu	Ehojoki		1976
- Turun työväen säästöpankki	Yliopistokatu 29 B <u>Lahti</u>	Lapin marmori	Sahattu			
- Salpausselän säästöpankki	Torin laidalla <u>Vaasa</u>	Tummasuoninen travertiini	Mattahiottu			1974
- Vaasan osuuspankin talo	Torin laidalla	Ristijärven harmaa graniitti	Ristipäähakattu	Kari Kyyhkynen		

B. Betoniellementtitekniikalla tehdyt kivilaattapintaist julkisivut

Rakennus	Sijainti	Kivilaji	Pintakäsittely	Arkitehdit	Rakennesuunnittelija	Valm. vuosi	Elementin valmistaja
- Sampoalo	<u>Turku</u> Puutarhakatu 1	Taivassalon punainen graniitti	Poltettu	Sigvald Eklund Ky		1979	Kivikartio Oy
- Lääkäritalo (Sampo)	Humalistonkatu 11	Kurun harmaa graniitti	Poltettu risti-päähakattu	Pekka Pitkänen		1982	Ruskon elementti Oy
- KOP:n talo	<u>Aurakatu 3</u> <u>Vaasa</u>	Travertiini	Hiottu	Rewell	Forssen	1963	
- Sampoalo	<u>Torin laidalla</u>	Musta graniitti	Hiottu	Toivo Korhonen	Ins.tsto Ka-levi Normala	1977	Betoninunmmi Oy
- Lohjan säästöpankki	<u>Lohja</u>	Taivassalon punainen graniitti	Poltettu	Lukander & Vaahtera			
- Kunnallisen eläkelaitoksen rakennus	<u>Kirkkonummi</u> Järssö	Taivassalon punainen graniitti	Lohkopintaista kivisuikaletta	Eino Tuompo	Suunnittelu-keskus/Esko Riikonen	1984	Rakennusvalmiste Oy

Vaakasuoran kivilaatan mitoitus esimerkki

1. Lähtötiedot

- laatan mitat 1520 x 600 x d mm³
- kivilaji: Kurun harmaa graniitti
- kiven tiheys 28,9 kN/m³
- kiven taivutusvetolujuus 14,0 N/mm²
(alin arvo testauksessa)
- kiven tappilohkaisukapasiteetti on 8 mm reunaetäisyydellä 3,8 kN, 10 mm:n reunaetäisyydellä 4,3 kN ja 13 mm:n reunaetäisyydellä 5,4 kN (alimmat testitulokset)
- kiinnitystapin reiän halkaisija D = 8 mm
- laatan sijaintikorkeus 47 m maanpinnasta
- rakennuksen kaikilla seinillä on sama tiiviys

2. Kuormitukset

Tuulikuorma (RIL 144-1982, alue A)

- paine $q_{wp} = 1,0 \cdot 0,92 = 0,92 \text{ kN/m}^2$
- imu $q_{wi} = -0,9 \cdot 0,92 = -0,83 \text{ kN/m}^2$

Omapaino

- valitaan d = 30 mm
- G = 1,52 · 0,6 · 0,03 · 28,9 = 0,79 kN

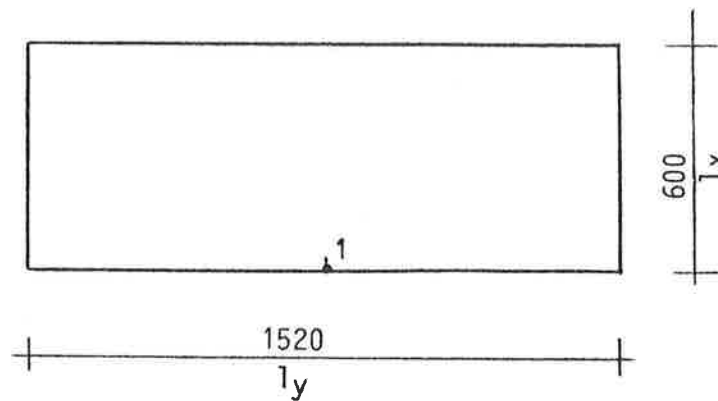
3. Mitoitus

a) Taivutus

- Lasketaan tuulikuorma laatan alalle
 $\Rightarrow W_{kp} = A \cdot q_{wp} = 1,52 \cdot 0,6 \cdot 0,92 = 0,84 \text{ kN}$
- laatan sivujen suhde $\epsilon = \frac{l_y}{l_x} = \frac{1,52}{0,6} = 2,53$
- momenttiluvut $m_{yr} = 3,08$ (taulukko 2, s. 40)
 $n_{y^2} = 11,11$ (taulukko 3, s. 41)

- sallittu taivutusjännitys

$$\sigma_{tsall} = \frac{\sigma_t}{3} = \frac{14,0}{3} = 4,67 \text{ N/mm}^2$$



Kuva 1. Kivilaatan mitat ja laatan taivutusvetolujuuden laskentapiste 1.

- lasketaan laattaan pisteeseen 1 tuulikuormasta ja laatan omasta painosta syntyvä taivutusvetojännitys (laattaa tarkastellaan nurkistaan vapaasti kiinnitettynä) (ks. 4.2)

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{6 \cdot W_k}{m \cdot y \cdot d^2} \cdot 10^{-3} + \frac{7,5 \cdot G}{n \cdot y^2 \cdot l_y \cdot d} \cdot 10^{-2} \\ &= \frac{6 \cdot 0,84 \cdot 10^{-3}}{3,08 \cdot 0,03^2} + \frac{7,5 \cdot 0,79 \cdot 10^{-2}}{11,11 \cdot 1,52 \cdot 0,03} \\ &= 1,82 + 0,12 = 1,94 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{tsall}\end{aligned}$$

- valitsemalla $d = 20 \text{ mm}$ saadaan vastaavasti, että

$$\sigma_t = 4,21 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{tsall}$$

- siis taivutuksen perusteella saadaan laatan vähimmäispaksuudeksi 2 cm.

b) Tappilohkaisu

- Kivilaatan kiinnitystapille (4 kpl/laatta) tuulikuormasta aiheutuva vaakasuora kuorma

$$F_{wp} = A \cdot q_{wp} / 4 = 0,84 / 4 = 0,21 \text{ kN}$$

- Laatan painon kantaville tapeille (2 kpl/laatta) aiheutuu omasta painosta pystysuora kuorma

$$F_g = G / 2 = 0,79 / 2 = 0,40 \text{ kN}$$

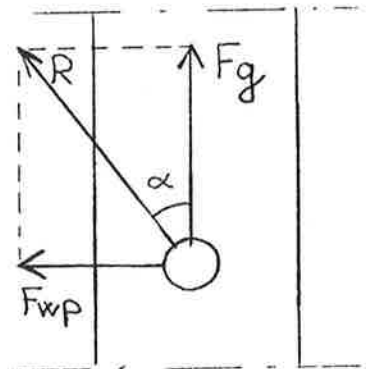
- Kuormaresultantiksi saadaan

$$R = \sqrt{F_g^2 + F_{wp}^2} = \sqrt{0,40^2 + 0,21^2} = 0,45 \text{ kN}$$

- Kuorman R suuntakulman α tangentti

$$\tan \alpha = \frac{F_{wp}}{F_g} = 0,53$$

$$\Rightarrow \alpha = 27,7^\circ$$



Kuva 2. Kiinnitystapista kiveen kohdistuvat kuormat.

$$\begin{aligned} - R_{\text{sa11}} &= \frac{R_{\text{test}}}{3} = 3,8/3 = 1,27 \text{ kN, kun } x = 8 \text{ mm} \\ &= 4,3/3 = 1,43 \text{ kN, kun } x = 10 \text{ mm} \\ &= 5,4/3 = 1,80 \text{ kN, kun } x = 13 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Mitoitusehto

$$R < R_{\text{sa11}}$$

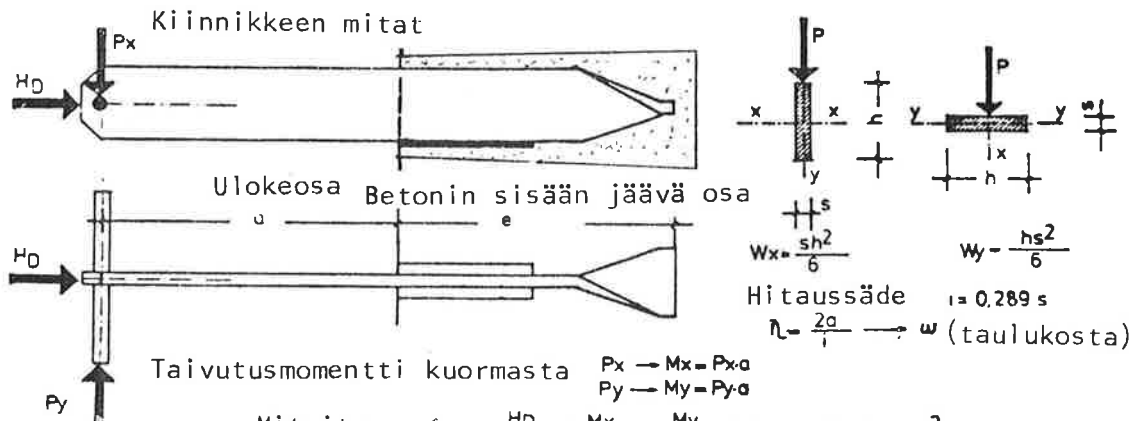
täyttyy käytettävissä olevista testituloksista pienimmällä reunaetäisyydellä $x = 8 \text{ mm}$

- Laatan vähimmäispaksuudeksi tappilohkeaman perusteella saadaan siis

$$d_{\text{min}} = x_1 + D + x_2 = 8 + 8 + 8 = 24 \text{ mm}$$

c) Valitaan mittatoleranssit huomioon ottaen laskelmien perusteella kivilaatan paksuudeksi 3 cm.

Kannatinlokkeen mitoitus DIN 18515:n mukaan.



Mitoitus 1. $\sigma = \frac{H_D}{h \cdot s} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} < \sigma_{zul} = 1400 \text{ kp/cm}^2$

2. $\sigma = \frac{\omega \cdot H_D}{h \cdot s} + 0,9 \left(\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \right) < \sigma_{zul}$

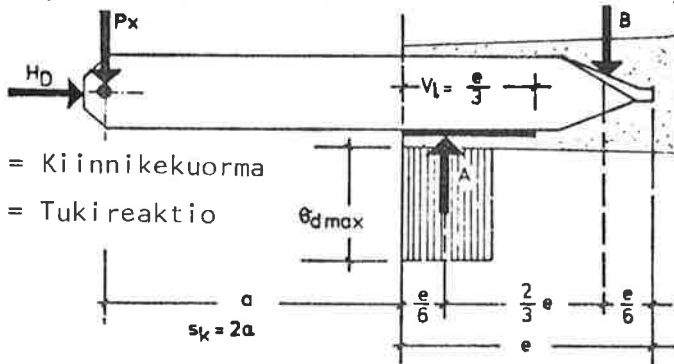
3. Kiepsahdustarkastelu (ei yleensä mitoitettava)

Kiepahduskuorma: $K_{Ki} = \frac{4,013}{q^2} \cdot \sqrt{E \cdot J_y \cdot G \cdot J_t} \geq 1,71 P \cdot x \text{ (kp)}; (J_t - \text{TORSIO})$

(Kimmomoduuli = $2,03 \cdot 10^6$ Liukumoduuli $G = 0,9 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2$)
 $J_t = \alpha h b^3$; $\alpha = 0,312$, kun $\frac{h}{b} = 10$ (α taulukosta)

Painejakautuma kiinnikkeen taustassa:

Kiinnikkeen taustan kantokyky:
 Teräsbetoni:



$\sigma_B = \frac{B_R}{2,1} \cdot \sqrt{\frac{F}{F_1}} \left(\frac{F}{F_1} \leq 3 \right) = \frac{B_R}{2,1} \cdot \sqrt{3}$
 (DIN 1045, Taulukko 13)

Bn-150: $\sigma_{dzul} = 87 \text{ kp/cm}^2$
 Bn-250: $\sigma_{dzul} = 144 \text{ kp/cm}^2$

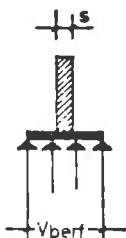
Maksimi puristusjännitys:

Tukireaktio $A = \frac{P_x(a + \frac{5}{6}e)}{2/3e}$

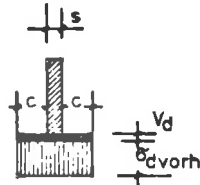
$\sigma_{d \max} = \frac{A}{\text{Vertikaalilevyn pinta-ala}} < \sigma_{dzul}$

Levyn vaadittava leveys:

Levyn vaadittava paksuus:



$V_{berf} = \frac{A}{e/3 \cdot \sigma_{dzul}}$



$V_{derf} = \frac{\sqrt{\sigma_{d \text{ vorh}} \cdot c}}{23,09}$
 kun $\sigma_{zul} = 1600 \text{ kp/cm}^2$

Käytettäessä kannatinteräksessä suuria paksuuksia, jotka takaavat riittävän jännitysten jakautumat, ei paineenjakolevyjä tarvita.

KIINNİKKEIDEN RAJATILAMITOITUKSEN PERIAATTEET

1 ANKKURIKIINNITYKSEN RAJATILAMITOITUS

1.1 Mitoitusperiaatteet

Ankkurikiinnityksen mitoittavat rajatilat ovat betonin tai kiinnikkeen murtorajatila sekä kiinnikkeen siirtymärajatila.

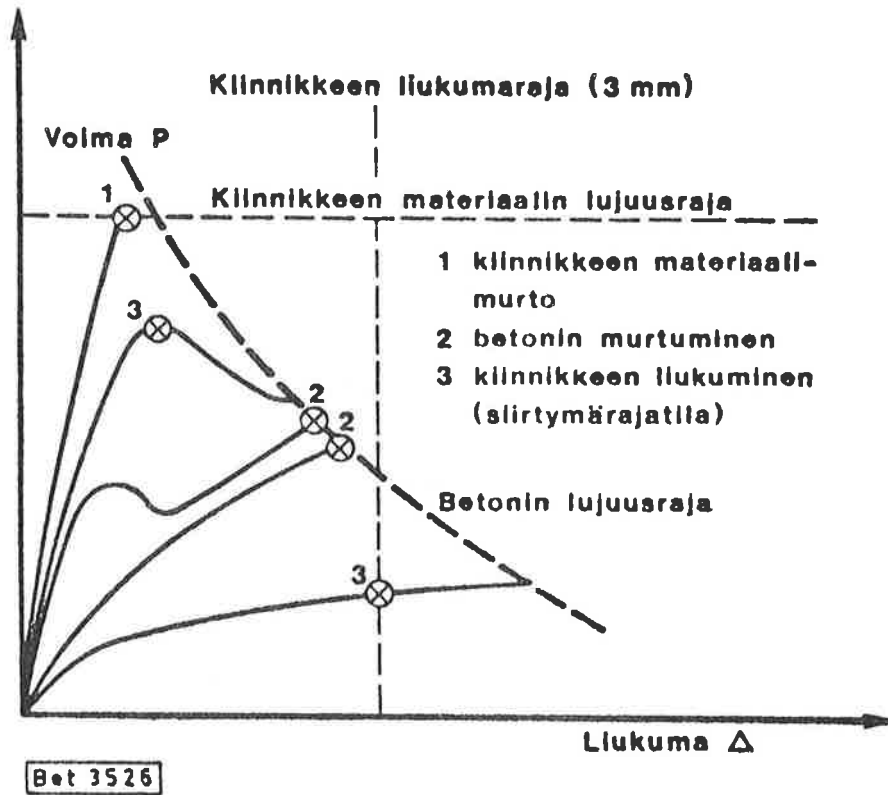
Murtorajatilassa tapahtuu joko betonin tai kiinnikkeen materiaalimurto. Myös näiden murtotapojen yhdistelmä on mahdollinen.

Kiinnityksen murtolujuus on kuormituskokeissa todettu suurin ominaiskuorman arvo. Kiinnityksen laskentalujuuden on oltava vähintään laskentakuorman suuruinen.

Siirtymärajatila on käyttörajatila, missä siirtymärajatilaa vastaavan kapasiteetin on oltava vähintään käyttökuorman suuruinen. Siirtymärajatila saavutetaan, kun kiinnikkeen liukuma voiman suunnassa on kolme millimetriä. Suunnittelija voi perustelluissa tapauksissa valita siirtymärajaksi myös kolmesta millimetristä poikkeavan arvon.

Kiinnityksen lujuuden määritelmä ja mitoitusperiaatteet on tarkistettava voimassa olevasta tyyppihyväksyntäohjeesta.

Kuvassa 1 on esitetty eräitä kiinnikkeiden tyypillisiä kuormitus-liukuma käyriä.



Kuva 1. Tyypillisiä kiinnikkeiden kuorma-liukumakäyriä, joihin on merkitty rajatilat.

Mitoitusehdot ovat seuraavat:

a) Vetorasituksessa

$$F_{td} \geq N_d \quad (1)$$

b) Leikkausrasituksessa

$$F_{vd} \geq V_d \quad (2)$$

c) Veto- ja leikkausrasituksessa

$$F'_{td} \geq N_d \quad (3)$$

$$F'_{vd} \geq V_d \quad (4)$$

Kaavoissa (1)-(4)

- N_d on vetorasitusta aiheuttavan kuorman laskenta-arvo,
 V_d leikkausrasitusta aiheuttavan kuorman laskenta-arvo,
 F_{td} vetolujuuden laskenta-arvo,
 F'_{td} vetolujuuden laskenta-arvo, kun samanaikaisesti vaikuttaa myös leikkausrasitus,
 F_{vd} leikkauslujuuden laskenta-arvo ja
 F'_{vd} leikkauslujuuden laskenta-arvo, kun samanaikaisesti vaikuttaa myös vetorasitus.

Mikäli yhdistetyn veto- ja leikkausrasituksen vaikutusta ei ole tarkemmin tutkittu, voidaan vetolujuuden laskenta-arvo F'_{td} laskea kaavasta (5) ja leikkauslujuuden laskenta-arvo F'_{vd} kaavasta (6).

$$F'_{td} = F_{td} \left(1 - \frac{V_d}{F_{vd}}\right) \quad (5)$$

$$F'_{vd} = F_{vd} \left(1 - \frac{N_d}{F_{td}}\right) \quad (6)$$

Rakenteiden laskentakuormat saadaan käyttäen taulukon 1 mukaisia kuormituksen osavarmuuskertoimia.

Taulukko 1. Kuormituksen osavarmuuskertoimet.

Kuorma	Osavarmuuskerroin
Pysyvä	1,20
Muuttuva	1,60

Siten laskentakuormaksi saadaan:

$$F_d = 1,60 \cdot F_{q1} + k_2 (1,20 \cdot F_g + 1,60 \cdot F_{q2}) \quad (7)$$

missä

F_{q1} on muuttuva tyhytaikainen kuorma,

F_{q2} muuttuva pitkäaikainen kuorma,

F_g pysyvä kuorma ja

k_2 kiinnikkeen aikavaikutuskerroin.

= 1, jos kiinnike asennetaan ennen betonin kovettumista,

= 1,5, jos kiinnike asennetaan kovettuneeseen betoniin (kun ei ole tehty kokeellista selvitystä, eikä kiinnikkeen laajentumaa voida jälkikäteen säätää)

= 1,3, jos kiinnike asennetaan kovettuneeseen betoniin (kun ei ole tehty kokeellista selvitystä ja kiinnikkeen laajentumaa voidaan jälkikäteen säätää).

Kiinnikkeen ominaiskapasiteetti voidaan määrittää joko laskennallisesti tai kokeellisesti. Laskennallinen kapasiteetti määritetään noudattaen rakentamismääräyskokoelman määräyksiä betonirakenteiden rajatilamitotuksesta ja muita yleisesti hyväksytyjä laskentamenetelmiä. Tyypin hyväksyntää varten laskennallinen kapasiteetti on tarkistettava kokeiden avulla.

Kiinnikkeen kokeellinen ominaiskapasiteetti lyhytaikaisessa staattisessa kuormituksessa lasketaan vähintään kuuden identtisen kokeen tuloksesta kaavasta

$$F_k = F_m (1 - 1,64 \cdot \delta_t), \quad (8)$$

missä

F_k on kiinnikkeen ominaiskapasiteetti

F_m kokeissa mitattujen kapasiteettien keskiarvo ja

δ_t kokeissa mitattujen kapasiteettien variaatiokerroin

(= keskihajonta/keskiarvo)

Tyyppihyväksyntäohjeiden mukaan variaatiokertoimelle on käytettävä vähintään arvoa $\delta_t = 0,10$.

Laskentalujuus saadaan, kun ominaislujuus jaetaan kiinnikkeen osavarmuuskertoimella. Kovettuneeseen betoniin asennettavien kiinnikkeiden osavarmuuskerroin $\mu = 2,5$.

Rakenteen halkeilu pienentää kiinnityksen kapasiteettia. Kiinnikkeiden toimittajien mitoitus- ja käyttöohjeissa tämä otetaan huomioon kertomalla laskentalujuus kertoimella k_1 , joka on

- 1,0, kun laskelmien mukaan kiinnityskohtaan ei synny betoniin halkeamia käyttötilan mukaisilla kuormilla,
- 0,5, kun halkeaman leveys $\leq 0,3$ mm ja
- 0, kun halkeaman leveys on 0,3 mm.

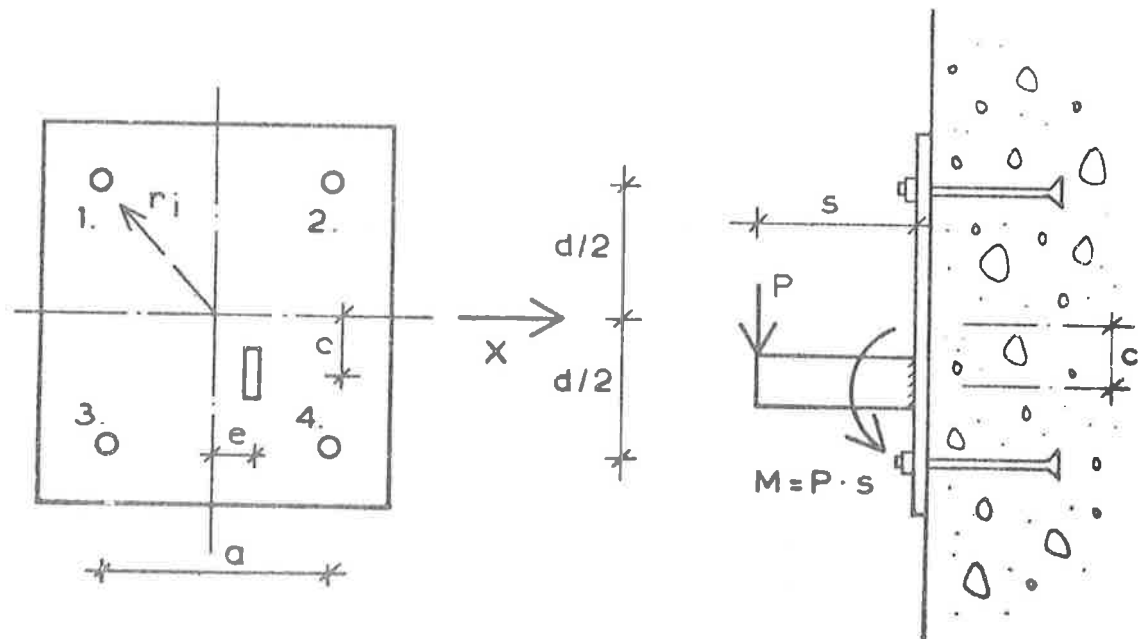
Mitoitusperiaatteena on, että laskentalujuus on vähintään laskentakuorman suuruinen.

Mitoitus dynaamisille kuormille selvitetään tapauskohtaisesti.

Seuraavassa tarkastellaan kiinnityslevylle ja kiinnikkeille eri tapauksissa tulevia rasituksia.

1.2 Kiinnityslevyn ja kiinnikkeiden rasitukset ankkurikiinnikkeiden määrän mukaan

1.2.1 Neljän ankkurin kiinnitys



Kuva 2. Kiinnikkeiden mitoitus neljän ankkurin kiinnityksessä;
 e = lattateräksen epäkeskisyys (asennustoleranssi).

Kiinnityslevylle tuleva taivutusmomenttirasitus voidaan laskea kaavalla

$$M_{xd} = P_{ud} \cdot s = \frac{a \cdot d}{\frac{a}{2} + e} \cdot N_{ut}, \text{ missä} \quad (9)$$

N_{ut} on yhdelle ankkurille tuleva vetovoima.

Ankkurikiinnikkeiden mitoituksessa tarvittavat yhdelle ankkurille tulevat veto- ja leikkausvoimat saadaan seuraavilla kaavoilla

$$N_{ut} = \frac{P_{ud} \cdot s \left(\frac{a}{2} + e \right)}{a \cdot d} \quad (10)$$

$$V_{ut} = P_{ud} \left(\frac{1}{4} + e \cdot \frac{r_i}{\sum r_i^2} \right), \text{ missä} \quad (11)$$

V_{ut} on yhdelle ankkurille tuleva leikkausvoima.

Jos on kysymyksessä yhdistetty veto- ja leikkausrasitus, voidaan käyttää kaavoja

$$N_{ud'} = N_{ud} \left(1 - \frac{V_d}{V_{ud}} \right) \quad (12)$$

$$V_{ud'} = V_{ud} \left(1 - \frac{N_d}{N_{ud}} \right) \quad (13)$$

missä

N_{ud} on yhden ankkurin ulosvetokapasiteetin laskenta-arvo,

V_{ud} yhden ankkurin leikkauskapasiteetin laskenta-arvo,

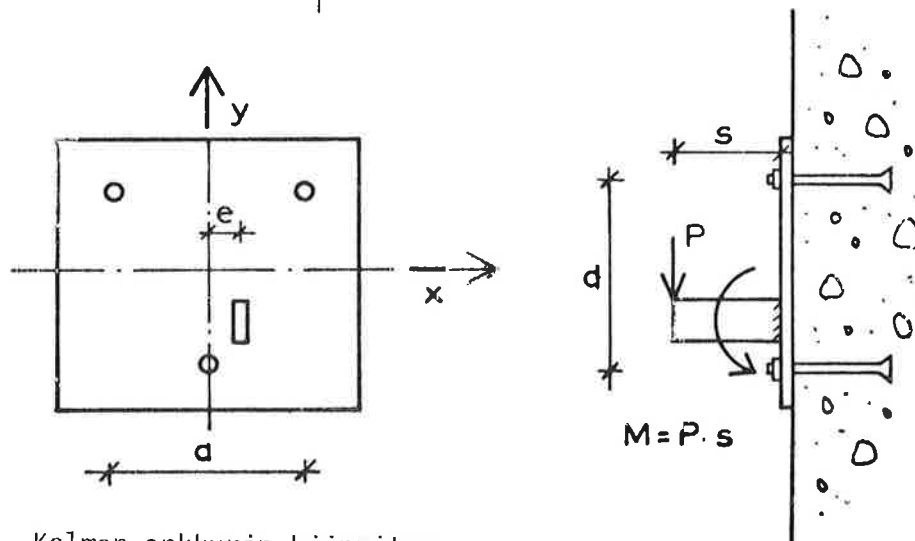
N_d vetorasitusta aiheuttavan kuorman laskenta-arvo ja

V_d leikkausrasitusta aiheuttavan kuorman laskenta-arvo.

1.2.2 Kolmen ankkurin kiinnitys

$$N_{ut} = \frac{P_{ud} \cdot s \left(\frac{a}{2} + e \right)}{a \cdot d} \quad (14)$$

$$V_{ut} = P_{ud} \left(\frac{1}{3} + e \frac{r_i}{\sum r_i^2} \right) \quad (15)$$

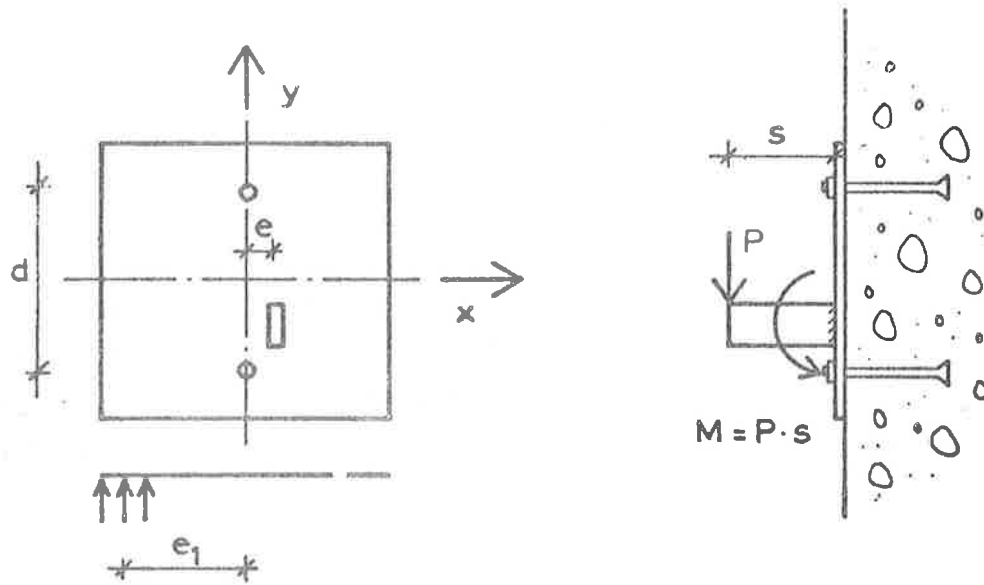


Kuva 3. Kolmen ankkurin kiinnitys.

1.2.3 Kahden ankkurin kiinnitys

$$N_{ut} = \frac{M_{uxd}}{d \cdot e_1} (e_1 + e) \quad (16)$$

$$V_{ut} = P_{ud} \left(\frac{1}{2} + \frac{e}{d} \right) \quad (17)$$

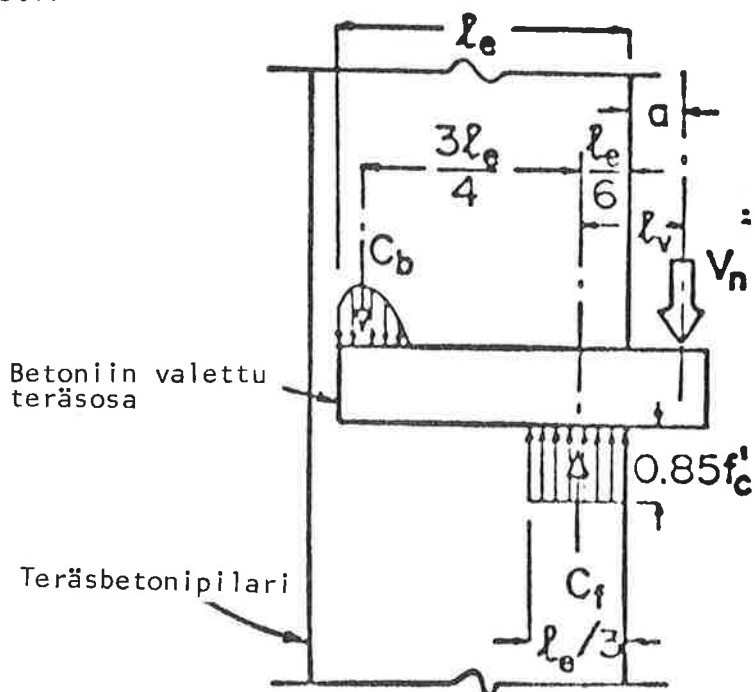


Kuva 4. Kahden ankkurin kiinnitys.

2 BETONIIN VALETUN KANNAKKEEN RAJATILAMITOITUS

2.1 Mitoituksen periaatteet

Ennen betonin kovettumista asennettavan tai jälkijuotoksella kiinnitetävän ulokekiinnikkeen rajatilatarkastelu voidaan suorittaa kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Ennen betonin kovettumista asennettavan ulokekiinnikkeen rajatilamitoitus

Tukireaktioksi C_F saadaan

$$C_F = \frac{\left(\frac{11}{12} \cdot l_e + a\right) \cdot P_x}{\frac{3}{4} \cdot l_e}, \quad (18)$$

missä merkinnät selviävät kuvasta 6.

Sylinterilujuus f'_c muutetaan vastaamaan suomalaista kuutiolujuutta kertomalla se kertoimella $\gamma = 1,35$ eli

$$f'_c = \frac{K_n}{1,35} \approx 0,74 K_n \quad (19)$$

Riittävään varmuustasoon päästään ottamalla betonin lujuudeksi ominaislujuus

$$f_{ck} = 0,7 K_n \quad (20)$$

Laskentalujuudeksi saadaan

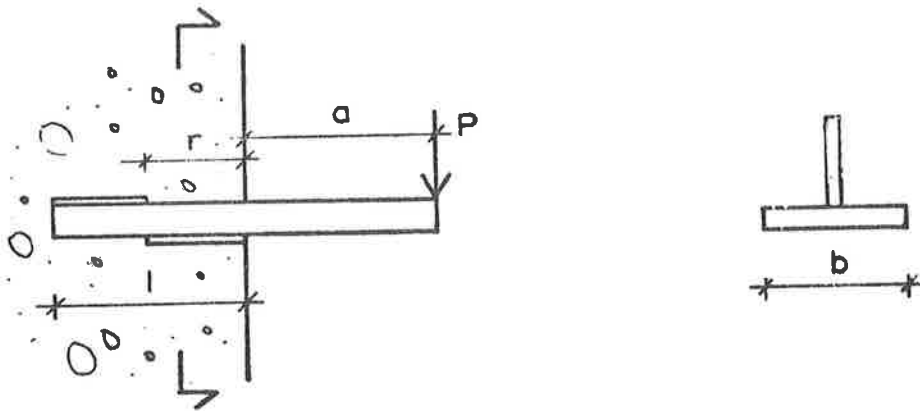
$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \quad (21)$$

missä γ_c on materiaalin osavarmuuskerroin.

Seuraavassa esitetään esimerkki ulokekiinnikkeen rajatilatarkastelusta.

2.2. Esimerkki valun yhteydessä asennetun kiinnikkeen mitoituksesta rajatilamenetelmällä.

Teräsojan jännitykset ja stabiliteetti on jätetty huomioimatta.



Kuva 6. Esimerkki kiinnikeulokkeen mitoituksesta PCI:n mukaan/3/.

Lähtöarvot:

$$a = 160 \text{ mm}, P_g + P_q = 0,5 + 0,5 \text{ kN}$$

$$\text{Betoni K 25-2, } f_{cd} = 11,7 \text{ MPa}$$

b, l, r_{min} = ?

$$P_d = (1,2 + 1,6) 0,5 = 1,4 \text{ kN}$$

$$A_d = f_{cd} \cdot b \cdot l/3 = \left(\frac{11}{12} \cdot l + 0,16 \right) \cdot 0,0014 \quad (\text{MN, m})$$
$$0,75 l$$

valitaan b = 30 mm

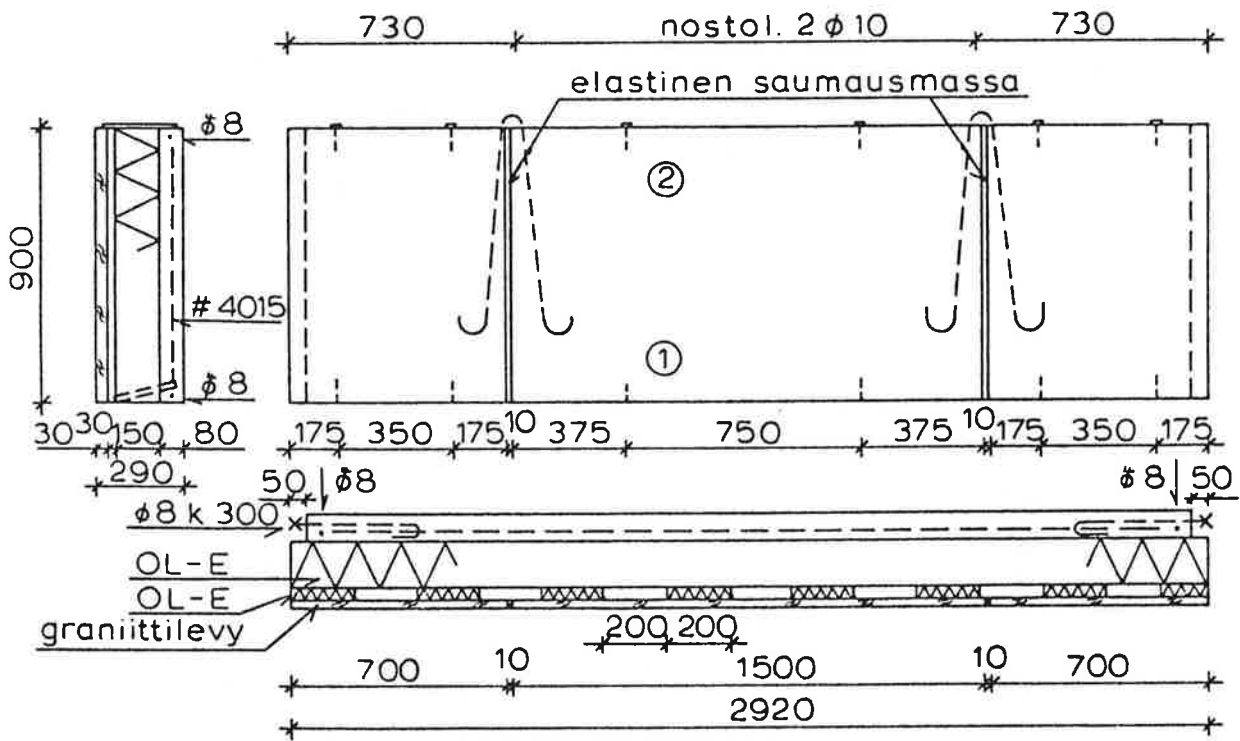
$$\implies l_{\min} = 59 \text{ mm}$$

$$r_{\min} = l/3 = 20 \text{ mm}$$

On syytä kuitenkin valita suurempi l, jolloin jännitykset pienenevät.

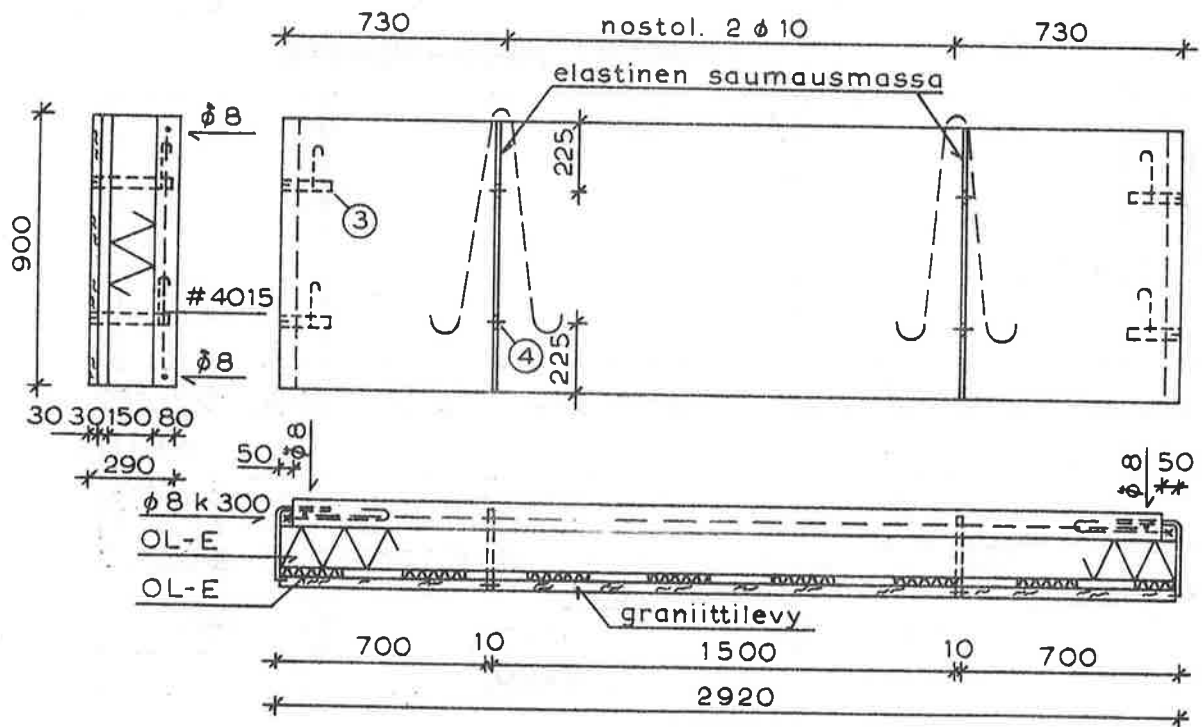
Kirjallisuutta

1. Betonirakenteet. Ohjeet 1981. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B 4, Helsinki, sisäasiainministeriö, 1981. 60 s.
2. Karvonen. O. & Rämä, M., Kiinnitykset betoniin. Espoo 1983. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 196. 59 s.
3. Marchais, K. & Mitchell, D., Precast concrete connections with embedded steel members. Journal of the Prestressed Concrete Institute 25(1980)4, s. 88 - 115.
4. Ohjeet kovettuneeseen betoniin asennettavien kiinnikkeiden tyyppi- hyväksyntää varten. Helsinki, sisäasiainministeriö, 1977. 16 s.



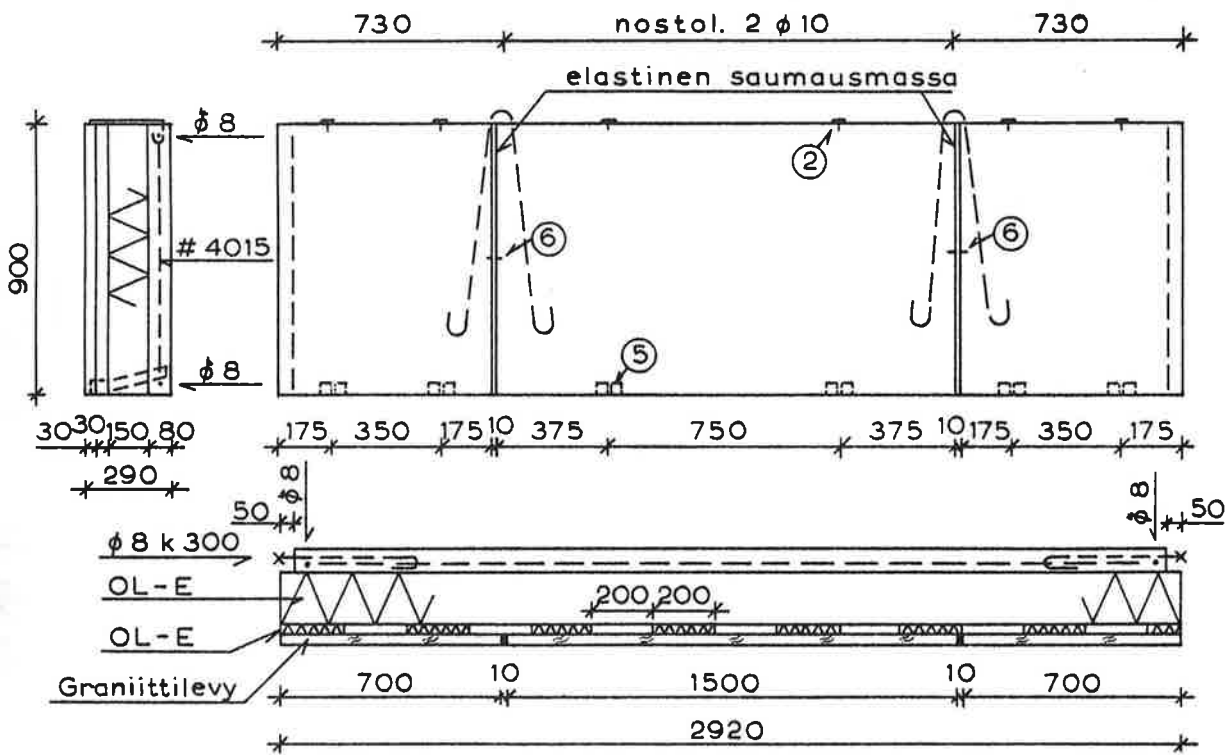
Betoni: K25-2 | - kiinnikeraudat kts. kuva 4
 Teräs: A 400H | - valmistus käntömuotissa

Kuva 1. Koe-elementti 1. KE-1.



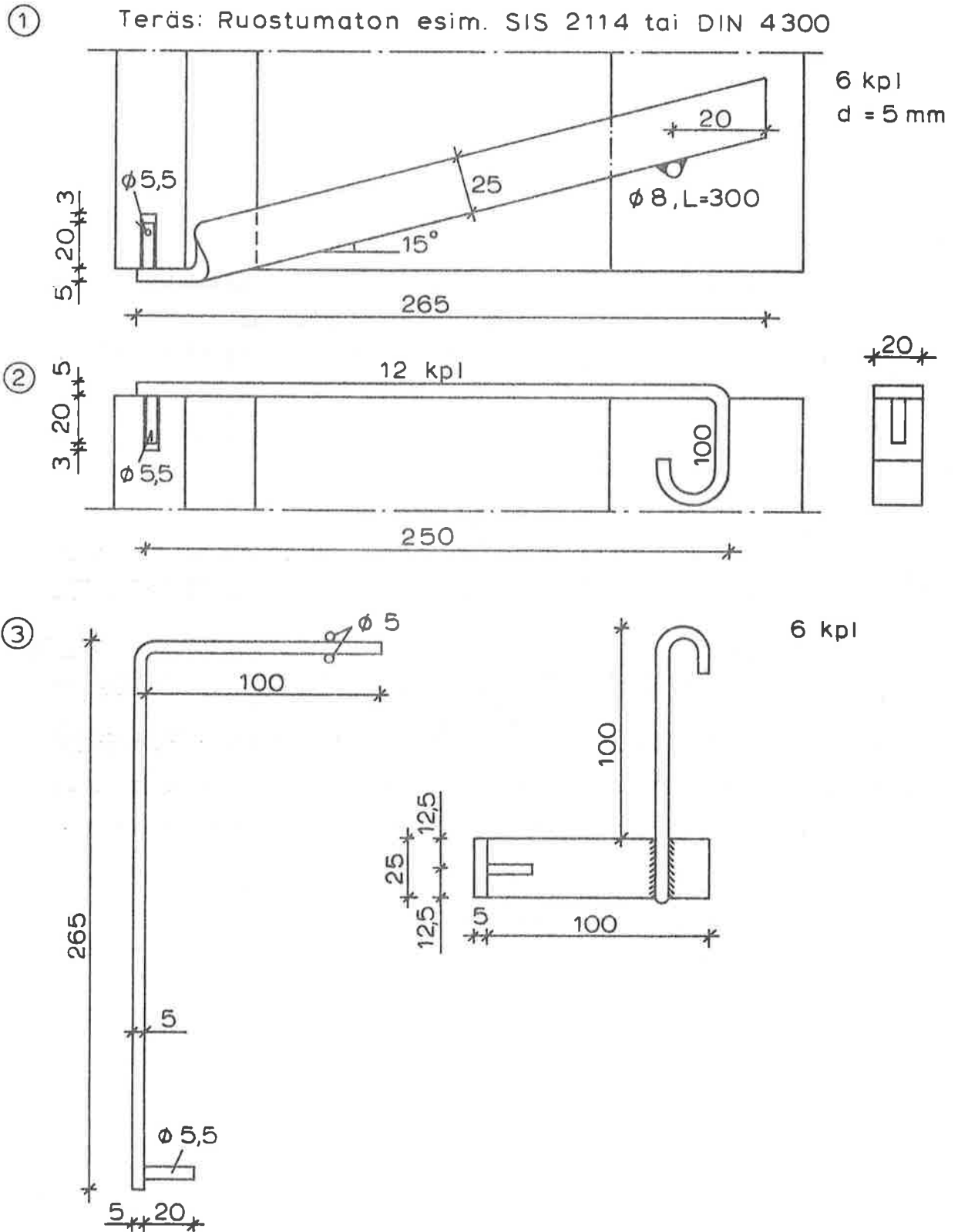
Betoni: K 25-2 - kiinnikeraudat kts. kuvat 4 ja 5
Teräs: A400H - valmistus kääntömuotissa

Kuva 2. Koe-elementti 2. KE-2.



Betoni: K 25-2 | - Kiinnikeraudat kts. kuvat 4, 5 ja 6
 Teräs: A 400 H | - Valmistus kääntömuotissa

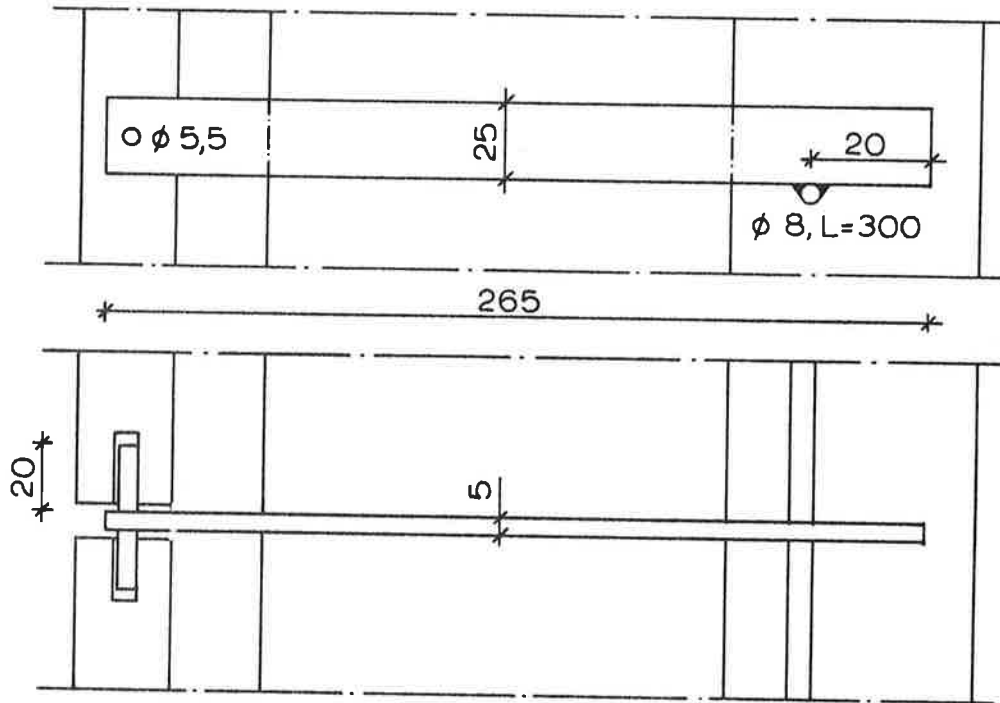
Kuva 3. Koe-elementti 3. KE-3.



Kuva 4. Koe-elementtien 1 ja 2 kiinnikkeet.

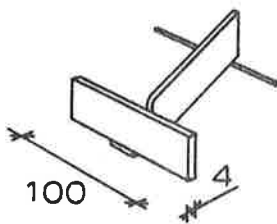
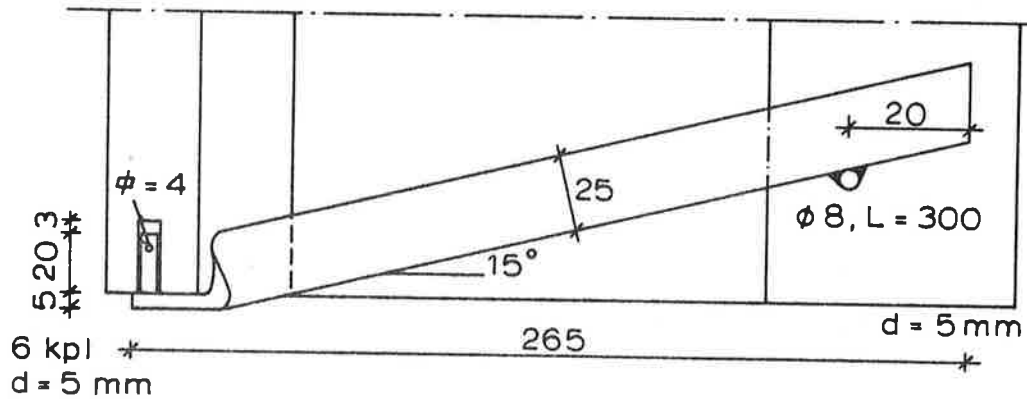
④

4 kpl



⑤

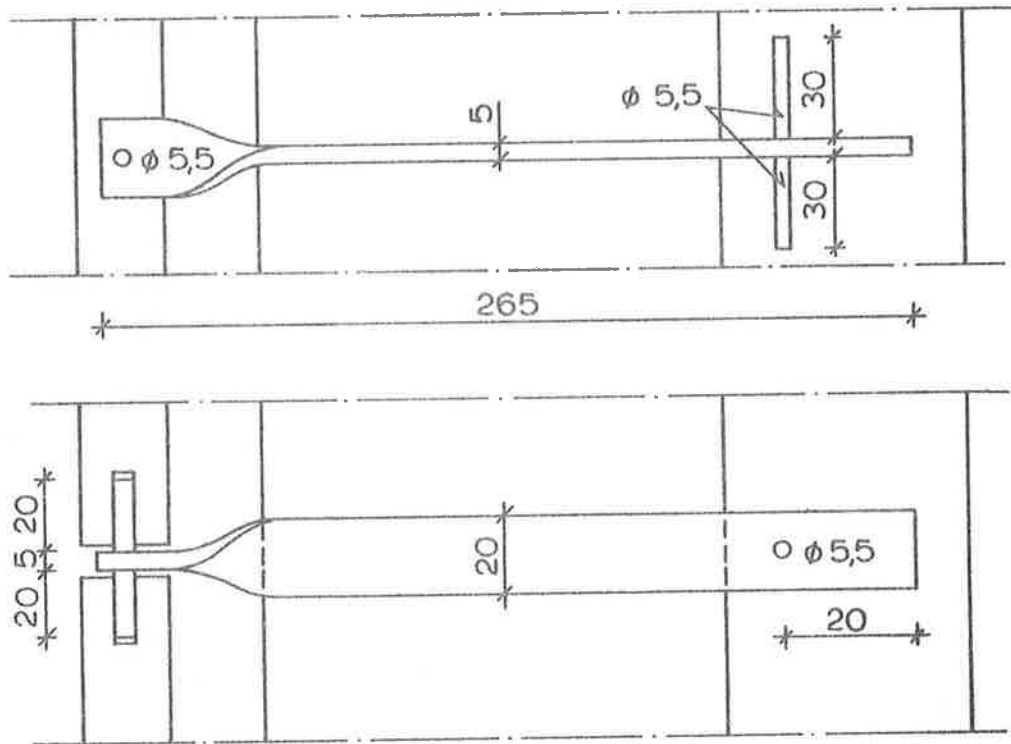
Teräs: Ruostumaton esim. SIS 2114 tai DIN 4300



Kuva 5. Koe-elementtien 1 ja 2 kiinnikkeet.

⑥

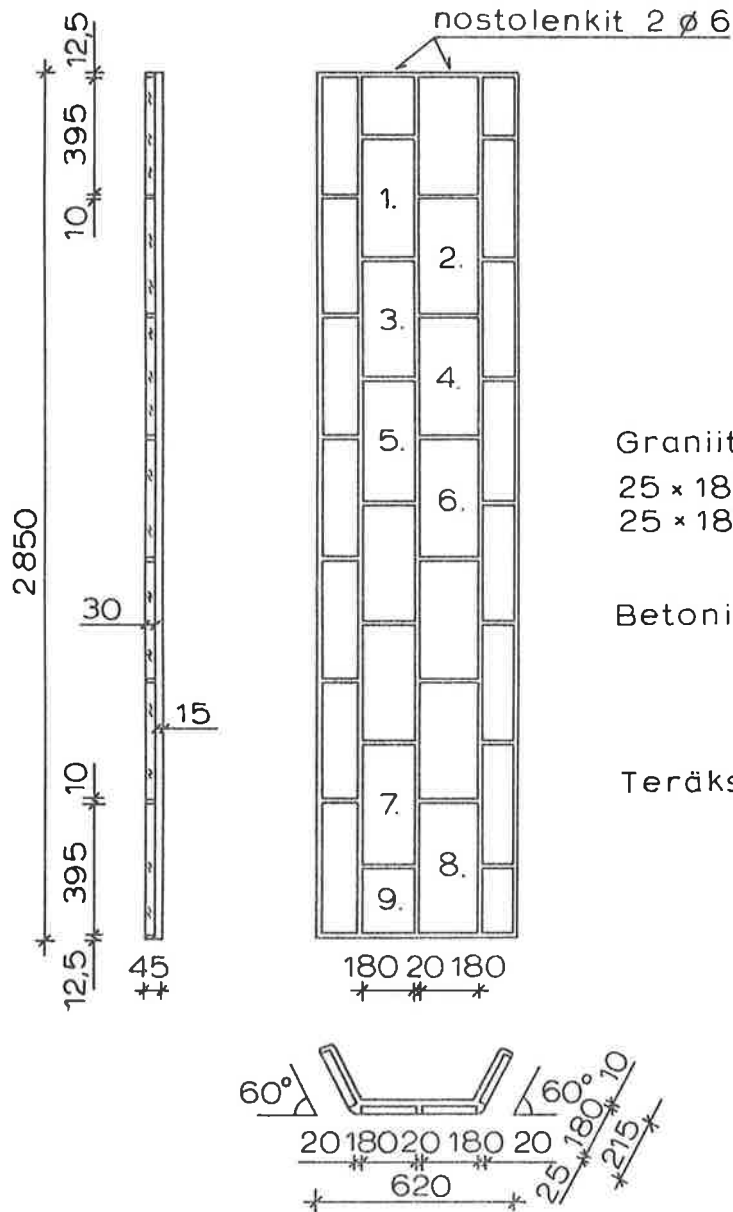
2 kpl



Teräs: Ruostumaton esim. SIS 2114 tai DIN.4300

Kuva 6. Koe-elementin 5 kiinnikkeet.

Koe-elementit KE-4 ja KE-5.



Graniittilaatat

25 × 180 × 395 2 × 26 kpl
 25 × 180 × 197,5 2 × 4 kpl

Betoni: K 30-2

max raekoko
 3 mm

Teräkset: Betonikuoreen
 rauditusverkko
 esim. galvanoitu
 "kanaverkko";
 # 30, $\phi \approx 0,7 \dots 1,0$

- Elementin KE-4 laatat 1...6 ovat sisäpinnaltaan timanttipyörö- ja muut raamisahattuja. Laattoihin 7 ja 8 asennetaan reunoihin porattuihin reikiin $\phi 2$ mm lisätartuntateräkset 4 kpl/laatta.
- Elementin KE-5 laatat ovat kaikki raamisahattuja sisäpinnaltaan ja puolet laatoista varustetaan em. lisätartuntateräksillä.



<p>Tekijät)</p> <p>Mesimäki, Pekka Ratvio, Juha Rämä, Markku</p>	<p>Projektin nimi Suomalaisten luonnonkivien rakennus-...</p> <p>Toimeksiantaja Suomen Kiviteollisuusliitto, Oy Partek Ab, VTT</p>	
<p>Nimeke</p> <p>LUONNONKIVEN RAKENNUSTEKNISEN KÄYTÖN KEHITTÄMINEN. Osa 3. Luonnonkivijulkisivun rakenteiden ja kivilaattojen kiinnitystekniikan kehittäminen</p>		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Luonnonkiven käyttö rakentamisessa on rakennustekniikan ja -materiaalien kehittymisen myötä muuttunut merkittävästi. Kantavista, massiivisista kivirakenteista on nykyaikaisessa talonrakentamisessa luovuttu. Kivenjalostustekniikan kehittyessä luonnonkivilaattojen käyttö rakenteiden verhoilussa ja pinnoituksissa on toisaalta lisääntynyt. Merkittävin luonnonkivilaattojen käyttökohde on nykyisin julkisivuverhous.</p> <p>Perinteisesti julkisivun luonnonkivilaattaverhous on asennettu työmaalla kiinnittämällä kivilaatat ruostumattomiin rakennuksen runkoon ankkuroituihin kiinnikkeisiin. Työvaltaisuudesta johtuen menetelmä on hidas ja kallis. Luonnonkiviverhouksen asennustyökustannusten pienentämiseksi ja asennusajan lyhentämiseksi on eräissä kotimaisissa kohteissa sovellettu kivilaattapintaisia betonisandwichelementtejä. Käyttökokeuksia on vähän ja varsin lyhyeltä ajalta ja kivilaattapintaisen betonielementin toiminnasta on käytettävissä hyvin vähän tutkimuksia.</p> <p>Julkaisussa esitetään luonnonkivilaatoilla verhotussa ulkoseinärakenteessa nykyisin käytetyt rakenteet ja kiinnitystekniikat sekä tarkastellaan kivilaattapintaisen ulkoseinärakenteen toiminnan erityispiirteitä. Lisäksi esitetään kivilaattaverhouksen suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet sekä tarkastellaan kivilaattajulkisivun rakenteiden ja kiinnitystekniikan kehittämismahdollisuuksia. Lopuksi selvitetään kahdelle uudentyyppiselle kivilaattapintaiselle betonielementille tehdyt alustavat kokeet ja niiden tulokset sekä esitetään eri rakenteiden teknisten ominaisuuksien ja rakennuskustannusten vertailu sekä jatkotutkimusten sisältö pääpiirteissään. Kokeellisesti tutkitut rakenteet ovat kerroksellinen elementti, jonka ulkokuorena on pelkkä luonnonkivilaatta ja ohut kivilaattapintainen ferrobetoninen verhoiluelementti. Alustavien kokeiden perusteella molemmat rakenteet todettiin käyttökelpoiseksi.</p>		
<p>Toimintayksikkö</p> <p>Betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio, Betonimiehenkuja 5,</p>		
<p>ISSN ja avainnimeke</p> <p>0358-5077 Tutkimuksia - Valtion teknillinen tutkimuskeskus</p>		
<p>ISBN</p> <p>951-38-2233-8</p>	<p>Kieli</p> <p>suomi, Engl. abstr.</p>	
<p>Luokitus (UDK)</p> <p>691.21:624.012.1 679.85</p>	<p>Avainsanat</p> <p>natural stones, building stones, facades, slabs, stone slabs, fixings, flagstones, flags</p>	
<p>Myynti</p> <p>Valtion painatuskeskus Kirjakaupat: Annankatu 4 00100 Hki 10 Puh. (90) 17341 Eteläesplanadi 4 00100 Hki 10 Puh. (90) 662801 Postimyynti: PL 516, 00101 Helsinki 10 Puh. (90) 539011</p>	<p>Sivuja</p> <p>97 s. + liitt. 26 s.</p> <p>Lisätietoja</p>	<p>Hinta</p> <p>54 mk</p>

Date
December 1984Project number
223004-3

Authors Mesimäki, Pekka Ratvio, Juha Rämä, Markku	Name of project Suomalaisten luonnonkivien rakennus-...	
Titel DEVELOPMENT OF USING NATURAL STONES IN BUILDING Part 3. Development of structures and anchoring techniques of natural stone cladding	Commissioned by Suomen Kiviteollisuusliitto, Oy Partek Ab, VTT	
Abstract <p>Use of thin dimension stone panels in cladding has significantly increased during the past few decades. The traditional method of fixing the cladding panels is to use four stainless steel anchors for each panel. This fixing method is, however, very work intensive, and therefore slow and expensive. In order to reduce both the building time and costs stone cladded prefabricated sandwich-elements have been used in some domestic buildings. However, more experience and knowledge of the function of this structure is needed.</p> <p>In this publication the traditional ways of fixing a thin stone cladding in the leading stone-using countries are presented. In addition the principles of designing the cladding are given. The possibilities of developing the use of stone as a cladding material are also dealt with. Finally, the results of tests made with two new kinds of prefabricated facade structures are presented. Both structures, the prefabricated, thermally isolated concrete element (with only the cladding as the outer shell), and the stone cladded ferrocement structure, gave very promising results and were found to be suitable for use in facade construction.</p>		
Activity unit Concrete and Silicate Laboratory, Betonimiehenkuja 5, 02150 Espoo		
ISSN and key name 0358-5077 Tutkimuksia - Valtion teknillinen tutkimuskeskus		
ISBN 951-38-2233-8	Language Finnish, Engl. abstr.	
Class (UDC) 691.21:624.012.1 679.85	Key words natural stones, building stones, facades, slabs, stone slabs, fixings, flagstones, flags	
Sold by Government Printing Centre P.O. Box 516 SF-00101 HELSINKI 10 phone internat. +358 0 539011	Pages 97 p. + app. 26 p.	Price FIM 54
Note		

