



Pekka Mesimäki, Hannu Pyy & Jouko Ritola

Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittäminen

Osa 2. Rakennuskiveltä vaadittavat ominaisuudet ja niiden määrittäminen





LUONNONKIVEN RAKENNUSTEKNISEN KÄYTÖN KEHITTÄMINEN

Osa 2. Rakennuskiveltä vaadittavat ominaisuudet ja niiden määrittäminen

Pekka Mesimäki

Hannu Pyy

Jouko Ritola

Betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio

ISBN 951-38-2122-6

ISSN 0358-5077

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1984

Julkaisija – Utgivare – Publisher

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, 02150 Espoo 15
puh. vaihde (90) 4561, teleks 122972 vttha sf

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, 02150 Esbo 15
tel. växel (90) 4561, telex 122972 vttha sf

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, SF-02150 Espoo 15, Finland
phone internat. + 358 0 4561, telex 122972 vttha sf

VTT, Betoni- ja silikaattiteknikan laboratorio, Betonimiehenkuja 5, 02150 Espoo 15
puh. vaihde (90) 4561

VTT, Betong- och silikattekniska laboratoriet, Betongblandargränden 5, 02150 Esbo 15
tel. växel (90) 4561

VTT, Concrete and Silicate Laboratory, Betonimiehenkuja 5, SF-02150 Espoo 15, Finland
phone internat. + 358 0 4561

MESIMÄKI, Pekka, PYY, Hannu & RITOLA, Jouko, Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittäminen. Osa 2. Rakennuskiveltä vaadittavat ominaisuudet ja niiden määrittäminen [Development of using natural stones in building. Part 2. Evaluation and testing of the properties required of natural building stones]. Espoo 1984. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia – Statens tekniska forskningscentral, Forskningsrapporter – Technical Research Centre of Finland, Research Reports 309. 77 s.

UDK 691.21:624.012.1
679.85

Key words natural stones, building stones, facades, slabs, stone slabs

TIIVISTELMÄ

Soveltuakseen rakennuskiveksi luonnonkiven tulee täyttää joukko kiven käyttökohteisiin ja tuotantoon liittyviä vaatimuksia. Käyttöt teknisistä vaatimuksista keskeisimpiä ovat kiven nykyisissä käyttökohteissa sään- ja kulutuksenkestävyys ja ulkonäkö. Kivenjalostuksessa on merkitystä mm. kiven sahattavuudella, hiottavuudella ja kiillottuvuudella. Kiviesiintymän käyttökelpoisuuden edellytyksenä ovat lisäksi esiintymän tasalaatuisuus, hyvälaatuisen kiven helppo saatavuus ja riittävyys, kiven hyvä louhittavuus (irrotettavuus) ja esiintymän sopiva sijainti.

Uuden esiintymän kiven laatu selvitetään louhoksen käyttökelpoisuuden arvioinnin yhteydessä. Kiven tekniset ominaisuudet määritetään laboratoriossa standarditesteillä. Kiven väri ja pintakuviointi, samoin kuin kiven jalostustekniset ominaisuudet, tutkitaan usein kivenjalostamossa koelohkareen avulla. Periaatteessa myös kiven tuotantotekniset ominaisuudet voidaan selvittää laboratoriossa. Vanhan esiintymän kiven laadusta on lisäksi käyttökokemuksia ja mahdollisesti testaustietoja. Kiven laadun muuttuessa, uudentyyppisessä käyttökohteessa tai vientimarkkinoinnissa tarvitaan kuitenkin usein lisätietoja kiven käyttöominaisuuksista.

Julkaisussa käsitellään luonnonkiveltä eri käyttökohteissa ja jalostuksessa vaadittavia ominaisuuksia ja niiden testausta sekä esitetään luonnonkivien ominaisuuksia. Lisäksi tarkastellaan rakennuskiviesiintymän käyttökelpoisuuden arviointiin liittyviä tekijöitä. Lopuksi esitetään tiivistetysti VTT:n luonnonkivien tutkimus- ja testausvalmiudet.

MESIMÄKI, Pekka, PYY, Hannu & RITOLA, Jouko, Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittäminen. Osa 2. Rakennuskiveltä vaadittavat ominaisuudet ja niiden määrittäminen [Development of using natural stones in building. Part 2. Evaluation and testing of the properties required of natural building stones]. Espoo 1984. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia – Statens tekniska forskningscentral, Forskningsrapporter – Technical Research Centre of Finland, Research Reports 309. 77 s.

UDK 691.21:624.012.1
679.85

Key words natural stones, building stones, facades, slabs, stone slabs

ABSTRACT

Natural stone shall fulfil a number of requirements set on its applications and production in order to be suitable for use as building stone. In present applications for which stone is used main emphasis is focused on requirements for both abrasion and weather resistance as well as for appearance. In stone processing it is important that stone can be easily sawn, ground and polished, for example. The prerequisite for a stone deposit and its usefulness is, moreover, the homogeneity of the deposit, easy access to, and adequacy of, good quality stone, good quarrying properties and a suitable location of the deposit.

The quality of stone of a new deposit is examined in conjunction with the estimation of the profitableness of a quarry. The technical properties of stone are determined in the laboratory by standard tests. The colour and texture of stone and its processing properties are often determined by means of a test block at a processing plant. In principle, the production technological properties of stone also can be examined in the laboratory. In the case of an old deposit, the quality of stone is already known, since experience has been gained from its use and very likely test data also exists. When the quality of stone changes, further information about the properties of stone in use is often required for a new type of application or introducing stone into the export market.

In the report properties of natural stone required in different applications and processing as well as their testing are dealt with; properties of natural stones are also described. Furthermore, factors associated with the estimation of the usefulness of a building stone deposit are discussed. In conclusion, research and testing service of VTT comprising natural stones is presented in a concise form.

ALKUSANAT

Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa (VTT) käynnistettiin keväällä 1982 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 VTT:n geotekniikan laboratorion yhteistyönä.

Tutkimusta valvovaan johtoryhmään ovat kuuluneet joht. Reino Palin, Loimaan Kivi Ky, puheenjohtaja, toim.joht. Kalevi Tiinus, Kiviliiikkeiden Oy, ins. Jarmo Lesonen, Oy Partek Ab, ins. Lasse Pulli, A. W. Liljeborg Oy ja prof. Asko Sarja, VTT, 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:n Tutkimuksia 308) /25/,
- Osa 2. Rakennuskiviltä vaadittavat ominaisuudet ja niiden määrittäminen (VTT:n Tutkimuksia 309),
- Osa 3. Luonnonkivijulkisivun rakenteiden ja kivilaattojen kiinnitystekniikan kehittäminen (VTT:n Tutkimuksia 310) /26/.

Tämän julkaisun ovat laatineet dipl.ins. Pekka Mesimäki ja maist. Hannu Pyy VTT:n betoni- ja silikaattitekniikan laboratoriosta ja dipl.ins. Jouko Ritola VTT:n geotekniikan laboratoriosta. Pekka Mesimäki on laatinut kohdat 1.1 - 1.6, 2.1, 2.2, 2.3.7, 2.4, 2.5, 2.6, 3.1, 3.3 ja luvun 5, Hannu Pyy kohdan 2.3.6 ja luvun 4 sekä Jouko Ritola kohdat 1.7, 2.3.1 - 2.3.5, 2.7 ja 3.2.

Kiitämme fil.maist. Aatto Laitakaria Geologian tutkimuskeskuksesta ja prof. Markku Tammirinnettä VTT:n geotekniikan laboratoriosta julkaisun käsikirjoituksen tarkistamisesta.

Tekijät

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
1 LUONNONKIVELTÄ VAADITTAVAT OMINAISUUDET	9
1.1 Johdanto	9
1.2 Julkisivuverhoukset	9
1.3 Lattiat ja sisäportaat	10
1.4 Sisäseinät ja sisustus	12
1.5 Kulkuväylien ja pihojen katteet ja rakenteet	12
1.6 Käyttötekniisten vaatimusten yhteenveto	13
1.7 Tuotantotekniset vaatimukset	15
2 KIVELTÄ VAADITTAVIEN OMINAISUUKSIEN TESTAUS	16
2.1 Yleistä	16
2.2 Tiheys, huokoisuus ja mittatarkkuus	18
2.2.1 Tiheys ja huokoisuus	18
2.2.2 Mittatarkkuus	19
2.3 Mekaaniset ominaisuudet	21
2.3.1 Puristuslujuus	21
2.3.2 Taivutusvetolujuus	22
2.3.3 Vetolujuus	24
2.3.4 Muodonmuutosominaisuudet	25
2.3.5 Lohkeamislujuus	25
2.3.6 Kovuus	27
2.3.7 Kulutuskestävyys	28
2.4 Kosteustekniset ominaisuudet	28
2.4.1 Vedenimukyky, vedellätyttymisaste	28
2.4.2 Tasapainokosteus	30
2.4.3 Kapillaarisuus	30
2.4.4 Kosteusmuodonmuutokset	31
2.5 Termiset ominaisuudet	31
2.5.1 Lämpöisyys	31
2.5.2 Lämpömuodonmuutokset	32

2.6	Kestävyyssominaisuudet	33
2.6.1	Säänkestävyys	33
2.6.2	Pakkasenkestävyys	34
2.6.3	Kemiallinen kestävyys	35
2.7	Tuotantotekniset ominaisuudet	36
2.7.1	Irrotettavuus	36
2.7.2	Porattavuus	36
2.7.3	Sahattavuus	36
2.7.4	Poltettavuus	37
2.7.5	Hiottavuus ja kiillottuvuus	37
3	LUONNONKIVIEN OMINAISUUKSIA	38
3.1	Rakennustekniset ominaisuudet	38
3.2	Tuotantotekniset ominaisuudet	43
3.2.1	Sahattavuus	43
3.2.2	Porattavuus	44
3.2.3	Hiottavuus ja kiillottuvuus	45
3.3	Esteettiset ominaisuudet	46
4	RAKENNUSKIVIESIINTYMÄN KÄYTTÖKELPOISUUDEN ARVIOINTI	50
4.1	Kriteerit	50
4.2	Käsitteitä	50
4.3	Uusi esiintymä	53
4.3.1	Olemassa oleva tieto	53
4.3.2	Maastokartoitus	55
4.3.3	Kairaukset	63
4.3.4	Geofysikaaliset tutkimukset	64
4.4	Vanha esiintymä	66
4.4.1	Olemassa oleva tieto	66
4.4.2	Maastokartoitus	67
4.4.3	Kairaukset	68
4.4.4	Geofysikaaliset tutkimukset	68
4.5	Yhteenvedo ja arviointi eri menetelmien käytöstä	68
4.6	Geologiset ominaisuudet	70
4.7	Tutkimustarve	71
5	VTT:N TUTKIMUS- JA TESTAUSVALMIUDET	72
	LÄHDELUETTELO	74

1 LUONNONKIVELTÄ VAADITTAVAT OMINAISUUDET

1.1 Johdanto

Rakenteen tulee toimivuutta menettämättä kestää siihen käyttötilanteessa kohdistuvat rasitukset (kuormat, sää, tulipalo) ja täyttää muut käytön asettamat vaatimukset (ulkonäkö, tiiviys). Osa rakenteiden vaatimuksista on esitetty virallisina määräyksinä ja ohjeina, osa perustuu käyttäjien yleisiin ja erityisiin vaatimuksiin. Luonnonkivirakenteisiin liittyvät viranomaismääräykset ja -ohjeet on esitetty Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa (RakMK). Suosituksia ja ohjeita hyvästä suunnittelusta ja hyvän työtavan mukaisesta työn suorituksesta on esitetty lisäksi mm. julkaisussa Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 1981 (RYL-81) /33/ ja RT-kortistossa. Nupu-, noppa- ja kadunreunakiville on laadittu SFS-standardit /35, 36, 37/.

Tässä tarkastelussa keskitytään erityisesti ohuista luonnonkivilaatoista (< 50 mm) tehtyihin ei-kantaviin rakenteisiin. Kohdissa 1.2 - 1.5 käsitellään rakennusosittain rakenteiden tehtävät, niihin kohdistuvat rasitukset ja käyttötekniset vaatimukset sekä esitetään rakenteen toiminnan kannalta tärkeät luonnonkiven ominaisuudet. Luonnonkivirakenteiden toimintaan vaikuttavista tekijöistä esitetään yhteenveto kohdassa 1.6. Tuotantoteknisiä vaatimuksia tarkastellaan erikseen kohdassa 1.7.

1.2 Julkisivuverhoukset

Ohuista kivilevyistä tehdyn rakennuksen uloimman seinäpinnan pääasiallinen tehtävä on suojata sen taakse jäävä seinärakenne ilmaston rasituksilta ja toteuttaa rakennuksen ulkonäölle asetetut vaatimukset. Julkisivuverhous voi olla alttiina lähinnä seuraaville rasituksille:

- sade ja muu kosteus,
- lämpötilanvaihtelut,
- vesi ja pakkaneen,
- auringon ultravioletti säteily,
- ilman epäpuhtaudet,
- tuulikuorma ja omapaino,

- muiden rakenteiden liikkeet,
- iskut ja kolhut sekä
- tulipalo.

Julkisivuissa käytettävän kiven tulee olla pakkasenkestävää. Kivi ei myöskään saa rapautua, muuttaa häiritsevästi väriään tai menettää kiiltoaan ilmastorasitusten alaisena. Kiven ulkonäkö ja tasalaatuisuus ovat ratkaisevan tärkeitä julkisivun verhousmateriaalin valintaan vaikuttavia tekijöitä varsinkin käytettäessä hienoja pintakäsittelyjä.

Vapaasti kannatetun kivilevyn paksuuden tulee olla niin suuri, että saavutetaan riittävä varmuus tuulikuormalle, liikenteen iskuille ja kolhuille ja kiven lohkeamattomuudelle kiinniketappien kohdalla. Verhouksen painon ja tilantarpeen kannalta on toisaalta edullista, että kivilaatat ovat mahdollisimman ohuita. Valettaessa kivilaatta betoniin on kivi mitoitettava siten, että sen ja betonin välinen tartunta on olosuhteisiin nähden riittävä. Luonnonkivilaattojen suositeltavat paksuudet ulkopuolisissa rakennusosissa kivilajista ja pintakäsittelystä riippuen on annettu RYL-81:n taulukossa 40:T2 /33/.

RYL-81:ssä edellytetään, että luonnonkivilaattojen 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. Luonnonkivi on RakMK:n osan E1 mukaan palamaton materiaali /41/. Sen kestävyys korkeissa lämpötiloissa riippuu kiven kvartsipitoisuudesta, mineraaleihin sitoutuneen kideveden määrästä, kuumennusnopeudesta ja kuumen kiven jäähditysnopeudesta.

1.3 Lattiat ja sisäportaat

Lattiapinnoitteella ja portailla on merkitystä ennen kaikkea liikkumisen ja huonetilan sisustuksen kannalta. Lattiaan ja sisäportaisiin voi kohdistua seuraavia ulkoisia rasituksia:

- liikenteen kulutus,
- erilaiset kuormat,
- iskut ja kolhut,

- lika ja kemialliset aineet,
- kosteus ja
- tulipalo (ks. 1.2).

Lattiassa ja portaissa käytettävän kiven kulutuskestävyysvaatimus riippuu liikenteen määrästä ja laadusta. Kivilevyn taivutuslujuuden kannalta tarpeellinen paksuus määräytyy lattiassa lähinnä alustan tasaisuuden ja esiintyvien kuormien mukaan. Kivipinnoitteen omapaino on otettava huomioon kantavia rakenteita mitoittaessa. Vapaasti kahdesta tukipisteestä kannatettu porrasaskelma mitoitetaan riittävällä varmuudella esim. keskiselle 2 kN:n pistekuormalle.

Lattianpäällystyksessä käytettävien luonnonkivilaattojen paksuudessa saa RYL-81:n mukaan olla ainoastaan sellaisia poikkeamia, jotka eivät aiheuta suurempaa kuin 0,5...1,0 mm:n hammastusta samassa tasossa olevissa viereisissä laatoissa. Laastilla kiinnitettäviltä kivilaatoilta edellytetään lisäksi, että niiden mitoissa ei ole sellaisia poikkeamia, että laastikerros on paikallisestikaan enemmän kuin 30 % määrättyä ohuempi. Laattojen paksuuksien toleranssit sovitaan erikseen kutakin kohdetta varten. Kivilaattojen suositeltavat paksuudet on annettu RYL-81:n taulukossa 40:T3 /33/.

Käytännössä tärkeitä lattian ja portaiden ominaisuuksia ovat myös liukkaus, askelääneneristävyys, miellyttävyys (kovuus, lämpimyyden tunne), ulkonäkö ja helppohoitoisuus. Kiven liukkaus riippuu lähinnä pintakäsittelyn karkeudesta. Pintamateriaalin lämpöisyyttä voidaan lisätä esim. lattialämmityksen avulla. Huokoiset ja vaaleat kivet, joiden pintakäsittely on karkea, likaantuvat herkimmin. Likaantumisen vähentämiseksi ja puhdistettavuuden parantamiseksi kivipinta voidaan suojata vahalla tai lakalla.

Erityistiloissa (laboratoriot, meijerit, teurastamot) ja kiveä puhdistettaessa tulee olla perillä kiven kestävydestä kemiallisia aineita vastaan. Luonnonkiven käyttökelpoisuutta voivat joskus rajoittaa myös kivessä olevat mineraalit, jotka kosteuden läsnä ollessa reagoivat ja aiheuttavat paikallista värin muuttumista.

Tärkeimmät kiven valintaan vaikuttavat ulkonäkötekijät lattioissa ovat kiven väri ja tekstuuri. Tasalaatuisuusvaatimuksesta voidaan joskus tinkiä pyrittäessä esim. taiteelliseen vaikutelmaan.

1.4 Sisäseinät ja sisustus

Sisäseinäverhoilussa sekä pöytälevyinä, koriste-esineinä, ikkunapenkeinä tms. käytettäessä luonnonkivi on lähinnä sisustusmateriaali. Tärkein vaatimus on tällöin alkuperäisen ulkonäön säilyttäminen. Kyseen tulevia rasituksia ovat

- iskut, kolhut ja naarmutus,
- lika ja kemialliset aineet, (ks. 1.3)
- kosteus (ks. 1.3),
- lämpötilanvaihtelut ja auringonvalo ja
- tulipalo (ks. 1.2).

Iskut ja kolhut voivat vaurioittaa luonnonkiviesineitä ja seinäverhoilun alaosaa varsinkin kulmissa ja kivilaattojen reunoissa. Kivilaattojen suositeltavat paksuudet kivilajista riippuen on annettu RYL-81:n taulukossa 40:T3 /33/. Mittatarkkuusvaatimukset ovat vastaavat kuin lattioissa (ks. 1.3). Kiven ulkonäön ja tasalaatuisuuden merkitys on kiilloteuissa ja hienohiotuissa pinnoissa ratkaiseva. Tulisijoissa on varmistettava, että käytettävä kivi kestää siihen kohdistuvat lämpötilat /17/.

1.5 Kulkuväylien ja pihojen katteet ja rakenteet

Ulkona olevat laatoitukset, kiveykset, aidat ja tukimuurit voivat käytännössä olla alttiina seuraaville rasituksille:

- sade ja muu kosteus,
- lämpötilanvaihtelut,
- vesi ja pakkanen,
- auringon UV-säteily,
- ilman epäpuhtaudet,
- liikenteen kulutus ja kuormitus,
- iskut ja kolhut.

Ulkona käytettävän kiven tulee olla säänkestävää. Kivipäällysteiden kulutuskestävyysvaatimus riippuu liikenteen rasittavuudesta. Raskaal- lakaan liikenteellä kiven puristuslujuus ei tavallisesti ole määräävä. Kivilaatan taivutusvetolujuus sen sijaan saattaa käytännössä ylittyä kiven riittämättömän paksuuden tai alustan epätasaisuuden johdosta. Kivi saattaa lohjeta voimakkaan iskun osuessa sen reunaan tai kulmaan.

Massiiviset kiviaidat ja muurit toimivat nykyisin lähinnä näkö- ja melusuojoina, kulkuyhteyden katkaisijoina ja ympäristön koristajina. Kiven tärkein ominaisuus on tällöin sen säänkestävyys. Lohkottuja ja karkeita pintoja käytettäessä kiven ulkonäön ja tasalaatuisuuden merki- tys on yleensä vähäisempi kuin hienojen tasaisten pintojen yhteydessä. Oman painonsa kantavissa pienehköissä massiivisissa kivirakenteissa on kiven lujuus käytännössä aina riittävä.

1.6 Käyttötekniisten vaatimusten yhteenveto

Taulukossa 1 on esitetty luonnonkiveltä eri käyttökohteissa vaadittavia ominaisuuksia. Tärkeät ominaisuudet on merkitty o:lla. Vaatimuksia tar- kennetaan eri kivilajeihin ja pintakäsittelyihin liittyvien testien kuvausten yhteydessä kohdassa 2.

Taulukko 1. Luonnonkiven tärkeitä ominaisuuksia (merkki o) rakentamisessa.

Ominaisuus	Ulkona								Sisällä				
	Julkisiverhoukset	Sokkeliverhoukset	Kävelytielaatat	Ulkoportaat	Muurit, pilarit	Nupu- ja noppakivet	Reunakivet	Lattianpäällysteet	Seinäverhoukset	Portaat	Ikkunapenkit	Tulisijat	
Mitat	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Tiheys	o				o			o					
Puristuslujuus					o								
Taivutusvetolujuus	o		o				o	o	o	o	o		
Lohkeamislujuus	o	o											
Kovuus						o							
Kulutuskestävyys		o	o			o			o	o			
Pintakitka		o	o			o			o	o			
Vedenimukyky	o			o				o	o			o	
Tasapainokosteus	o			o									
Kapillaarisuus	o	o		o			o	o	o				
Vesihöyrynläpäisevyys	o			o				o	o				
Kosteusmuodonmuutokset	o	o		o				o	o				
Lämmönjohtavuus (lämpöisyys)									o	o			
Palonkesto	o	o		o				o	o	o	o	o	
Lämpömuodonmuutokset	o	o		o				o	o			o	
Sähkönjohtavuus									o	o			
Säteilyominaisuudet									o	o	o	o	
Säänkestävyys	o	o	o	o	o	o	o						
Kemiallinen kestävyys (ei ilmasto)	o	o						o	o	o	o		
Väri ja teksturi	o	o						o	o	o	o		
Kiilloittuvuus	o							o					
Likaantuvuus ja puhdistettavuus	o	o						o	o	o	o		

1.7 Tuotantotekniset vaatimukset

Tuotantotekniseltä kannalta tärkeitä rakennuskivelle asetettavia vaatimuksia ovat

- rakennuskiviesiintymän käyttökelpoisuus,
- louhittavuus (irrotettavuus),
- porattavuus,
- sahattavuus,
- hiottavuus ja
- kiillotettavuus.

Käyttökelpoiselta rakennuskiviesiintymältä edellytetään tasalaatuista, eheää, mutta kuitenkin sopivasti lohkaroitunutta kiveä. Esiintymän sopiva pengertyminen parantaa huomattavasti louhittavuutta. Kallion pengertymisellä tarkoitetaan kallion luonnollista rakoilua lustasuuntien mukaisesti. Esiintymän laajuus ja sijainti vaikuttavat myös olennaisesti sen hyötyarvoon. Rakennuskiviesiintymän käyttökelpoisuutta tarkastellaan yksityiskohtaisesti luvussa 4.

Sahattavuus riippuu kiven mineralogisesta koostumuksesta, ennenkaikkea kvartsipitoisuudesta ja homogeenisuudesta, sekä kiven kovuudesta ja kulutuskestävyydestä. Mitä enemmän kivessä on kvartssia, sitä kovempaa se on sahata.

Hiottavuus ja kiillotettavuus riippuvat mineralogisesta koostumuksesta, rakeisuudesta, mineraalien välisistä sidosvoimista sekä kiven kovuudesta ja kulutuskestävyydestä.

Taulukossa 2 esitetään yhteenveto tuotantotekniseltä kannalta tärkeistä luonnonkiven ominaisuuksista, joille määritellään vaatimukset.

Taulukko 2. Tuotantotekniseltä kannalta tärkeitä rakennuskiven ominaisuuksia (merkki o), joille yleensä määritellään vaatimuksia tuotannon eri vaiheissa.

Ominaisuus	Irrotus	Sahaus	Pintakäsittelyt	Viimeistely
Pengertyneisyys	o			
Lustasuunnat	o o	o	o o	
Liuskeisuus	o o	o o	o o	
Eheys	o	o	o o	o
Tasalaatuisuus	o	o o	o o	o o
Mineraloginen koostumus		o o	o o	o o
Rakeisuus		o	o o	o
Mikrorakenne	o		o o	
Sulamislämpötilat	o o		o	
Vetolujuus	o o			
Lohkeavuus	o			o
Porattavuus	o o			o o
Kovuus	o	o	o	o o
Kulutuskestävyys		o	o	o
Sahattavuus	o	o		
Hiottavuus			o	
Kiillottuvuus			o	o

2 KIVELTÄ VAADITTAVIEN OMINAISUUKSIEN TESTAUS

2.1 Yleistä

Kivimateriaalin ja -tuotteen käyttökelpoisuuden selvittämiseksi tehdään tapauskohtaisesti tarvittavat testaukset, joiden perusteella voidaan arvioida kyseisen kiven soveltuvuus aiottuun käyttötarkoitukseen. Jotta testitulokset olisivat luotettavia ja keskenään vertailukelpoisia, on useissa maissa laadittu luonnonkiven testausta varten standardeja ja ohjeita. Eri maiden luonnonkivien testimenetelmät eivät tavallisesti poikkea paljon toisistaan, mutta pienetkin menetelmien erot voivat joissain tapauksissa vaikuttaa merkittävästi koetuloksiin.

Tästä syystä on testituloksia arvioitaessa oltava tarkoin perillä käytetystä testausmenetelmästä, sen tavoitteesta ja menetelmäerojen vaikutuksesta tuloksiin. Luonnonkivien pitkäaikaiskäyttämisen luotettava arviointi laboratoriossa nopeutettujen testien avulla on joskus vaikeaa. Tällöin saa kiven pitkäaikaisominaisuuksista arvokasta tietoa vanhoista rakennuskohteista, joissa kyseistä kiveä on käytetty.

Testausmenetelmien yhdenmukaistamiseksi on laadittu kansainvälisiä suosituksia ja ohjeita. Luonnonkivien testaukseen liittyen ovat ohjeita antaneet ainakin RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures) /31/ ja ISRM (International Society for Rock Mechanics). ISRM:n ohjeiden taustalla on kallionrakennustekniikka, minkä johdosta nämä ohjeet eivät kaikilta osin sovellu hyvin rakennuskiven ominaisuuksien määrittämiseen. RILEMin suositus koskee nimenomaan rakennuskiveä, mutta ohje on osittain puutteellinen. Esimerkiksi pakkasenkestävyyden ja kulutuksenkestävyyden testaukseen ei ole onnistuttu kehittämään kansainvälisesti pätevää testimenetelmää.

Suomen kannalta ovat kiinnostavia rakennusalan tunnetut ja arvostetut kansalliset normijärjestelmät, kuten Länsi-Saksan DIN, USA:n ASTM ja Englannin BS, sekä lisäksi lähinnä samalla ilmastovyöhykkeellä olevien naapurimaiden Ruotsin SIS- ja Norjan NB-normit. Suomessa ei luonnonkiven testausmenetelmiä ole standardoitu.

Seuraavassa esitetään luonnonkivien tärkeiden ominaisuuksien testausmenetelmiä pääpiirteissään. Lähtökohtana ovat olleet soveltuvilta osin ensisijaisesti DIN-, ASTM- ja SIS-standardit. Tarkasteltavat ominaisuudet on ryhmitelty yleisteknisiin, mekaanisiin, kosteusteknisiin, termisiin, kestävyys- ja tuotantoteknisiin ominaisuuksiin. Kiven geologiset ominaisuudet ja niiden määrittämistavat maastossa ja laboratoriossa on käsitelty erikseen luvussa 4.

2.2 Tiheys, huokoisuus ja mittatarkkuus

2.2.1 Tiheys ja huokoisuus

Tiheydellä eli tilavuuspainolla tarkoitetaan kappaleen painon ja tilavuuden suhdetta. Tiheyden SI-perusyksikkö on kg/m^3 . Käsitteinä erotetaan brutto- ja nettotiheys, jotka määritellään seuraavasti:

$$\text{Bruttotiheys } (\rho_b) = \frac{\text{kuivapaino}}{\text{tilavuus huokosten kanssa}} = \frac{m_t}{V_n} \quad (1)$$

$$\text{Nettotiheys } (\rho_n) = \frac{\text{kuivapaino}}{\text{tilavuus ilman huokosia}} = \frac{m_t}{V_0} = \frac{m_t}{m_i - m_v} \quad (2)$$

Bruttotiheyttä määritettäessä koekappaletta kuivataan tavallisesti $> 100^\circ\text{C}$:n lämpötilassa ennen punnitusta, kunnes sen paino ei enää vähene (kuivapaino m_t). Tilavuuden määrittystä helpottaa, jos koekappale on säännöllisen muotoinen (kuutio, prisma, sylinteri). Tavallisesti testataan samasta näytteestä vähintään 5 koekappaletta.

Nettotiheys lasketaan kappaleen kuivapainosta. Tilavuus ilman huokosia (V_0) määritetään punnitsemalla vedellä kyllästetty (ks. myös 2.4.1) kappale ilmassa (m_i) ja vedessä (m_v), jolloin $V_0 = m_i - m_v$.

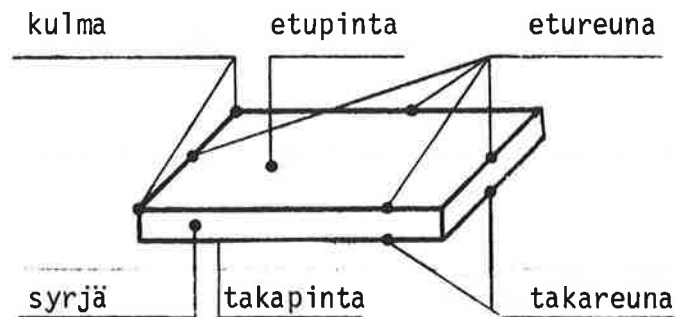
Kappaleen huokoisuus P , joka ilmaistaan %:inä, voidaan laskea kaavasta (3).

$$P = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_n}\right) \cdot 100 \quad (3)$$

Luonnonkiven tiheyksien ja huokoisuuden testausmenetelmiä on esitelty esim. standardeissa DIN 52 102 /7/, SIS 22 01 11 /39/ ja ASTM C 97 /1/.

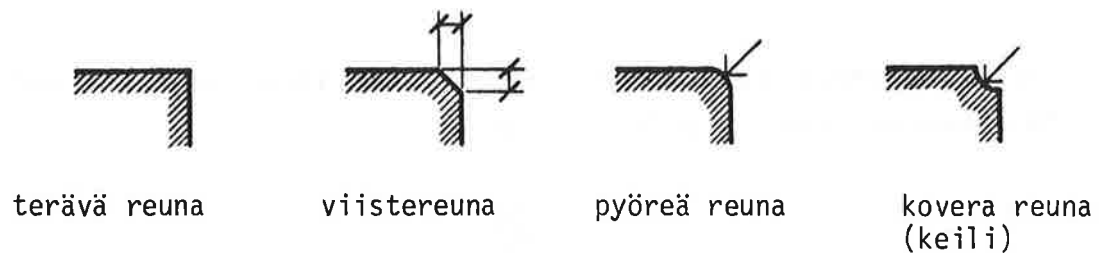
2.2.2 Mittatarkkuus

Ruotsalaisissa standardeissa SIS 22 10 00 ja SIS 02 11 21 määritellään rakennuskivilevyjen nimitykset ja mittatarkkuuden määrittystavat /38, 40/. Sivujen ja kulmien sekä reunamuotojen suomennetut nimitykset ovat kuvien 1 ja 2 mukaiset.



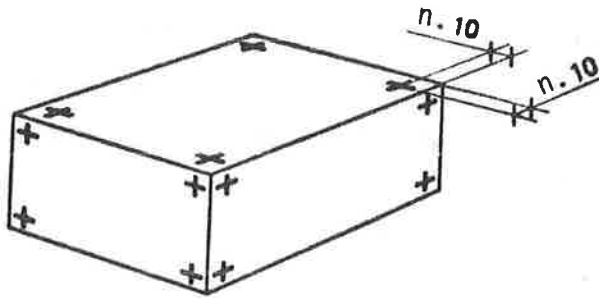
Kuva 1. Kivilevyn osien nimitykset /40/.

Näkyviin jääviä syrjiä nimitetään näkyviksi syrjiksi ja muita syrjiä saumasyrjiksi tai näkymättömiksi syrjiksi.



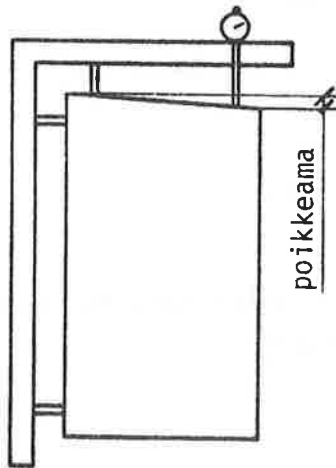
Kuva 2. Reunamuotojen nimitykset /40/.

Perusmittojen määrittystapa on esitetty kuvassa 3.



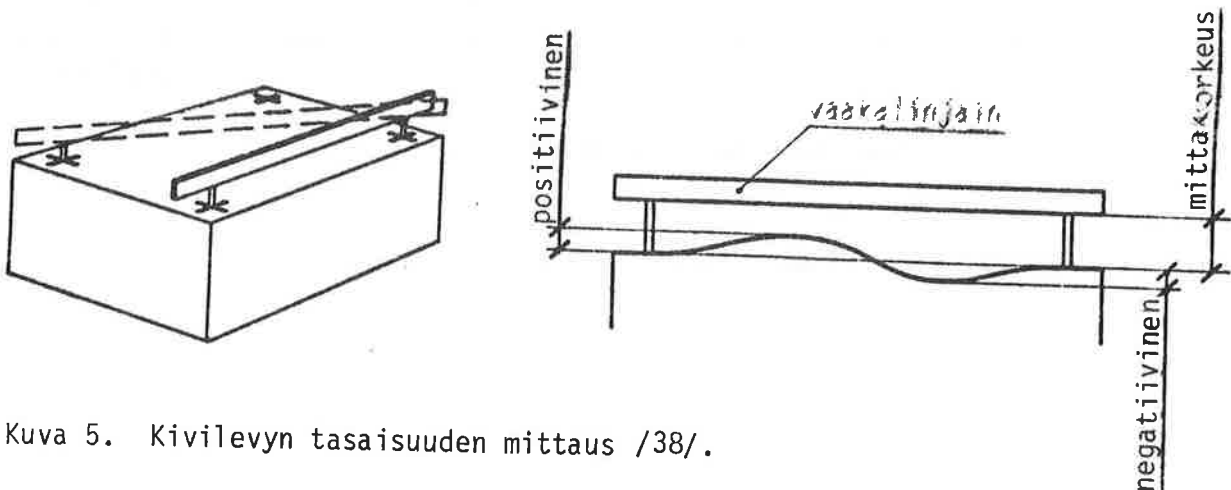
Kuva 3. Mittapisteiden sijainti ja mittauksen periaate /38/.

Kulmapoikkeamat mitataan kuvassa 4 esitetyllä tavalla.

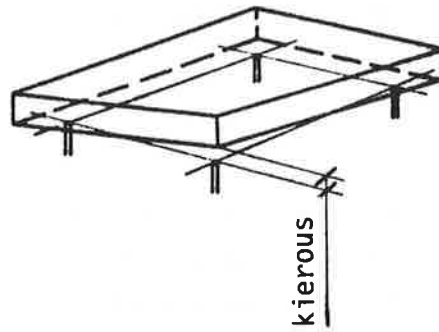


Kuva 4. Kulmapoikkeaman määrittäminen /38/.

Muoto- ja tasaisuuspoikkeamien (epätasaisuus, kierous) määrittämissääntöinä ovat SIS-standardissa kuvien 5 ja 6 mukaiset



Kuva 5. Kivilevyn tasaisuuden mittaus /38/.



Kuva 6. Levyn kierouden määrittystapa /38/.

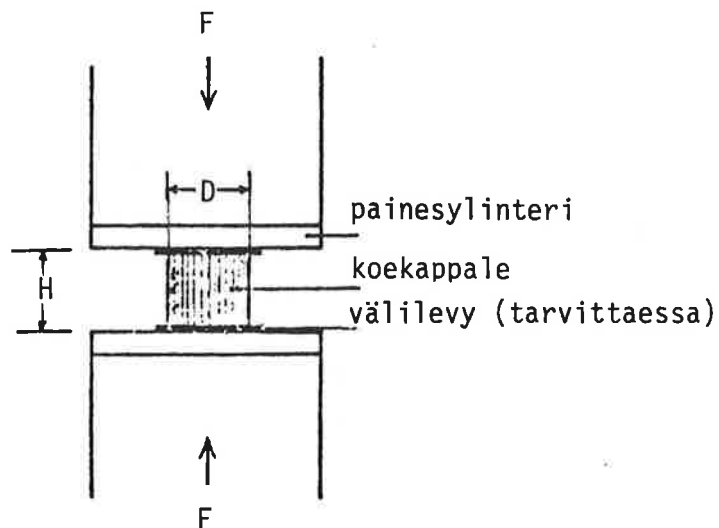
2.3 Mekaaniset ominaisuudet

2.3.1 Puristuslujuus

Rakennuskiven puristuslujuus määritetään yksiakselisella puristuskokeella, jossa sylinterin tai kuution muotoista koekappaletta puristetaan akselin suunnassa kahden yhdensuuntaisen tason välissä, ks. kuva 7. Puristuslujuus lasketaan yhtälöstä (4)

$$\sigma_p = \frac{F}{A_0}, \quad (4)$$

missä σ_p on yksiakselinen puristuslujuus (MN/m^2),
 F koekappaleen murtokuormitus (N),
 A_0 koekappaleen alkuperäinen poikkipinta-ala (mm^2).



Kuva 7. Periaatekuva puristuskokeesta.

Seuraava testikuvaus vastaa DIN 52 106 mukaista testaustapaa /10/.

Näytteet

Näytteet voivat olla joko kuutioita, sivupituus 50 ± 2 mm tai sylintereitä, joiden halkaisija ja korkeus on $50 \text{ mm} \pm 2$ mm. Suurikiteisillä tai huokoisilla kivillä käytetään kuutioita, sivupituus 100 ± 5 mm, tai sylintereitä, joiden halkaisija ja korkeus on $100 \text{ mm} \pm 5$ mm.

Näytteet valmistetaan kolmesta toisiaan vastaan kohtisuorasta suunnasta (DIN 52 101) /6/. Kustakin suunnasta otettuja näytteitä on testattava vähintään 5 kpl keskiarvon laskemiseksi. Näytteet testataan yleensä ilmakuivina.

Kokeen suoritus

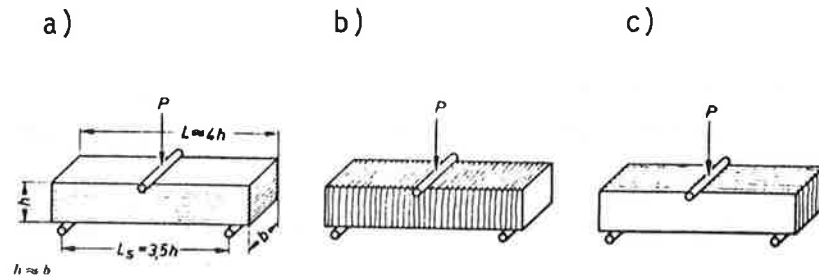
Näytteen alkuperäinen poikkipinta-ala lasketaan ennen puristusta $0,1 \text{ mm}^2$:n tarkkuudella. Näytteen puristaminen suoritetaan keskisesti ja näytteen akselin suuntaisesti siten, että murtolujuus saavutetaan 60 - 90 sekunnin kuluessa. Murtumisen aiheuttanut maksimivoima mitataan.

2.3.2 Taivutusvetolujuus

Suorakulmaisen särmiön taivutusvetolujuus voidaan laskea yhtälöstä (5)

$$\sigma_t = \frac{3 F L_s}{2 b h^2}, \quad (5)$$

missä σ_t on taivutusvetolujuus (MN/m^2),
 L_s ulompien tukien väli (mm),
 b särmiön leveys (mm) ja
 h särmiön korkeus (mm).



Kuva 8. Taivutusvetolujuuden määrittäminen.

Luonnonkivien taivutusvetolujuus määritetään tavallisesti normien DIN 52 112 /14/ tai ASTM C 99 /2/ mukaisesti. Kivilaattojen taivutusvetolujuuden testausmenetelmä on esitetty myös mm. SP 01-09-68:ssa /30/. Seuraavassa kuvataan DIN 52 112 mukainen testaustapa.

Näytteet

Näytteitä valmistetaan 5 kpl jokaista määrittäystä kohden. Näytteiden tulee olla suorakulmaisia prismoja, joiden poikkileikkauksen sivupituus on vähintään 40 mm ja näytteen pituus vähintään nelinkertainen sivupituuteen verrattuna (kuva 8).

Testaus

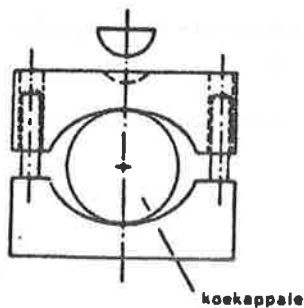
Näyte asetetaan kuvan 8 mukaisesti laakeroitujen tukien päälle ja kuormitetaan alatukiin nähden keskisesti yläpuolisen tuen välityksellä. Kuormitusta lisätään tasaisesti siten, että jännitys kasvaa noin $0,2 \text{ MN/m}^2/\text{s}$, kunnes näyte murtuu. F_{max} mitataan. Kuormitus tehdään ilmakeiville näytteille tavallisesti kuvassa 8 a esitetyllä tavalla. Kerrostuneet kivet ja liuskeet on kuormitettava kuvien 8 a ja 8 b mukaisesti. Kuvassa 8 c esitettyä kuormitustapaa käytetään vain erikoistapauksissa.

2.3.3 Vetolujuus

Luonnonkiven vetolujuus määritetään yleensä epäsuorasti Brasilian kokeella, jossa sylinterimäinen koekappale asetetaan kyljelleen puristimeen (kuva 9). Kuormitus aiheuttaa vetojännityksen koekappaleen akselia ja puristussuuntaa vastaan. Vetolujuus saadaan yhtälöstä (6)

$$\sigma_v = \frac{2 F}{d l}, \quad (6)$$

missä σ_v on vetomurtolujuus (MN/mm^2),
d näytteen halkaisija (mm),
l näytteen pituus (mm).



Kuva 9. Vetolujuuden määrittäminen, Brasilian koe.

ISRM:n suositusten mukaan näytteen halkaisijan tulee olla 54 mm ja pituuden noin puolet halkaisijasta. Kuormituksen tulisi tapahtua vakionopeudella siten, että heikoimpien kivilajien murtuminen tapahtuu 15 - 30 s:n kuluessa. Kuormitusnopeudeksi suositellaan 200 N/s. Yhtä määritystä kohden suositellaan testattavaksi 10 näytettä. Vetolujuuden määrittäminen ei tavallisesti tehdä rakennuskiville.

2.3.4 Muodonmuutosominaisuudet

Kimmomoduuli

Kimmomoduulin määrittäminen tehdään yleensä samasta koekappaleesta, mistä määritetään puristumurtolujuus, ennen puristumurtolujuuskoetta mittaamalla kuormituksen muutoksen yhteydessä koekappaleen pituuden muutos. Kimmomoduuli E saadaan yhtälöstä (7)

$$E = \frac{\Delta F l}{A \Delta l}, \quad (7)$$

missä ΔF on kuormituksen muutos (kN),
 l koekappaleen pituus (mm) ja
 Δl koekappaleen pituuden muutos (mm).

Poissonin luku

Poissonin luku saadaan kimmomoduulin määrittämisen yhteydessä mittaamalla myös koekappaleen halkaisijan muutos. Poissonin luku saadaan yhtälöstä (8)

$$\nu = \frac{\Delta d}{d} \frac{l}{\Delta l}, \quad (8)$$

missä Δd on koekappaleen halkaisijan muutos (mm) ja
 d koekappaleen halkaisija (mm).

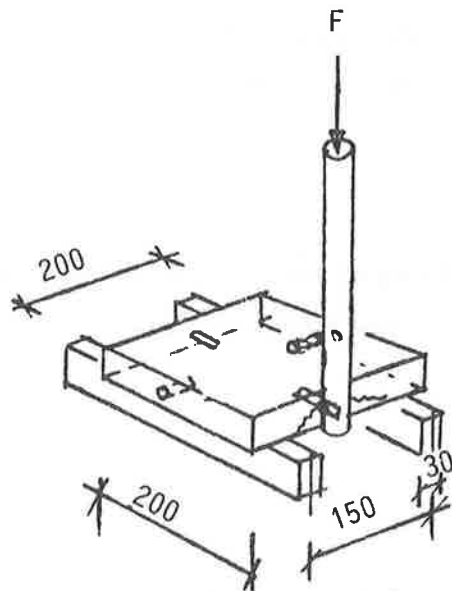
2.3.5 Lohkeamislujuus

Lohkeamislujuuskokeella määritetään luonnonkivisten verhouslevyjen lujuus lohkeamista vastaan sellaisissa tapauksissa, jolloin levyt on kiinnitetty kantaviin rakenteisiin levyjen syrjiin porattujen karatappien välityksellä.

Lohkeamislujuuskoetta ei ole standardoitu. Seuraava testikuvaus on DIN:n suositusten ja Ruotsissa käytettävän testausmenetelmän SP 01-10-68:n mukainen /30/.

Kokeen suoritus

Koe suoritetaan vähintään kahdella kivilaatalla, joiden mitat ovat 200 x 200 mm. Laattojen paksuuden tulee olla yli 30 mm. Laatat kuivataan ennen testausta 105 °C:n lämpötilassa, kunnes laattojen paino on pysyvä. Laatan jokaiseen reunaan porataan reikä. Reikien tulee sijaita reunapintojen keskellä kohtisuorassa porattavaa tasoa vastaan siten, että reikien reunaetäisyys siitä laatan tasosta, josta murtuminen tapahtuu kuormitettaessa on $15 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Reikien halkaisija on 8 mm ja syvyys 20 mm.



Kuva 10. Lohkeamislujuuden testaus.

Näytteen testaus suoritetaan kuvan 10 mukaisella koejärjestelyllä koe-puristinta käyttäen. Laatta asetetaan keskisästi ja yhdensuuntaisesti kahden yhdensuuntaisen prisman päälle, joiden tukileveys on 30 mm ja keskinäinen etäisyys 150 mm. Puristimen liikkuvaan päähän kiinnitetään pystysuora tanko, jonka alapäähän kierteistään vaakasuoraan tappikara, jonka halkaisija on 7,5 mm ja pituus 20 mm. Puristimeen kiinnitetty tanko lasketaan laatan viereen siten, että tappikara voidaan asentaa laatassa olevaan reikään. Tämän jälkeen suoritetaan kuormitus voiman kasvaessa tasaisesti nopeudella 0,1 MPa/s, kunnes laatan reunassa tapahtuu lohkeaminen.

Tulokset

Lohkeamisen aiheuttava murtovoima mitataan laatan kustakin reiästä. Lohkeamislujuus ilmoitetaan jokaiselle reiälle murtovoimana MN.

Jokaiselle testatulle laatalle ilmoitetaan lisäksi keskiarvolujuus. Testaustuloksissa tulee mainita reiän reunan ja laatan tasoreunan välinen etäisyys.

2.3.6 Kovuus

Kovuudella tarkoitetaan tässä naarmutuskovuutta. Kovuuden määrittäminen suoritetaan siten, että tutkittavaa näytettä naarmutetaan kovuusasteikon mineraalilla. Jos se jättää tutkittavaan pintaan naarmun, toistetaan koe seuraavalla, pehmeämmällä vertailumineraalilla. Tutkittavalle näytteelle saadaan lopuksi jonkin vertailumineraalin kovuus tai todetaan, että näytteen kovuus on kahden vertailumineraalin kovuuden välillä. Kovuusasteikkona käytetään ns. Mohsin asteikkoa, jossa pehmein vertailumineraali on merkitty numerolla 1 ja kovin numerolla 10. Mohsin kovuusasteikko:

- 1 talkki
- 2 kipsi
- 3 kalsiitti
- 4 fluoriitti
- 5 apatiitti
- 6 ortoklaasi (kalimaasälpä)
- 7 kvartsi
- 8 topaasi
- 9 korundi
- 10 timantti.

Jos kiven mineraalikoostumus (eri mineraalien määrä kivessä) tunnetaan, voidaan kiven kovuusarvo Mohsin asteikolla laskea. Kovuuden mittaamiseksi on kehitetty muitakin menetelmiä, kuten Rosiwalin ja Holmqvistin hiontakovuus, Seebeckin naarmutuskovuus sekä Vickersin että Knoonin kovuustestit /16, 20/. Rakennuskiven kovuus ilmoitetaan aina Mohsin kovuutena.

2.3.7 Kulutuskestävyys

Kivipintojen kulutuskestävyys määritetään eri maiden käytännön mukaan tavallisesti erilaisilla mekaanisilla hankaustesteillä. Koekappaletta hangataan eri menetelmissä joko pyörivää tai edestakaisin liikkuvaa levyä vasten. Testeissä käytetään kulumista edistäviä hankausaineita. Määritykset tehdään tavallisesti kuivissa olosuhteissa, mutta myös märkäkulutustestiä käytetään esim. Ruotsissa, jossa Bauschingerin menetelmällä määritetään koekappaleen kuluminen sekä kuivana että märkänä (SP 01-08-68) /30/. DIN-testissä käytetään nk. Böhmin kulutuskojetta (DIN 52108) /12/. ASTM:n mukaisessa testissä sovelletaan omaa, vastaavaa laitetta (ASTM C 241-51) /3/.

Suomessa on kivipintojen kulutuskestävyys määritetty perinteisesti nk. VTT:n normaalikokeella. Siinä hangataan $7 \times 7 \text{ cm}^2$:n suuruista laattaa 10 kN/m^2 :n suuruisen paineen alaisena 400 m pitkin Oy Mirka Ab:n hiomakangasta n:o 40. Ennen testausta koekappaletta säilytetään 7 vuorokautta 40 %:n kosteushuoneessa $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa, missä myös kulutuskoe suoritetaan. Koekappale punnitaan ennen (m_0) ja jälkeen (m_1) kulutuksen ja kuluminen lasketaan kaavasta (9)

$$\text{Kuluminen} = \frac{m_0 - m_1}{l \cdot b}, \quad (9)$$

missä l on koekappaleen pituus ja
 b koekappaleen leveys.

Samasta näytteestä testataan vähintään kolme näytekappaletta.

2.4 Kosteustekniset ominaisuudet

2.4.1 Vedenimukyky, vedellätyttymisaste

Kappaleen vedenimukyvyllä tarkoitetaan siihen tietyissä olosuhteissa tietyn ajan kuluessa imeytynyttä suhteellista vesimäärää. Vedenimukyky määritellään kaavan (10) mukaisesti

$$\text{Vedenimukyky} = \frac{\text{imeytynyt vesimäärä}}{\text{kuivapaino}} = \frac{m_r - m_t}{m_t} \cdot 100 \% \quad (10)$$

Luonnonkiven vedenimukyvyn testausmenetelmiä on esitetty mm. standardeissa DIN 52 103 /8/, SP 01-11-68, SP 01-12-68 /30/ ja ASTM C 97 /1/.

Aineen vedenimuominaisuuksia testattaessa sovelletaan standardissa DIN 52 103 periaatteessa kolmea erilaista imeytymenetelmää:

- a) imeytys normaali-ilmanpaineessa
- b) imeytys keittämällä
- c) imeytys vakuuissa (alipaine).

Aineeseen eri menetelmissä imeytyvä vesimäärä kasvaa tavallisesti yllä mainitussa järjestyksessä. Vakuuissa käytetään joskus veden sijasta erilaisia orgaanisia nesteitä.

Käsite vedelläättyymisaste ilmaistaan yleensä laaduttomana suhdelukuna ja määritellään seuraavasti:

$$\text{vedelläättyymisaste} = \frac{\text{vedenimukyky normaali-ilmanpaineessa}}{\text{vedenimukyky keittämällä tai vakuuissa}}$$

Koekappaleet ovat säännöllisen muotoisia (suorakulmaissärmiö, lieriö) ja niitä testataan samasta näytteestä vähintään 5 kpl. Kokeissa määritetään kappaleen kuivapaino (kuivatus $> 100^{\circ}\text{C}$) m_t joko ennen tai jälkeen imeytyksen. Normaali-ilmanpainemenetelmässä kappale upotetaan ensin määrääjäksi osittain $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ lämpöiseen veteen, jonka jälkeen se upotetaan kokonaan veteen, kunnes sen märkäpaino m_{vH} on vakio.

Keittomenetelmässä koekappaletta säilytetään ensin n. 1 vuorokausi veteen upotettuna, jonka jälkeen sitä keitetään 6 h. Lopuksi koekappale jäädytetään n. 20°C :n lämpöiseksi veteen upotettuna, kunnes sen märkäpaino m_{vK} on vakio.

Vakuuimenetelmä voidaan standardin DIN 52 103 mukaan tehdä kahdella tavalla. Molemmissa käytetään ensin 30 mbar:n alipainetta ja sitten 150 bar:n painetta. Ensimmäisessä menetelmässä koekappaleeseen imeytetään vettä aluksi edellä kuvatulla normaali-ilmanpainemenetelmällä, jonka jälkeen sitä säilytetään määrääaika (n. 3 h) veteen upotettuna 30 mbar:n vakuuissa. Vakuumin jälkeen käsittely jatkuu pari tuntia veteen upotettuna normaali-ilmanpaineessa ja lopuksi kytketään 24 h:n ajaksi päälle 150 bar:n paine, jonka jälkeen koekappale punnitaan (m_{vV}).

Toisessa vakuuikäsittelyssä ilma kuivaa koekappaletta säilytetään tunti 30 mbar:n vakuuissa, jonka jälkeen vakuuun lasketaan 10 minuutin kuluessa vettä niin, että koekappale peittyy. Tämän jälkeen käsittely jatkuu 150 bar:n paineessa kuten ensimmäisessä menetelmässä.

2.4.2 Tasapainokosteus

Tasapainokosteudella kuvataan aineeseen tietyssä ympäröivän ilman kosteudessa ja lämpötilassa sitoutuvaa kosteutta. Materiaalin tasapainokosteuden tuntemus auttaa määrittämään sen käyttäytymistä tietyissä olosuhteissa.

Aineen tasapainokosteus u voidaan laskea kaavasta (11)

$$u = \frac{m_k - m_t}{m_t} \cdot 100 \% \quad (11)$$

Kuivapaino m_t määritetään kuivattamalla näyte ennen punnitusta $> 100^\circ\text{C}$ lämpötilassa. Kosteapaino m_k saadaan säilyttämällä koekappaletta vakio-kosteudessa ja -lämpötilassa tasapainotilaan asti. Määrityksessä lähdetään sekä materiaalin kuivasta että kosteasta tilasta, jolloin yleensä päädytään eri arvoihin (hystereesilmiö).

2.4.3 Kapillaarisuus

Aineen kykyä imeä huokosiinsa vettä kutsutaan kapillaarisuudeksi. Kapillaarisuus määritetään upottamalla määrämittainen koekappale osittain veteen $n. 60$ sekunnin ajaksi. Tämän jälkeen kappale pyyhitään ja punnitaan (m_m) välittömästi. Kapillaarisuus lasketaan kaavasta (12)

$$V_k = \frac{m_m - m_t}{l \cdot b \cdot h} \cdot 10^3, \quad (12)$$

missä m_t on kuivapaino,
 l pituus,
 b leveys ja
 h korkeus.

Kapillaarisuus ilmoitetaan yksikköinä kg/m^3 .

2.4.4 Kosteusmuodonmuutokset

Aineen kosteuspitoisuudesta riippuvia tilavuudenmuutoksia nimitetään kosteusmuodonmuutoksiksi. Ominaisuudella on merkitystä rakenteissa tapahtuvia liikkeitä arvioitaessa. Ohuen kivilaatan kastuessa toispuolisesti voi esim. joistakin kivilajeista valmistettu laatta käyristyä haitallisesti (ks. 3.1, kuva 14).

Luonnonkiven kosteusmuodonmuutokset voidaan testata esim. standardin SIS 22 01 11, 5.10 mukaisesti /39/. Testissä koeprismoja (≥ 3 kpl) $40 \times 40 \times 150 \text{ mm}^3$ säilytetään ensin 1 d puolittain ja sitten 2 d kokonaan veteen upotettuina. Tämän jälkeen prismoja säilytetään $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$:n vakio-tilassa ja $50 \pm 5 \%$:n suhteellisessa kosteudessa. Prismojen pituudenmuutosta seurataan, kunnes se muuttuu vähemmän kuin 0,07 o/oo neljän vuorokauden aikana. Kutistuma ilmoitetaan promilleina (o/oo) kullekin prismalle kahden ja koetulosten keskiarvo yhden desimaalin tarkkuudella.

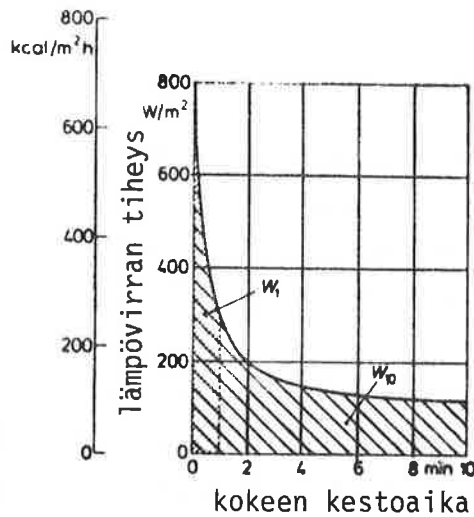
2.5 Termiset ominaisuudet

2.5.1 Lämpöisyys

Aineen lämpöisyys kosketettaessa riippuu monista tekijöistä, kuten aineen lämpökapasiteetista, lämmönjohtavuudesta ja tiheydestä sekä tarkasteluolosuhteista. Saksalaisessa standardissa DIN 52 614 (1974) on esitetty menetelmä lattian lämpimyden testaamiseksi /15/.

Testi voidaan tehdä laboratoriossa lattiapinnalle tai rakennuspaikalla valmiille lattialle. Tutkittavalle pinnalle asetetaan lämpövirran mittauslevy ja sen päälle tietyn lämpöinen lämmityskappale. Mittauslevyn läpi virtaavan lämpömäärän perusteella määritetään lämpövirran tiheys ja aikayksikköä vastaava lämmönsiirtymä W_1 ja W_2 . Tutkittavan pinnan tulee olla kooltaan vähintään $500 \times 500 \text{ mm}^2$ ja kokeita tehdään tutkittavalle aineelle vähintään 3 kpl.

Lämmönsiirtymä saadaan määrättyinä integraalina lämpövirran tiheydestä ajan funktiona kuvan 11 havainnollistamalla tavalla. Lämmönsiirtymä on mahdollista myös joko mitata suoraan tarkoitukseen soveltuvalla laitteistolla tai määrittää laskennallisesti.



Kuva 11. Esimerkki lämpötiheyden funktiosta ajan suhteen ja W_1 :n ja W_{10} :n merkitys /15/.

2.5.2 Lämpömuodonmuutokset

Aineen lämpötilasta riippuvia tilavuudenmuutoksia nimitetään lämpömuodonmuutoksiksi. Ominaisuuden tunteminen on tärkeä rakenteita suunniteltaessa ja niissä tapahtuvia liikkeitä arvioitaessa.

Luonnonkiven pituuden lämpötilakerroin voidaan määrittää esim. dilatometrillä, joka rekisteröi koekappaleen pituudenmuutokset tietyssä atmosfäärissä ja tietyllä lämpötila-alueella. Dilatometrin tarkkuus lämpötilan suhteen on suuruusluokkaa $\pm 2^\circ\text{C}$ ja pituudenmittauksessa 10^{-8} m. Testattavan koekappaleen enimmäispituus on n. 50 mm ja paksuus n. 10 mm.

Pituuden lämpötilakertoimen yksikkö on tavallisesti $1/^\circ\text{C} \cdot 10^6$ ja se lasketaan kaavasta (13)

$$\alpha = \frac{\Delta l}{\Delta t \cdot l} , \quad (13)$$

missä Δl on pituudenmuutos,
 Δt lämpötilanmuutos ja
 l alkuperäinen pituus.

2.6 Kestävyysominaisuudet

2.6.1 Säänkestävyys

Materiaalin säänkestävyys on vaikeasti määriteltävä käsite. Yleensä sillä tarkoitetaan materiaalin kykyä säilyttää sään vaihtelulle alttiissa ympäristössä ne toiminnalliset ja ulkonäköön liittyvät ominaisuutensa, jotka kussakin tapauksessa katsotaan sille tarpeelliseksi. Periaatteessa säänkestävyys on materiaaliominaisuus, mutta koska käsitteelle "sää" ei pystytä yleensä antamaan yksiselitteistä sisältöä, jää myös materiaalin säänkestävyys riippuvaiseksi siitä, mitä kulloinkin säällä tarkoitetaan. Säänkestävyyttä mitataan usein säätä eri tavoin simuloivilla laitteilla (esimerkiksi jäädytys-sulatuslaitteilla), jolloin koetulos riippuu ominaisuuksista ja toimintatavasta.

Sää koostuu monista eri tekijöistä, kuten lämpötilasta, kosteuspitoisuudesta, tuulista, sateista, auringonsäteilystä jne., joilla kullakin on tietyt materiaalien kestoikää rajoittavat vaikutuksensa. Yleensä materiaalien kestävyden kannalta kriittiseksi ei muodostu kuitenkaan mikään edellä mainituista tekijöistä yksin, vaan näiden erilaiset vaikutusyhdistelmät ja jaksottaiset vaihtelut. Sään vaikutusta hämärtää myös se, että materiaalit joutuvat usein alttiiksi erilaisille kemiallisille ympäristösaasteille, joilla voi olla normaalia säänkestävyyttä heikentävä vaikutus. Näin ollen ei voida aina rajoittaa tarkastelemaan yksistään luonnollisia säätekijöitä, vaan myös muut ympäristötekijät on otettava huomioon.

Luonnonkiven säänkestävyys testataan VTT:ssä standardin DIN 52 106 mukaisesti /11/. Testi on varsin monipuolinen ja pitää sisällään

- geologiset tutkimukset,
- kemialliset tutkimukset ja
- fysikaalis-tekniset tutkimukset.

Geologisissa tutkimuksissa selvitetään kiven perusominaisuudet, kuten kivilaji, mineraalit, suuntautuneisuus ja huokosrakenne. Erityisesti kiinnitetään huomiota käyttöolosuhteissa rapautumiselle tai muunlaisille muutoksille alttiisiin aineosiin. Selvitykseen sisältyy kiven pinta-tarkastelun lisäksi ohuthietutkimus polarisaatiomikroskoopilla.

Kiven kemiallinen kestävyys testataan sääkokeessa VTT:ssa kehitetyllä menetelmällä (ks. 2.6.3).

DIN 52 106:n mukaiseen säänkestävyyden testaukseen liittyviä fysikaalis-teknisiä tutkimuksia ovat tiheyden, vedenimukyvyn, vedellätyttymisasteen, jäädytys-sulatuskestävyyden ja puristuslujuuden testaukset. Lisäksi tehdään basalttikiville auringonvalonkestokoe ja savimineraaleja sisältäville sedimenttikiville savikerrosten määrityskoe. Fysikaalisten tutkimusten tarpeellisuus ja laajuus vaihtelee kivilajikohtaisesti.

2.6.2 Pakkaskestävyys

Pakkasvauriot johtuvat aineen huokosissa olevan veden jääytymisestä. Jääkiteet vaativat vettä enemmän tilaa ja aiheuttavat aineen sisällä hydrostaattisen paineen. Kun paine on tarpeeksi suuri, aine murtuu.

Luonnonkiven pakkasenkestävyys testataan yleisesti jäädytys-sulatuskokeella. Standardin DIN 52 104 mukaan määrämittäisiä koekappaleita (vähintään 5 kpl) säilytetään ensin vedessä, kunnes niiden märkápaino on vakio. Sitten kappaleet jäädytetään vähintään -15°C :n lämpötilassa ja sulatetaan lämpöisessä vedessä yhteensä 25 kertaa. Jokaisen jakson jälkeen kappaleet punnitaan ja lopuksi määritetään mahdollisten kokeessa irronneiden palasten paino /9/.

Nopeutettu ja ankara pakkasenkestävyyden arviointimenetelmä on kristallisoitinkoe (DIN 52 111). Se perustuu natriumsulfaatin ominaisuuteen sitoa itseensä huomattava määrä kidevettä ja kiteytyä alle $32,7^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa vuorisuolaksi $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Kiteytymisen yhteydessä tapahtuu huomattava tilavuudenkasvu. Toistuvalla kastelulla ja kuivauksella saadaan aikaan kristallisoimisipaine, joka saattaa rikkoa kiven /13/.

Sekä jäädytys-sulatuskoetta että kristallisoitimenetelmää on arvosteltu siitä, että ne eivät riittävän hyvin vastaa todellisia olosuhteita. Selvityksiä paremman pakkasenkestävyydestin kehittämiseksi on käynnissä, mutta toistaiseksi ei ole käytettävissä em. luotettavampia menetelmiä.

Luonnonkiven pakkasenkestävyyden arvioinnissa käytetään kriteereinä myös mm. aineen vedenimukykyä ja vedellä täyttymisastetta (ks. 2.4.1). Olennaista on tällöin erityisesti se, kuinka suuri osa aineen huokosista voi käyttöolosuhteissa täytyä vedellä. Käsitteenä suoiahuokossuhde kuvataan täyttymättä jäävien avointen huokosten määrää. Käsitteet materiaalin pakkasenkestävyyden rajoista vaihtelevat, mutta varsin yleisesti pidetään vedenimukyvyn arvoa $< 0,5$ painoprosenttia ja vedellä täyttymisastetta < 70 % takeena kiven pakkasenkestävyydelle /17/.

2.6.3 Kemiallinen kestävyys

Luonnonkiven kemiallisen kestävyuden selvittämiseksi ei ole toistaiseksi onnistuttu kehittämään todellisia olosuhteita hyvin vastaavaa luotettavaa ja yleispätevää testiä. Vaikeuksia aiheuttavat erityisesti käyttöolosuhteissa esiintyvien vauriomekanismien hitaus ja vaikuttavien tekijöiden suuri lukumäärä (ks. 2.6.1). Laboratoriossa on selvitetty erikseen luonnonkiven savukaasujen (CO_2 , SO_2) kestävyyttä, meriveden (suolat, sulfaattit) kestävyyttä ja muita erityisvaatimuksia, mutta käytännössä tuloksia voidaan joutua odottamaan kuukausia, jopa vuosia.

VTT:ssa on kehitetty nopeutettu testi luonnonkivipinnan kemiallisen kestävyuden tutkimiseen. Testissä kiillotetulle kivipinnalle (n. $100 \times 100 \text{ mm}^2$) asetetaan sylinterin muotoiset sienet ($\varnothing 50 \text{ mm}$, $h = 40 \text{ mm}$), joita kostutetaan tutkittavilla kemikaaleilla (taulukko 3). Sienten ympärillä on muovisuojus, joka kiinnitetään tiiviisti kivipintaan. Pintaa rasitetaan normaalisti 7 d, jonka jälkeen tulokset tulkitaan vertaamalla rasitettuja kivipintoja samoissa olosuhteissa säilytettyyn käsittlemättömään vertailukoekappaleeseen. Pinnoissa tapahtuneet muutokset arvioidaan silmämääräisesti.

Arvioitaessa kiven kestävyyttä voidaan käyttää apuna myös mineraali-analyysia. Tällöin paljastuvat esimerkiksi mineraalit, jotka muuttuvat kosteuden vaikutuksesta. Luotettavin näyttö kiven kestävyydestä saadaan todellisissa olosuhteissa.

Taulukko 3. VTT:n testissä normaalisti käytettävät liuokset ja niiden konsentraatiot.

Kemikaali	Konsentraatio			
	mol/l		g/l	
A vesijohtovesi	-		-	
B rikkihappo	1,0		98	
C suolahappo	1,0		36	
D etikkahappo	1,0		60	
E kalsiumhydroksidi	kylläinen		1,3	
F natriumhydroksidi	1,0		40	
G ammoniakki	1,0		17	
H natriumsulfaatti	0,5	1,0	61	103
	0,5		42	

2.7 Tuotantotekniset ominaisuudet

2.7.1 Irrotettavuus

Kiven irrotettavuutta kalliosta parantaa kiven lustasuunnat ja lustasuuntiin tapahtunut rakoilu eli pengertyminen. Lusta on kiven sisäinen taipumus lohjeta tiettyyn suuntaan. Lustasuuntia voidaan käyttää hyväksi irtiräjäytyksessä ja erityisesti kiilauksessa.

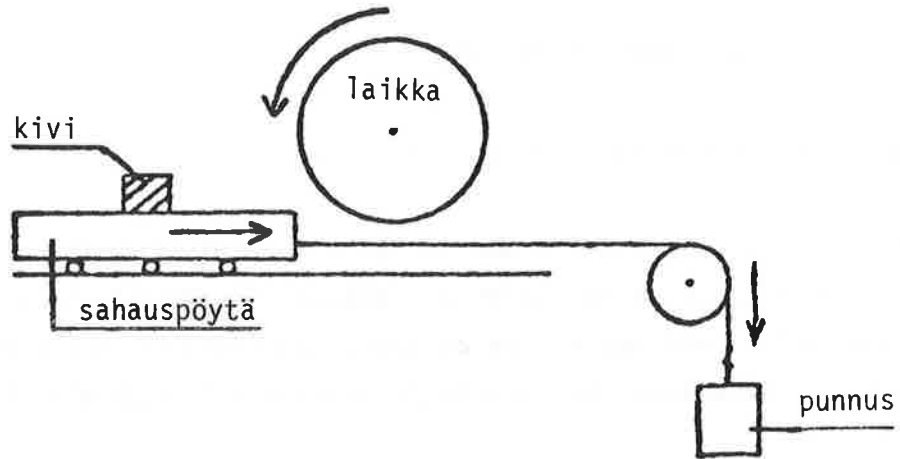
Irrotettavuus voidaan selvittää ennen louhoksen avausta suoritettavalla rakokartoituksella ja koelouhinnalla, jonka perusteella paras ja heikoin lustasuunta voidaan määrittää ja louhimo sijoittaa esiintymän parhaalle laidalle oikean suuntaisesti.

2.7.2 Porattavuus

Kiven porattavuutta voidaan testata sekä maasto- että laboratoriokokeilla, joilla mitataan kovametalliporan tunkeutumishopeutta porattavaan kiveen sekä poran kulumista ja teroituväliä. Porauskokeita ei ole standardoitu.

2.7.3 Sahattavuus

Kiven sahattavuutta voidaan testata kuvan 12 mukaisella sahauskokeella, jolla mitataan vakionopeudella pyörivän timanttiterän työsaavutus aikayksikössä, kun syöttövoima on vakio. Lisäksi tulee mitata terän kuluminen. Sahattavuuskokeita ei ole standardoitu.



Kuva 12. Kaaviokuva sahattavuuskokeesta.

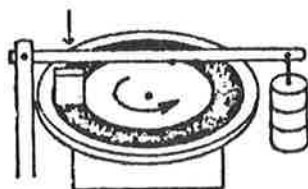
2.7.4 Poltettavuus

Kiven poltettavuuden määrittämiseksi ei ole kehitetty normitettuja testausmenetelmiä. Poltettavuutta voidaan arvioida mineralogisen koostumuksen, ennen kaikkea kvartsipitoisuuden perusteella.

2.7.5 Hiottavuus ja kiillottuvuus

Kivien hiottavuutta voidaan testata esim. kuvassa 13 esitetyllä Böhmin kulutuskojeella (DIN 52 108) /12/, jolla testataan kulutuskestävyyttä. Kivinäytettä hiotaan vakioaineisena tietty aika vakionopeudella pyörivän hiontalevyn päällä. Kivinäytteen kuluminen mitataan ja tulokset ilmoitetaan yksikkönä $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$. Kiillottuvuus ilmoitetaan tavallisesti syntyneen hiotun pinnan kitkamittaustuloksena tai alkuperäisen ja hiotun pinnan epätasaisuutena.

Testaus tulee suorittaa normitetulla laitteella siten, että kivinäytteen koko, hiottava pinta, hiontapinta-ala, hionta-aine, hiontalevyn pyörimisnopeus sekä hionta-aika on määritelty.



Kuva 13. Böhmin kulutuskoje /12/.

3 LUONNONKIVIEN OMINAISUUKSIA

3.1 Rakennustekniset ominaisuudet

Luonnonkiven tekniset ominaisuudet riippuvat lähinnä kiven mineraalikoostumuksesta ja rakenteesta (raekoko, suuntautuneisuus, huokoisuus, rakoilu). Taulukossa 4 on esitetty eri kivilajeille tyypillisiä teknisten ominaisuuksien lukuarvoja ja vastaavat DIN-standardit /27/.

Taulukko 4. Luonnonkivien ominaisarvojen vaihteluvälejä /27/.

Kivilaji	Tiheys (t/m ³) DIN 52102	Huokoisuus (t-%) DIN 52102	Vedenimukyky (p-%) DIN 52103	Lämmönjohtavuus (W/Km)	Lämpölaajeneminen (1/°C · 10 ⁻⁶)	Puristuslujuus (MN/m ²) DIN 52105	Talvutusvetolujuus (MN/m ²) DIN 52112	Kimmoduuli x 10 ¹² (MN/m ²)	Mohsin kovuus	Kuluminen (g/cm ²) DIN 52108
Graniitti	2,5 - 2,7	0 - 5	0,2 - 0,5	0,6 - 1,0	5 - 9	150 - 240	10 - 20	300 - 600	n. 6	13 - 20
Dioriitti, gabro	2,9 - 2,9	0 - 5	0,2 - 0,4	0,5 - 0,8	4 - 7	170 - 300	10 - 22	1100 - 1300	5 - 6	8 - 27
Gneissi	2,5 - 2,8	1 - 5	0,1 - 0,6	0,6 - 0,9	5 - 8	150 - 270	10 - 25	100 - 1000	5 - 6	11 - 25
Syenitti	2,5 - 2,8	0 - 5	0,2 - 0,5	0,5 - 0,8	4 - 7	160 - 250	10 - 22	500 - 600	5 - 6	11 - 22
Tiivis marmori	2,5 - 2,7	2 - 7	0,2 - 0,6	0,3 - 0,7	3 - 6	80 - 180	5 - 15	500 - 800	n. 4	40 - 110
Huokoinen kalkkikivi	2,3 - 2,5	5 - 25	1,0 - 10,0	0,3 - 0,8	3 - 7	20 - 90	4 - 10	-	n. 3	40 - 180
Kiteinen liuske	2,5 - 2,8	1 - 5	0,2 - 0,5	0,2 - 0,8	2 - 7	100 - 200	10 - 35	100 - 800	4 - 7	11 - 40
Hiekkakivi	2,4 - 2,6	5 - 15	0,5 - 8,0	0,2 - 0,8	2 - 7	30 - 150	3 - 15	80 - 200	5 - 6	17 - 40
Serpentiiniitti	2,5 - 2,9	3 - 20	0,1 - 1,0	0,6 - 1,2	5 - 10	120 - 300	10 - 30	400 - 1500	n. 3	20 - 55

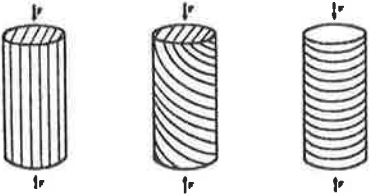
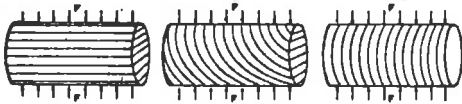
Suomalaisten rakennuskivien teknisten ominaisuuksien tuntemus on osittain puutteellinen eikä kattavaa yhtenäistä esitystä suomalaisista rakennuskivistä ole saatavilla. Varsinkin käyttöominaisuuksia (kulutuskestävyys, säänkestävyys) on testattu hyvin vähän laboratoriossa. Tiedot kivien ominaisuuksista perustuvat yleisesti käyttökokemuksiin. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty suomalaisten kivien eri lähteistä saatuja teknisiä ominaisarvoja.

Taulukko 5. Suomalaisten tarvekivien mekaanisia ominaisuuksia. Suluissa olevat luvut ilmaisevat testattujen näytteiden lukumäärän. Määritykset on tehty ISRM:n suositusten mukaisesti.

Kivilaji	Kohde	Kuivatiheys kN/m ³	Huokoisuus %	Poissonin luku ν	Puristuslujuus MN/m ²	Epäsuora veto1. MN/m ²	Kimmo модули MN/m ²	Lähde
Graniitti harmaa	Kuru	28,9 (15)	0,39 (15)	0,27 (4)	186 (12)	12,0 (15)	52 000 (13)	VTT GEO
Graniitti harmaa	Teisko	26,3 (14)	0,49 (14)	0,24 (4)	263 (4)	13,4 (5)	49 600 (4)	VTT GEO
Graniitti punainen	Myrskylä	26,3 (13)	0,27 (13)	0,21 (2)	203 (2)	9,6 (6)	47 900 (2)	VTT GEO
Graniitti punainen	Perheniemi	26,5 (14)	0,36 (14)	0,26 (4)	229 (4)	13,4 (7)	52 700 (4)	VTT GEO
Graniitti punainen	Taivassalo	26,2 (18)	0,50 (18)	0,24 (2)	224 (3)	9,6 (9)	65 300 (3)	VTT GEO
	testaussuunta ed. vastaan	26,2 (22)	0,57 (22)	0,25 (6)	222 (6)	9,2 (11)	72 800 (6)	
Graniitti	Vehmaa	26,3			152 (5)	8,2 (5)	77 000 (5)	44
Graniitti	Hirvijärvi	26,4			141 (5)	8,1 (5)	78 000 (5)	44
Rapakivi viborgiitti	Loviisa	26,6			80 (5)	7,5 (5)	57 000 (5)	44
Rapakivi graniitti	Kotka	26,2		0,15	167 (5)	9,0 (5)	53 300 (5)	43
Porfyyrinen rapakivigr.	Ylämaa			0,18	129 (5)	9,2 (5)	57 900 (5)	43
Kvartsi-dioriitti	Jyväskylän	28,4		0,25	140 (5)	10,2 (5)	56 600 (5)	43
Dioriitti	Kuru	29,3			124 (5)	9,6 (5)	72 000 (5)	44
Dioriitti	Metsämaa	29,0 (27)	0,23 (25)	0,28 (16)	174 (17)	12,5 (7)	65 700 (17)	VTT GEO
Gabro	Korpilahti	29,5		0,33	164 (5)	12,7 (5)	74 900 (5)	43
Gabro	Viitasaari	29,3			131 (5)	9,1 (5)	95 000 (5)	44
Peridotiitti	Orimattila	31,6			117 (5)	22,4 (5)	95 000 (5)	44
Kalkkikivi	Lappeenranta	27,4			37 (5)	3,5 (5)	54 000 (5)	44
Kalkkikivi	Parainen	27,2		0,30	78 (5)	5,3 (5)	59 300 (5)	43
Hiekkakivi	Nakkila	25,6			292 (5)	10,7 (5)	67 000 (5)	44

Taulukko 6. Suomalaisten liuskeisten kiven mekaanisia ominaisuuksia /44/. Määritykset on tehty ISRM:n suositusten mukaisesti.

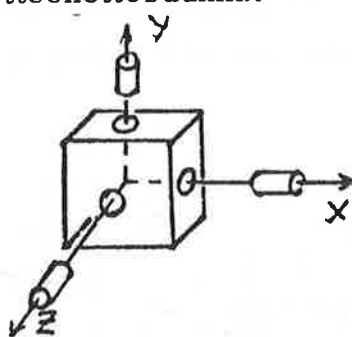
Kivilaji	Paikka	Kuivatiheys kN/m ³	Suunta	Puristuslujuus MN/m ²	Epäsuora vetolujuus MN/m ²	Kimmomoduuli MN/m ²
Kiilleliuske	Outokumpu	27,4	0	164	11,3	83 000
			45	93	11,7	83 000
			90	ei test.	13,8	ei test.
Fylliitti	Orivesi	27,1	0	121	9,9	85 000
			45	68	11,3	71 000
			90	88	12,7	85 000
Amfiboliitti	Otaniemi	29,2	0	219	ei test.	86 000
			45	198	11,8	85 000
			90	147	16,3	92 000
Kvartsiitti	Outokumpu	26,9	0	210	10,1	96 000
			45	143	10,9	97 000
			90	329	14,7	61 000
Gneissi	Inkoo	26,6	0	87	ei test.	73 000
			45	235	10,3	89 000
			90	156	11,1	82 000
Leptiitti	Vuosaari	27,6	0	272	11,2	79 000
			45	256	ei test.	97 000
			90	287		65 000
Talkkiliuske	Vuonnos	28,5	0	27	2,8	34 000
			45	ei test.	ei test.	ei test.
			90	ei test.	ei test.	ei test.

Puristuslujuuden määrittämissuunnat a) 0° b) 45° c) 90° 	Vetolujuuden määrittämissuunnat a) 0° b) 45° c) 90° 
--	---

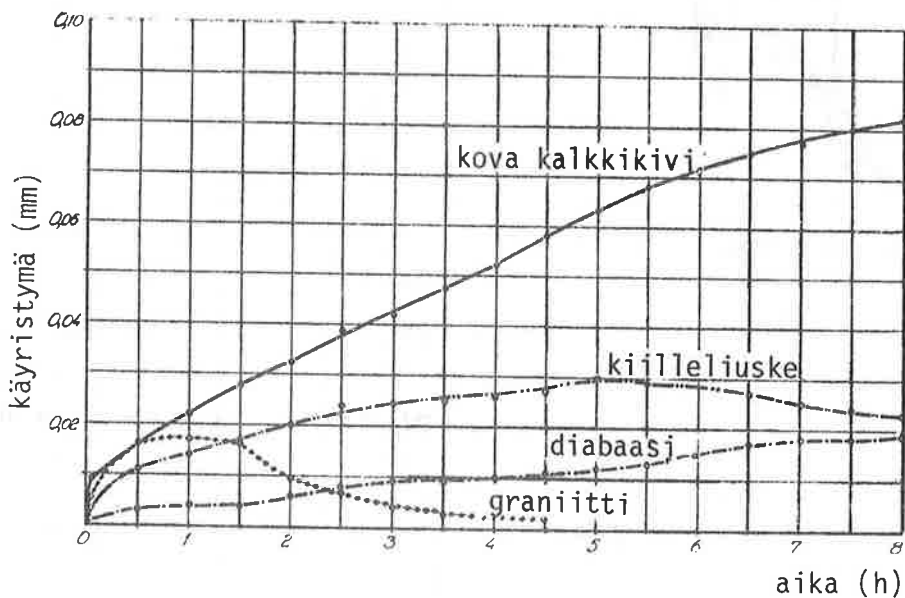
Useimpien kiven ominaisuudet vaihtelevat eri suunnissa johtuen kiven rakenteen suuntautumisesta ja vuoripaineen vaikutuksesta. Samasta näytteestä testattavat koekappaleet tulee tästä syystä irrottaa

esimerkiksi kolmesta toisiaan vastaan kohtisuorasta suunnasta, joista yksi on pystysuunta. Taulukossa 7 on edellä kuvatulla periaatteella VTT:ssa testattujen suomalaisten graniittien lujuusarvoja.

Taulukko 7. Graniitille eri suuntiin tehtyjä lujuusmäärittäyksiä.

Näytteenottosuunnat							
		Kuivatiheys kN/m ³	Huokoisuus %	Poissonin luku	Puristuslujuus MN/m ²	Epäsuora vetolujuus MN/m ²	Kimmoduuli MN/m ²
Kurun harmaa graniitti	z	26,34 (3)		0,24 (3)	247,9 (3)	12,8 (8)	
	x	26,35 (3)		0,28 (3)	282,6 (3)	13,2 (6)	
	y	26,34 (3)		0,22 (3)	284,0 (3)	12,9 (10)	
Maaningan harmaa graniitti	x	26,76 (4)	0,33 (4)	0,23 (2)	139,4 (3)	6,1 (1)	39300 (3)
	y	26,75 (4)	0,36 (4)	0,41 (2)	113,3 (3)	5,3 (1)	31750 (3)
	z	26,77 (4)	0,34 (4)	0,29 (2)	136,6 (3)	5,3 (1)	37400 (3)
Maaningan pun. graniitti	x	26,16 (1)	0,59 (1)			7,7 (1)	
	y	26,15 (4)	0,50 (4)	0,32 (2)	206,7 (3)	6,9 (1)	46100 (3)
	z	26,10 (1)	0,54 (1)			7,4 (1)	
Vesannon pun. graniitti (I)	x	26,23 (1)	0,48 (1)			7,0 (1)	
	y	26,21 (4)	0,46 (4)	0,28 (2)	223,7 (3)	8,1	50700 (3)
	z	26,22 (1)	0,48 (1)			6,2 (1)	

Kuva 14 esittää erään ruotsalaisen kiven kosteusmuodonmuutoskokeen tuloksia /19/. Kokeessa käytettiin $20 \times 50 \times 250 \text{ mm}^3$:n kokoisia kivi-prismoja, joita kostutettiin toispuolisesti vedellä 8 h:n ajan. Kivi-prismat kiinnitettiin toisesta päästä jäykästi ja kokeen aikana mitattiin prisman vapaan pään käyristymä. Selvästi eniten käyristyi kova kalkkikivi, jonka käyryys lisääntyi varsin tasaisesti kokeen aikana. Graniittiprisma käyristyi kokeen alussa (0...0,5 h) kalkkikiven tavoin, mutta muodonmuutos palautui muutama tunti myöhemmin lähes kokonaan.



Kuva 14. Luonnonkiviprismojen käyristymä toispuolisessa kostutuksessa /19/.

Kaikkien prismojen vaakataso oli yhdensuuntainen kiven parhaan lohko-suunnan kanssa. Kokeissa todettiin lisäksi, että sedimenttikivien ja metamorfisten kiven kosteusmuodonmuutokset vaihtelevat suuresti samasakin kiviesiintymässä riippuen koekappaleen ottopaikasta ja testaus-suunnasta (ks. 2.4.4) /19/.

Luonnonkivet kestävät säärasituksia yleisesti ottaen hyvin. Pakkasvauriot ovat kivrakenteissa harvinaisia. Ilman epäpuhtaudet, lähinnä rikkiyhdisteet, yhdessä kosteuden, lämmön ja auringonvalon kanssa voivat joissain kivilajeissa aiheuttaa värin muutoksia tai rapautumista. Teollisuusseuduilla on lähinnä kalkkikivissä, marmoreissa ja hiekkakivissä

todettu muutoksia, paikoin kivet ovat happamassa ilmastossa rapautuneet erittäin pahoin.

Suomen ilmastossa luonnonkivipintojen ei ole voitu todeta mainittavasti rapautuvan. Suomalaiset dolomiittiset marmorit ovat lisäksi periaatteessa kestävämpiä ilmaston kemiallisia rasituksia vastaan kuin eteläeurooppalaiset marmorit. Suomessa on ulkoilmastolle alttiissa huokoisissa marmoreissa havaittu lähinnä likaantumista ja lievää kiillon huononemista sekä joissain kivilajeissa värin muutoksia. Suomalaiset graniitit kestävät erittäin hyvin saastuneenkin ilmaston rasituksia, ja graniittipinnat ovat helpommin puhdistettavia kuin marmoripinnat.

3.2 Tuotantotekniset ominaisuudet

3.2.1 Sahattavuus

Taulukossa 8 esitetään vertailu suomalaisten rakennuskivien sahattavuudesta.

Taulukko 8. Suomalaisen rakennuskivien sahattavuus timanttipyörösahoilla /5/.

Ryhmä 0 Kerroin 0,85	Ryhmä I Kerroin 1	Ryhmä II Kerroin 1,3	Ryhmä III Kerroin 1,6	Ryhmä IV Kerroin 1,8	Ryhmä V Kerroin 2,2	Ryhmä VI Kerroin 3
Oulaisten diabaasi Kv. 0 %	Kivijärven gabro Kv. 1 %	Jyväskylän musta Kv. 8 %	Kurun dioriitti Kv. 8-12 %	Varpaisjärven musta	Ristijärven harmaa	Vehmaan punainen karkearakeinen
Korpilahden gabro	Huopanan dioriitti Kv. 4 %	Karjalan musta Sammon dioriitti Kv. 4 %	Toivakan dioriitti Ylämaan ruskea viborgiitti	Kaltimon gabro Kalannin harmaa	Taivassalon ruskea ja punainen Järppilän vaalea ja tumma Kiuruveden vihreä graniitti (Byrokseeni)	Kotkan punainen Kurun harmaa Kv. 32 % Vesannon punainen
Kv. = kvartsi						
Syöttösyvyys Teräskoko Ø 300 - 900 mm			20 - 25 mm	10 - 16 mm		6 - 10 mm
Syöttösyvyys Teräskoko Ø 1000 - 3000 mm			12 - 18 mm	6 - 10 mm		4 - 5 mm
Syöttönopeus 2500 - 3500 mm/min				3000 - 3500 mm		3500 - 4000 mm

3.2.2 Porattavuus

Kivilajien porattavuutta tuotantotekniseltä kannalta kuvaavat parhaiten poranterän tunkeutumisnopeus, terän kuluminen ja teroitusväli sekä kestoikä. Tunkeutumisnopeuteen vaikuttavat kivilajiominaisuudet sekä porauskaluston ominaisuudet, ennen kaikkea porakoneen ulostuloteho. Hydraulisella porakoneella saavutetaan pneumaattiseen porakoneeseen verrattuna lähes kaksinkertainen terän tunkeutumisnopeus.

Kivilajiominaisuuksien vaikutusta porattavuuteen voidaan kuvata porausnopeusindeksillä DRI (Drilling Rate Index) ja kuluttavuusindeksillä BWI (Bit Wear Index), jotka on otettu käyttöön Norjan teknillisessä korkeakoulussa (NTH) ja joiden määrittäminen kuvataan viitteessä /41/.

Suomesta ja Ruotsista kerättyjen kokemusten mukaan kiteisten kivilajien porattavuus pneumaattisella porauskalustolla ja Ø 33...34 mm:n poralla on taulukon 9 mukainen /22/.

Taulukko 9. Kiteisten kivilajien porattavuus /22/.

Kivilaji	Tunk.nop. cm/min	Terotusväli porametriä	Kestoikä porametriä	Kuluminen	µ/parametri
				korkeus	läpimitta
Pegmatiitti	24 - 45	10 - 13	100 - 150	30 - 35	-
Rapakivi	40 - 50	10 - 17	130 - 160	- 30	-
Pun.graniitti	35 - 60	8 - 15	140 - 250		11 - 15
Harm. "	40 - 50	10 - 15	150 - 200	12 - 45	15 - 20
Dioriitti	45 - 50	- 10	- 150	- 40	-
Gabro	30 - 35	- 25	200 - 300	10 - 30	10 - 15
Peridotiitti	- 100	-	- 150	17 - 60	8 - 20
Gran.gneissi	50 - 65	10 - 15	120 - 150	50 - 70	-
Kiille "	20 - 30	3 - 6	30 - 60	35 - 180	35 - 50
Amfiboliitti	30 - 35	10 - 15	- 85	5 - 10	5 - 15
Diabaasi	25 - 30	5 - 10	- 175	15 - 30	-
Fylliitti	35 - 45	- 10	120 - 150	- 30	-
Leptiitti	30 - 45	7 - 14	70 - 150	100 - 150	-
Hiekkakivi	- 45	-	-	- 5	- 10
Kalkkikivi	50 - 65	30 - 40	400 - 500	1 - 10	0,5 - 2

Taulukossa 10 esitetään yhteenveto eräille suomalaisille tarvekiville kenttäporauksissa hydraulisella porakoneella HL 438 ja 64 mm:n nastakruunuterällä saaduista tunkeutumisnopeuksista ja teroitusväleistä. Taulukossa 10 esitetään myös laboratoriossa määritetyt DRI- ja BWI-indeksit /43/.

Taulukko 10. Suomalaisten tarvekivien porattavuus hydraulisella porakoneella HL 438 ja 64 mm:n nastakruunuterällä määritettynä /43/.

Kivilaji	Kohde	Tunkeutumis- nopeus (m/min)	Teroitus- väli (m)	DRI	BWI
Graniitti	Kuru	0,81	40	45	49
Graniitti	Vehmaa	1,09	60	58	34
Graniitti	Taivassalo	1,12	60	62	31
Rapakivi- graniitti	Kotka	1,26	63	66	29
Porfyyrinen rapakivigr.	Ylämaa	1,29	84	66	26
Kvartsi- dioriitti	Jyväskylä	0,89	160	55	34
Gabro	Korpilahti	0,88	250	44	38
Granaatti- kiillegneissi	Parainen	0,86	20	52	36
Amfiboliitti	Parainen	0,90	102	46	34
Kalkkikivi	Parainen	1,39	-	92	-

3.2.3 Hiottavuus ja kiillottuvuus

Kiven hiottavuus voidaan ilmoittaa joko suhteellisena arvona esim. kvartsiin verrattuna tai kappaleesta irronneena kiviainestilavuutena (Bauschinger), sen käänteisarvona (Rosival) tai kappaleen painon menetyksenä (Vickers) tai korkeuden vähenemisenä millimetreissä (Dorry). Kiillottuvuus ilmoitetaan tavallisesti syntyneen hiotun pinnan kitkamittaustuloksena tai alkuperäisen ja hiotun pinnan kitkakerroinarvojen erotuksena, vain harvoin hiotun pinnan epätasaisuutena (taulukko 11) /22/.

Taulukko 11. Kivilajien hiottavuus ja kiillottuvuus /22/.

Kivilaji	Kuluminen kvartsiin verrattuna	Koekappaleen kuluminen cm ³ /50 cm ²	Koekappaleen kolojen syvyys	Hiotun kiven kitkakerroin
Kvartsi	0	7 - 8 cm ³	1	0,30 - 0,53
Kvartsiitti	8 "	7 - 8 "	2 "	0,45 - 0,67
Hiekkakivi	26 "	10 - 14 "	4 "	0,60 - 0,82
Graniitti	19 "	5 - 8 "	6 "	0,40 - 0,70
Diabaasi	48 "	5 - 8 "	8 "	0,45 - 0,81
Kalkkikivi	110 "	15 - 40 "	1 "	0,30 - 0,75

3.3 Esteettiset ominaisuudet

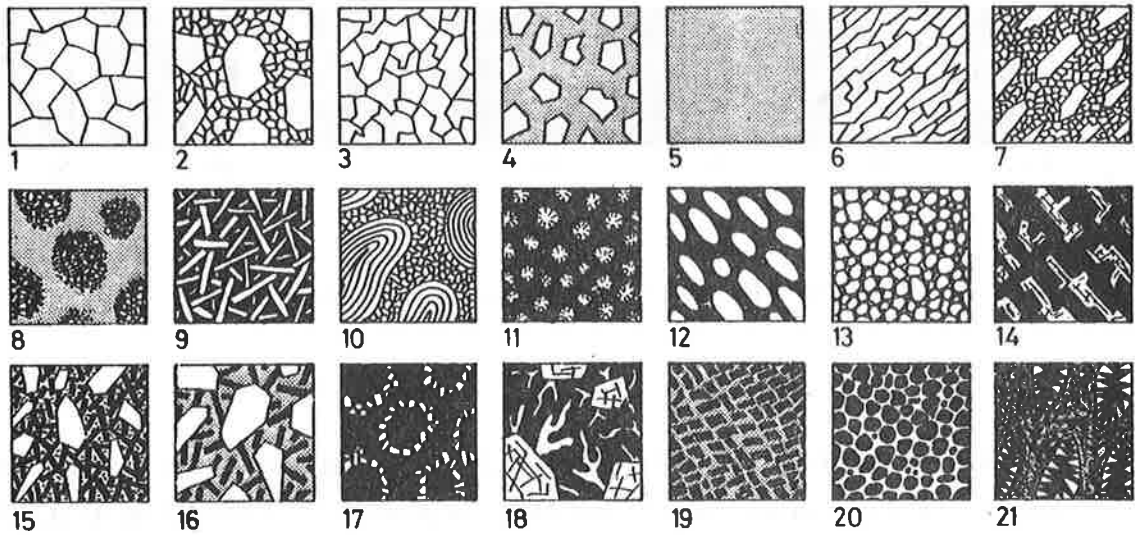
Luonnonkiven rakennusteknisen käytön luonteen takia on kiven ulkonäöllä usein varsin huomattava merkitys sen käyttökelpoisuudelle. Rakennuskiven valinta tekniset vaatimukset täyttävien kivien joukosta perustuu arkkitehtisuunnittelussa olennaisesti kohteen suunnittelun visuaalisiin tavoitteisiin. Kivipinnan ulkonäön tietyissä olosuhteissa määräävät kiven luontaiset ominaisuudet (väri, teksturi) ja kiven pintakäsittely.

Kiven värivalikoima on hyvin laaja. Lähes kaikkia värisävyjä voidaan löytää luonnonkivistä ja niiden mineraalirakeista. Kiven yleisväriin vaikuttaa sen yksittäisten rakeiden väri ja sijoittuminen toisiinsa nähden. Taulukkoon 12 on koottu eri kivilajien värisävyjä. Isot tummenetut renkaat kuvaavat kyseiselle kivilajille tyypillistä väriä ja pienet renkaat harvinaisempaa mutta mahdollista väriä.

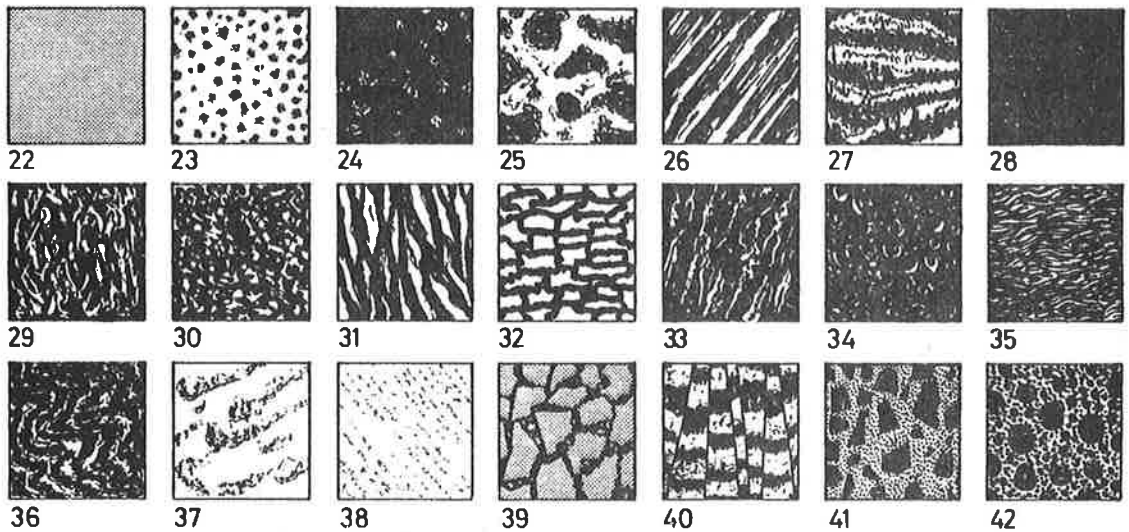
Taulukko 12. Eri kivilajien värejä /25/.
 ● tyypillinen väri
 ○ harvinaisempi väri

Väri Kivi- laji	Valkoinen				Puna				Vihreä					Sininen										
	vaaleanharmaa	tummanharmaa	musta	musta	puna	punertava	kellertävä	oranssi	ruskea	tummanruskea	ruskeanmusta	vaaleanvihreä	vihreä	vihreänharmaa	tummanvihreä	vihreänmusta	oliivinvihreä	vaaleansininen	sininen	tummansininen	siniharmaa	sinimusta	violetinharmaa	
Graniitti	●	●	○		●	●	○	○	○			○						○		○				
Syeniitti		○	○	○	●	○			●	●	○			○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	
Tonalitti	○	●	●	○							○										○	○		
Dioriitti		○	●	●							○			○	○	●					○	○		
Gabro			○	●					○	○	○		○	○	○	○	○				○	●	○	
Foyaiitti	●	●	○		●				○	○								○	●	○	○	○	○	
Charnohiitti				○						○	○		○	○	○	○	○							○
Ryoliitti	●	○			●	●	●	●	○			○				○								
Trakyytti	○	●	○		●	●	●	●	○			○		○		○								
Andesiitti			●	○	○	○		○	○	○	○		●	●	●	●					○	○	○	
Basaltti				●	○				○	○	○			○	○	○					○	●	●	
Pikriitti					○				○	○	○		○	○	○	○					○	○	○	
Hiekkakivi	○	○	○		●	●	●	●	○			○				○								○
Kalkkikivi	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		○			○	○	○	○	○	○	○	●	●	●
Kipsikivi	●	○			○	○	○	○				●			○			●						
Marmori	●	●	○		○	○	○					●	○	○	○	○		●						○
Onyksi	○	○			○	●	●	○	○			●	●	○		○		○						
Saviliuske		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
Kiilleliuske	○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
Kvartsiitti	●	○			○	○	○	○	○			○	○	○	○			○	○	○	○			
Paragneissi	●	●	●	●		○				○			○	○	○						○	○	○	
Ortogneissi	○	○	○		●	●	●	○	○					○							○	○	○	
Serpentiiniitti					○					○	○		○	○	○	○		○						○

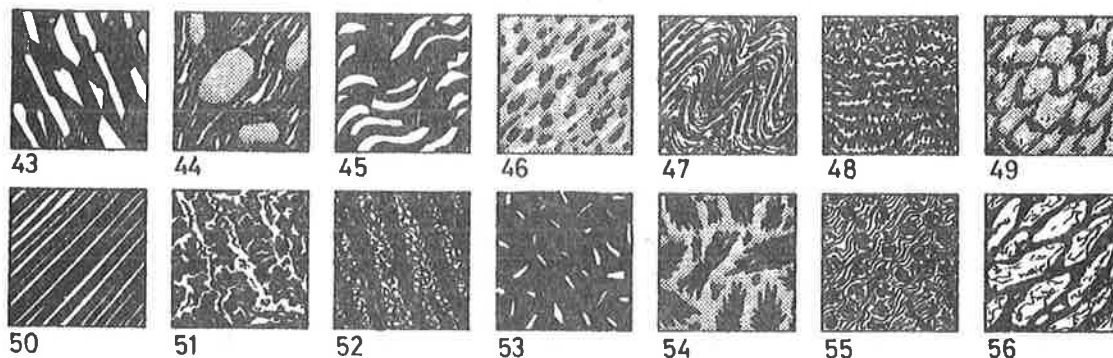
Kiven rakeiden kokoa, muotoa ja keskinäistä järjestystä nimitetään tekstuuriksi eli pintakuvioksi. Yhdessä värin kanssa tekstuuri määrää kivipinnan ilmeen. Eri kivityypeillä toistuvat tietyt tyypilliset tekstuurit, joita on systemaattisesti havainnollistettu kuvissa 15 - 17.



Kuva 15. Syväkiville tyypillisiä tekstuureja /27/.



Kuva 16. Sedimenttikivien tekstuureja /27/.



Kuva 17. Metamorfisten kivien tyypillisiä tekstuureja /27/.

Kiven pintakäsittelyt vaihtelevat kivilajin ja käyttökohteen mukaan karkeista lohkopinnoista ja hakatuista pinnoista hienoihin hiottuihin ja kiillotettuihin pintoihin. Muita nykyisin käytettyjä pintakäsittelyjä ovat polttaminen ja hiekkapuhallus. Kivilaattoja voidaan joskus käyttää myös sahapintaisina ilman eri pintakäsittelyä. Käsittelyasteita ja ulkonäkövaihtoehtoja on eri pintakäsittelytavoissa useita. Kiven väri ja tekstuuri tulevat voimakkaammin esiin käytettäessä hienoja pintakäsittelyjä. Kiillotusta kutsutaan tästä syystä usein myös kiven värjäämiseksi. Taulukossa 13 esitetään pääpiirteissään eri pintakäsittelytapojen soveltuvuus. Yksityiskohtainen kuvaus kiven pintakäsittelyistä on rakennustietokortissa RT 302.3 /32/.

Taulukko 13. Yleisimpien kivipintojen ulkonäkö ja käyttö /17, 32/.

Pinnan nimitys	Ulkonäön kuvaus	Soveliaat kivilajit	Tavalliset käyttökohteet
Lohkopinta	luonnollinen lohkeamapinta, jolle asetetaan tasaisuusvaatimuksia tapauskohtaisesti	liuskeet, joskus gneissi tai kova hiekkakivi	seinäverhoukset sisällä ja ulkona, maastorakenteet, lattiat
Ristipäähakattu	tasakarkea jyvápinta, sallitaan ≤ 10 mm syvyisiä kuoppia	syväkivet (graniitit), kova hiekkakivi, gneissit	julkisivuverhoukset, maastorakenteet
Poltettu	karkeahko, kiven tekstuuria seuraava, hakattua värikkäämpi pinta	kvartsipitoiset graniitit	julkisivuverhoukset
Hiekka-puhallettu	sahatun, hiotun tai kiillotetun pinnan osittain (kuviointi) tai kokonaan tasaisesti karkeutettu, lievästi rosainen pinta	kaikki kivilajit, paitsi liuskeet	julkisivuverhoukset, maastorakenteet
Karkeahiottu	sileä, naarmuinen, himmeä pinta	kaikki kivilajit	lattiat, portaat, seinäverhoukset sisällä ja ulkona, kävelytiet, sisustus
Normaalihiottu	sileä, lähes naarmuton, himmeä pinta		
Hieno- hiottu	sileä, naarmuton, himmeä, lähes kiiltävä pinta	kaikki kivilajit	
Kiillotettu	sileä, naarmuton, kiiltävä ja kuvastava pinta. Väri ei saa muuttua, jos pinnalle levitetään spriitä tai tinneriä.	kaikki kivilajit, paitsi liuskeet ja kiillottumattomat pehmeät kivet kuten pehmeä kalkikivi ja vuolukivi	seinäverhoukset sisällä ja ulkona, sisustus

4 RAKENNUSKIVIESIINTYMÄN KÄYTTÖKELPOISUUDEN ARVIOINTI

4.1 Kriteerit

Rakennuskivituotantoon soveltuvan kiviesiintymän löytäminen ja tuotannon aloittaminen on monisäikeinen tapahtuma. Ennen mahdollista tuotannon aloittamista tulisi kiven markkinointimahdollisuudet selvittää, tuotantoon ja jalostukseen liittyvät kysymykset tulisi ratkaista ja mikä ehkä tärkeintä: esiintymän ja samalla kiven käyttökelpoisuus tutkia. Tasalaatuisen näköisiä ja mielenkiintoisia kallioita löytyy varsin runsaasti, mutta vain harvat niistä sisältävät tuotantoon kelpaavaa kiveä. Vaikka kiven ulkonäkö (väri, pintakuvio) onkin hyvin määräävä tekijä kiven käyttöä suunniteltaessa, tulee kiviesiintymän täyttää myös tuotannolliset odotukset.

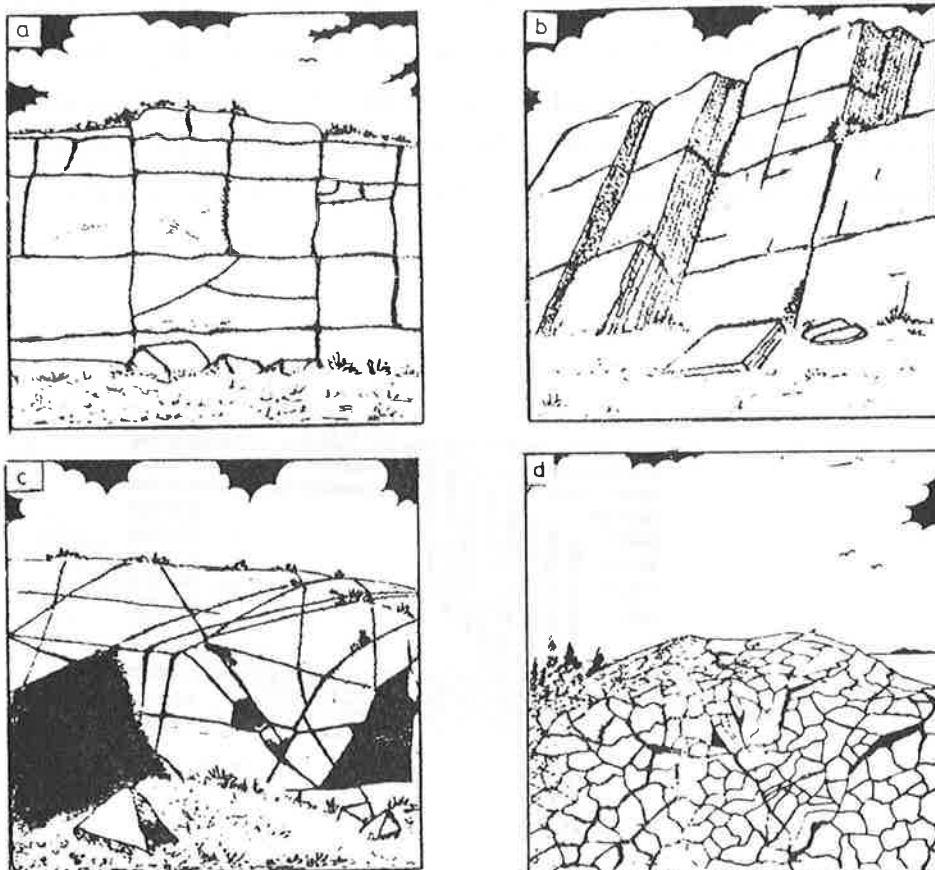
Jotta kiven tuotantoa voitaisiin suunnitella kyllin pitkällä tähtäimellä ja systemaattista louhintaa käyttäen, tulee kiven olla ehdottomasti riittävän ehyttä, niin rakoillutta, että työlohkareiden mittasuhteet voidaan ennakoida, sekä kyllin homogeenista, jotta tasalaatuisen kiven tuotanto olisi mahdollista.

Seuraavassa keskitytään tarkastelemaan niitä geologisia perusteita ja menetelmiä, joita käyttämällä voidaan laatia arvioita jonkin kiviesiintymän käyttökelpoisuudesta rakennuskivenä. Menetelmät eivät sellaisenaan ole uusia, vaan niitä on jo tähän mennessä hyödynnetty runsaasti erilaisissa geologisissa kalliooperätutkimuksissa. Esityksessä kuvataan lähtötilanteet erikseen vanhan louhoksen jatkeiden ja ympäristön tutkimiseen sekä täysin uuden rakennuskiviaiheen tutkimiseksi.

4.2 Käsitteitä

Rakennuskiven tuotannossa käytetään hyväksi kalliooperässä olevia halkeamia ja kiven luontaista taipumusta lohjeta tiettyyn suuntaan helposti ja suoraviivaisesti. Kalliooperässä eri alueilla esiintyvien rakojen (kuva 18) määrä, suunta ja keskinäinen etäisyys vaihtelevat yleensä suuresti. Jos kalliooperässä esiintyy runsaasti tietyn suuntaisia rakoja, puhutaan rakoilusysteemistä. Samalla alueella voidaan kalliossa havaita yksi, kaksi, kolme tai useampia (toisiaan leikkaavia) rakoilusysteemejä.

Vaakasuorien rakojen voidaan todeta yleensä seuraavan kallion pinnan muotoja ja vieläpä niin, että niitä on syvemmällä kalliossa vähemmän kuin lähellä kallion pintaa. Tämän selitetään johtuvan rapautumisen aiheuttamasta jännityksen muutoksesta kallioperässä.

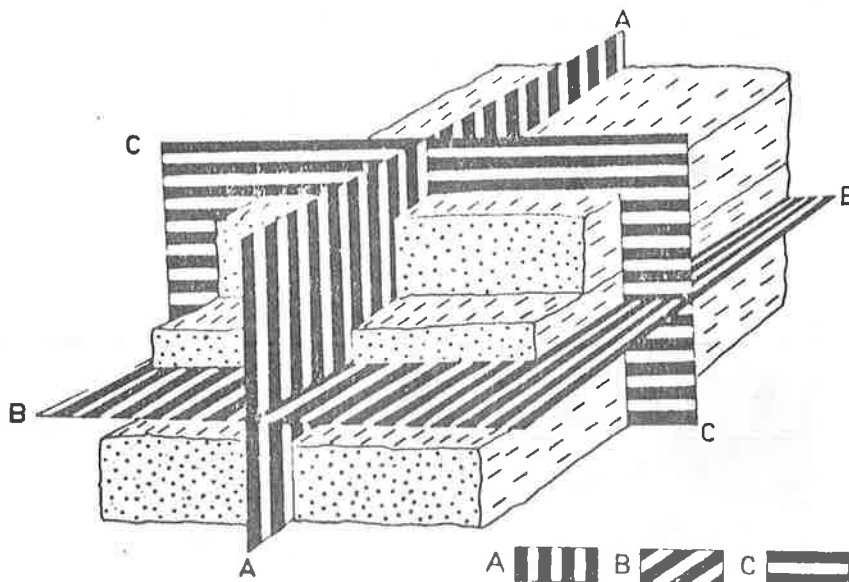


Kuva 18. Kallion rakoilutyypit: a. kuutiorakoilu, b. laattarakoilu, c) kiilarakoilu, D. sekarakoilu /28/.

Kalliossa esiintyvät pystyraot jatkuvat yleensä niin syväälle kuin niitä on seurattu. Pystyrakojen esiintyminen on merkityksellistä, paitsi louhinnan suunnittelun kannalta, myös sen seikan vuoksi, että pystyrakojen välisellä alueella on kallioperä yleensä huomattavan eheää eikä kivessä esiinny salarakoja.

Kivilajeilla on taipumus lohjeta määräsuuntiin. Näitä lohkeamissuuntia kutsutaan lustasuunniksi (kuva 19). Lustasuuntia on yleensä kolme ja ne ovat kohtisuorassa toisiaan vasten. Sitä lohkeamissuuntaa, johon kivi helpoimmin lohkeaa, kutsutaan päälustaksi. Tätä suuntaa edustaa usein pystylusta. Poikkilusta on liuskeisuutta vastaan kohtisuora

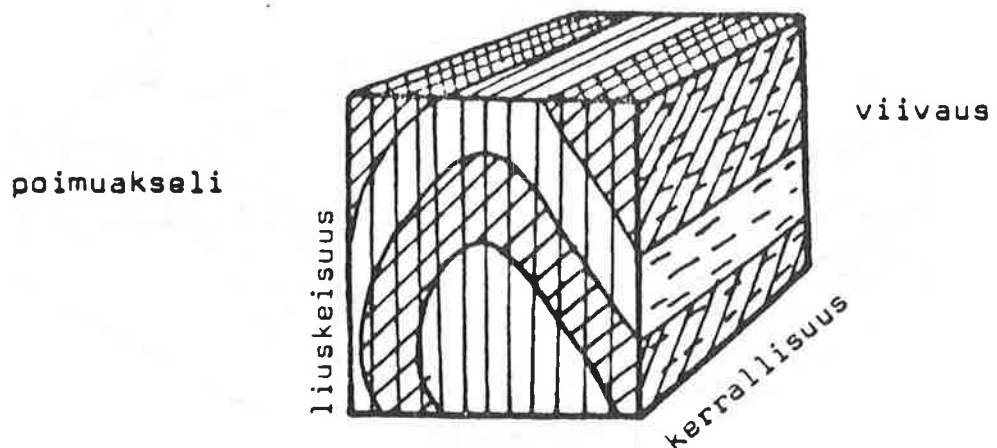
halkeamissuunta. Tämä on myös se suunta, jossa kivi vaikeimmin halkeaa. Kolmas lustasuunta (kuvassa 19 suunta B) sijoittuu pysty- ja poikkilustan väliin. Tämä lohkeamissuunta on kivissä yleensä kallion ulkopintaa myötäilevä ja usein lähes vaakasuora. Tätä lustasuuntaa kutsutaan vaak- (eli lama- eli makaavaksi) lustaksi /4/. Hyvin pengertyneissä graniiteissa esiintyvät lähes vaakasuorat pohjaraot osoittavat tämän kiven parhaan lohkeamissuunnan ja päälustan. Tasarakeisilla ja suuntautumattomilla syväkivillä kaikki lustasuunnat ovat lähes samanarvoisia. Tällaisia kiviä louhittaessa ovat louhoksen rintauksen aseman määräävinä tekijöinä kalliossa olevien halkeamien suunta.



Kuva 19. Kallion lohkeamistaipumus eli lustasuunnat. A = pystylusta, B = vaak- (eli makaava eli lamalusta), C = poikkilusta /4/.

Kiteisillä liuskeilla on vahva taipumus lohjeta liuskeisuuden mukaisesti levyiksi. Tätä liuskeisuuspinnan mukaista päälustaa vasten kohtisuoraan lohkeaa liuskekivi huonoimmin. Kiteisille liuskeille on lisäksi luonteenomaista kiillesuomujen esiintyminen liuskeisuustasossa sekä viivaus, jolla ymmärretään mineraalirakeiden suuntautumista. Liuskekivissä esiintyy lisäksi usein raidallisuutta, joka johtuu kiven alkuperäisten sedimenttikerrosten koostumuksen vaihtelusta. Tätä kutsutaan kerrallisuudeksi (kuva 20).

Kalliossa esiintyvät halkeamat voivat olla kiven lustasuuntien mukaiset tai poiketa niistä. Kiveä louhittaessa pyritään käyttämään hyväksi juuri nimenomaan kiven lustasuuntia. Lustasuunnista poikkeava rakoilu vaikeuttaa kiven irrotusta selvästi.



Kuva 20. Poimu, liuskeisuus ja kerrallisuus. Liuskeisuus leikkaa kerroksia, liuskepinnoilla poimuakselin suuntainen viivaus /23/.

Lisäksi on huomioitava, että kiveä edelleen jalostettaessa tulee kiven liuskeisuuden ja suuntauksen olla samansuuntainen työstettävien pintojen kanssa tai niitä vastaan kohtisuorassa.

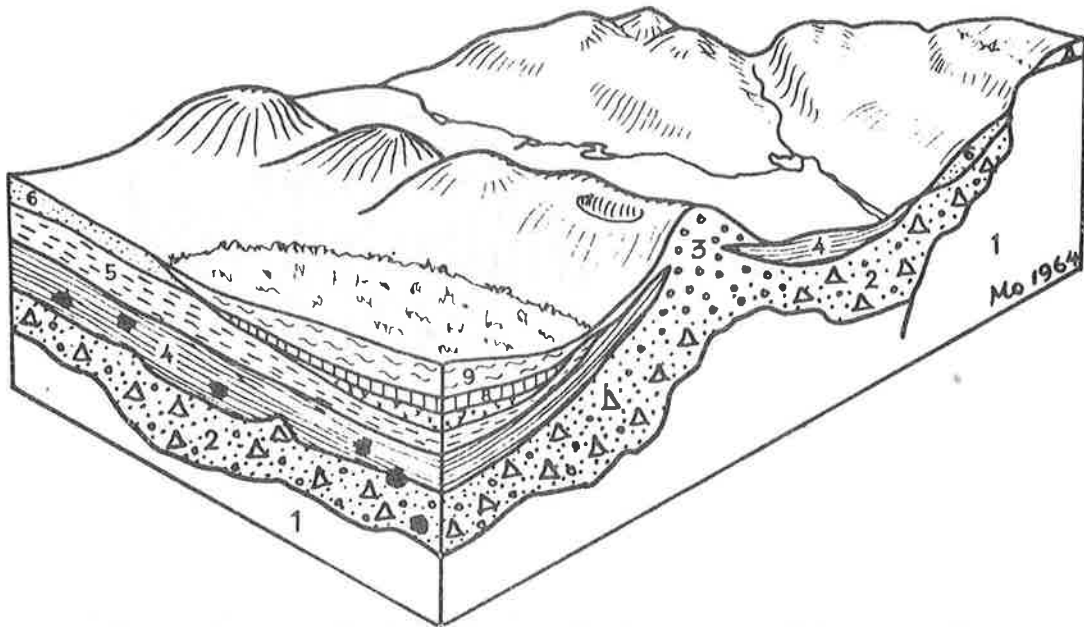
Kiven teknillinen luonne määräytyy mineraalirakeiden koon, laadun, suuntauksen, yhteenliittymistavan ja rapautuneisuusasteen mukaan.

4.3 Uusi esiintymä

4.3.1 Olemassa oleva tieto

Suomi on vaara- ja tunturialueita lukuunottamatta korkeussuhteiltaan melko tasainen maa. Suuret korkeusvaihtelut puuttuvat ja maisemalle on luonteenomaista tasaisten pelto- ja suoalueiden sekä harju- ja kallioalueiden vuorottelu (kuva 21). Kulutusta huonosti kestävät tai rikkonaiset kivet ovat helpoimmin rapautuvina kuluneet eniten. Maamme kallioperästä on irtainten maalajien peitossa n. 97 %. Maapeitteen paksuus on yleisimmin 3...4 m, Suomen koko maakerroksen paksuuden

aritmeettisen keskiarvon ollessa 8,64 m /29/. Paljaana oleva kallioperä (n. 3 % pinta-alasta) edustaa jo eräällä tavalla valikoitunutta käyttökivipotentiaalia.



Kuva 21. Maaperän rakenne. 1. kallioperä, 2. moreeni, 3. harju, 4. lustosavi, 5. jääkauden jälkeen syntynyt savi, 6. ranta-kerrostuma, 7. lieju, 8. saraturve, 9. rakkaturve /29/.

Maamme topografiaa, maaperää sekä kallioperää ja sen rakennetta kuvaavia karttoja, samoin kuin geofysikaalisia mittaustuloksia esittäviä karttoja, on runsaasti saatavilla. Pelkän karttatiedon pohjalta ei kiviesiintymää kuitenkaan juuri kannata lähteä etsimään.

1 : 20 000 tai suurempimittakaavaiset perus- ja topografikartat antavat yleiskuvan alueen korkeussuhteista, peitteisyydestä, asutuksesta, liikenneväylistä jne. Geologian tutkimuskeskuksen julkaisemat kallioperäkartat ovat tavallisesti mittakaavassa 1 : 100 000. Vaikka näin pienimittakaavaisesta kartasta ei esiintymän yksityiskohtaiseen tutkimukseen olekaan juuri apua, antaa se tiedon siitä, millä suunnalla ympäristössä samaa kivilaatua on lisää, vai onko sitä, ja kuinka laaja kyseinen kivilajimuodostuma on. Kallioperän rikkonaisuuden (rakoilu,

ruhjeet, siirrokset jne.) selvittämiseen voidaan käyttää ilmakuvatulkintaa. Karttojen hankinta on kustannukseltaan vähäinen menoerä, mutta näin saatu alueellinen tieto varsin runsasta. Karttojen kohteellinen informaatio on vähäistä. Kallioperän alueellinen rakenne tosin toistuu yleensä varsin hyvin myös kohdetasolla, joten suuntaa antavaa tietoa näin saadaan.

Suurempimittakaavaisia geologisia karttoja voi saada alueella muita yhteyksiä varten (malminetsintä, kallioperän yleiskartoitus jne.) liikuneelta ja tutkimuksia suorittaneelta geologilta. Hän voi myös antaa tietoa alueen kivilajeista sekä muodostuman rakenteesta, rakoilusta, kivan laadusta jne. Kerätyn tiedon pohjalta voidaan maastotyöt lähteä suunnittelemaan niin, että alueellinen kuva esiintymästä ja sen ympäristöstä on jo olemassa. Lisäksi karttamateriaalia voidaan hyödyntää myöhemmin.

4.3.2 Maastokartoitus

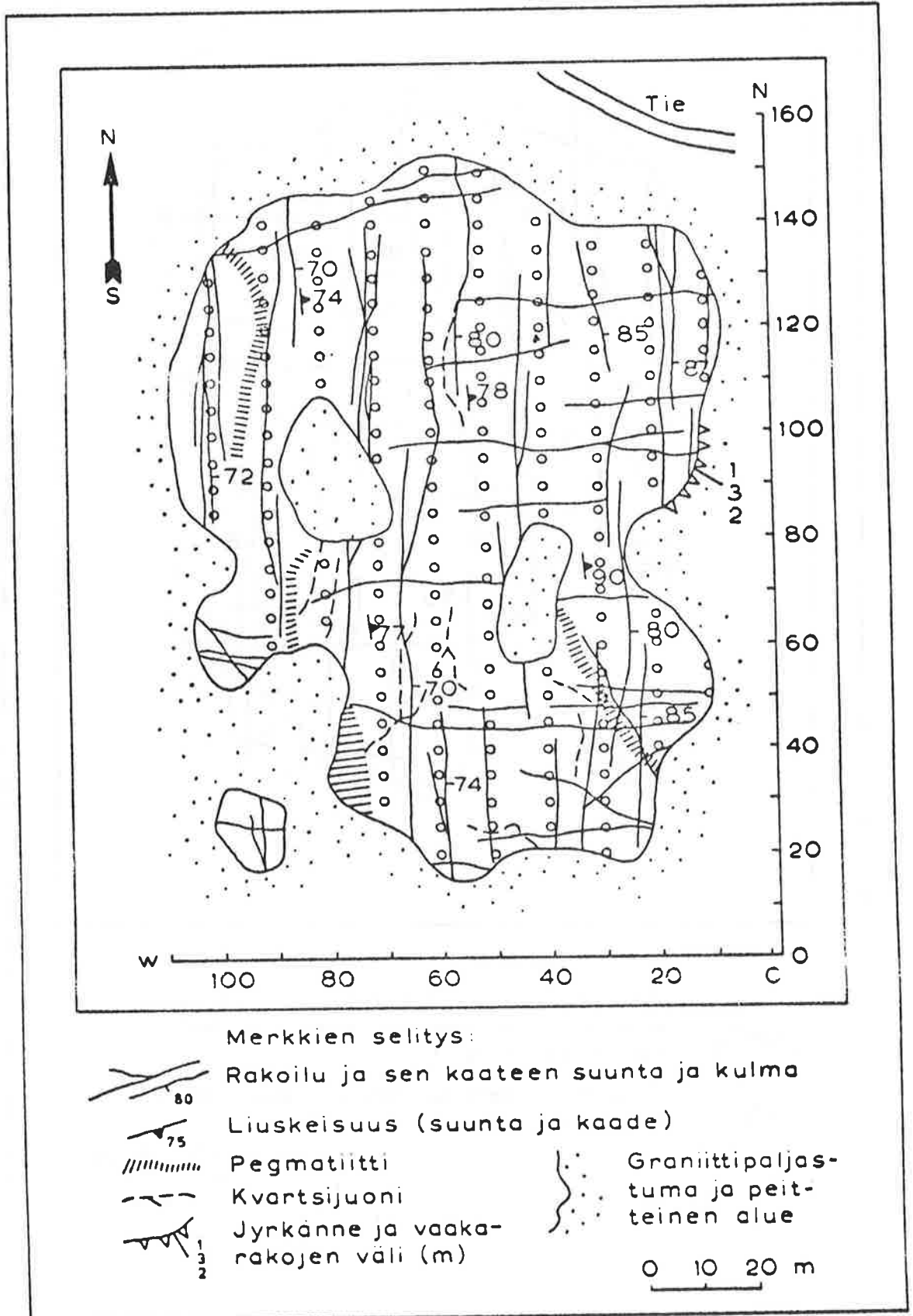
Maastokartoitus voidaan käynnistää, kun kohteesta on karttatulkinnan avulla jo selvitetty sen yleinen topografia, muoto, maapeitteen laatu, suurtektoninen rakenne sekä alueen yleisgeologinen kuva.

Kalliopaljastumien tarkastelu maastossa antaa verraten pian tottuneelle havainnoitsijalle kuvan kiven laadusta ja tarvittavista tutkimuksista. Hyvin paljastuneilla kallioalueilla tutkimus on helppoa, mutta peitteillä alueilla pitäisi mahdollisuuksien mukaan poistaa irtomaita tarpeellisilta kohdilta.

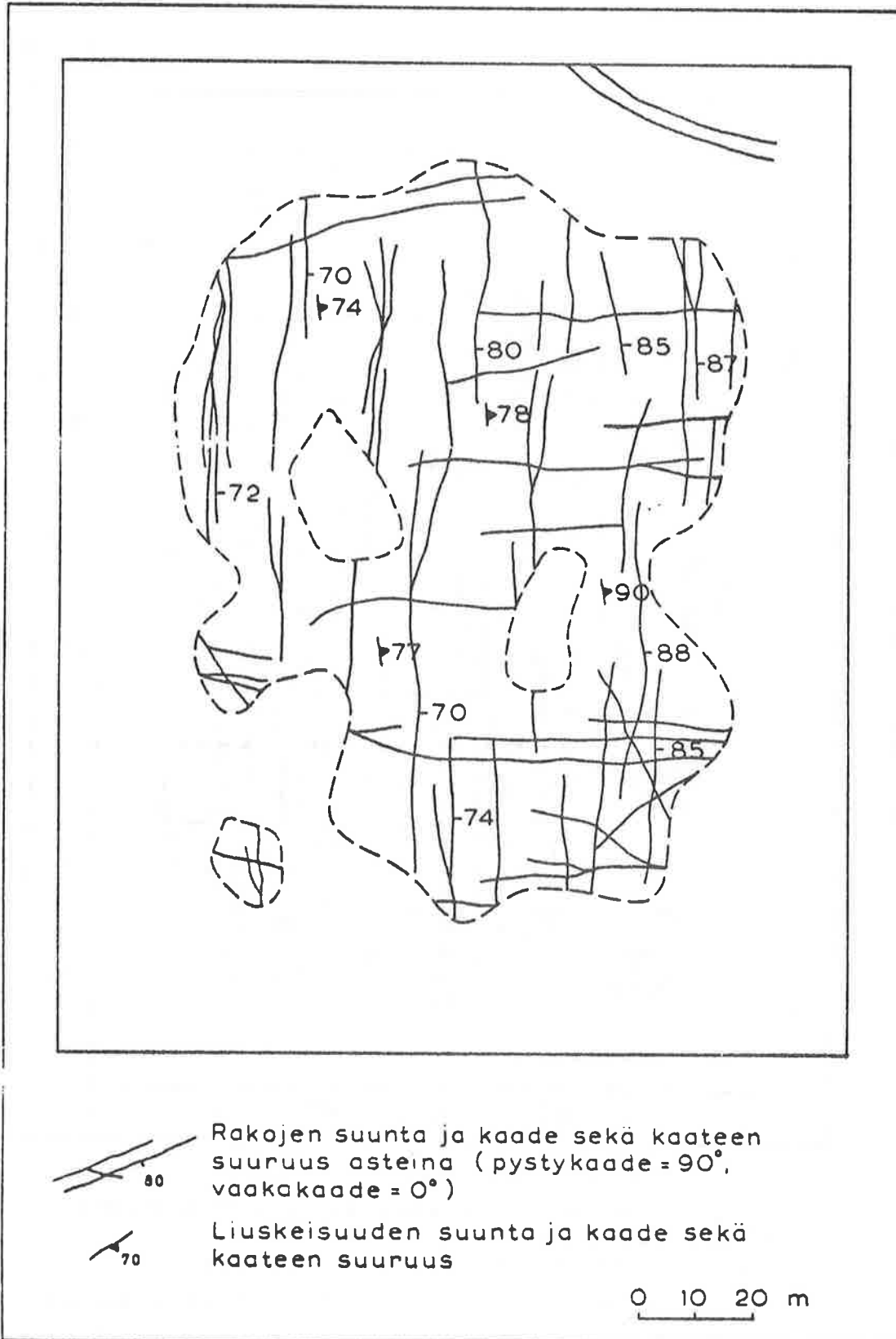
Maastokartoituksessa käytetään pohjakarttana kyllin suurimittakaavaista topografikarttaa (tai muuta maastokarttaa). Kun alueellinen kartoitus muuttuu kohteelliseksi kartoitukseksi, on kartoitustarkkuuttakin lisätävä. Tällöin on kallioalueelle, jossa yksityiskohtainen kartoitus suoritetaan, syytä tehdä linjoitus. Jo yksi runkolinja ja siihen sidotut poikkilinjat auttavat sitomaan havaintopisteet. Linjaruudukko mahdollistaa systemaattisemman kartoituksen.

Kartoitusta suoritettaessa kirjataan tehtävät geologiset ym. havainnot erilliselle lomakkeelle tai päiväkirjaan tietyn systematiikan mukaan. Havaintopisteistä kirjataan mm. kivilaji, kiven rakenne ja tekstuuri, kerroksellisuus, liuskeisuus, poimuttuminen, venymä, kivilajisulkeumat, muut epäpuhtaudet, leikkaavat juonet, rakoilusysteemit, siirrokset ja ruhjeet jne. Kallion pinnasta voidaan lisäksi ottaa systemaattisesti "palanäytteet" kiven rakenteen, tekstuurin ja värin vaihteluiden vertaamiseksi. Lisäksi näistä näytteistä voidaan määrittää kiven teknisiä ominaisuuksia. On vielä huomattava, että kiven rapautumispinnan väri on erilainen kuin kiven murtopinnan väri. Kiillotettua pintaa vastaava väri ja kiven syvyys saadaan aikaan kastamalla kivi veteen.

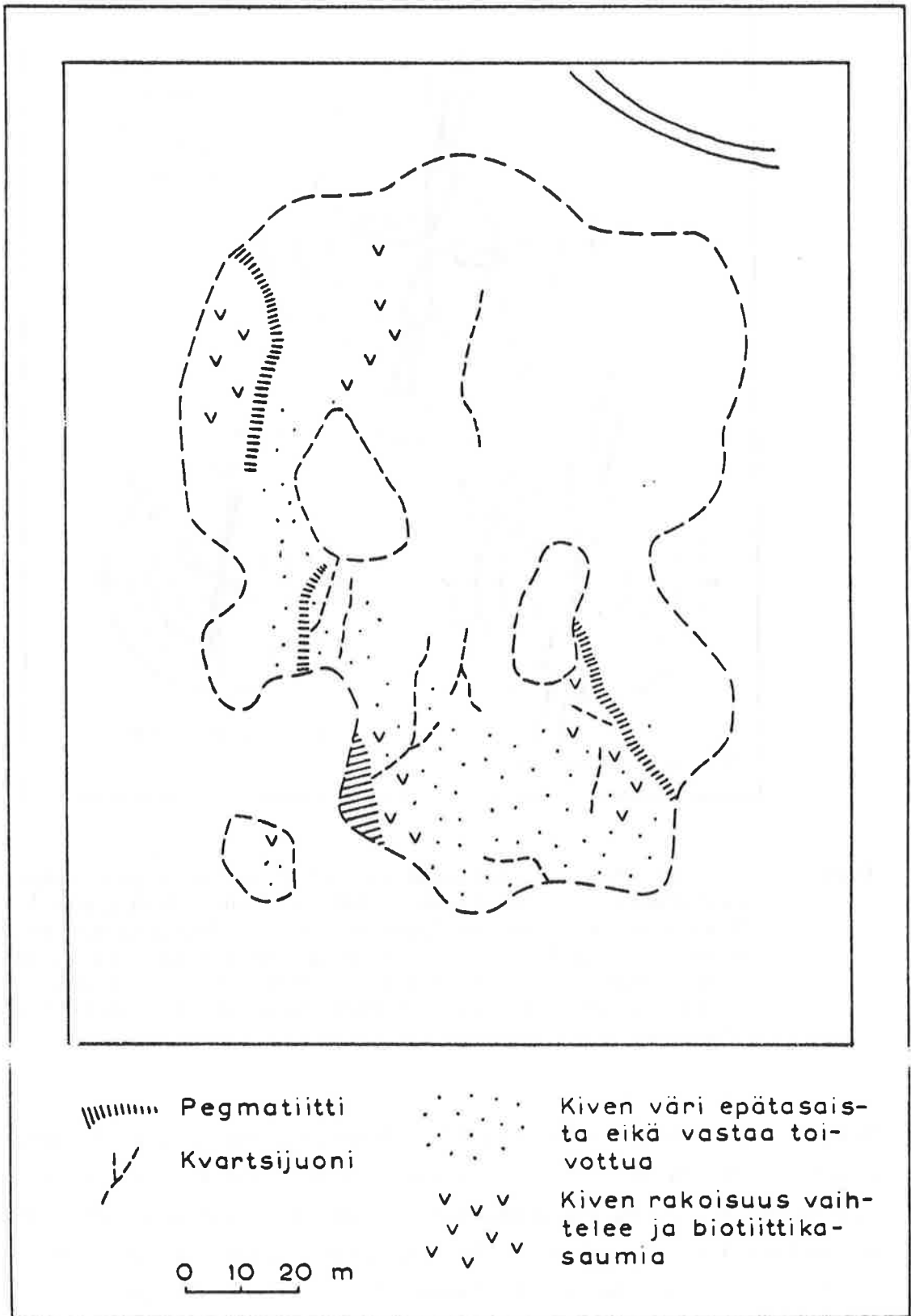
Kartoituksen aikana lomakkeille kerätty tieto (havainnot, mittaukset jne.) on helposti purettavissa erilaisiksi kartoiksi. Kiviesiintymästä voidaan piirtää yksi kartta, jolle kaikki havainnot kerätään tai sitten voidaan käyttää pohjakarttana suurimittakaavaista maastokarttaa ja kivilaji-, suuntaus-, rakoilu-, juoni- jne. havainnot piirretään erillisille karttakalvoille (transparenteille), joita päällekkäin asettamalla voidaan kiviesiintymän ominaisuuksia ja niiden muutosta sekä kiven rakennetta tarkastella. Kuvassa 22 on esitetty rakennuskiviesiintymän pintakartta ja kuvissa 23 ja 24 saman kartan sisältämä tieto hajoitettuna erillisille kartoille. Kartoituksessa koottu, varsinkin kiven rakennetta koskeva tieto, voidaan helposti havainnollistaa myös erilaisilla ruusudiagrammeilla (kuva 25).



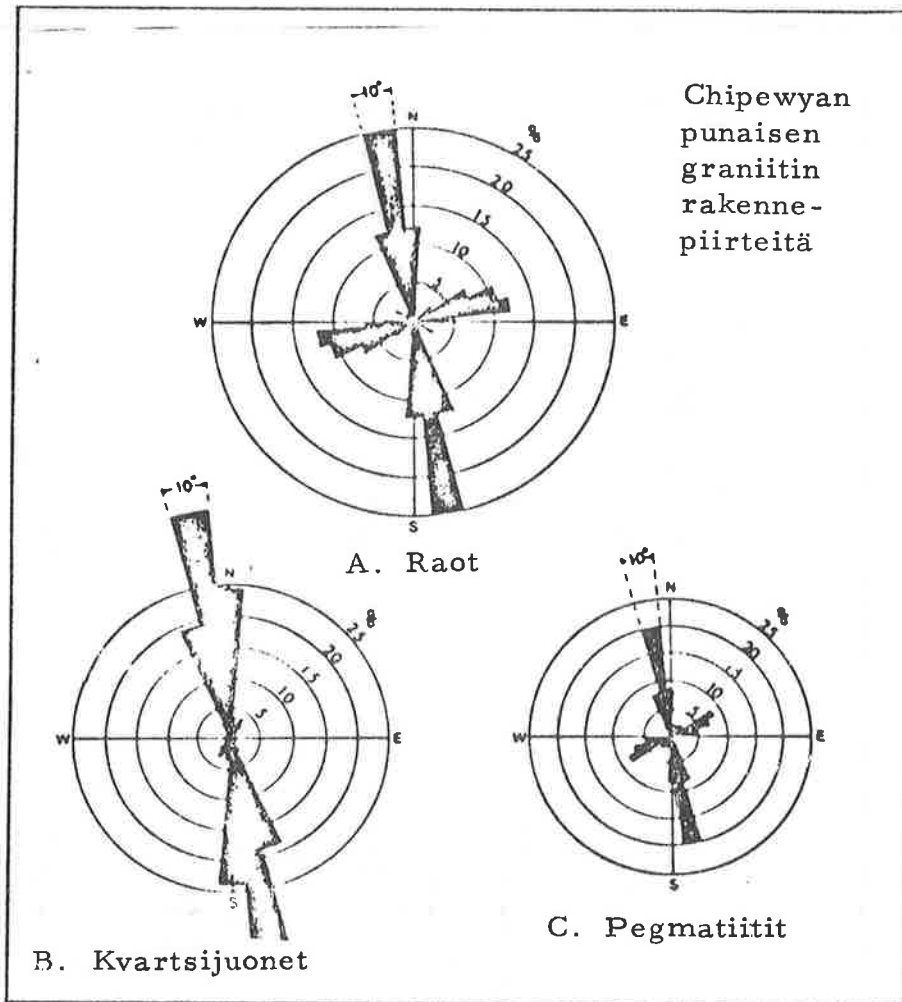
Kuva 22. Rakennuskiviesiintymän pintakartta (vrt. kuvat 23 ja 24).



Kuva 23. Kiviesiintymän rakoilu ja liuskeisuus (vrt. kuva 22).

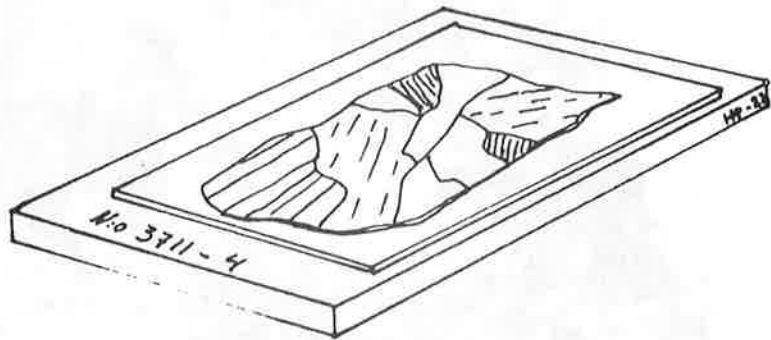


Kuva 24. Kivessä esiintyvät juonet, epäpuhtaudet ja värivirheet (vrt. kuva 22).

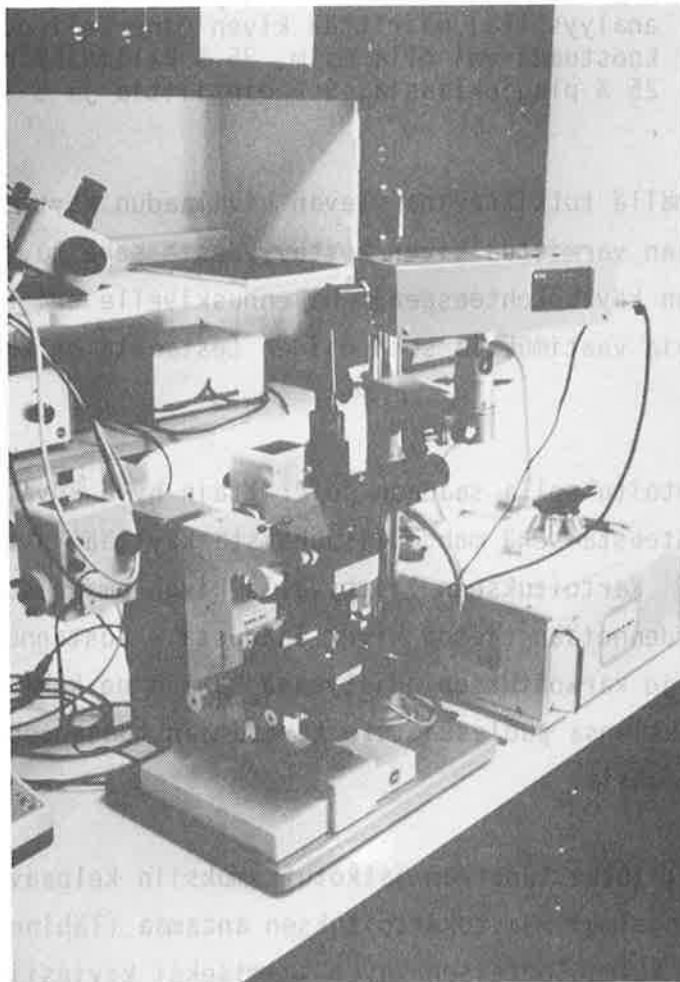


Kuva 25. Kiviesiintymän kartoituksessa koottu tieto voidaan helposti havainnollistaa mm. kuvan esittämällä ruusudiagrammeilla. Diagrammissa A nähdään lähes pohjois-eteläsuuntainen pää-rakoilusuunta ja lähes itä-läntinen toinen rakoilusuunta. Kvartsijuonien suunta on pohjois-eteläinen (B) ja pegmatiittiluirojen sekä pohjois-eteläinen että lounas-koillinen (C) /18/.

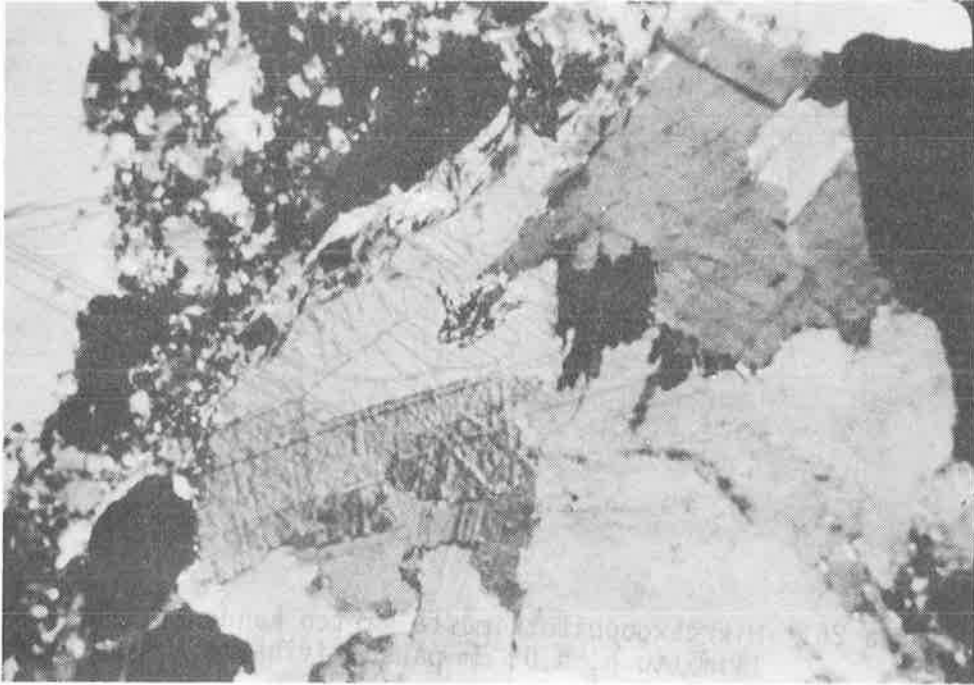
Maastokartoitukseen liitetyllä laboratoriotutkimuksella täydennetään kiven rakennetta ja sen eri ominaisuuksia koskevaa tietoa. Kivinäytteestä valmistetusta preparaattista (ohuthieestä) (kuva 26) voidaan mikroskoopin avulla määrittää kivilaji, mineraalikoostumus, kiven rakenne, raekoko, rakeiden tartunta sekä kiven kovuus (kuvat 27 ja 28).



Kuva 26. Mikroskooppitutkimusta varten kahden lasilevyn väliin liimattu n. 0,03 mm paksu kiviäyte. Aluslevyn koko on 28 x 48 mm.



Kuva 27. Mikroskooppitutkimuslaitteisto.



Kuva 28. Graniitin mikrorakenne. Näytteestä voidaan (pistelasku-analyysillä) määrittää kiven mineraalikoostumus (graniitin koostumus voi olla esim. 35 % kalimaasälpää, 30 % kvartssia, 25 % plagioklaasia, 5 % biotiittia ja 5 % muita mineraaleja).

Määrittämällä tutkittavana olevan kivilaadun käyttötekniisiä ominaisuuksia voidaan varmistua kiven kestävydestä sekä soveltuvuudesta sille ajateltuun käyttökohteeseen. Rakennuskivelle eri käyttökohteissa asetettavia vaatimuksia sekä niiden testausta on käsitelty luvuissa 1 ja 2.

Maastokartoituksella saadaan jo erittäin hyvä kuva kiviesiintymästä, sen rakenteesta sekä mahdollisuuksista käyttää kiveä tuotannon materiaalina. Kartoitukseen liittyvällä kiven ominaisuuksien selvittämisellä täydennetään tietoa kiven laadusta. Kustannusten säästämiseksi on syytä jo kartoituksen edistyessä karsia ne kohteet, jotka eivät ominaisuuksiensa puolesta tule täyttämään tuotantoon kelpaavan esiintymän vaatimuksia.

Kohteille, jotka todetaan jatkotutkimuksiin kelpaaviksi, suunnitellaan tutkimusohjelma: maastokartoituksen antamaa (lähinnä) pintakuvaa tulee täydentää kolmiulotteisen kuvan saamiseksi kiviesiintymästä. Tutkimusmenetelminä voidaan käyttää joko kallionäytekairausta taikka geofysikaalisia mittauksia, lisäksi on myöhemmässä vaiheessa syytä suorittaa

koelouhinta sekä tutkia kiven tuotantoteknisiä ominaisuuksia, joita ovat

- irrotettavuus,
- porattavuus,
- lohkeavuus,
- sahattavuus ja
- hiottavuus.

4.3.3 Kairaukset

Kairauksilla ja niihin liittyvillä tutkimuksilla saadaan tietoa kallion sisäosien ominaisuuksista sekä irtomaan peittämästä kalliosta.

Halpana kairausmenetelmänä voidaan käyttää porakonenäytteenottoa, jolloin poratusta reiästä saadaan kivimurskaa.

Kallionäyte- eli timanttikairauksessa saadaan poratusta reiästä talteen kairasydän eli reiän syvyinen, enemmän tai vähemmän rikkonainen kivi-lieriö. Kallionäytekairausputkiston putkikoko riippuu halutun reiän läpimitasta. Yleisimmin käytetty läpimita on 42 mm. Kairasydännäytteet taltioidaan sydännäytelaatikoihin systemaattisesti. Laatikoihin tehdään tarpeelliset merkinnät reiän tunnistamiseksi sekä merkitään sydänhukkakohdat yms. Kairauksen yhteydessä on pidettävä kirjaa nostoista, vesihukasta jne. Vesimenekkimittauksella mitataan kairatun kalliomassan rakoilua ja vesitiiviyttä. Kairasydännäytteestä voidaan tehdä samat geologiset ja tekniset havainnot kuin kallionpintänäytteistäkin: voidaan tutkia kiven laatua, väriä, rakennetta, tekstuuria, suuntausta, juonia, rakoilua, kontaktisuhteita, rakojen avonaisuutta jne.

Kairausreiästä saadut tiedot esitetään reikäprofiileina, joihin saadut tulokset merkitään. Yhdistämällä kallion pintahavainnot reikähavaintoihin hahmottuu kiviesiintymän kolmiulotteinen kuva. Kairausrei'istä voidaan mitata myös kallion jännitystilaa ja sen muutoksia.

Kairauksen eri kustannuslajien keskinäinen jakaantuminen on tavallisesti seuraava /34/:

kustannuslaji	kustannusosuus %
palkat	40
pääomakustannukset	12
teräkustannus	15
terä- ja kairausputket	13
käyttökustannukset	8
varaosat, korjaukset	8
muut kustannukset	4

Kairausmetrihinnat ovat käytetystä kalustosta ja rei'istä riippuen noin 180 - 300 mk/m (1983).

4.3.4 Geofysikaaliset tutkimukset

Geofysikaalisten mittausten, lähinnä seismisten mittausten, avulla saadaan tietoa esiintymän irtomaapeitteiden paksuudesta, kivilajin rapautuneisuudesta ja kallion rakoilusta. Tutkimusmenetelmänä käytetään seismistä refraktioluotausta: dynamiittipanoksella synnytetään maa- ja kallioperään täryaalto, jonka kulkunopeus antaa tietoja maakerroksen paksuudesta ja laadusta sekä kallion pinnan muodosta ja kiven eheydestä. Nopeuden vaihtelut kallioperässä johtuvat etupäässä kivilajivaihteluista sekä kallion rikkonaisuudesta. Koska kivilajimuutosten aiheuttamat nopeusmuutokset ovat verraten vähäisiä ja koska tutkittavana olevissa rakennuskiviesiintymissä ei kivilajivaihteluja juurikaan ole, on saadun seismisen nopeuden perusteella mahdollista arvioida kiven rikkonaisuutta. Rikkonaisuutta voidaan arvioida oheisen kokemukseräisen jaottelun mukaisesti (taulukko 14) /42/.

Taulukko 14. Kalliolaatu seismisen nopeuden perusteella (kokemuksperäisesti arvioituna) /42/.

Nopeus (m/s)	Selitys
yli 5 000	Harvarakoinen kallio
4 500...5 000	Vähärakoinen kallio tai harvarakoisessa kalliolla halkeamarakenteinen tai rako- rakenteinen vyöhyke
4 000...4 500	Runsarakoinen kallio tai harva- tai vähä- rakoisessa kalliolla murros- tai ruhjeraken- teinen vyöhyke tai löyhärakenteinen kallio
3 500...4 000	Murros- tai ruhjerakenteinen kallio tai raparakenteinen kallio
alle 3 500	Raparakenteinen kallio tai ruhje- tai savi- rakenteinen kallio

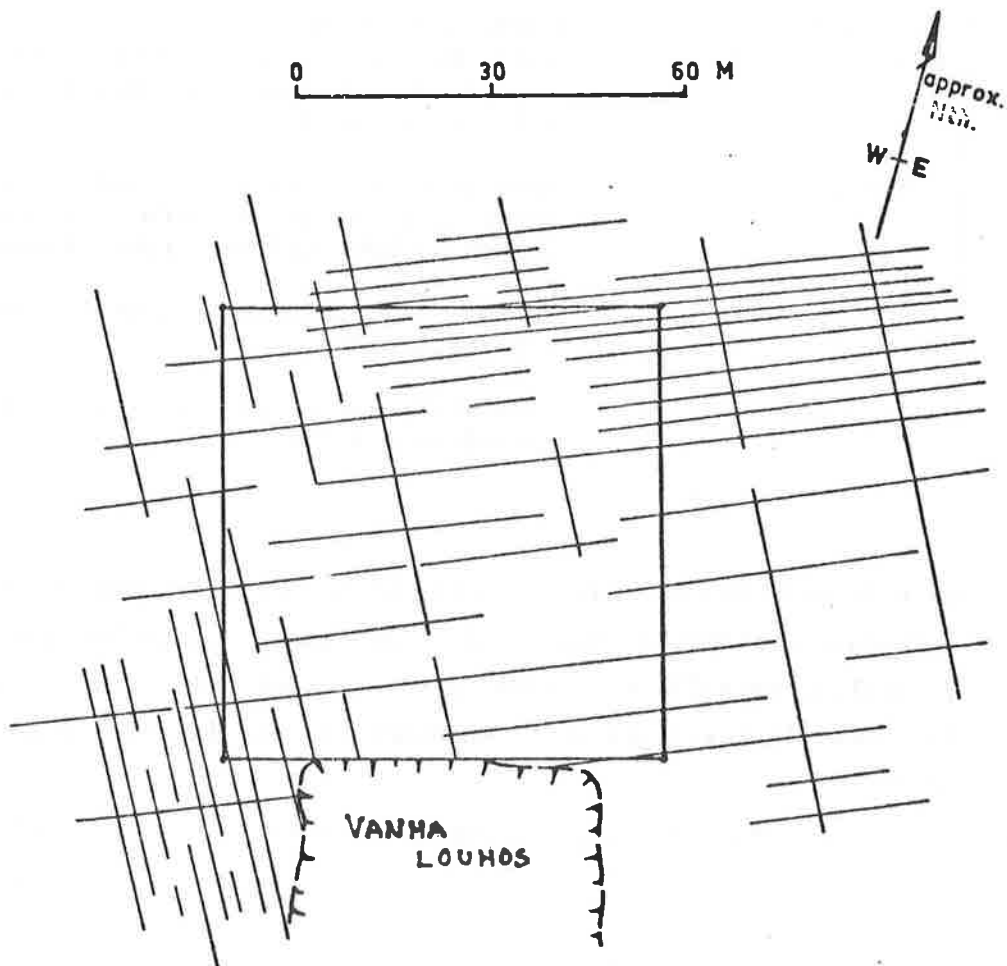
On kuitenkin muistettava, että taulukossa ei ole huomioitu kivilajin vaikutusta seismiseen nopeuteen. Tämä nopeus vaihtelee jonkin verran. Vaaleilla, keveillä kivilajeilla on pienempi kuljetusnopeus kuin tummil- la raskailla kivilajeilla. Nopeudet eri kivilajeissa ovat seuraavat /21/:

terve, ehyt, rapautumaton graniitti	n. 5 200 m/s
" " " dioriitti	5 500 "
" " " gabro	6 500 "
" " " peridotiitti	7 500 "

Normaalirikkonaisessa graniitissa on nopeus n. 4 800 m/s, mutta hyvin rikkonaisessa graniitissa enää n. 3 000...4 000 m/s. Liuskeisilla kivillä on nopeus liuskeisuutta vasten kohtisuoraan mitattuna pienempi kuin liuskeisuuden suuntaan mitattuna. Graniittigneississä on nopeus poikki vahvimman liuskeisuus- ja rakosuunnan n. 4 000 m/s, mutta rako- suunnan suunnassa n. 5000 m/s /21/.

Seismisellä mittauksella saadaan selville kiven rikkonaisuusaste. Kiven rakoilujärjestelmät sekä lustasuunnat tulee selvittää kartoitusten avulla (sekä kairauksin). Jos kiven rakoilujärjestelmä tunnetaan, saadaan seismisellä mittauksella (myös peitteiseltä alueelta) selville kiven suhteellinen rakoilutiheys (kuva 29).

Kiven eheyttä on ulkomailla tutkittu myös ultraäänimittauksin sekä kentällä että laboratoriokeikeissa.



Kuva 29. Seismisellä mittauksella saatu kuva rakennuskiviesiintymän jatkeella olevan peitteisen alueen suhteellisesta rakoilu-tiheydestä /24/.

4.4 Vanha esiintymä

4.4.1 Olemassa oleva tieto

Lähtökohta vanhan rakennuskiviesiintymän jatkeiden tai ympäristön tutkimisessa on toinen kuin aivan uuden kiviäiheeseen tutkimuksia aloitettaessa. Jo louhittavasta kivistä tunnetaan sen rakoilu ja lustasuunnat, kiven väri, raekoko, rakenne, tekstuuri, tekniset ominaisuudet ja sekä niiden

muutokset louhoksen eri osissa. Lisäksi paikkakunnalla kiveä louhivalla yrittäjällä on usein vuosien kokemus sekä "silmää" kyseessä olevan kivilaadun arvioimiseksi. Kokenut kivilan asiantuntija voi kohtalaisen helposti arvioida välittömästi louhoksen jatkeella olevan kiven laadun. Tarpeellisella maastokartoituksella vielä varmistetaan havainnot.

Jos tutkittava kiviesiintymä ei sijaitse tuotannossa olevan louhoksen välittömässä läheisyydessä mutta edustaa samaa kivilaata, voidaan louhoksella saatuja kokemuksia kivistä sekä aiempia tutkimustuloksia käyttää hyväksi uuden esiintymän tutkimisessa. Jos tutkittava kivilaatu on toinen kuin läheisen vanhan louhoksen, eivät samat rakennetekijät ja ominaisuudet enää aina pädekään.

Alueen geologiaa kuvaavia karttoja (esim. Geologian tutkimuskeskuksen julkaisemia kallioperäkarttoja mittakaavassa 1 : 100 000) sekä alueen geologiaa käsittelevää kirjallisuutta on hyvä hankkia.

Oleellista vanhan esiintymän jatkeilla tai ympäristössä aloitettavalle kiviesiintymän tutkimiselle on, että kivimateriaali, sen rakenne, laatu sekä ominaisuudet ovat yleensä hyvin tiedossa samoin uuteen esiintymään kohdistuvat odotukset.

4.4.2 Maastokartoitus

Maastokartoitus vanhan esiintymän ympäristössä ei ole niinkään uuden tiedon keruuta kuin jo tunnetun kivilaadun varmistamista. Menetelmät ovat samat kuin uutta esiintymää kartoitettaessa: kalliopintahavaintojen tekoa kivilajin, tektonisten ominaisuuksien, rakoilun, lohkokarkoon jne. varmistamiseksi. Vanhan kiviesiintymän jatkeita ja ympäristöä tutkittaessa ei saa olla liian välinpitämätön havaintojen teossa ja luottaa siihen, että hyvälaatuisena pysynyt kivi jatkuu samanlaisena edelleen. Kartoituksella on syytä varmistaa edullisin louhinnan jatko-suunta.

4.4.3 Kairaukset

Vanhan louhoksen jatkeilla suoritettavilla tutkimuskairauksilla pyritään samaan päämäärään kuin uuttakin esiintymää kairattaessa: saamaan tietoa kiviesiintymän sisäisestä rakenteesta ja laadusta. Itse kivilouhos sinällään antaa jo varsin hyvän kuvan tutkittavan kivilaadun ja muodostuman sisäisestä rakenteesta ja mahdollisista "yllätyksistä". Näin ollen tarvittavan tutkimuskairauksen määrä on huomattavastikin vähäisempi kuin uudella aiheella.

Porauksissa voidaan käyttää hyväksi soveltuvilta osin louhoksella jo olevaa porauskalustoa.

4.4.4 Geofysikaaliset tutkimukset

Geofysikaalisten tutkimusten merkitys ei vanhan louhoksen ympäristöä tutkittaessa ole koskaan suuri, ellei ole syytä olettaa, että kiviesiintymän rakenteessa tapahtuu suurempia muutoksia, jolloin geofysikaalinen mittaus on paikallaan.

Silloin kun vanhan esiintymän ympäristössä tutkitaan aihetta, joka on toista kivilaatua kuin louhinnassa oleva kivi, tulee tämän kiven tutkimuksiin suhtautua kuin uuteen esiintymään: vanhastaan tunnetut rakenteet ja ominaisuudet voivat hyvinkin olla toiset.

4.5 Yhteenveto ja arviointi eri menetelmien käytöstä

Ne tutkimukset, jotka rakennuskiviesiintymän käyttökelpoisuuden arvioimiseksi tehdään, koostuvat neljästä toisiaan täydentävästä tutkimusmenetelmästä: olemassa olevan tiedon keruu, maastokartoitus, kairaukset sekä geofysikaaliset (ja muut) tutkimukset. Lueteltu järjestys on yleensä myös menetelmien luonnollinen ajallinen toteutusjärjestys.

Tutkimusten lähtökohtana on jo valmiin, olemassa olevan tiedon keruu ja analysointi. Maastokartoituksessa tulee päähuomio kohdistaa ehdottomasti niihin kysymyksiin, jotka rakennuskiviesiintymän kohdalla ovat keskeisimmät: kiven väri, rakenne, tekstuuri, tasalaatuisuus, rakoilu, lustasuunnat, siirrokset, leikkaavat juonet, epäpuhtaudet, suuntautuneisuus, mahdollinen lohkokoko jne. Maastokartoitukseen on syytä

liittää laboratorioskokeita kiven laadun testaamiseksi. Kartoituksella saatua pintakuvaa täydennetään kairauksin ja geofysikaalisin mittauksin tai molemmilla tavoin kiven sisäisen rakenteen määrittämiseksi. Näillä menetelmillä saadaan kuva kiven rikkonaisuudesta, rakosuunnista ja lustasuunnista. Näin voidaan lohkokoko määrittää ja laatu arvioida.

Milloin sitten kiviesiintymän käyttökelpoisuutta tulee tutkia? Aina. Mutta tarvittavan tutkimuksen laajuus vaihtelee. Tässä luvussa esitetty tutkimusohjelma on laajana ja kokonaisuudessaan toteutettuna erittäin aikaa vievä ja myös kallis. Esitetty tutkimusohjelma kuvaa niitä mahdollisuuksia, joita on käytettävissä. Tapauskohtaisesti on kulloinkin harkittava niitä menetelmiä, joita käytetään. Esimerkiksi tasarakeisen, masiivisen, suuntautumattoman graniittiesiintymän ympäristöä tutkittaessa ei suuriakaan tutkimusohjelmia tarvita, ellei louhitun kiven kanssa "ole ollut vaikeuksia".

Mitä tutkimusmenetelmiä sitten tulisi käyttää? Geologisten karttojen ja kirjallisuusmateriaalin hankinta ei paljoa maksa ja lisäksi alan tutkimuslaitoksista saa asiantuntijoilta suullistakin neuvontaa sekä ehdotuksia toimenpiteistä.

Maastokartoituksen osalta määräävät kiven laatu, haluttu tarkkuus ja tutkimuksen alkuvaiheessa myös alueen suuruus työn laajuuden. Sellaisen kiviesiintymän, jossa kiven suhteen ei ongelmia ole ollut, ympäristön kartoittaminen ei suurta panosta vaadi. Jo verraten pienellä maastotutkimuksella voidaan rajata pois sellaiset kiviaiheet, joissa kivi on rikkonaista, epäpuhdasta ja epätasalaatuista. Kiven väristä, rakeisuudesta, rakoilusta, lustasuunnista ja rakenteesta tehtyä pintakarttaa voidaan käyttää apuna louhintaa suunniteltaessa.

Kairausten ja geofysikaalisten mittausten kustannukset ovat melko korkeat. Näiden menetelmien käyttö tulee valmistella huolella. Hyvin suoritettu tiedon keruu, tulkinta sekä maastokartoitus ohjaavat kairaukset oikeille maastokohdille.

"Valmistelevien" toimenpiteiden ansiosta voidaan tarvittavien kairauspisteiden lukumäärää vähentää saavutetun tuloksen kuitenkään heikkenevästi. Lisäksi kairausta suunniteltaessa on syytä selvittää, missä

määrin louhoksella olevia omia porakoneita voidaan käyttää. Timanttikairauksia tehtäessä on pyrittävä keräämään kaikki mahdollinen tieto, jota kairausrei'istä on saatavissa. Kairauksissa saadut näytteet (kairasydämet tai palanäytteet) on syytä taltioida huolellisesti näytelaatikoihin ja merkitä laatikot riittävällä tunnustetiedolla, jotta myöhemminkin vielä voidaan paikallistaa ja tunnistaa eri kairausreiät. Näytelaatikot on lisäksi syytä arkistoida lähelle louhosta tai tuotantolaitosta.

Eri tutkimusmenetelmillä saaduista tuloksista ei ole myöhemmin hyötyä, ellei niitä ole kirjattu "kansiin" ja kartoille. Pienetkin maastossa, louhoksella tai kiveä jalostettaessa tehdyt muistiinpanot säilyvät myöhempää käyttöä varten. Kartta on selkeä tapa ilmaista asioita. Maastokartoituksen sekä kairauksen tulostaminen tapahtuu karttojen avulla. Näillä voidaan eri mitatut suureet (raot, ruhjeet, suuntaus, lustat jne.) esittää selkeästi ja havainnollisessa muodossa. Laadittujen tutkimusselostusten tulee olla mahdollisimman helposti luettavia.

Lähdettäessä selvittämään esiintymän käyttökelpoisuutta valitaan tutkimusmenetelmistä se tai ne (ja siinä laajuudessa), jotka kulloinkin ovat tutkittavan esiintymän kannalta tarkoituksenmukaisimmat ja kokonaiskustannuksiltaan edullisimmat. Tutkimuksen tulee auttaa esiintymän parempaan taloudelliseen arviointiin.

4.6 Geologiset ominaisuudet

Rakennuskiven geologisia ominaisuuksia voidaan tutkia maastossa ja louhoksella sekä laboratoriossa. Tämän luvun aiemmissa kappaleissa on jo käsitelty niitä ominaisuuksia, joita tutkitaan maastossa ja louhoksella. Näistä tärkeimmät ovat

esiintymän koko	suuntautuneisuus
kivilaji	rakoilu
kivien väri	lustasuunnat
rakenne	siirrokset
tekstuuri	leikkaavat juonet
tasalaatuisuus	kivilajisulkeumat
kerroksellisuus	muut epäpuhtaudet
liuskeisuus	mahdollinen lohkokoko
pimuttuminen	

Maastokartoitukseen liittyvällä laboratoriotutkimuksella täydennetään kiven rakennetta ja sen eri ominaisuuksia koskevaa tietoa.

Rakennuskivien geologisia ominaisuuksia tutkitaan laboratoriossa lähinnä mikroskoopin avulla. Mikroskooppitutkimuksella voidaan määrittää tarkasti kivilaji, sen mineraloginen koostumus, rakenne ja raekoko sekä haitalliset mineraalit, tutkia rakeiden tartuntaa, määrittää kiven kovuus sekä rapautuneisuus. Mikroskooppitutkimusten tulosten pohjalta voidaan tehdä arvioita kiven mekaanisista ja muista teknisistä ominaisuuksista sekä kiven louhintaan liittyvistä kysymyksistä.

4.7 Tutkimustarve

Maassamme on vuosien varrella tutkittu lukuisia rakennuskiviesiintymiä. Osa niistä on laadultaan ollut tuotantoon kelpaavaa kiveä, osa ei. Kohteet, joissa tuotanto on aloitettu, saattavat olla toimivia kivilouhoksia vielä tänäkin päivänä, osa on jo vuosia sitten hylätty erisyistä. Maassamme louhittavien eri kivilaatujen määrä ei ole kovin runsas: punaiset, harmaat ja mustat graniitit ovat vallalla, lisäksi louhitaan vuolukiveä ja erilaisia liuskeita.

Kannattavaan tuotannolliseen toimintaan pääsemiseksi tulisi kiviesiintymät tutkia ja tuotanto suunnitella huolella. Vaikka meillä on vuosikymmenien perinteet kiven tuotannossa ja tutkimuksia eri osista maata ja erityyppisistä kiviesiintymistä, puuttuu näistä tutkimuksista koottu tieto. Nykyisellään hajallaan olevat tutkimustiedot tulisi kerätä yhteen ja analysoida. Olisi selvitettävä, mitä on tutkittu, miksi on tutkittu, miten on tutkittu ja mitä on saatu tulokseksi. Tällaisen selvityksen pohjalta voidaan tehdä päätelmiä käytetyistä menetelmistä: tiedetään ne menetelmät, jotka ovat antaneet kiven laadusta, määrästä ja rakoilusta sen kuvan, mikä on saatu myös kiveä louhittaessa. Tiedetään, millä menetelmällä on saatu hyviä tuloksia ja millä taas ei. Voidaan vertailla eri tutkimusmenetelmien soveltuvuutta eri kivilaaduille. Voidaan vertailla kairauksilla saatuja tuloksia kairattujen reikien määrään ja kivilaatuun. Eli: olemassa oleva tieto ja kokemus eri menetelmien käytöstä tulisi selvittää yhteistyössä alan kotimaisten asiantuntijoiden kanssa eri kivilaaduille tehokkaimpien ja taloudellisimpien tutkimusmenetelmien löytämiseksi. Lisäksi tulee kartoittaa

vähemmän käytettyjen menetelmien (ultraääni, seisminen luotaus) soveltamismahdollisuudet.

Tietoja ulkomailla käytetyistä menetelmistä, niiden tuloksista ja soveltamismahdollisuuksista pitää kerätä.

Eri tutkimusmenetelmien soveltamistapa ja käytännön merkitys tulee selvittää esimerkkitutkimusten avulla sopivien kiviesiintymien käyttökelpoisuusarviointitöiden yhteydessä. Tutkimuksessa tulee arvioida eri menetelmien käyttökelpoisuuden edellytykset ja käytön rajoitukset eri olosuhteissa (uusi tai vanha louhos, eri kivilajit, tavoitteen tarkkuus).

5 VTT:N TUTKIMUS- JA TESTAUSVALMIUDET

VTT:ssa voidaan tutkia ja testata edellä käsiteltyjä luonnonkivien materiaali- ja käyttöominaisuuksia. Osa valmiuksista on perustettu muille materiaaleille, mutta ne soveltuvat hyvin myös luonnonkiville. VTT kehittää tarpeen mukaan jatkuvasti valmiuksiaan käytännön vaatimuksia vastaaviksi. Kyseeseen tulevat materiaali- ja käyttöominaisuuksien lisäksi myös erilaiset kivien työstettävyyssominaisuudet, kuten porattavuus, sahattavuus ja kiillotettavuus. VTT:n tärkeimmät tutkimus- ja testausvalmiudet luonnonkiviteollisuuden ja rakennusalan kannalta ovat

- Valmiudet tutkia luonnonkivien rakennusteknistä käyttöä,
 - kivipinnoitteiden kiinnitykset,
 - kivipinnoitteiden käytön kehittäminen elementtiteollisuudessa ja paikallarakentamisessa,
 - uusien, suomalaiseen ja ulkomaiseen rakentamiseen sopivien kivrakenteiden kehittäminen.
- Valmiudet kivimateriaalin ja -tuotteiden teknisten ominaisuuksien testaamiseen, kuten
 - tiheys ja huokoisuus,
 - lujuustekniset ominaisuudet,
 - kulutuskestävyys,
 - kosteustekniset ominaisuudet,
 - lämpötekniset ominaisuudet,
 - pakkasenkestävyys ja
 - kemiallinen kestävyys.

(jatkuu)

- Valmiudet kiven petrograafisiin mineraali- ja rakennemäärityksiin (ohuthiemikroskopia ja röntgendiffraktioanalyysi). Voidaan esimerkiksi selvittää kiven koostumus- ja rakennevaihtelut eri osissa louhosta ja eri esiintymien kesken sekä suorittaa muita geologisia selvityksiä.
- Valmiudet tutkia kiven louhinta- ja tuotantotekniikkaa.

LÄHDELUETTELO

1. ASTM C 97. Standard test methods for absorption and bulk specific gravity of natural building stone. American Society for Testing and Materials, 1977. 3 s.
2. ASTM C 99. Standard test method for modulus of rupture of natural building stone. American Society for Testing and Materials, 1976. 3 s.
3. ASTM C 241. Standard test method for abrasion resistance of stone subjected to foot traffic. American Society for Testing and Materials, 1976. 2 s.
4. Aurola, E., Kurun alueen rakennuskivet. Otaniemi 1967. Geologien tutkimuslaitos, Geoteknillisiä julkaisuja 71. 64 s. + liitt. 3 s.
5. Cronwall Oy. Esite.
6. DIN 52 101. Prüfung von Naturstein. Probenahme. Deutsches Institut für Normung, 1965. 2s.
7. DIN 52 102. Prüfung von Naturstein. Bestimmung der Dichte. Deutsches Institut für Normung, 1965. 3 s.
8. DIN 52 103. Prüfung von Naturstein. Bestimmung der Wasseraufnahme. Deutsches Institut für Normung, 1972. 3 s.
9. DIN 52 104. Prüfung von Naturstein. Frostwechselfersuch. Teil 1. Deutsches Institut für Normung, 1982. 6 s.
10. DIN 52 105. Prüfung von Naturstein. Druckversuch. Deutsches Institut für Normung, 1965. 1 s.
11. DIN 52 106. Prüfung von Naturstein. Beurteilungsgrundlagen für die Verwitterungsbeständigkeit. Deutsches Institut für Normung, 1972. 6 s.

12. DIN 52 108. Prüfung anorganischer nichtmetallischer Werkstoffe. Verschleissprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme. Deutsches Institut für Normung, 1968. 3 s.
13. DIN 52 111. Prüfung von Naturstein. Kristallisationsversuch mit Natriumsulfat. Deutsches Institut für Normung, 1976.
14. DIN 52 112. Prüfung von Naturstein. Biegefestigkeit. Deutsches Institut für Normung, 1942. 1 s.
15. DIN 52 614. Wärmeschutztechnische Prüfungen. Bestimmung der Wärmeableitung von Fussböden. Deutsches Institut für Normung, 1974. 2 s.
16. Eskola, P., Kiteet ja kivet. Helsinki, WSOY, 1939. 360 s.
17. Fors, B., Natursten för beläggningar, beklädnader och murverk. Stockholm, Svensk Byggtjänst, 1978. 35 s. + liitt. 9 s.
18. Godfrey, J. D., Chipewyan granite - a building-stone prospect in Alberta. CIM Bull. 72(1979)805, s. 105 - 109.
19. Hagerman, T. H., Om svenska bergorter och deras provning för konstruktionsändamål. Stockholm, Statens provningsanstalt, 1943. 181 s.
20. Hutchison, C. S., Laboratory handbook of petrographic techniques. New York, Wiley-Interscience, 1974. 527 s.
21. Kauranne, K., Kallioperän tutkiminen. Helsinki 1968. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 67. Maa- ja vesirakennus. S. 280 - 287.
22. Kauranne, K. ym., Rakennusgeologia II. Otaniemi, Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta, 1972. 530 s.

23. Kauranne, K., Suomen kallioperä louhinnan kohteena. Helsinki 1970. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, INSKO 5-70. Louhintatekniikka. S. 1 - 35.
24. Leaman, D. E. & Threader, V. M., Seismic survey and diamond drilling at Pontville stone quarry. Hobart 1974. Tasmania Dep. Mines, Tech. Rep. 17. S. 34 - 42.
25. 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.
26. Mesimäki, P., Ratvio, J., Rämä, M., Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittäminen. Osa 3. Luonnonkivijulkisivun rakenteiden ja kivilaattojen kiinnitystekniikan kehittäminen. Espoo 1984. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 310. 120 s. + liitt. 10 s.
27. Müller, F., Internationale Naturstein Kartei, Band 1. Ulm, Ebner Verlag. 280 s.
28. Niini, H., Rakennusgeologinen kallioluokitus. Helsinki 1976. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 98. Maa- ja kalliorakennus. S. 212 - 220.
29. Okko, V., Maaperä. Teoksessa: Suomen geologia. Toim. K. Rankama. Helsinki 1964. S. 239 - 332.
30. Ottoson, G. & Bornesand, B., Provningsmetoder för naturstenplattor. SP 01-07-68 - 01-12-68. Stockholm 1969. Nämnd egenskapsredovisn. inom byggfacket, Rapp. 1:69. 28 s.
31. Rilem/Pan 1 - 1978 (E). Testing methods for natural stones. International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures, Paris 1978. 9 s.

32. RT 302.3. Luonnonkivet, pinnat ja pintojen mekaaninen käsittely. Helsinki, Rakennustietosäätiö, 1963. 11 s.
33. RT 14-10108. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 1981, RYL 81. Helsinki, Rakennustietosäätiö, Rakennuskirja, 1981. 438 s.
34. Saraste, A., Kallionäytekairaus. Helsinki 1976. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 98. Maa- ja kalliorakennus. S. 239 - 241.
35. SFS 4157. Nupukivet. Suomen standardisoimisliitto, 1978. 1 s.
36. SFS 4158. Noppakivet. Suomen standardisoimisliitto, 1978. 1 s.
37. SFS 4159. Reunakivet. Suomen standardisoimisliitto, 1978. 4 s.
38. SIS 02 11 21. Måttbestämning av byggvaror. Sten, block. fogplattor mm. Bestämning av mått-, vinkel- och formavvikelser. Sveriges standardiseringskommission, 1977. 4 s.
39. SIS 22 01 11. Mursten, generella fordringar. Provning. Sveriges standardiseringskommission, 1975. 7 s.
40. SIS 22 10 00. Natursten för byggnader. Terminologi och ytbehandling. Sveriges standardiseringskommission, 1970. 3 s.
41. Suomen Rakentamismääräyskokoelma (RakMK). Sisäasiainministeriö.
42. Taanila, P., Seisminen tutkimus. Helsinki 1976. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 98. Maa- ja kalliorakennus, S. 229 - 323.
43. Viitala, R., Kallion porattavuus hydrauliskuporauksessa nastakruunuilla. Diplomityö, Helsingin teknillinen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto. Otaniemi 1983. 117 s.
44. Visti, M., Kivilajien porattavuudesta laboratorio-olosuhteissa. Otaniemi 1973. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Geotekniikan laboratorio, Tiedonanto 6. 65 s. + liitt. 12 s.



Tekijät(t) Mesimäki, Pekka Pyy, Hannu Ritola, Jouko	Projektin nimi Suomalaisten luonnonkivien rakennusteknisen . Toimeksiantaja Suomen Kiviteollisuusliitto Oy, Oy Partek Ab, VTT	
Nimeke LUONNONKIVEN RAKENNUSTEKNISEN KÄYTÖN KEHITTÄMINEN Osa 2. Rakennuskiveltä vaadittavat ominaisuudet ja niiden määrittäminen		
Tiivistelmä <p>Soveltuakseen rakennuskiveksi luonnonkiven tulee täyttää joukko kiven käyttökohteisiin ja tuotantoon liittyviä vaatimuksia. Käytöteknisistä vaatimuksista keskeisimpiä ovat kiven nykyisissä käyttökohteissa sään- ja kulutuksenkestävyys ja ulkonäkö. Kivenjalostuksessa on merkitystä mm. kiven sahattavuudella, hiottavuudella ja kiillottuvuudella. Kiviesiintymän käyttökelpoisuuden edellytyksenä ovat lisäksi esiintymän tasalaatuisuus, hyvälaatuisen kiven helppo saatavuus ja riittävyys, kiven hyvä louhittavuus (irrotettavuus) ja esiintymän sopiva sijainti.</p> <p>Uuden esiintymän kiven laatu selvitetään louhoksen käyttökelpoisuuden arvioinnin yhteydessä. Kiven tekniset ominaisuudet määritetään laboratoriossa standarditesteillä. Kiven väri ja pintakuviointi, samoin kuin kiven jalostustekniset ominaisuudet, tutkitaan usein kivenjalostamossa koelohkareen avulla. Periaatteessa myös kiven tuotantotekniset ominaisuudet voidaan selvittää laboratoriossa. Vanhan esiintymän kiven laadusta on lisäksi käyttökokemuksia ja mahdollisesti testaustietoja. Kiven laadun muuttuessa, uudentyyppisessä käyttökohteessa tai vientimarkkinoinnissa tarvitaan kuitenkin usein lisätietoja kiven käyttöominaisuuksista.</p> <p>Julkaisussa käsitellään luonnonkiveltä eri käyttökohteissa ja jalostuksessa vaadittavia ominaisuuksia ja niiden testausta sekä esitetään luonnonkivien ominaisuuksia. Lisäksi tarkastellaan rakennuskiviesiintymän käyttökelpoisuuden arviointiin liittyviä tekijöitä. Lopuksi esitetään tiivistetysti luonnonkivien tutkimus- ja testausvalmiudet VTT:ssä.</p>		
Toimintayksikkö		
Betoni- ja silikaattiteknikan laboratorio, Betonimiehenkuja 5,		
ISSN ja avainnimeke		
02150 Espoo		
0358-5077 Tutkimuksia - Valtion teknillinen tutkimuskeskus		
ISBN	Kieli	
951-38-2122-6	suomi, engl. tiiv.	
Luokitus (UDK)	Avainsanat	
691.21:624.012.1 679.85	natural stones, building stones, facades, slabs, stone slabs	
Myynti Valtion painatuskeskus Kirjakaupat: Annankatu 44 Eteläesplanadi 4 00100 Hki 10 00100 Hki 10 Puh. (90) 17341 Puh. (90) 862801 Postimyynti: PL 516, 00101 Helsinki 10 Puh. (90) 539011	Sivuja 77 s. Lisätietoja	Hinta



Date

September 1984

Project number

223004-3

Authors Mesimäki, Pekka Pyy, Hannu Ritola, Jouko	Name of project Suomalaisten luonnonkivien rakennusteknisen <hr/> Commissioned by Suomen Kiviteollisuusliitto Oy, Oy Partek Ab, VTT				
Titel DEVELOPMENT OF USING NATURAL STONES IN BUILDING Part 2. Evaluation and testing of the properties required of natural building stones					
Abstract <p>Natural stone shall fulfill a number of requirements set on its applications and production in order to be suitable for use as building stone. In present applications for which stone is used main emphasis is focused on requirements for both abrasion and weather resistance as well as for appearance. In stone processing it is important that stone can be easily sawn, ground and polished, for example. The prerequisite for a stone deposit and its usefulness is, moreover, the homogeneity of the deposit, easy access to, and adequacy of, good quality stone, good quarrying properties and a suitable location of the deposit.</p> <p>The quality of stone of a new deposit is examined in conjunction with the estimation of the profitableness of a quarry. The technical properties of stone are determined in the laboratory by standard tests. The colour and texture of stone and its processing properties are often determined by means of a test block at a processing plant. In principle, the production technological properties of stone also can be examined in the laboratory. In the case of an old deposit, the quality of stone is already known, since experience has been gained from its use and very likely test data also exists. When the quality of stone changes, further information about the properties of stone in use is often required for a new type of application or introducing stone into the export market.</p> <p>In the report properties of natural stone required in different applications and processing as well as their testing are dealt with; properties of natural stones are also described. Furthermore, factors associated with the estimation of the usefulness of a building stone deposit are discussed. In conclusion, research and testing service of VTT comprising natural stones is presented in a concise form.</p>					
Activity unit Concrete and Silicate Laboratory, Betonimiehenkuja 5, SF-02150 Espoo, Finland					
ISSN and key name 0358-5077 Tutkimuksia - Valtion teknillinen tutkimuskeskus					
ISBN 951-38-2122-6	Language Finnish, English abstract				
Class (UDC) 691.21:624.012.1 679.85	Key words natural stones, building stones, facades, slabs, stone slabs				
Sold by Government Printing Centre P.O. Box 516 SF-00101 HELSINKI 10 phone internat. +358 0 539011	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="702 1971 1165 2038">Pages 77 s.</td> <td data-bbox="1165 1971 1575 2038">Price</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="702 2038 1575 2166">Note</td> </tr> </table>	Pages 77 s.	Price	Note	
Pages 77 s.	Price				
Note					