

15062NAT - Fortrolig

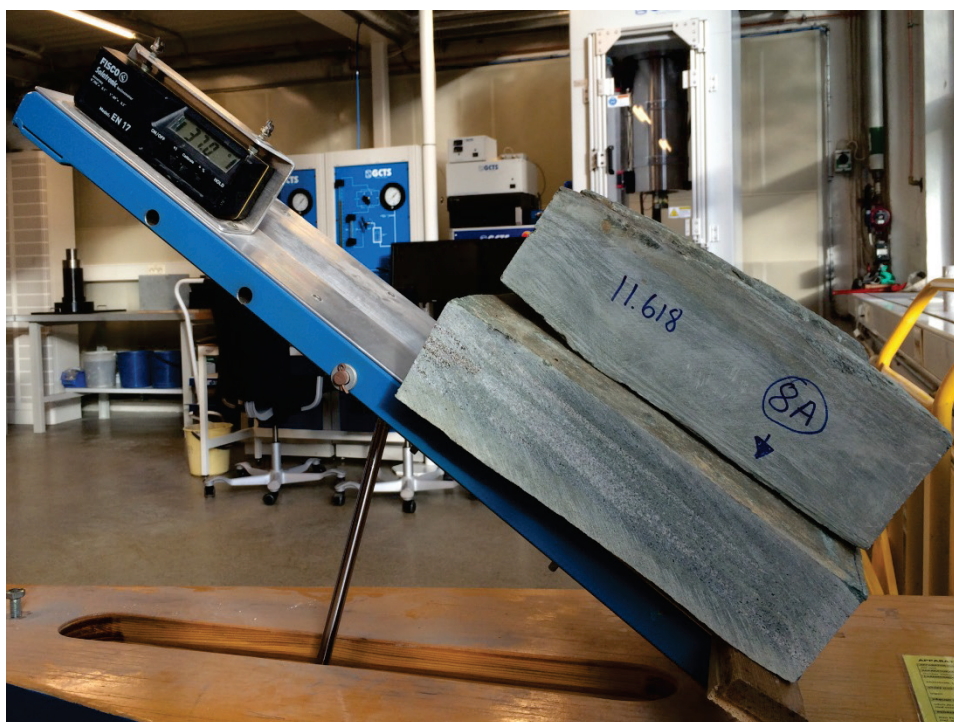
Prøvingsrapport

Natursteinstesting av Karmøy Naturstein

Brutto densitet, åpen porøsitet, trykkfasthet, glide- og hvilefriksjonskoeffisient

Forfatter

Simon Alexander Hagen



SINTEF Byggforsk

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 Trondheim

Besøksadresse:
Richard Birkelands veg 3
Trondheim

Sentralbord: 73593000
Telefaks: 73593380

byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Foretaksregister:
NO 948007029 MVA



Sertifisert laboratorium U16

EMNEORD:
Natursteintesting

Prøvingsrapport

Natursteintesting av Karmøy Naturstein

Brutto densitet, åpen porøsitet, trykkfasthet, glide- og hvilefriksjonskoeffisient

VERSJON
1.0

DATO
2015-09-24

FORFATTER
Simon Alexander Hagen

OPPDRAGSGIVER(E)
Karmøy Naturstein AS

OPPDRAGSGIVERS REF.
Knut Dale

PROSJEKTNR
102010597-5

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
5 + 9 vedlegg

PRØVEOBJEKT
Blokprøver

PRØVEOBJEKT MOTTATT
2015-09-07

PRØVEPROGRAM
Natursteintesting

PRØVESTED
Betong- og
natursteinslaboratoriet

PRØVEDATO
Fra 2015-09-07
Til 2015-09-23

SAMMENDRAG

Resultater fra prøvingsoppdraget er som følger:

Arkose - Karmøystein					
Tekniske egenskaper	Metode	Enhet	Aritmetisk middel	STD. Avvik	Høyeste / Laveste forventede verdi
Brutto densitet	NS-EN 1936	kg/m ³	2738	± 4	
Åpen porøsitet	NS-EN 1936	%	0,91	± 0,13	
Trykkfasthet	NS-EN 1926	MPa	198,1	± 20,5	153,7
Glidefriksjon	SINTEF	μ	0,68	± 0,11	
Hvilefriksjon (tørr)	SINTEF	μ	0,72	± 0,05	
Hvilefriksjon (våt)	SINTEF	μ	0,67	± 0,06	

Testresultater fra hver enkelt prøve er gjengitt i vedlegg 1 til 5.

Prøveresultatene gjelder kun de objekter som er prøvd.

PROSJEKTLEDER
Simon Alexander Hagen

SIGNATUR



KVALITETSSIKRER
Stein Olav Christensen

SIGNATUR



RAPPORTNR
15062NAT

GRADERING
Fortrolig

Rapporten er oppdragsgivers eiendom og kan ikke uten vedkommendes skriftlige tillatelse overlates til tredjepart. Uten SINTEF sin skriftlige godkjenning kan rapporten kun reproduseres i sin helhet

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2015-09-24	Prøvingsrapport

Innholdsfortegnelse

1	Opplysninger vedrørende oppdraget.....	4
1.1	Ansvar- og tidsforhold.....	4
1.2	Prøvemateriale.....	4
1.3	Prøvingsmetoder.....	5
1.3.1	Brutto densitet og åpen porøsitet	5
1.3.2	Trykkfasthet	5
1.3.3	Glidefriksjon.....	5
1.3.4	Hvilefriksjon	5

BILAG/VEDLEGG

Vedlegg 1 Bestemmelse av brutto densitet og åpen porøsitet

Vedlegg 2 Bestemmelse av trykkfasthet

Vedlegg 3 Bestemmelse av glidefriksjon

Vedlegg 4 Bestemmelse av hvilefriksjon (tørr)

Vedlegg 5 Bestemmelse av hvilefriksjon (våt)

Vedlegg 6 Metodebeskrivelse brutto densitet og åpen porøsitet

Vedlegg 7 Metodebeskrivelse trykkfasthet

Vedlegg 8 Metodebeskrivelse glidefriksjon

Vedlegg 9 Metodebeskrivelse hvilefriksjon

1 Opplysninger vedrørende oppdraget

1.1 Ansvar- og tidsforhold

Tabell 1 Ansvar og tidsforhold

<i>Oppdragsgiver</i>	Karmøy Naturstein AS
<i>Testlaboratorium</i>	Betong- og natursteinslaboratoriet, SINTEF Ingeniørgeologisk og bergmekanisk laboratorium, SINTEF/NTNU
<i>Ansvarlig for prøvetaking</i>	Oppdragsgiver
<i>Ansvarlig for prøvepreparering og merking</i>	Oppdragsgiver
<i>Dato for bestilling</i>	10.08.2015
<i>Dato for prøvelevering</i>	07.09.2015
<i>Dato for testing</i>	Brutto densitet og åpen porøsitet, utført i perioden 20-23.09.2015 Trykkfasthet, utført 22.09.2015 Friksjonsmåling, utført i 16-23.09.2015



Figur 1 Bilde av prøvemateriale etter mottak

1.2 Prøvemateriale

Tabell 2 Prøvemateriale mottatt for testing

<i>Prøve nr (SINTEF)</i>	1
<i>Petrografisk navn</i>	Arkose
<i>Handelsnavn</i>	Karmøystein
<i>Sted (steinbrudd)</i>	Skudeneshavn
<i>Prøveantall og – dimensjoner</i>	10 stk blokker (300x300x150) mm
<i>Prøvemerking</i>	10 stk blokker (300x300x70) mm Prøver til densitet og trykkfasthet er preparert av SINTEF.
<i>Prøvetaking utført av</i>	Oppdragsgiver
<i>Kommentarer (anisotropi, strukturer etc.)</i>	Trykkfasthet målt normalt på kløvplan

1.3 Prøvingsmetoder

Tabell 3 Oversikt over prøvingsmetoder og standarder benyttet

NUMMER	TITTEL	PUBLISERINGSÅR
NS-EN 1936	Prøvingsmetoder for naturstein – Bestemmelse av netto- og bruttodensitet, total- og åpen porøsitet <i>Natural stone test methods – Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity</i>	2006
NS-EN 12372	Prøvingsmetoder for naturstein – Bestemmelse av trykkfasthet <i>Natural stone test methods – Determination of uniaxial compressive strength</i>	2006

1.3.1 Brutto densitet og åpen porøsitet

Disse egenskapene ble målt på 6 prøver med dimensjon 50 mm x 50 mm x 50 mm og hvor alle prøvene hadde sagde sidekanter og naturplan parallelt med kløvplan. Prøvingsmetoden er beskrevet nærmere i vedlegg 6.

1.3.2 Trykkfasthet

Trykkfasthet ble målt på prøver med dimensjon 50 mm x 50 mm x 50 mm. Belastningsflatene var saget og belastningsretning var normalt kløvplan. Prøvingsmetoden er beskrevet nærmere i vedlegg 7.

1.3.3 Glidefriksjon

Glidefriksjon ble målt på prøver med dimensjon 300 mm x 300 mm x 70/150 mm, med påkjenning normalt kløvplan. Friksjonen ble målt på ru/naturplan overflate. Overflatene ble spylt og tørket før testing. Prøvingsmetoden er beskrevet nærmere i vedlegg 8.

1.3.4 Hvilefriksjon

Glidefriksjon ble målt på prøver med dimensjon 300 mm x 300 mm x 70/150 mm, med påkjenning normalt kløvplan. Friksjonen ble målt på ru/naturplan overflate som både var tørr og fuktet/våt. Overflatene ble spylt og tørket før testing. Prøvingsmetoden er beskrevet nærmere i vedlegg 9.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no

Testresultat

VEDLEGG 1

Prøvmingsmetoder for naturstein

Bestemmelse av åpen porøsitet og brutto densitet

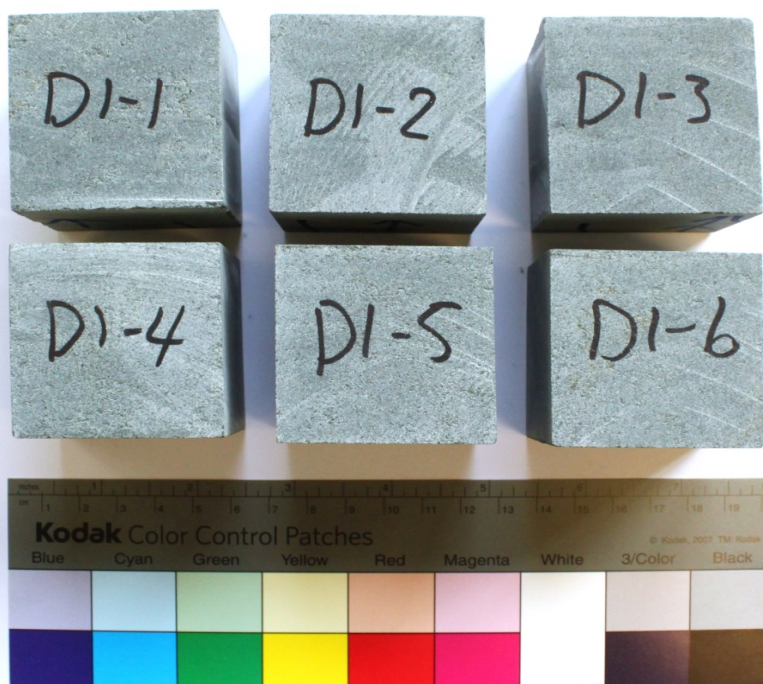
TEST METODE: NS-EN 1936:2006

PRØVENR	D1	PRØVEFASONG	Kuber
HANDELSNAVN	Karmøystein	PRØVESTØRRELSE	50x50x50 mm
BERGART	Arkose	PRØVEOVERFLATE	Saget
TEST DATO	23.09.2015	VANN TEMPERATUR	20 ° C
TESTET AV	SiHa	DENSITET VANN	998 kg/m3

PRØVENR	TØRRVEKT	VEKT I VANN	VÅTVEKT	TILSYNELATENDE VOLUM		ÅPEN PORØSITET	BRUTTO DENSITET
	m_d	m_h	m_s	V_o PORER	V_b PRØVE	ρ_o	ρ_b
	[g]	[g]	[g]	[ml]	[ml]	[%]	[kg/m ³]
D1-1	322,9	206,2	324,2	1,28	118,24	1,08	2731
D1-2	327,6	209,4	328,7	1,11	119,48	0,93	2742
D1-3	324,6	207,7	325,8	1,21	118,35	1,02	2743
D1-4	314,3	200,7	315,2	0,87	114,77	0,76	2739
D1-5	320,0	204,3	320,9	0,92	116,82	0,79	2739
D1-6	319,1	203,7	320,1	0,98	116,64	0,84	2736
MIDDEL				1,06	117,38	0,91	2738
ST.AVVIK ±				0,16	1,66	0,13	4

AVVIK FRA STANDARD: Ingen avvik å rapportere

MERKNADER: Ingen merknader



Bilde av prøver for måling av åpen porøsitet og brutto densitet.

PROSJEKTNR	RAPPORTNR	LABORATORIUM	VEDLEGG	SIDE
102010597-5	15062NAT	Betong- og natursteinslaboriet	1	1

Testresultat

VEDLEGG 2

Prøvingsmetoder for naturstein Bestemmelse av trykkfasthet

TEST METODE: NS-EN 1926:2006

PRØVENR	T1	BELASTNINGSFLATE	Saget
HANDELSNAVN	Karmøystein	LASTRETNING	Normalt på kløvplan
BERGART	Arkose	LASTHASTIGHET	1 MPa/s
TEST DATO	22.09.2015		
TESTET AV	SiHa		
TESTMASKIN	Alpha 3-2000 hydraulisk presse		

PRØVENR	BREDDE b [mm]	LENGDE l [mm]	HØYDE h [mm]	BRUDDLAST F [N]	TRYKKFASTHET R [MPa]	BRUDDVINKEL [°]
T1-1	49,7	49,7	49,2	444000	179,9	26
T1-2E	49,7	49,4	48,5	514000	209,4	30
T1-3	49,8	48,7	48,5	492000	203,1	24
T1-4E	49,5	49,7	48,5	510000	207,4	25
T1-5	49,6	48,2	48,8	530000	221,9	23
T1-6	49,5	49,8	49,3	412000	167,1	26
MIDDEL	29,8	29,5	48,8	483670	198,1	
MAKS.	49,8	49,8	49,3	530000	221,9	
MIN.	0,0	0,0	48,5	412000	167,1	
ST.AVVIK ±				45910	20,5	
VAR.KOEFF				0	0,1	
MINSTE FORVENTEDE VERDI (5% fraktil, 75% sikkerhet)					153,7	

AVVIK FRA STANDARD: Ingen avvik å rapportere

MERKNADER: Ingen merknader



Bilder av prøver for måling av trykkfasthet før (øverst) og etter (nederst) prøving.

PROSJEKTNR	RAPPORTNR	LABORATORIUM	VEDLEGG	SIDE
102010597-5	15062NAT	Betong- og natursteinslaboratoriet	2	1

Testresultat

VEDLEGG 3

Prøvingsmetoder for naturstein

Bestemmelse av friksjonskoeffisient (Dynamisk test, glidefriksjon)

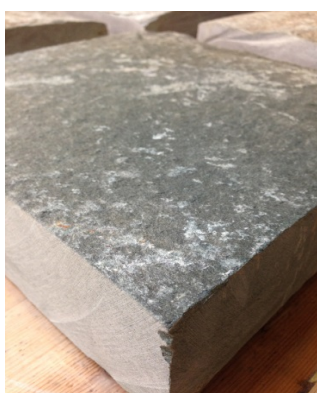
TEST METODE: Intern SINTEF metode/prosedyre

PRØVENR	1	FRIKSJONSSFLATE	Ru, naturplan
HANDELSNAVN	Karmøystein	BEHANDLING	Tørr og kostet
BERGART	Arkose	TESTMASKIN	Skjærboks (NTNU)
TEST DATO	16-17.09.2015	FART (KONSTANT)	9,9 mm/min
TESTET AV	SiHa		

PRØVE NR	TEST NR	NORMALKRAFT G	FRIKSJONSKRAFT F	FRIKSJONSKOEFFISIENT
		[N]	[N]	μ
Test3	1	132	105	0,80
	2	132	99	0,75
Test5	1	128	101	0,79
	2	128	73	0,57
Test6	1	144	72	0,50
	2	144	97	0,67
Test4	2	172	119	0,69
Test1	1	200	130	0,65
	2	120	70	0,58
Test8	1	114	93	0,82
MIDDEL		141	96	0,68
MAKS.		200	130	0,82
MIN.		114	70	0,50
ST.AVVIK $\pm$		26	20	0,11

AVVIK FRA STANDARD: Ingen avvik å rapportere

MERKNADER: En forutsetning for korrekt utregning og testing er at friksjonsflaten er tilnærmet horisontal. Ujenvheter i flater på steinblokkene gjør at plassering av blokkene under testen var vanskelig, men de er plassert tilnærmet horisontal ($\pm 2^\circ$)



Bilde av overflate for måling av friksjonskoeffisient

PROSJEKTNR	RAPPORTNR	LABORATORIUM	VEDLEGG	SIDE
102010597-5	15062NAT	Betong- og Natursteinslaboratoriet	3	1

Testresultat

VEDLEGG 4

Prøvmingsmetoder for naturstein

Bestemmelse av friksjonskoeffisient (Tilttest, hvilefriksjon)

TEST METODE: Intern SINTEF metode/prosedyre

PRØVENR	1	FRIKSJONSSFLATE	Ru, naturplan
HANDELSNAVN	Karmøystein	BEHANDLING	Tørr og kostet
BERGART	Arkose	TESTMASKIN	Egenutviklet tilttester
TEST DATO	22.09.2015		
TESTET AV	SiHa		

PRØVE NR	TEST NR	GLIDEVINKEL α	FRIKSJONSKOEFFISIENT
		[°]	μ
8A	1	36,7	0,75
	2	35,4	0,71
	3	35,0	0,70
2A	1	35,6	0,72
	2	39,0	0,81
	3	37,2	0,76
4A	1	37,2	0,76
	2	37,3	0,76
	3	36,4	0,74
7A	1	33,7	0,67
	2	34,5	0,69
	3	34,6	0,69
1A	1	33,0	0,65
	2	34,7	0,69
	3	38,2	0,79
MIDDEL		35,9	0,72
MAKS.		39,0	0,81
MIN.		33,0	0,65
ST.AVVIK $\pm$		1,7	0,05

AVVIK FRA STANDARD: Ingen avvik å rapportere

MERKNADER: Ujenvheter i flater på steinblokkene gjør at glidevinkelen kan være vanskelig å måle helt nøyaktig ($\pm 1^\circ$)



Bilde av overflate for måling av friksjonskoeffisient

PROSJEKTNR	RAPPORTNR	LABORATORIUM	VEDLEGG	SIDE
102010597-5	15062NAT	Betong- og Natursteinslaboriet	4	1

Testresultat

VEDLEGG 5

Prøvingsmetoder for naturstein

Bestemmelse av friksjonskoeffisient (Tilttest, hvilefriksjon)

TEST METODE: Intern SINTEF metode/prosedyre

PRØVENR	1	FRIKSJONSSFLATE	Ru, naturplan
HANDELSNAVN	Karmøystein	BEHANDLING	Fuktet/våt overflate
BERGART	Arkose	TESTMASKIN	Egenutviklet tilttester
TEST DATO	22.09.2015		
TESTET AV	SiHa		

PRØVE NR	TEST NR	GLIDEVINKEL α	FRIKSJONSKOEFFISIENT
		[°]	μ
3A	1	34,7	0,69
	2	35,0	0,70
	3	37,2	0,76
6A	1	36,5	0,74
	2	34,6	0,69
	3	32,3	0,63
5A	1	36,2	0,73
	2	33,5	0,66
	3	36,0	0,73
7A	1	33,1	0,65
	2	35,0	0,70
	3	32,0	0,62
8A	1	30,0	0,58
	2	30,7	0,59
	3	31,2	0,61
MIDDEL		33,9	0,67
MAKS.		37,2	0,76
MIN.		30,0	0,58
ST.AVVIK $\pm$		2,2	0,06

AVVIK FRA STANDARD: Ingen avvik å rapportere

MERKNADER: Ujenvheter i flater på steinblokkene gjør at glidevinkelen kan være vanskelig å måle helt nøyaktig ($\pm 1^\circ$)



Bilde av våt overflate for måling av friksjonskoeffisient

PROSJEKTNR	RAPPORTNR	LABORATORIUM	VEDLEGG	SIDE
102010597-5	15062NAT	Betong- og Natursteinslaboriet	5	1

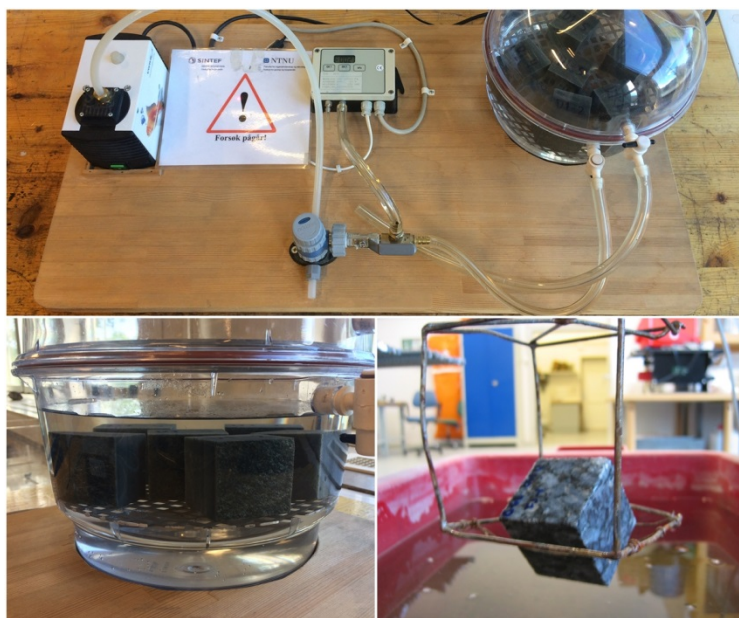
Vedlegg 6 Metodebeskrivelse brutto densitet og åpen porøsitet

Metoden gjennomføres i henhold til:

NS-EN 1939 Prøvmåter for naturstein.

Bestemmelse av netto- og bruttodensitet, total og åpen porøsitet

Brutto densitet, ρ_b , og åpen porøsitet, p , blir bestemt ved at prøven etter kondisjonering veies for å finne tørrvekt. For å eliminere mengde luft i porene på prøvene plasseres de i en dessikator ($2 \pm 0,7$) kPa i 2 t hvor de deretter langsomt blir neddykket i vann. Etter 24 t veies prøvens vekt i vann og våtvekt, og brutto densitet og åpen porøsitet kan beregnes. Det skal være minimum 6 prøver i hver serie. Normalt er dimensjonen for prøvingen er $50 \times 50 \times 50 \pm 5$ mm. Det benyttes destillert vann for vannmetting av prøvene. De ulike massene til prøvestykkene uttrykkes i nærmeste 0,01 g og brukes ved utregning av prøvens brutto densitet og åpen porøsitet.



Figur 1 Dessikator brukt for eliminering av luft i porer og vannmetting av prøve før måling av vekt i vann og våtvekt.

Beregnes med følgende uttrykk:

$$\text{Brutto densitet: } \rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \cdot \rho_{rh}$$

$$\text{Åpen porøsitet: } p = \frac{(m_s - m_d)}{m_s - m_h} \cdot 100$$

ρ_b – Brutto densitet, måles i nærmeste 10 kg/m³

p – Åpen porøsitet, måles i nærmeste 0,1 %

m_d – Masse prøve tørr, måles i nærmeste 0,01 g

m_s – Masse prøve vannmettet, måles i nærmeste 0,01 g

m_h – Masse prøve i vann, måles i nærmeste 0,01 g

ρ_{rh} – Densitet vann, 998 kg/m³ v/ 20 °C

Vedlegg 7 Metodebeskrivelse trykkfasthet

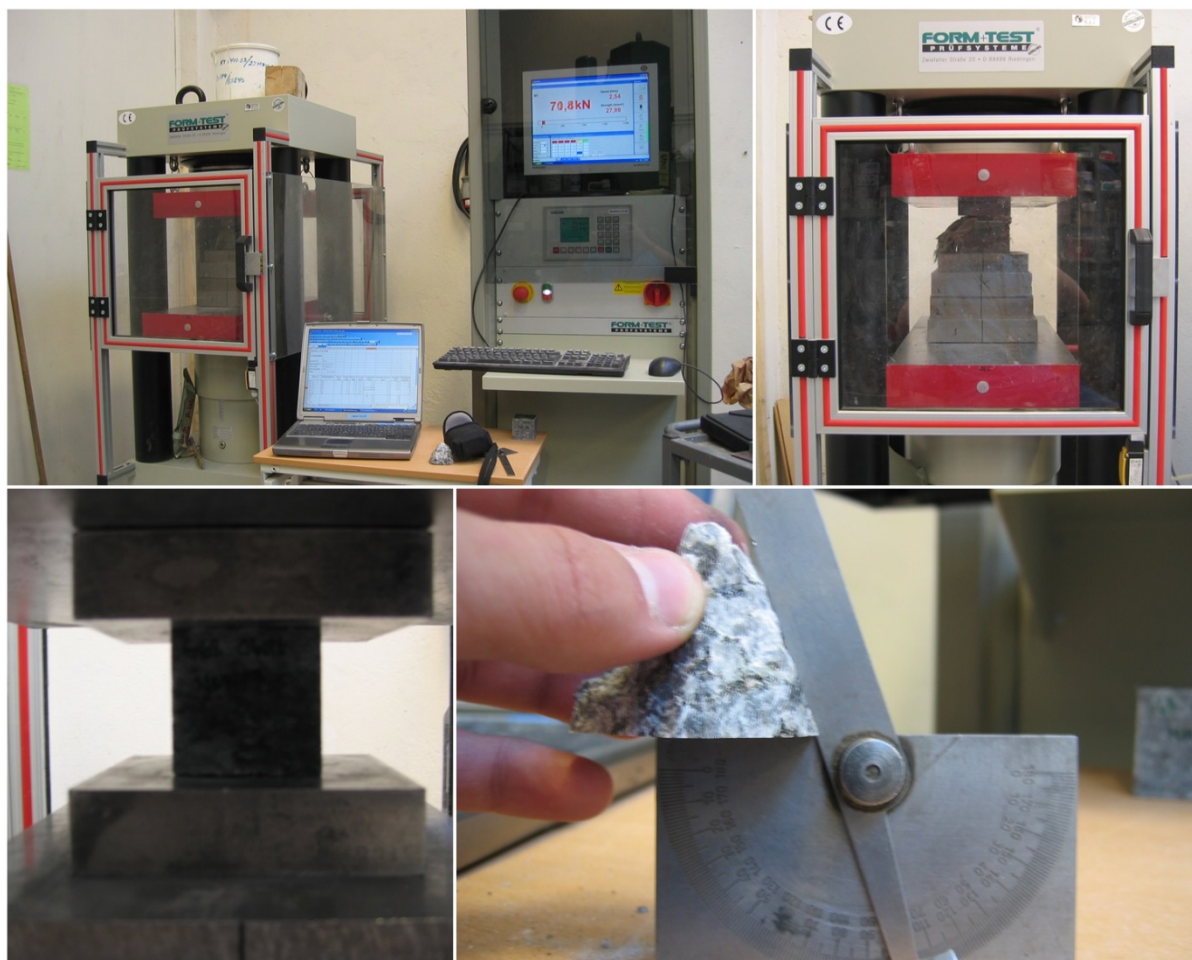
Metoden gjennomføres i henhold til:

NS-EN 1926 Prøvmingsmetoder for naturstein.

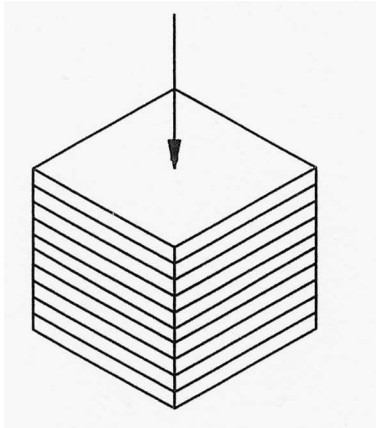
Bestemmelse av trykkfasthet

Trykkfastheten, R , blir bestemt ved at prøven etter kondisjonering blir plassert på i en presse med overflate parallelle belastningsflater. Prøven blir belastet med en jevn og konstant lastøkning inntil brudd forekommer. Last ved brudd blir målt og trykkfastheten blir beregnet.

Det skal være minimum 6 prøver i hver serie. Normalt er dimensjonen for prøvingen er $50 \times 50 \times 50 \pm 5$ mm. Belastningshastigheten skal være $(1,0 \pm 0,5)$ MPa/s, og maksimum last skal måles i nærmeste 1 kN. Lengde og bredde måles med et elektronisk skyvelære på prøvene **før brudd**, og hver på to steder. Dimensjonene uttrykkes i nærmeste 0,1 mm og brukes ved utregning av prøvens trykkfasthet.



Figur 1 FORM + TEST Prüfsystem, Alpha 3-2000 hydraulisk presse, brukt til bestemmelse av trykkfasthet. Bilde av prøve før og etter brudd.



Figur 2 Skisse som viser test for belastning normalt på lagdeling (NS-EN 1926:2006)

Trykkfasthet beregnes med følgende uttrykk:

$$R = \frac{F}{\bar{l} \cdot \bar{b}}$$

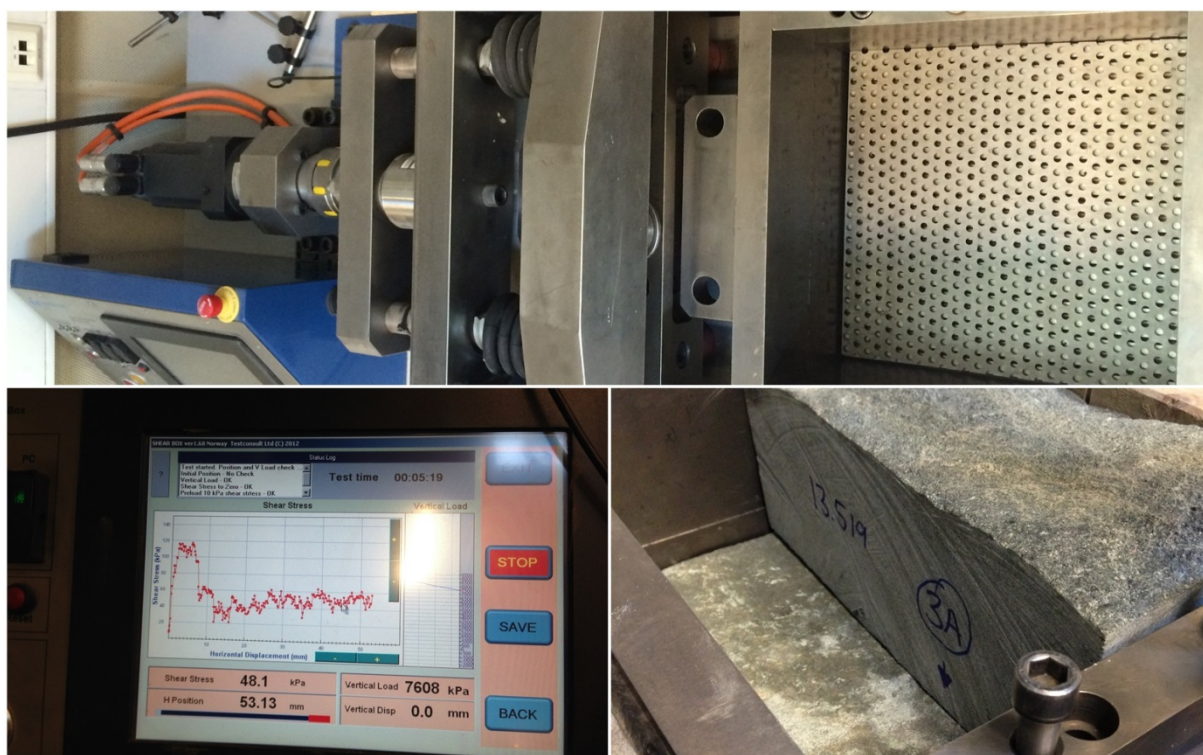
- R – Bøyestrekfasthet i MPa, måles i nærmeste 0,1 MPa
- F – Bruddlast, i hele 1 kN
- $\bar{l}$ – Gjennomsnittlig lengde på prøven, i nærmeste 0,1 mm
- $\bar{b}$ – Gjennomsnittlig bredde på prøven, i nærmeste 0,1 mm

Vedlegg 8 Metodebeskrivelse glidefriksjon

Metoden gjennomføres i etter SINTEFs egen metodebeskrivelse.

Glidefriksjonen, μ , blir bestemt ved at prøvens friksjonsflater blir plassert slik at det ligger horisontalt i en prøvemaskin. Prøven som er i bunn sitter fast mens prøven på toppen blir skubbet med konstant fart over den nedre prøven. Kraften som skal til for å holde konstant fart blir logget hele tiden, og glidefriksjonen beregnet ut ifra denne og normalkraften til topprøven (vekt).

Det skal være minimum 10 tester i hver serie. Normalt er dimensjonen for prøvingen er 300 x 300 x 60 ± 1 mm for bunnprøve og 150 x 300 x 60-120 ± 1 mm for topprøve. Glidefarten til topprøven er konstant og 9,9 mm/min. Tekstlengden er maksimalt 50 mm. Glidefriksjonen midles fra den er konstant til testen avsluttes. Normalkraft (vekt av overliggende prøve) veies med en nøyaktighet 1 g og uttrykkes i hele N. Glidefriksjonen uttrykkes i hele N.



Figur 1 Bilde av skjærboks brukt til bestemmelse av glidefriksjon

Glidefriksjon (friksjonskoeffisient) beregnes med følgende uttrykk:

$$v = \text{konstant} \rightarrow \mu = \frac{F}{N}$$

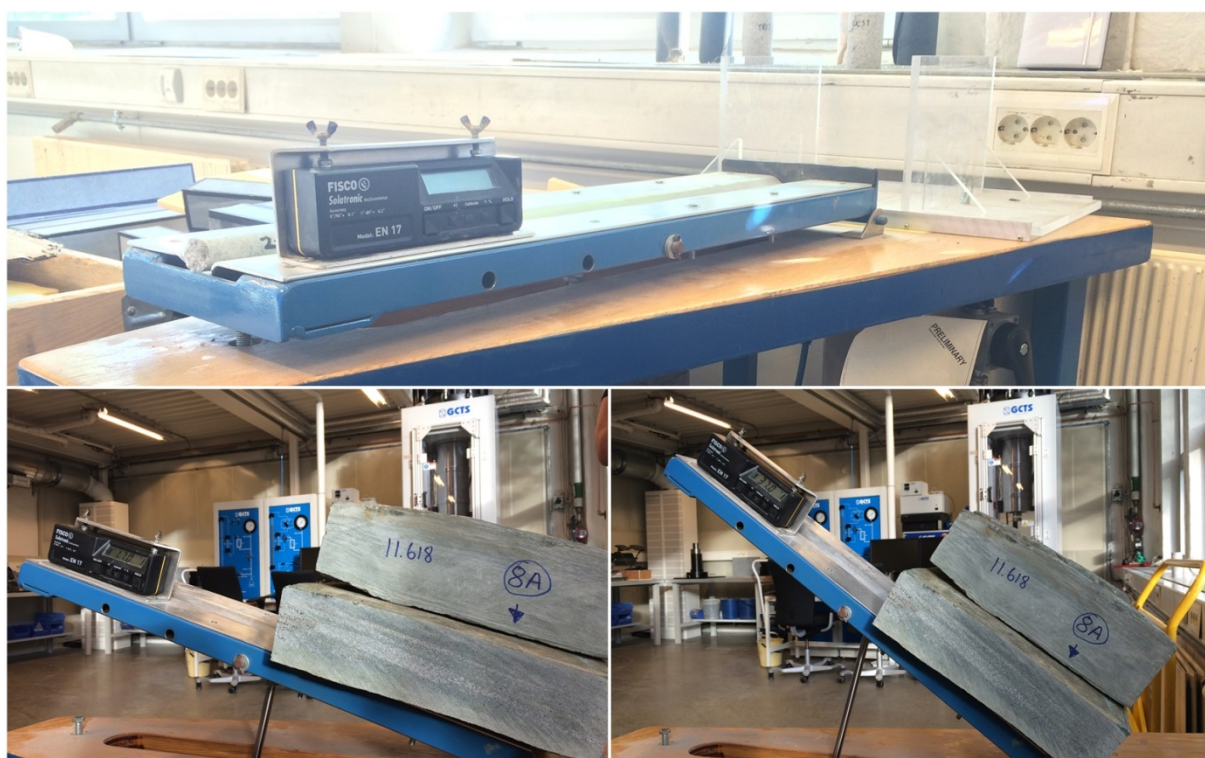
- μ – Glidefriksjon
- F – Friksjonskraft i hele N
- N – Normalkraft i hele N

Vedlegg 9 Metodebeskrivelse tilttest (hvilefriksjon)

Metoden gjennomføres i etter SINTEFs egen metodebeskrivelse.

Hvilefriksjonen, μ , blir bestemt ved at prøvens friksjonsflater blir plassert slik at det ligger horisontalt i en prøvemaskin. Prøven som er i bunn sitter fast mens prøven på toppen ligger løst. Bordet tiltes opp helt til prøven på toppen beveger seg. Vinkel blir avlest idet prøven beveger seg og denne blir brukt til kalkulering av friksjonskoeffisient.

Det skal være minimum 15 tester i hver serie. Kan testes på dimensjoner opptil for prøvingen er 300 x 300 x 100 mm. Vinkeløkningen på tilt tester er ca. 0,3 °/s. Hvilefriksjonen uttrykkes i hele N.



Figur 1 Tilt tester brukt til bestemmelse av hvilefriksjon

Hvilefriksjon (friksjonskoeffisient) beregnes med følgende uttrykk:

$$\mu = \tan \alpha$$

μ – Hvilefriksjon

α – Glidevinkel, måles i nærmeste 0,1 °