VSO CONSULTING

ELVERUM KOMMUNE

Mastmovegen 48A Bofellesskap
Geoteknisk Rapport

Maí 2015

www.vso.no

Rådhusveien 4
2050 Jessheim

vso@vso.no

Prosjekt nummer: 15121

S:\2015\15121\v\GIR-Rapport\Mastmovegen_Geoteknik_Rapport.docx

Mai 2015

Nr. utg.	Dato.	Utf.	Kontr.	Godkj.
1	12.05.2015	GÖB	GS	VÁÁ

Innholdsfortegnelse

1	**Generelt**	**2**
2	**Krav til sikkerhet**	**2**
2.1	Generelt	2
2.2	Konsekvensklasse,	2
2.3	Pålitelighetsklasse og geoteknisk kategori	3
2.4	Kontroll og tiltaksklasse	4
2.5	Partialfaktor	4
3	**Tidligere undersøkelser**	**4**
4	**Utførte undersøkelser**	**4**
4.1	Laboratoriet undersøkelser	6
5	**Terreng og grunnforhold**	**7**
5.1	Grunnvann	8
5.2	Grunntype i forhold til jordskjelv	8
6	**Jordparametere**	**8**
6.1	Generelt	8
6.2	Styrkeparametere	8
6.3	Setningsparameter	9
7	**Fundameneringsforhold**	**10**
7.1	Generelt	10
7.2	Bæreevne	10
7.3	Setninger	10
8	**Konklusjon**	**10**

Bilag A: Oversiktstegning

Bilag B: Geoteknisk feltundersøkelser, Sjaktlogger, Totalsonderinger

Bilag C: Geoteknisk Laboratory resultater

Bilag D: Geotekniske beregninger

Bilag E: Geoteknisk rapport om Skjellsand/grus.

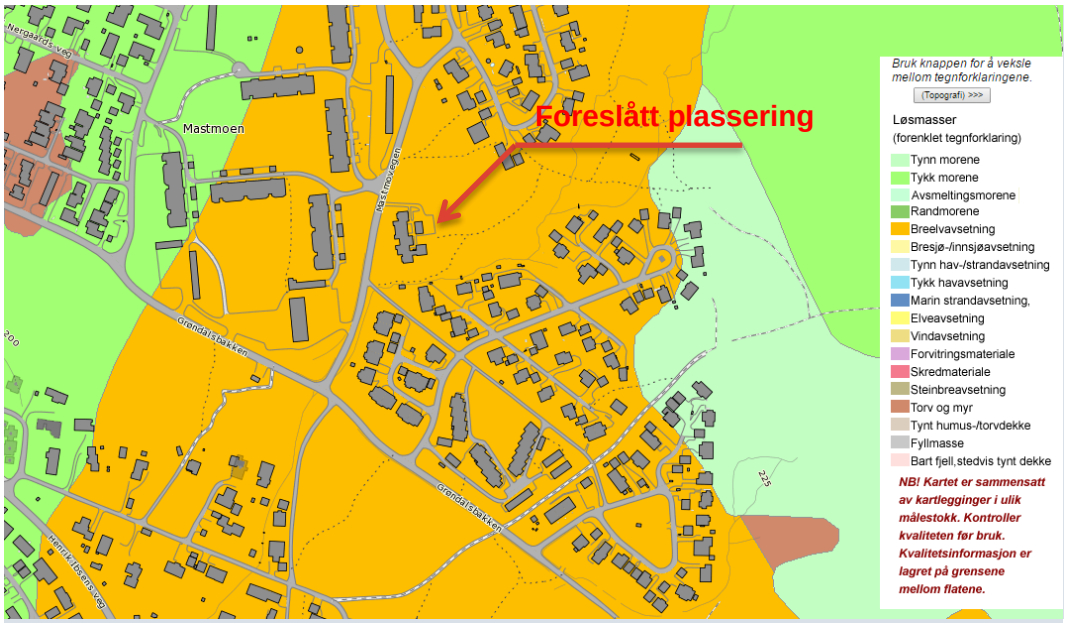
1 Generelt

VSO-Consulting har på oppdrag for Elverum kommune utført orienterende grunnundersøkelser for nye bofellesskap i Mastmovegen.
Eiendommen skal bebygges med 1 etasjers boliger delvis med teknisk rom i kjeller.

Rapporten viser resultat av feltundersøkelser sjaktlogger og totalsonderinger.
Undersøkelsene ble utført med hensyn til forrige utgitt memo, datert 18 mars.

Undersøkelsene skulle gi grunnlag for vurdering av fundamenteringsforhold for planlagt bebyggelse.

Ifølge NGUs løsmassekart er det breelvavsetninger på tomten:



Bilde 1.1 Kart som viser dokumentert løsmasser. Kilde: http://geo.ngu.no/kart/losmasse/

2 Krav til sikkerhet

2.1 Generelt

Krav til sikkerhet for prosjektering/bygging i områder med jordmasser uten kvikkleire /sprøbruddoppførsel fremkommer av NS-EN 1997-1. Veiledende kan Statens vegvesen, håndbok V220 «Geoteknikk i vegbygging» brukes (kap. 0).

Kontrollkrav er avhengig av pålitelighetsklasse og geoteknisk kategori som definert i NS-EN 1990 og NS-EN 1997-1.

I forbindelse med byggesaker er kontrollkrav nedfelt i Byggesaksforskriftet (SAK10).

2.2 Konsekvensklasse,

Når det gjelder krav til prosjektering av geotekniske prosjekter angir NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 tre ulike kategorier. Denne prosjekt er i Geoteknisk kategori 2 som er beskrevet her nedenfor:

> *Geoteknisk kategori 2*: bør omfatte konvensjonelle typer konstruksjoner og fundamenter uten unormale risikoer eller vanskelige grunn- og belastningsforhold og hvor prosjekteringen baseres på kvantitative geotekniske data og analyser og rutinemessige prosedyrer som sikrer at grunnleggende krav blir oppfylt. Eksempler på prosjekteringsoppgaver er:

Byggeteknisk forskrift: TEK 10 og NS-EN 1990 og NS-EN 1997-1. deler inn i følgende tiltaksklasser for geoteknisk prosjektering:

Konsekvens-klasse (CC)	Beskrivelse	Eksempel – type bygning
CC1	**Liten** konsekvens i form av tap av menneskeliv, eller små eller uvesentlige økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser	Landbruksbygninger der mennesker vanligvis ikke oppholder seg (f.eks. lagerbygninger), drivhus
CC2	**Middel** stor konsekvens i form av tap av menneskeliv, betydelige økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser	Boliger og kontorbygg, offentlige bygninger der konsekvensene av brudd er betydelige(f.eks. et kontorbygg)
CC3	Stor konsekvens i form av tap av menneskeliv, eller **svært store** økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser	Tribuner, offentlige bygninger der konsekvensene av brudd er store (f.eks. en konserthall)

2.3 Pålitelighetsklasse og geoteknisk kategori

Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler	**Pålitelighetsklasse (CC/RC)**			
	1	**2**	**3**	**4**
Atomreaktorer, lager for radioaktivt avfall				X
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunns anlegg i kompliserte tilfeller (1)		(X)	X	(X)
Veg- og jernbanebruer			X	
Kai- og havneanlegg		X	(X)	
Kontor- og forretningsbygg, skoler, institusjonsbygg, boligbygg osv.		X	(X)	
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunns anlegg ved enkle og oversiktlige grunnforhold (1)	X	(X)		

Pålitelighetsklasse settes til klasse 2 (case: «Kontor- og forretningsbygg, skoler, institusjonsbygg, boligbygg, osv.» i samsvar med SAK10.

Tabell 1 Definisjon av Geoteknisk Kategori

Pålitelighetsklasse	Vanskelighetsgrad		
	Lav	Middels	Høy
CC/RC 1	1	1	2
CC/RC 2	1	2	2/3
CC/RC 3	2	2/3	3
*CC/RC 4**	*	*	*

** Vurderes særskilt*

Geoteknisk kategori settes derfor til kategori 2.

2.4 Kontroll og tiltaksklasse

Pålitelighets- og geoteknisk kategori bestemmer kontrollkrav og tiltaksklasse som vist i tabellen nedenfor.

Pålitelighetsklasse	Geoteknisk kategori	Tiltaksklasse	Kontrollklasse
CC/RC1	1	1	B (begrenset) – selv kontroll
CC/RC2	2	2	N (normal) – kollega kontroll
CC/RC3	3	3	U (utvidet) – Third party
CC/RC4	3	3	Skal spesifiseres

Tiltaksklasse for denne byggning er klasse 2 for geoteknisk prosjektering.

Prosjekterings- og utførelseskontroll for foreliggende prosjektet ligger i kontrollklasse «N (normal)»

2.5 Partialfaktor

Bruddmekanismen i foreliggende jordmasser anses å være nøytralt/dilatant. Eventuell svikt i fundamenteringen anses som «alvorlig». Partialfaktor i bruddgrensetilstand etter Håndbok V220, fra Statens vegvesen (kap.0) ble derfor valgt til γ_M=1,3 (drenert lastrespons) for i denne rapporten utførte beregninger

Konsekvensklasse	Bruddmekanisme		
	Seigt, dilatant brudd	Nøytralt brudd	Sprøtt, kontraktant brudd
CC1 Mindre alvorlig	1,25 / 1,4 *	1,3 / 1,4 *	1,4
CC2 Alvorlig	1,3 / 1,4 *	1,4	1,5
CC3 Meget alvorlig	1,4	1,5	1,6

* NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 krever at $\gamma_M \geq 1{,}4$ ved totalspenningsanalyser

Figur 0. 3 Partialfaktorer for γ_M ved effektivspennings- og totalspenningsanalyser

3 Tidligere undersøkelser

Etter vår informasjon foreligger det ingen tidligere utførte undersøkelser på eller i relevant avstand til eiendommen. Evt. foreligger slike undersøkelser i offentlige arkiver.

4 Utførte undersøkelser

Geotekniske feltundersøkelser ble utført av Romerike Grunnboring AS med veiledning fra VSO-Consulting 15 april 2015.

- 5 stk Totalsonderinger, avsluttet mot antatt fast berg. Beskrivelse av boringen finnes i kapitel 15.214 i Håndbok R211 fra Statens Vegvesen
- 3 stk prøvegravninger (gravning og sjakt). Jordarten var visuelt klassifisert i felt, to poseprøver ble tatt, og sent til laboratorium (kornfordelingsanalyse, vanninnhold og

romvekt). Beskrivelse av gravning og sjakt finnes i kapitel 15.241 i Håndbok R211 fra Statens Vegvesen

Borpunktene og prøvehuller ble målt inn med GPS,

De foreliggende opplysninger om grunnforhold anses som tilstrekkelig grunnlag for en generell vurdering av fundamenteringsforholdene.

Vedlagt plantegninger (15121-JA-V-G-01) viser borplan og plassering av undersøkelser og resulter. Hvert borpunkt er påført terrengkote, koter på fjell og bor dybde i løsmasser. Logger fra gravning og sjakt finnes i bilag B

Resultater fra sonderingene framgår av tegning 15121-JA-V-JAT-01-05.

Tabell 1. Koordinater av borehuller, og dybde av løsmasser

Punkt	Metode	X	y	Overflate[moh]	Fjellkote [moh]	Dybde i løsm.[m]	Komment
1	Totalsondering	640327.5920	6750679.7860	214.2	205,0	9,2	sand til 4m,morene til fjell
2	Totalsondering	640349.5760	6750672.1920	214.3	204,6	9,7	sand til 3,1m,morene til fjell.
3	Totalsondering	640348.2650	6750689.1390	214.7	205,3	9,4	sand til 3,3m,morene til fjell.grunnvann ca 3,5-4m
4	Totalsondering	640354.9440	6750704.4850	215.2	205,1	10,1	sand til 3,3m,morene til fjell.
5	Totalsondering	640326.0140	6750697.7380	214.3	204,9	9,4	sand til 4m,morene til fjell
G1	Gravning og Sjakt	640334.8400	6750674.3800				
G2	Gravning og Sjakt	640361.5290	6750678.8490				
G3	Gravning og Sjakt	640344.2920	6750707.1000				

Bilde 4.1 Tomten er vegetated område med noen trær

Bilde 4.2 Gravemaskinen som ble brukt i feltundersøkelsene.

4.1 Undersøkelser i Laboratoriet

To poseprøver ble tatt fra prøvehullene, og sent til laboratorium (kornfordelingsanalyse[1], vanninnhold[2] og romvekt[3]). Resultatene er vist i Bilag C.

- Jordarten er silt og telefarlighetsklassen er T1
- Vanninnholdet ble målt 5-5,9%
- Tørr romvekt er 13,6-13,8 kN/m^3

[1] Kornfordelingsanalyse (Ifølge Statens vegvesen 14.432 Handbok R210 Kornfordeling ved sikting)
[2] Ifølge SVV 14.426, Handbok R210 Vanninnhold
[3] Ifølge SVV 14.4281, Handbok R210

5 Terreng og grunnforhold

Eiendommen samt nærmeste området ligger ca. rundt kote 214 m.o.h., dvs, terreng på eiendommen er jevnt og flat.

Jordprofilet er estimert følgende ut fra resultater fra totalsonderinger og sjaktlogger

- 10cm av matjord, så er det 3-4m av «skjellsand» veldig homogent og ensgradert (se bilde 5.1 og 5.2). i telefarlighetsklasse T1 ifølge håndbok V220, kapittel 13, fra Statens vegvesen
- Under sanden finnes tett morene og grus, mektighet ca. 6m. Total dybde til fjell er ca 10m.

Grunnvann ble observert på grensene mellom morenene og sanden, dybde 3,5 til 4m fra overflate.

Grunne fundamenter er anbefalt. Det kan funderes direkte på sanden, masseutskifting skal minimiseres.

Bilde 5.1 Veldig ensgradert skjellsand

Bilde 5.2 ~10 cm matjord, og ensgradert sand til dybde 3-4m fra overfalten.

Ut fra værdata, frostmengde osv. er det mulig at beregne frostdybden i Elverum og det er omtrent 2,6m. Men ifølge vann og avløp normer skal Vannledningene legges normalt med en overdekning på mellom 2,0 og 4,0 meter under ferdig opparbeidet gate/terreng[4]

Det er anbefalt at fundamenter er minimum 2m dybde fra overflaten, eller spesielt isolerende tiltak.

[4] http://www.va-norm.no/VA-norm/Generelle-bestemmelser/5-Transportsystem-vannforsyning/5.5-Styrke-og-overdekning

5.1 Grunnvann

Grunnvann ble observert på ca 3,5-4m dybde, ifølge komment fra borleder, fuktige borstanga.

Grunnvann ble observert på grensene mellom morenene og sanden.

Ifølge prat med nabo til foreslått boliger har grunnvann ikke forårsaket problemer i huser med kjeller.

Liten bekk er i nærheten av tomten, men det er kun overvann og snø melt.

5.2 Grunntype i forhold til jordskjelv

I seksjon NA.3.1.2 Eurocode 8 er veiledninger om identifisering av grunntyper med hensyn til jordskjelv. Fra beskrivelsen i tabell NA.3.1 så er grunntypen B.

6 Jordparametere

6.1 Generelt

Tolkning av jordparametere ble utført ved hjelp av lab- og feltdata samt erfaringsverdier.

Undertegnet var involvert i omfattende undersøkelser gjort på skjellsand og skjellgrus i Island mars 2005. Skjellsand ble brukt som fyllmasse i en omfattende veiprosjekt i Reykjavík.

Den islandske vegvesen krevde strenge undersøkelses program før det var tillatt å bruke jordarten i veioppbygningen. Dessverre er rapporten på islandsk, men geotekniske verdier blir brukt som referanser. Rapporten er vist i Bilag E

6.2 Styrkeparametere

De stedlige masser er skjellsand, omtrent 3-4m tykk, Sanden er god bæreevne og i telefarlighetsklasse T1 Under sanden finnes tett morene og grus, mektighet ca. 6m. Total dybde til fjell er ca 10m.

Tabell (2.9.5.1. fra V220) kan brukes for valg av styrkeparameter i bæreevneberegninger.

Følgende konservative verdier ble valgt for sanden:

Sand: φ=33°, a=0 kPa, $\gamma_{tørr}$=14 kN/m^3; γ_{sat}=18 kN/m^3

Tørr romvekt ble målt i laboratoriet.

Håndbok V220 – Geoteknikk i vegbygging, Kapittel 2 Laboratorieund..-Geot. param. Side 2-34

2.9.5 Effektivspenningsanalyse

2.9.5.1 *Dimensjonering av støttemur og landkar*

Plassering		Materiale		Dim. tyngde-tetthet γ	Karakteristisk indre friksjonsvinkel φ		Attraksjon a
				kN/m³	grader	tan φ	kN/m²
Bak og foran landkar og støttemur	Tilførte komprimerte Masser *	Sprengstein **		19	42	0,90	0 - 10
		Grus		19	38	0,78	0
		Sand		18	36	0,73	0
	Naturlige, ikke komprimerte masser	Grus		19	35	0,70	0
		Sand		17	33	0,65	0
		Silt		18	31	0,60	0
		Leire og leirig silt	Fast ***	20	26	0,49	0
			Bløt ***	19	20	0,36	0
Under landkar-såle	Tilførte komprimerte Masser *	Sprengstein ** og ****		19	42/45	0,90/1,0	10
		Grus *****		19	38/40	0,78/0,84	10
		Sand		18	36	0,73	10
	Naturlige, ikke komprimerte masser	Grus	Fast	19	38	0,78	0-10
			Løs	18	36	0,73	0-5
		Sand	Fast	18	36	0,73	0-10
			Løs	17	33	0,65	0-5
		Silt	Fast	19	33	0,65	0-10
			Bløt	18	31	0,60	0-5
		Leire og leirig silt	Fast ***	19	26	0,49	0-20
			Bløt ***	19	20	0,36	0-5

* Gjelder lagvis utlagte og komprimerte masser på land.
** Sprengstein. Gjelder også maskinkult. Høyere verdier av a kan vurderes avhengig av steinstørrelse.
*** Leire (eller leirig silt), fasthetsparametrene må bestemmes på uforstyrrede prøver.
**** For sprengstein av god kvalitet brukt under landkaret kan den høyeste verdien benyttes.
***** For grus av god kvalitet brukt under landkaret kan den høyeste verdien benyttes.

Figur 2.39 Anbefalte jordparametere ved dimensjonering av landkar og støttemurer.

Den islandske rapport om skjellsand/grus viser friksjonsvinkel av lidt grovere jordart (ifølge kornfordelingsanalyse) er 40°.

6.3 Setningsparameter

Setningsparametere ble vurdert vha. empiriske sammenheng mellom vanninnhold og modultall, samt erfaringsverdier.

Noe setninger kan forventes i sanden, morenen kan deformeres lidt men ikke i samme størrelsesorden og silten.

For setningsberegninger er Janbu's teori anbefalt som bergningsgrunnlag.

Fra Håndbok V220 utgitt av Statens Vegvesen er følgende ligning og forklaringer

De primære vertikaltøyningene i grov silt, sand og grus kan beregnes etter følgende formler:

$$\delta = \frac{h}{5m}\left(\sqrt{\sigma_{or} + \sigma_z} - \sqrt{\sigma_{or}}\right)$$

der:

h = mektighet av laget som vurderes
m = modultall
σ_{or} = originalspenning i jordprofilet kN/m^2
σ_z = Tilleggs-, ekstraspenning på grunn av nye boliger kN/m^2

Følgende konservative[5] setningsparameter ble valgt for sanden:

Sand: m=200,

[5] http://www.finesoftware.eu/help/geo5/en/janbu-characteristics-01/

Morene m=400,

Note: sanden var fuktig (vanninnhold ~5%) og grunnvannstanden ligger mellom sanden og morenen.

Den islandske rapport om skjellsand/grus viser modultall av lidt grovere jordart (ifølge kornfordelingsanalyse) er 300-500.

7 Fundameneringsforhold

7.1 Generelt

Fundamenterings forhold på tomten er generelt gode og huset som skal bygges er relativt enkelt og lett. Teknisk rom/kjeller er under en del av huset og det gir fare for setningsdifferenser.

Detaljert samarbeid mellom RIB og RIG gir mulighet at prosjektere hvert fundament/fundamentakse og optimere den mest økonomiske løsning. For eksempel til isolasjon/fundamentdybde, og optimering av fundamentbredd for forskjellig laster.

7.2 Bæreevne

Grunnens bæreevne for stripefundament på 1,5m bredde og fundamenteringsnivå på 2,0 m under terreng ble beregnet til ca. 390kPa. Det ble tatt hensyn til horisontallast på 80kN/m og moment på 80kNm/m som er typiske laster fra vind og seismikk for tilsvarende bygg. Det skal bekreftes av RIB.

Grunnens bæreevne for punktfundament/sålefundament på 1,5m bredde og fundamenteringsnivå på 2m ligger på rundt 390KPa. Beregninger er vist i Bilag D.

7.3 Setninger

Det ble utført setningsberegninger for stripefundament i kote 212 moh. Stripefundament 300 KN/m som er 1,5m bredd og derfor grunntrykk 200 KPa, gir setninger omkring 2,5cm

Setningsberegninger er derfor begrensende.

Setninger av delen av huset hvor tekniske-rommet er plassert gir fare til ujevne setninger, disse ulike delene kan f.eks. skilles med fuge.

Beregninger er vist i Bilag D.

8 Konklusjon

VSO- utførte orienterende grunnundersøkelser for nytt Bofellesskap i Mastmovegen den 16 april 2015.

Jordprofilet er estimert følgende ut fra resultater fra totalsonderinger og sjaktlogger

- 10cm av matjord, så er det 3-4m av «skjellsand» veldig homogent og ensgradert (se bilde 5.1 og 5.2). i telefarlighetsklasse T1 ifølge håndbok V220, kapittel 13, fra Statens vegvesen
- Under sanden finnes tett morene og grus, mektighet ca. 6m. Total dybde til fjell er ca 10m.

Grunnvann ble observert på grensene mellom morenene og sanden, dybde 3,5 til 4m fra overflate.

Terreng og områdestabilitet er tilfredsstillende i forhold til regelverk.

Grunnens bæreevne for punktfundament/sålefundament på 1,5m bredde og fundamenteringsnivå på 2m ligger på rundt 390KPa. Men setningsberegninger er

begrensende. Dimensjonerende last som gir setninger i størrelsesorden 2-3cm er 200 KPa, (linjelast 300KN/m med 1,5m bredd fundament)

Den islandske rapport om skjellsand/grus anbefaler for lidt grovere jordart (ifølge kornfordelingsanalyse) maksimum last direkte på skjellgrus 200 KPa

Komprimering av ensgradig porøs sand kan bil problematisk, ut fra byggetekniske detaljer kan det bli enklere at bruke tynn lag f.eks. knust stein 20/120 under fundamentene og gulv.

Grunntype med hensyn til jordskjelv er grunntype B.

Bilag A – Tegninger

- 15121_JA-V-G-01. Plan. Boreresultater

TEGNFORKLARING

TOTALSONDERING

PRØVEHULL

Borpunkt Nr. Terrengkote / Ant. fjellkote — Dybde i løsmasser +dybde i fjell

REV.	DATO	FORKLARING	TEGNET	DESIGN

VSO CONSULTING
RÅDHUSVEGEN 4, 2050 JESSHEIM, TEL.+354 585-9000, E-MAIL vso@vso.no

MASTMOVEGEN BOFELLESSKAP

-

Plassering av undersøkelser
Plan

DESIGN. / TEGNET AV: GØB/GG
KONTROLERET AV:
GODKJENT AV:
ID.NO.

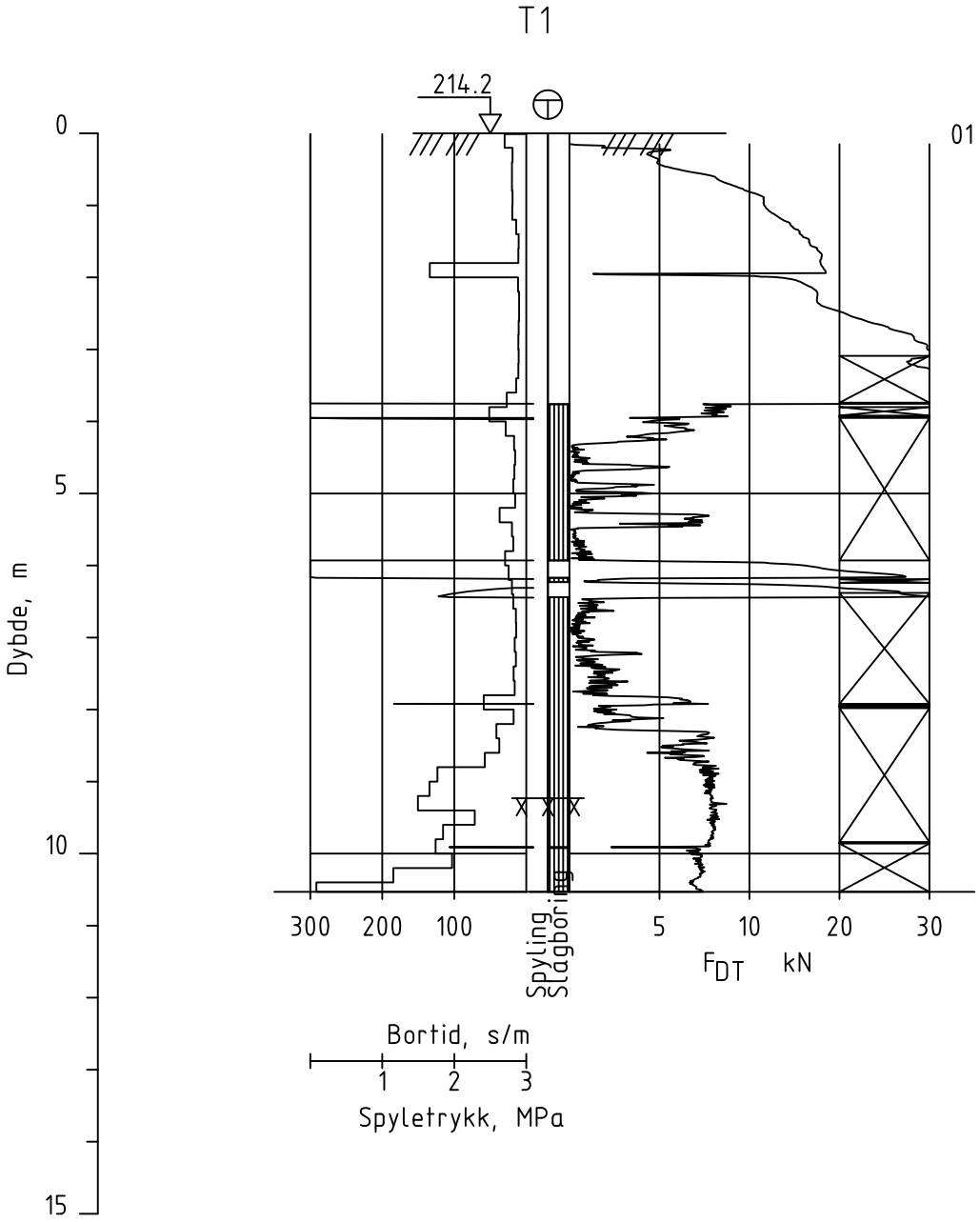
MÅLEST: 1:250 A3 REYKJAVIK 30.04.2015

PROSJEKT NO. 15121 TEGNING. NO. JA-V-G-01 REV.

S:\2015\15121\6_BSS\Tekniske\15121_JA-V-G-01.dwg

Bilag B Geoteknisk feltundersøkelser,

- Totalsonderingslogger
- Grav og sjakt logger



TEGNFORKLARING:

ELVERUM KOMMUNE

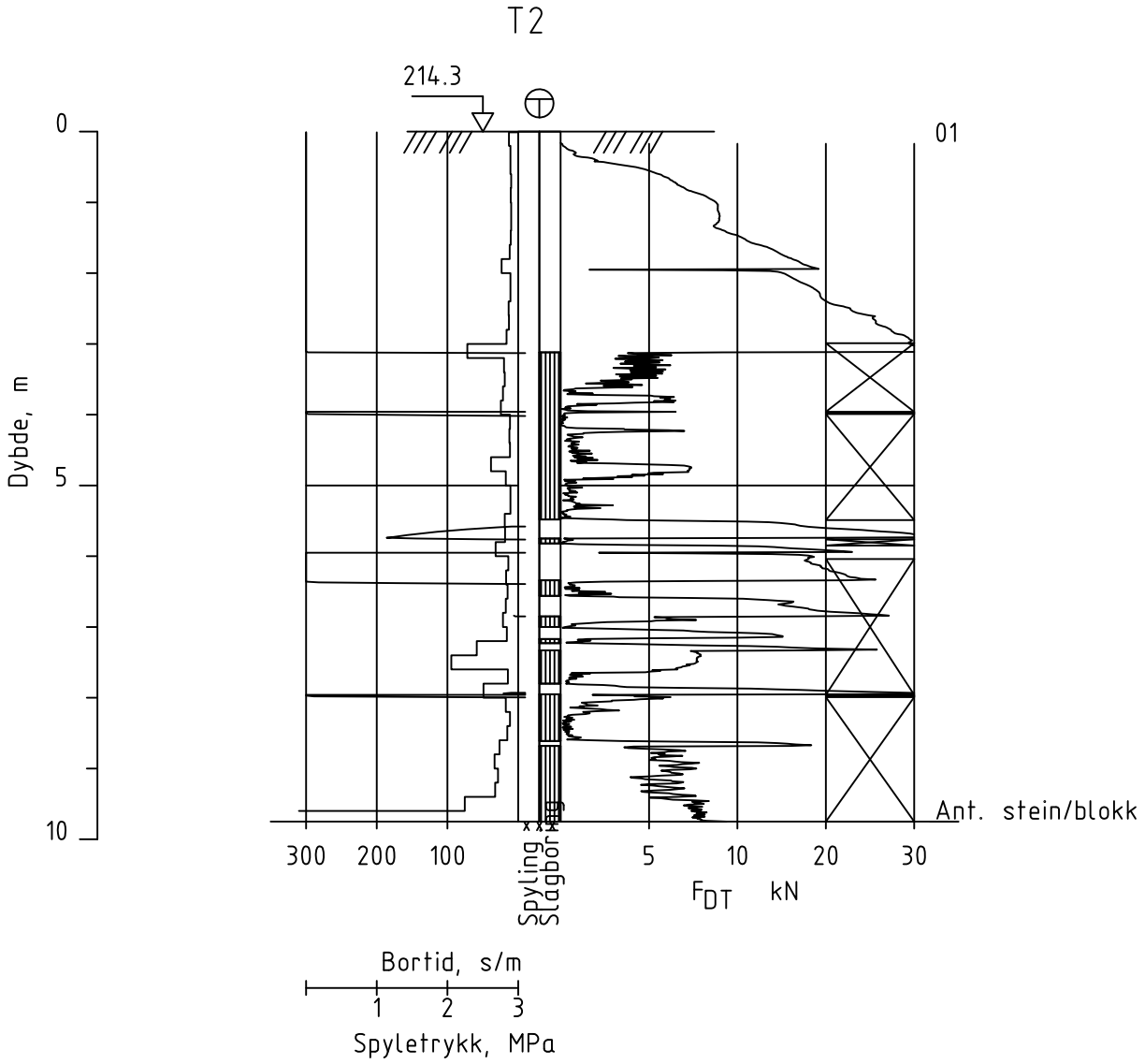
VSO CONSULTING
RÅDHUSVEGEN 4, 2050 JESSHEIM, NORGE TELF. +354 585-9000, E-POST vso@vso.no

MASTMOVEGEN BOFELLESSKAP
Boreresultater
Totalsondering 1
-

DESIGN. / TEGNET AV: GØB/HJA-GG
KONTROLERET AV: VÅÅ
GODKJENT AV:
ID.NO.
MÅLEST: 1:200
Dato 30.04.2015

REV.	DATO	FORKLARING	TEGNET	DESIGN

PROSJEKT NO.	TEGNING. NO.	REV.
15121	JA-V-JAT-01	-



TEGNFORKLARING:

ELVERUM KOMMUNE

VSO CONSULTING

RÅDHUSVEGEN 4, 2050 JESSHEIM, NORGE TELF. +354 585-9000, E-POST vso@vso.no

MASTMOVEGEN BOFELLESSKAP

Boreresultater

Totalsondering 2

-

DESIGN. / TEGNET AV: GØB/HJA-GG

KONTROLERET AV: VÅÅ

GODKJENT AV:

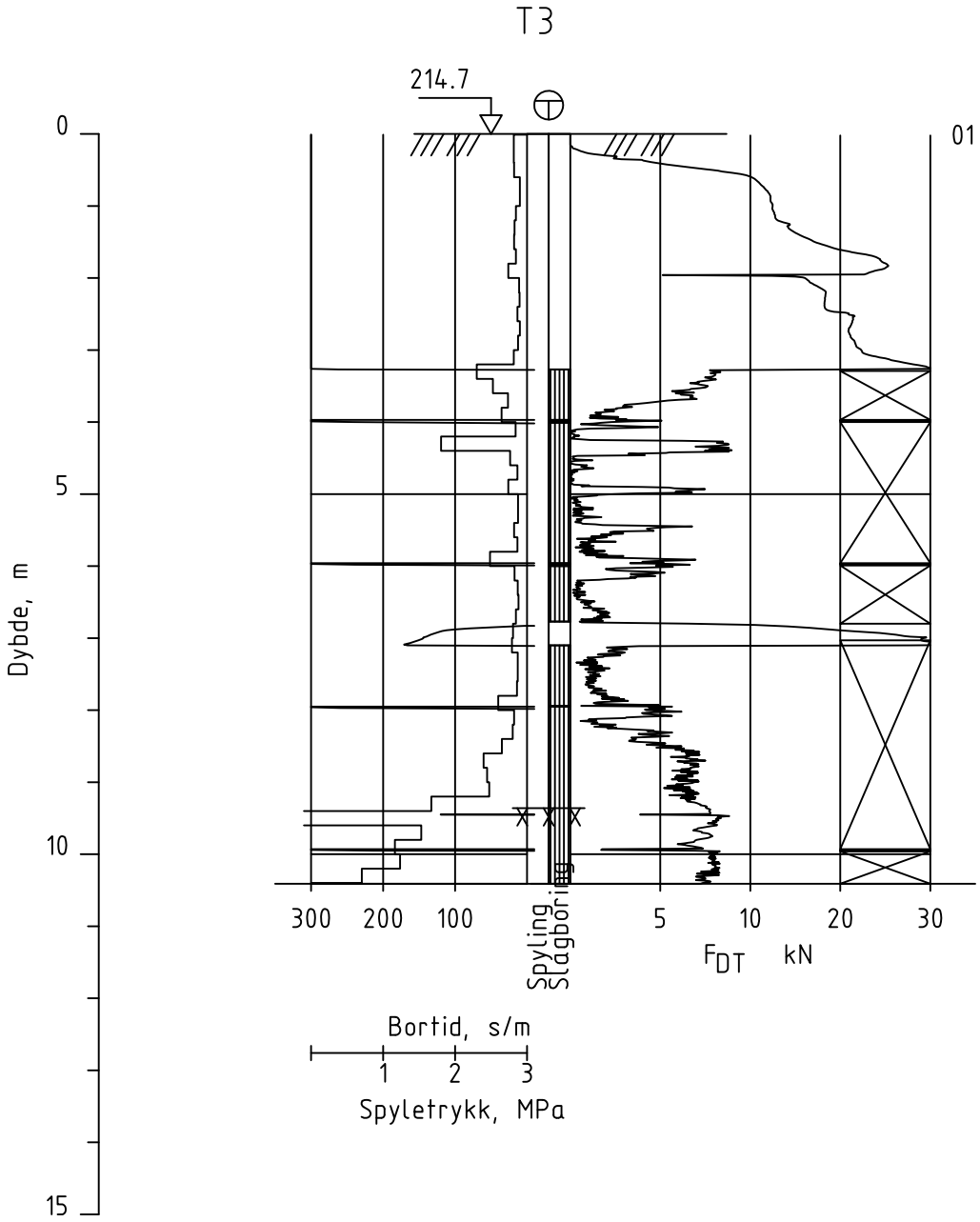
ID.NO.

MÅLEST: 1:200

Dato 30.04.2015

REV.	DATO	FORKLARING	TEGNET	DESIGN

PROSJEKT NO.	TEGNING. NO.	REV.
15121	JA-V-JAT-02	-



TEGNFORKLARING:

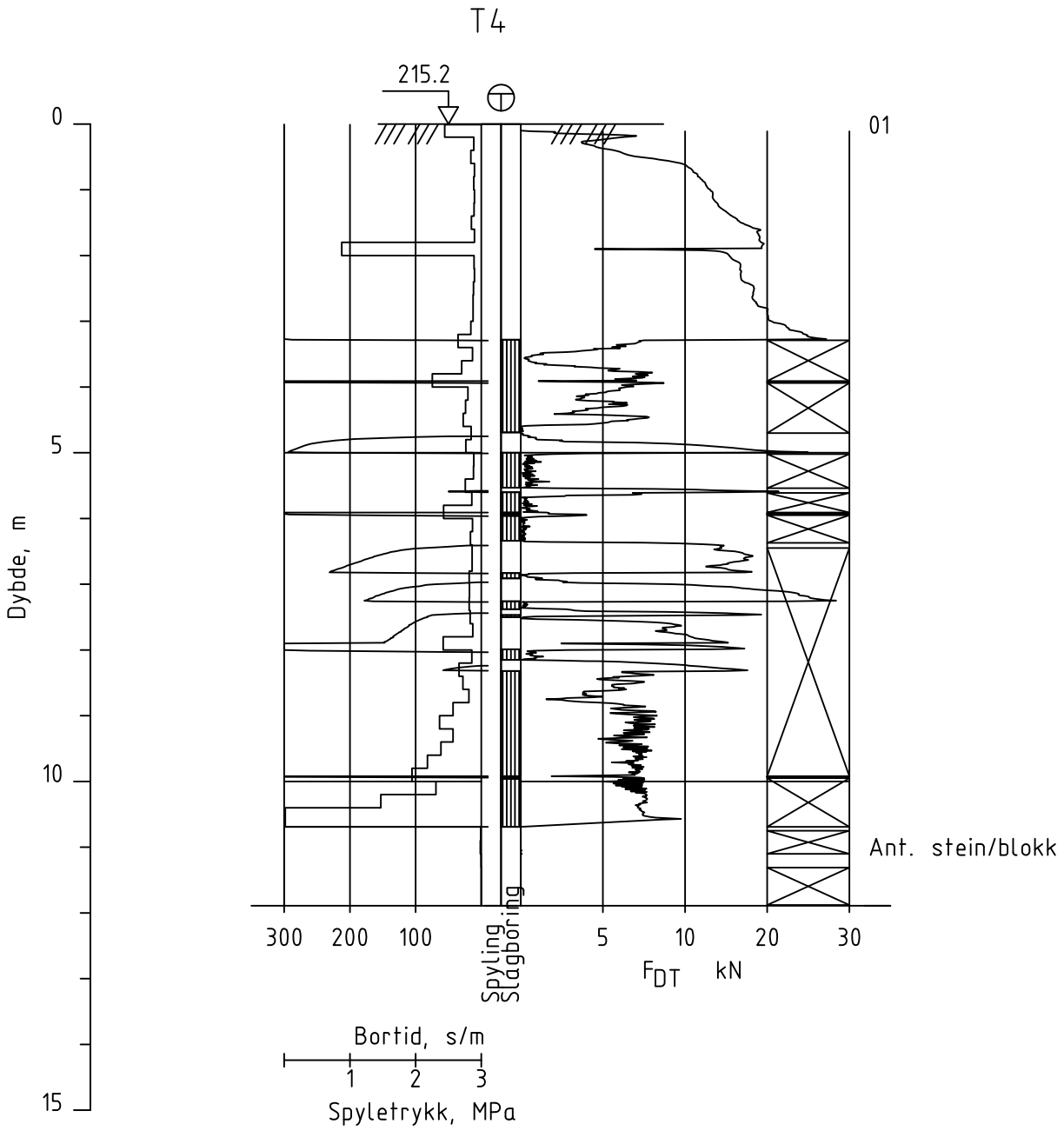
ELVERUM KOMMUNE

VSO CONSULTING
RÅDHUSVEGEN 4, 2050 JESSHEIM, NORGE TELF. +354 585-9000, E-POST vso@vso.no

MASTMOVEGEN BOFELLESSKAP
Boreresultater
Totalsondering 3
-

DESIGN. / TEGNET AV: GØB/HJA-GG
KONTROLERET AV: VÅÅ
GODKJENT AV:
ID.NO.
MÅLEST: 1:200
Dato 30.04.2015
PROSJEKT NO. 15121
TEGNING. NO. JA-V-JAT-03
REV. -

REV.	DATO	FORKLARING	TEGNET	DESIGN



TEGNFORKLARING:

ELVERUM KOMMUNE

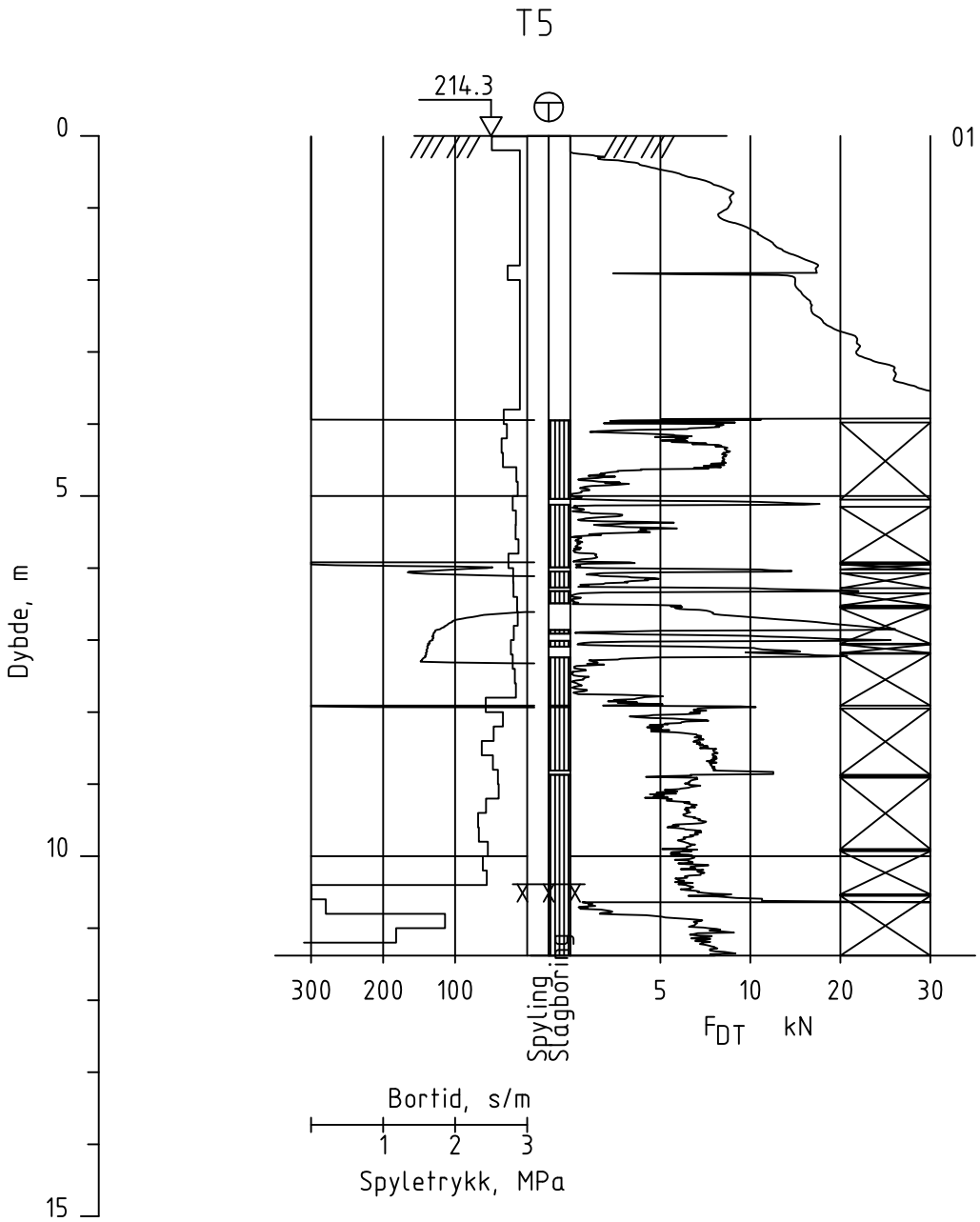
VSO CONSULTING
RÅDHUSVEGEN 4, 2050 JESSHEIM, NORGE TELF. +354 585-9000, E-POST vso@vso.no

MASTMOVEGEN BOFELLESSKAP
Boreresultater
Totalsondering 4
-

DESIGN. / TEGNET AV: GØB/HJA-GG
KONTROLERET AV: VÅÅ
GODKJENT AV:
ID.NO.
MÅLEST: 1:200
Dato 30.04.2015

REV.	DATO	FORKLARING	TEGNET	DESIGN

PROSJEKT NO.	TEGNING. NO.	REV.
15121	JA-V-JAT-04	-



TEGNFORKLARING:

ELVERUM KOMMUNE

VSO CONSULTING
RÅDHUSVEGEN 4, 2050 JESSHEIM, NORGE TELF. +354 585-9000, E-POST vso@vso.no

MASTMOVEGEN BOFELLESSKAP
Boreresultater
Totalsondering 5
-

DESIGN. / TEGNET AV: GØB/HJA-GG
KONTROLERET AV: VÅÅ
GODKJENT AV:
ID.NO.
MÅLEST: 1:200
Dato 30.04.2015
PROSJEKT NO. 15121
TEGNING. NO. JA-V-JAT-05
REV. -

REV.	DATO	FORKLARING	TEGNET	DESIGN

VSO CONSULTING BORGARTÚNI 20, 105 REYKJAVÍK, Telefon +47 917 97 301, vso@vso.is ELVERUM KOMMUNE	Mastmovegen Boliger Prøvehull 1	Utførende : Romerike	9 t Gravemaskin
		Plasser : ELVERUM	
		Feltpersonell: Kristín Arna, 15. april	
	Koordinater: X: 640334.73 Y: 6750674.21	Tegnet: KAI	Godkjent.: GÖB

Høyde [m.o.h.]	Dyb [m]	Beskrivelse	Dyb [m]	Jordart	Gr.vanns nivå [m]	Bunn [m]	Prøve [m]
214.278		10cm vegetasjon í overflaten					
	1,0	På dybde 0,1 m - 1,6m:	1,0				
		Veldig homogen lys skjellsand - fuktig, men ikke våt.					
	2,0	Grunnvannsnivå ble ikke funnet.	2,0				
	3,0	Visuelt klassifisering av steinstørrelse i sjellsanden er 100% mellom 1-2mm.	3,0				
		Skjellsanden er sannsynligvis i telefarlighetsklasse T2 ifølge skjønnsmessig vurderinger fra SVV håndbok V220, kapittel 13.					
	4,0		4,0				
	5,0	Totalsondering i nærheten fant fjell på ca 10 m dybde og grunnvannsnivå på ca 3,5 m dybde.	5,0				
	6,0	En poseprøver bli tatt fra hullet, dette ble sendt til laboratoriet i følgende undersøkelser :	6,0				
	7,0	• Kornfordelingsanalyse (Ifølge Statens vegvesen 14.432 Kornfordeling ved sikting) • Vanninnhold (ifølge SVV 14.426 Vanninnhold) • Romvekt (ifølge SVV 14.4281)	7,0				
	8,0		8,0				
	9,0		9,0				
	10,0		10,0				

Bilde:

Bilde av prøvehull 1, 9 t gravemaskin

Plassering:

Plassering av prøvehull 1

VSO CONSULTING BORGARTÚNI 20, 105 REYKJAVÍK, Telefon +47 917 97 301, vso@vso.is ELVERUM KOMMUNE	Mastmovegen Boliger Prøvehull 2	Utførende : Romerike	9 t Gravemaskin
		Plasser : ELVERUM	
		Feltpersonell: Kristín Arna, 15. april	
	Koordinater: X: 640361.29 Y: 6750679.16	Tegnet: KAI	Godkjent.: GÖB

Høyde [m.o.h.]	Dyb [m]	Beskrivelse	Dyb [m]	Jordart	Gr.vanns nivå [m]	Bunn [m]	Prøve [m]
214.869		10cm vegetasjon í overflaten					
	1,0	På dybde 0,1 m - 2,7m:	1,0				
		Veldig homogen lys skjellsand - fuktig, men ikke våt.					
	2,0		2,0				
		Grunnvannsnivå ble ikke funnet.					
	3,0		3,0				
		Totalsondering i nærheten fant fjell på ca 10 m dybde og grunnvannsnivå på ca 3,5 m dybde.					
	4,0		4,0				
		Visuelt klassifisering av steinstørrelse i sjellsanden er 100% mellom 1-2mm.					
	5,0	Skjellsanden er sannsynligvis i telefarlighetsklasse T2 ifølge skjønnsmessig vurderinger fra SVV håndbok V220, kapittel 13.	5,0				
	6,0		6,0				
	7,0		7,0				
	8,0		8,0				
	9,0		9,0				
	10,0		10,0				

Bilde:

Bilde av prøvehull 2, homogen lys skjellsand .

Plassering:

Plassering av prøvehull 2.

VSO CONSULTING BORGARTUNI 20, 105 REYKJAVÍK, Telefon +47 917 97 301, vso@vsois ELVERUM KOMMUNE	Mastmovegen Boliger Prøvehull 3	Utførende : Romerike	9 t Gravemaskin
		Plasser : ELVERUM	
		Feltpersonell: Kristín Arna, 15. april	
	Koordinater: X: 640344.23 Y:6750707.10	Tegnet: KAI	Godkjent.: GÖB

Høyde [m.o.h.]	Dyb [m]	Beskrivelse	Dyb [m]	Jordart	Gr.vanns nivå [m]	Bunn [m]	Prøve [m]
215.223		10cm vegetasjon í overflaten					
	1,0	På dybde 0,1 m - 3,2m: Veldig homogen lys skjellsand - fuktig, men ikke våt.	1,0				
	2,0		2,0				
		På dybder 3,2m - 3,5m: Avrundet steiner opp til 40 cm og lys skjellsand.					
	3,0	3,5m ned til morene, grusig sand og avrundet steiner.	3,0				
	4,0	Grunnvannsnivå ble ikke funnet.	4,0				
	5,0	Visuelt klassifisering av steinstørrelse i sjellsanden er 100% mellom 1-2mm.	5,0				
	6,0	Skjellsanden er sannsynligvis i telefarlighetsklasse T2 ifølge skjønnsmessig vurderinger fra SVV håndbok V220, kapittel 13.	6,0				
	7,0	Totalsondering i nærheten fant fjell på ca 10 m dybde og grunnvannsnivå på ca 3,5 m dybde.	7,0				
	8,0	En poseprøver bli tatt fra hullet, dette ble sendt til laboratoriet i følgende undersøkelser :	8,0				
	9,0	• Kornfordelingsanalyse (Ifølge Statens vegvesen 14.432 Kornfordeling ved sikting)	9,0				
	10,0	• Vanninnhold (ifølge SVV 14.426 Vanninnhold) • Romvekt (ifølge SVV 14.4281)	10,0				

Bilde:

Bilde av prøvehull 3, homogen lys skjellsand.

Plassering:

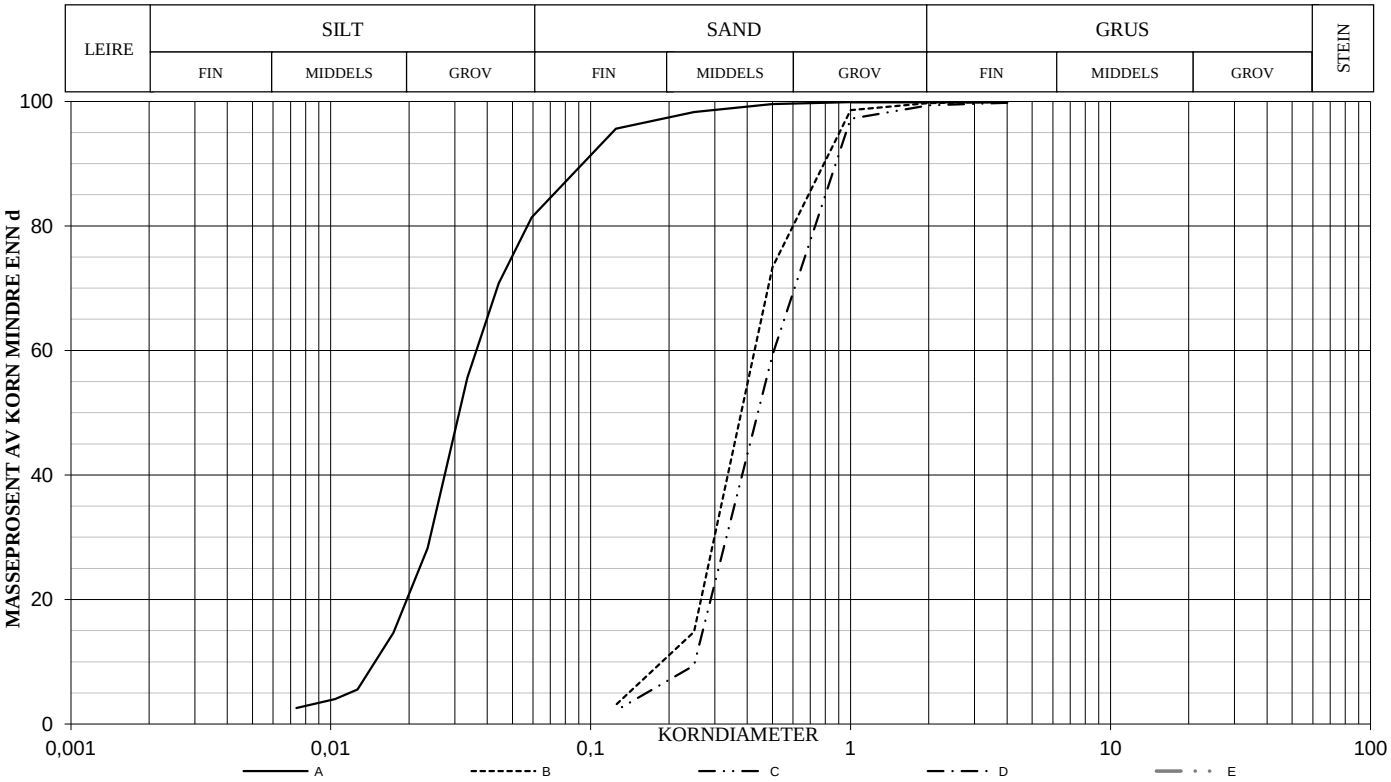
Plassering av prøvehull 3.

Bilag C Geoteknisk Laboratorieundersøkelser,

- Kornfordelingsanalyse
- Vanninnhold
- Romvekt

NB Sampel fra Silten er fra Elverum Helsehus

SYMBOL	SERIE NR.	DYBDE (m)	JORDARTS BETEGNELSE	Anmerkninger	METODE TS	VS	HYD
A	Hull 1	Prøve 1	SILT			X	X
B	Hull 1	Prøve 2	SAND		X		
C	Hull 4	Prøve 1	SAND		X		
D							
E							



SYMBOL:

Ogl. = Glødetap (%)

Ona. = Humusinnhold (%)

Perm. = Permeabilitet (m/s)

$$C_z = \frac{D^2_{30}}{(D_{60})(D_{10})}$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

METODE:

TS = Tørr sikt

VS = Våt sikt

HYD = Hydrometer

SYMBOL	Prøve	W %	Su kN/m2	Su r kN/m2	Plastisitet Wf	Wp	Glødetap Ogl %	Romvekt våt g/cm³	Romvekt tørr g/cm³	D_{10} mm	D_{30} mm	D_{50} mm	D_{60} mm
A	1-1	23,2						Ikke mulig pga klumper	1,11	0,0150	0,0242	0,0315	0,0367
B	1-2	5,9						1,20	1,39	0,1987	0,3149	0,4003	0,4430
C	4-1	5,0						1,08	1,41	0,2531	0,353	0,4535	0,5094
D													
E													

KORNGRADERING

VSO CONSULTING AS

ELVERUM Grønndalsbakken - Mastmovegen

Konstr./Tegnet	Kontrollert
GEO	GUOO
Godkjent	Dato
GEO	29.04.15

Multiconsult
www.multiconsult.no

OPPDRAG NR.	TEGN.NR	REV.
127590	60	00

Bilag D Geotekniske beregninger,

- Bæreevne beregninger
- Setnings beregninger

Bæreevne - effektivspenningsanalyse
Seksjon 6.2, håndbok V220

	Skal fylles ut
	Beregnes automatically

a)

φ:	33	°
tan φ:	0,649408	
a	0	kpa
Dybde Grunnvann	3,5	m

b)

Materialfaktor γM:	1,3	
tan φd:	0,499544	

c)
Ytre laster, dvs. vertikallast Fv og horisontallast Fh samt moment M bestemmes.
Det medtas statiske drenerte laster (vekt av konstruksjon) og kortvarige udrenerte tilleggslaster (trafikk etc.). Partialfaktorer for lastvikninger γF, bestemmes i henhold til NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 (se kapittel 0 og håndbok N400;).

Vertikallast Fv=Fvd+Fvu	300	KN/m
Horisontallast Fh=Fhd+Fhu:	80	KN/m
Moment M=Md+Mu:	80	KNm/m

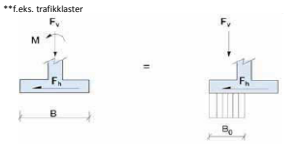
Statisk, drenert vertikal lastandel Fvd*: 300 KN/m
Udrenert vertiakl lastandel Fvu**: 0 KN/m

*f.eks. Egenvekt
**f.eks. trafikklaster

d)

Fundamentbredde B:	1,5
Effektiv fundamentbredde B0:	0,966667

$$B_0 = B - 2 \cdot \left|\frac{M}{F_v}\right|$$



Figur 6.1 Effektiv sålebredde B_0.

e)

Vertikaltrykk under sålen qv: 310,3448

$$\bar{q}_v = \frac{F_v}{B_0} = \frac{F_{vd} + F_{vu}}{B_0}$$

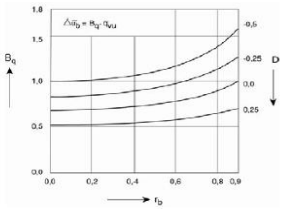
f)

Bq:	0,35
qvu=Fvu/B0:	0
Δub:	0
rb	0,53

Bq: Poreovertrykksresponsfaktor (fra diagr. i SVVs hb016, kap.6)

$$r_b = \frac{\bar{\tau}_b}{\left(\bar{q}_v + a - \Delta\bar{u}_b\right) \cdot \tan\phi_d} = \frac{F_h / B_0}{\left(\bar{q}_v + a - B_q \cdot \bar{q}_{vu}\right) \cdot \tan\phi_d}$$

a = attraksjon for masser under såle
$\bar{q}_{vu} = \bar{q}_v - \bar{q}_{vd}$ = udrenert andel av vertikaltrykk
$\Delta\bar{u}_b = B_q \cdot \bar{q}_{vu}$ = udrenert poreovertrykk
B_q = poretrykksresponsfaktor, se figur 6.2



Figur 6.2 Poreovertrykksresponsfaktor B_q (D = poretrykksparameter, det vises til kapittel 2, 3 og 4).

Horisontalt terreng foran støttemur og landkar		Skrått terreng foran støttemur og landkar	
ruhet r_b	materiale under såle	ruhet r_b	materiale under såle
≤ 0,9	sand, grus og sprengstein	≤ 0,8	grus og sprengstein
≤ 0,8	leire og silt *	≤ 0,7	leire, silt og sand*

*Det forutsettes at leire/silt er uforstyrret, drenert og ufrossen, slik at fundamentet ikke kan gli på underlaget.

Jordart	D-parameter
Umettede og sterkt overkonsoliderte leirer	D = + 0,5
Svakt overkonsoliderte Leirer	D = 0
Normalkonsoliderte leirer	0 ≥ D ≥ -0,5
Kvikkleirer	-0,5 ≥ D ≥ -1

Figur 2.40 Poretrykksparametere D i leire og leirig silt.

Poretrykksparameteren: D = -0,25. (jordart = siltig sand).
Page 6-18

g)

Bæreevnefaktor*

Nq:	12
Nγ	8
Nu:	3,75

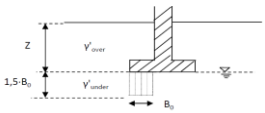
h)

h) Midlere vertikal bæreevne ($\bar{\sigma}_v$) beregnes etter formelen:

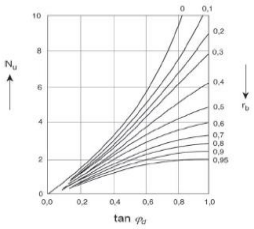
$$\bar{\sigma}_v = N_q \cdot (p' + a) + \tfrac{1}{2} \cdot N_\gamma \cdot \gamma'_{under} \cdot B_0 - N_u \cdot \Delta\bar{u}_b - a$$

der:
$p' = \gamma'_{over} \cdot z$ = vertikalt effektivt overlagringstrykk ved u.k. såle (det må vurderes om massene foran fundamentet midlertidig kan bli fjernet), hvor
γ'_{over} = effektiv tyngdetetthet av massene over sålenivå.
γ'_{under} = midlere effektiv tyngdetetthet under såle i dybde inntil 1,5 ganger B_0
$\Delta\bar{u}_b$ = udrenert poreovertrykk mot u.k. såle pga. kortvarig tilleggslast F_{vu}, se f)

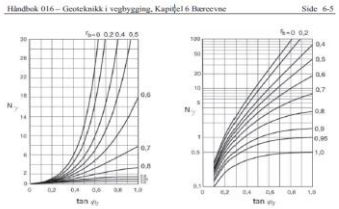
γ'over:	14	kN/m3
γ'under:	14	kN/m3
z:	2	m
p':	28	kN/m2
σv:	390,1333	Kpa



Krav: σv > qv	Ok

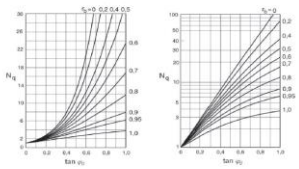


Figur 6.6 Bæreevnefaktor N_q (etter Nordal, 1989, Ref. 4)



Figur 6.5 Bæreevnefaktor N_γ vist med lineær og med logaritmisk skala. (etter Janbu m. fl. 1976, Ref. 3)

g) Bæreevnefaktorene N_q, N_γ og N_u tas ut fra figur 6.4, 6.5 og 6.6.



Figur 6.4 Bæreevnefaktor N_q vist med lineær og med logaritmisk skala. (etter Janbu m.fl. 1976, Ref. 3)

Setningsbergninger

Width of fundament	1,5	m
Strip load (linjelast)	300	kN/m
Strip load/width	200	kN/m2
m, sand	200	
m, morene	400	

Spenningsfordeling
Braja M Das

Elevation [	Material	Unit weight kn/m3	preassure kn/m2	waterpreassure kn/m2	effective pressure kn/m2	x=0 z	2z/B	Table 9.3 bis 235 Load factor	Additional load kN/m2	ε [%]	Δδ [mm]	δ [mm]
214	Skjellsand	16,5	0	0	0							
213,5	Skjellsand	16,5	8,25	0	8,25							
213	Skjellsand	16,5	16,5	0	16,5							
212,5	Skjellsand	16,5	24,75	0	24,75							
212	Skjellsand	16,5	33	0	33	0	0	1	200	0,00952	0,00476	0,00476
211,5	Skjellsand	16,5	41,25	9,81	31,44	0,5	0,666667	0,937	187,4	0,009186	0,004593	0,009353
211	Skjellsand	16,5	49,5	9,81	39,69	1	1,333333	0,725	145	0,00729	0,003645	0,012998
210,5	Skjellsand	16,5	57,75	9,81	47,94	1,5	2	0,55	110	0,005644	0,002822	0,01582
210	Skjellsand	16,5	66	9,81	56,19	2	2,666667	0,447	89,4	0,00457	0,002285	0,018105
209,5	Morene	20	76	9,81	66,19	2,5	3,333333	0,364	72,8	0,003654	0,001827	0,019932
209	Morene	20	86	9,81	76,19	3	4	0,306	61,2	0,001496	0,000748	0,02068
208,5	Morene	20	96	9,81	86,19	3,5	4,666667	0,268	53,6	0,00127	0,000635	0,021315
208	Morene	20	106	9,81	96,19	4	5,333333	0,248	49,6	0,001133	0,000567	0,021881
207,5	Morene	20	116	9,81	106,19	4,5	6	0,166666667	33,33333333	0,000754	0,000377	0,022258
207	Morene	20	126	9,81	116,19	5	6,666667	0,085333333	17,06666667	0,000382	0,000191	0,022449
206,5	Morene	20	136	9,81	126,19	5,5	7,333333	0,004	0,8	1,78E-05	8,89E-06	0,022458
206	Morene	20	146	9,81	136,19	6	8		0	0	0	0,022458
205,5	Morene	20	156	9,81	146,19	6,5	8,666667		0	0	0	0,022458
205	Morene	20	166	9,81	156,19	7	9,333333		0	0	0	0,022458
204,5	Morene	20	176	9,81	166,19	7,5	10		0	0	0	0,022458
204	Morene	20	186	9,81	176,19	8	10,66667		0	0	0	0,022458
											Total setninger	**0,0225** m

2,2 cm

Analysis for sands and silts after Janbu

For sands and silts the stress exponent j receives the value around 0,5, for the reference stress σ_r = 100 kPa the resulting settlement equals to the sum of partial settlements of individual layers. It can be derived from the following formula:

$$s_i = \frac{h_i}{5.m_i}.\left(\sqrt{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}} - \sqrt{\sigma_{or,i}}\right)$$

where:		
	$\sigma_{or,i}$	vertical component of geostatic stress in the middle of ith layer
	$\sigma_{z,i}$	vertical component of incremental stress (e.g. stress due to structure surcharge) inducing layer compression
	m_i	Janbu modulus in the ith layer
	h_i	thickness of the ith layer

33 Setningsfare

Setninger kan oppstå når en jordart utsettes for større belastning enn den tidligere har hatt. Kornskjelettet trykkes da sammen slik at porevann presses ut. Slik belastning kan f.eks. komme fra en bygning eller oppfylte masser. Setninger kan også oppstå hvis grunnvannsstanden senkes pga. utgraving eller drenering.

Det blir størst setning i vannrike jordarter, slik som i leire og organiske jordarter. Dersom en mer grovkornet, mineralsk jordart er forurenset med organiske materialer, kan også denne jordarten gi store setninger. Meget løst lagret sand kan også gi en del setninger. På grunn av sandens ofte ujevne lagringstetthet kan det oppstå små, men skarpe setningsdifferanser som vil være skadelige for bygget.

Hvis tomta inneholder tette jordarter, f.eks. leire, kan setningene utvikle seg over meget lang tid, ofte flere år. Jordarter som slipper igjennom mye vann, f.eks. sand, gir ofte momentane setninger. Det er først og fremst setningsforskjeller mellom de ulike delene av fundamentene som kan gi skader på bygninger. Setningsforskjeller gir en setningshelning som vist i fig. 33. Se også tabell 33.

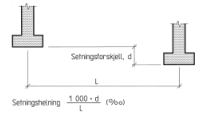


Fig. 33
Setningsforskjell og setningshelning

Tabell 33
Setningshelning og skade på bygninger
Orienterende verdier

Setningshelning, ‰	Skade
< 2	Ingen synlige skader på vanlige bygg
2 – 3	Synlige, stort sett ufarlige skader
3 – 7	Konstruktive skader
> 7	Ødeleggende skader

Janbu characteristics

Values of the Janbu modulus m and of stress exponent j (according Canadian Foundation Engineering Manual 1992)

Soil	Janbu modulus m	Stress index j
Very dense to dense till, glacial till	1000 – 300	1
Gravel	400 – 40	0.5
Dense sand	400 – 250	0.5
Medium condition sand	250 – 150	0.5
Loose sand	150 – 100	0.5
Dense silt	200 – 80	0.5
Medium condition silt	80 – 60	0.5
Loose silt	60 – 40	0.5
Hard to very stiff clay	60 – 20	0
Medium to stiff clay	20 – 10	0
Soft claye silt	10 – 5	0
Soft marine clays	20 – 5	0
Organic clays	20 – 5	0
Peats	5 – 1	0

Referencer:
http://www.finesoftware.eu/help/geo5/en/janbu-characteristics-01/

http://www.fig.ol.no/~atso0701/NS%20tabeller/511101.pdf

Bilag E Geoteknisk Rapport om skjellsand/grus

SKELJAGRÚS

Tillögur að notkun

Jón Skúlason
Pálmi R. Pálmason
Eyjólfur Á. Rafnsson
Sigurður R. Helgason

MARS 2005

EFNISYFIRLIT

1 INNGANGUR 2

2 SKILGREINING VERKS 3

3 RANNSÓKNIR 2004 3

3.1 RANNSÓKNARSTAÐUR 3
3.2 SÁLDURFERILL 4
3.3 PLÖTUPRÓF 4
3.3.1 Framkvæmd prófa 4
3.3.2 Mælingar 5
3.3.3 Niðurstöður útreikninga samkvæmt Janbu (8) 7

4 NIÐURSTÖÐUR ELDRI RANNSÓKNA Á SKELJAGRÚS 9

4.1 SÁLDURFERLAR 9
4.2 BERGGREINING 10
4.3 NIÐURBROT 10
4.4 BURÐARÞOLSPRÓFANIR 10
4.5 SIG 11
4.6 EFTIRLITSPRÓF 11
4.7 SAMANBURÐUR VIÐ ÖNNUR FYLLINGAREFNI 12

5 TILLAGA AÐ NOTKUN Á SKELJAGRÚSAR Í VEGA- OG GATNAGERÐ ÁSAMT GRUNDUN HÚSA 13

5.1 ALMENNT 13
5.2 TILLAGA AÐ NOTKUN SKELJAGRÚSAR Í VEGI, GÖTUR OG PLÖN MEÐÞUNGRI UMFERÐ 13
5.3 TILLAGA AÐ NOTKUN SKELJAGRÚSAR Í VEGI, GÖTUR OG PLÖN MEÐ LÉTTRI UMFERÐ 13
5.4 TILLAGA AÐ NOTKUN SKELJAGRÚSAR UNDIR HÚS 13
5.5 EFTÍRLIT MEÐ ÞJÖPPUN FYLLINGA 14

6 NIÐURSTÖÐUR 14

7 HEIMILDIR 15

8 LISTI YFIR TÁKN 16

1 INNGANGUR

Undanfarin ár hefur Björgun hf. selt verulegt magn af skeljagrús í fyllingar og þá aðallega í undirfyllingar við hafnar- og gatnagerð en einnig undir hús á Stór-Reykjavíkursvæðinu. Reynslan af efninu er að flestu leyti góð og bendir til þess að nota megi efnið í meira mæli t.d. í fyllingu undir hús. Til þess að athuga möguleika á að auka notkunarsvið skeljagrúsar var myndaður vinnuhópur á vegum Björgunar hf. Efnið var rannsakað nánar ásamt því að fara betur yfir niðurstöður fyrri rannsókna. Í vinnuhópnum eru; Sigurður R. Helgason forstjóri Björgunar hf. og verkfræðingarnir Eyjólfur Á. Rafnsson, Jón Skúlason og Pálmi R. Pálmason. Í skýrslu þessari er gerð grein fyrir helstu niðurstöðum vinnuhópsins.

Mynd 1.1 Dæling á efni

Samanburður (sjá heimild 5) við niðurstöður fyrri rannsókna bendir til þess að plötupróf henti vel við mat á þjöppun bögglabergs ef fínefnishlutfall er nægilega hátt til að efsti hluti fyllingarinnar bindist vel. Aftur á móti er plötupróf óhentug aðferð til að meta þjöppun fínefnasnauðrar Björgunargrúsar þar sem efnið skortir bindingu í efstu 10 til 20 cm sem hins vegar verða ráðandi um niðurstöður mælinganna. Slíkt próf mælir þannig ekki raunverulega þjöppun fyllingarinnar vegna veikleika í efsta laginu sem á hinn bóginn breytist þegar næsta lag er valtað, hvort sem það er nýtt fyllingarlag eða slitlag. Í ljósi þessa er óráðlegt að nota plötupróf til að meta þjöppun Björgunargrúsar nema fínefnishlutfall grúsarinnar sé minnst 4%.

Niðurstöður mælinga á skeljagrús benda til þess að efnið bindist sæmilega og því sé mæling með plötuprófi nægilega nákvæm. Við eftirlit með þjöppun fyllinga er lagt til að miða einkum við notkun þjöppumælis í valta og að tækið sé skalað við niðurstöður úr plötuprófum. Í eftirfarandi greinargerð er m.a. fjallað um eftirlit með þjöppun skeljagrúsar.

2 SKILGREINING VERKS

Verkið felur í sér:

- Gera grein fyrir rannsóknum á skeljagrús árið 2004.
- Fara yfir eldri rannsóknir á skeljagrús.
- Bera niðurstöður rannsókna á skeljagrús saman við svipaðar rannsóknir á öðrum fyllingarefnum (Björgunargrús og bögglabergi).
- Fara yfir fyrri tillögur um notkun skeljagrúsar í vega- og gatnagerð og í fyllingu undir hús.
- Gera tillögu að jarðtæknilegum hönnunarforsendum fyrir skeljagrús.

3 RANNSÓKNIR 2004

3.1 Rannsóknarstaður

Valið var að prófa skeljagrús í Færslu Hringbrautar en þar er skeljagrús notuð í undirfyllingar en verktakinn er Háfell hf. Tilraunasvæðið er á fyllingingu úr skeljagrús austan gatnamóta Hringbrautar og Njarðargötu, sjá mynd 3.1. Fyllingin er skeljagrús niður á klöpp, alls um 4 m þykk. Grunnvatn var í um 1 m dýpi þegar fyllingin var rannsökuð með plötuprófi. Efnið hafði verið lagt út í um 0,6 m þykkum lögum sem voru völtuð með Ham titurvalta, 12,2 tonn á þyngd, fremri tromla. Valtinn fór 6-8 yfirferðir og var fylgst með þjöppun með þjöppumæli í valtanum.

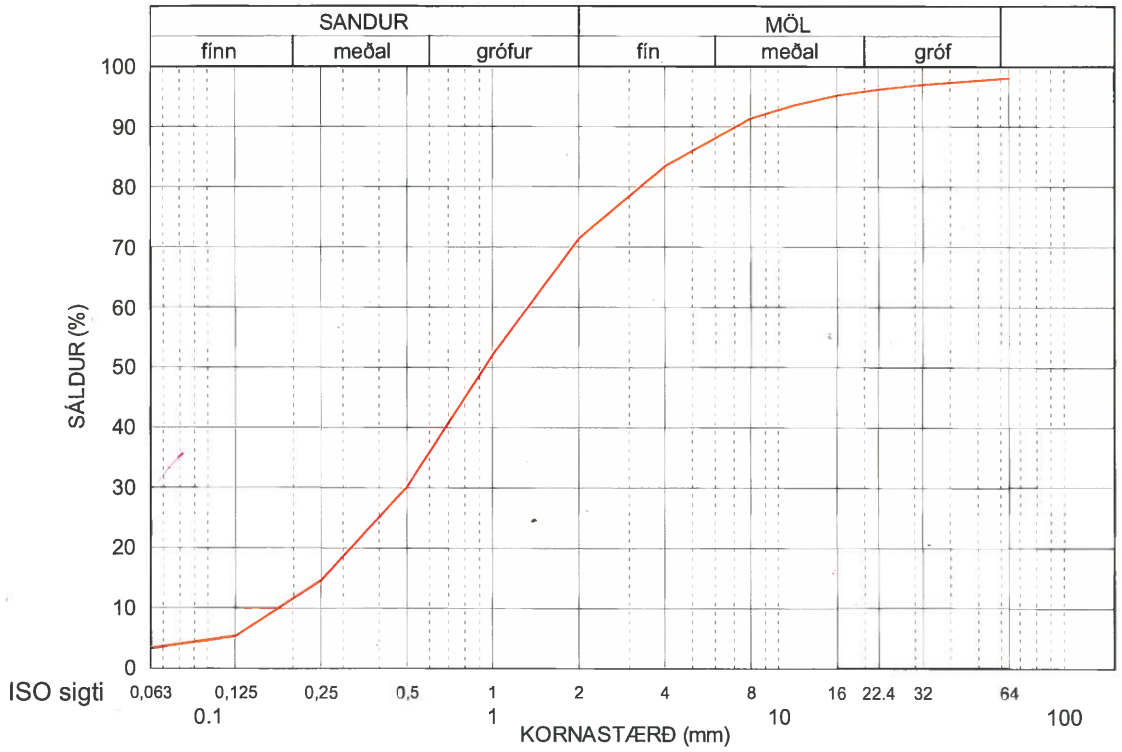
Mynd 3.1 Fylling í Færslu Hringbrautar

3.2 Sáldurferill

Ákvörðuð var kornadreifing sýnis með sigtun. Fyrst var efnið votsigtað og síðan sigtað í sigtivél. Í aðalatriðum er prófað samkvæmt Statens vegvesen. Laboratorieundersøkelser. Retningslinjer. Kornfordeling ved våtsigting med slemmeanalyse, 14.434. Tölulegur sáldurferill sýnisins er í töflu 3.1 og jafnframt á línuriti, mynd 3.2. Samanburður við aðrar athuganir á skeljagrús sýna að efnið í fyllingunni við Hringbraut er grófara en algengast er en samt innan eðlilegra marka, sjá kafla 4.1.

Tafla 3.1 Sáldurferill sýnis

Nr (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16	22,4	32	64
%	3,5	5,5	14,7	30,3	52,3	71,6	83,6	91,5	93,6	95,3	96,3	97,1	98,2



Mynd 3.2 Sáldurferill sýnis

3.3 Plötupróf

3.3.1 Framkvæmd prófa

Í aðalatriðum er prófað samkvæmt Statens vegvesen. Felt-undersøkelser. Retningslinjer. Platebelastning, 15.328. Gerð voru þrjú próf á hverja plötustærð og reiknað meðalgildi, sbr. eftirfarandi. Við prófin var álag aukið 1 tonns þrepum upp í 6 tonn sem var hæsta álag. Álag var tekið af plötunni og aukið aftur í 6 tonn í 1 tonna þrepum. Við hvert álagþrep var platan látin stöðvast og sig mælt.

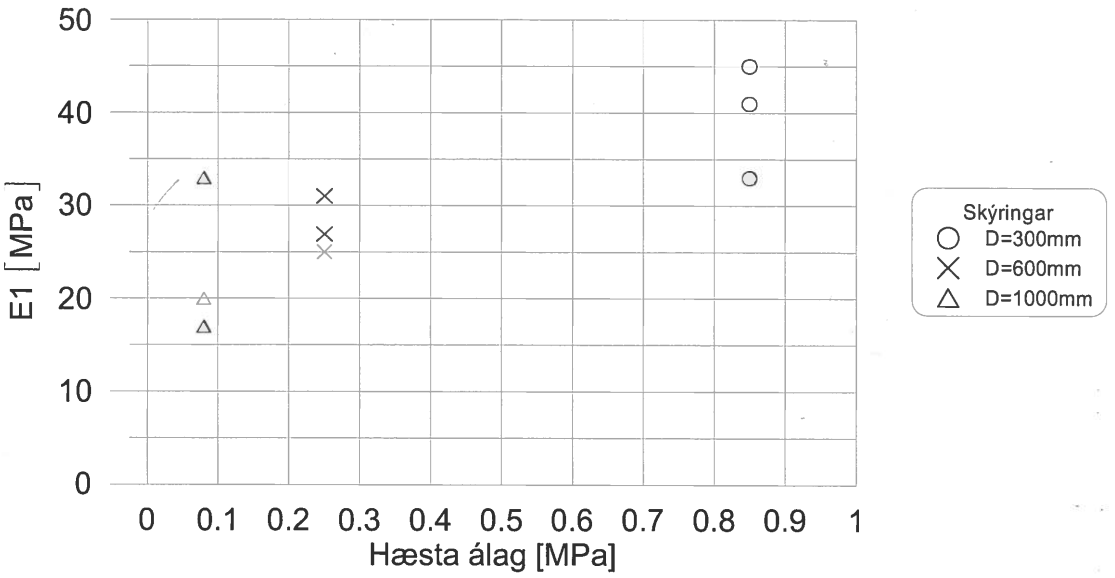
3.3.2 Mælingar

Niðurstöður úr plötuprófum samkvæmt sömu reikniaðferð og notuð er í staðlinum (15.328) og af Rb eru sýndar í töflu 3.2.

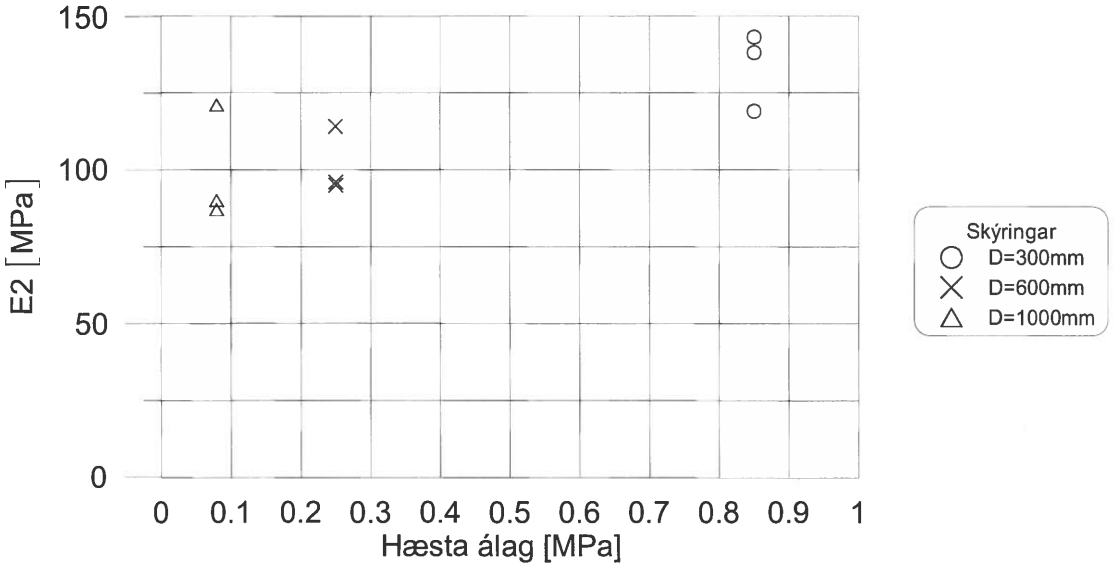
Hæsta álag var 6 tonn við öll prófin. Við Ø 30 cm plötu var hæsta flatarálag 0,849 MPa (84,9 t/m²), á Ø 60 cm plötuna 0,2476 MPa og á Ø 100 cm plötuna 0,07639 MPa, þeas. mjög mikið álag, miðlungsálag og lítið álag. Niðurstöður annars vegar varðandi E1 eru sýndar á mynd 3.3 og hins vegar varðandi E2 á mynd 3.4.

Tafla 3.2 Niðurstöður úr plötuprófum

Plata Þvermál cm	Próf	Mælt E1 (MPa)	Mælt E2 (MPa)	Meðaltal E1 (MPa)	Meðaltal E2 (MPa)
30	30-1	41	143		
	30-2	45	138		
	30-3	33	119	40	133
60	60-1	31	114		
	60-2	27	96		
	60-3	25	95	28	102
100	100-1	17	87		
	100-2	20	90		
	100-3	33	121	23	99



Mynd 3.3 Niðurstöður úr plötuprófum, samband E1 og álags



Mynd 3.4 Niðurstöður úr plötuprófum, samband E2 og álags

Samanburður við niðurstöður fyrri prófa sýnir að E-gildin hér eru tiltölulega há fyrir efnið og að þau eru bæði háð plötustærð og álagi. Við sama álag á flatareiningu hækka E-gildin með plötustærð og jafnframt með auknu álagi, sjá heimild 5.

Einnig var til samanburðar fylgst með þjöppumæli í valta og auk þess mælt með falllóði áður en plötupróf voru gerð. Niðurstöður þeirra mælinga eru sýndar í töflu 3.3.

Tafla 3.3 Samanburður á niðurstöðum mælinga með þjöppumæli, falllóði og plötuprófi

Plata	Plötupróf			Falllóð	Þjöppumælir	
Þverm. cm	Próf	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E_{mod}	CMVp	CMVf
30	30-1	41	143	206	58	58
	30-2	45	138	202	63	65
	30-3	33	119	199	68	69
60	60-1	31	114	194	64	69
	60-2	27	96	165	61	63
	60-3	25	95	174	52	53
100	100-1	17	87	175	45	45
	100-2	20	90	179	47	36
	100-3	33	121	180	49	43

Niðurstöður í töflu 3.3 benda til þess að fyllingin sé nokkuð breytileg og virðast áhrif 100 cm plötunnar ná niður í veikari fyllingu eða verr þjappaða skeljagrús. Til þess á hinn bóginn að skynja betur og skilja áhrif breytileika milli staða og mismunandi dýptar þyrfti mun fleiri próf.

3.3.3 Niðurstöður útreikninga samkvæmt Janbu (8)

Niðurstöður mælinga úr plötuprófunum má t.d. setja fram samkvæmt aðferð Janbu (1971). Spennumótstaðan M er þá reiknuð með líkingunni:

$$M\ (constrained\ modulus) = (\partial\sigma / \partial\varepsilon) = m p_a (\sigma / p_a)^{1-a} \qquad (3.1)$$

Þar sem:

m er modultala

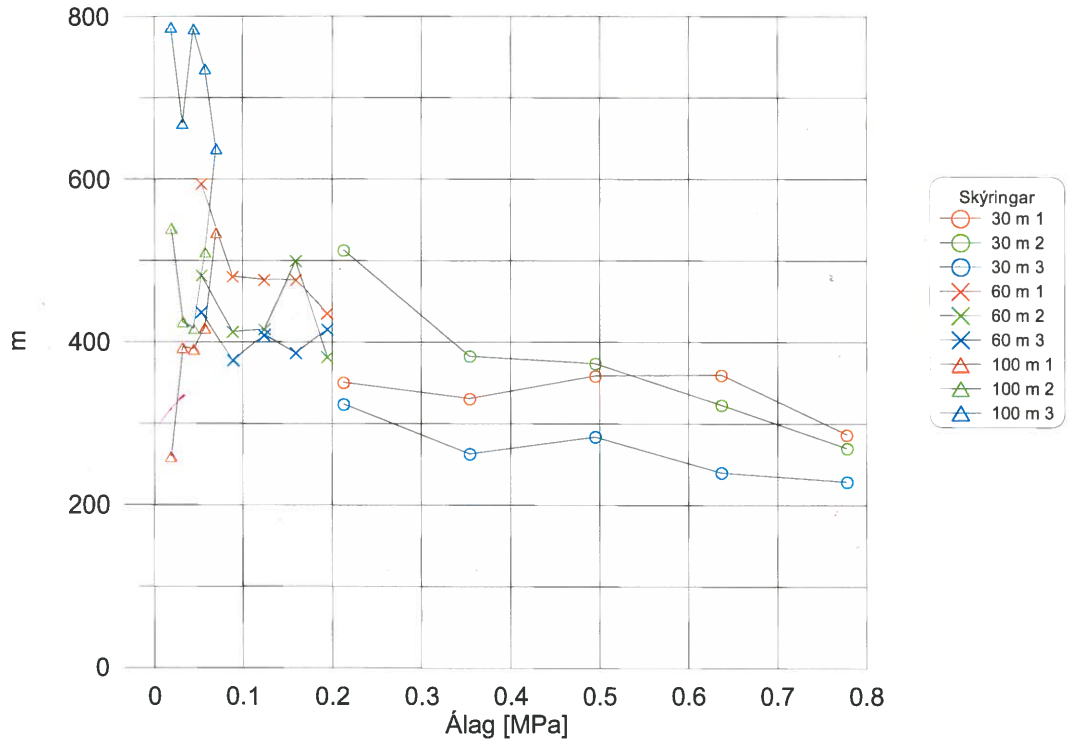
p_a er viðmiðunarspenna, 100kPa

a er álagsstuðull (0,5 fyrir sand og möl (grús) en 0 fyrir silt og leir)

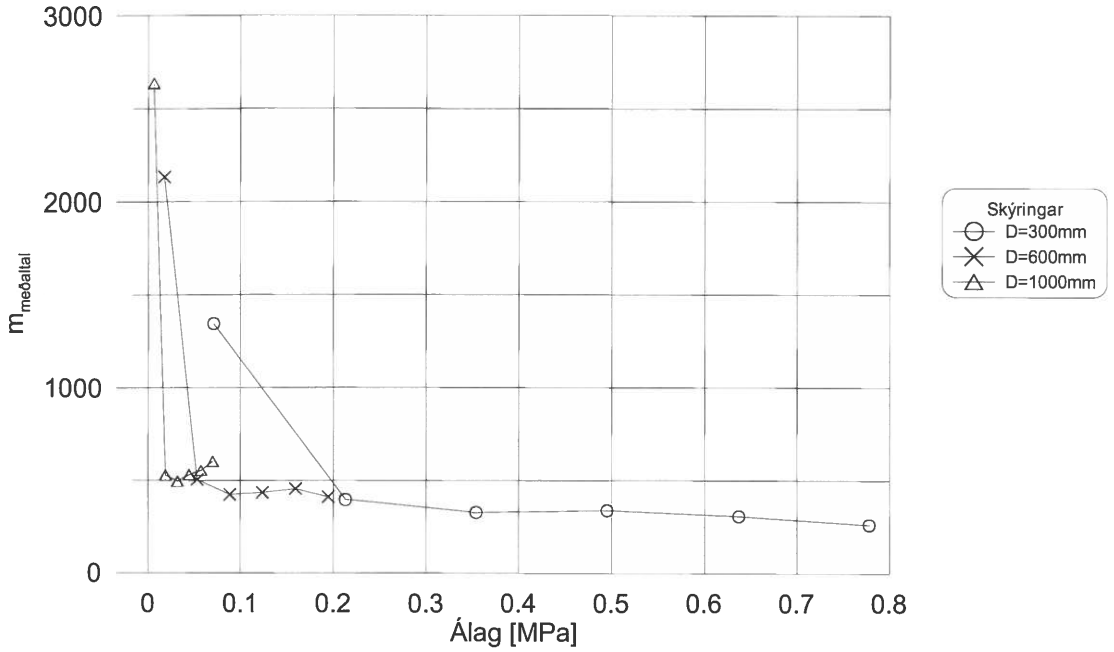
Samkvæmt því gildir eftirfarandi fyrir skeljagrúsina:

$$M = m\ \sqrt{0,1\sigma}\ (MPa) \qquad (3.2)$$

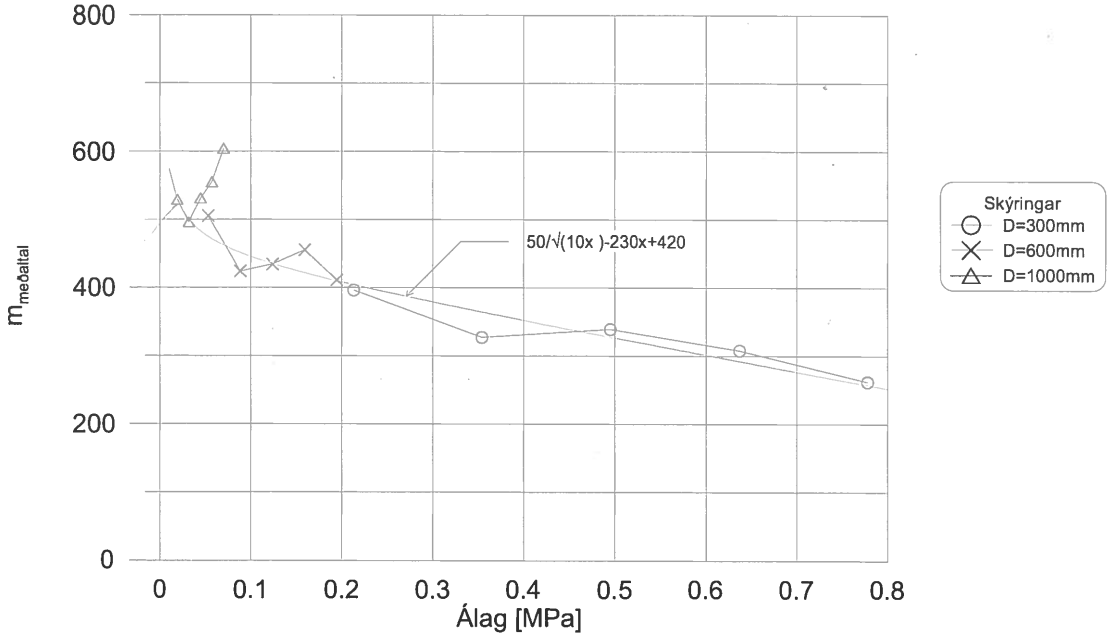
Niðurstöður plötuprófa samkvæmt slíkum útreikningum eru sýndar á mynd 3.5 fyrir hvert einstakt próf og á myndum 3.6 og 3.7 fyrir meðaltal hverrar plötustærðar.



Mynd 3.5 Samband m-gildis og álags fyrir hverja plötustærð



Mynd 3.6 Samband meðaltals m-gilda og álags fyrir hverja plötustærð



Mynd 3.7 Samband meðaltals m-gilda og álags fyrir hverja plötustærð þegar fyrsta álagsþrepi er sleppt

Niðurstöður mælinga koma gleggst fram á mynd 3.6 þar sem notað er meðaltal m-gilda og fyrsta álagþrepi sleppt. Á línuritinu er sýndur meðalferill breytinga á m með álagi.

Samanburðinum leiðir í ljós:

- Því lægra álag á flatareiningu, þeim mun hærra m-gildi amk innan mælisviðsins.
- m-gildi eru nokkurn veginn óháð plötustærð og álagi

- Meðalgildi m má nota fyrir mismunandi stærð á undirstöðu og fyrir breytilegt álag
- Þjöppun hefur áhrif á m-gildi upp að 0,2 MPa álagi en fyrir hærra álag eru áhrif þjöppunar óveruleg
- Niðurbrot í skeljagrús er lítið fyrr en álag er komið upp í 0,5 til 0,6 MPa, en niðurstöðurnar benda til þess að efnið taki þá að brotna niður.

Tillaga að viðmiðunargildi fyrir sigreikninga eru í töflu 3.4

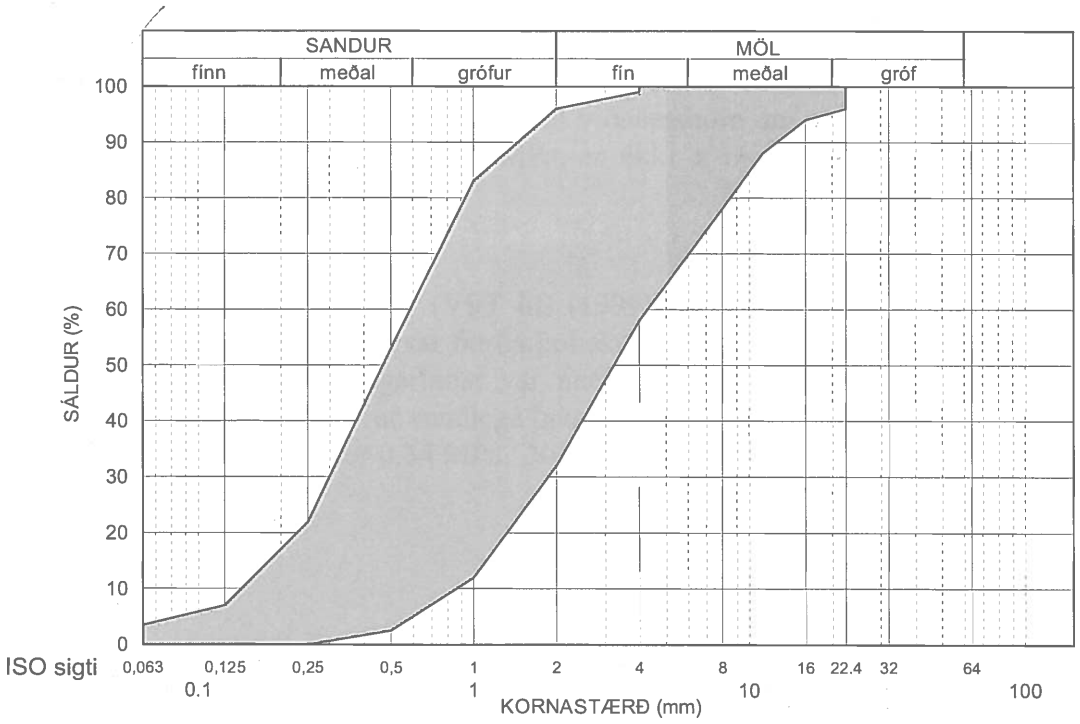
Tafla 3.4 Tillaga að viðmiðunargildum fyrir m og r_s

Efnisstuðull	Spenna (Álag á flatareiningu)			
	0-0,1 MPa	0,1-0,2 MPa	0,2-0,5 MPa	>0,5 MPa
m ($M=m\sqrt{0,1\sigma}$)	500	400	300	Óráðlegt
r_s	5000	4000	3000	Óráðlegt

4 NIÐURSTÖÐUR ELDRI RANNSÓKNA Á SKELJAGRÚS

4.1 Sáldurferlar

Á mynd 4.1 er sýnt það svæði sem mældir sáldurferlar skeljagrúsar liggja á. Jafnframt sýna niðurstöður að Cu er oftast hærra en 3 og Cc er yfirleitt á bilinu 1 til 3.



Mynd 4.1 Svæði sáldurferla skeljagrúsar

Þar sem:

$Cu = D_{60}/D_{10}$

$Cc = (D_{30})2/(D_{60}xD_{10})$

D_{60}, D_{30} og D_{10} svarar til möskvastærðar sigta sem: 60%, 30% og 10% efnisins smýgur.

4.2 Berggreining

Berggreining sýnir að efnið (0,06-9,5 mm) er um 90% skeljabrot en 5% basalt-ferskt og 5% basalt-ummyndað. Í gæðaflokkun fyrir bundið slitlag flökkast skeljagrús um 90% í 2. flokk og afgangurinn dreifist nokkuð jafnt í 1. og 3. flokk.

4.3 Niðurbrot

Niðurbrot í skeljagrús hefur verið mælt í Proctor prófi bæði Standard og Modified. Niðurbrotið er metið með svonefndum Bg stuðli. Í Standard Proctor prófi mældist lítið niðurbrot (Bg<6) en í Modified prófi frá miðlungi til mikils niðurbrots í efninu (Bg 5 til 10). Niðurstöðurnar benda til þess að við mikla þjöppunarvinnu brotni skeljagrús talsvert niður en niðurbrot sé lítið við tiltölulega litla þjöppunarvinnu. Hið sama kann að eiga við varðandi álag.

Verkfræðistofan Hönnun gerði frost-þíðu próf á skeljagrús 1995 samkvæmt staðlinum SS 13 72 44. Niðurstaða prófanna var að veðrunarþol skeljagrúsarinnar sé gott.

4.4 Burðarþolsprófanir

Þríásapróf:

Samkvæmt niðurstöðum í heimild 6 er mælt viðnámshorn um og yfir 40° í velþjappaðri skeljagrús við lægra lóðrétt álag en 1 MPa, en ekki er mælt með að nota hærra álag á efnið.

Plötupróf:

Við lagningu Suðurlandsbrautar (VST hf. (1999)) og við efnisskipti í húsgrunnum í Hafnarfirði (ÍSTAK hf.(1999)) var burðarþol skeljagrúsarfyllingar mælt með plötuprófi. Samhliða uppbyggingu fyllingarinnar var mælt beint á fyllinguna sem og á misþykk burðarlög. Í öllum tilvikum var vandlega þjappað efni prófað. Við plötuprófin var notuð 45 cm plata og hæsta álag var 0,34 MPa. Niðurstöður plötuprófa eru í töflu 4.1.

Tafla 4.1 Niðurstöður plötuprófa

Uppbygging fyllingar	E1 MPa	E2 MPa	E2/E1
Skeljagrús	30	55	1,83
	30	60	2,00
	45	90	2,00
Skeljagrús undir 0,6 m þykkri Björgunarmöl	95	180	1,89
	60	130	2,17
Skeljagrús undir 0,6 m möl og 0,2 m púkkmulningi	80	150	1,88
	80	190	2,38
	80	130	1,63
	70	140	2,00
Skeljagrús undir 0,3 m þykku bögglabergslagi	30	45	1,50
Skeljagrús undir 0,5 m þykku bögglabergslagi	50	110	2,20
	110	180	1,64
	110	160	1,45
	90	180	2,00
Skeljagrús undir 0,7 m þykku bögglabergslagi	60	110	1,83
	50	95	1,90
	80	140	1,75
	65	130	2,00

Skeljagrúsin var völtuð vel blaut í 0,5 til 0,7 m þykkum lögum með 12 tonna titurvalta. Björgunargrúsin og bögglabergið voru einnig völtuð vel blaut með sama 12 tonna valtanum. Björgunargrúsin þarna er gróft, kantað, slitsterkt efni, mun stöðugra í sér en venjuleg möl. Púkkmulningurinn er úr Bolöldu og uppfyllti kröfur Reykjavíkurborgar um efnisgæði. Bögglabergið er úr Vatnsskarði, frostþolið, gott efni. Í einum valtanum var þjöppumælir og mældist Ω<300 á skeljagrúsinni en >400 þegar hætt var að valta bögglabergið.

4.5 Sig

Nokkrar rannsóknir eru til þar sem skeljagrús hefur verið prófuð í sigtæki á rannsóknastofu. Sammerkt með þessum prófum var að ekki tókst að þjappa efnið jafnvel og tekst með þungum titurvalta. Því er valið að miða við reiknuð gildi úr plötuprófum upp að áætluðu álagi frá valta en miða við niðurstöður úr sigprófum við hærra álag. Í töflu 3.4 er tillaga að efnisstuðlum fyrir þjappaða skeljagrús samkvæmt þessum forsendum.

4.6 Eftirlitspróf

Mælt með að nota almennt þjöppumæli við eftirlit með þjöppun fyllinga fremur en að styðjast eingöngu við plötupróf. Við upphaf verks skal meta þjöppun bæði með þjöppumæli og plötuprófi nema fyrir liggi niðurstöður mælinga frá svipuðum aðstæðum og fyllingarefnum. Út frá samanburði á niðurstöðum þeirra mælinga skal ákveða viðmiðunargildi þjöppumælis fyrir þjöppun viðkomandi fyllingar. Miðað er við að þjöppuð skeljagrús mælist með E2 hærri en 60 MPa, Björgunarsandur hærra en 80 MPa og Björgunargrús hærra en 100 MPa en sérstök hágæðamöl og bögglaberg hærra en 120 MPa. Eins og kemur fram í inngangi hentar plötupróf ekki beint á fyllingar úr sandi og grús. Er því lagt til varðandi slík efni að lagt verði 20 til 30 cm þykkt lag af bögglabergi eða gæðamöl og prófið gert á það lag til að meta burðargildið (E2>80 og >100 MPa miðast við þessa útfærslu). Öll plötupróf skulu gerð með 45 cm plötu við

hæsta álag 0,34 MPa.

4.7 Samanburður við önnur fyllingarefni

Í töflu 4.2 eru helstu niðurstöður úr samanburði fyllingarefna samkvæmt kafla 4. Miðað er við efni lagt út í hæfilega þykku lagi valtað með titurvalta.

Tafla 4.2. Samanburður á fyllingarefnum

	Skeljagrús	Björgunarsandur	Björgunargrús	Bögglaberg
Fínefni	<5%	<5%	<5%	<5%
Cu	>3			
Cc	1<Cc<3			
Rúmþyngd, ljóst efni:				
Þjöppuð rúmþyngd (kN/m^3)	17	21	24	23
CBR gildi:				
CBR (Standard Proctor)	25	40	60	80
CBR (Modified Proctor)	30	50	70	100
Niðurbrot:				
Bg (Standard Proctor)	<6	<5	<3	<3
Bg (Modified Proctor)	5-10	<5	<3	<3
Sigstuðlar þjappað efni:				
m ($M=m\sqrt{0,1\sigma}$) (MPa)	300-500*	400-600*	600-800*	600-800*
r_s	3000-5000*	4000-6000*	6000-8000*	6000-10000*
c_v (cm^2/mín)	>20	>20	>20	>20
Skerstyrkur, þjappað efni:				
Viðnámshorn (°)**	40	40-45	42-50	45-55
Samloðun	0	0	0	0
Lekt:				
Þjappað efni, k (cm/sek)	10^{-2}	10^{-2}	10^{-1}	1
Plötupróf:				
E2 (MPa)	>60	>80***	>100***	>120

* Háð álagi á flatareiningu
** Háð álagi og þjöppun
*** Próf gert samkvæmt lið 4.6, þunnt lag af gæðaefni efst.

Í heimild 7 er gerð grein fyrir niðurstöðum athugana í dynamisku þríásatæki á ysjunarhættu í íslenskum jarðefnum. Þar voru m. a. rannsökuð skeljagrús og Björgunarsandur. Niðurstaðan var að líkur á að Björgunarsandur og skeljagrús ysjist í jarðskjálfta eru svipaðar.

5 TILLAGA AÐ NOTKUN Á SKELJAGRÚSAR Í VEGA- OG GATNAGERÐ ÁSAMT GRUNDUN HÚSA

5.1 Almennt

Samanburðar fyllingarefna í töflu 4.2 sýnir að skeljagrús er um margt það efni sem síst hentar í fyllingu en þó um flest mjög hliðstætt fínefnasnauðum, frostþolnum Björgunarsandi. Skeljagrús þjappast verr en góður köntóttur sandur og brotnar meira niður við völtun með þungum titurvalta. Skeljagrús er 10 -20% léttari en sandur með tilsvarandi kornadreifingu og er því hættara við útskolun. Lagt er til að skeljagrús verði einkum notuð neðan til í fyllingar, þ.e.a.s. neðan við 0,5 m frá yfirborði. Vegna þess hve óvenju létt skeljagrús er verður að gæta þess að síukröfum milli hennar og grófara efnis sem hún leggst að sé fullnægt og þó sérstaklega sé fyllingin neðan grunnvatnsborðs. Skeljagrús er nokkru síðra fyllingarefni en Björgunargrús og bögglaberg en væntanlega mun ódýrara og því hagkvæm þar sem ekki er þörf á hágæðaefni.

5.2 Tillaga að notkun skeljagrúsar í vegi, götur og plön meðþungri umferð

Gert er ráð fyrir að götur og plön séu hönnuð samkvæmt Vegbygging (1991). Sé miðað við umferðarmestu vegi og plön fyrir þunga bíla þarf ofan á einskorna sand minnst 0,5 m þykkt neðra burðarlag, 0,2 m þykkt efra burðarlag og síðan 100 mm þykkt malbik. Samkvæmt niðurstöðum úr plötuprófum fullnægir skeljagrús skilyrðum um fyllingu undir neðra burðarlag.

5.3 Tillaga að notkun skeljagrúsar í vegi, götur og plön með léttri umferð

Gert er ráð fyrir að götur og plön séu hönnuð samkvæmt Vegbygging (1991). Miðað er við umferðarlétta vegi, húsagötur og plön fyrir létta bíla þarf ofan á skeljagrúsina minnst 0,25 m þykkt neðra burðarlag, 0,10 m þykkt efra burðarlag og síðan 50 mm þykkt malbik. Samkvæmt niðurstöðum úr plötuprófum fullnægir skeljagrús skilyrðum um fyllingu undir neðra burðarlag.

5.4 Tillaga að notkun skeljagrúsar undir hús

Við hönnun húsa eru tvö meginskilyrði, annars vegar að ekki verði brot (skrið) í efninu undir undirstöðunni og hins vegar að sig sé innan tiltekinna marka.

Sem dæmi um notkun á skeljagrús er valið að reikna 1,0 x 1,0 m súluundirstöðu þar sem fyllt er að súlunni með 0,3 m þykkri möl ofan neðri brún undirstöðu. Grunnvatn er áætlað í 1,0 m dýpt. Valið er að miða við að heildarsig verði mest 10 mm. Útreikningar á sigi eru samkvæmt Janbu (8) og efnisstuðlar samkvæmt töflu 4.2. Niðurstöður útreikninga eru:

Sé grundað á skeljagrús er reiknað sig um 10 mm við álag 450 kPa. Leyfilegt álag út frá broti í skeljagrúsinni er hins vegar um 220 kPa. Væri fyllt með 2,0 m þykku malarlagi undir undirstöðuna yrði leyfilegt álag út frá brotreikningum um 500 kPa. Ef fyllt væri með hágæða möl (vel drenuð möl úr köntuðum kornum) eða bögglabergi væri leyfilegt álag um 1000 kPa út frá broti og sig yrði um 12 mm.

Af þessum niðurstöðum má draga eftirfarandi ályktanir:

- Grunda má létt hús á skeljagrús (einnar til tveggja hæða hús með dreifðu álagi).
- Óráðlegt er að grunda undirstöðu með hærra álagi en 200 kPa beint á skeljagrús.
- Fyrir álag upp að um 500 kPa er ráðlagt að fylla undir undirstöðuna með möl að þykkt minnst tvöföld breidd undirstöðunnar og er þá miðað við að þar fyrir neðan geti verið skeljagrús.
- Fyrir álag allt að 1000 kPa er ráðlagt að fylla undir undirstöðuna með hágæða möl (vel drenuð möl úr köntuðum kornum) eða bögglabergi að þykkt minnst tvöföld breidd undirstöðunnar og er þá miðað við að þar fyrir neðan geti verið skeljagrús.
- Breidd malar eða bögglabergs á undirlaginu (skeljagrúsinni) þarf að vera minnst um þreföld breidd undirstöðunnar.

Ofantaldar tillögur eru hugmyndir en ekki endanleg hönnun á undirstöðu. Hverja undirstöðu þarf að hanna sérstaklega í samræmi við staðla.

Byggingarfulltrúinn í Reykjavík hefur sem viðmiðun að fylling í húsgrunn skuli mælast í plötuprófi á frágengna fyllingu E2>120 MPa. Til þess að uppfylla þá kröfu hefur í nokkrum tilvika þurft að leggja lag af stöðugu (stabílu) efni (t.d. bögglabergi) ofan á Björgunargrús. Niðurstöður plötuprófa sýna að hægt er að ná viðmiðunargildum sem eru notuð í Reykjavík með 50 cm þykku lagi af púkki (samkvæmt skilgreiningu Gatnamálastjórans í Reykjavík) ofan á skeljagrús. Við teljum þetta óeðlilegar kröfur fyrir létt hús og álítum eðlilegra að miða við burðargildi samkvæmt töflu 4.2. Þegar um er að ræða fyllingu undir gólfplötu í íbúðarhúsi þarf væntanlega aðeins um 0,25 m þykkt lag af góðu fyllingarefni ofan á skeljagrúsina.

5.5 Eftirlit með þjöppun fyllinga

Hér gilda sömu ákvæði og í kafla 4.5.

6 NIÐURSTÖÐUR

Í skýrslunni er gerð grein fyrir ýmsum niðurstöðum rannsókna á notkun skeljagrúsar í fyllingar. Niðurstöður sýna að skeljagrús hentar ágætlega í ýmsar fyllingar en þó misvel og með tilteknum takmörkunum varðandi meðhöndlun, álag og frágang viðkomandi fyllingar. Jafnframt eru niðurstöður rannsókna á skeljagrúsinni bornar saman við algengustu viðmiðanir fyrir önnun fyllingarefni.

Efniseiginleikar skeljagrúsar eru bornir saman við sams konar eiginleika algengustu fyllingarefna og sett fram tillaga að æskilegum sáldurferli, viðnámshorni, burðargetu og sigstuðlum skeljagrúsar. Gerð er grein fyrir tengslum E-gildis úr plötuprófi við helstu efniseiginleika.

Loks er sett fram tillaga að notkun skeljagrúsar í götur, vegi og fyllingu undir hús.

7 HEIMILDIR

1. Almenna verkfræðistofan hf. (1997). Skeljaefni. Athugun á notkunarmöguleikum skeljasands við hafnargerð. Jón Skúlason. Unnið fyrir Reykjavíkurhöfn. September.
2. Almenna verkfræðistofan hf. (1998). Höfn utan Suðurgarðs. Hvaleyrargarður. Athugun á skeljaefni. Jón Skúlason. Unnið fyrir Hafnarfjarðarhöfn. Október.
3. Almenna verkfræðistofan hf. (1999). Athugun á notkunarmöguleikum skeljaefnis. Jón Skúlason. Unnið fyrir Gatnamálastjórann í Reykjavík. Febrúar.
4. Ístak hf. (1999). Upplýsingar frá Ásgeiri Loftssyni um notkun skeljefnis í Hafnarfirði.
5. Jón Skúlason (1993/94). Plötupróf á þjappaðri fyllingu úr bögglabergi og sjávarmöl Árbók VFÍ/TFÍ
6. Jón Skúlason (1998/99). Athugun á skeljaefni. Árbók VFÍ/TFÍ
7. Jón Skúlason, Einar M. Júlíusson, Oddur Þórðarson og Hafsteinn Hilmarsson (2003). Ysjunarhætta í íslenskum jarðefnum. Árbók VFÍ/TFÍ
8. Janbu, N. (1970). Grunnlag i geoteknikk. Tapir forlag 1970. Trondheim.
9. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins (1989). Berggreiningakerfi Rb nr. 57 Keldnaholti, Reykjavík
10. Statens vegvesen (1991). Vegbygging. Vegnormaler 018. Vegdirektoratet, desember.
11. Statens vegvesen (1997). Håndbok 015. Retningslinjer. Feltundersøkelser. Vegdirektoratet. Mai 1997.
12. Statens vegvesen (1997). Håndbok 015. Retningslinjer. Laboratorieundersøkelser. Vegdirektoratet. Oktober 1997.
13. Thors, K. (1978) The sea-bed of the southern part of Faxaflói, Iceland, Jökull 28, 42-52.
14. Thors, K. and Helgadóttir, G. (1991) Evidence from south west Iceland of low sea level in early Flandrian times. Environmental Change in Iceland. Past and Present, 93-104.
15. VST hf. (1999). Upplýsingar frá Narfa Hjörleifssyni við breikkun Suðurlandsbrautar í Reykjavík.