

# Plastring av fyllingsdammar

forskyvningar i damkrona

**Fredrikke Kjosavik**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: desember 2015

Hovedveileder: Leif Lia, IVM

Medveileder: Priska Helene Hiller, IVM

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet  
Institutt for vann- og miljøteknikk







## MASTEROPPGAVE

*Student: Fredrikke Kjosavik*

**Tittel: Plastring av fyllingsdammer – forskyvninger i damkrona**

### 1 BAKGRUNN

Fyllingsdammer har tydelig adskilte soner for å ivareta filterkriteriene fra kjernen til støttefyllingen. Fyllingsdammer bygd i Norge etter ca. 1950 skiller seg noe ut sammenlignet med internasjonale fyllingsdammer ved at det i Norge er benyttet store steiner i det ytterste lag, det vil si skråningsvern. Stabiliteten til nedstrøms skråning er avgjørende for dammens sikkerhet. Det ytterste laget, skråningsvernet, er et spesielt viktig element i nedstrøms skråning.

Steinene i skråningsbeskyttelsen legges ut en og en på en bestemt måte. Dette kalles plastring og er en utpreget norsk byggemetode. Skråningsvernets viktigste funksjon er at den skal hindre resten av støttefyllinga i å bli erodert vekk i en situasjon med utstrømmende vann eller overtopping.

På tross av at norske dammer i de siste 30 til 40 år har blitt plastret er det lite kunnskap om styrken ved forskjellige plastringsmetoder. I 2011 startet forskningsprosjektet "Fullskalaforsøk på plastring av fyllingsdam" som er finansiert gjennom Energi Norge. I dette forskningsprosjektet inngår noen storskala forsøk i felt og todimensjonale laboratorieforsøk som utføres på NTNU. Laboratorieforsøk og prototypforsøk for å undersøke parametere som helning på dammen, steinstørrelse og ulik plassering av plastringssteiner er utført i masteroppgaver i 2012 til 2015. I februar 2013 startet også en 4-årig doktorgradsstudie om temaet. Forskningsprosjektet er finansiert gjennom Energi Norge med støtte fra Forskningsrådet.

### 2 HOVEDPUNKT I OPPGAVEN

Formålet med oppgaven er finne ut hvordan forskyvninger utvikler seg ved damkrona under overtopping. Tidligere forsøk i laboratoriet viste, at det forskyvninger akkumulerer seg ved damkrona. Det oppstår en åpning i plastringen som etter hvert fører til dambrudd. Formålet med oppgaven er å beskrive hvordan forskyvningene blir til og omfanget. Oppgaven løses ved hjelp av fysiske modellforsøk og feltforsøk i stor skala.



Oppgaven skal omfatte følgende hovedpunkter:

1. Litteraturstudie om plastring i både norsk og internasjonal litteratur.
2. Utarbeidelse av en hypotese om hvordan og hvorfor forskyvingene oppstår.
3. Bidra med gjennomføring av storskala forsøk i felt.
4. Dokumentasjon av feltforsøk.
5. Planlegging av fysiske modellforsøk for å gjenskape feltforsøkene.
6. Utføre de planlagte modellforsøk og dokumentere målingene.
7. Resultatene fra feltforsøk og modellforsøk sammenlignes og tolkes.
8. Sammenlign resultatene med litteraturen og tidligere utførte forsøk.
9. Kritisk diskusjon av resultatene og rapportering.

Diskusjoner med veiledere brukes for å planlegge modellforsøkene i detalj. Gjennomføring av felt- og modellforsøk skjer i sammenheng med en doktorgradsstudie.

### **3 RETTLEDNING, DATA OG INFORMASJON**


Professor Leif Lia vil være hovedveileder og vil sammen med stipendiat Priska Helene Hiller (medveileder) veilede arbeidet. Diskusjon med, og bidrag fra, kollegaer, studenter og medarbeidere ved NTNU, SINTEF, NVE og andre dameiere anbefales. Bidrag som går inn i oppgaven skal alltid refereres til på korrekt måte.

### **4 RAPPORTFORMAT, REFERANSER OG ERKLÆRING**

Oppgaven skal skrives i et tekstbehandlingsprogram og figurer, tabeller, foto etc. skal være av god rapportkvalitet. Rapporten skal inneholde et sammendrag, en innholdsliste, en liste over figurer og tabeller, en litteraturliste og opplysninger om andre relevante referanser. Sammendraget skal ikke overskride 450 ord og skal være egnet for elektronisk rapportering. Elektroniske data fra modellforsøk (f. eks. video og rådata fra måleutstyr) skal innleveres elektronisk på en ryddig og strukturert måte. Oppgaven skal leveres som pdf i DAIM og trykkes i fire eksemplar som leveres faglærer/institutt. Det legges opp til en muntlig presentasjon før innlevering.

Masteroppgaven skal ikke leveres senere enn onsdag **21. desember 2015**.

Trondheim, 3. juli 2015

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Leif Lia

## Samandrag

Skråningsvern utført som plastring er ein særskild norsk byggemåte nytta for erosjonssikring av fyllingsdammar sidan 1950-talet. Nedstrøms skråning av ein fyllingsdam er normalt tørr, men kan i ulykkestilfelle verte utsett for gjennomstrømming eller overtopping. Internasjonalt er det mest vanleg med skråningsvern utført som rausa skråning, og det meste av forskning på skråningsvern er gjort for rausa skråning. Modellforsøk ved NTNU våren 2015 synte forskyvingar i storleiksorden  $2d_{50}$  før plastringlaget kollapsa og føremålet med denne oppgåva er å skildre korleis forskyvingane oppstår og omfanget av desse.

Under feltforsøk vart det bygd 3 m høge dammar med nedstrøms helling 1:1.5 og  $d_{50} = 0.37$  m. Det vart bygd to forsøksdammar med skråningsvern utført som plastring med  $\alpha = 60^\circ$  og ein forsøksdam med skråningsvern utført som rausa skråning. For feltdammen med rausa skråningsvern var brotvassføring  $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$  og for feltdammane med plastra skråningsvern var brotvassføring  $5.8 \text{ m}^2/\text{s}$  og  $7.8 \text{ m}^2/\text{s}$ . Modellforsøka vart bygde på tett underlag med helling 1:1.5 og skråningsvern av stein med  $d_{50} = 57$  mm. Skalering av avstand, tid og vassføring vart gjort med det steinbaserte Froudetallet. Modelldammen bygde med rausa skråning gjekk til brot ved skalert belastning frå felt. Modelldammane bygde med plastra skråningsvern skalert frå felt tolte meir enn maksimal tilgjengeleg vassføring i laboratoriet,  $490 \text{ l/s}$ .

Under feltforsøka vart det ikkje målt forskyvingar som var større enn måleusikkerheita. Forsøk med skråningsvern utført som rausa skråning vart belasta til brot og det er difor ikkje målt forskyvingar for desse forsøka. For modellforsøka med plastra skråning er det målt forskyving opp til 25 mm langs damaksen og frå -25 mm til +20 mm i planet ut av skråninga utan at det vart brot. Dei største forskyvingane er målte ved overgangen mellom krone og helling, medan nedover damhellinga er forskyvingane mindre.

For å få brot under modellforsøka har det vore nødvendig å fjerne stein for hand og det er ikkje funne kor stor forskyving som er nødvendig for å få brot. Det er sannsynleg at forskyving oppstår ved at stein vert pakka tettare under belastning ettersom forsøks med høg plastringstettleik gav mindre forskyvingar enn forsøk med høg plasteingstettleik. Ved større damlengd på modellforsøk vil forskyvingane verte større og det kan vere enklare å skildre desse.

## Abstract

Using placed riprap as erosion protection on rockfill dams is a Norwegian building method used since the 1950s. The downstream slope of embankment dams is usually dry but during accident cases it can be exposed to erosion or overtopping. Internationally dumped riprap is the most common way to protect rockfill embankment dams and most research is done for dumped riprap. Model tests at NTNU during spring 2015 showed displacements at the dam crest in the size  $2d_{50}$  before the placed riprap collapsed. The scope of this thesis is to explain how these displacements develop and the size of these.

Field tests are performed on dams with height 3 m, downstream slope 1:1.5 and  $d_{50} = 0.37$  m. Two field tests were performed on dams built with placed riprap as erosion protection with an angle between the longest axis on stones and the dam slope  $\alpha = 60^\circ$  and one field test was performed on a dam with dumped riprap as erosion protection. The field test on dumped riprap broke at discharge  $q = 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$  while break during tests of the dams with placed riprap happened at  $5.8 \text{ m}^2/\text{s}$  and  $7.8 \text{ m}^2/\text{s}$ . Model tests were built on an impermeable base with slope 1:1.5 and riprap with  $d_{50} = 57$  mm. The scaling of geometry, time and discharge were performed by a stone based Froude number. The model test with dumped riprap broke at a load scaled from the field test with dumped riprap. The model tests with placed riprap maintained a higher load than available, 490 l/s.

During the field tests there were no displacements larger than the expected margin of error. The tests with dumped riprap were loaded until breaking without measuring displacements. During model tests measured displacements were as large as 25 mm along the dam axis and between -25 and +20 mm in the direction perpendicular to the dam axis. The largest displacements were found in the transition zone from the crest to the slope, while the displacements further down the slope were smaller.

In order for the model test to break it was necessary to remove stones from the placed riprap by hand. The displacement length necessary for the riprap to fail is not found. While testing riprap with a large number of stones per area the displacements were smaller than while testing riprap with a smaller number of stones per area. Thus it is probable that displacements happen when stones get more tightly placed. Tests on dams with a higher length will probably give larger displacements that are easier to explain.

## Forord

Denne masteroppgåva er det avsluttande arbeidet mitt som student ved NTNU. Det har vore svært lærerikt og interessant å arbeide med problemstillinga. Eg har lært mykje av både fagleg, praktisk og mindre fagleg art og det er vemodig at dette arbeidet nå går mot ein slutt.

Etter sol og sommarvarme i store deler av august vart det regn og vind under feltforsøka. Dette var utfordrande under oppsett av måleutstyr og måling av dammen og under forsøk. Under feltforsøk 1 regna det under laserscanning av dammen og vi måtte vi stå med eit liggeunderlag for å skjerme laseren mot regndropar på vindauget. Under feltforsøk 2 måtte til sist Bastian legge seg på beina til laserscanneren for at den skulle forstå at den stod stille og i vater. Under feltforsøk 2 viste værvarslinga mykje regn fram til kort tid for forsøket, men regnet passerte heldigvis søraust for oss og sidan kameraet til Svein Rune Erland Skilnand heldigvis ikkje vart øydelagt under feltforsøk 1 kunne han vere med. Forsøksområdet ligg rett ved eit sauesankingsområde og under forsøk måtte gjerdene takast bort slik at dei ikkje skulle øydeleggjast av vatnet og enkelte sau fann anledning til å hoppe forbi gjerdet og måtte hjelpast tilbake på plass. Feltforsøka kunne ikkje vore gjennomførte utan Richard Bjørnestøl frå TT som bygde alle feltdammane og arbeidde lange dagar for at vi skulle få gjort forsøk. Tusen takk! Takk går og til Sira-Kvina kraftselskap som stilte med lukemannskap og anna praktisk hjelp før og under forsøk. Jochen Bastian Dost, utvekslingsstudent frå universitetet i Trier var med under feltforsøka og gjorde mykje at det tyngste fysiske arbeidet med bæring og installering av måleutstyr saman med Geir Tesaker frå laboratoriet ved NTNU.

Modellforsøka i laboratoriet var ikkje like innhaldsrike som feltforsøka men det har vore meir oversiktlig, tørt og varmt og arbeidsdagane har ikkje vore avhengige av vær, vind og lys. Forsøka er utførte med stein frå Franzefoss AS. Takk! Takk går og til Eirik og Jens som har vaska alle stein som er nytta under forsøka, målt 500 plastringsstein sikta støttefyllingsstein.

Både felt og modellforsøk er gjennomførte i samarbeid med medvegleiar og doktorgradsstipendiat Priska Helene Hiller. Du har gjeve god og tett oppfølging undervegs og hjelp til å halde motivasjonen oppe under n-te forsøk som ikkje gjekk til brot som forventa. Takk går og til vegleiar Leif Lia som fekk meg inn på dette sporet etter sjukdom som gav utsatt prosjekt og masteroppgåve. Begge har vore raske med å svare på mail og verkar alltid å ha tid når eg lurar på noko –tusen takk!

Til slutt går stor takk til Andreas, venner og kontorfellesskapet. Takk for tid, lyttande øyre, trøst og oppmuntring og god hjelp til å fullføre oppgåva i sluttfasen.

Trondheim, 20.desember 2015

Fredrikke Kjosavik



## Innhald

Samandrag.....	I
Abstract .....	II
Forord .....	III
Innhald.....	V
Figurliste .....	VII
Tabelliste .....	X
I. Innleiing .....	1
II. Teori.....	3
i. Parametre som beskriv styrken til skråningsvern .....	3
ii. Modelling .....	10
iii. Definisjonar for brot.....	11
iv. Krav til sikkerheit, laster og påkjenningar i noreg.....	12
III. Metode og materiale.....	15
i. Teori.....	15
ii. Storskala feltforsøk.....	15
iii. Laborieteteknikk .....	22
iv. Modellforsøk i laboratoriet ved NTNU.....	25
IV. Resultat.....	31
i. Oppsett og målingar .....	31
ii. Første stein, brot, steinbasert froudetal.....	40
iii. Forskyvingar .....	41
V. Diskusjon .....	53
i. feltforsøk .....	53
ii. Modelling .....	53
iii. Modellforsøk .....	54
iv. Samanlikning .....	58
v. Konklusjon .....	59
vi. Vidare arbeid .....	60

VI. Referanser .....	63
Vedlegg.....	65
<b>A.</b> Feltforsøk 1 plastra skråningsvern .....	1
<b>B.</b> Feltforsøk 2 plastra skråningsvern .....	6
<b>C.</b> Feltforsøk 3 rausa skråningsvern .....	9
<b>D.</b> Modellforsøk 8 plastra skråningsvern.....	12
<b>E.</b> Modellforsøk 9 plastra skråningsvern.....	32
<b>F.</b> Modellforsøk 10 rausa skråningsvern .....	42
<b>G.</b> Modellforsøk 11 plastra skråningsvern.....	45
<b>H.</b> Modellforsøk 12 plastra skråningsvern.....	55
<b>I.</b> Steinmålingar .....	59
<b>J.</b> MATLAB .....	63
<b>K.</b> Elektroniske vedlegg, oversikt.....	74

Elektroniske vedlegg er tilgjengelege ved Institutt for Vatn og Miljøteknikk

## Figurliste

Figur I-1 Dam Svartevatn.....	1
Figur I-2 Steinfyllingsdam med sentral tetting av morene, snitt. ....	2
Figur II-1 Krefter på stein utsett for strømmende vatn .....	3
Figur II-2 Kornfordelingskurve, feltforsøk 2015. ....	5
Figur II-3 Zingg's diagram .....	6
Figur II-4 Plastring med $b/a = 1$ .....	7
Figur II-5 Plastring med $b/a = 0.5$ .....	7
Figur II-6 Vinkel $\alpha$ til lengste akse a til stein i ei helling 1:1.5 .....	9
Figur III-1 Dam Svartevatn, område for feltforsøk.....	15
Figur III-2 Raster på forsøksdammar i felt.....	17
Figur III-3 Raster nytta for å fastsetje plastringstettleiken på feltforsøksdam 2.....	17
Figur III-4 Zinggs diagram feltforsøk.....	19
Figur III-5 Bilete frå feltforsøk 2. ....	20
Figur III-6 Bilete frå feltforsøk 2. ....	21
Figur III-7 Planlagd kjøremønster i felt.....	22
Figur III-8 Prinsippskisse modellforsøk.....	25
Figur III-9 Zinggs diagram modellforsøk.....	26
Figur III-10 Modellforsøk 8, $\alpha$ .....	27
Figur III-11 Modellforsøk 9, $\alpha$ .....	27
Figur III-12 Modellforsøk 10, $\alpha$ .....	27
Figur III-13 Modellforsøk 11, $\alpha$ .....	27
Figur III-14 Modellforsøk 12, $\alpha$ .....	27
Figur III-15 Område for å fastsetje plastringstettleiken for modelldam 11.....	28
Figur IV-1 Plastringstettleik forsøksdammar.....	32
Figur IV-2 $q = 29$ l/s.....	33
Figur IV-3 Modellforsøk 9, $q = 100$ l/s.....	33
Figur IV-4 Modellforsøk 9, $q = 200$ l/s.....	33
Figur IV-5 Modellforsøk 9, $q = 300$ l/s.....	33



Figur IV-6 Modellforsøk 9, $q = 400$ l/s .....	33
Figur IV-7 Modellforsøk 9, $q = 450$ l/s .....	33
Figur IV-8 Feltforsøk 1 .....	34
Figur IV-9 Feltforsøk 2 .....	35
Figur IV-10 Feltforsøk 3 .....	35
Figur IV-11 Modellforsøk 8, første del av forsøk som var skalert frå felt .....	36
Figur IV-12 Modellforsøk 9, forsøksbelastning skalert frå felt.....	37
Figur IV-13 Modellforsøk 10, belastning .....	38
Figur IV-14 Modellforsøk 11, belastning skalert frå feltforsøk .....	38
Figur IV-15 Modellforsøk 11, siste belastningsperiode.....	39
Figur IV-16 Modellforsøk 12, belastning. Vasstand er ikkje registrert. ....	40
Figur IV-17 Feltforsøk 1, laserscanmålte forskyvingar, akse for endring til høgre .....	41
Figur IV-18 Modellforsøk 8 etter forsøk kjørt til 490 l/s. ....	45
Figur IV-19 Modellforsøk 8 før start handplukking av stein. ....	45
Figur IV-20 Modellforsøk 8, fem stein fjerna med handmakt markert med rombe.....	45
Figur IV-21 Modellforsøk 8, siste bilete teke før brot.....	45
Figur IV-22 Modellforsøk 9.....	48
Figur IV-23 Modellforsøk 9.....	48
Figur IV-24 Modellforsøk 11.....	50
Figur IV-25 Modellforsøk 11.....	50
Figur IV-26 Modellforsøk 12, store forskyvingar.....	51
Figur V-1 Reynoldstalet .....	54
Figur V-2 Webertalet <sup>0.5</sup> .....	54
Figur V-3 Modellforsøk 12, $t = 0$ s .....	55
<i>Figur V-4 Modellforsøk 12, <math>t = 10</math> s .....</i>	55
Figur V-5 Modellforsøk 12, $t = 20$ s .....	55
<i>Figur V-6 Modellforsøk 12, <math>t = 30</math> s .....</i>	55
Figur V-7 Modellforsøk 12, $t = 40$ s .....	55
Figur V-8 Modellforsøk 12, $t = 50$ s .....	55
Figur V-9 Forskyving langs X-aksen som funksjon av plassering langs damaksen.....	56

Figur V-10 Forskyving langs Z-aksen som funksjon av plassering langs damaksen .....	56
Figur V-11 Ekstrapolerte brotvassføringer .....	57
Figur V-12 Modellforsøk 8: Forskyving langs X-aksen.....	57
Figur V-13 Steinbasert Froudetal for vassføring når første stein gjekk .....	58
Figur V-14 Steinbasert Froudetal for vassføring for brot.....	58
Figur V-15 Diameter som funksjon av einingsvassføring .....	59
Figur V-16 Forskyving som funksjon av plastringstettleiken.....	60

## Tabelliste

Tabell II-1 Klassifisering av stein.....	5
Tabell II-2 Skaleringsfaktorar med bruk av det steinbaserte Froudetalet .....	11
Tabell II-3 Krav til steinstorleik eller minste ulykkesvassføring for fyllingsdammar.....	12
Tabell II-4 Forslag til dimensjonering av plastringsstein på fyllingsdammar (NVE, 2012).....	13
Tabell III-1 Ønska dimensjon på stein i skråningsvernet.....	16
Tabell III-2 Bygde dammar i felt .....	18
Tabell III-3 Planlagd kjøremønster i felt .....	22
Tabell III-4 Skaleringsfaktor .....	24
Tabell III-5 Skalering av belastning frå felt til modellforsøk.....	24
Tabell III-6 Modelldammar .....	28
Tabell IV-1 Byggemåte.....	31
Tabell IV-2 Hastigheitsmåling.....	32
Tabell IV-3 Total belastning modellforsøk 8.....	36
Tabell IV-4 Total belastning modellforsøk 9.....	37
Tabell IV-5 Total belastning modellforsøk 11 .....	39
Tabell IV-6 Brotvassføringar .....	40
Tabell IV-7 Modellforsøk 8, laserscanning .....	42
Tabell IV-8 Modellforsøk 9, laserscanning .....	43
Tabell IV-9 Modellforsøk 11, laserscanning .....	43
Tabell IV-10 Modellforsøk 12, laserscanning .....	44
Tabell IV-11 Modellforsøk 8, forskyvingar [mm].....	46
Tabell IV-12 Modellforsøk 9, forskyvingar [mm].....	48
Tabell IV-13 Modellforsøk 11, forskyvingar [mm].....	50
Tabell IV-14 Modellforsøk 12, forskyvingar [mm].....	51

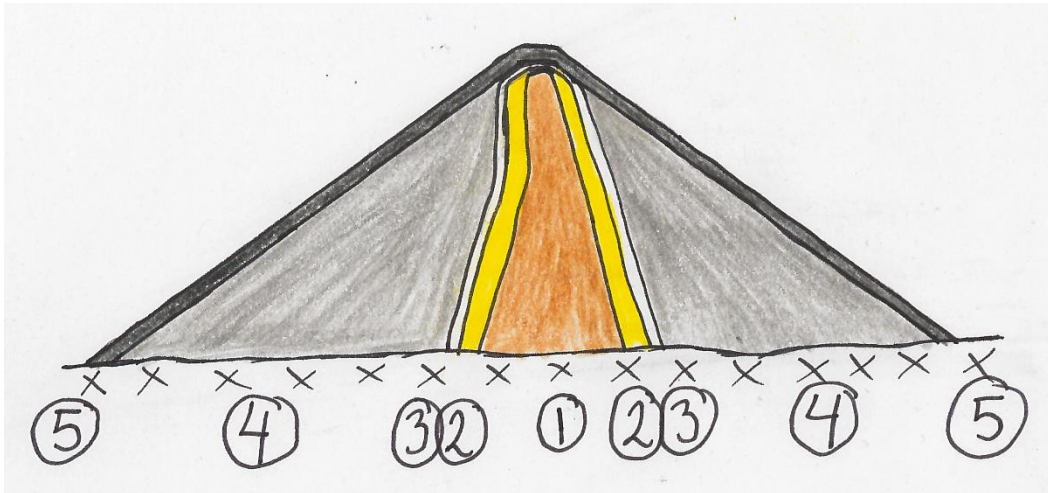
## I. Innleiing

I Noreg er det 170 steinfyllingsdammar som er rekna å ha stor konsekvens ved brot (NVE-SIV, 2014) og ein av dei største er dam Svartevatn i Sirdal som har høgde 129 m og er vist i Figur I-1. Ein fyllingsdam er ein steinfyllingsdam om minst 50 % av volumet til dammen er av sprengstein (NVE, 2012).



*Figur I-1 Dam Svartevatn*

Det er vanleg med sentral tetning av morene (1) som synt i Figur I-2, men det er nytta andre tettemateriale og plassering av tettlaget. Ein steinfyllingsdam med morenekjerne må byggast opp i fleire lag (2), (3) for å sikre filterfunksjon. Filter sikrer at dammen er sjølvnettande ved eventuelle lekkasjer. Det ytre laget er skråningsvern (5) som for norske steinfyllingsdammar skal utførast som plastring. Skråningsvernet skal halde skråninga stabil og underliggjande massar på plass sjølv om det skulle strøme vatn over eller gjennom dammen. Internasjonalt er det meir vanleg at skråningsvernet er bygd opp som rausa skråning. Det er vanleg med slakare hellingar enn det som er tilfelle på norske dammar med helling 1:1.5. Internasjonal forskning på temaet har difor avgrensa overføringsverdi til norske tilhøve.



Figur I-2 Steinfyllingsdam med sentral tetting av morene, snitt.

1 Tettekjerne av morene; 2 Filter av sand; 3 Overgangssone av finsprengt stein; 4 Støttefylling; 5 Skråningsvern

For å sikre at skråningsvernet er stabilt er det gjeve laster for ulykker og brukstilstand som dammane skal tole, desse krava er avhengige av konsekvensen ved brot. Kor stor vassføring eit skråningsvern toler er mellom anna avhengig av steinstorleik og korleis plastringa er lagt og det er usikkerheit knytt til storleiken. Doktorgradsarbeidet som denne oppgåva er utført i samband med er ein del av forskingsprosjektet «Fullskalaforsøk på plastring av fyllingsdammar» som er finansiert frå Energi Norge frå 2011.

I forkant av dambrot har det vorte målt forskyvingar i skråningsvern utført som plastring. Forskyvingane har ført til ei glipe i overgangen mellom damkrone og damhellingsa. Når forskyvingane er store nok er det ikkje lenger godt nok forband mellom stein rundt glipe og stein vert eroderte bort til heile plastringa er borte. Nødvendig storleik på glipe er om lag  $2d_{50}$  registert ved (Jakobsen, 2015) og tilsvarande er skildra frå (Pettersen, 2015).

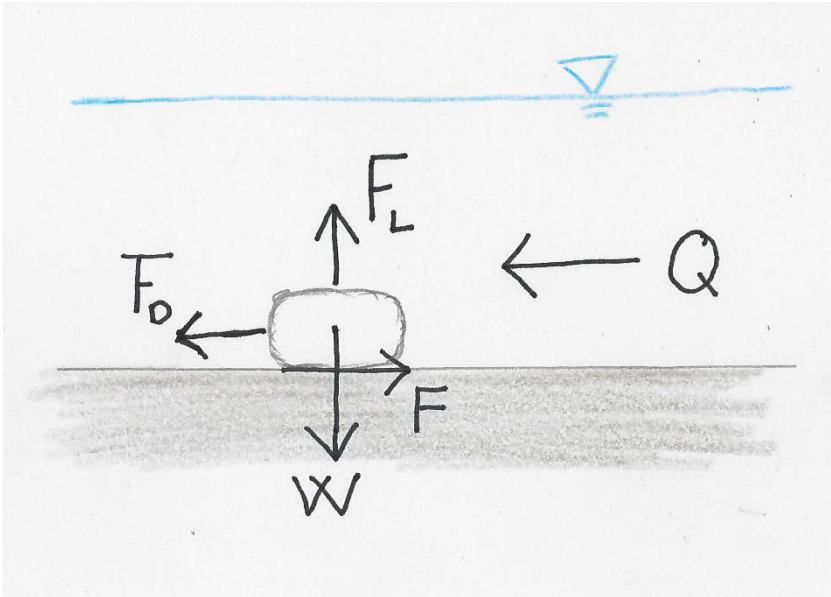
Hypotese: Forskyvingane kjem av at stein pakkar seg endå tettare ved belastning. Dette indikerer at forskyving er avhengig av plastringstettleik. Ved høg plastringstettleik vil det vere mindre plass for stein å forskyve seg medan ved låg plastringstettleik er det meir luft mellom stein. Forskyving vert akselerert når stein forsvinn frå plastringa, då går plastringstettleiken ned lokalt. Forskyving i samband med at stein forsvinn frå plastringa er størst umiddelbart etter at stein forsvinn, men skjer og over lang tid i etterkant.

Alternativ-hypotese: Forskyvingar skjer ved at plastringslaget vert krumma og slik tek mindre plass. Dette inneber at plastringa anten mister kontakt med underliggjande støttefylling eller vert bøygd inn i støttefyllinga om det er plass i denne. Dette er avhengig av komprimeringsgrad for støttefyllinga.



## II. Teori

Fyllingsdammar har tydeleg skilde soner som skal sikre filterfunksjon mellom tettekjerna og støttefyllinga. Filtre skal sikre at massar frå indre lag vil tette hol i ytre lag i tilfelle erosjon og vil gjere at dammen er sjølvreparerande. Norske fyllingsdammar som er bygde etter 1950-talet har eit særmerkt kjenneteikn med skråningsvern av store stein på oppstraums og nedstraums side. Skråningsvernet skal sikre støttefyllinga mot erosjon i tilfelle overtoppande eller utstrømmande vatn i ein ulykkessituasjon.



Figur II-1 Krefter på stein utsett for strømmende vatn

Kreftene som verker på ein stein i strømmende vatn, er synte i Figur II-1. Steinen i Figur II-1 vil vere stabil mot løft om Likning (II-1) er sann og stabil mot velt om Likning (II-2) er sann. Det er dei same kreftene som verker på stein i eit skråningsvern som på enkeltstein, men storleiken og angrepsvinkelen til dei ulike kreftene er avhengig av retning på vasstraum og vil vere forskjellige for kvar stein.

$$F_L = C_L A \rho \frac{v^2}{2} < (\gamma_s - \gamma_v) L b h = W \quad (\text{II-1})$$

$$(W - F_L) \frac{L}{2} > F_D \frac{h}{2} = C_D A \rho \frac{v^2 h}{4} \quad (\text{II-2})$$

### I. PARAMETRE SOM BESKRIV STYRKEN TIL SKRÅNINGSVERN

For å bestemme styrken til eit skråningsvern er det nødvendig å kjenne fleire ulike parametrar. Ei gruppe parametrar er fysiske eigenskapar til stein som eigenvekt, styrke og form. Ei gruppe parametre er eigenskapar til dammen som hellingsvinkel og høgde. Til sist er

det viktig korleis stein er plassert ut, om skråningsvernet er utført som plastring eller rausa skråning.

### Eigenvekt til stein, $\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

Eigenvekta til stein gjev storleiken på tyngdekrafta eller gravitasjonskrafta som verker per volum stein. Eigenvekta er masse per volum som syn i Likning (II-3). Eigenvekta er avhengig av steinsort og kan og beskrivast som tyngdetettleik gjeve ved Likning (II-4). For norske tilhøve kan det vanlegvis nyttast tyngdetettleik i storleik  $26 \frac{kN}{m^3}$  (NVE, 2012). Eigenvekta kan finnast ved å måle volumet og tyngda til ein stein. For mindre stein kan dette gjerast ved å senke stein i ei bøtte med vatn slik at vekta til vatnet som vert fortrennd av steinen gjev volumet til steinen. For større stein er det nødvendig med større utstyr for å måle volum og vekt. Etersom tyngda er tett bunde saman med storleiken kan Likning (II-6) (NVE, 2012) nyttast for å rekne frå vekt til diameter og tilbake.  $C_f$  er ein konstant som gjev kubiskheita til stein, oftast mellom 0.4 og 0.8, kan vanlegvis setjast til 0.6 (NVE, 2012).  $C_f$  kan fastsetjast ved Likning (II-5) (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (II-3)$$

$$\gamma = \rho g \quad (II-4)$$

$$C_f = \frac{m}{\rho abc} \quad (II-5)$$

$$d = \left(\frac{W}{C_f \gamma_r}\right)^{1/3} \quad (II-6)$$

### Steinstorleik, $d$ [m] eller $V$ [m<sup>3</sup>]

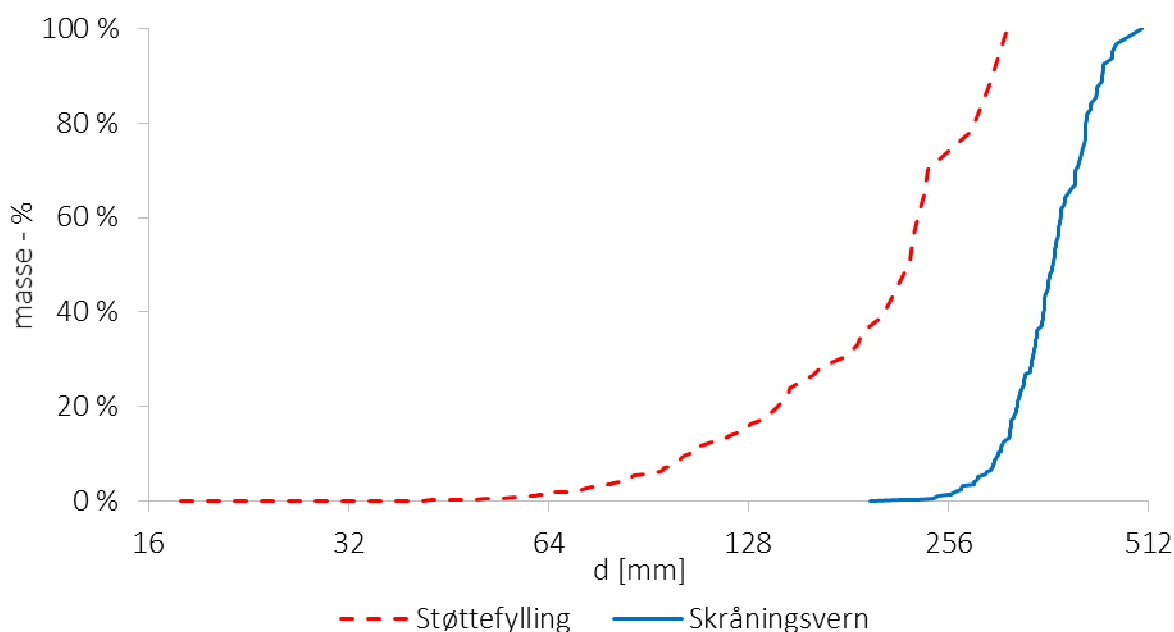
Storleiken til stein kan beskrivast i form av volum eller diameter. Gjennomsnittleg diameter kan gjevast ved Likning (II-7), der  $a$ ,  $b$  og  $c$  er lengda til lengste, mellomste og kortaste akse, sett vinkelrett mot kvarandre. Likning (II-8) er ei omskriving av Likning (II-6) og kan nyttast for å rekne om mellom volum og diameter.

$$d = \sqrt[3]{abc} \quad (II-7)$$

$$V = \frac{d^3}{C_f} \quad (II-8)$$

Ofte er det nyttig å karakterisere ei mengde stein, heller enn å beskrive enkeltstein nøye. Dette kan gjerast ved å nytte ei kornfordelingskurve som i Figur II-2 der nominell storleik kan lesast av. Nominell storleik er storleiken som 50 masse-% av prøva er mindre enn. I Figur II-2 er  $d_{50} = 368$  mm for den blå, heile linja. Ei bratt kornfordelingskurve som den blå heile linja, tyder på ei uniform prøve med liten skilnad mellom minste og største stein. Ei slakare kornfordelingskurve som den røde stipla linja tyder på ei medium eller velgradert prøve med

store skilnader i storleik i prøva. Det finst ulike måtar å beskrive gradering på med ulike utgangspunkt og framgangsmåtar. Ulike klassifiseringsmåtar er gjeve i Tabell II-1.



Figur II-2 Kornfordelingskurve, feltforsøk 2015.

Tabell II-1 Klassifisering av stein

	Geoteknikk (Emdal, 2009)	Rock Manual (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007)		Rettleiar for fyllingsdammar (NVE, 2012)
Klassifisering	$d_{60} / d_{10}$	$D_{85}/D_{15}$	$M_{85}/M_{15}$	$d_{100} / d_0 = d_{maks} / d_{min}$
Uniform	< 5	< 1.5	1.7-2.7	< 1.7
Medium	5 – 15	1.5 – 2.5	2.7-16	
Velgradert	> 15	2.5 – 5.0	16-125+	

Tilgjengeleg forskning indikerar at vid gradering gjev betre styrke til skråningsvern ved at det gjev mindre hulrom mellom stein (Mishra & Ruff, 1998). Liknande er rapportert frå (Jenssen & Søreide, 2004) og (Khan & Ahmad, 2011). Forsøk i (Jenssen & Søreide, 2004) er gjort med rausa steinfylling. Skråningsvern utført som rausa skråning er vanleg internasjonalt og det er difor sannsynleg at resultat frå (Mishra & Ruff, 1998) og (Khan & Ahmad, 2011) gjeld rausa skråning, ettersom anna ikkje er nemnd. Det er usikkert om vid gradering og gjev betre styrke for skråningsvern utført som plastring. Den norske rettleiaren for fyllingsdammar gjev tilråding om uniform gradering av stein i skråningsvernet (NVE, 2012).

Det er vanleg å gje nødvendig steindiameter som ein funksjon av damhelling og vassføring for å skildre forsøk eller som kriterium ved dimensjonering. Likning (II-9) er anbefala ved dimensjonering av steinstorleik for fyllingsdammar etter (NVE, 2012). Likning (II-10) skildrar



forsøk frå (Mishra & Ruff, 1998) medan Likning (II-11) skildrar kollaps av lastbærande skjelett i damtå frå forsøk dokumenterte i (EBL Delprosjekt 2, 2005). Likning (II-9) bygger på Likning (II-11) men er inklusiv sikkerheitsfaktor 3  $q$ .

$$d_{min} = 1.0 N^{0.43} q^{0.78} \quad (II-9)$$

$$d_{50} = 0.5 N^{0.31} q^{0.53} \quad (II-10)$$

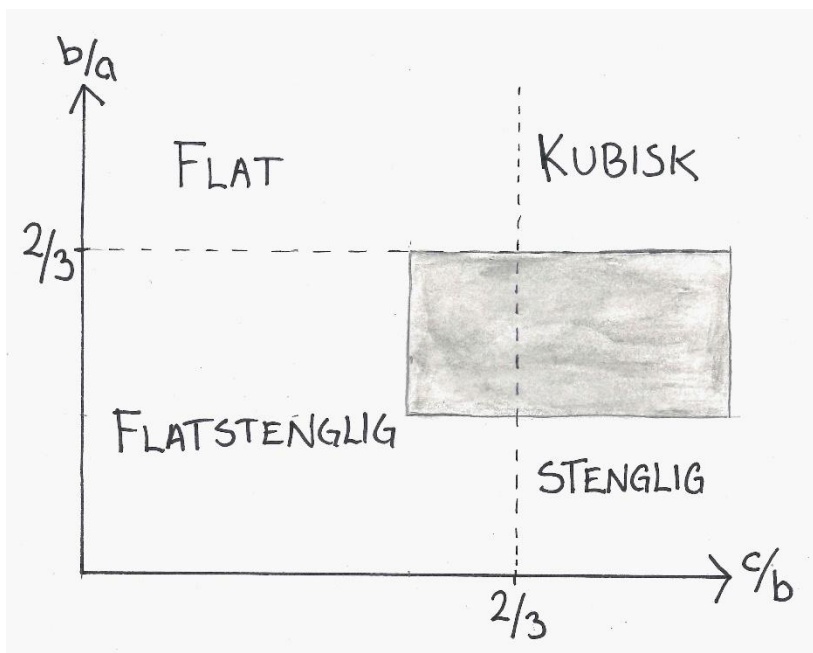
$$d_{50} = 0.43 N^{0.43} q^{0.78} \quad (II-11)$$

## Steinform

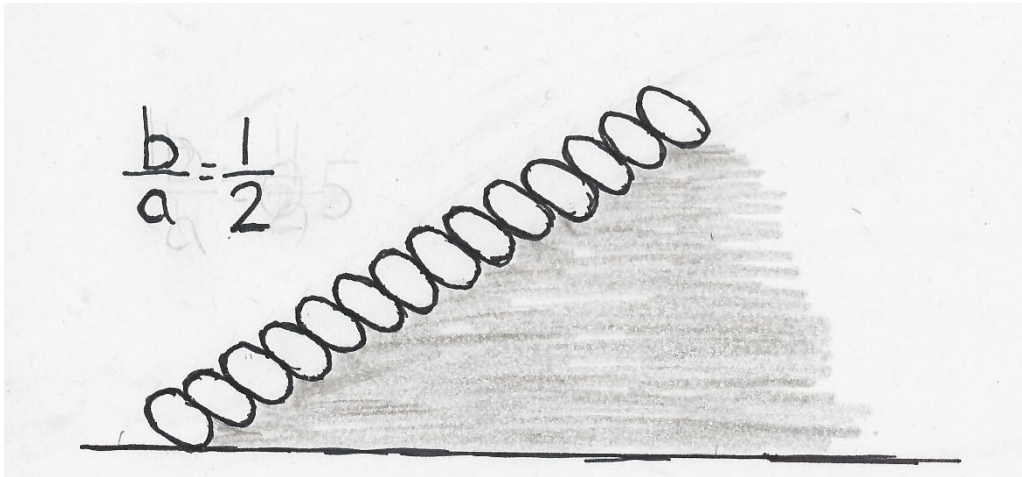
Ei sfærisk eller avrunda form vil gje mindre knusing og flaking under transport og bygging enn kubisk stein. Kubisk stein vil vere lettare å bygge saman og legge i forband med andre stein (Vartdal, 2004). Kubiskheit er gjeven ved Likning (II-5). Frå (Abt, et al., 1991) er det måla 40 % lågare brotvassføring for avrunda stein enn for kubiske stein. Etter (Khan & Ahmad, 2011) bør det nyttast tilleggsfaktor ved bruk av runda stein.

## Forhold mellom akse a, b og c

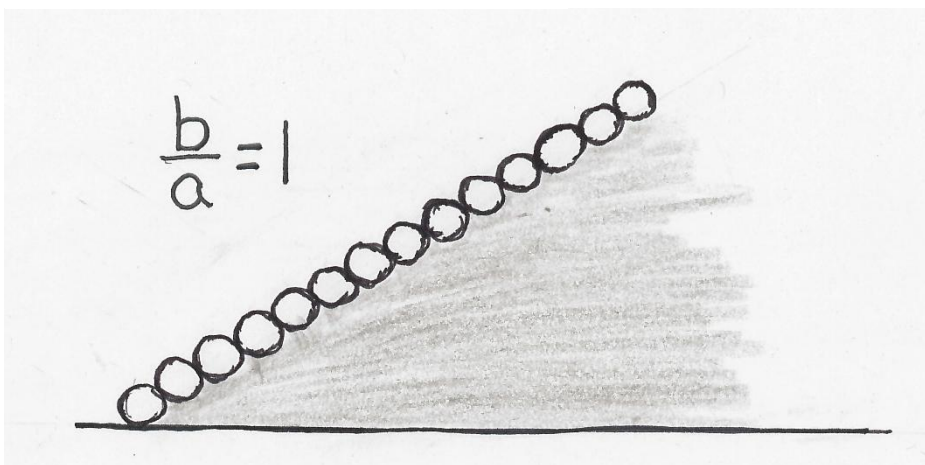
Eit anna mål på steinform kan gjevast ved forholdet mellom dei ulike aksane. Dette kan uttrykkast ved forholdet  $b/a$  mot  $c/b$  i Zingg's diagram (Zingg, 1935) synt i Figur II-3.



Figur II-3 Zingg's diagram



Figur II-5 Plastring med  $b/a = 0.5$



Figur II-4 Plastring med  $b/a = 1$

Plastringsstein skal leggest med lengste akse  $a$  inn mot hellinga. Lengste akse  $a$  bør vere tilnærma like lang for alle stein slik at ingen stein står ut av plastringa og vert meir utsett for dragkrefter ved ei eventuell overtopping eller ved erosjon. Vidare bør akse  $b$  vere kortare enn akse  $a$  som vist i Figur II-5 slik at stein kan leggjast i forband med god kontakt mellom stein. Dersom akse  $b$  er like lang som akse  $a$ , vil steinane få mindre kontaktflate mot kvarandre, dette er vist på Figur II-4. Stein vil alltid vere noko avrunda, slik at Figur II-5 og Figur II-4 gjev større kontaktflater mellom stein enn slik det er i røynda. For å sikre godt forband mellom stein, er det difor nødvendig med  $b < a$ . Akse  $b$  og  $c$  kan gjerne være like store, ettersom steinane vil orienterast og leggjast om kvarandre etter kva som passer. Dersom forholdet  $b/a$  er lite vil stein vere flat og smal med større fare for deling. Dessutan vil det vere behov for fleire stein for å dekke eit område om forholdet  $b/a$  er lite.

Det er med andre ord ønskeleg at forholdet  $c/b$  er nærare ein og at forholdet  $b/a$  verken er for stort eller for lite. Eit forslag til mål for ønska steinform kan difor vere  $1/3 < b/a < 2/3$  og  $1/2 < c/b < 1$ . Dersom det er tilnærma lik lengd på akse  $a$  for alle stein vil dette gje relativt lik

storleik på stein, som og er eit råd frå (NVE, 2012). Stein med ønska kornform vil kome i det skraverte området i Figur II-3.

### Damhelling og brotmekanismer

Maksimal damhelling  $N$  er avgrensa av friksjonsvinkelen til massane den er bygd med. Dersom friksjonsvinkelen vert mindre enn hellingsvinkelen vil det verte utglidingar som gjev lågare hellingsvinkel. Friksjonsvinkelen til massane er mellom anna avhengig av poretrykket, og høgare poretrykk gjev lågare friksjonsvinkel.

Dominerande brotmekanisme er avhengig av damhellinga. For bratte damhellingar er dominerande brotmekanisme masseutglidingar medan for slake damhellingar vert det vanlegvis utvikla ein eller fleire erosjonskanalar som fører til at heile dammen vert gravd ut og kollapsar (Moran & Toledo, 2011). Tilsvarande er rapportert frå (Vartdal, 2005), og grensa mellom slak og bratt damhelling er sett til 1:2, der er begge brotmekanismene dominerande. Forsøk med damhelling 1:3 – 1:1.5 indikerer at brotvassføring ikkje er avhengig av damhelling (Vartdal, 2005).

Norske fyllingsdammar vert vanlegvis bygde med damhelling 1:1.5 som synt i Figur II-6, og det er ikkje tillate med brattare helling (NVE, 2012). Internasjonalt er det vanleg med hellingar ned til 1:100.

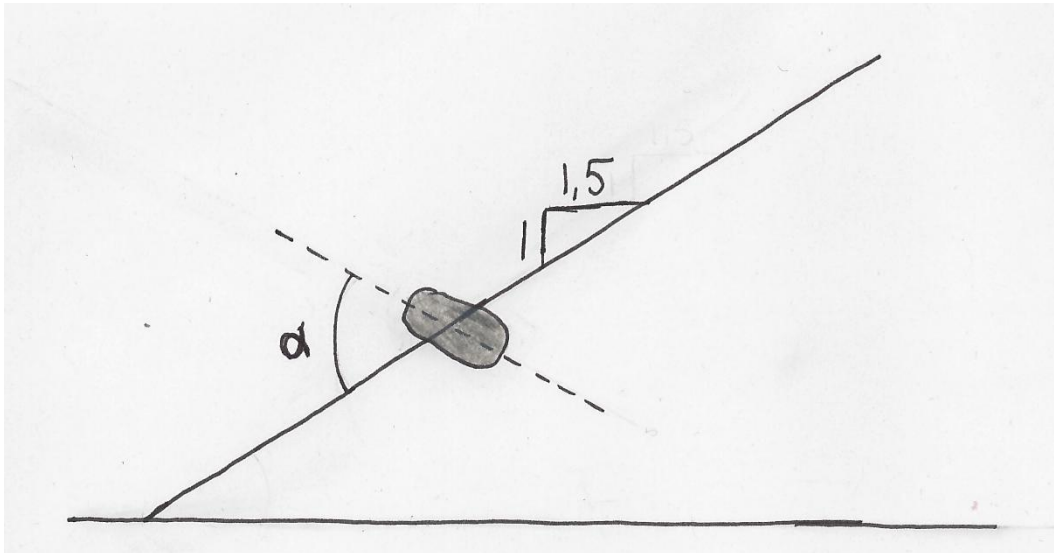
### Damhøgde

Damhøgda saman med damhelling gjev lengde på skråningsvernet. Det er indikert at nødvendig steindiameter vert mindre ved aukande damhøgde for skråningsvern utført som rausa skråning (Martins, 1981). (Vartdal, 2005) gjev liknande indikasjon etter forsøk med rausa skråningar og høgde 0.3 m og 0.45 m.

### Utleggingsmåte

Skråningsvern kan utførast som plastring eller rausa skråning. Skråningsvern utført som plastring er ein teknikk som er mest vanleg i Noreg og Sverige (Moran & Toledo, 2011), og det er difor lite internasjonal forskning som er gjort.

Skråningsvern utført som rausa skråning vil seie at stein er tilfeldig lagt ut eller dumpa. Å utføre skråningsvern som rausa skråning er ein effektiv måte å dekke ei overflate på og stiller ikkje store krav til kompetanse hjå utførande.



Figur II-6 Vinkel  $\alpha$  til lengste akse  $a$  til stein i ei helling 1:1.5

Skråningsvern utført med plastra stein vil seie at stein er lagt ut enkeltvis med forband mellom stein. Etter (Damsikkerhetsforskrifta, 2009) skal norske fyllingsdammar ha skråningsvern utført med plastra stein og lengste akse  $a$  med ha fall innover i dammen (NVE, 2012). Vinkelen mellom lengste akse  $a$  og damhellinga,  $\alpha$ , er synt i Figur II-6. Forsøk utførte i samband med master og prosjektoppgåver ved NTNU syner aukande styrke mot overtoppande og gjennomstrømmande vatn ved aukande vinkel  $\alpha$ . Størst styrke er synt ved  $\alpha = 90^\circ$  (Amundsen, 2012). Å legge plastring med  $\alpha = 90^\circ$  er vanskeleg i stor skala (Langaker, 2012), medan  $\alpha = 60^\circ$  er praktisk mogleg i full skala (Bogfjellmo, 2013). Det er synt at skråningsvern utført som plastring med  $\alpha = 60^\circ$  toler meir enn 4 gonger så stor vassføring enn skråningsvern utført som rausa skrånning (Langaker, 2012), (Jakobsen, 2015), (Pettersen, 2015).

Å bygge skråningsvern utført som plastra skrånning krev større kunnskap og kompetanse enn å bygge skråningsvern utført som rausa skrånning. Dette vart mellom anna synt i (Røer, 2013) der brotvassføringa vart 68 og 18 m<sup>3</sup>/s for to dammar som skulle vere likt bygde. Det er viktig at det ikkje er glippsoner eller renner i plastringa, då vil styrken vere som styrken til rausa skråningsvern (Pettersen, 2015).

Eit indirekte mål på forband mellom stein, er plastringstettleik. Høg plastringstettleik tyder på at stein ligg tett, med moglegheit for godt innbyrdes forband. Låg plastringstettleik tyder på meir avstand og luft mellom stein, slik at det ikkje er like godt forband. For denne oppgåva er plastringstettleiken gjeven som mengda stein per  $d_{50}^2$ , då vert plastringstettleiken direkte samanliknbar for ulike steinstorleik.

## II. MODELLERING

Styrken til skråningsvern på fyllingsdammar må testast ved destruktiv metodar, og dette er av praktiske og økonomiske årsaker ikkje mogleg å gjere i full skala. Forsøk må difor gjerast i mindre skala og resultat skalerast til faktisk storleik. Skalering må skje med tanke på fleire faktorar for å unngå skalaeffektar som gjev unøyaktige resultat.

Geometri må skalerast slik at vinklar og hellingar er like ved å nytte skaleringsfaktoren gjeven ved Likning (II-12) nyttast.

$$L_{ratio} = \frac{L_{modell}}{L_{prototyp}} \quad (II-12)$$

Vidare må det vere kinematisk likskap for å ha liknande rørsler mellom vasspartiklane i prototype og i modell, dette tyder at hastigheita til vasstraumen må skalerast.

Til sist må det vere dynamisk likskap, at alle krefter i vatnet vert likt skalerte. I Likning (II-13) er Newtons 2.lov sett opp med kreftene som verker i vatn. For perfekt dynamisk skalering må Likning (II-14) tilfredsstillast, og det er ikkje mogleg om det skal nyttast same væske i modell og i prototype. Ofte vil nokre krefter vere vesentleg større enn andre og ved å neglisjere dei minste kreftene kan det gjerast ei tilnærming til dynamisk likskap. Kreftene som er neglisjerte kan føre til skalaeffektar som kan gjere at resultat vert ulike i modell og i prototype.

$$F_{tregheit} = F_{grav.} + F_{viskøs} + F_{overfl.sp.} + F_{el.kompr.} + F_{trykk} \quad (II-13)$$

$$F_{ratio} = \frac{(F_{treg})_m}{(F_{treg})_p} = \frac{(F_{grav})_m}{(F_{grav})_p} = \frac{(F_{visk})_m}{(F_{visk})_p} = \frac{(F_{overfl})_m}{(F_{overfl})_p} = \frac{(F_{el.k})_m}{(F_{el.k})_p} = \frac{(F_{tr})_m}{(F_{tr})_p} \quad (II-14)$$

For forsøk med turbulent vasstraum vert tilnærma dynamisk likskap nådd ved å skalere tregheitskraft og gravitasjonskraft. Froudes tal, gjeve i Likning (II-15), gjev tilnærma dynamisk likskap for turbulent vasstraum om det er det same i modell og prototype (Crowe, et al., 2010). Ved skalering med Froudes tal vert effekten av viskositet, overflatespenning, elastisk kompresjon og trykk neglisjert.

$$Fr = \sqrt{\frac{F_{tregheit}}{F_{gravitasjon}}} = \sqrt{\frac{\rho L^2 v^2}{\rho L^3 g}} = \frac{v}{\sqrt{Lg}} \quad (II-15)$$

Froudetallet er dimensjonslaust. For testing av styrken til skråningsvern er det utvikla eit steinbasert Froudetall som gjeve i Likning (II-16) (Pettersen, 2015), (Vartdal, 2004)

$$Fr_s = \frac{v}{\sqrt{Lg}} \left(\frac{d}{L}\right)^{-\frac{3}{2}} = \frac{q}{\sqrt{d^3 g}} \quad (II-16)$$

Skalering ved det steinbaserte Froudetallet vert gjort med skaleringsfaktorane gjevne i Tabell II-2 (Pettersen, 2015).

Tabell II-2 Skaleringsfaktorar med bruk av det steinbaserte Froudetallet

Parameter	Skaleringsfaktor
Lengd l, h, d	$L_r = L_r$
Areal l <sup>2</sup> , bh	$A_r = L_r^2$
Volum l <sup>3</sup> , d <sup>3</sup>	$V_r = L_r^3$
Tid t	$t_r = L_r^{0.5}$
Hastigheit, v	$v_r = L_r^{0.5}$
Vassføring q [m <sup>2</sup> /s]	$q_r = L_r^{1.5}$
Vassføring Q [m <sup>3</sup> /s]	$Q_r = L_r^{2.5}$

### Skalaeffekt

For at skalering ved Froudes modellov skal vere gyldig, må effekten av viskositeten vere neglisjerbar. Dersom Reynolds tal i Likning (II-17) er større enn 1.0-2.5 x 10<sup>6</sup> er effekten av viskositeten neglisjerbar (Pfister & Chanson, 2012).

$$Re = \frac{\rho V h}{\mu} = \frac{V h}{\nu} \quad (II-17)$$

Overflatespenning mellom vatn og luft kan vere vesentleg ved stor luftinnblanding i vasstraumen. Dersom Weber-tallet i Likning (II-18) er større enn 12.1-19.6 x 10<sup>3</sup> vil effekten av overflatespenning i innblanda luft vere neglisjerbar (Pfister & Chanson, 2012). Dersom Weber-tallet er mindre enn 12.1 x 10<sup>3</sup> kan luftinnblanding vere årsak til skalaeffektar i modell.

$$We = \frac{\rho V^2 h}{\sigma} \quad (II-18)$$

For forsøk med fri strøm over skråningsvern utført som plastring eller rausa skråning som skal skaleras i denne oppgåva, kan vatnet reknast som inkompressibelt og det atmosfæriske trykket gjev neglisjerbar kraftpåverknad.

### III. DEFINISJONAR FOR BROTT

Det finnes fleire definisjonar for brott som kan nyttast avhengig av føremål.

#### Første erosjonsteikn

Første erosjonsteikn er vanlegvis ein stein som beveger seg eller forsvinn ut av skråningsvernet. (Abt, et al., 1991) anslår at første stein gjennomsnittleg går ved 74 % av

vassføring for endeleg brot. Liknande er registert hjå (Robinson, et al., 1998) og (EBL Delprosjekt 2, 2005). Første teikn til erosjon treng ikkje vere representativ for resten av hellinga.

### Første kollektive rørsle av fleire stein

Første kollektive rørsle av fleire stein kan vere eit skred eller fleire stein som vert eroderte.

### Irreversibelt brot

Irreversibelt brot som fører til ukontrollert tapping av magasinet. Denne definisjonen er nytta for å beskrive kollaps av lastbærande skjelett i damtå utsett for gjennomstrømming i (EBL Delprosjekt 2, 2005). Verkar å vere nytta som definisjon hjå (Toledo, 2004) og (Robinson, et al., 1998). Nyttå som brotdefinisjon for denne oppgåva og er enkel å definere.

## IV. KRAV TIL SIKKERHEIT, LASTER OG PÅKJENNINGAR I NOREG

Overordna lovverk er (Vassressurslova, 2000), og dette skal sikre forsvarleg bruk og forvaltning av vassdrag. Forvaltninga er det Noregs Vassdrags- og Energidirektorat, NVE, som er ansvarleg for, og NVE kan fastsetje reglar for planlegging, drift og gjennomføring av vassdragstiltak. Vassdragstiltak skal fylle alle krav som med rimelegheit kan stillast til sikring mot fare for menneske, miljø eller eigedom. (Damsikkerhetsforskrifta, 2009) set organisatoriske krav, kvalifikasjonskrav, krav til tekniske planer, og liknande hos ansvarleg for vassdragstiltak, avhengig av konsekvens ved brot. Dammar er vassdragstiltak og konsekvens ved verst tenkjelege brot, svikt eller feilfunksjon skal vurderast for å bestemme nivå av stabilitet/tryggleik som er nødvendig. Avhengig av konsekvens er dammar delte inn i konsekvensklasse 0-4 der konsekvensklasse 4 er for dammar med størst konsekvens og konsekvensklasse 0 er for dammar utan konsekvens av verdi. Krav til fyllingsdammar avhengig av konsekvensklasse er gjeve i Tabell II-3 (NVE, 2012).

Tabell II-3 Krav til steinstorleik eller minste ulykkesvassføring for fyllingsdammar.

Konsekvensklasse	Krav i rettleiaren	Tilsvarar diameter
4	$V \geq 0,15 \text{ m}^3$	$d = \left(\frac{V}{C_f}\right)^{1/3} = \left(\frac{0,15}{0,6}\right)^{1/3} = 0,63 \text{ m}$
3	$q \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$	-
2	$q \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$	-
1	$q \geq 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$	-

Rettleiar for fyllingsdammar rår til dimensjonering av stein til skråningsvern utført som plastring etter Likning (II-9) (NVE, 2012). Steinstorleik som sikrar at krav er oppfylte etter Likning (II-9) er gjeve i Tabell II-4.

Tabell II-4 Forslag til dimensjonering av plastringsstein på fyllingsdammar (NVE, 2012).

Konsekvensklasse	$d_{min}$ gjeve ved Likning (I-11)
3	$d_{min} = 1,0 \frac{1}{1,5}^{0,43} 0,5^{0,78} = \mathbf{0,49m}$
2	$d_{min} = 1,0 \frac{1}{1,5}^{0,43} 0,5^{0,78} = \mathbf{0,49m}$
1	$d_{min} = 1,0 \frac{1}{1,5}^{0,43} 0,3^{0,78} = \mathbf{0,33m}$





### III. Metode og materiale

#### I. TEORI

Teoridelen er utarbeidd med utgangspunkt i (Kjosavik, 2015), prosjektoppgåva som vart gjennomført i forkant av denne masteroppgåva. Tilgjengeleg litteratur, masteroppgåver ved instituttet er utgangspunktet og referanselister er hovudkjelda til vidare søk; både spesifikke artiklar og litteratur frå aktuelle forfattarar. Eldre litteratur er lånt på universitetsbiblioteket eller Institutt for Vann og Miljøteknikk, IVM, medan nyare litteratur vanlegvis er tilgjengeleg via NTNU-universitetsbiblioteket på internett.

#### II. STORSKALA FELTFORSØK

##### Forsøksoppsett og stad



Figur III-1 Dam Svartevatn, område for feltforsøk

Figur III-1 syner eit kartutsnitt av sør-Noreg med ein rød firkant som omkransar forsøksområdet. Biletet til høgre i Figur III-1 syner utløpet av overløpstunnellen der forsøksdammane vart bygde i ein rød firkant, samt området det er ein limnigraf omkransa med ein rød sirkel. Overløpet frå dam Svartevatn har luker som gjer at vatn kan tappas ved ønske i tillegg til fast overløp. Under forsøk vert øvre tappeluke nytta og denne har maksimal kapasitet på om lag  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  ved vasstand lik HRV.

Ved tunellopninga er det ein profil med 12 m breidd i høgda ved damkrona som gjev breidd til forsøksdammane. Dammar vert bygd med gravemaskin med høgde 3 m som er på grensa til kva som er praktisk mogleg med gravemaskin ståande framføre dammen. Oppstrøms side av dammen vert bygd med plastringstein frå rehabilitering av dam Svartevatn og helling N = 1:1. Nedstrøms side byggast med helling N = 1:1.5.

## Steinstorleik

Tidlegare storskala feltforsøk ved dam Svartevatn dokumenterte frå (Røer, 2013) og (Langaker, 2012), har gjeve erfaringar kva gjeld tidsbruk for bygging og passeleg steinstorleik. Det er ønska å nytte stein som er mest mogleg tilsvarende det som vert nytta på fyllingsdammar, men som likevel er små nok til at det vert brot før maksimal vassføring. Det er og ønskeleg at plastringstein tilfredsstillir krav til forhold mellom minste og største stein i plastringa frå (NVE, 2012). Med utgangspunkt i tidlegare erfaringar er det ønska gjennomsnittleg diameter rundt 380 mm, og Tabell III-1 gjev maksimum og minimumsdimensjonar for akse a, b og c for å tilfredsstille dette.

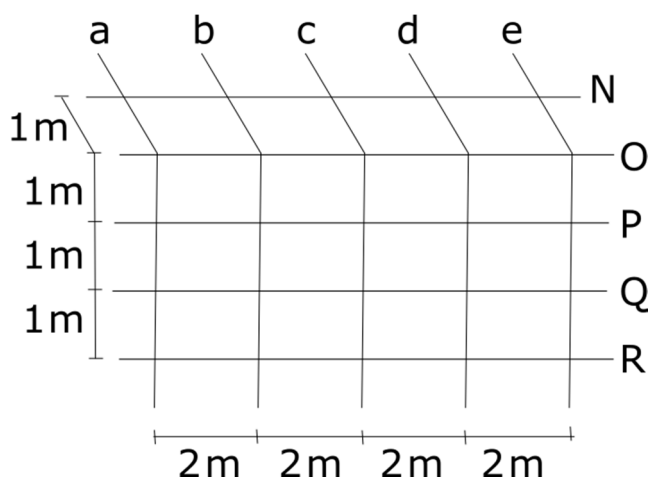
Tabell III-1 Ønska dimensjon på stein i skråningsvernet

	a	b	C	$d = \sqrt[3]{abc}$
Minimum	350 mm	250 mm	250 mm	$\sqrt[3]{350 * 250 * 250} = 280 \text{ mm}$
Maksimum	550 mm	450 mm	450 mm	$\sqrt[3]{550 * 450 * 450} = 480 \text{ mm}$
(NVE, 2012)				$d_{\text{maks}}/d_{\text{min}} = 1,7$

På forsøksområdet ligg det mykje stein som er nytta ved tidlegare forsøk, og det er ønskeleg å nytte desse. Stein vart målte med tommestokk og om lag 200 stein som tilfredsstilte krava i Tabell III-1 vart merka som stein til skråningsvernet med spraymaling. Det vart henta ca 40 stein frå ei anna fylling for å sikre stor nok mengde stein.

Nokre stein vart tekne med frå felt til laboratoriet. For desse stein var eigenvekta 2750 kg/m<sup>3</sup> og kubiskheita 0.5. Steinane som er målte inn i laboratoriet er mindre enn dei som vart nytta til å bygge skråningsvern og det er usikkert om kubiskheita er representativ for steinane som vart nytta til å bygge skråningsvern.

Etter at dammane var ferdig bygde, vart det spraymalt eit rasternet som vist i Figur III-2. Alle stein langs linje b, c og d vart målte for å få eit tilfeldig, representativt utval av plastringa. Områda langs sidekantane, som dels er dekkja av linje a og e, er bygd med større stein, og er difor ikkje representativt for den delen av dammen som det er ønska å teste under forsøk.

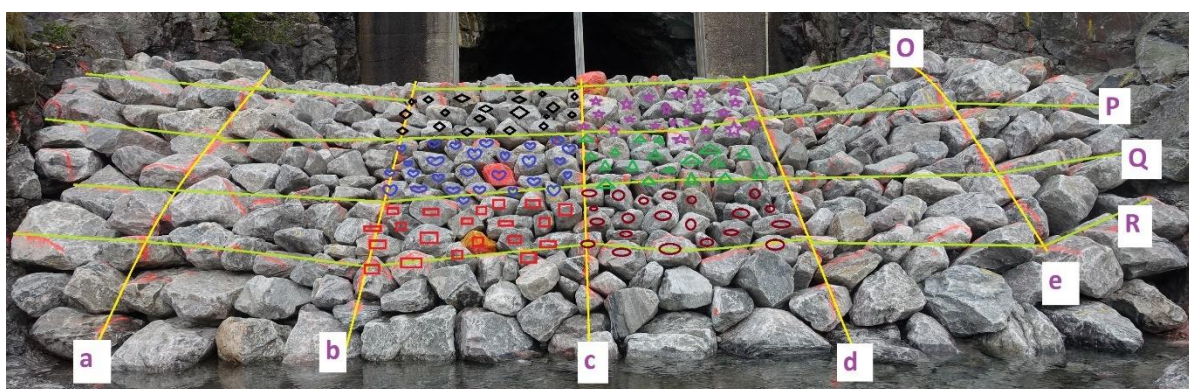


Figur III-2 Raster på forsøksdammar i felt

Støttefyllinga er anteken å vere tilnærma lik for alle forsøka, og det er teke to linjeprøver av støttefyllinga under bygging av dam 2. For å ha eit tilfeldig utval, vart det trekt ein tråd i lengde 5 m og ein i lengde 3 m på to ulike stader i støttefyllinga. Alle stein under tråden vart målt inn med skyvelære eller tommestokk avhengig av kva som var mogleg.

### Utføring av plastring og plastringstettleik

Det er planlagt å kjøre fire forsøk fordelt på to veker. Kvar forsøk skal kjørast til brot, og det er difor nødvendig å bygge fire separate dammar. Eit forsøk skal vere med ein dam med rausa skråningsvern, med tilfeldig retning på lengste akse mot skråningshellinga. Dei tre andre forsøksdammane skal byggast med plastring, der steinane vert lagt i forband og med lengste akse 60° mot skråningshellinga. Alle dammane byggast med gravemaskin og det er Rickard Bjørnestøl som bygger alle dammane, med hjelpar på toppen der gravemaskina ikkje kjem så godt til.



Figur III-3 Raster nytta for å fastsetje plastringstettleiken på feltforsøksdam 2

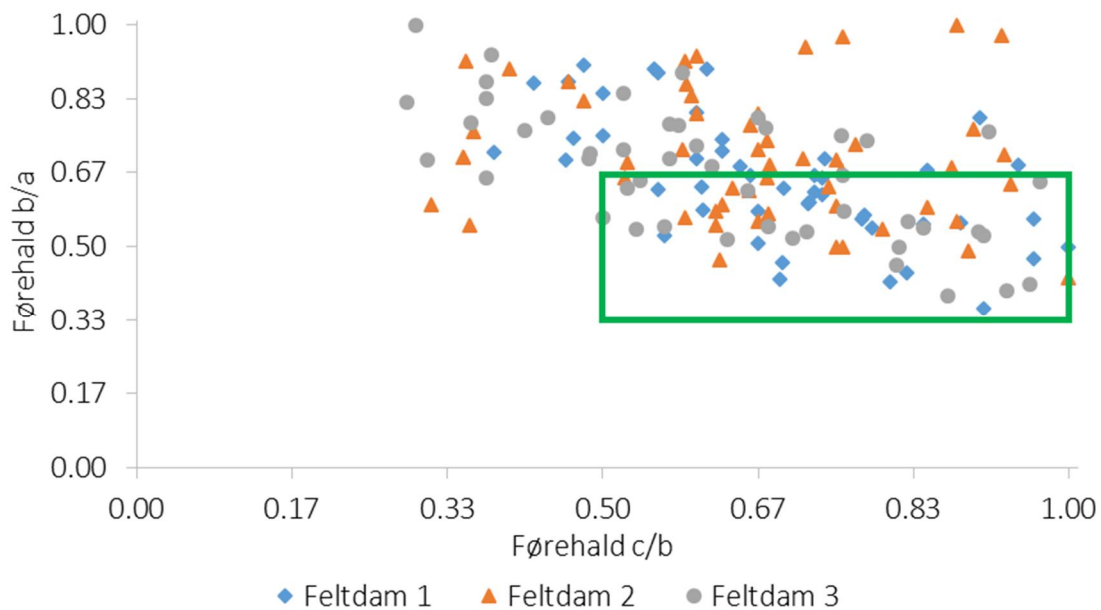
Etter fullført plastring, skal det spraymalast på ein raster, der stein under nokre av linjene i rasteret vert målte opp for å finne gjennomsnittleg steinstorleik. Rasteret kan og nyttast for å finne plastringstettleiken. Figur III-3 syner korleis det spraymalte rasteret kan forsterkast i teikneprogram på PC for å få fram tydeleg kva stein som ligg under og mellom linjene i

rasteret. Stein som vert rørt av linja i venstre kant og under feltet vert tekne med, medan stein som vert rørt av linja i overkant av feltet og til høgre vert ikkje tekne med. Eit døme på dette er felt bc/OP der stein under linje b og P talde med, medan stein under linja C og O ikkje vert talde med. Merking av steinane i Figur III-3 syner kva stein som høyrer til kva felt. Resultat frå målte stein, måling av dammen og plastringstettleik er gjeve i Tabell III-2.

Tabell III-2 Bygde dammar i felt

	Dam 1	Dam 2	Dam 3	Støttefylling
Vinkel $\alpha$	19° ( $\sigma = 8.5^\circ$ )	22° ( $\sigma = 8.1^\circ$ )	8° ( $\sigma = 13.6^\circ$ )	-
Akse a [m]	0.55	0.50	0.54	0.15
Akse b [m]	0.35	0.35	0.35	0.10
Akse c [m]	0.24	0.24	0.21	0.07
$d_{\max}   d_{85}$ [m]	0.46   0.41	0.48   0.41	0.50   0.40	0.31   0.28
$d_{50}$ [m]	0.38	0.36	0.37	0.22
$d_{\min}   d_{15}$ [m]	0.22   0.31	0.19   0.29	0.24   0.27	0.02   0.12
$d_{85}/d_{15}$	1.35	1.40	1.47	2.25
$d_{\max}/d_{\min}$	2.13	2.46	2.04	17.44
$D_{85, ytre}/d_{15, indre}$	3.4	3.4	3.3	-
$D_{\max, ytre}/d_{\min, indre}$	23.0	24.0	25.0	-
Plastringstettleik	1.39 stein/ $d_{50}^2$	1.47 stein/ $d_{50}^2$	1.17 stein/ $d_{50}^2$	-

I Figur III-4 er forholdet mellom aksa a, b og c plotta i Zinggs diagram og den grønne boksen i figuren markerer området for ønska kornform. Av målte stein har 48 % ønska kornform.



Figur III-4 Zinggs diagram feltforsøk

### Måleinstrument

Tommestokk for å måle steinstorleik og avstand mellom rasterlinjer. Måling av mindre stein med skyvelær. Større avstandar vert målt med måleband.

Spraymaling for å merke stein og for å lage rasteret.

Laservinkelmålar av typen Leica DISTO™ X310 nytta under for å måle inn damhelling og vinkel  $\alpha$ .

Trykksensorar for å måle vasstrykk. Fire vert plasserte under dammen langs lengdeaksa og tre vert plasserte i stein med plassering ned skråningsvern. Stein med trykksensor vert merka med spraymaling for å lette arbeidet med å finne dei etter dambrot. I Figur III-5 er steinane med trykksensor i merka med sirkel. Handsaming av data frå trykksensorane er utføre formålet med denne oppgåva og vidare drøfting av desse er ikkje gjort. Rådata frå målingane er tilgjengelege i det elektroniske vedlegget.

Smartsensor som skal måle rørsle i stein. Smartsensor er ein prototype og skal sende data over trådløst nett, har lite lagringskapasitet og batterikapasitet og ligg difor i dvale fram til den vert aktivert av risting. Må haldast tørr. Sensor plasserast i den øvste steinen med trykksensor.

Topcon laserscanner vert nytta til å måle inn forsøksdam før og under forsøk. Samanlikning av laserscan gjev forskyving. Plassering av laserscanner under måling er merka med trekant i Figur III-5. Laserscanneren kan ikkje scanne gjennom vatn og forsøk må stoppast for å scanne. Laserscanneren må stå på stabilt underlag, og glaset må holdast reint og tørrt.



Forsøk vart filma med to videokamera sett opp på kvar side av dammen, merka med firkant i Figur III-5. Forsøk vart og filma av kameramann Svein Rune Erland Skilnand. Film frå S.R.E. Skilnand er teken frå nedstrøms vinkel rett mot dammen. Kompaktkamera vart nytta undervegs for å ta bilete.



*Figur III-5 Bilete frå feltforsøk 2.*

*Videokamera merka med firkant, laserscanner med trekant og merka stein med sensor er merka med sirkel.*

Trykkcelle av typen Global Water WL 16 plasserast i vatnet ved sida av tunellopninga, merka med pil i Figur III-6. Logger vasstand utan hastighetshøgde med 0.1 Hz.

To ultralydsensorar måler avstand ned til vassflata frå tunellopninga er merka med sirklar i Figur III-6. Sensorar er av merke Microsonic mic+340 og gjev vasstand med hastighetshøgde under forsøka med 10 Hz. Sensorane er avhengig av eit visst nivå på vasstanden for å kunne måle. Ved stille vatn vil microsonic gje same vasshøgde som WL16.

Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP (StreamPro ADCP) måler vasshastigheit i profil under båten. Streampro er merka med trekant i Figur III-6. Ved å trekke StreamPro framføre tunellopninga kan målte hastigheiter summerast og gje vassføring. Båten er ikkje utforma med tanke på bruk på turbulent vatn og vil vere ueigna for dei høgaste vassføringane. Målingar frå StreamPro kan nyttast til å kvantifisere lukevassføring.

Anna utstyr: Klatretau og sikringssele som sikra person som styrer StreamPro. Telt til feltkontor for å halde sensitivt utstyr tørt. Aggregat for elektrisitet til måleutstyr, drill og PC. Diverse tau og karabinkrokar for montering av StreamPRO. Kavring til å kaste på dammen ved større vassføringar enn StreamPro takla. Godt utstyrt verktøykasse.



Figur III-6 Bilete frå feltforsøk 2.

WL16 merka med pil, Microsonic merka med sirkel og StreamPro merka med trekant.

### Kjøremønster

Vassføringa i forsøk styrast ved å opne eller lukke øvre tappeluke i overløpet til dam Svartevatn. Styremekanismen er plassert ved luka og kontakt mellom forsøksdammen og lukemannskapet må skje ved telefonkontakt. Det som vert stilt inn frå lukemannskapet, er lukeopning, og vassføringa er ein funksjon av lukeopninga og vasstanden i magasin Svartevatn under tapping. Dette gjer at det er praktisk vanskeleg å finjustere vassføringa under forsøka, og å bestemme vassføringa nøyaktig.

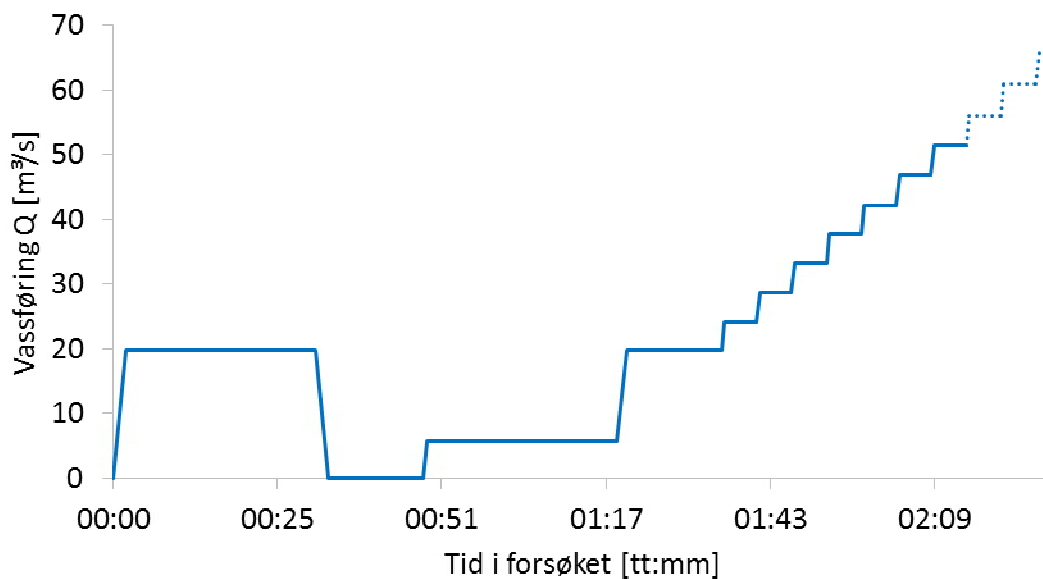
Gjennom forsøket er det ynskja å finne ut kor store forskyvingar som oppstår i plastringa når denne vert utsett for belastning. For å måle forskyving med hjelp av laser er det nødvendig med tørr dam, og forsøket må difor stansast lenge nok til at dette kan skje. Erfaring frå (Pettersen, 2015) og (Jakobsen, 2015) er at forskyvinga vert større etter større belastning. For å få målbar forskyving i plastringa er det difor ynskjeleg med ei stor belastning på dammen før stans i forsøket og måling av forskyving. For å kunne måle forskyving er det og viktig at dammen står der endå, og belastning før måling bør vere mindre enn anteken styrke til dammen. Med utgangspunkt i tidlegare feltforsøk og målt steinstorleik av plastringa er 20 m<sup>3</sup>/s anteke å vere ei trygg vassføring. 20 m<sup>3</sup>/s vil nås ved lukeopning 0.4 m.

For å kunne vurdere vassmengda som går gjennom dammen vert den belasta med ei låg vassføring som skal kjørast til stabil vasstraum. Ved lukeopning 0.1 m kjem det om lag 6 m<sup>3</sup>/s og denne lukeopninga skal holdast i 30 min for tid til målingar med StreamPro og visuell vurdering av gjennomstrømminga.

Til sist skal forsøksdammane belastast til dei ryk. Frå låg vassføring vert vassføringa auka til «trygg» vassføring 20 m<sup>3</sup>/s som vert heldt i 15 min for tilnærma stabil vasstand. Vidare skal luka opnas med 0.1 m, og denne vassføring holdast i 5 minutt før ny opning av luka med 0.1



m. Det tek ca 0.5 minutt å opne luke med 0.1 m, slik at vassføringa auker med om lag 4,5 m<sup>3</sup>/s kvart 5.5 minutt fram til brot. Figur III-7 syner planlagt belastning og oppsummering er i Tabell III-3.



Figur III-7 Planlagt kjøremønster i felt.

Tabell III-3 Planlagt kjøremønster i felt

Tid	Belastning, luke	Belastning
30 min + tida det tek før det er jamn vasstand	0,4 m opning	20 m <sup>3</sup> /s
Laserscane dam	0	0
30 min + tida det tek før det er jamn vasstand	0,1 m opning	6 m <sup>3</sup> /s
15 min	0,4 m opning	20 m <sup>3</sup> /s
5 min	0,5 m opning	24 m <sup>3</sup> /s
5 min	0,6 m opning	29 m <sup>3</sup> /s
5 min x nødvendig antall gonger til å få brot.	+ 0,1 m opning	+ 4,5 m <sup>3</sup> /s
For alle: tid nytta til å opne/stenge luke kjem i tillegg.		

### III. LABORATORIETEKNIKK

Forsøk i felt er dyrt, tek mykje tid og det er nødvendig med mange involverte for oversikt og kontroll på belastning og måleutstyr. For forsøk i laboratoriet er det tilstrekkeleg med to personar under forsøk og ein person til å bygge forsøksdam. Det er såleis ønskeleg å halde mengda feltforsøk på eit minimum og heller gjere fleire modellforsøk.

I ein modell er det ynskjeleg at dei fleste tilhøve er like som dei er i prototypen. Grunnlaget er geometrisk likskap, at forholdet mellom lengder og storleiker er det same i felt og modell. Vidare må det vere kinematisk likskap, at det er tilsvarande rørsler mellom vasspartiklar i felt og modell, som tyder at hastigheita må skalerast. Til slutt er det ønskjeleg å ha dynamisk likskap, slik at forholdet mellom alle vektorielle krefter i to geometrisk og kinematisk like system er like. Dette vil seie at tregheit, gravitasjon, viskositet, overflatespenning samt atmosfærisk trykk må skalerast med same skala. Det er ikkje mogleg å skalere alle desse faktorane på ei gang gjeve same flytande væske i laboratoriet og i felt. Ved å berre skalere dei to mest dominerande kreftene og ignorere resten, er det mogleg å få ei grei tilnærming. Skalering til laboratorieforsøk med vatn, frå feltforsøk med vatn, vil difor ikkje vere perfekt skalering, og det er mogleg at skalaeffektar er til stades.

Tregheitskrafta, impulskrafta er alltid gjeldande. Ved overtopping av ein fyllingsdam med fri overflate og turbulent vasstraum, vil drivande kraft vere gravitasjonen. Froudes modellov gjev forholdet mellom tregheit og gravitasjon, dette er sett opp i Formel (III-1). Vidare er det nytta eit steinbasert Froudetal, Formel (III-2) som vart utgreidd i (Pettersen, 2015) og (Vartdal, 2004). Det steinbaserte Froudetalet er eit uttrykk for kor stabil ein stein er mot erosjon og lengda  $L$  er gjennomsnittleg diameter til stein.

$$\frac{\text{Tregheit}}{\text{Gravitasjon}} = \frac{\text{masse} \times \text{akselerasjon}}{\text{masse} \times \text{gravitasjon}} = \frac{\rho L^2 v^2}{\rho L^3 g} = \frac{v^2}{Lg} = Fr^2 \quad \text{Formel (III-1)}$$

$$Fr, \text{steinbasert} = \frac{v}{\sqrt{gL}} \times \left(\frac{L}{y}\right)^{-\frac{3}{2}} = \frac{q}{\sqrt{L^3 g}} \quad \text{Formel (III-2)}$$

Når det steinbaserte Froudetalet er det same i felt og i laboratoriet er forsøket skalert etter Froudes modellov. Dette er uttrykt i Formel (III-3).

$$Fr, \text{steinbasert}_{\text{felt}} = \frac{q_{\text{felt}}}{\sqrt{d_{\text{felt}}^3 g}} = Fr, \text{steinbasert}_{\text{lab}} = \frac{q_{\text{lab}}}{\sqrt{d_{\text{lab}}^3 g}} \quad \text{Formel (III-3)}$$

For å kunne skalere frå feltforsøk til laboratorieforsøk er det dermed nødvendig å kjenne einingsvassføringa  $q$  i felt og i laboratoriet, og diameteren i laboratoriet og i felt. Under feltforsøk var gjennomsnittleg diameter  $d_{50} = 0.368$  m, og maksimal nødvendig vassføring for å få brot var  $q = 8$  m<sup>2</sup>/s, som gav steinbasert Froudetal = 11.5. I laboratoriet vert det nytta stein med  $d_{50} = 0.057$  m, og maksimal vassføring er 0.5 m<sup>2</sup>/s som gjev steinbasert Froudetal = 11.7. Det vil seie at tilgjengeleg vassføring i laboratoriet er tilsvarande brotvassføring for eit av feltforsøka. Dersom modelldammane toler meir enn feltdammane kan det vere utfordrande å få brot i laboratoriet.

Frå det steinbaserte Froudetalet kan geometrisk lengde, areal og volum skalerast, i tillegg til hastigheit, tid og vassføring. Tabell III-4 syner korleis dei ulike einingane vert skalert, og kva skaleringsfaktor som vert nytta. Skalering av belastning til modellforsøka er gjeve i Tabell III-5.

Tabell III-4 Skaleringsfaktor

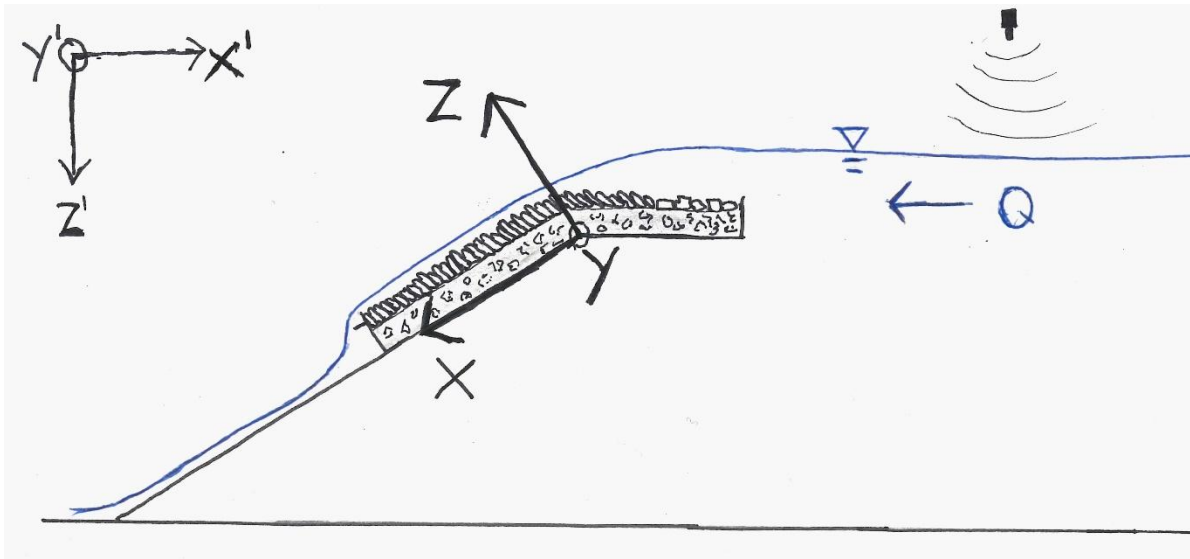
Parameter	Utgreiing	Faktor
Lengd, diameter	$L_r = \frac{L_{lab}}{L_{felt}}, d_r = \frac{d_{lab}}{d_{felt}}$	$L_r = d_r = 1/6.5$
Areal, volum	$A_r = L_r^2, V_r = L_r^3$	$L_r^2 = 1/41.7, L_r^3 = 1/269.1$
Vassføring $q_r$	$F_r = \frac{q_{felt}}{d_{felt}^{3/2}} = \frac{q_{lab}}{d_{lab}^{3/2}}, q_{lab} = q_{felt} d_r^{1.5}$	$L_r^{1.5} = 1/16.4$
Hastighet $V_r$	$V_r = \frac{q_r}{d_r} = \frac{L_r^{1.5}}{L_r} = L_r^{0.5}$	$L_r^{0.5} = 1/2.5$
Tid $T_r$	$T_r = \frac{d_r^2}{q_r} = \frac{L_r^2}{L_r^{1.5}} = L_r^{0.5}$	$L_r^{0.5} = 1/2.5$

Tabell III-5 Skalering av belastning frå felt til modellforsøk

Feltforsøk			Modellforsøk	
Tid	Belastning	Belastning	Tid	Belastning
2 min	+ 0.4 m		47 s	
30 min jamn vasstand (50 min totalt)	0,4 m	20 m <sup>3</sup> /s	11 min 50 s (19 min)	101 l/s
2 min	Lukke		47 s	
Laserscanne dam	0	0	-	
0.5 min	+ 0.1 m		12 s	
30 min jamn vasstand (40 min totalt)	0,1 m	6 m <sup>3</sup> /s	11 min 50 s (16 min)	29 l/s
1.35 min	+ 0.3 m		32 s	
15 min	0,4 m	20 m <sup>3</sup> /s	5 min 54 s	101 l/s
0.5 min	+ 0.1 m		12 s	
5 min	0,5 m	24 m <sup>3</sup> /s	1 min 58 s	123 l/s
0.5 min	+ 0.1 m		12 s	
5 min	0,6 m	29 m <sup>3</sup> /s	1 min 58 s	146 l/s
0.5 min	+ 0.1 m		12 s	
5 min x nødvendig antall gonger til å få brot.	+ 0,1 m	+ 4,5 m <sup>3</sup> /s	1 min 58 s	+ 23.5 l/s (q > 300 l/s: + 25 l/s)

## IV. MODELLFORSØK I LABORATORIET VED NTNU

### Stad/oppsett



Figur III-8 Prinsippskisse modellforsøk

Ved laboratoriet ved NTNU er det montert ei rist med helling 1:1.5 i D-renna med breidd 1 m. Oppsett av rist for modellforsøk er synt i Figur III-8. Rista er tidlegare nytta til forsøk med plastring av fyllingsdammar dokumentert av (Pettersen, 2015) og (Jakobsen, 2015). Forsøka ved (Pettersen, 2015) og (Jakobsen, 2015) har fått nummer 1-6. Forsøk 7 vart gjennomført med ulike operatørar og variabel loggføring sommaren 2015. Forsøk som inngår i denne oppgåva starter med forsøk 8. For forsøk 1-7 var maksimal vassføring  $q = 0.4 \text{ m}^2/\text{s} = Q = 400 \text{ l/s}$ . For å modellere feltforsøk 2 er det nødvendig med større vassføring. Ved å ta ut plastrøyr frå renna oppstrøms modellen vart den vassførande kapasiteten til renna auka til 500 l/s. Pumpekamasiteten til renna er 600 l/s, men ved vassføring høgare enn 500 l/s vert vasstanden så høg at vatn renn ut av renna. Ved botn av hellinga er det merka av eit referansepunkt med vassfast tussj og i tillegg er eit fastpunkt festa til rista rett nedstrøms nedre steinrekke som synt i Figur III-8. For forsøk 8 var fastpunktet ei skrue festa med ståltråd som gav store avvik under måling. For forsøk 9-11 vart fastpunktet endra til ein vinkel som vart festa med to skruer med plate og mutter.

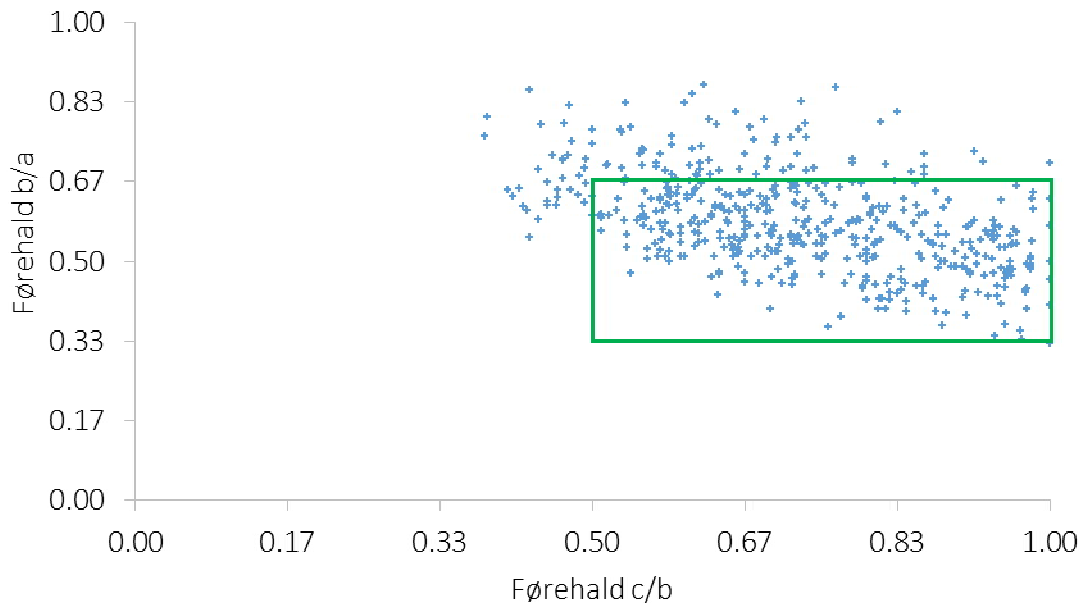
### Steinstorleik

Det vert nytta dei same plastrings- og støttefyllingsstein som i forsøk 1-7. Støttefyllinga er einsgradert og sikting dokumenter av (Jakobsen, 2015) synte at 88 masse-% av stein var mellom 16 og 31.5 mm, medan 11 masse-% var mellom 31.5 mm og 63 mm. Eit anslag på  $d_{50} = 25 \text{ mm}$  kan nyttast.  $d_{88}/d_{1} = 31.5/16 = 1.97$ .

Det er om lag 1000 plastringsstein totalt. Frå (Pettersen, 2015) er det rapportert mål og vekt på 500 stein samt volum for 50 av desse. Plastringsstein er målt å ha  $d_{50} = 57 \text{ mm}$  og  $\rho =$

2709 kg/m<sup>3</sup>. Dei målte plastringsteinane er plotta i Zinggs diagram i Figur III-9. 78 % av målte stein har ønska kornform.

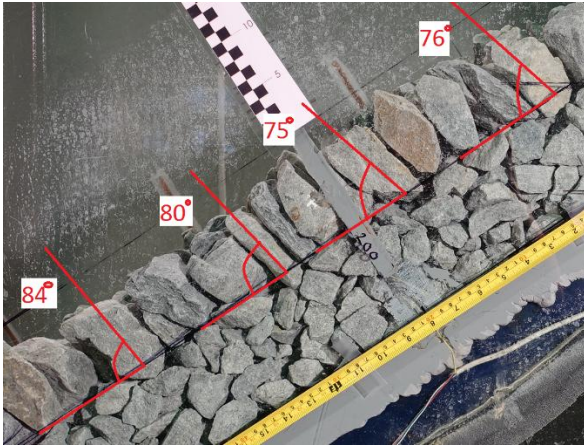
For forsøk 9-12 er det nytta større stein i oppstrøms ende av krona for å betre modellere feltforsøka. Desse kronevernsteinane har massetettleik 3000 kg/m<sup>3</sup> og har gjennomsnittleg diameter rundt 70 mm.



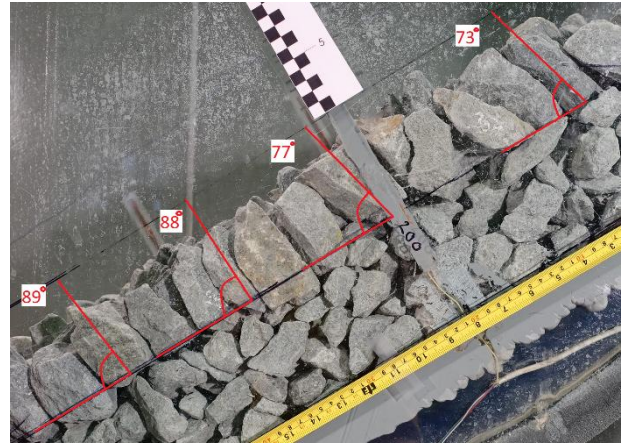
Figur III-9 Zinggs diagram modellforsøk

### Utføring av plastring og plastringstettleik til dam

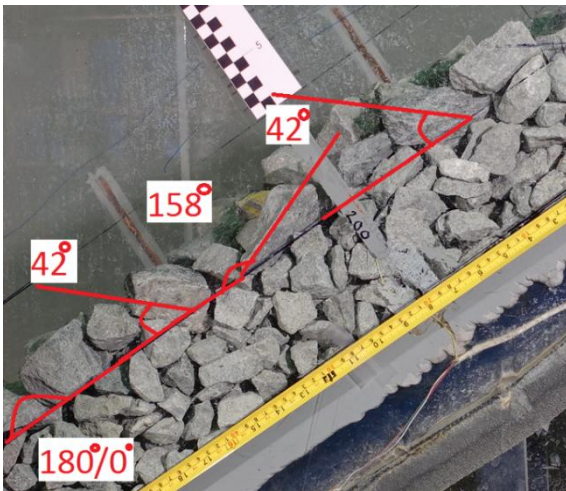
Støttefyllinga skal leggjast i eit 0.1 m lag på rista med spade og jamnast ut med rive. Skråningsvern utført som plastring vert bygd oppover med hand i forband og  $\alpha = 60^\circ$ . Plastring vert lagt med lik vinkel mot horisontalen på damkrona. Bygging av skråningsvern utført som rausa skråning vert gjort ved å sleppe stein i eit lag på støttefyllinga til heile støttefyllinga er dekkja. For modellforsøk 9-12 vert det nytta kronestein på halvdelen av krona lengst oppstrøms. Kronestein plasserast slik at dei dekker støttefyllinga utan forband. Vinkelen  $\alpha$  er målt for fire stein plasserte mot vindaugget som synt i Figur III-10 - Figur III-14.



Figur III-10 Modellforsøk 8,  $\alpha$



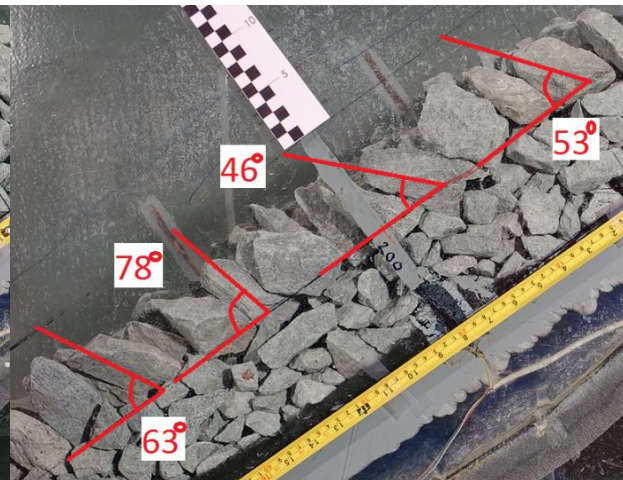
Figur III-11 Modellforsøk 9,  $\alpha$



Figur III-12 Modellforsøk 10,  $\alpha$



Figur III-13 Modellforsøk 11,  $\alpha$

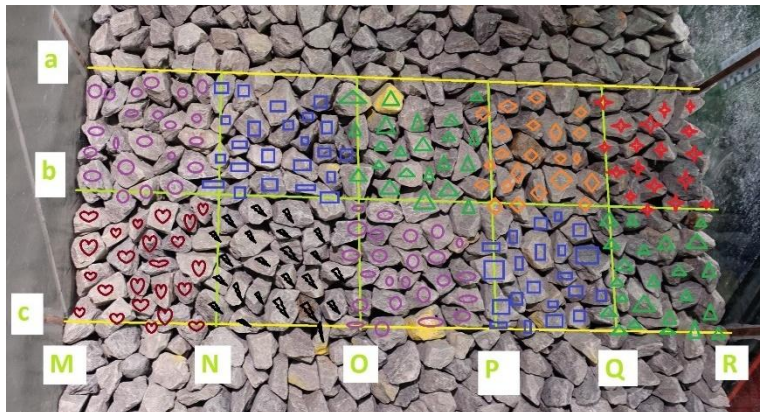


Figur III-14 Modellforsøk 12,  $\alpha$

For å bestemme plastringstettleiken er mengda stein fastsett som synt i Figur III-15. Breidda på forsøksrenna er 1 m og dei parallelle koparstripene ved vindauga og vegg har 0.4 m mellomrom langs damhellinga. Arealet det er fastsett mengde stein for er 0.4 m<sup>2</sup> og det vert rekna om for å fastsetje mengde stein per d<sub>50</sub><sup>2</sup>. Teikneprogrammet Paint er nytta for å dele



området inn i mindre felt for enklare fastsetjing av mengda stein som synt i Figur III-15. Stein som vert rørt av linje a er ikkje tald med, medan stein som vert rørt av linje c er tald med.



Figur III-15 Område for å fastsetje plastringstettleiken for modelldam 11

For modellforsøk 8 var damlengda skalert frå feltdamhøgde 3.5 m, medan modellforsøk 9-11 var skalerte frå meir nøyaktig feltdamhøgde 3 m. Modellforsøk 12 vart bygd med full lengde på rista. Etter at verken modelldam 8 eller 9 gjekk til brot ved belastning skalert frå felt vart byggemåte diskutert og det kom fram at under bygging var stein plassert på ein mest mogleg ideell måte. Det vart gjort fleire forsøk per stein for å legge stein med best mogleg forband i tillegg til at vinkelen  $\alpha$  var brattare enn dei planlagde  $60^\circ$ . For å betre tilnærma bygging av modelldammar til bygging av feltdammar vart det innført ein regel om eit forsøk per stein og kort tid for å velje plassering og orientering av stein. Ekstra merksemd vert lagt inn for å sikre rett helling på stein. Totalt vart det bygd fem modelldammar som det er gjeve oversikt over i Tabell III-6.

Tabell III-6 Modelldammar

Nr	Bygd av	Byggemåte	Lengde helling	Vinkel $\alpha$	Plastringstettleik
8	FK	Plastring	L = 0.98 m	$\approx 80^\circ$	2.07 stein/ $d_{50}^2$
9	FK	Plastring	L = 0.83 m	$\approx 80^\circ$	1.99 stein/ $d_{50}^2$
10	PHH	Rausing	L = 0.83 m	-	1.20 stein/ $d_{50}^2$
11	FK	Plastring	L = 0.83 m	$\approx 60^\circ$	1.80 stein/ $d_{50}^2$
12	PHH	Plastring	L = 1.81 m	$\approx 60^\circ$	1.72 stein/ $d_{50}^2$

### Måleinstrument nytta i laboratoriet

Tomrestokk for å plassere nedstrøms rist.

Ultralydsensor av same typen som vart nytta under feltforsøka. Plassert oppstrøms forsøksdammen som synt i Figur III-8.

Koparstriper er plasserte parallelt langs vindaug og vegg med 0.4 m mellomrom. Det er sett på spenning og dei måler den elektriske konduktiviteten til vatnet. Ved å sleppe saltløysing i vatnet vert den elektriske konduktiviteten endra. Ved å registrere tidspunkt for spenningsendring kan tida saltløysinga bruker mellom koparstripene bestemast. Vasshastigheita kan reknast ved avstand/tid.

Vassføring vert målt med Siemens Sitrans Mag 5000, ved plassering av styrehjul frå vassføring.

Logg av vasstand, vassføring og spenning frå hastigheitsmålingar gjerast med Agilent. Under hastigheitsmåling er det nødvendig med 100 Hz, elles er 10 Hz tilstrekkeleg.

Trykksensorar kan nyttast for å måle vasstrykket langs damhellinga. Festast i rista under støttefyllinga. Trykksensorar er bygd inn for modellforsøk 9-12. Handsaming av data frå trykksensorane er utføre formålet med denne oppgåva og vidare drøfting er ikkje gjort. Rådata frå målingane er tilgjengelege i det elektroniske vedlegget.

Rigg av typen Isel Traverse er montert på toppen av forsøksrenna og denne vert styrt med ProNC-programvare. Rikken kan kjørast i retning  $x'$ ,  $y'$  og  $z'$  og nøyaktig posisjon kan lesast av med programvaren.

Laservinkelmålar frå felt er festa på riggen og kan styrast over merka punkt på stein. Ved å lese av posisjon  $x'$  og  $y'$  med ProNC og  $z'$  frå laservinkelmålar kan posisjonen til merka punkt bestemast. For plassering av punkt i høgrehandssystemet X, Y og Z som vist i Figur III-8 må målte forskyvingar roterast og transformerast. Det roterte og transformerte systemet har origo ved veggen i knekkpunktet mellom krone og dam, og X-asken går langs damhellinga.

Ein laserscanner måler inn ei ca 15cm stripe av skråningsvernet midt på dammen. Laserscanneren er plassert på riggen og vert styrt med eit program i ProNC. Hastigheita er låg og av tidsårsaker vert berre ei stripe langs lengdeaksa til dammen scanna inn.

### Kjøremønster i modellforsøk

Forsøk skal kjørast med belastning skalert frå feltforsøk. Kjøremønsteret er gjeve i Tabell III-5. Maksimal vassføring i oppsettet i D-renna er 500 l/s og dersom det ikkje vert brot før denne vassføringa kan forsøk kjørast vidare med liknande oppsett som forsøk 1-6, med 60 min for kvar vassføring. Vidare kan det vere aktuelt å plukke ut stein med handmakt for å finne ut kor stor glipe som er nødvendig for å få brot.





## IV. Resultat

### I. OPPSETT OG MÅLINGAR

Planar vert endra etter kvart som ting ikkje går etter planen eller det vert gjort nye oppdagingar undervegs som gjev ei ny retning til vidare forsøk. I dette delkapittelet er det rapportert korleis forsøksdammar vart bygde og belasta gjennom forsøka. Noko av det som vart oppdaga etter kvart, er at ting tek tid, nokre gonger mykje lengre tid enn planlagt.

#### Byggemåte og type

Under feltforsøksperioden gjekk den første dagen med til å rydde opp etter tidlegare forsøk og tre dagar å bygge forsøksdam med plastra skråningsvern. Forsøk 1 vart difor gjennomført på dag 5 og forsøk to på dag 9, medan forsøk 3 vart gjennomført på dag 14, utan forfattaren av denne oppgåva. Det vil seie at det vart tre forsøk på tre veker heller enn fire forsøk på to veker, trass i sær lange arbeidsdagar for utførande plastrar. For feltforsøka var det totalt sju personar som var involvert under sjølve forsøka, slik at det var nødvendig å planlegge i forkant, og dammar og målingar i forkant måtte vere ferdige før forsøk starta.

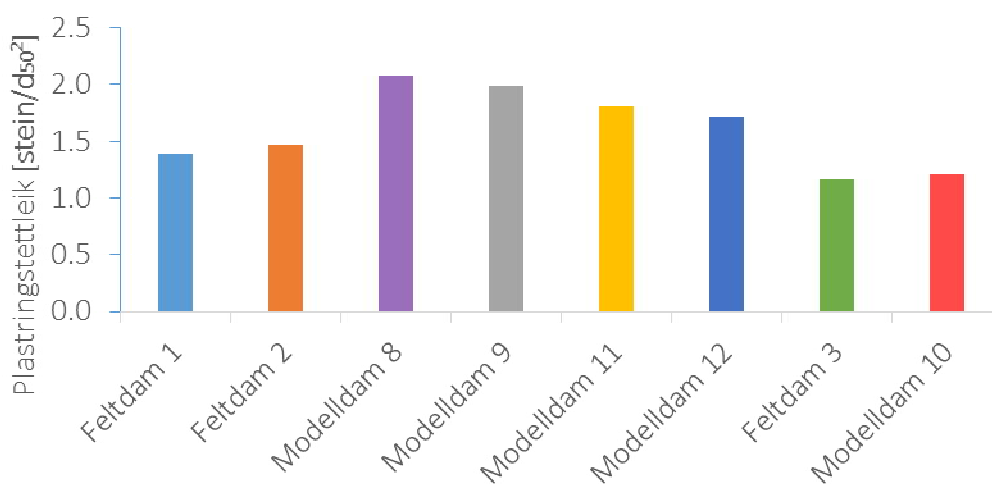
Under gjennomføring av modellforsøk, viste det seg at plastra forsøk som var skalerte etter feltforsøka ikkje gjekk til bort ved tilgjengeleg skalert vassføring. For forsøk 8 vart det nytta 6 dagar med forsøkskjøring før det vart brot, heller enn dei tre timane det hadde teke om dammen hadde gått til brot tilsvarande feltforsøksdammane. Under modellforsøka var det litt betre fleksibilitet, sidan det berre var nødvendig med to personar i laboratoriet for å kjøre forsøk.

Nokre viktige parametrar for forsøksdammane kva gjeld byggemåte og plastringstettleik er gjeve i Tabell IV-1. For feltdammane er  $\alpha$  målt for stein som ligg under linje b, c og d i rasteret, medan for modelldammane er det gjort ei visuell vurdering som skildra i metoden.

Tabell IV-1 Byggemåte

	Byggemåte	$\alpha$	Plastringstettleik
Feltforsøk 1	Plastring, RB	$52^{\circ 1}$	1.39 stein/ $d_{50}^2$
Feltforsøk 2	Plastring, RB	$55^{\circ 1}$	1.47 stein/ $d_{50}^2$
Feltforsøk 3	Rausa, RB	$8^{\circ 1, 3}$	1.17 stein/ $d_{50}^2$
Modellforsøk 8	Plastring, FK	$\approx 80^{\circ 2}$	2.07 stein/ $d_{50}^2$
Modellforsøk 9	Plastring, FK	$\approx 80^{\circ 2}$	1.99 stein/ $d_{50}^2$
Modellforsøk 10	Rausa, PHH	- $2, 3$	1.20 stein/ $d_{50}^2$
Modellforsøk 11	Plastring, FK	$\approx 60^{\circ 2}$	1.80 stein/ $d_{50}^2$

Modellforsøk 12	Plastring, PHH	$\approx 60^\circ$ <sup>2</sup>	1.72 stein/d <sub>50</sub> <sup>2</sup>
<p>RB er Richard Bjørnestøl, PHH er Priska Helene Hiller, FK er Fredrikke Kjosavik.</p> <p><sup>1</sup> For feltforsøka var vinkel til lengste akse målt inn med Leica på eit utval stein som låg under linje b, c eller d.</p> <p><sup>2</sup> For modellforsøk er det vurdert vinkel for steinrekka nærast vindauget frå bilete.</p> <p><sup>3</sup> Rausa skråningsvern har stor variasjon i vinkel, frå 0-180°</p>			



Figur IV-1 Plastringstettleik forsøksdammar

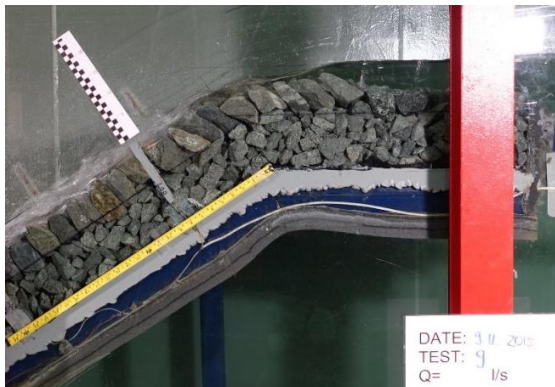
### Hastigheitsmåling

For å bestemme passeringstid for saltløysinga er den målte elektriske konduktiviteten behandla i MATLAB, programkoden er i Vedlegg J. Resultat er gjeve i Tabell IV-2. For å bestemme V<sub>peak</sub> er tid for maksimal elektrisk konduktivitet bestemt direkte frå rådata, medan for å bestemme V<sub>int</sub> er tid for maksimal elektrisk konduktivitet bestemt etter glatting av rådata. Høgda til vatnet over skråningsvernet er bestemt frå bileta i Figur IV-3 - Figur IV-7.

Tabell IV-2 Hastigheitsmåling

q	Modellforsøk8		Modellforsøk9		Modellforsøk11		H vatn	V = q/H
	V <sub>peak</sub>	V <sub>int</sub>	V <sub>peak</sub>	V <sub>int</sub>	V <sub>peak</sub>	V <sub>int</sub>		
29	0.4444	0.4255	0.2721	0.3361	0.6557	0.4651	0.01	2.9
100	0.5479	0.9091	2.1053	1.3793	5.0000	1.2500	0.05	2
200	2.5000	1.5385	0.9091	1.4815	2.0000	1.9048	0.08	2.5
300	0.0769	1.8182	2.6667	2.1053			0.12	2.5
400	2.8571	4.4444	1.7391	2.6667			0.15	2.7
450			1.8182	3.3333	3.0769	3.3333	0.17	2.6

Vasshøgda ved ulik vasstand under modellforsøk 9 kan lesast av med hjelp av dei svarte rutene plassert på koparstaven midt på hellinga. Dei svarte rutene er om lag 0.1 mm og startar 0.02 m over plastringa.



Figur IV-2  $q = 29$  l/s



Figur IV-3 Modellforsøk 9,  $q = 100$  l/s



Figur IV-4 Modellforsøk 9,  $q = 200$  l/s



Figur IV-5 Modellforsøk 9,  $q = 300$  l/s



Figur IV-6 Modellforsøk 9,  $q = 400$  l/s

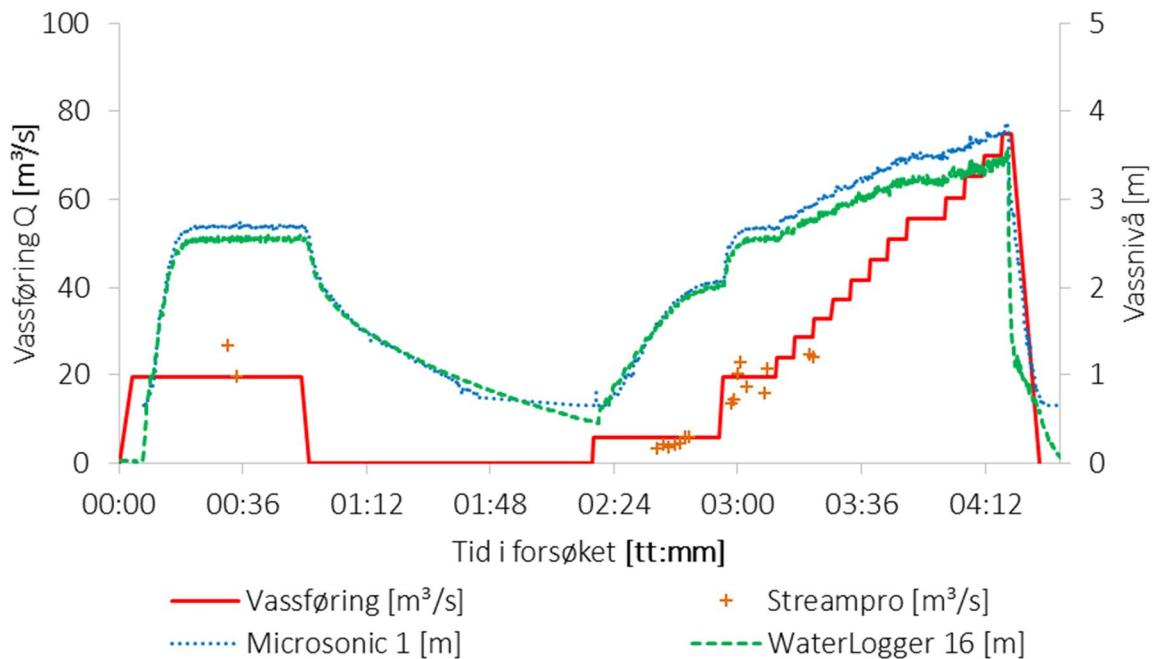


Figur IV-7 Modellforsøk 9,  $q = 450$  l/s

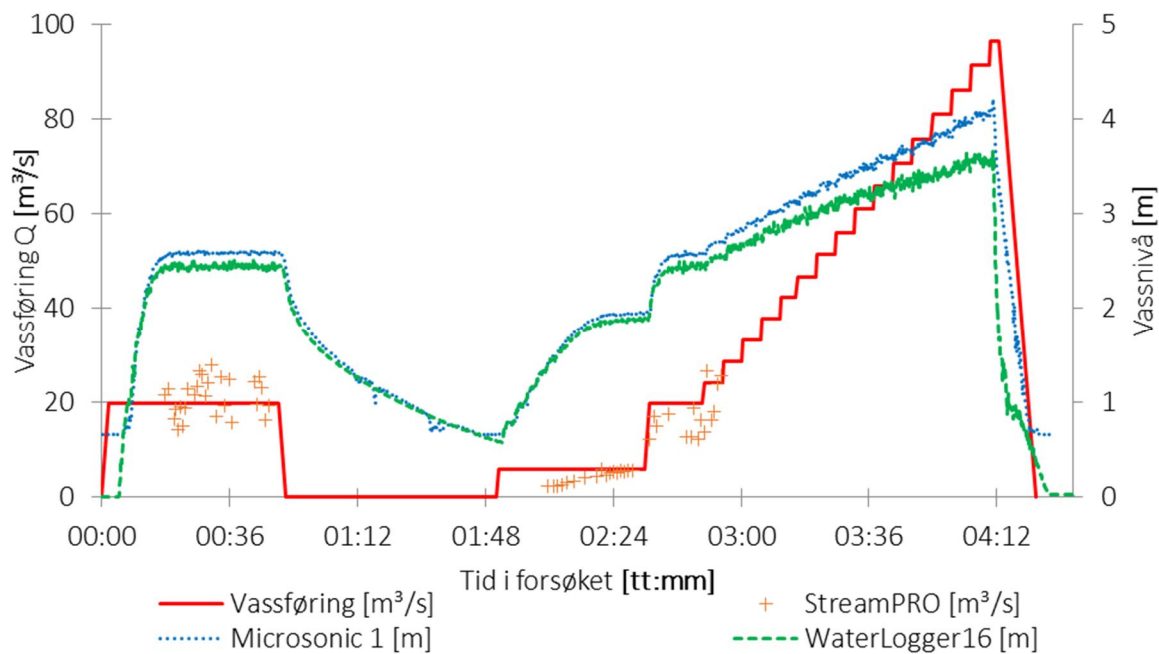
## Forsøksbelastning

Forsøka vart kjørte etter planlagt oppsett. Vasstanden vart logga med og utan hastighetshøgde med Microsonic og WL 16. Ved vasstand lågare enn 0.67 m frå WL16 gav Microsonic 0 og for å korrigere dette i figurane er det lagt til 0.67 m i målinga frå Microsonic. Måleing frå Microsonic som syner 0.67 m tyder difor på at vasstanden var utføre rekkjevidda til måleinstrumentet. Rådata frå Microsonic er glatta slik både Microsonic og WL16 er gjeve med 0.1 Hz. Det er vald å berre ta med resultat frå Microsonic 1 ettersom Microsonic 2 gav identiske resultat. StreamPro gjev vassføring målt framføre tunnelopninga.

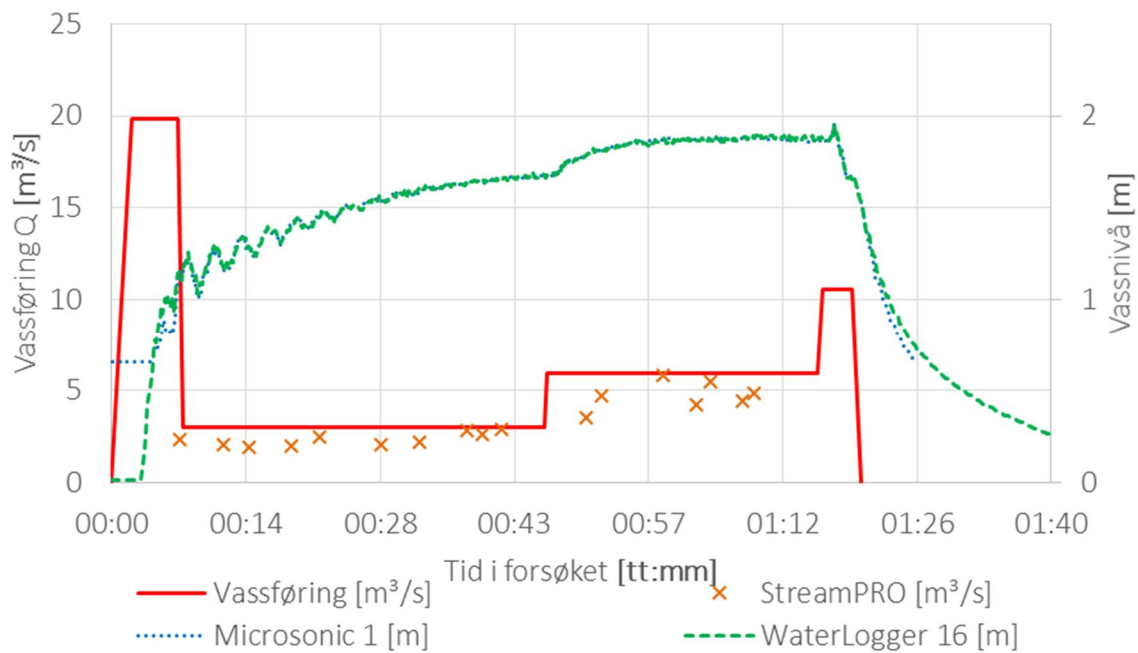
For feltforsøka er resultat av målingar gjeve i Figur IV-8 - Figur IV-10. I Figur IV-8 kjem det fram at vassføringa var konstant ein lengre periode ved om lag 55 m<sup>3</sup>/s under forsøk 1, dette skjedde etter at første stein gjekk og opning av luka vart ikkje gjort som planlagt ein periode. I byrjinga av forsøk 3 vart vassføringa kjørt ganske raskt opp for å fylle tunnelen, og det gav svinging i vasstanden som kan sjåast på Figur IV-10.



Figur IV-8 Feltforsøk 1



Figur IV-9 Feltforsøk 2

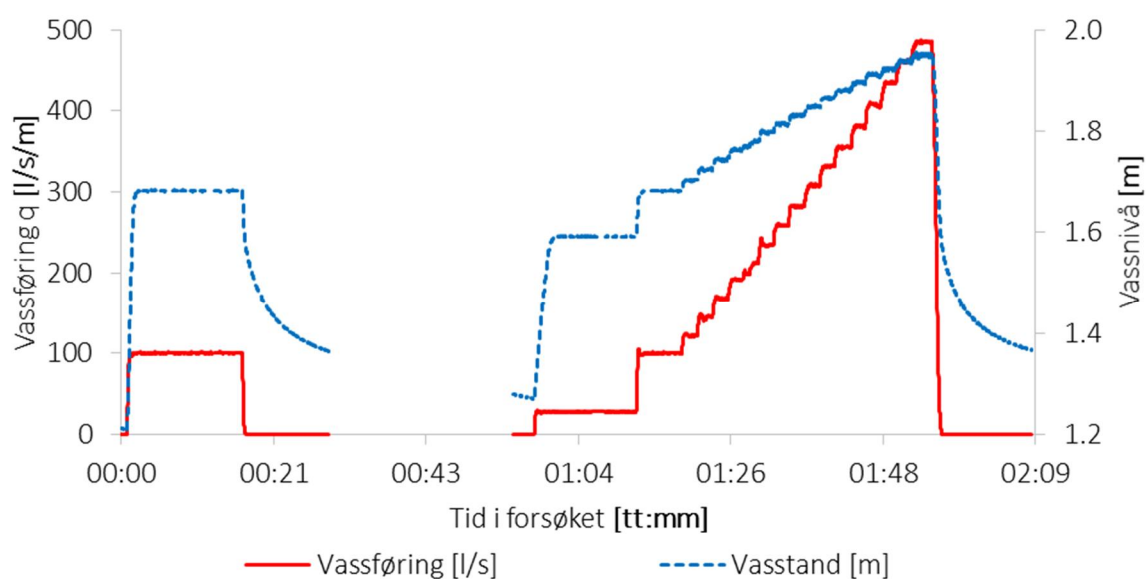


Figur IV-10 Feltforsøk 3



Modellforsøk vart kjørt med skalert belastningsmønster frå felt. Vassføring og vasstand følgjer same mønster som for feltforsøka men tal og einingar på aksane er ulike.

Modellforsøk 8 vart kjørt med belastningsmønster som synt i Figur IV-11 og vidare med belastning og etter kvart manuell fjerning av stein som gjeve i Tabell IV-3. Modellforsøk 8 tolte stor belastning over tid, og endeleg brot hende etter at meir enn 80 stein var teken ut av plastringa.



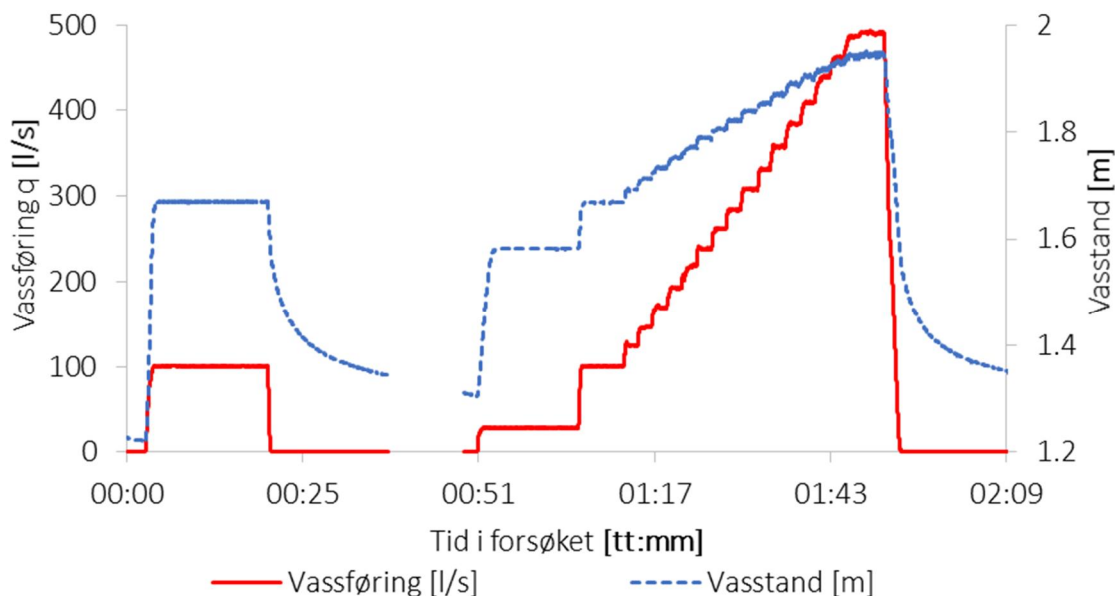
Figur IV-11 Modellforsøk 8, første del av forsøk som var skalert frå felt

Tabell IV-3 Total belastning modellforsøk 8

Belastning	Vassplukka stein	Handplukka stein i etterkant
29-490 l/s, Figur IV-11	+ 3	
60 min x 100 l/s	3	
60 min x 200 l/s	3	
60 min x 250 l/s	3	
60 min x 300 l/s	3	
60 min x 350 l/s	3	
60 min x 400 l/s	3 + 1	
60 min x 450 l/s	4 + 5	
60 min x 400 l/s	9	5
60 min x 400 l/s	9	5 + 8
60 min x 400 l/s	9	13 + 5

60 min x 400 l/s	9	18 + 8
30 min x 400 l/s	9 + 8	26 + 19
30 min x 400 l/s	17 + 3	45 + 12
400 l/s til brot	20 + plukking av stein til brot	57

Modellforsøk 9 vart som modellforsøk 8 først belasta med skalert belastning frå felt som vist i Figur IV-12 og sidan langtidslaster som skildra i Tabell IV-4. Under modellforsøk 9 vart det fjerna stein med handmakt etter lågare belastning enn under modellforsøk 8.



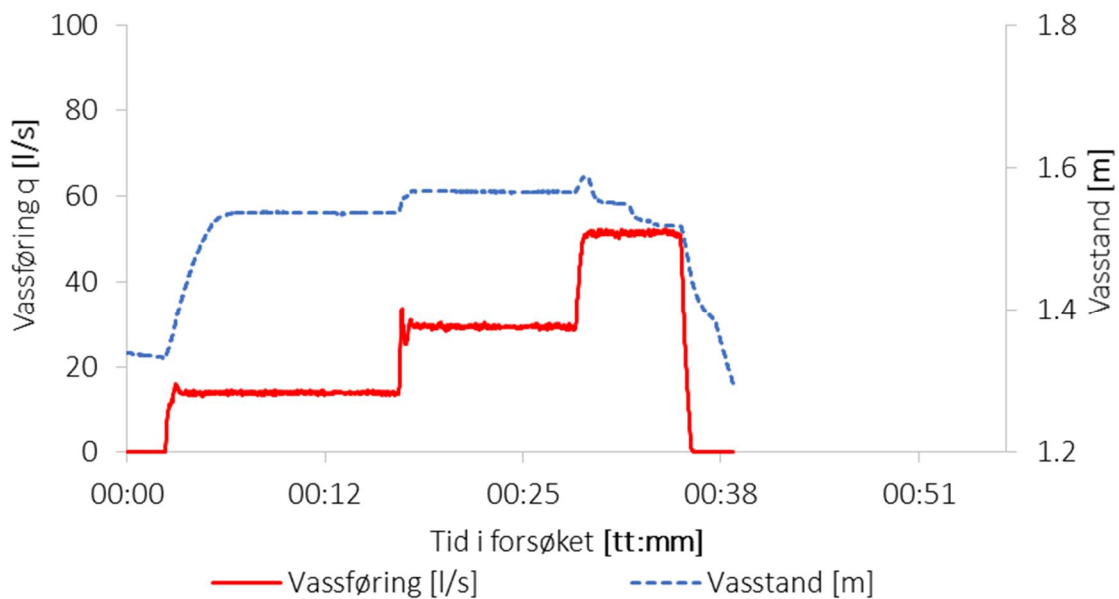
Figur IV-12 Modellforsøk 9, forsøksbelastning skalert frå felt

Tabell IV-4 Total belastning modellforsøk 9

Belastning	Vassplukka stein	Handplukka stein i etterkant
29-490 l/s, Figur IV-12	+1	
60 min x 200 l/s	1	
60 min x 300 l/s	1	
60 min x 400 l/s	1 + 1	
30 min x 450 l/s	2	22
30 min x 400 l/s	2+1	22+7
400 l/s til brot	3+ plukking av stein til brot	29

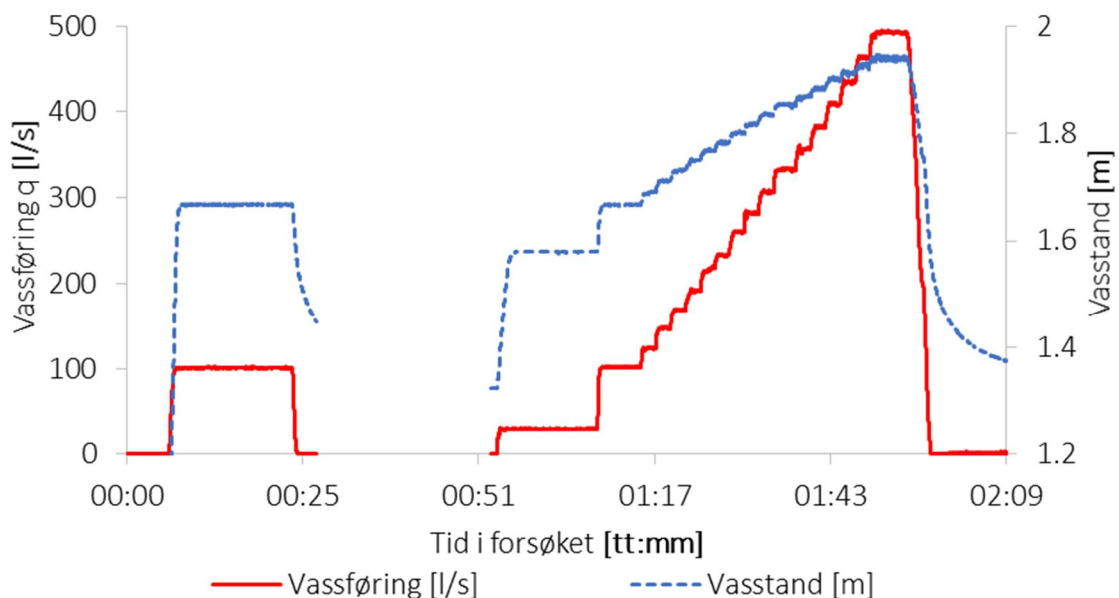
Modellforsøk 10 vart belasta med skalert belastning frå feltforsøk 3 som og var bygd med skråningsvern utført som rausa skråning. Belastninga modellforsøk 10 vart utsett for er synt i Figur IV-13. Belastninga vart ikkje slått av umiddelbart etter brot, men ved å studere vasstandslinja kan det registrerast at brot hende kort tid etter eller under oppkjøring til 50 l/s.



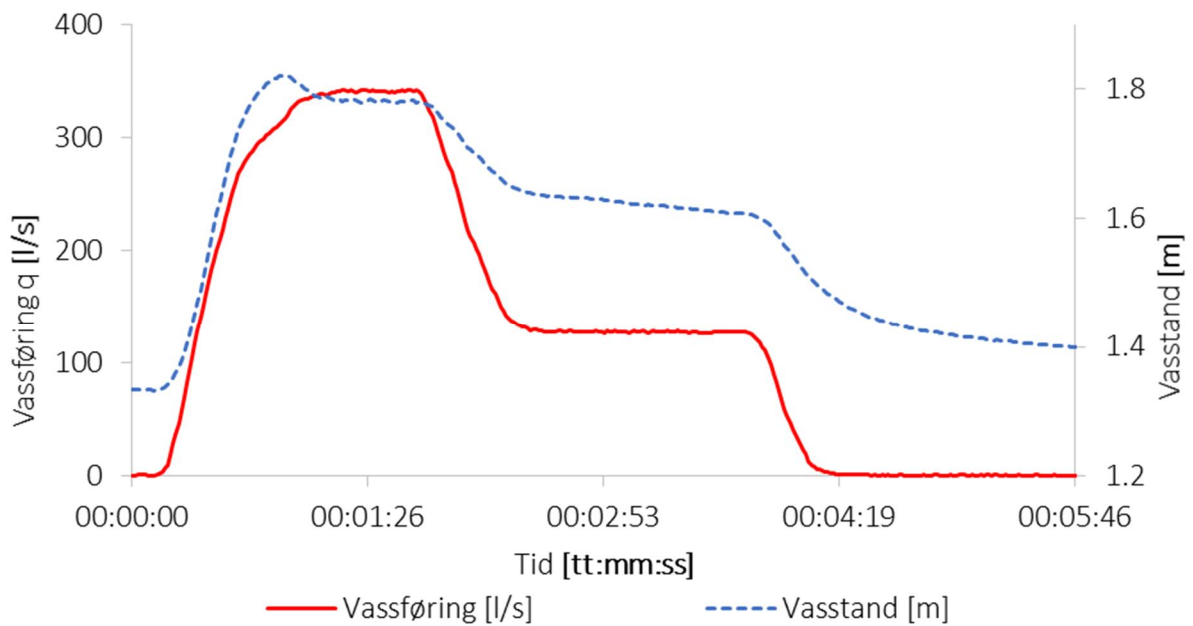


Figur IV-13 Modellforsøk 10, belastning

Belastning skalert frå felt for modellforsøk 11 er gjeve i Figur IV-14 medan total belastning er gjeve i Tabell IV-5. Første gongen det vart fjerna stein med handmakt vart det brot for modellforsøk 11. I Figur IV-15 ser det ut til at brot hende ved vassføring 300 l/s då det vart eit dropp i vasstanden, men auke i vassføring var rask i tida rundt brotet og nøyaktig vassføring over skråningsvernet ved brottidspunktet er vanskeleg å bestemme.



Figur IV-14 Modellforsøk 11, belastning skalert frå feltforsøk



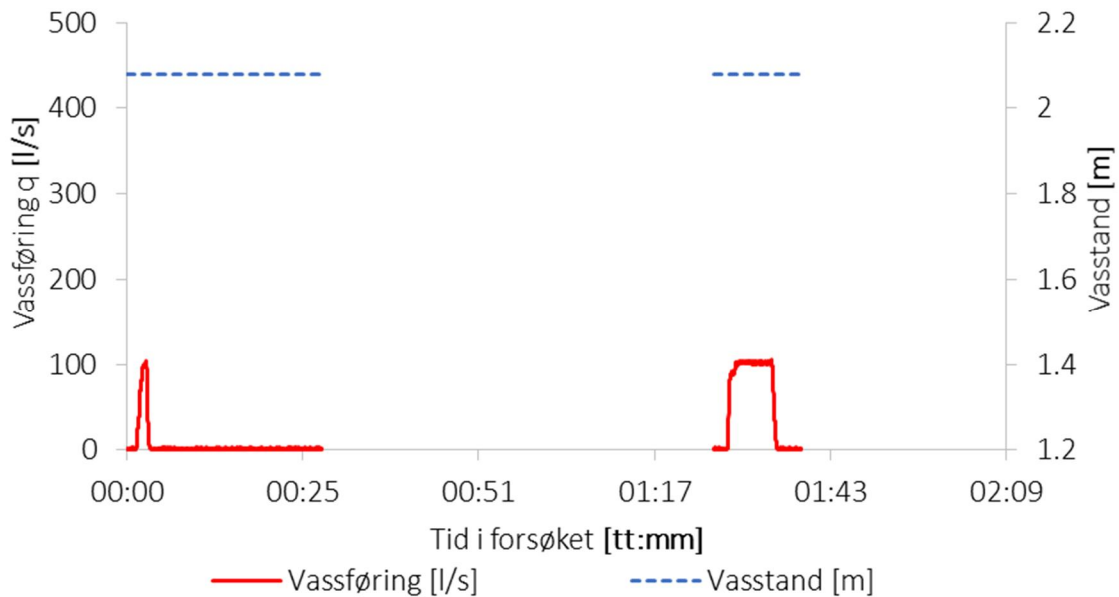
Figur IV-15 Modellforsøk 11, siste belastningsperiode

Tabell IV-5 Total belastning modellforsøk 11

Belastning	Vassplukka stein	Handplukka stein i etterkant
29-490 l/s, Figur IV-14	4	
60 min x 200 l/s	4	
60 min x 300 l/s	4+1	
60 min x 400 l/s	5+1	
30 min x 450 l/s	5	25 + 29
Figur IV-15		

Modellforsøk 12 skulle belastast med vassføring skalert frå feltforsøk, tilsvarande modellforsøk 8, 9 og 11. Etter oppkjøring til 101 l/s vart det observert store endringar i plastringa og vassføringa vart skrudd raskt ned igjen. Plastringa vart laserscanna og

forskyvingar vart målt inn før ny belastning av dammen fram til brot, dette er synt i Figur IV-16. Det vart ikkje registrert vasstand med microsonic-sensoren under modellforsøk 12.



Figur IV-16 Modellforsøk 12, belastning. Vasstand er ikkje registrert.

## II. FØRSTE STEIN, BROT, STEINBASERT FROUDETAL.

Vassføring og steinbasert Froudetal for når første stein gjekk, samt brot er gjeve i Tabell IV-6  
Brotvassføringar

Tabell IV-6 Brotvassføringar

	Første stein		Brot	
	q [m <sup>2</sup> /s]	Fr <sub>steinbasert</sub>	q [m <sup>2</sup> /s]	Fr <sub>steinbasert</sub>
Feltforsøk 1	4.6	6.0	5.8 <sup>1</sup>	8.3
Feltforsøk 2	6.3	9.0	7.8	11.3
Feltforsøk 3	-		0.5 <sup>1</sup>	0.7
Modellforsøk 8	< 0.49 <sup>2</sup>	< 11.7	>> 0.49 <sup>3</sup>	> 11.7
Modellforsøk 9	0.36 <sup>4</sup>	8.5	>> 0.49 <sup>3</sup>	> 11.7
Modellforsøk 10	-		0.03 <sup>1</sup>	0.7
Modellforsøk 11	0.39 <sup>5</sup>	9.15	> 0.49 <sup>3</sup>	> 11.7
Modellforsøk 12	- <sup>6</sup>		0.10	2.4

<sup>1</sup> Brot hende under auke i vassføring. Det er vald å nytte siste sikre vassføring.

<sup>2</sup> Tidspunkt er ikkje registrert i loggen og er ikkje mogleg å bestemme frå videooptak.

<sup>3</sup> For modellforsøk 8, 9 og 11 kom brot først etter lang tids kjøring ved ulike vasstandar, og manuell fjerning av fleire stein.

<sup>4</sup> Tidspunkt funne i loggen men er ikkje mogleg å bestemme frå videoopptak

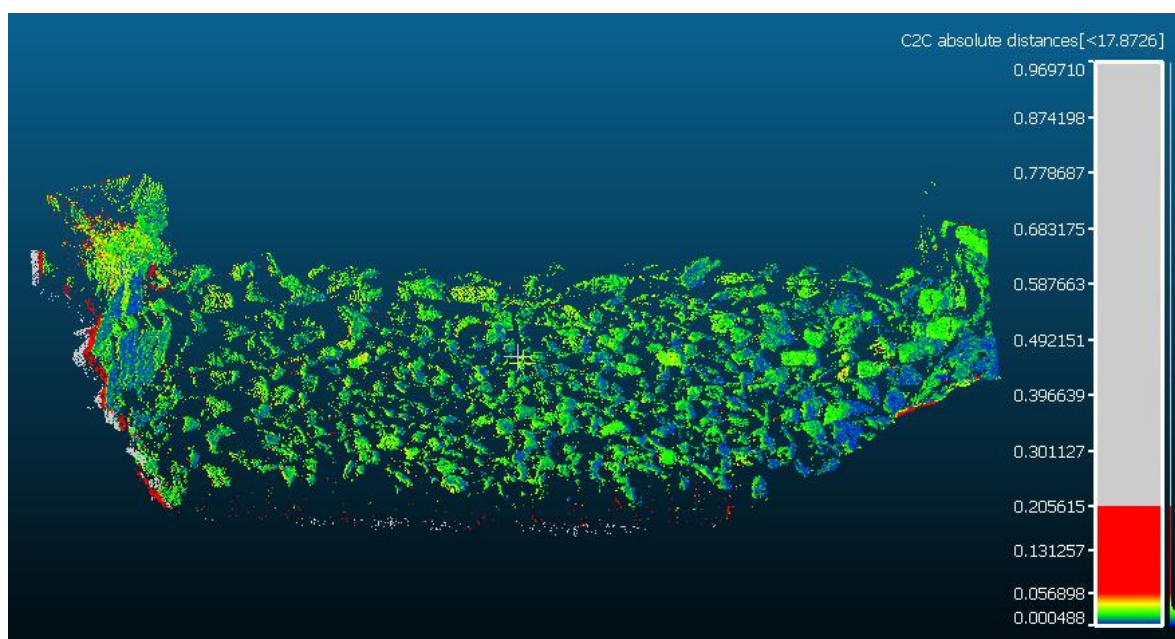
<sup>5</sup> I logg står det at stor kronestein og plastringsstein går, medan videoopptak syner stor kronestein, kan verken bekrefte eller avkrefte plastringsstein

<sup>6</sup> Første plastringsstein gjekk ved rundt  $0.08 \text{ m}^2/\text{s}$ , på veg ned frå  $0.10 \text{ m}^2/\text{s}$ .

### III. FORSKYVINGAR

#### Lasermålte forskyvingar under feltforsøk

For måle forskyving i felt vart forsøksdammane scanna med Topcon Laser før og under forsøk. Ved å samanlikne laserscanning gjort før og under forsøk vil forskyvingar visast. Samanlikning for feltforsøk 1 er gjort av Jochen Bastian Dost og er gjeve i Figur IV-17. Ved samanlikninga er feilen frå programvaren gjeven som  $< 0.01 \text{ m}$ . Ulikheita mellom før og under forsøka er mindre enn feilen i samanlikninga, og på Figur IV-17 kan det sjå ut til å vere størst endring der det er fast fjell.



Figur IV-17 Feltforsøk 1, laserscanmålte forskyvingar, akse for endring til høgre




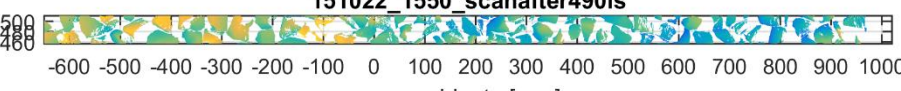
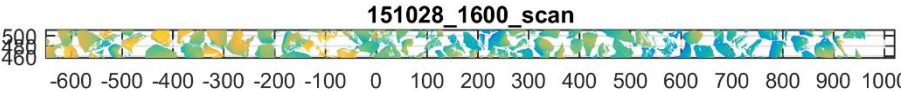
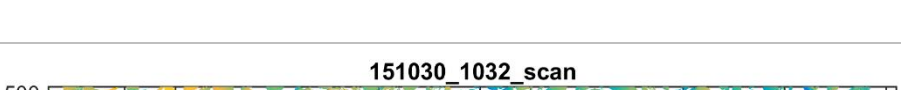
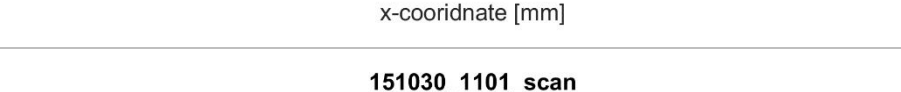
Samanlikning av laserscanning gjort før og under feltforsøk 2 gav tilsvarande resultat som for feltforsøk 1. Dette tyder at forskyvingane som oppstod under feltforsøk 2 var mindre enn måleusikkerheita. Samanlikning gjort av JBD tilsvarande Figur IV-17 for feltforsøk 2 har dessverre forsvunne eller vart aldri lagra.

## Lasermålte forskyvingar under modellforsøk

For dei plastra modellforsøka vart det scanna ei stripe med stein midt på dammen før og undervegs forsøk. Det ligg utføre denne oppgåva å gje ei fullstendig avklaring og samanlikning av desse scanningane, mellom anna av di dei gjev store mengder data som må tolkast i matlab. For å lage ei visuell framstilling av laserscan er det nytta Matlab og skriptet er gjeve i vedlegg J. Figuren som kjem ut av matlab gjev ulike fargar syner kor stein er plassert relativt til laserscanneren. Laserscanneren har fast avstand til rista under skråningsvernet og fargen på figurane er avhengig av høgda til stein. Gule område ligg høgare enn blå område medan kvite område er utføre rekkevidda til laseren. X-koordinaten gjev plassering langs damaksen, -600 er lengst oppstrøms, 0 er knekkpunktet i krona medan positive verdiar er nedover damhellinga.

Utvalde 3D-figurar frå laserscanning gjort under modellforsøk 8 er vist i Tabell IV-7.

Tabell IV-7 Modellforsøk 8, laserscanning

Belastning	3D-figur, skala :  100 50
Før	<b>151022_1317_scanfullbox</b> 
17 min x 101 l/s	<b>151022_1357_scan</b> 
Til 490 l/s, Figur IV-11 3 stein gått	<b>151022_1550_scanafter490ls</b> 
60 min x 100, 200, 250, 300, 350, 400, 450 l/s 9 stein gått	<b>151028_1600_scan</b> 
4 x 60 min x 400 l/s	<b>151030_1032_scan</b> 
Stein er handplukka rundt knekkpunktet	<b>151030_1101_scan</b> 

30 min x 400 l/s	<p style="text-align: center;"><b>151030_1157_scan</b></p> <p style="text-align: center;">x-coordnate [mm]</p>
30 min x 400 l/s	<p style="text-align: center;"><b>151030_1330_scan</b></p> <p style="text-align: center;">x-coordnate [mm]</p>

3D-figurar frå laserscanning gjort under modellforsøk 9 er gjevne i Tabell IV-8.

*Tabell IV-8 Modellforsøk 9, laserscanning*

Belastning	3D-figur, skala:  100 50
Før	<p style="text-align: center;"><b>151109_1412_scan</b></p> <p style="text-align: center;">x-coordnate [mm]</p>
17 min x 101 l/s	<p style="text-align: center;"><b>151109_1453_scan</b></p> <p style="text-align: center;">x-coordnate [mm]</p>
Til 490 l/s	<p style="text-align: center;"><b>151109_1630_scan</b></p> <p style="text-align: center;">x-coordnate [mm]</p>
60 min x 200, 300, 400 l/s	<p style="text-align: center;"><b>151110_1318_scan</b></p> <p style="text-align: center;">x-coordnate [mm]</p>

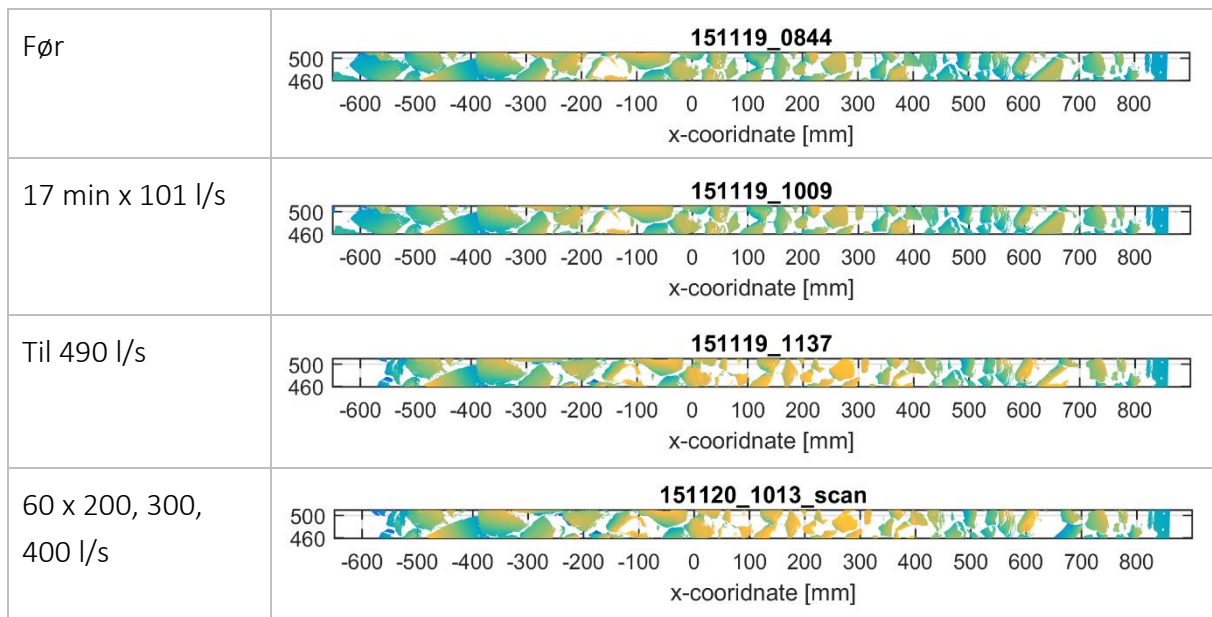
For modellforsøk 10 er det ikkje gjort laserscanning etter belastning, ettersom forsøket gjekk til brot ved første belastning.

3D-figurar frå laserscanning gjort under modellforsøk 11 er gjeve i Tabell IV-9.

*Tabell IV-9 Modellforsøk 11, laserscanning*

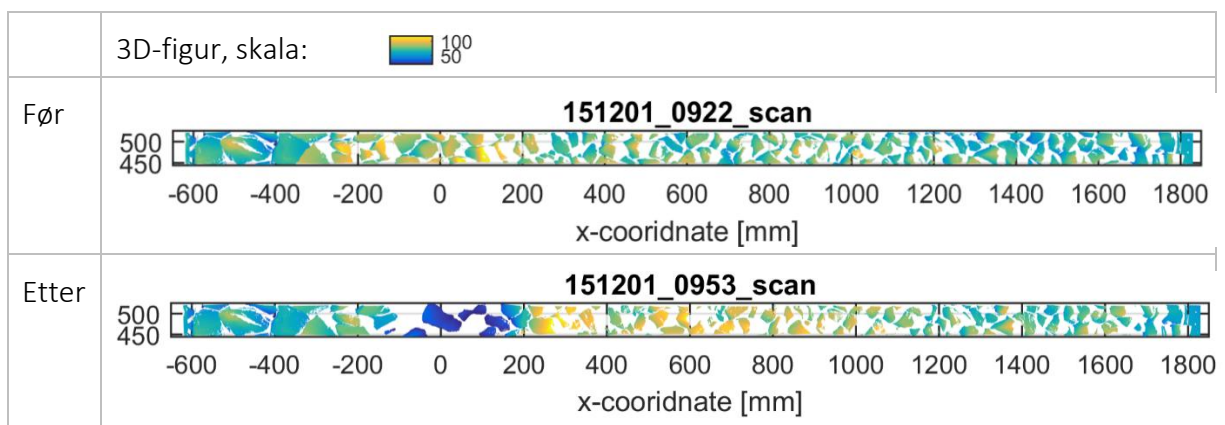
Belastning	3D-figur, skala:  100 50
------------	-----------------------------





Laserscanna figur frå før belastning av modellforsøk 12 og etter kort belastning til/frå 100 l/s er synt i Tabell IV-10. Tydeleg endring rundt knekkpunktet.

Tabell IV-10 Modellforsøk 12, laserscanning



### Forskyvingar målt med travers under modellforsøk

Under modellforsøk vart det målt forskyvingar på merka stein med travers mellom belastning. Forskyvingane vart målte i horisontal og vertikalplanet men er roterte og transformerte som skildra i metoddelen før dei er gjevne her. Gjevne forskyvingar er i mm og er merka med plassering av stein langs x-aksen før belastning. For alle forsøka er det målt inn eit referansepunkt ved  $x = 2175$  og eit fastpunkt på botn av rista som held plastring og støttefylling på plass. Fastpunktet på botn av rista vart endra etter modellforsøk 8 grunna store avvik og eit nytt fastpunkt vart festa inn for forsøk 9, 10 11 og 12.

Under modellforsøk 8 auka forskyvingane med belastning og mengda stein som forsvann frå plastringa. Bilete som syner kvar stein forsvann frå er gjevne i Figur IV-18, Figur IV-19, Figur IV-20 og Figur IV-21. Nokre målte forskyvingar under modellforsøk 8 er gjevne i Tabell IV-11,

saman med informasjon om kor mange stein som var borte frå plastringa då forskyvinga vart målt inn.



*Figur IV-18 Modellforsøk 8 etter forsøk kjørt til 490 l/s.*

*Plassering av forsvunne plastringsstein synt med sirkel*



*Figur IV-19 Modellforsøk 8 før start handplukking av stein.*

*Forsvunne stein etter førre bilete er markerte med trekant.*



*Figur IV-20 Modellforsøk 8, fem stein fjerna med handmakt markert med rombe.*



*Figur IV-21 Modellforsøk 8, siste bilete teke før brot.*

*Totalt 77 stein er forsvunne frå plastringa, område med manglande stein er merka.*



Tabell IV-11 Modellforsøk 8, forskyvingar [mm].

Referansepunkt ved  $x = 2175$ , fastpunkt ved  $x = 998$ .

	Måling etter 17 min med 101 l/s			Måling etter forsøk kjørt til 490 l/s 3 plastringsstein forsvunne under kjøring		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2175	1	1	0	1	-1	0
998	-3	0	3	-1	0	3
911	-1	0	1	1	0	3
621	0	0	0	4	0	1
257	1	-1	0	6	0	2
-4	0	0	1	6	-1	7
-202	0	0	1	4	1	-1
	Måling etter 60 min x 100l/s, 200l/s, 250l/s, 300l/s, 350l/s, 400l/s, 450l/s. 1 plastringsstein forsvunne ved 400 l/s 5 plastringsstein forsvunne ved 450 l/s			Måling etter 60 min x 400 l/s		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2175	1	0	1	0	1	0
998	0	2	5	1	0	3
911	3	1	4	4	0	4
621	9	-2	3	10	-1	2
257	10	0	4	11	0	5
-4	13	-1	9	16	-1	9
-202	6	0	-2	6	0	-2
	Måling etter handplukking av 5 plastringsstein og 60 min x 400 l/s			Måling etter handplukking av 8 plastringsstein og 60 min x 400 l/s		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2175	1	2	-1	2	1	0
998	2	1	5	2	1	4
911	5	1	5	4	0	5
621	11	-2	2	11	-2	3
257	11	1	5	12	-1	6
-4	16	0	10	17	1	10
-202	7	0	-3	5	0	-3
	Måling etter handplukking av 5 plastringsstein og 60 min x 400 l/s 8 plastringsstein forsvunne ila 60 min			Måling etter handplukking av 8 plastringsstein og 30 min x 400 l/s		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2175	0	1	0	0	0	0
998	Ikkje målt	Ikkje målt	Ikkje målt	Ikkje målt	Ikkje målt	Ikkje målt
911	5	0	6	5	0	6
621	13	-3	2	14	-4	1

257	13	-2	5	15	-1	6
-4	20	0	12	23	0	14
-202	5	-1	-4	5	0	-4
	Måling etter handplukking av 19 plastringsstein og 30 min x 400 l/s			Ingen måling. Handplukking av 12 stein samt fjerning av stein under forsøkskjøring fram til brot.		
	X	Y	Z			
2175	1	1	1			
998	ikkje målt	ikkje målt	ikkje målt			
911	5	1	6			
621	15	-4	1			
257	17	-1	8			
-4	37	-3	32			
-202	8	2	-5			

Som i modellforsøk 8 auka forskyvingane med mengda stein plukka ut av plastringa. Under modellforsøk 9 var det få ordinære plastringsstein som vart plukka av vatnet, totalt er det registrert 3 plastringsstein og 1 av dei litt større kronesteinane som vart plukka av vatnet. Det meste av stein som er fjerna frå plastringa er difor gjort med handmakt, og det vart laga to hol. Det eine holet hadde lengdeakse langs knekkpunktet mellom krone og helling, og det vart først plukka ut ti stein her, sidan 7 stein. Det andre holet hadde lengdeakse langs hellinga, to-tre steinrekker frå vindauget og der vart plukka 12 stein samstundes som ti stein vart plukka frå det første holet. For å få brot, vart det som under modellforsøk 8 plukka stein medan vatnet stod på, desse vart i hovudsak plukka frå holet langs knekkpunktet. Det danna seg eit stort hol i plastringa som er omkransa med raud i Figur IV-23 med utgangspunkt i det handplukka holet. Dammen vart vidare belasta med 400 l/s i over 8 minutt før vidare plukking av stein i oppstraums enda av holet før resten av plastringa til sist braut saman. I Tabell IV-12 er eit utval forskyvingar målte under modellforsøk 9 gjevne.



Figur IV-22 Modellforsøk 9

10 stein fjerna frå hol på tvers av  
straumretningen. 12 stein fjerna frå hol  
langs straumretningen.



Figur IV-23 Modellforsøk 9

Stort hol i plastringa.

Tabell IV-12 Modellforsøk 9, forskyvingar [mm]

Referansepunkt i x = 2176, fastpunkt i x = 864.

	Måling etter 17 min med 101 l/s 9.nov			Måling etter forsøk kjørt til 490 l/s 9.nov 1 plastringsstein forsvunne under kjøring		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2176	0	0	0	-1	1	1
864	0	-1	0	3	0	-1
595	0	0	1	3	0	3
247	3	-1	1	6	-2	2
17	2	0	2	10	0	4
-148	2	1	-1	9	1	-3
	Måling 10.nov etter 60 min x 200l/s, 300l/s, 400l/s 1 stein forsvunne under 400 l/s			Måling 10. nov etter 30 min x 450 l/s		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2176	-1	0	0	-1	0	1

864	2	0	0	3	1	-1
595	3	0	3	4	0	3
247	8	-1	3	8	-1	3
17	13	0	6	13	0	6
-148	10	1	-4	10	1	-4
	Måling 10.nov etter handplukking av 22 plastringsstein og 30 min x 400 l/s 1 stein forsvunne ila 30 min			30 min x 400 l/s: Ein stein plukka. Tar ut 7 stein med handmakt 15 min x 400 l/s, deretter: start plukking av stein medan vatnet står på.		
	X	Y	Z			
2176	-1	0	1			
864	3	1	-1			
595	4	0	4			
247	8	-2	3			
17	22	-1	12			
-148	16	3	-6			

Det vart ikkje målt forskyvingar under modellforsøk 10 ettersom dette gjekk til brot under første belastningsperiode.

Under modellforsøk 11 gjekk det 4 plastringsstein i tillegg til 8 store kronestein og 11 støttefyllingsstein under skalert forsøkskjøring til 490 l/s. Område der plastringsstein forsvann frå er synt med raud sirkel i Figur IV-24. Vidare gjekk det to plastringsstein frå områda merka med raud sirkel i Figur IV-25 og ein kronestein ved vidare forsøkskjøring. Før brot vart det handplukka 25 stein nede mot veggen og 29 stein oppe ved knekkpunktet mot vindauget som synt i Figur IV-25. Etter handplukking av desse stein gjekk skråningsvernet til brot under oppkjøring. Eit utval forskyvingar målte under modellforsøk 11 er gjeve i Tabell IV-13.



*Figur IV-24 Modellforsøk 11*

*Plassering av fire forsvunne plastringsstein etter oppkjøring til 490 l/s er markert*



*Figur IV-25 Modellforsøk 11*

*Plassering av handlaga hol merka med firkant og femkant*

*Tabell IV-13 Modellforsøk 11, forskyvingar [mm]*

*Referansepunkt i x = 2168, fastpunkt i x = 865.*

	Måling etter 17 min med 101 l/s 19.nov			Måling etter forsøk kjørt til 490 l/s 19.nov : 8 store kronestein, 4 plastringsstein, 11 støttefyllingsstein		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2168	1	-1	-1	0	0	0
865	-1	-1	1	0	-1	1
779	0	0	1	2	-1	2
582	1	0	1	6	1	4
246	3	1	-1	16	0	5
-38	2	1	1	19	-1	16
-134	1	0	1	7	-10	-12
	Måling 20.nov etter 60 min x 200l/s, 300l/s, 400l/s Etter 300 l/s: To stein i renna, en kronestein og en plastringsstein. Etter 400 l/s: en plastringsstein			Måling 20. nov etter 30 min x 450 l/s ingen nye stein i renna		



	X	Y	Z	X	Y	Z
2168	1	0	-1	0	-1	0
865	0	-1	1	1	-2	2
779	3	-1	2	2	-1	2
582	6	1	4	6	2	4
246	19	1	4	20	1	5
-38	23	3	14	25	4	15
-134	6	-15	-20	6	-16	-22

For modellforsøk 12 vart det målt forskyvingar etter oppkjøring til 101 l/s som vist i Tabell IV-14. Forskyvingane er og synlege på biletet i Figur IV-26 som er teke samstundes som forskyvingane er målte.



Figur IV-26 Modellforsøk 12, store forskyvingar

Tabell IV-14 Modellforsøk 12, forskyvingar [mm]

Målt etter oppkjøring til 101 l/s			
	X	Y	Z
Referansepunkt i x = 2168	1	1	0
Fastpunkt i x = 1826	3	0	1
1756	3	0	3
1404	31	-2	11

1035	44	2	16
584	96	2	-29
273	118	-1	-59
114	135	0	-69
-125	9	6	-5



## V. Diskusjon

### I. FELTFORSØK

Feltdam 3 vart bygd opp med like dimensjonar som feltdam 1 og 2, men med skråningsvern utført som rausa skråning. Plastringstettleiken til feltdam 3 var  $1.17 \text{ stein}/d_{50}^2$ .

Feltdam 1 og 2 vart bygde for å vere like, men sidan feltdam 2 vart bygd etter feltdam 1, var det meir erfaring og kunnskap hjå dei involverte under bygging av feltdam 2. Dette kan vere forklaringa til at feltdam 2 hadde større vinkel  $\alpha$  enn feltdam 1, samt større plastringstettleik med  $1.47 \text{ stein}/d_{50}^2$  mot  $1.39 \text{ stein}/d_{50}^2$  som feltdam 1. Skilnad i plastringstettleik kan vere årsaka til at feltdam 2 tolte høgare belastning enn feltdam 1, då det vil ha vore mindre holrom mellom plastringsstein, og større friksjonskraft som verka stabiliserande for feltdam 2 enn det var for feltdam 1. Forskyvingane som vart målte er mindre enn målefeilen ved samanlikning av dam før og under belastning. Målefeilen er 0.01 m

Ved lågaste vassføring  $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$  vart alle dammane tydeleg overtoppa og gjennomstrømming kan vurderast å vere  $< 0.2 \text{ m}^2/\text{s}$ .

### II. MODELLERING

#### Geometri og vassføring

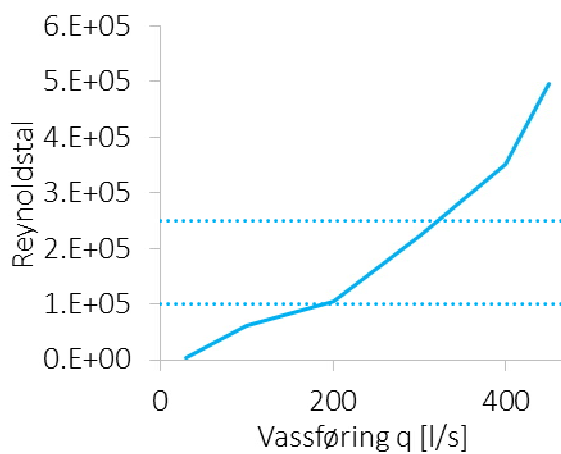
Modelldam 10 vart bygd for å modellere feltdam 3, og den fekk plastringstettleik  $1.20 \text{ stein}/d_{50}^2$ . Lik plastringstettleik kan vere ein indikasjon på likskap. Ein annan indikasjon på likskap er at feltdam 3 og modelldam 10 gjekk til brot ved den same belastninga, når tid og vassføring for modellforsøk 10 er skalert frå feltforsøk 3. Det kan såleis sjå ut til at rausa forsøk vart skalert på ein god måte og at det var mogleg å skape att resultatata frå rausa feltforsøk i laboratoriet.

Modellforsøk 8 var i stor grad tenkt som eit prøveforsøk for å gje erfaring med dambygging og undersøkje om det er mogleg å skape att belastningsmønsteret frå feltforsøka i laboratoriet. Modelldam 8 vart difor bygga før forsøksoppsettet i laboratoriet var ferdig planlagt og tenkt, og i etterkant av bygging og forsøkskjøring av modellforsøk 8 kom det til ny kunnskap og innsikt som vart nytta i det vidare arbeidet. Modelldam 8 vart bygd med steinrekka lengst oppstrøms kilt fast mot rista, medan modelldam 9, 10, 11 og 12 vart bygd med større stein fritt lagt i oppstraums ende av krona, etter 4-5 rekker med plastringsstein.

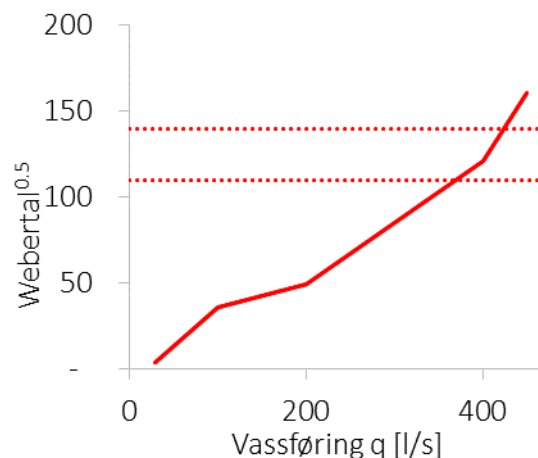
Ingen av modellforsøka med plastra skråning fekk brot ved samanliknbar vassføring med feltforsøka. Dette kan kome av høgare plastringstettleik, meir ideell kornform og for låg maksimal tilgjengeleg vassføring. Mot slutten av belastningstida skalert frå felt for modellforsøk 11 gjekk det fleire stein og det er mogleg at ved berre litt høgare vassføring kunne modellforsøk 11 fått brot som var direkte samanliknbart med feltforsøka.

## Skalaeffektar

For at skalering ved Froudes modellov skal vere gyldig, må Reynoldstalet og Webertalet vere som gjeve i II-iii Laborieteteknikk. Det er Vint som gjev best samsvarande resultat frå forsøk til forsøk og mot hastigheita rekna ved  $q/H$ . Hastigheita rekna ved  $q/H$  tek ikkje omsyn til vatnet som går gjennom støttefyllinga og det er truleg årsaka til den høge hastigheita ved 29 l/s. Det er difor nytta hastigheit frå modellforsøk 9 der det var målingar ved flest vassføringar og det er anteke at desse er representative for dei andre forsøka med skråningsvern utført som plastring.



Figur V-1 Reynoldstalet



Figur V-2 Webertalet<sup>0.5</sup>

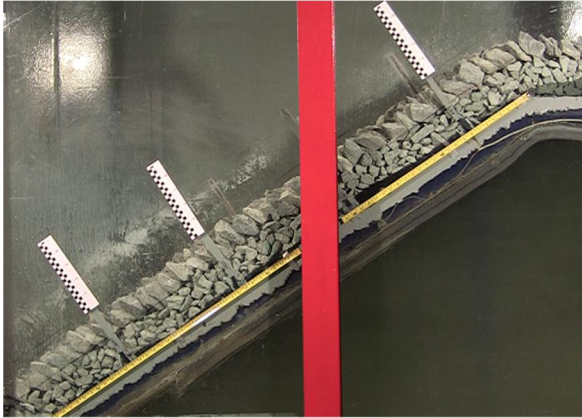
Reynoldstal ved ulike vassføringar er gjeve i Figur V-1 saman med grenseverdi 1.0 og 2.5 x 10<sup>5</sup>. Tilsvarande er Webertalet<sup>0.5</sup> gjeve ved ulike vassføringar i Figur V-2 saman med grenseverdiene 110 og 140. For dei største vassføringane kan kreftpåverknaden av viskositet og overflatespenning neglisjerast etter (Pfister & Chanson, 2012). For dei lågaste vassføringane er det mogleg at kreftpåverknaden frå viskositet og luftinnblandinga gjev skalaeffektar. Det er usikkerheit knytt til måling av høgde og hastigheit, men det er likevel sannsynleg at det verker skalaeffektar ved dei lågaste vassføringane der det var stor luftinnblanding.

## III. MODELLFORSØK

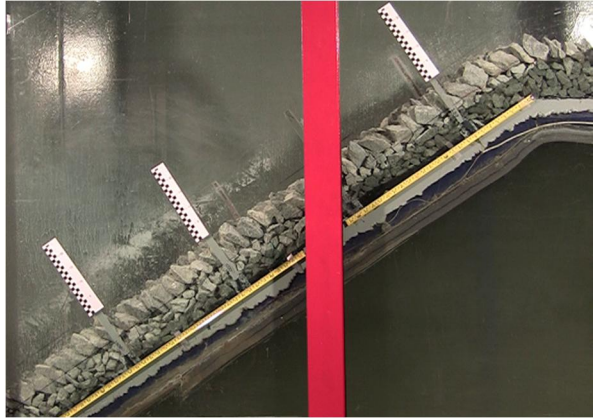
### Modellforsøk 12

Før bygging av modelldam 12 vart duken som ligg under støttefyllinga bytta ut og den nye duken, som er av same materiale som den gamle, var glattare enn den gamle. Under modellforsøk 12 oppstod det store forskyvingar og vatnet vart slått av umiddelbart. I Figur V-3 - Figur V-8 er utviklinga frå overtopping startar til vatnet igjen er på veg ned synt, og det er tydeleg rørsle i støttefyllinga som gjer at forskyving oppstår i plastringa. Det er sannsynleg at brot i modellforsøk 12 skjedde grunna glatt duk som gav dårleg støtte til støttefyllinga.

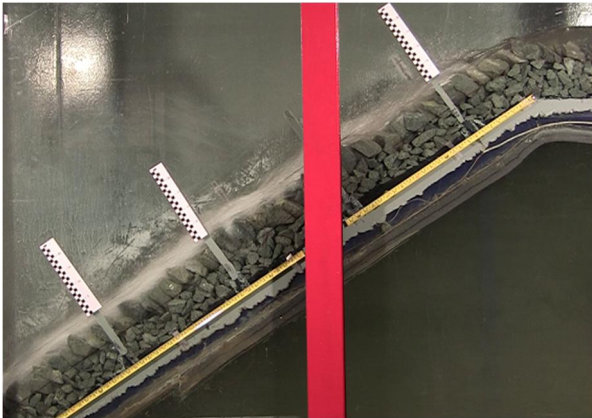
Brotmekanismen til modellforsøk 12 er spesifikk for det spesifikke oppsettet og vidare samanlikning vert ikkje gjort.



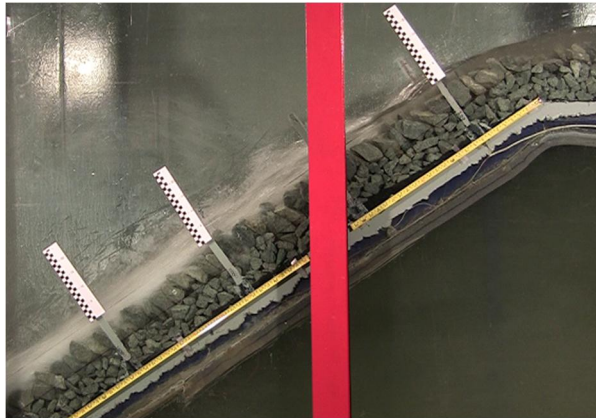
Figur V-3 Modellforsøk 12, t = 0 s



Figur V-4 Modellforsøk 12, t = 10 s



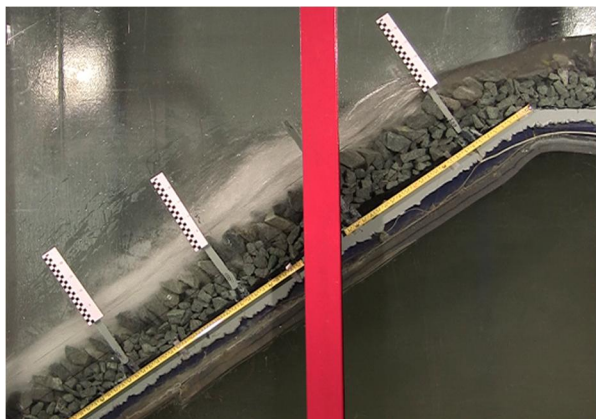
Figur V-5 Modellforsøk 12, t = 20 s



Figur V-6 Modellforsøk 12, t = 30 s



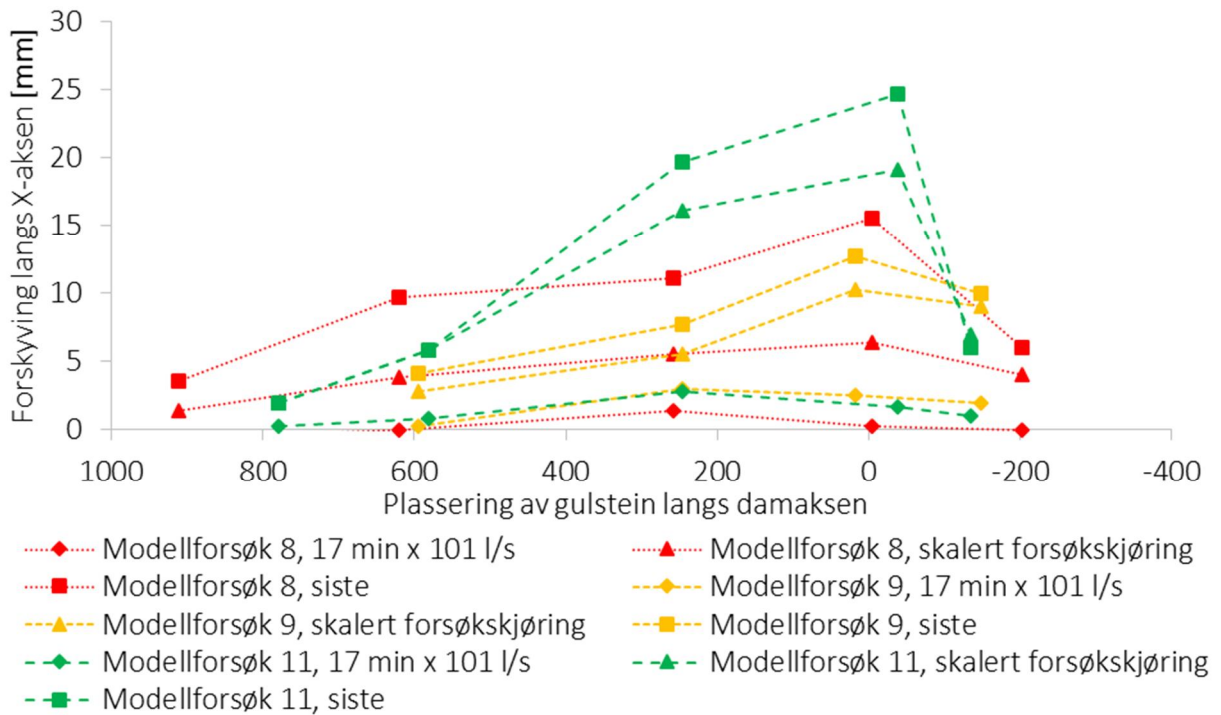
Figur V-7 Modellforsøk 12, t = 40 s



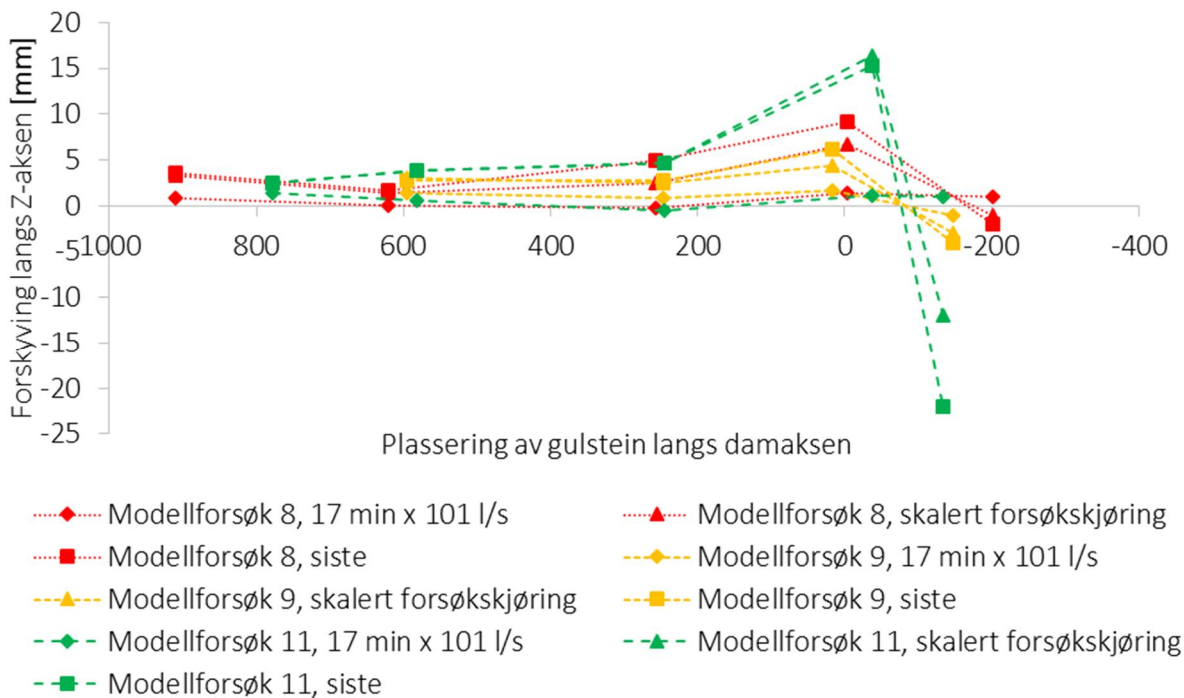
Figur V-8 Modellforsøk 12, t = 50 s

## Forskyving

Ei samanlikning av dei målte forskyvingane langs X og Z-aksen for modellforsøk 8, 9 og 11 er gjevne i Figur V-9 og Figur V-10. Det er tydeleg at forskyvingane aukar med større belastning og etter kvart som fleire stein vert tekne ut av plastringa.



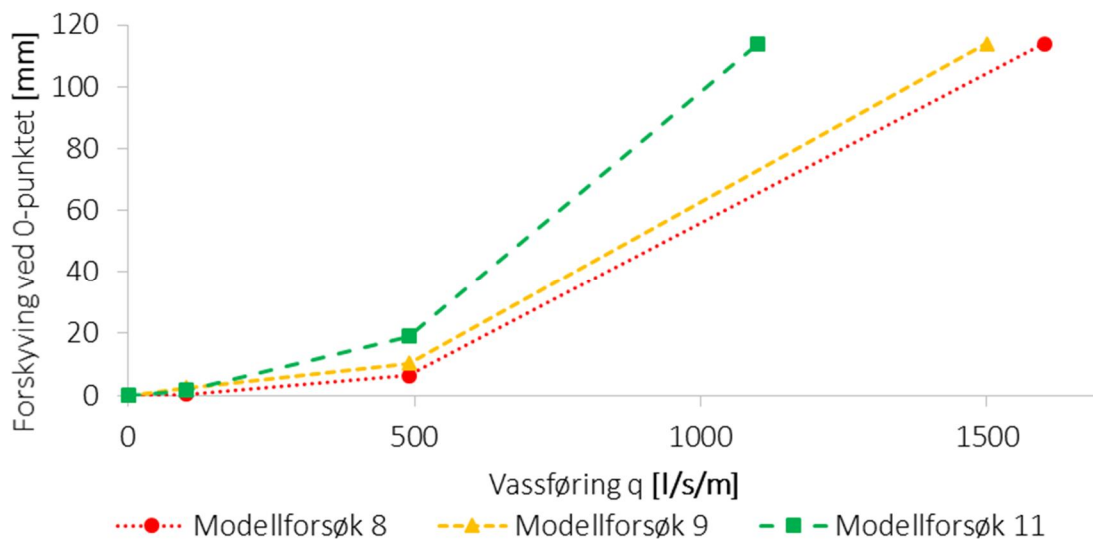
Figur V-9 Forskyving langs X-aksen som funksjon av plassering langs damaksen



Figur V-10 Forskyving langs Z-aksen som funksjon av plassering langs damaksen

Dersom brot ved forskyving  $2d_{50}$  (Pettersen, 2015) er generelt kan nødvendig vassføring for brot ved modellforsøk 8, 9 og 11 vere som synt i Figur V-11. Det er anteke at forskyving vert akselerert etter kvart som stein vert plukka ut frå plastringa slik at det vert større forskyving utan mykje større belastning etter kvart. Dei kjende forskyvingane etter  $q = 0$  l/s,  $q = 101$  l/s og  $q = 490$  l/s er nytta for å ekstrapolere til mogleg brotvassføring.

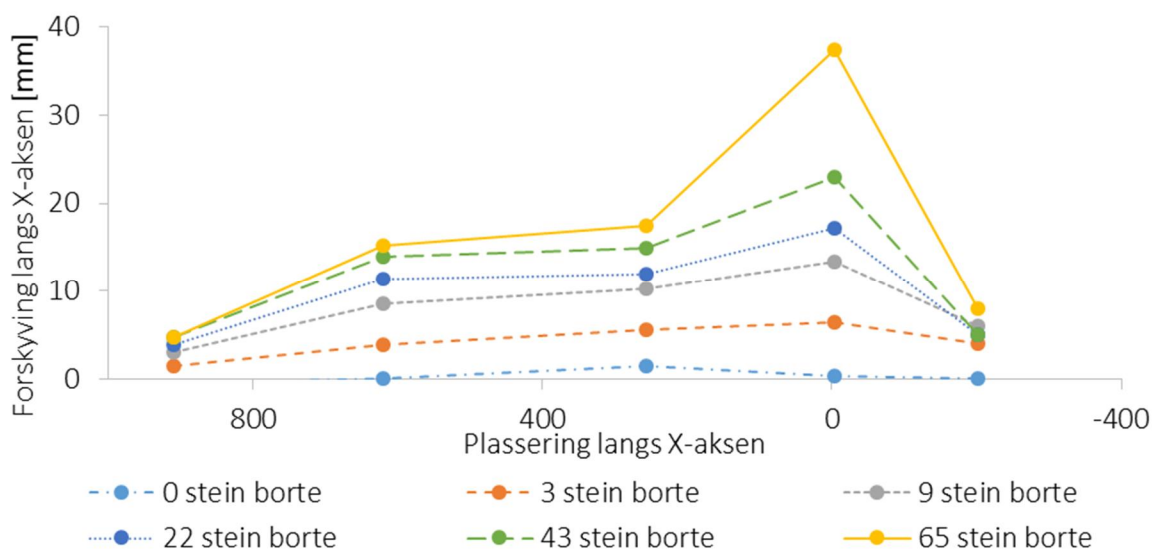




Figur V-11 Ekstrapolerte brotvassføringer

### Plastringstettleik

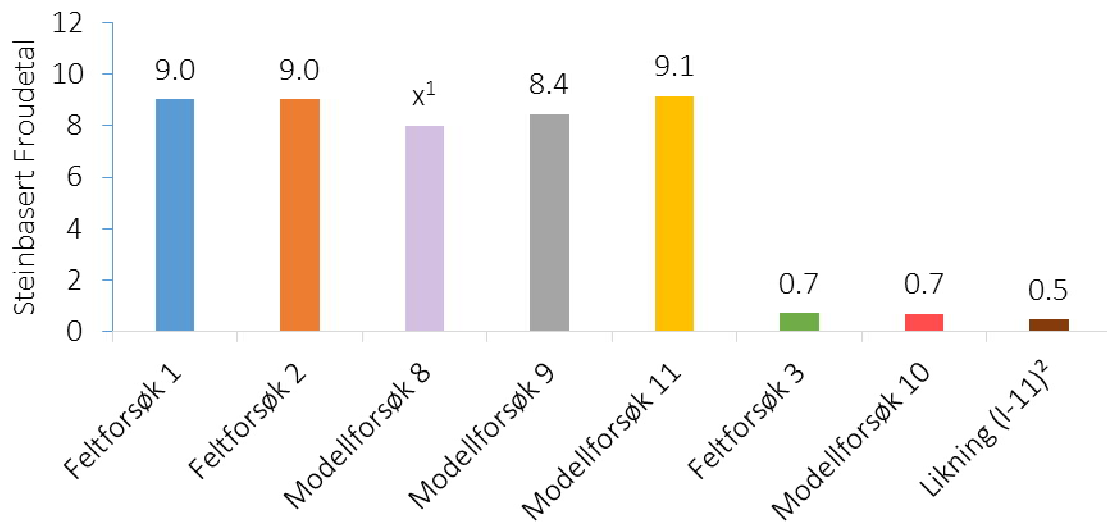
Når stein vert plukka ut av plastringa av vatnet eller med handmakt, går plastringstettleiken ned og det vert større rom for forskyving. Figur V-12 syner korleis forskyvinga under modelforsøk 8 utvikla seg etter kvart som fleire stein forsvann frå plastringa. Dei første steinane som vart plukka med handmakt var lause stein frå hol i plastringa. Rundt desse hola såg det ut til å være danna ei trykkbru av stein som hindra kollaps i plastringlaget. Dersom stein som forsvinn frå plastringa er omringa av stein som står i spenn mot kvarandre er det ikkje sikkert at det vert meir forskyving.



Figur V-12 Modelforsøk 8: Forskyving langs X-aksen

#### IV. SAMANLIKNING

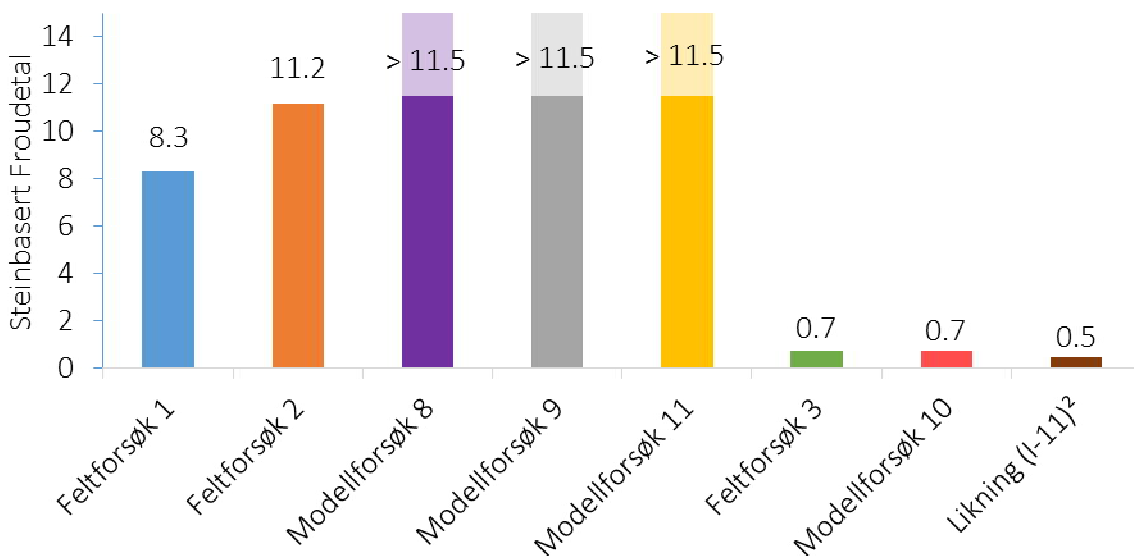
Det steinbaserte Froudetallet som forsøka er skalerte med kan nyttast til å samanlikne forsøk. Steinbasert Froudetal ved første stein forsvunnen frå skråningsvernet og for Likning (II-14) med  $S = 1:1.5$  og  $q = 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$  er gjeve i Figur V-13. Dimensjonerande ulykkesvassføring for norske fyllingsdammar i konsekvensklasse 2 og 3 er  $q = 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$  og det er vanleg å nytte Likning (II-14) for å bestemme minste steinstorleik. For brotvassføring er det steinbaserte Froudetallet gjeve i Figur V-14 saman med Likning (II-14) med  $S = 1:1.5$  og  $q = 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ .



Figur V-13 Steinbasert Froudetal for vassføring når første stein gjekk

x<sup>1</sup> Det er usikkert når første stein gjekk under modellforsøk 8.

<sup>2</sup> Rettleiande steinstorleik mot vassføring som konsekvensklasse 3-dammar skal tole.



Figur V-14 Steinbasert Froudetal for vassføring for brot

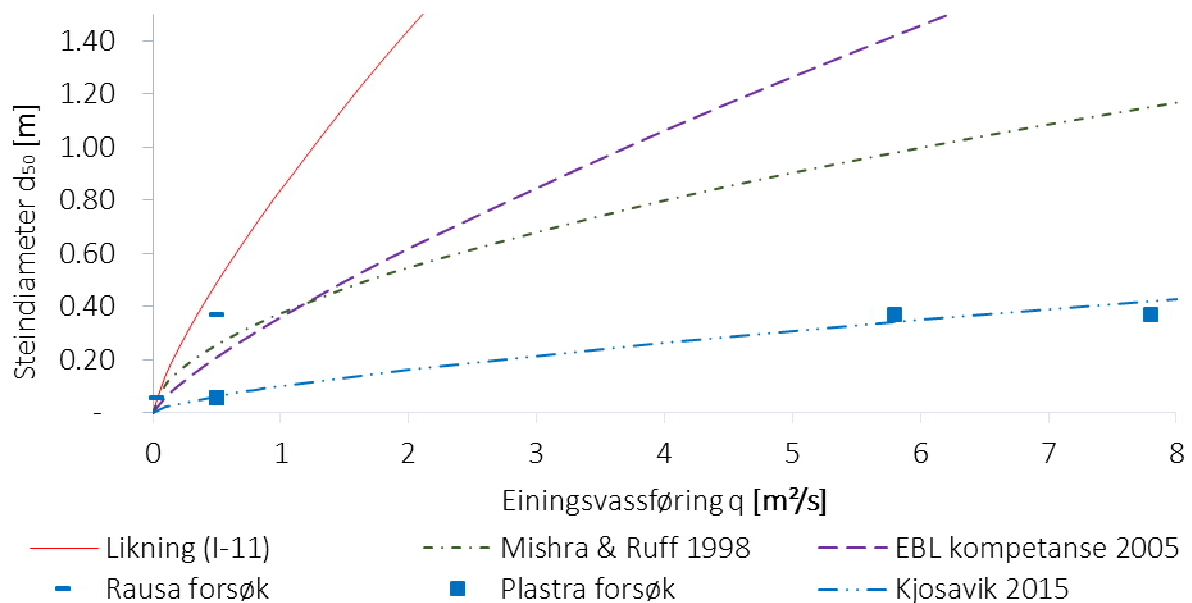
> 11.5 Modellforsøk 8, 9 og 11 fekk brot etter manuell fjerning av stein. Faktisk steinbasert Froudetal ved brot etter samanliknbar belastning er ukjend.

<sup>3</sup> Rettleiande steinstorleik mot vassføring som konsekvensklasse 3-dammar skal tole.

Likning (V-1) gjev samanhengen mellom steinstorleik og brotvassføring for forsøk utførte i samband med denne oppgåva.

$$d_{50} = 0.1 q^{0.7} \quad (V-1)$$

Likning (V-1) er kurva Kjosavik 2015 i Figur V-15 saman med resultat frå forsøk og andre likningar som beskriv forholdet mellom brotvassføring og steindiameter. Kurva frå Likning (I-11) er meint for dimensjonering av minste steinstorleik etter (NVE, 2012), medan dei andre kurvene er meint å skildre forsøksresultat utan sikkerheitsfaktor. Figur IV-16 frå (Kjosavik, 2015) tillagt resultat frå forsøk som er skildra i denne oppgåva.

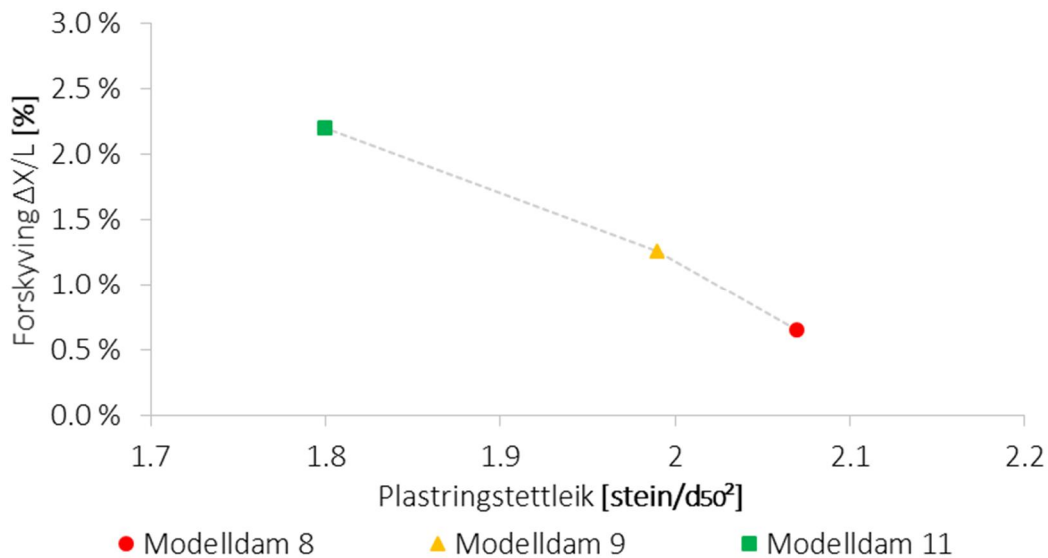


Figur V-15 Diameter som funksjon av einingsvassføring

## V. KONKLUSJON

Forskyving er avhengig av plastringstettleiken som vist i Figur V-16 der forskyvinga er gjeve som funksjon av plastringstettleiken. Forskyvingane er målte etter lik belastning og gjeve i % av tilgjengeleg forskyvingslengd sidan modelldam 8 hadde ei anna lengde enn modelldam 9 og 11.





Figur V-16 Forskyving som funksjon av plastringstettleiken

Høgare plastringstettleik gjev mindre forskyvingar under belastning. Samanlikning av plastringstettleik kan gjerast ved å fastsetje mengde stein per areal gjeve ved  $d_{50}^2$ .

Det er ikkje målt forskyvingar tilstrekkeleg store til at det vart dambrot. Under modellforsøka har det vorte fjerna stein med handmakt for å få brot, og det er ikkje mogleg å gje eit tydeleg svar på kor stor forskyving som er nødvendig for å få brot.

Vurdering av hypoteser: Det er sannsynleg at forskyving oppstår ved at stein pakkar seg endå tettare ved belastning og dette vert bekrefta av at forskyvinga er avhengig av plastringstettleiken. Det er usikkert om utvikling av forskyving vert akselerert av at stein vert fjerna frå skråningsvernet. Det er indikasjonar på at det vert krumming i plastringslaget, men det kan like gjerne vere utgliding med sirkelflate som kjent frå geoteknikk. Forskyving ned i plastringa har i hovudsak oppstått på krona med kort avstand frå den største forskyvinga bortover.

## VI. VIDARE ARBEID

For å betre kunne vurdere korleis forskyvingar oppstår og beskrive desse vil det vere nyttig med forsøk med større lengde på skråningsvernet. Større lengde gjev meir tilgjengeleg forskyvingslengd og sannsyn for svake punkt i skråningsvernet. Med større lengde på skråningsvernet vil det kunne verte store nok forskyvingar til at det vert brot ved tilgjengeleg belastning med noverande oppsett i laboratoriet. Dette vil i tilfelle vere motsett av det som er indikert frå (Martins, 1981), at større lengde gjev høgare brotvassføring og tilsvarande er funne i (Vartdal, 2005). Høgda til dammane som er testa i samband med denne oppgåva er tilsvarande 6 m høgde på ein fyllingsdam, avhengig av steinstorleik. I Noreg er det over 170 fyllingsdammar med høgde 15 – 142 m. For å vurdere om resultat frå modell og feltforsøk er gyldige for større dammar bør effekten av høgda til dammen vurderast.

For å kunne samanlikne forsøk er det viktig at forsøksdammane vert bygd på same måten frå forsøk til forsøk. Det vil vere ein fordel om forsøk for å teste styrken til skråningsvernet til fyllingsdammar vert bygde på liknande vis som fyllingsdammar vert bygde. Fyllingsdammar er ofte i område med mykje ver, og lønsamheita til prosjektet vil vere avhengig av at byggetida vert nytta godt. Ein god gravemaskinførar vil vurdere stein og plassering og plassere stein med kloa slik at det vert best mogleg forband mot andre stein og ønska vinkel. Det kan hende at steinen vert dunka litt på plass med kloa etter plassering, men det er lite sannsynleg at det vert nytta meir eigna dunkereiskap som til dømes skuffe sidan det er tidkrevjande å skifte arbeidsreiskap. Det vil vere sjeldan at gravemaskinførar tek stein opp av plastringa for å finne ei endå meir optimal plassering. Dette er det viktig at utførande plastrar i eit tørt, lyst laboratorium med god oversikt er kjend med og prøver å simulere. Det kan vere nyttig med ein regel om at lagt er lagt, og at stein plasserast forholdsvis fort utan vurdering av mange ulike retningar og plasseringar.

Modellforsøk med skråningsvern utført som plastring bør utformast slik at det er mogleg å få steinbasert Froudetal 15. I renna nytta for modellforsøk ved NTNU er maksimal pumpekapasitet 600 l/s og med stein som har  $d_{50} = 57$  mm vert steinbasert Froudetal 14. Ved vassføring større enn 500 l/s fløymer det vatn ut av renna slik at tilgjengeleg steinbasert Froudetal er 12. Ved å nytte mindre stein vil er det mogleg å få eit større steinbasert Froudetal utan å endre dei faste installasjonane i laboratoriet ved NTNU. Ved mindre stein vil skalaeffektar kunne gjere seg gjeldande i større grad og det er av den grunn ikkje anbefala å gå ned på steinstorleiken.



## VI. Referanser

- Abt, S. R., Johnson, T. L. & ASCE, M., 1991. Riprap design for overtopping flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, pp. 959-972.
- Amundsen, J. M., 2012. *Laboratorieforsøk av plastring av nedstrøms skråning på fyllingsdammer*, Trondheim: Masteroppgåve.
- Bogfjellmo, E., 2013. *Nedstrøms skråning av steinfyllingsdammer - Analyse av eksisterende plastringer*, Trondheim: Prosjektoppgåve.
- CIRIA; CUR; CETMEF, 2007. *The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering*. 2nd edition red. London: C683, CIRIA.
- Crowe, C. T., Elger, D. F., Williams, B. C. & Roberson, J. A., 2010. *Engineering Fluid Mechanics*. 9. red. s.l.:Johns Wiley & Sons, Inc..
- Damsikkerhetsforskrifta, 2009. *Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskrifta)*. [Internett]  
Available at: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-12-18-1600/\\*#\\*](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-12-18-1600/*#*)
- EBL Delprosjekt 2, 2005. *Stability and breaching of embankment dams. Report on Sub-project 2: Stability of downstream and dam toe during large through-flow.*, s.l.: EBL Kompetanse AS.
- Emdal, A., 2009. *Introduksjon til Geoteknikk*. Trondheim: Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU.
- Jakobsen, J., 2015. *Plastring av fyllingsdammer -forskyvning i plastring og anvendelse av Smartstone sensorer*, Trondheim: Masteroppgåve, NTNU.
- Jenssen, L. & Søreide, A., 2004. *Model tests on the stability of rockfill dams during throughflow.* s.l.:s.n.
- Khan, D. & Ahmad, Z., 2011. Stabilization of Angular-Shaped Piprap under Overtopping Flows. *World Academy og Science, Engineering and Technology*, vol 59, 22 11, pp. 775-779.
- Kjosavik, F., 2015. *Plastring av fyllingsdammar -planlegging av feltforsøk*, Trondheim: Prosjektoppgåve, NTNU.
- Langaker, O. K., 2012. *Nedstrøms skråning av steinfyllingsdammer –testing av utført plastring*, Trondheim: Prosjektoppgave.
- Martins, R., 1981. *Hydraulics of overflow rockfill dams*. Lisboa: L.N.E.C..
- Mishra, S. K. & Ruff, J. F., 1998. *Riprap design for ovetopped embankments*, Fort Collins, Colorado: Department of Civil Engineering, Colorado State University.

Moran, R. & Toledo, M. A., 2011. Research into protection of rockfill dams from overtopping using rockfill downstream toes.. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.38, 12, pp. 1314-1326.

NVE, 2012. *Rettleiar for fyllingsdammar*. Oslo: Norges vassdrags- og Energidirektorat.

NVE-SIV, 2014. *SIV Damdatabase, Altinn.no*. [Internett]

Available at: <https://www.altinn.no/no/Skjema-og-tjenester/Etater/Norges-vassdrags--og-energidirektorat-NVE/Damdatabasen-SIV/>

[Funnen 4 Februar 2014].

Pettersen, E. H., 2015. *Plastring av fyllingsdammer - Effekt av forband på styrken til plastringen*, Trondheim: Masteroppgåve, NTNU.

Pfister, M. & Chanson, H., 2012. Discussion: Scale effects in physical hydraulic engineering models. *Journal of Hydraulic Research*, Vol.50, Issue 2, pp. 244-246.

Robinson, K. M., Rice, C. E. & Kadavy, K. C., 1998. Design of rock chutes. *American Society of Agricultural Engineers Vol 41*, 3, pp. 621-626.

Røer, H. E., 2013. *Nedstrøms skråning av steinfyllingsdammer - Testing av utført plastring*, Trondheim: Prosjektoppgåve.

Toledo, M. M. V. M. C., 2004. *Physical and mathematical modelling of embankment dam failure due to overtopping*, Oslo, Norge: Stability and breaching of Embankment dams.

Vartdal, E. A., 2004. *Stability of the downstream slope of rockfill embankment dams exposed to through and overflow*, Trondheim: Prosjektoppgåve, NTNU.

Vartdal, E. A., 2005. *Stability of the downstream slope of rockfill embankment dams exposed to through- and overflow.*, Trondheim: Masteroppgåve.

Vassressurslova, 2000. *Lov om vassdrag og grunnvatn (vassressurslova)*. [Internett]

Available at: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82>

Zingg, T., 1935. Beitrag zur Schotteranalyse. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen Vol. 15*, pp. 39-140.

# Vedlegg

## Innholdsfortegnelse

<b>L.</b>	Feltforsøk 1 plastra skråningsvern .....	1
<b>M.</b>	Feltforsøk 2 plastra skråningsvern .....	6
<b>N.</b>	Feltforsøk 3 rausa skråningsvern .....	9
<b>O.</b>	Modellforsøk 8 plastra skråningsvern.....	12
<b>P.</b>	Modellforsøk 9 plastra skråningsvern.....	32
<b>Q.</b>	Modellforsøk 10 rausa skråningsvern .....	42
<b>R.</b>	Modellforsøk 11 plastra skråningsvern.....	45
<b>S.</b>	Modellforsøk 12 plastra skråningsvern.....	55
<b>T.</b>	Steinmålingar .....	59
<b>U.</b>	MATLAB .....	63
<b>V.</b>	Elektroniske vedlegg, oversikt.....	74

Elektroniske vedlegg er tilgjengelege ved Institutt for Vatn og Miljøteknikk

## A. Feltforsøk 1 plastra skråningsvern

### Målte stein

Måling av akse a, b og c samt  $\alpha$  for stein under rasterlinje b, c og d for feltdam 1 er gjeve i Tabell A-1.

Tabell A-1 Feltdam 1, steinmåling

Fieldtests 2015					
Testdam 1	27.08.15 og 28.08.15				
Målte stein		Målt av PHH og notert av FK			rekna
	alfa	a	b	c	d
	grader	cm	cm	cm	cm
<b>Std avvik, prøve</b>	<b>8.5</b>	<b>7.6</b>	<b>8.1</b>	<b>4.7</b>	<b>5.0</b>
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>19</b>	<b>55</b>	<b>36</b>	<b>24</b>	<b>35.8</b>
b1N	20	72	43	31	46
b2	0	56	50	28	43
b3O	12	62	41	27	41
b4	17	58	43	27	41
b5	30	56	26	18	30
b6	18	54	34	19	33
b7p	19	48	27	26	<b>32</b>
b8	22	62	26	21	32
b9	23	72	50	23	44
b10	24	48	28	17	28
b11Q	0	47	41	19	33
b12	21	62	36	24	38
b13	22	66	47	18	38
b14R	19	47	26	23	30
b15	21	48	27	21	30
b16	20	57	36	25	37
c1N	40	40	36	20	31
c2	0	50	34	22	33
c3	21	56	42	21	37
c4O	22	53	33	24	35
c5	15	58	32	27	37
c6	20	61	22	20	30
c7P	13	60	43	27	41
c8	20	40	36	22	32
c9	24	68	29	20	34
c10Q	25	60	42	31	43
c11	17	59	50	25	42
c12	13	52	33	20	32
c13R	28	54	47	20	37
c14	15	55	34	25	<b>36</b>












c15	20	57	27	26	34
d1N	36	65	33	22	36
d2	15	50	33	24	34
d3O	33	35	19	15	22
d4O	20	56	45	27	41
d5	23	55	50	24	40
d6P	15	50	35	21	33
d7P	17	60	36	26	38
d8	14	52	23	19	28
d9	11	57	30	17	31
d10Q	25	60	30	30	38
d11	0	63	47	22	40
d12	20	52	34	25	<b>35</b>
d13R	25	54	37	35	<b>41</b>
d14	23	56	32	25	36
d15	33	53	42	38	<b>44</b>
d16	15	49	33	28	<b>36</b>

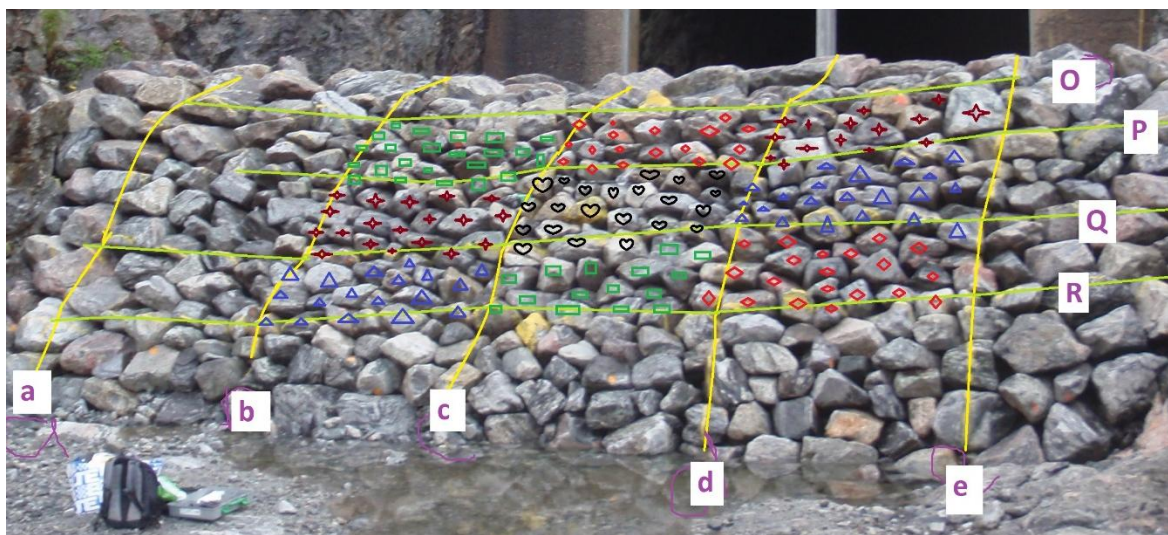
### Plastringstettleik

Figur A-1 Fastsetje plastringstettleik for forsøksdam 1 syner korleis rasteret er delt inn og merka i Paint. Tabell A-2 Merka stein feltforsøk 1 gjev mengda stein i kvar rasterrute. Det var mykje regn og dels dårleg tid under gjennomføring av forsøk 1, og dette kan vere årsaka til at det var vanskeleg å få eit godt, skarpt bilete av forsøksdammen. Å fastsetje mengda stein mellom linje O og P var vanskeleg grunna noko uskarpt bilete. I felt OP/de er det ein tydeleg større stein, som det vart nytta i vederlaga under og langs kantane. Mengda stein i felt OP/de er difor ikkje teken med for å rekne plastringstettleiken for denne dammen.

Gjennomsnittleg plastringstettleik i feltforsøk 1 (felt de/OP utelate) er  $19.5 \text{ stein per } 2 \text{ m}^2 = 9.8 \text{ stein/m}^2$ .

Tabell A-2 Merka stein feltforsøk 1

	b-c	c-d	d-e
O-P	23 stein merka 	18 stein merka 	15 stein merka 
P-Q	19 stein merka 	22 stein merka 	21 stein merka 
Q-R	18 stein merka 	15 stein merka 	20 stein merka 



Figur A-1 Fastsette plastringtettleik for forsøksdam 1

### Logg

Field tests 2015 logg

Date, time	What	Files
23.8.15	<p>Programming the Divers which will be placed below the dam.            Project time is PHHs computer time            Diver name, serial number, programmed for            FT15_baro, M0242, every 60 seconds, starts at 26.8.15 at 01:00:00            FT15_under1, L4360, every 60 seconds, starts at 26.8.15 at 01:00:00            FT15_under2, L4340, every 60 seconds, starts at 26.8.15 at 01:00:00            FT15_under3, L6035, every 60 seconds, starts at 26.8.15 at 01:00:00            FT15_under4, M0416, every 60 seconds, starts at 26.8.15 at 01:00:00            FT15_under5, L4597, every 60 seconds, starts at 26.8.15 at 01:00:00            Backup of dat. On harddisk</p>	Diver project saved on PHHs desktop
24.8.15	<p>Startup in field            We have just the masses form the ICOLD test. Start to sort them to get the smaller riprap stones and the fill. It looks like we can manage. In the evening we had about 200 riprap stones. I guess we need ca. 300.            The weather turned from summer to stormy and rain some times which makes the work more difficult.            The tent is set up.</p>	
24.8.15	<p>GT installed the microsonic sensors.</p>	
	<p>BD installed the divers with GT and PHH. There are now 4 divers installed, ca. in the middle of the dam. The places were chosen as it was possible to install them there due to the uneven surface of the rock and the water damed up. R sometimes took out water with the excavator skuff. PMS measured the position and the height of the divers and the microsonic with GPS. See sketch on the pictures.</p>	
26.8.	<p>StreamPro er nå klar. Fjernet saugjære.            R er nå i gang med å plastre.</p>	
27.08.15	<p>Video 2 videos are green, and it is too bright outside. watch is synchronized, an half second after main computer.            Video 1 is ok, watch is an half second after main computer.</p>	

	Olympus ok sync with PC. It is just possible to see the minutes on Olympus. Picture from PC watch. Sync PHHS private photocamera with PHHs PC watch. Picture.																										
	PHHs PC watch is synchronized with IIVM151AB manually. Difference is less than 1 sec.																										
28.08.15 - 0720	Starter laser for å scanne dam, targets og bilde: Bilde:Azimut -85 til 100, Zenit +20 til -35, Normal bildekvalitet. Battery low beskjed. Bastian was working at the dam, therefore target scan: 001:Bjork, 002:Tunnel. 0744: Dam partly scanned, but some drops on the screen made the scanner stop, FK thought the problems was the batteries and stopped the program and then noticed the message the glass was dirty, therefore, scanning was done one extra time. Scan 002 is ok. Target scan 003 Port/dor and 004 gjerde. 0800: Turning of the scanner and taking it away for the test. Note: For only the low discharge (~20m3/s) the leg of the scanner can stay. Due to partly rainy weather and also time it was chosen to just make one scan, which covered all but the half meter at the closest corner of the dam.																										
0930	Dammen er overtoppa, gjør klar streampro for deretter å sjøsette. Fikk noen få "gode" malinger. 1000 Fikk ikke 10 bins. For rent vann? For dypt? For mye turbulens? Noe annet? Tok opp båten.																										
1030	Setter opp laser igjen for ny scanning Bilde Azimut: -80 til 110 og Zenit +20 til -35. Scan Azimut -60 til 10 og Zenit 0 til -35. Target scans: 001 Bjork, 002 Tunnel, 003 Port, 004 Gjerde. Noe regn, derfor ble regntrekket fra Priskas sekk forsøkt holdt slik at skjemen ble holdt dryppfri. Stort sett Bastian, Fredrikke hjalp til v/behov. En stopp for å vaske skjermen (stopper når den registrerer noe på skjermen, beskjed på pc som det må godkjennes før den scanner igjen).																										
150831 0830	Jakter smartstones i grushaugen etter dambruddet. De lå i et lite område i vannet.																										
	Måling av smartstones: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>a</th> <th>b</th> <th>c</th> <th>d</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Øvre</td> <td>50</td> <td>33</td> <td>21</td> <td><b>32,6</b></td> </tr> <tr> <td>Midtre</td> <td>55</td> <td>33</td> <td>33</td> <td><b>39,1</b></td> </tr> <tr> <td>Nedre</td> <td>46</td> <td>31</td> <td>27</td> <td><b>33,8</b></td> </tr> <tr> <td><b>Snitt:</b></td> <td><b>50,3</b></td> <td><b>32,3</b></td> <td><b>27,0</b></td> <td><b>35,2</b></td> </tr> </tbody> </table>		a	b	c	d	Øvre	50	33	21	<b>32,6</b>	Midtre	55	33	33	<b>39,1</b>	Nedre	46	31	27	<b>33,8</b>	<b>Snitt:</b>	<b>50,3</b>	<b>32,3</b>	<b>27,0</b>	<b>35,2</b>	
	a	b	c	d																							
Øvre	50	33	21	<b>32,6</b>																							
Midtre	55	33	33	<b>39,1</b>																							
Nedre	46	31	27	<b>33,8</b>																							
<b>Snitt:</b>	<b>50,3</b>	<b>32,3</b>	<b>27,0</b>	<b>35,2</b>																							
1000	Øvre smartstone: The bolt on the smartstone-sensor was a bit loose after some hammering and loosening of the nut. The other bolt broke while hammering it into normal position. The styropore containing the sensor was stuck, but as there was a rope in the sensor, it was easy to get it out. It might have been that the byggeskum have pushed the styropore out as it was at the gap, not into the hole as it was when it was fixed there on Friday. Diver grid: One bolt was broken (cut) off, and one was loose with also																										

	the mutter loose. The steelplate looked ok. Two of four bolts were fixed, but when using a tool on the mutter, the bolts followed. Used a hammer to get these bolts loose	
	Midtre smartstone (diver only): ble funnet først, på denne var metallplate og diver revet bort og boltene kuttet.	
	Lower smartstone (diver only): Fixed with a crossed patentband, all bolts fixed, one mutter loose, one needed some hammering to get loose, the others came easily.	
1115	Opening the smartstone-ballon inside messa: The ballon was wet on the outside, but the inside seems dry. But the cotton rope was wet which made the sensor some humid. There is no signal from the sensor now. Opening the sensor: the batteries looks rusty. Placing all the inside on some paper to dry, hoping it will be ok.	
1140	<p>Reading the divers: D3 (on the bottom) have results that look nice at the first view.</p> <p>D1 (on the top): Pressure dropped to the minimum at the time of the dambreaking at 1332. Error message when opening the diver: Mini-Diver with ser.no. L4367 at monitoring point 'FT15_dam1':</p> <p>- the pressure reached its minimum value-----</p> <p>Log file can be found in directory: C:\Users\priskahe\AppData\Local\DiverOffice</p>	
2020	Changing batteries of dried smartstone sensor #66. Sensor is ok (sending and receiving ). No data in memory.	

## B. Feltforsøk 2 plastra skråningsvern

### Målte stein

Måling av akse a, b og c samt  $\alpha$  for stein under rasterlinje b, c og d for feltdam 2 er gjeve Tabell B-1.

Tabell B-1 Feltdam2, målte stein

Fieldtests 2015					
Testdam 1	03.09.2015				
Measured stones					
		Målt av FK, notert av PHH og besøkende			rekna
	<b>alfa</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
	<b>grader</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>
<b>Std avvik, sample</b>	<b>8.1</b>	<b>7.9</b>	<b>7.0</b>	<b>6.8</b>	<b>5.5</b>
<b>Mean values</b>	<b>22</b>	<b>51</b>	<b>35</b>	<b>23</b>	<b>34.0</b>
b1	28	49	29	24	32
b2N	30	56	47	28	42
b3N	13	56	28	21	32
b4	24	48	35	27	<u>36</u>
b5, bilde,liten	27	32	21	11	19
b6O	20	50	40	24	36
b7	18	56	33	28	37
b8, c innoverakse	16	50	50	44	48
b9 P	35	50	37	25	<u>36</u>
b10	18	41	28	19	28
b11	16	54	30	20	32
b12	19	53	41	27	<u>39</u>
b13 Q	22	59	40	35	44
b14Q	15	45	25	22	29
b15	28	55	35	26	<u>37</u>
b16	20	52	34	23	34
b17 R	13	61	41	31	43
b18	0	55	38	20	35
c1, a og b utgjør lengste akse	39	51	28	10	24
c2	9	53	29	18	30
c3N	14	62	54	25	44
c4	24	64	38	12	31
c5O	28	51	39	35	<u>41</u>
c6, bilde, noe liten	24	37	20	16	23
c7	13	41	39	28	<u>36</u>
c8	33	37	34	20	29
c9	20	57	40	14	32
c10P	17	57	40	14	32
c11	22	54	31	21	33







c12	23	56	35	23	36
c13	27	45	39	23	34
c14Q	19	54	32	24	35
c15	8	46	32	24	33
c16	31	66	33	25	38
c17R oppe	24	40	28	20	28
c18R nede	24	57	36	23	36
c19	15	56	24	24	32
d1, b akse innover i dammen	30	37	34	12	25
d2	39	38	37	28	<u>34</u>
d3N	16	50	45	18	34
d4	8	59	35	22	36
d5	15	50	29	18	30
d6O	25	43	40	24	35
d7	27	57	28	25	34
d8	27	50	36	24	35
d9P	27	41	29	27	<u>32</u>
d10	23	43	42	39	<u>41</u>
d11	30	51	24	15	26
d12Q	23	58	48	23	40
d13	25	50	32	30	<u>36</u>
d14	19	62	47	17	37
d15R	8	57	41	24	38
d16	26	60	34	20	34
d17	16	60	48	32	45

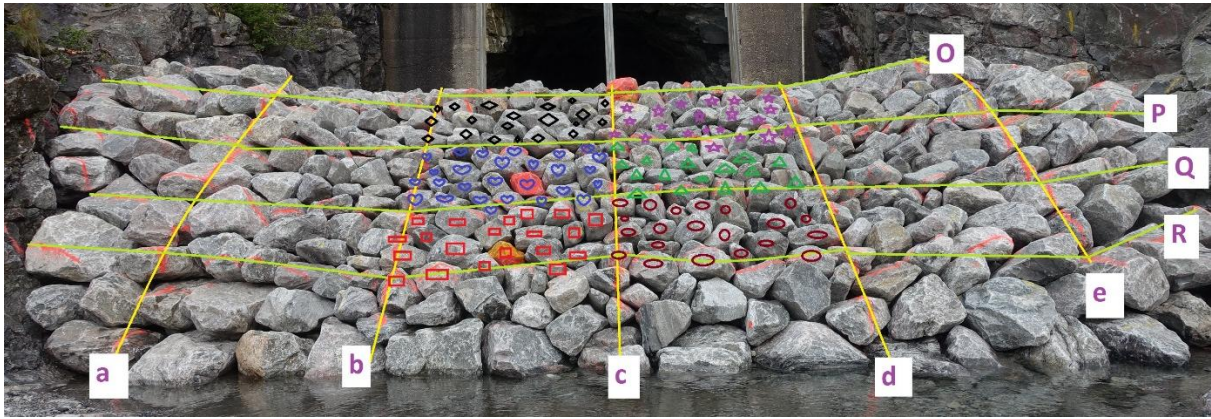
## Plastringstettleik

Figur B-1 Fastsette plastringstettleik for forsøksdam 2 syner rasteret og slik dammen vart merka i Paint. Tabell B-2 Merka stein feltforsøk 2 gjev mengda på stein i kvart felt. Sidan det er større stein i vederlaga og langs kantane er det for denne dammen målt plastringstettleik mellom linje b og d, midten av dammen.

Gjennomsnittleg plastringstettleik i feltforsøk 2 er  $22.8 \text{ stein per } 2 \text{ m}^2 = 11.4 \text{ stein/m}^2$ .

Tabell B-2 Merka stein feltforsøk 2

	b-c	c-d
O-P	20 stein merka 	21 stein merka 
P-Q	27 stein merka 	18 stein merka 
Q-R	20 stein merka 	21 stein merka 



Figur B-1 Fastsette plastringstettleik for forsøksdam 2

Logg

150901 1500	BD registered laserscans of Test1. Further information on BD's computer in ...\Laserscan\150901_Laserscan_work_log.docx
2030	BD + PHH installed diver 'FT15_dam3b' (d3) in stone at test dam. Diver name, serial number, programmed for FT15_dam3b, M0380, every 10 seconds, starts at 03.09.15 at 09:00:00



## C. Feltforsøk 3 rausa skråningsvern

### Målte stein

Måling av akse a, b og c samt  $\alpha$  for stein under rasterlinje b, c og d for feltdam 3 er gjeve i Tabell C-1.

Tabell C-1 Feltdam 3, målte stein

Fieldtests 2015					
Testdam 3	09.09.2015				
Measured stones					
		Målt av PHH + BD			Rekna
	<b>alfa</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
	<b>grader</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>
<b>Std avvik, sample</b>	<b>13.6</b>	<b>7.6</b>	<b>7.2</b>	<b>6.0</b>	<b>5.4</b>
<b>Mean values</b>	<b>8</b>	<b>54</b>	<b>35</b>	<b>21</b>	<b>33.7</b>
b1R	0	60	45	34	45
b2	15	71	55	32	50
b3	-10	50	33	25	35
b4	12	46	41	24	36
b5Q	23	58	24	23	32
b6	-3	59	23	20	30
b7	0	56	43	29	<b>41</b>
b8	20	55	40	24	38
b9	-10	51	33	32	38
b10	12	75	30	28	40
b11P	28	61	40	15	33
b12	0	55	30	17	30
b13	0	52	37	18	33
b14	30	64	46	24	41
b15O	-5	51	32	21	32
b16N	0	63	48	20	39
b17	0	55	48	18	36
b18	16	48	40	15	31
c1	-24	60	38	20	36
c2R	17	50	35	17	31
c3	6	52	28	15	28
c4	0	52	27	19	30
c5Q	0	52	44	23	37
c6	0	40	40	12	27
c7	-3	58	31	28	37
c8P	5	50	29	22	32
c9P	-12	45	35	20	32
c10	14	57	31	21	33
c11O	0	59	32	27	37







c12	0	60	32	23	35
c13	0	52	29	24	33
c14N	22	45	42	16	<b>31</b>
c15N	20	43	34	15	28
c16	40	46	32	10	25
c17	0	53	30	15	29
c18	0	46	35	32	37
d1R	10	57	37	20	35
d2	11	59	27	22	33
d3	30	50	39	14	30
d4	20	40	28	16	26
d5	21	44	22	18	26
d6	14	58	30	19	32
d7Q	0	63	33	30	40
d8	-3	53	42	28	40
d9P	45	50	37	29	38
d10	0	46	38	11	27
d11	5	50	34	21	33
d12	0	66	38	25	<b>40</b>
d13O	30	53	26	12	<b>25</b>
d14	-4	64	46	18	38
d15 N	10	52	34	11	<b>27</b>
d16	8	39	22	20	<b>26</b>

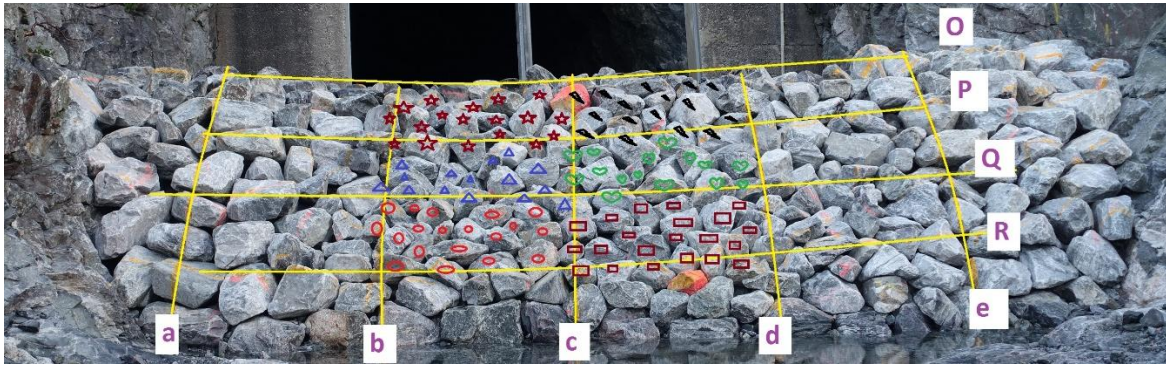
### Plastringstettleik

Figur C-1 Fastsette plastringstettleik for forsøksdam 3 syner korleis dammen er delt inn og merka i Paint. Det same gjeld for denne dammen som for forsøksdam 2, det er mellom linje b og d at plastringstettleiken er målt. Tabell C-2 Merka stein feltforsøk 3 gjev mengda stein i kvar enkelt rute.

Gjennomsnittleg plastringstettleik i feltforsøk 3 er difor  $17.3 \text{ stein per } 2 \text{ m}^2 = 8.7 \text{ stein/m}^2$ .

Tabell C-2 Merka stein feltforsøk 3

	b-c	c-d
O-P	18 stein merka 	16 stein merka 
P-Q	15 stein merka 	15 stein merka 
Q-R	19 stein merka 	21 stein merka 



Figur C-1 Fastsette plastringstettleik for forsøksdam 3

Logg

150907 0900	BD prepared 2 Diver-stone as before (3c for bottom, 1c for top)
1700	Measuring slope angle of the dam.
1900	Preparation of the Smartstone-Sensor #71 into the stone for the top of the dam. Stable signal.
150908	Preparing 3rd dam with random cover stones.
1700	Laserscan of the 3rd dam in two positions.
150909 1000	Preparing additional Smartstone with Sensor #66.









## D. Modellforsøk 8 plastra skråningsvern

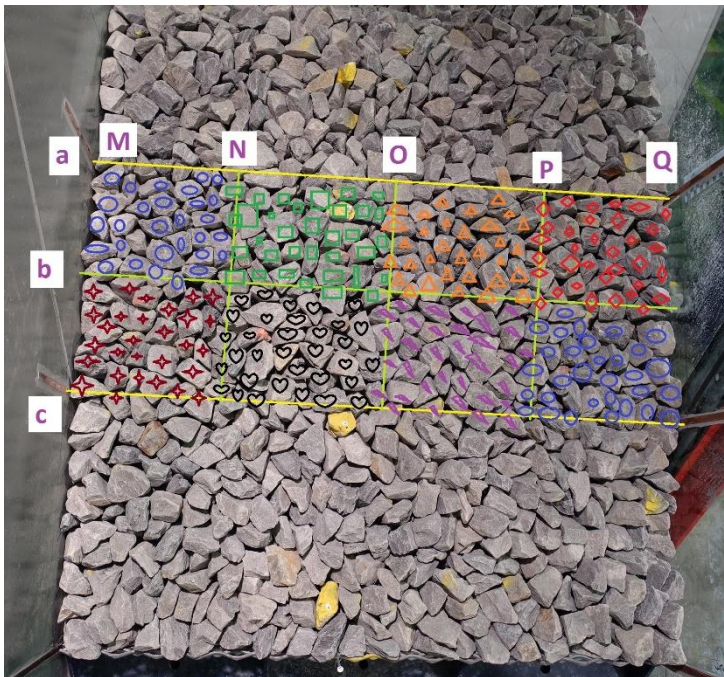
### Plastringstettleik

Figur D-1 Plastringstettleik forsøksdam 8 syner korleis dammen er delt inn. Tabell D-1 Merka stein forsøksdam 8 gjev resultat av tellinga.

Plastringstettleiken til forsøksdam 8 er 15.3 stein per 0.024 m<sup>2</sup>.

Tabell D-1 Merka stein forsøksdam 8

	M-N	N-O	O-P	P-q
a-b	29 stein merka 	34 stein merka 	32 stein merka 	34 stein merka 
b-c	29 stein merka 	33 stein merka 	33 stein merka 	31 stein merka 

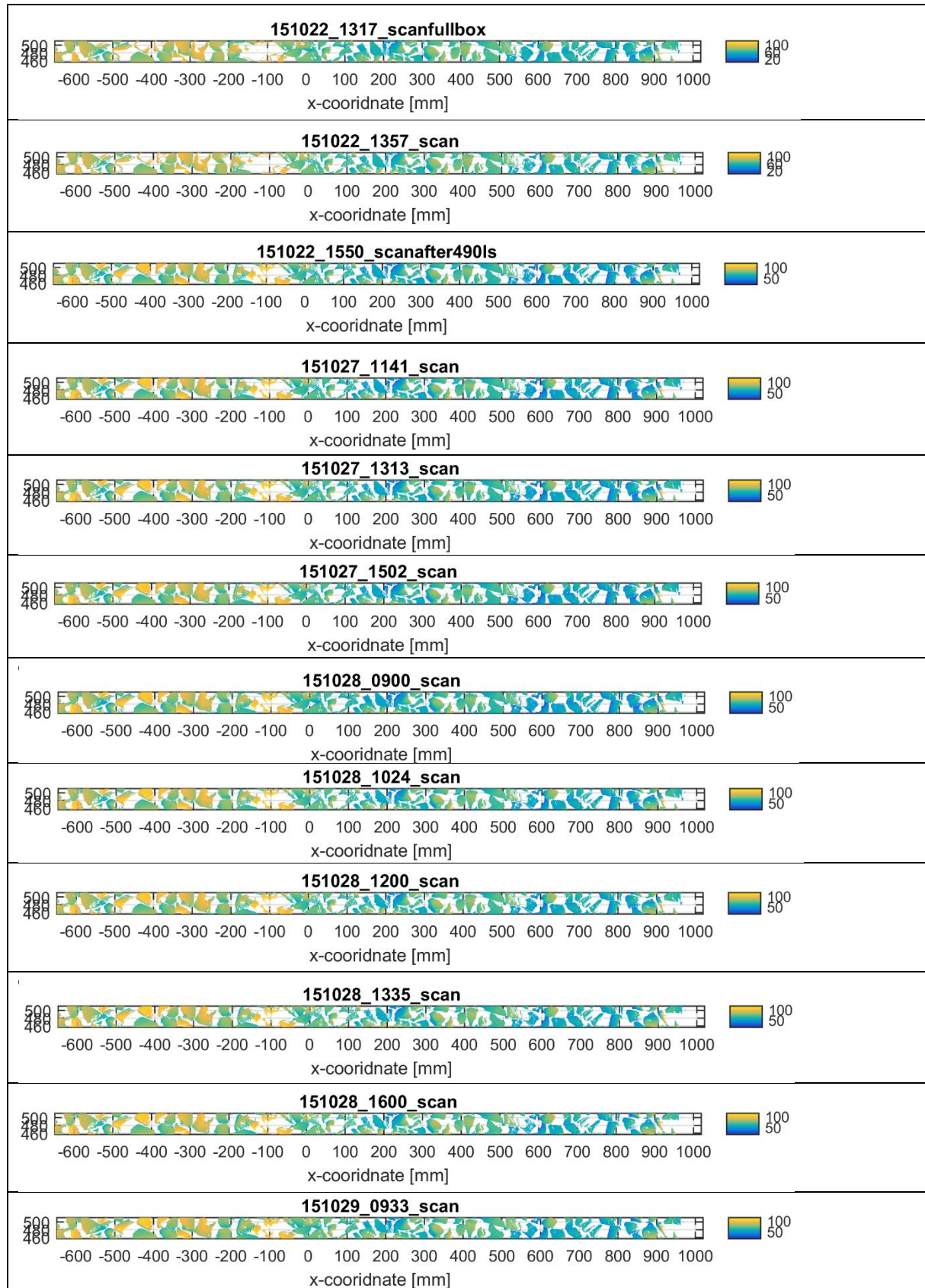


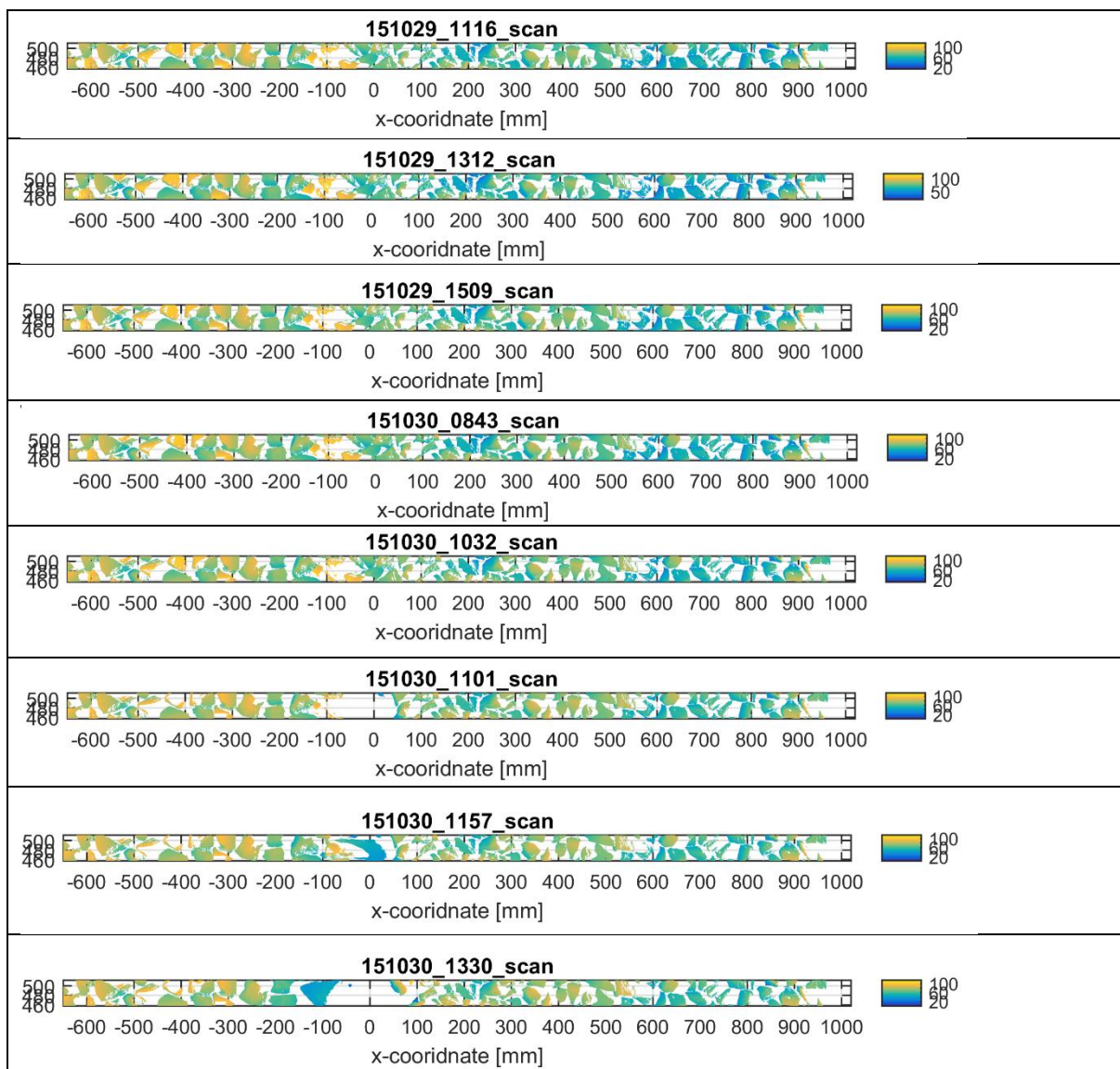
Figur D-1 Plastringstettleik forsøksdam 8



## Målte forskyvingar

Tabell D-2 3D-figur av målte forskyvingar under modellforsøk 8





Tabell D-3 Målte forskyvingar under modellforsøk 8

Innmåling før forsøk, med full boks				Rotasjon og translasjon			Forskyving i forhold til første måling		
Plassering av stein	X	Y	Laser-Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Referanse i botn	68	526	2141	2175	462	-12			
Referanse:skrue	942	546	1330	998	442	178			
1000	1026	565	1299	911	423	158			
600	1261	551	1129	621	437	169			
200	1551	557	909	257	431	191			
0	1772	564	770	-4	424	184			
-200	2073	569	752	-202	419	173			
Innmåling etter 17 min med 101 l/s							0 stein borte		
Referanse i botn	67	525	2142	2176	463	-12	1	1	0
Referanse:skrue	943	546	1326	995	442	181	-3	0	3
1000	1026	565	1298	910	423	158	-1	0	1



600	1261	551	1129	621	437	169	0	0	0	
200	1550	558	910	259	430	191	1	-1	0	
0	1771	564	769	-3	424	185	0	0	1	
-200	2073	569	751	-202	419	174	0	0	1	
<b>Innmåling etter forsøk kjørt til 490 l/s</b>				<b>3 plastringsstein gått</b>			3 stein borte			
Referanse i bunn	67	527	2142	2176	461	-12	1	-1	0	
Referanse botn: skruer	941	546	1327	997	442	181	-1	0	3	
1000	1023	565	1297	912	423	161	1	0	3	
600	1257	551	1130	625	437	170	4	0	1	
200	1545	557	910	263	431	193	6	0	2	
0	1763	565	768	3	423	191	6	-1	7	
-200	2069	568	753	-198	420	172	4	1	-1	
<b>Innmåling 27. okt. før forsøkskjøring,</b>										
Referanse i bunn	67	525	2142	2176	463	-12	1	1	0	
Referanse botn: skruer	942	546	1328	997	442	180	-1	0	2	
1000	1023	565	1299	913	423	159	2	0	2	
600	1256	551	1130	625	437	171	5	0	2	
200	1546	557	910	262	431	193	5	0	2	
0 (knekkpunkt)	1764	565	769	2	423	189	6	-1	5	
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2070	568	753	-199	420	172	3	1	-1	
<b>innmåling 27.okt, etter 100l/s i 60min</b>										
Referanse i bunn	68	527	2142	2175	461	-12	1	-1	-1	
Referanse botn: skruer	941	546	1327	997	442	181	-1	0	3	
1000	1023	566	1298	912	422	160	2	-1	2	
600	1257	552	1129	624	436	171	3	-1	2	
200	1544	558	910	264	430	194	6	-1	3	
0 (knekkpunkt)	1764	564	769	2	424	189	6	0	5	
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2069	568	753	-198	420	172	4	1	-1	
<b>innmåling 27.okt, etter 200l/s i 60min</b>										
Referanse i bunn	67	526	2142	2176	462	-12	1	0	0	
Referanse botn: skruer	940	545	1328	998	443	181	1	1	3	
1000	1024	565	1297	911	423	160	1	0	3	
600	1257	552	1130	625	436	170	4	-1	1	
200	1545	557	910	263	431	193	6	0	2	
0 (knekkpunkt)	1763	566	769	3	422	190	7	-2	6	
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2070	567	753	-199	421	172	3	2	-1	
<b>innmåling 27.okt, etter 250l/s i 60min</b>										

Referanse i bunn	67	526	2142	2176	462	-12	1	0	0
Referanse botn: skrue	941	546	1327	997	442	181	-1	0	3
1000	1023	565	1298	912	423	160	2	0	2
600	1256	552	1130	625	436	171	5	-1	2
200	1545	557	910	263	431	193	6	0	2
0 (knekkpunkt)	1762	564	770	5	424	189	8	0	6
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2070	568	753	-199	420	172	3	1	-1
<b>innmåling 28.okt, før forsøksstart, kl 845</b>									
Referanse i bunn	68	526	2142	2175	462	-12	1	0	-1
Referanse botn: skrue	941	545	1330	998	443	179	1	1	1
1000	1023	565	1299	913	423	159	2	0	2
600	1256	551	1131	626	437	170	5	0	1
200	1545	557	910	263	431	193	6	0	2
0 (knekkpunkt)	1763	565	769	3	423	190	7	-1	6
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2069	568	753	-198	420	172	4	1	-1
<b>innmåling 28.okt, etter 300 l/s kjøring, kl 1015</b>									
Referanse i bunn	67	525	2142	2176	463	-12	1	1	0
Referanse botn: skrue	940	546	1327	998	442	182	0	0	4
1000	1022	564	1297	913	424	161	2	1	4
600	1255	551	1131	627	437	170	6	0	2
200	1543	557	910	265	431	194	7	0	4
0 (knekkpunkt)	1761	564	769	5	424	191	9	0	7
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2069	568	753	-198	420	172	4	1	-1
<b>innmåling 28.okt, etter 350 l/s kjøring, kl 1158</b>									
Referanse i bunn	66	526	2142	2177	462	-11	2	0	0
Referanse botn: skrue	938	545	1330	1001	443	181	3	1	2
1000	1022	565	1297	913	423	161	2	0	4
600	1254	551	1131	628	437	171	7	0	2
200	1542	556	910	265	432	195	8	1	4
0 (knekkpunkt)	1759	564	769	7	424	192	10	0	8
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2068	568	753	-197	420	172	5	1	-1
<b>innmåling 28.okt, etter 400 l/s kjøring, kl 1330</b>				<b>en stein i renna</b>					
Referanse i bunn	67	525	2141	2176	463	-11	1	1	1

Referanse botn: skrue	939	545	1327	998	443	182	1	1	4
1000	1021	565	1296	913	423	163	2	0	5
600	1253	551	1132	629	437	171	8	0	2
200	1541	557	910	266	431	196	9	0	5
0 (knekkpunkt)	1758	564	770	8	424	192	12	0	8
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2068	569	754	-197	419	171	5	0	-2
<b>innmåling 28.okt, etter 450 l/s kjøring, kl 1555</b>				<b>5 stein i renna</b>		<b>9 stein borte</b>			
Referanse i bunn	67	526	2141	2176	462	-11	1	0	1
Referanse botn: skrue	939	544	1326	998	444	183	0	2	5
1000	1021	564	1297	914	424	162	3	1	4
600	1252	553	1131	629	435	172	9	-2	3
200	1540	557	911	268	431	195	10	0	4
0	1756	565	770	10	423	193	13	-1	9
-200	2067	569	754	-196	419	171	6	0	-2
<b>innmåling 29.okt, før oppstart, kl 0917</b>									
Referanse i bunn	67	526	2141	2176	462	-11	1	0	1
Referanse botn: skrue	939	545	1328	999	443	182	1	1	3
1000	1021	565	1298	914	423	161	4	0	4
600	1252	552	1132	630	436	171	9	-1	2
200	1540	557	911	268	431	195	10	0	4
0 (knekkpunkt)	1756	565	770	10	423	193	13	-1	9
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2068	569	753	-197	419	172	5	0	-1
<b>innmåling 29.okt, etter 400 l/s i en time, kl 1104</b>									
Referanse i bunn	68	525	2141	2175	463	-12	0	1	0
Referanse botn: skrue	939	546	1328	999	442	182	1	0	3
1000	1021	565	1298	914	423	161	4	0	4
600	1252	552	1133	630	436	170	10	-1	2
200	1539	557	911	268	431	196	11	0	5
0 (knekkpunkt)	1754	565	771	12	423	193	16	-1	9
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2067	569	754	-196	419	171	6	0	-2
<b>innmåling 29.okt, etter 400 l/s i en time, kl 1304</b>				<b>Håndplukket : 5 stein før forsøksstart</b>					
Referanse i bunn	68	524	2142	2175	464	-12	1	2	-1
Referanse botn: skrue	938	545	1327	999	443	183	2	1	5
1000	1019	564	1298	916	424	162	5	1	5

600	1251	553	1133	631	435	171	11	-2	2	
200	1539	556	911	268	432	196	11	1	5	
0 (knekkpunkt)	1753	564	771	13	424	194	16	0	10	
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2066	569	755	-195	419	170	7	0	-3	
<b>innmåling 29.okt, etter 400 l/s i en time, kl 1500</b>				<b>Håndplukket: 8 stein før forsøksstart</b>			22 stein borte			
Referanse i bunn	66	525	2142	2177	463	-11	2	1	0	
Referanse botn: skrue	938	545	1328	1000	443	182	2	1	4	
1000	1020	565	1297	914	423	163	4	0	5	
600	1250	553	1133	632	435	171	11	-2	3	
200	1538	558	911	269	430	196	12	-1	6	
0	1752	563	771	14	425	194	17	1	10	
-200	2068	569	755	-197	419	170	5	0	-3	
<b>innmåling 30.okt, før oppstart, full boks kl 0830</b>										
Referanse i bunn	68	525	2142	2175	463	-12	1	1	-1	
Referanse botn: skrue	939	545	1331	1001	443	179	3	1	1	
1000	1021	564	1297	914	424	162	3	1	4	
600	1251	553	1133	631	435	171	11	-2	2	
200	1538	558	911	269	430	196	12	-1	6	
0 (knekkpunkt)	1753	564	770	12	424	194	16	0	11	
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2068	569	755	-197	419	170	5	0	-3	
<b>innmåling 30.okt, etter 400 l/s i en time, kl 1026</b>				<b>Håndplukket: 5 stein før forsøksstart</b>						
Referanse i bunn	68	525	2141	2175	463	-12	0	1	0	
Referanse botn: skrue										
1000	1019	565	1297	915	423	163	5	0	6	
600	1249	554	1135	634	434	170	13	-3	2	
200	1537	559	912	271	429	196	13	-2	5	
0 (knekkpunkt)	1749	564	771	16	424	196	20	0	12	
200 oppstrøms knekkpunkt (midt på krona)	2068	570	756	-197	418	169	5	-1	-4	
<b>innmåling 30.okt, etter 400 l/s i 30min kl 1150</b>				<b>8 stein i renna</b>	<b>Håndplukket : 8 stein før forsøksstart</b>					
Referanse i bunn	68	526	2141	2175	462	-12	0	0	0	
Referanse botn: skrue										
1000	1019	565	1297	915	423	163	5	0	6	
600	1249	555	1136	635	433	169	14	-4	1	

43 stein borte

200	1535	558	912	272	430	197	15	-1	6	
0	1745	564	771	19	424	198	23	0	14	
-200	2068	569	756	-197	419	169	5	0	-4	
<b>innmåling 30.okt, etter 400 l/s i 30min kl 1305</b>				<b>Håndplukket: 19 stein før forsøksstart</b>			65 stein borte			
Referanse i bunn	67	525	2141	2176	463	-11	1	1	1	
Referanse botn: skrue										
1000	1019	564	1297	915	424	163	5	1	6	
600	1248	555	1137	636	433	169	15	-4	1	
200	1532	558	912	275	430	199	17	-1	8	
0	1723	567	764	34	421	216	37	-3	32	
-200	2065	567	757	-194	421	168	8	2	-5	
Mangler forskyvingsdata frå senere...				<b>3 stein i renna</b>						
02.nov										
Plukking av 12 stein før forsøksstart.										
Endelig brudd etter fjerning av stein mens vannet stod på.										

## Logg

Riprap 8, 22.10.2015

Stein er i skala 1:6.45

Steinrekka mot rista på krona (stenrekke lengst oppstrøms) er delvis kilt fast i rista

PHH, FK

Tid	Kva	Evnt fil
11:31	Laserscanne dam, tom boks	
Ok	Skrive på infoplakater	
Ok	Lys på	
Ok	Bilderunde	
Ok	Montere kamer (kameraklokke ok)	
12:59	Pumpe på (rød, 200 liter)	
Ok	Stenge bypass	
ok	Fylle boks	
1315	Ny lasercanning+innmåling	
ok	Videokamera på og strøm på	
ok	Agilent på, 10Hz	
1327	Starte forsøk, 101 l/s i 17 min (følger oppsett frå papirlogg)	
	PHH justerte forsterker til hastighetsmåling 7/8C til ca -5. (den avvek frå de andre hastighetsmålerne)	
1340	Agilent av og på med 100Hz	
Ok	Hastighetsmåling med agilent	
1342	Agilent av og på med 10 Hz	
Ok	Bilderunde	
ok	Teikne vasslinje	
1344	Skru av vannet, 1344	

	Sjekke boksen for stein (noe støttefyllingsstein, ikkje rydda opp ordentleg etter bygging av dam)	
Ok	Videokamera av	
Ok	Ny lasercanning+innmåling	
1356	Agilent av like før laserscan	
Ok	Bilderunde	
Ok	Disto av og plastpose på	
1424	Videokamera på og strøm på	
1422	Agilent på, 10Hz	
1425	Vann på, 29 l/s er målet, 14min32s totalt, frå starter å skru på vannet	
	Agilent av og på med 100Hz	
14:34	Hastighetsmåling med agilent	
1435	Agilent av og på med 10 Hz	
Ok	Bilderunde	
Ok	Teikne vasslinje	
1440	101 l/s, totalt 6min26s	
1445	Skru på blå 200 l/s pumpe	
1446	2min 10s mellom hver gang vannføring skrues opp (ca 23 l/s) jfr papirskjema FK holder styr på det	
144650	Hørte noe, sannsynligvis en stein Muligens frå ca. x800	
1449	Ingen ristende steiner observert	
1450	Tegnet inn vannlinje ved 146 l/s	
145140	Hørte noe , ev fleire steiner	
1452	Bilde frå side	
1457	Bilderunde med start ved PC Ser ut som en stein manbler ved foten ca. 3 stein frå vinduet	
1500	Kan fortsatt ikkje observere noen ristende steiner	
1500	Plutselig meir grums i vannet, kan ikkje lengre se hele bredden frå gjennom vinduet	
1501	Bilderunde med start ved PC	
1504	Vannet blir klarere igjen	
1504	Nå observert eg første ristende stein, ved ca. x800 i midten	
1506	Luftinnsug forkyvet seg nedstrøms til etter modellen (rista ved plastringsfot)	
1507	Tegnet inn vannlinge	
1508	Bilderunde med start ved PC	
1513	Fjernet plakaten , fordi berørte vannflate	
1514	Bilderunde med start ved PC	
1516	Trübes vann, men ser ikkje noen bevegelser i plasringen (rinsting el lignende	Trübes = grumsete/uklart vann, ikkje mulig å se veggen frå vinduet.
1522	Skrur av vann	
	Bilderunde	
	Stoppet kamera	
	3 plastringsstein i renna	
1536	Slår av agilent	

1555	Åpnet bypass	
<b>27. oktober 2015. Ny forsøkskjøring. Planlagt å følge mønster frå forsøk 6</b>		
	PHH, FK	
	Klokker stilt til normaltid/vintertid	
0930	Kamera klokke ok, minne ok, batteristatus ok.	
Ok	Rød 100 l/s pumpe på, fyller boks før innmåling	
Ok	Lys på	
Ok	Scan og innmåling ok	
Ok	Plakater påskrevet	
Ok	Bilderunde	
	Videokamera på og strøm på	
1019	Agilent på, 10Hz	
	Starte vannføring, 100 l/s er målet. 70 l/s på rødt system, 30 l/s på blått system (blå pumpe går uansett)	
10:25	60 min starter, FK observerer underveis.	
	Agilent av, på med 100 Hz	
	Hastighetsmåling, 60g salt	
11:20	Agilent av, på med 10 Hz	
1127	Skrur av vannet	
	Skrur av rød 100 l/s pumpe	
	Slå av begge videokamera	
ok	Måle inn merket stein –unntatt nederste; vått	
1141	Agilent av	
1141	Scanne dam	
Ok	Måle inn nederste punkt	
Ok	Skrive på infoplakater	
Ok	Slå på 200 l/s rød pumpe	
Ok	Bilderunde	
1150	Kamera på	
1151	Agilent på, 10 Hz	
	Vann på, 200 l/s er målet , 170 l/s rødt system, 30 l/s blått system	
1156	60 min starter	
1240	Bilderunde	
	Gjøre klar til hastighetsmåling	
1246	Agilent av, på med 100 Hz	
Ok	Hastighetsmåling, 120g salt	
1247	Agilent av, på med 10 Hz	
	Ikkje sett teikn til at stein beveger seg/rister	
1256	Skrur av vannet	
	Modellen til Eggafoss testes for første gang, de bruker det røde systemet i pausen vår.	
1300	Slå av begge videokamera, nok minne på begge kamera til neste kjøring	
	Ingen stein i renna	
1300	Måle inn merket stein –unntatt nederste; vått	
1313	Agilent av	
1314	Scanne dam	
1323	Måle inn nederste punkt	
	Kopiere data frå labpc til harddisk	



ok	Bilderunde	
Ok	Skrive på infoplakater	
1327	Kamera på	
1326	Agilent på, 10 Hz	
1328	Vann på, 250 l/s er målet, 70 l/s blått system, 180 l/s rødt system	
1333	60 min starter	
Ok	Bilderunde	
1426	Gjøre klar til hastighetsmåling	
1426	Agilent av, på med 100 Hz	
1427	Hastighetsmåling, 120g salt	
1428	Agilent av, på med 10 Hz	
1433	Skrur av vannet	
1441	Slå av begge videokamera,	
1443	Pumpe av	
1502	Agilent av	
Ok	Måle inn stein + nederste referansepunkt	
Ok	Laserscanne	
	Opne bypass	
Ok	Kopiere data frå begge videokamera + fotoapparat	
Ok	Kopiere data frå labpc	
<b>28.oktober 2015 –Fortsetter forsøk 8, PHH, FK</b>		
Ok	Stenge bypass	
0841	Klokker på kamera, data frå i går er slettet (bacup på liten harddisk + FKs PC.	
0838	Rød 200 l/s pumpe på	
0839	Fylle boksen	
0859	Måle inn stein	
0859	Laserscanne	
0903	Blå 200 l/s pumpe på	
Ok	Bilderunde	
Ok	Skrive på infoplakater	
0904	Kamera på	
0905	Agilent på, 10 Hz	
	Vann på, 300 l/s er målet, 150 l/s blått system, 150 l/s rødt system	
	PHH så en stein i krona riste under oppkjøring og videre	
	Mye svingning i vannstanden ved oppstart.	
0912	60 min starter	
0915	Det har blitt noen mindre åpninger (ca. 5-10 mm) mellom noen plastringssteiner i krona mellom midten og veggen. Bilde. Det er fortsatt en nabosteine til gulsteinen i krona som rister.	
0957	Bilderunde	
Ok	Gjøre klar til hastighetsmåling	
1001	Agilent av, på med 100 Hz, to målinger, slo på for raskt.	
1002	Hastighetsmåling, ca 180g salt	Øker saltmengde med ca 60 g pr 100 l/s.
1004	Agilent av, på med 10 Hz	

1009	Stein mellom ca 1000 og 800 rister (PHH)	
1012	Skrur av vannet	
Ok	Slå av begge videokamera, sjekk minne	
ok	Sjekk for stein i renna	
Ok	Måle inn merket stein –unntatt nederste; vått	
1024	Agilent av	
1024	Scanne dam	
1030	Måle inn nederste punkt	
Ok	Ta opp stige	
Ok	Bilderunde	
Ok	Skrive på infoplakater	
1033	Kamera på	
1034	Agilent på, 10 Hz	
1034	Vann på, 350 l/s er målet, 170 l/s blått system, 180 l/s rødt system (xx bruker litt vann frå blått system)	
1044	60 min starter	
1134	Justere forsterker for hastighetsmåling (PHH)	
1135	Bilderunde	
1137	Gjøre klar til hastighetsmåling	
1141	Agilent av, på med 100 Hz,	
1142	Hastighetsmåling, ca 200g salt, vanskelig å løse i shaker (noe salt igjen i bunnen)	
1143	Agilent av, på med 10 Hz	
1144	Skrur av vannet	
1147	Slå av begge videokamera, sjekk minne	
1147	Sjekk for stein i renna –ingen stein	
1149	Måle inn merket stein –unntatt nederste; vått	
1158	Agilent av	
1158	Scanne dam	
1203	Slår av laser, setter på strøm til lille kamera	
1204	Måle inn nederste punkt	
1203	Bilderunde	
1207	Skrive på infoplakater; 400 l/s	
1207	Pumpe på, 100 l/s rødt	
1209	Kamera på	
1208	Agilent på, 10 Hz	
1209	Vann på, 400 l/s er målet, 170 l/s blått system, 230 l/s rødt system (xx bruker litt vann frå blått system)	
1219	60 min starter	
1235	En stein i renna	
1308	Bilderunde	
1304	Gjøre klar til hastighetsmåling; blander saltløsning nå og lar den stå litt, håper at saltet løses bedre da.	
1316	Agilent av, på med 100 Hz,	
1317	Hastighetsmåling, ca xxxg salt	Mye salt igjen i shakeren som ikkje ble løst
1318	Agilent av, på med 10 Hz	
1319	Skrur av vannet	

1330	Slår av rødt system, lang pause pga opning av modellen til Øyvind, de vil ha den blå pumpa.	
1326	Slå av begge videokamera, sjekk minne	
1326	Laster over frå store video, minne nærmer seg fullt.	
Ok	Sjekk for stein i renna -en stein tatt opp, merket nummer 27X (siste er ukjent)	
Ok	Måle inn merket stein –unntatt nederste; vått	
1348	Agilent av	
1355	Scanne dam	
Ok	Slår av laser,	
Ok	Måle inn nederste punkt	
Ok	Bilderunde	
Ok	Skrive på infoplakater; 450 l/s	
1437	Pumper på, 100 + 200 l/s rødt	
1439	Kamera på	
1437	Agilent på, 10 Hz	
1445	Vann på, 450 l/s er målet, 180 l/s blått system, 270 l/s rødt system (xx bruker litt vann frå blått system)	
1450	En stein observert i renna	
1450	60 min starter	
1500	En til stein er observert i renna	
1523	Svart stein (lå løst oppå etter 400 l/s, se bilde) ned mot veggen/nedkant dammen forsvant/plutselig borte.	
1524	Det er nå fire stein i renna	
	Bilderunde	
1545	Justerer forsterker til hastighetsmåling	
1545	Gjøre klar til hastighetsmåling, bruker varmt vann for å løse saltet i	
1547	Agilent av, på med 100 Hz	
1548	Hastighetsmåling, 230g salt (ca 0.5 cm igjen i shaker)	
1549	Agilent av, på med 10 Hz	
1550	Skrur av vannet	
Ok	Slå av begge videokamera,	
Ok	Pumpe av	
Ok	Agilent av	
Ok	Måle inn stein + nederste referansepunkt	
Ok	Laserscane	
1624	Opne bypass	
Ok	Kopiere data frå begge videokamera + fotoapparat	
Ok	Kopiere data frå labpc	
Ok	Hente opp stein frå renna	
<b>29. oktober 2015, fortsettelse forsøk 8, FK, PHH</b>		
0904	Lillekamera: deleted data, sjekket klokke, 2 sec avvik, tatt bilde av PC klokke	
0910	Stenge bypass	
Ok	Klokker på kamera, data frå i går er slettet (bacup på liten harddisk + FKs PC.	
0911	Rød 100 l/s pumpe på	
Ok	Fylle boksen	
Ok	Måle inn stein	

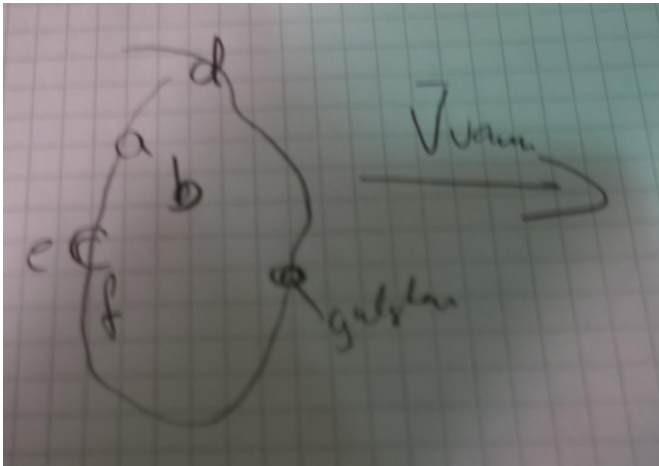
0934	Laserscanne	
	Blå+rød 200 l/s pumpe på	
Ok	Bilderunde	
0910	Skrive på infoplakater	
0935	Tatt bilde av steinene som ble plukket ut tidligere	
0941	Kamera på	
0940	Agilent på, 10 Hz	
Ca 0942	Vann på, 400 l/s er målet, 150 l/s blått system, 250 l/s rødt system	
0945	Observert 4 steiner i krona som rister	
0952	Tid starter (60/120 min, avhengig av aktivitet underveis)	
0948	Sjekka renna for stein, ingen å se.	
1052	Slår av vannet	
1103	Måler inn og laserscanner	
1116	Agilent av	
1116	Scanning starter, PHH henter kamera	
1120	Strøm på lille kamera	
	Bilderunde	
	Blåskjerm på labpc mens laserscanner kjører tilbake på plass, travers fortsetter å kjøre tilbake under gjenoppstart av systemet. (til Z-akse 0, stopper der, manuell start.	
	PHH kjenner på stein i nederste rekke, de aller fleste sitter fast, noen å kan beveges bittelitt. To løse stein i botn av hull nede mot veggen tas ut, unummerert. Tar ut stein litt ned retning veggen for gul 800-stein. En løs stein mellom gul 200 og glasset er tatt ut. En løs stein i krona, mellom midt og veggen, tas ut. I krona er det noen (2) områder/grupper med 4-5 løse steiner samlet, elles sitt dei fleste fast Enkelte av steinene mot øvre rist er fremdeles kilt fast mot rista. De fire gule steinene i hellinga er faste, medan den gule som ligg midt i krona kan rikkast.	FK har kalt venste = veggside og høyre=vindu, dvs mot strømrretningen
1149	Ta ut stigen	
1149	Bilderunde etter steinfjerning.	
1150	Kamera på	
1150	Agilent på, 10 Hz	
1151	Vann på, 400 l/s er målet, 150 l/s blått system, 250 l/s rødt system	
1156	En stein nedst mot vinduet rister litt, denne er ikkje observert å riste før.	
1159	60 min starter	
1247	Hastighetsmåling, agilent av/på 100Hz	
	120 g salt	
1249	Agilent av, på med 10 Hz	
1259	Slå av vannet	
1301	Slå av kamera	
1303	Måle inn stein	
1311	Slå av agilent	
1313	Laserscanne	

1320	Måle inn referansepunkt i botn av renna	
	Bilderunde	
	Sjekke renna for stein	
	Stein rundt hull nedst mot veggen er stabile (her er totalt 4 stein plukket ut av vannet eller PHH) Tar ut stein med noe gult en steinlengde frå vinduet ved ca 700. Ved hull rett mot veggen frå gul 800 stein er 4 stein ganske løse, (bilde), tas ut, nr 1x7, og fire unummererte. Det er nå en løs stein igjen her, men tas den, er det to som blir løse, som igjen kan fjernes og enda fleire stein blir løse. Det er også løse filterstein i botn av holet nå. Hull ca midt mellom veggen og gulstein200 er detvis lukket av omkringliggjande stein. Ved hullet etter stein som ble fjernet frå krona i stad, har det skjedd noe endring og det er noen steiner som har blitt løsere. Gulsteinen i overgang krone/helling kan rikkes litt, elles er de gule faste enda (minus den i krona, framleis løs) Stein i overgang helling/krone tre steinlengder frå vinduet tas ut, saman med nr 26x, nabostein	
Ok	Tar opp stigen	
Ok	Bilderunde etter steinfjerning.	
1340	Kamera på	
1340	Agilent på, 10 Hz	
1341	Vann på, 400 l/s er målet, 150 l/s blått system, 250 l/s rødt system	
	Ingen teikn til nye/andre rørsler under oppkjøring	
1348	60 min starter	
	Måler abc + v+m på steiner som er plukket ut for hånd	
	Bilderunde	
1448	Vann av	
Ok	Pumper av	
Ok	Slå av kamera	
Ok/jobber	Laste inn data frå begge videokamera	
Ok	Måle inn stein	
Ok	Stoppe agilent	
Ok	Scanne dam	
1517	Stenge bypass når siste punkt er målt inn	
	Laste inn data frå fotoapparat	
	Kopiere data frå labpc	
<b>30.10.2015</b>		
0813	SKIFTE BATTERI PÅ DISTO! OBS, måle inn referansepunkt før/etter	
ok	Lillekamera: slette data, bilde av pcklokke	
0818	Legger ned stigen lenger nedstrøms renna enn vanlig, det er ønskelig å kunne ha den i renna når det kjøres forsøk	
0822	Storevideo:slette data, bilde av pcklokke	
Ok	Bilderunde, tørt	
Ok	Stenge bypass	

Ok	Rød 100 l/s pumpe på	
0825	Fylle boksen	
Ok	Skrive på infoplakater	
Ok	Måle inn stein	
0843	Laserscanner	
	<p>Plukke stein:  Hull nedst mot veggen stabilt  Hull ned og mot veggen frå gulstein600 har mye løse stein  Gulstein 600 kan ristes i vegg/glass-retning, ikkje opp/ned  Gulstein 200 kan ristes noe på diagonalen  Gulstein 0 er fast.  Gulstein-200 er løs  ØVrige småhull i helling stabile  Hull mot veggen i knekkpunkt: steiner i oppkant er mulig å bevege på, motstrøms, meir stabile medstrøms.</p>	
	<p>Hull mot vindu i knekkpunkt: steiner oppstrøms stabile, nedstrøms er løse i motsrøms retning, relativt stabile med strømmen.  Plukker stein her: 2 i nedkant som var løse. En i oppkant som var løs. En mot vinduet som var løs, og den nedfor som også var blitt løs.  Det er nå igjen en ganske utsatt stein i nedkant, muligens nummer 522/523, spesiell form. Det ble vurdert å plukke to stein mot veggen for denne, de siste som holder den på plass, men de ligger enda igjen.</p>	
Ok	Blå+rød 200 l/s pumpe på	
Ok	Bilderunde	
910	Kamera på	
910	Agilent på, 10 Hz	
912	Vann på, 400 l/s er målet, 150 l/s blått system, 250 l/s rødt system	
	523? beveget seg til en meir stabil posisjon og ble liggende der når overtopping startet	
0915	FK sjekket, steinene ved hull ved knekkpunktet i krona ved vinduet rister ikkje	
0917	Vannføring ferdig justert	
0917	En stein observert i renna, lå sannsynlegvis ei steinrekke frå vindaugget og ei steinrekke frå nedstrøms rist (bilete på fotoapp)	
0918	Observerer 4 steiner i renna. Nok frå fot ved glass, så dem ikkje gå	
0919	60 min starter	
0919	Bilde med lille video	
0924	Stein som nesten lå oppå plastringa, ei steinrekke oppforbi stein som gikk 0917 gikk. (bilder med manuelt kamera	
0925	Det er nå totalt tre stein i renna.	
0927	Totalt 5 stein i renna, en har kommet frå hull lengst nedstrøms og mot veggen.	
0930	Det mangler den store steinene ved hullet i nærheten av fot ved veggen	

0932	Kan telle totalt 9 steiner i renna sett ovenfra	
	Kommentarer generelt: har vi ev. forandret strømningsmønsteret ved å plukke frå krona? Det kan ha ført til en annerledes belastning ved fot ved vinduet. Stein som går under opp-/nedkjøring vil sannsynligvis være stabil under en flom fordi da «kjøres det en flom hydrograf utan start/stopp.	
1019	Slår av vatnet.	
Ok	Slår av kamera	
Ok	Måle inn stein	
1030	Agilent av	
1032	Laserscanne	
Ok	Totalt 8 stein i renna etter denne timen. Ingen filterstein.	
1035	Strøm på lille kamera	
Ok	Bilderunde	
ok	Gulstein1000 er fast Stein rundt hull nedst mot vinduet er relativt stabile, minus en som er ustabil motstrøms. Frittliggende filterstein i holet. Stein rundt hull nedst mot veggen sitter fremdeles fast . Frittliggende filterstein Stein rundt hol ned for og mot vinduet for gulstein600 er stabile, en kan roteres forsiktig. Frittliggende filterstein i holet. Gulstein 600 er vinglete Øvrige småhull i hellinga er stabile. Gulstein200 er fast Gulstein 0 er fast Gulstein-200 er ustabil. Hull i krona mot veggen er litt ustabil; fleire bevegelige stein. Men stabil i strømningsretningen. Hull i krona mot vinduet: fleire løse/ustabile stein. Frittliggende filterstein i holet	
ok	Tatt ut 6 stein og laget hull i midten av krona	
1100	Laserscanning etter steinfjerning	
Ok	Bilderunde etter steinfjerning.	
Ok	Åpner bypass litt og slipper ut litt vann frå boksen før vi starter.	
Ok	Kamera på	
1111	Agilent på, 10 Hz	
1112	Vann på, 400 l/s er målet, 150 l/s blått system, 250 l/s rødt system. Det blir brukt 100l/s i blårenna, men de har også slått på blå 100l/s pumpe.	
1114	«klikk», muligens en stein som gikk. Før hydraulisk jump har stabilisert seg. En stein har gått frå det nye, håndplukka hullet, en av de to som var løse igjen. Den gjenstående rister.	
1117	60min starter.	
1147	Slår av vannet.	
1149	Slår av kamera	
	Måle inn stein	
1156	Agilent stoppet	
1157	Laserscanne	
	Begge hull nede mot veggen er stabile	



	Hull nedst mot vinduet har litt løse stein Alle gulstein i hellinga er stabile, inkl den i knekkpunktet. Gulstein i krona er ustabil motstrøms.	
1210	Tatt ut 19 stein frå hullet i midten på knekkpunktet. (bilde).	
	Måle inn nedste referansepunk på rista	
	Lille kamera går	
	Agilent går	
	Store kamera går	
	bilde	
1212	Slår på vannet	
1215 →	<p>Fredrikkes papirlogg: Beskriver hull i midten av knekkpunkt, avlangt, oppstrøms gulstein0.</p> <p>A – stein mot vindu og oppstrøms ende av hull la seg</p> <p>B – filertstein i nærheten av A flyttet seg litt i fleire omganger, forsvant ikkje frå dammen.</p> <p>C – stein i oppstrøms ende av hull (oppstrøms for gulstein) gikk</p> <p>D – Stein i enden mot vinduet la seg noe meir</p> <p>E – mulig stein oppstrøms for C gikk</p> <p>F – sten mot veggen for c ligger tilsynelatende løst.</p>  <p>Forøvrig antas det at en stein gikk frå hull ved vinduet i knekkpunktet.</p>	
	Under oppkjøringen. Sidekameraet var ikkje på helt i starten. Slå det på når eg oppdaget det. Blå var en kort stund på 160 l/s.	FK går
1225	Starter på 30 min	
1227	Stein forsvant frå nedstrøms i hull i midten av krona	
1244	Ovsserverer noen steiner ved hullet i knekkpunktet ved vinduet som beveger seeg litt	
1255	Slår av vannet	
1301	Slår av pumpene	
1301	Stopper kameraene	
1325	Målte inn steiner, Ekatarina hjalp og pekte	
1330	laserscann	
1337	Måle inn ref punktet	
1336	Agilent stopp	
1333	bilderunde	
1339	Opne bypass	

1544	Laster ned data frå store video og fotokamera, frå lille lastet eg ned tidligere	
	To do Plukke steiner frå renna: 3 stk Ødelegge dammen	
<b>2. november 2015</b>		
Ok	Lillekamera: slette data, bilde av pcklokke	
ok	Fotokamera: bilde av pcklokke	
Ok	Storevideo:slette data, bilde av pcklokke	
Ok	Lys på	
Ok	Bilderunde, tørt før plukking	
Ok	Skrive på infoplakater	
ok	Måle inn stein og laserscanner droppes fordi det er nå meir forskyving pga plukking av stein. Forsøket er allereie preget av «hærverk» for å få dammen til å gå til brudd.	
	Løse stein i dammen: Hull nedst mot veggen: ein stein har lagt seg i midten, opp og mot veggen for hol er en ustabil stein. Hol nedst mot vindauge verker meir ustabil Det verkar vere fleire lause/ustabile stein i plastringa no enn tidlegare	
ok	Plukke stein: 12 stk (Papirlogg) Opnar opp mellom hola i krona, slik at det no er eit langt hol langs knekkpunktet i krona frå ei steinrekke frå vindauget til forbi gulstein0. Gulstein0 har ca 2cm forskyving, det er lause stein i oppkant av holet ved gulstein0.	

Ok	Bilderunde etter plukking	
Ok	Blå+rød 200 l/s pumpe på, blå 100 l/s er allerede på, virker ikke som noen bruker denne.	
1330	Kamera på, dobbeltsjekk	
1329	Agilent på, 10 Hz	
Ok	Vann på, 400 l/s er målet, 230 l/s blått system, 180 l/s rødt system	
Ok	Stenge bypass (ikke før nå, slik at luft kommer seg ut av bypasssystemet nedstrøms for å unngå mange bølger oppstrøms modellen)	
	Start 30 min	
1410	Slutt 30min	
Ca 1412	Brudd ca 1412, etter plukking av stein mens vannet står på	
	Vann av	
	Pumper av (100 l/s blir brukt i den andre renna, lille blå er fremdeles på)	
	Opne bypass	
Ok	Overføre data frå begge videokamera og fotoapparat	
1442	Overføre data frå labpc	
1442	Kopiere data frå dropbox	
1445	Slå av lys, rydde bort kamerastativ.	









## E. Modellforsøk 9 plastra skråningsvern

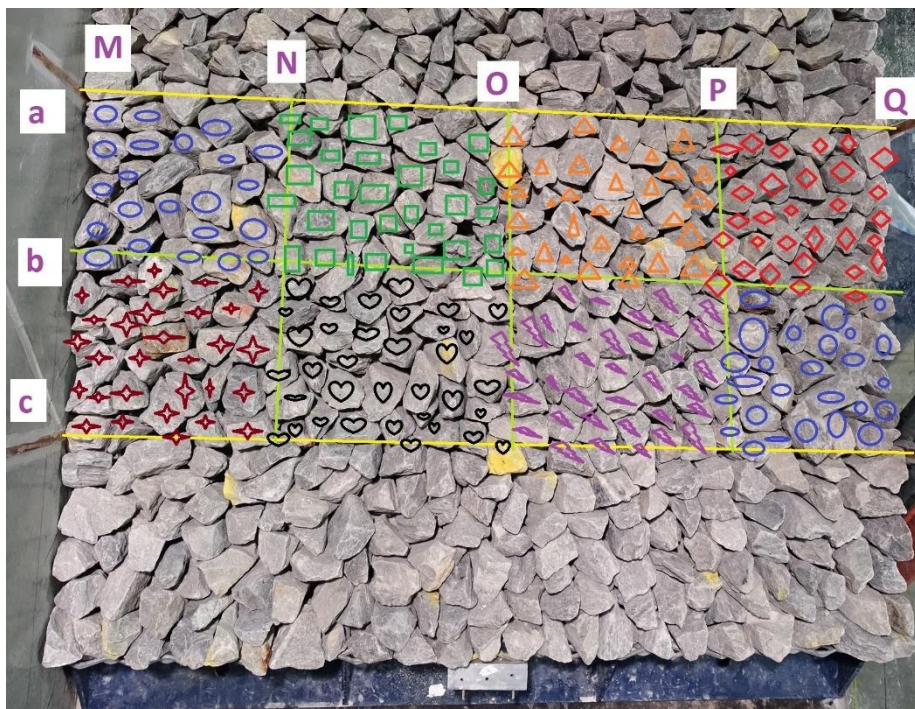
### Plastringstettleik

Figur E-1 Plastringstettleik forsøksdam 9 syner korleis forsøksdam 9 er merka for fastsetje mengda stein mellom a og c. Tabell E-1 Merka stein forsøksdam 9 gjev mengda stein i kvart felt.

Plastringstettleik for forsøksdam 9 er 14.7 stein/ 0.024 m<sup>2</sup>.

Tabell E-1 Merka stein forsøksdam 9

	M-N	N-O	O-P	P-q
a-b	22 stein merka 	33 stein merka 	33 stein merka 	31 stein merka 
b-c	30 stein merka 	35 stein merka 	35 stein merka 	26 stein merka 

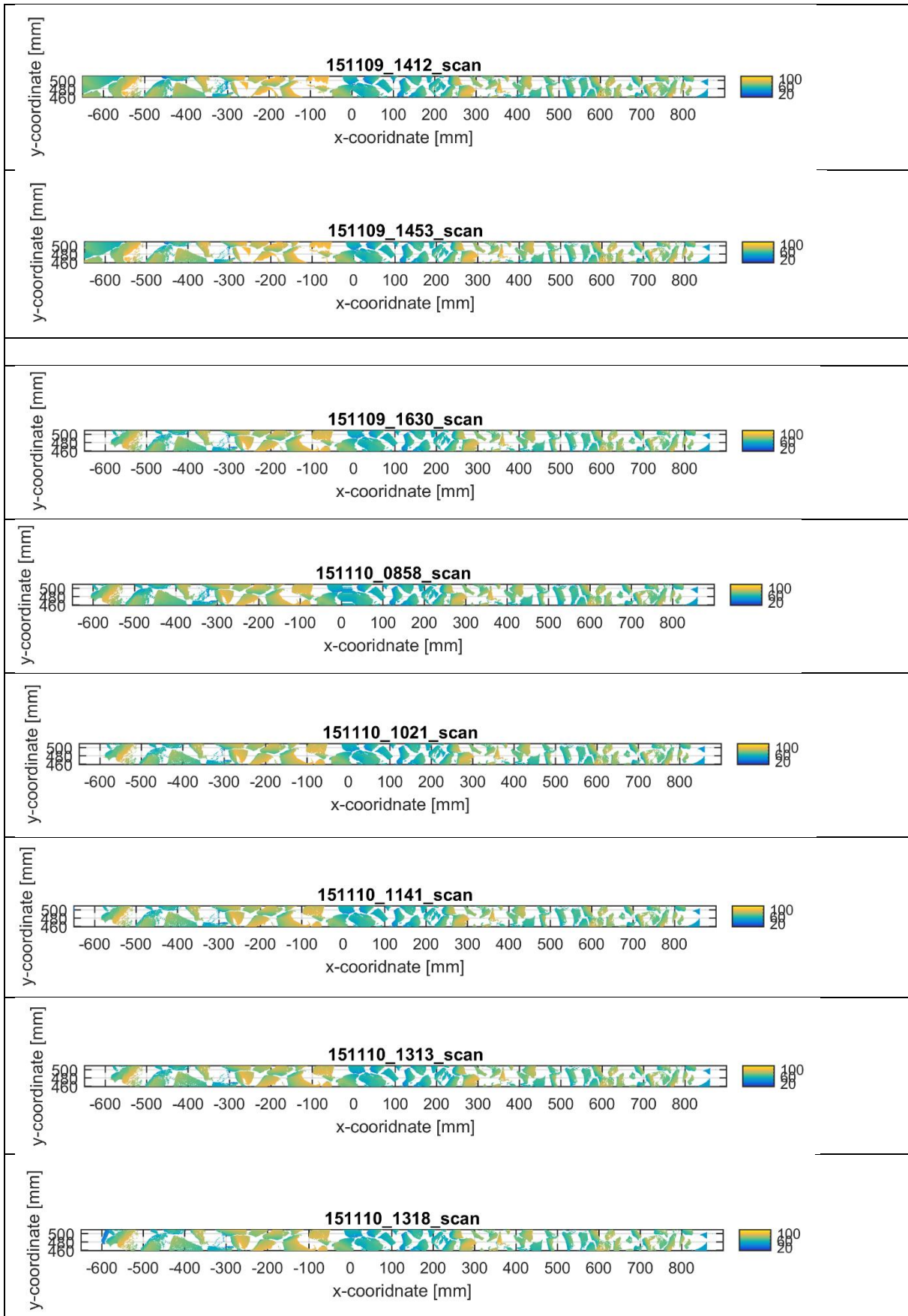


Figur E-1 Plastringstettleik forsøksdam 9

### Målte forskyvingar

3D-figur frå laserscanna tripe under forsøket er gjevne i Tabell E-2. Målte forskyvingar er gjevne i Tabell E-3.

Tabell E-2 3D-figur laserscann





Tabell E-3 Målte forskyvingar under modellforsøk 9

				Rotasjon og translasjon			Forskyving i forhold til første måling		
Plassering av divers	X	Y	Laser-Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Referanse i bunn	70	526	2144	2175	462	-15			
Referanse rist	1084	490	1275	849	498	145			
Diver u4	1241	509	1325	746	479	17			
Diver u3	1550	511	1119	375	477	17			
Diver u2	1906	510	902	-42	478	0			
Diver u1	2326	510	?		478				
<b>Innmåling før forsøk, med full boks</b>									
Referanse i botn	67	526	2142	2176	462	-12			
Referanse:vinkel	1071	473	1282	864	515	147			
600	1270	481	1096	595	507	191			
200	1559	485	902	247	503	192			
0	1766	488	798	17	500	164			
-200	2019	506	753	-148	482	172			
<b>Innmåling etter 17 min med 101 l/s</b>									
Referanse i bunn	67	526	2142	2176	462	-12	0	0	0
Referanse botn: vinkel	1071	474	1282	864	514	147	0	-1	0
600	1269	481	1095	595	507	192	0	0	1
200	1556	486	903	250	502	193	3	-1	1
0	1763	488	798	19	500	166	2	0	2
-200	2017	505	754	-146	483	171	2	1	-1
<b>Innmåling etter forsøk kjørt til 490 l/s</b>									
Referanse i bunn	67	525	2141	2176	463	-11	-1	1	1
Referanse botn: vinkel	1069	473	1284	866	515	146	3	0	-1
600	1266	481	1095	598	507	194	3	0	3
200	1553	487	903	252	501	195	6	-2	2
0	1755	488	800	27	500	168	10	0	4
-200	2010	505	756	-139	483	169	9	1	-3
<b>Innmåling 151110, 0830, før forsøk</b>									
Referanse i bunn	68	525	2141	2175	463	-12	-1	1	0
Referanse botn: vinkel	1070	473	1284	866	515	146	2	0	-1
600	1267	481	1095	597	507	194	2	0	2
200	1553	487	904	253	501	194	6	-2	2
0	1755	488	800	27	500	168	10	0	4
-200	2011	505	756	-140	483	169	8	1	-3
<b>Innmåling 151110, 1015, etter 200l/s i 60min</b>									
Referanse i bunn									
Referanse botn: vinkel	1070	473	1283	865	515	146	1	0	0
600	1266	481	1095	598	507	194	3	0	3



200	1552	487	904	254	501	194	7	-2	2
0	1754	488	800	28	500	169	11	0	5
-200	2011	505	756	-140	483	169	8	1	-3
<b>Innmåling 151110, 1135, etter 300l/s i 60min</b>									
Referanse i bunn	68	525	2141	2175	463	-12	-1	1	0
Referanse botn: vinkel	1069	473	1283	866	515	147	2	0	0
600	1266	481	1095	598	507	194	3	0	3
200	1551	487	903	254	501	196	7	-2	4
0	1753	488	801	29	500	169	12	0	5
-200	2010	505	757	-139	483	168	9	1	-4
<b>Innmåling 151110, 1307, etter 400l/s i 60min</b>									
Referanse i bunn	68	526	2141	2175	462	-12	-1	0	0
Referanse botn: vinkel	1069	473	1283	866	515	147	2	0	0
600	1266	481	1095	598	507	194	3	0	3
200	1551	486	904	255	502	195	8	-1	3
0	1752	488	800	30	500	170	13	0	6
-200	2009	505	757	-138	483	168	10	1	-4
<b>Innmåling 151110, 1410, etter 450l/s i 30min</b>									
Referanse i bunn	67	526	2141	2176	462	-11	-1	0	1
Referanse botn: vinkel	1069	472	1284	866	516	146	3	1	-1
600	1265	481	1096	599	507	194	4	0	3
200	1551	486	904	255	502	195	8	-1	3
0	1752	488	800	30	500	170	13	0	6
-200	2009	505	757	-138	483	168	10	1	-4
<b>Innmåling 151110, 1517, etter 400l/s i 30min</b>									
Referanse i bunn	67	526	2141	2176	462	-11	-1	0	1
Referanse botn: vinkel	1069	472	1284	866	516	146	3	1	-1
600	1265	481	1095	599	507	195	4	0	4
200	1551	487	904	255	501	195	8	-2	3
0	1741	489	800	39	499	176	22	-1	12
-200	2003	503	759	-132	485	166	16	3	-6

en ny stein gått  
fjerner 3+4 stein før ny belastning  
Vann på: plukker to kronestein, 3 plastringsstein --> stort hull, og ned i støttefyllinga, rundt 0-punktet  
Endelig brudd etter ytterligere plukking i oppstrøms ende av stort hull 8 min senere

[Logg](#)

Riprap 9, 9.11.2015

Stein er i skala 1:6.45, enda større stein i toppen av krona. Dam er i skala 1:6.45; skalert frå H = 3 m i felt.

PHH, FK

Tid	Kva	Evnt fil
nei	Laserscanne dam, tom boks?	
ok	Skrive på infoplakater	
1313	Flyttet baro ca 1 m til høyre for å unngå at den kommer i veien med lyskabelen.	
ok	Lys på	
	Windows på lab PC er ikkje «genuine» og bakgrunnen er svart. Programmet fungerer. Geir mente at det går an å bruke PCen, men at det ikkje går an å oppdatere eller å få noe support frå Windows. Må ta kontakt med IT og høre.	
ok	Kamera PHH ok, tatt blide av PC klokke. Det er ikkje mulig å stille sekunder.	
1330	Bilderunde	
1343	Montere kamera (kameraklokke ok)	
1350	Pumpe på (rød, 200 liter)	
1350	Stenge bypass	
1352	Fylle boks	
1400	Referanse på vinkel ved plastringsfot måtte flyttes pga en stein	
1412	Ny lasercanning+innmåling	
	Videokamera på og strøm på	
1416	Agilent på, 10Hz	
1418	Starte forsøk, 101 l/s i 17 min (oppsett frå papirlogg)	
1423	Justerer forsterkeren for hastighetsmålingene. Nå ligger de mellom ca. -3.5 og -2.4	
1426	En stein i krona vingler litt av og til. Kan ellers ikkje observere noen steiner som rister e. l.	
1434	Agilent av og på med 100Hz	
1435	Hastighetsmåling med agilent, 120g salt	
1436	Agilent av og på med 10 Hz	
Ok	Bilderunde	
Ok	Teikne vasslinje	
1436	Skru av vannet	
1439	Mye oppstuing av vann nedstrøms dammen	
ok	Sjekke boksen for stein, ingen stein	
Ok	Videokamera av	
Ok	Ny lasercanning+innmåling	
1455	Agilent av under laserscan	
1500	Bilderunde	
1500	Disto av og plastpose på	
1506	Videokamera på og strøm på	
1505	Agilent på, 10Hz	
1509	Vann på, 29 l/s er målet, 14min32s totalt, frå starter å skru på vannet	
1518	Agilent av og på med 100Hz	
1519	Hastighetsmåling med agilent: 60 g salt 1000 og 1400 får veldig dårlig signal pga lav vanddybde. De er også nedfor plastringa. Ikkje bruk tall derfra.	

1520	Agilent av og på med 10 Hz					
1516	Bilderunde					
1521	Sjekker synkronisering klokke i renna vs pcklokke; klokka i renna ligger ca 1 s bak					
1522	101 l/s, totalt 6min26s					
	Skrue på blå 200 l/s pumpe					
	2min 10s mellom hver gang vannføring skrues opp (ca 23 l/s) FK holder styr på det					
1524	Blå 200 l/s pumpe på					
Tid	Min	Sek	Kva skjer	Total vassføring	Rødt syst	Blått syst
1522	0	32			->101	
	5	54		101	101	
	0	12			->123	
	1	58		123	123	
1531	0	12			->146	
	1	58		146	146	
1533	0	12			->169	
	1	58	Kan ikkje observere noe steinbevegleser (unntatt steinen som vinglet litt i krona før)	169	169	
1535	0	12			->192	
	1	58		192	192	
1537	0	12			192	->22
	1	58		214	192	22
1539	0	12			192	->46
	1	58	Nå vingler det en stein til i krona litt	238	192	46
1542	0	12	Bilderunde To plastringsstein i krona rister litt		192	->69
	1	58		261	192	69
1544	0	12			192	->92
	1	58		284	192	92
1546	0	12			192	->117
	1	58	Plastringsstein rister ved x 300	309	192	117
1549	0	12			192	->142
1549	1	58	Rød 100 l/s pumpe på Obs overtopping boks	334	192	142
1550	0	12			192	->168
1551			Stein frå krona, var ikkje plastringsstein. Han låg lengst oppstrøms mot rista og veggen. Bilderunde			
	1	58		360	192	168
1552	0	12			192	-> 193
	1	58		385	192	193
1554			So oransje stein i krona sto opp . bilde			
1555	0	12			->217	->193
	1	58		410	217	193
1557	0	12			->244	193

	1	58	1600 to steiner i knekkpunktet beveget på seg	437	244	193
	0	12			->271	193
	1	58		464	271	193
1601	0	12			->297	193
	1	58		490	297	193
1607			Skrur av vannet, overtopping			
1607			Skrur av vann			
1610			Slår av 200 l/s pumper, 100 l/s pumper skal brukes i Eggafoss-modellen.			
			Bilderunde			
1612			Stoppet kamera			
1625			Innmåling av steiner og laserscann			
1630			Slår av agilent			
1635			Bilderunde			
1638			Åpnet bypass			
<b>10. november 2015</b>						
			Skrive på infoplakater			
0835			Ta opp stein frå renna, 2 steiner, 1 plastringsstein og en frå krona			
ok			Lys på			
Ok			Kamera PHH ok, tatt blide av PC klokke. Det er ikkje mulig å stille sekunder.			
ok			Bilderunde			
ok			Montere kamera (kameraklokke ok) Lille kamera, 3 sec bak PC klokke. Tatt bilde. Store kamera viser bare ttmm. Tatt bilde.			
835			Pumpe på (rød 100 l)			
835			Stenge bypass			
835			Fylle boks			
09			lasercanning+innmåling			
0903			Pumpe på (rød 200 l)			
			Videokamera på og strøm på			
0904			Agilent på, 10Hz			
0905			Vann på, 200 l/s			
0909			Kunne ikkje observere noe erosjon under oppkjøringa. En plastringsstein i krona rister			
0910			Starter på 60 min			
0958			Bilderunde			
1001			Slår av agilent, på med 100 Hz			
1002			Hastighetsmåling, 120 g salt			
1003			Slår av agilent, på med 10 Hz			
1010			Slår av vannet			
1013			Slår av rød 100 l/s pumpe (må ha blå 200 l/s pumpe etterpå)			
1012			Slår av videokamera			
1014			Ingen stein i renna			
1015			Innmåling –glemte referansepunktet i bunn			
1021			Slå av agilent			

1021	Laserscan	
Ok	Bilderunde	
Ok	Skrive på infoplakater	
1027	Pumpe på (blå 200 l)	
1027	Videokamera på og strøm på	
1025	Agilent på, 10Hz	
1028	Vann på, 300 l/s (150 l/s blå, 150 l/s rød)	
	Ingen stein i renna etter oppkjøring	
1032	Starter 60 min	
1123	Justerte forsterker slik at alle er rundt 0 (hastighetsmåling)	
1123	Bilderunde	
1126	Slår av agilent, på med 100 Hz	
1127	Hastighetsmåling, 120 g salt	
1128	Slår av agilent, på med 10 Hz	
1132	Slår av vannet	
Ok	Slår av videokamera	
	Sjekker renna for stein med lykt –det er mørkt i den delen av hallen. Ingen stein.	
Ok	Innmåling	
1141	Slå av agilent	
1142	Laserscan	
1148	referansepunktet i botn	
Ok	Bilderunde	
Ok	Skrive på infoplakater	
1148	Pumpe på (rød 100 l)	
Ok	Videokamera på og strøm på	
1148	Agilent på, 10Hz	
1150	Vann på, 400 l/s (150 l/s blå, 250 l/s rød)	
1156	Starter 60 min	
1248	justerte forsterker før hastighetsmåling	
1249	Bilderunde	
1249	Slår av agilent, på med 100 Hz	
1250	Hastighetsmåling, 120 g salt, start etter ca. 30 s	
1252	Slår av agilent, på med 10 Hz	
1256	Slår av vannet	
1300	Slår av videokamera	
Ok	Sjekk renna for stein	
Ok	Innmåling	
1312	Slå av agilent	
1313	Laserscan	
Ok	referansepunktet i botn	
Ok	Bilderunde	
ok	Kopierer data frå videokamera	
Ok	Skrive på infoplakater	
1323	Agilent på, 10Hz	
Ok	Videokamera på og strøm på	
1330	Vann på, 450 l/s (175 l/s blå, 275 l/s rød)	
1333	Canon gikk ikkje, slå den på da	
1335	Tid starter	

1342	To steiner rister ved kanten mot vinduet	
1402	Justerer forsterkeren	
1403	Slår av agilent, på med 100 Hz	
1404	Hastighetsmåling, 120 g salt, start etter ca. 30 s	
1405	Slår av agilent, på med 10 Hz	
Ok	Bilderunde	
1406	Slår av vannet	
Okok	Slår av videokamera	
Ok	Sjekk renna for stein	
Ok	Innmåling	
Ok	Slå av agilent	
1418	Laserscan	
1423	referansepunktet i botn	
Ok	Bilderunde	
1436	Plukke stein, to hull (10 midten, 12 sida) steiner. Se skisse på bilde	
Ok	Skrive på infoplakater	
1437	Agilent går (gikk frå før)	
Ok	Videokamera på og strøm på	
1439	Vann på, 400 l/s (150 l/s blå, 250 l/s rød)	
1440	En stein frå hullet nærmest vinduet gikk under oppkjøring, ved ca 200 l/s. Stein rundt hull la seg inn i hullet	
1443	Tid starter	
Ok	Bilderunde	
1513	Slår av vannet	
1515	Slår av kamera	
Ok	Sjekk renna for stein : en stein (+ en støttefyllingsstein i renna)	
1518	Innmåling	
1525	Slå av agilent	
1523	Laserscan	
1539	referansepunktet i botn	
Ok	Bilderunde	
	Plukke stein: utvider hull i midten, fire stein i underkant og tre i retning vegg, ca 10s etter fjerning av stein i retning vegg satte en 3-4 stein i overkant av hullet seg ca 1 cm. Overkant av hullet er svært ustabil.	
Ok	Bilderunde etter plukking av stein	
1537	Agilent på	
1538	Videokamera på og strøm på	
1539	Vann på, 400 l/s (150 l/s blå, 250 l/s rød)	
1539	Under oppkjøring la steinrekke i oppkant midtre hull seg før nådd 100 l/s	
1543	Start på 15 min	
1558	Starte å plukke stein (vann på): To kronestein som stod nærmest øvre rist, en la seg, den andre gikk, så gikk den første også.	
1601	Plukker frå hull i midten, en stein	

	Plukker en til stein, den tar med en annen.	
160250	Stort hull i midten av krona –«bombehull»--	
16:04:27	Stor kronestein gikk	
161035	Endelig brudd	
1612	Vann av	
	Overføre data frå videokamera –kun bruddvideo. Må hente øvrig data i morga.	
1618	Opne bypass	
1619	Slå av lys	











## F. Modellforsøk 10 rausa skråningsvern

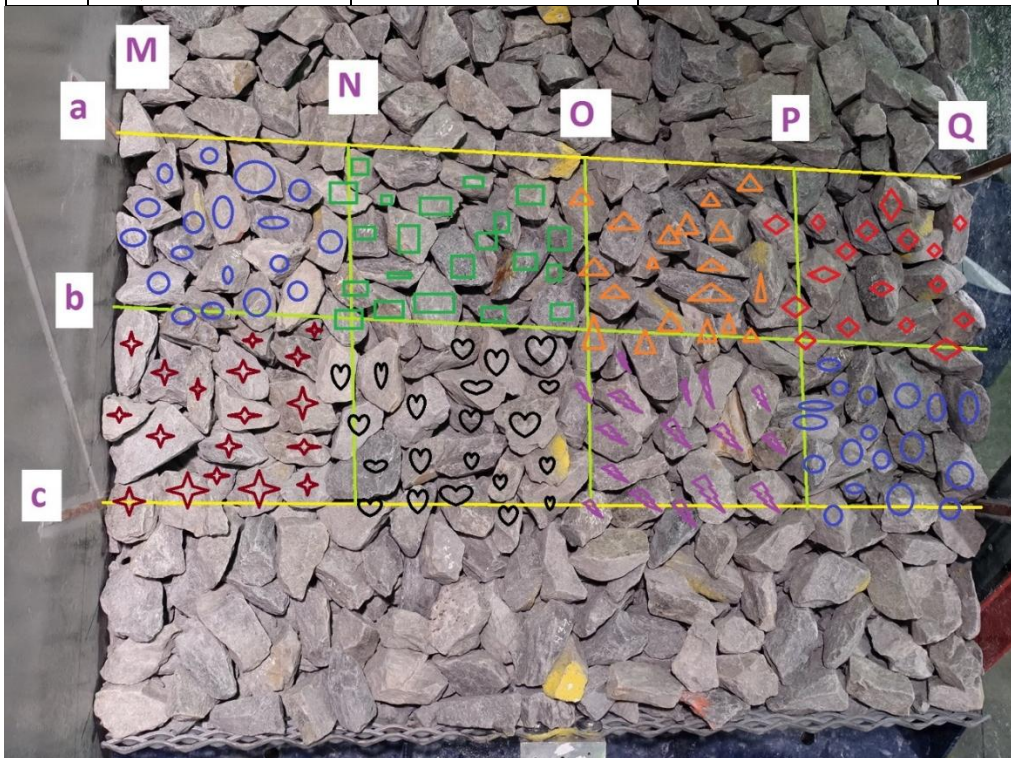
### Plastringstettleik

Figur F-1 Plastringstettleik, forsøksdam 10 Figur F-3 Plastringstettleik, forsøksdam 11 syner korleis dammen er merka og delt inn. Tabell B-2 Merka stein feltforsøk 2I Tabell F-1 Merka stein forsøksdam 10 er resultat av tellinga synt.

Plastringstettleiken for forsøksdam 10 er 8.9 stein per 0.024 m<sup>2</sup>.

Tabell F-1 Merka stein forsøksdam 10

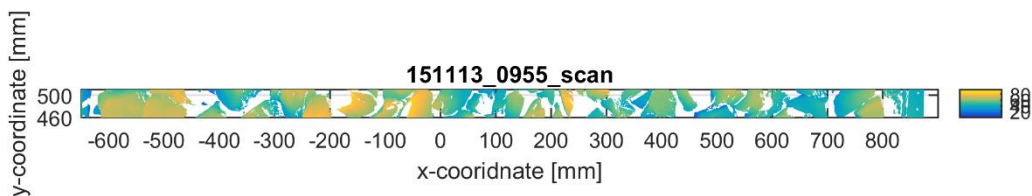
	M-N	N-O	O-P	P-q
a-b	18 stein merka 	21 stein merka 	19 stein merka 	17 stein merka 
b-c	18 stein merka 	21 stein merka 	16 stein merka 	18 stein merka 



Figur F-1 Plastringstettleik, forsøksdam 10

### Laserscanning

Tabell F-2 3D-figur modellforsøk 10, før belastning



## Bilete



Figur F-2 Modellforsøk 10, bilete før belastning

## Logg

Riprap 10, 13.11.2015

Stein er i skala 1:6.45, enda større stein i toppen av krona. Dam er i skala 1:6.45; skalert frå H = 3 m i felt. Rausa steinfylling

PHH, FK

	Kva	Evtnt fil
	Legg inn store stein for å lage skille mellom plastringstein som ligger igjen i renna og de som evtnt går før full kollaps av skråningsvernet.	
Ok	Skrive på infoplakater	
Ok	Lys på	
0953	Bilderunde	
0954	Pumpe på (rød, 100 liter)	
0956	Stenge bypass	
0958	Fylle boks	
1004	StorevideoKamera; slette data, klokke	
1005	Lillevideo100kamera (kameraklokke ok)	
1003	Lasercanning måler ikkje inn manuelt med Disto fordi vannføringen ikkje stoppes før brudd	
1013	Videokamera på og strøm på	
1011	Agilent på, 10Hz	

1013	Starte forsøk, 15 l/s i 15 min (oppsett frå papirlogg)	
1017	Vannstand/vannføring er stabil	
1017	Bilderunde	
1023	Sjekk forsterkeren for hastighetsmålingene, justerer forsterkeren at alle ligger rundt 0	
1025	Agilent av, på med 100Hz	
1025	Hastighetsmåling	
1026	Agilent av, på med 10Hz	
1026	Bilderunde	
1029	Auke til 30 l/s, 11.5min	
1035	Bilderunde	
	Ushant bruker blått system	
1036	Agilent av, på med 100Hz	
1036	Hastighetsmåling	
1038	Agilent av, på med 10Hz	
1041	Auke til 53 l/s i 4 min	
Ca 1042	Brudd under oppkjøring tiol 53 l/s.	
	Lar vannet stå på en stund mens restene av støttefyllinga rives bort. Bilde av vannoverflate. Ev. mulig å sammenligne diver data når bare vann renner over, men vær opmerksom på at rista oppstrøms påvirker vannstand for u1 og u2	
	Ikkje potensiale for hastighetsmåling, vannet passerer under målere.	
	Vann av	
1050	Pumpe av	
1051	Kamera av	
1051	Agilent av	
	Laste ned data frå kamera og pc.	












## G. Modellforsøk 11 plastra skråningsvern

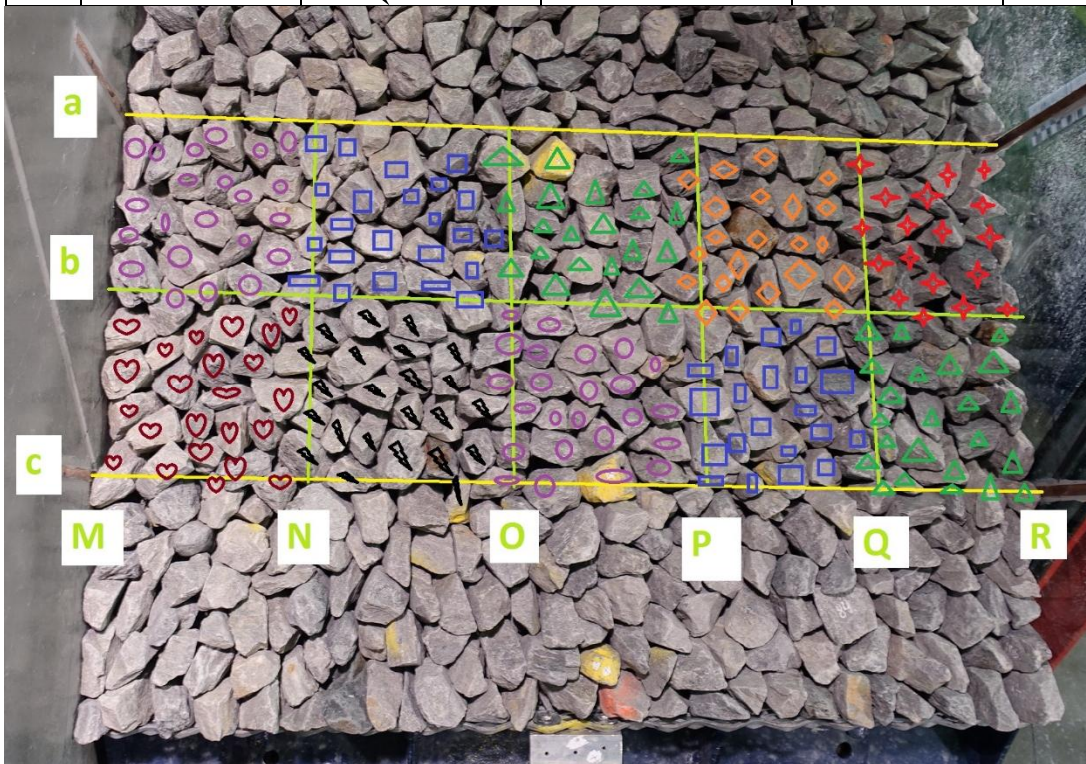
### Plastringstettleik

Figur F-3 Plastringstettleik, forsøksdam 11 syner korleis dammen er merka og mengda stein fastsatt i Paint. Mengda stein i enkeltruter er i Tabell B-2 Merka stein feltforsøk 2 Tabell F-3 Merka stein forsøksdam 11.

Gjennomsnittleg plastringstettleik for forsøksdam 11 er 13.3 stein/0.024 m<sup>2</sup>.

Tabell F-3 Merka stein forsøksdam 11

	M-N	N-O	O-P	P-Q	Q-R
a-b	22 stein merka 	23 stein merka 	22 stein merka 	22 stein merka 	18 stein merka 
b-c	23 stein merka 	23 stein merka 	24 stein merka 	21 stein merka 	23 stein merka 



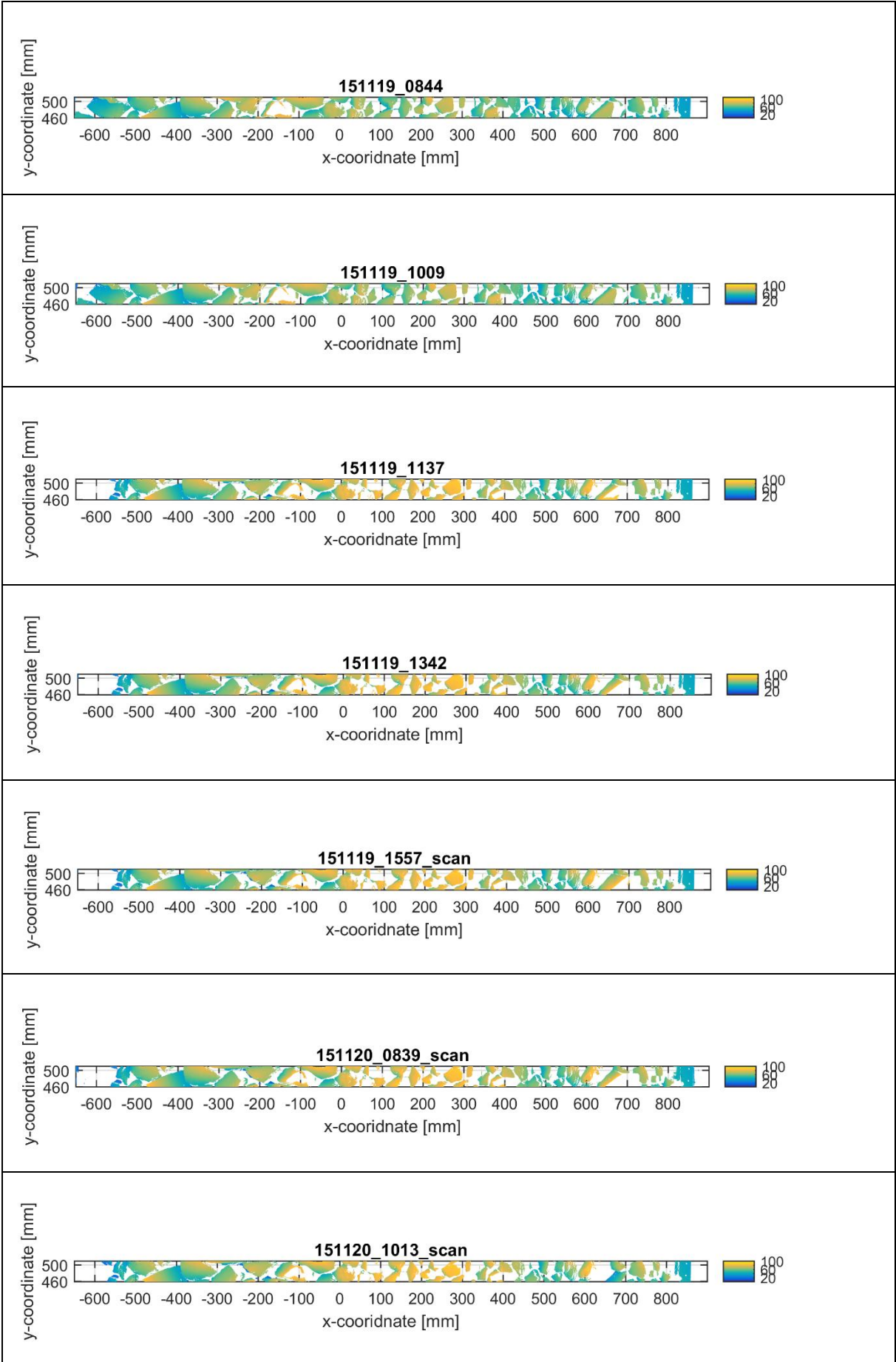
Figur F-3 Plastringstettleik, forsøksdam 11

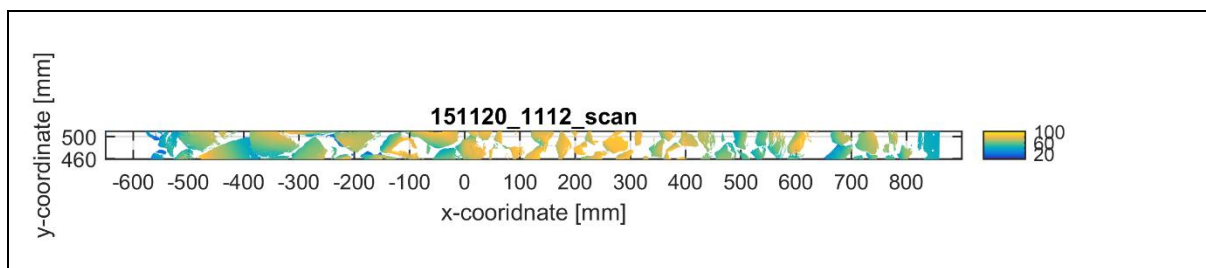
### Målte forskyvingar

3D-figur frå laserscanna stripe under modellforsøk 11 er gjeve i

Tabell F-4. Målte forskyvingar er gjevne i Tabell F-5.

Tabell F-4 3D-figurar modelltest 11





Tabell F-5 Modellforsøk 11, målte forskyvingar

Innmåling før forsøk, med full boks				Rotasjon og translasjon			Forskyving i forhold til første måling		
Plassering av stein	X	Y	Laser-Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Referanse i botn, ny	73	559	2137	2168	429	-11			
Referanse botn: vinkel	1071	472	1284	865	516	145			
800	1135	462	1225	779	526	159			
600	1295	454	1110	582	534	166			
200	1562	510	905	246	478	188			
0	1815	484	773	-38	504	158			
-200	2005	537	765	-134	451	160			
<b>Innmåling etter 17 min med 101 l/s</b>									
Referanse i botn, ny	73	560	2138	2169	428	-12	1	-1	-1
Referanse botn: vinkel	1071	473	1283	864	515	146	-1	-1	1
800	1134	462	1224	779	526	160	0	0	1
600	1294	454	1110	583	534	166	1	0	1
200	1560	509	907	249	479	187	3	1	-1
0	1813	483	773	-36	505	159	2	1	1
-200	2004	537	764	-133	451	161	1	0	1
<b>Innmåling etter forsøk kjørt til 490 l/s</b>									
Referanse i botn, ny	73	559	2137	2168	429	-11	0	0	0
Referanse botn: vinkel	1070	473	1283	865	515	146	0	-1	1
1000	1132	463	1224	781	525	161	2	-1	2
600	1288	453	1110	588	535	169	6	1	4
200	1546	510	910	262	478	193	16	0	5
0	1790	485	770	-19	503	174	19	-1	16
-200	1998	547	777	-127	441	148	7	-10	-12
<b>Måling etter 60 min x 200 l/s</b>									
Referanse i botn, ny	71	559	2138	2171	429	-11	2	0	0
Referanse botn: vinkel	1070	472	1283	865	516	146	0	0	1
1000	1132	463	1224	781	525	161	2	-1	2
600	1289	452	1109	586	536	170	4	2	4
200	1547	509	910	261	479	192	15	1	4
0	1790	484	770	-19	504	174	19	0	16
-200	1998	547	776	-127	441	149	7	-10	-11
<b>Måling etter 60 min x 300 l/s</b>									
Referanse i botn, ny	73	559	2138	2169	429	-12	1	0	-1

Referanse botn: vinkel	1070	472	1283	865	516	146	0	0	1
1000	1132	463	1224	781	525	161	2	-1	2
600	1288	453	1109	587	535	170	5	1	5
200	1545	509	911	263	479	192	17	1	4
0	1789	482	773	-16	506	172	22	2	14
-200	1998	550	782	-127	438	143	7	-13	-17
<b>Måling etter 60 min x 400 l/s</b>									
Referanse i botn, ny	73	559	2138	2169	429	-12	1	0	-1
Referanse botn: vinkel	1070	473	1283	865	515	146	0	-1	1
1000	1131	463	1225	782	525	161	3	-1	2
600	1288	453	1110	588	535	169	6	1	4
200	1544	509	912	265	479	192	19	1	4
0	1788	481	774	-15	507	172	23	3	14
-200	1999	552	785	-128	436	140	6	-15	-20
<b>Måling etter 30 min x 450 l/s</b>									
Referanse i botn, ny	73	560	2137	2168	428	-11	0	-1	0
Referanse botn: vinkel	1069	474	1283	866	514	147	1	-2	2
1000	1132	463	1224	781	525	161	2	-1	2
600	1288	452	1110	588	536	169	6	2	4
200	1543	509	912	266	479	193	20	1	5
0	1786	480	774	-13	508	173	25	4	15
-200	1999	553	787	-128	435	138	6	-16	-22

## Logg

Riprap 11, 19.11.2015

Stein er i skala 1:6.45, enda større stein i toppen av krona. Dam er i skala 1:6.45; skalert frå H = 3 m i felt. Plastra av FK, 60 grader helling, mindre enn 1.5 forsøk per stein ved plassering (gjennomsnittlig 1.2?, noen 3-4 forsøk), plastra ferdig på >2 t.

PHH, FK

	Kva	Evnt fil
Ok	Skrive på infoplakater	
Ok	Lys på	
Ok	Bilderunde	
0820	Pumpe på (rød, 200 liter)	
0820	Stenge bypass	
0820	Fylle boks	
Ok	StorevideoKamera; slette data, klokke	
Ok	Lillevideo100kamera (kameraklokke ok)	
0828	Teikne på nytt referansepunkt i botn, det gamle vart vaska bort då lekkasjevatn etter fylling av boksen kom over.	
0835	Måle inn stein, full boks	
0844	Laserscan	
0851	Agilent trøbler, finner ikkje usbporten. Restarter labpc og dobbelsjekker alle usb-er. Geir har byttet ut strømforsyning til Agilent, den virket visst ikkje bra nok. Får ny strømforsyning til agilent -> virker.	

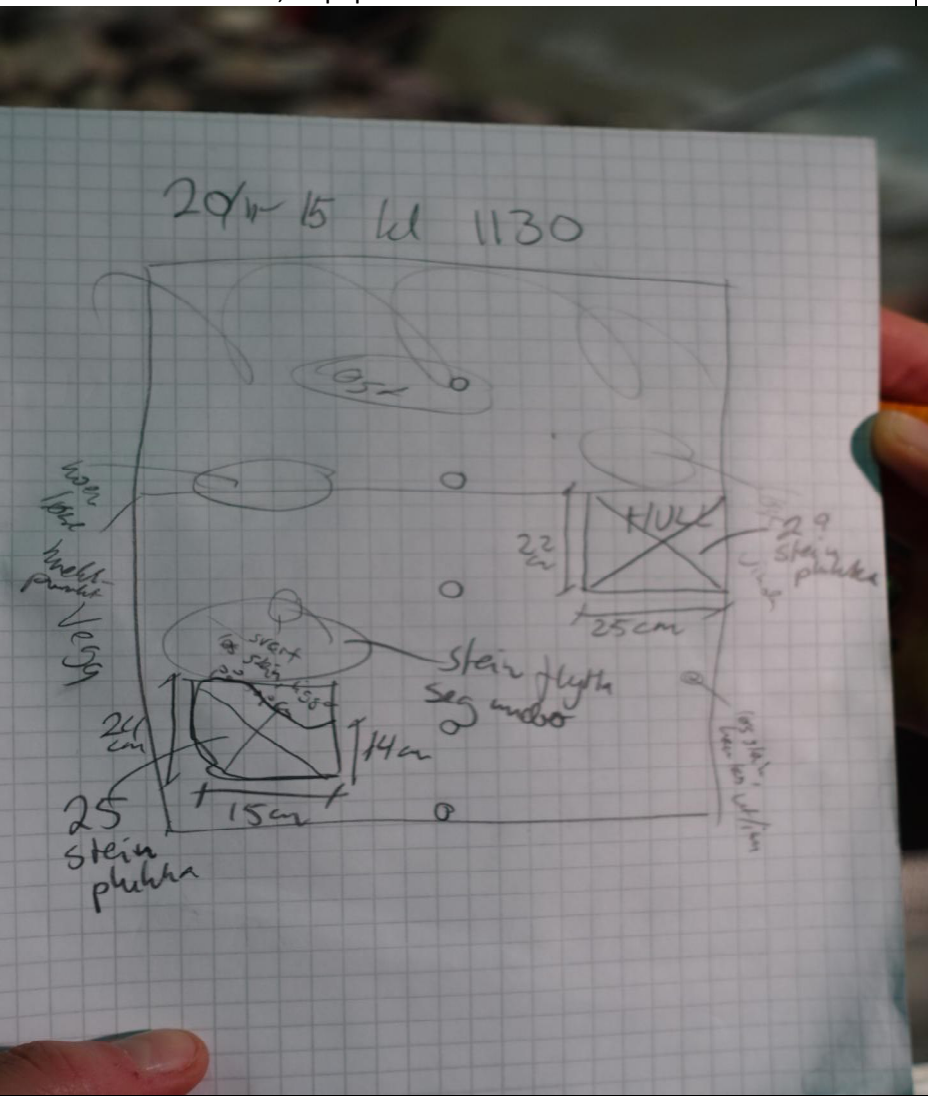


0924	Agilent på, 10 Hz	
0931	Videokamera på og strøm på	
0931	Vann på, 101 l/s	
0935	Stein et bort frå vinduet ved ca x 250 mm vinglet litt	
0936	Vannstand/vannføring er stabil (agilent-vasstand1.668-9)	
Ok	Bilderunde	
0940	Sjekk forsterkeren for hastighetsmålingene	
0946	Agilent av, på med 100Hz	
0946	Hastighetsmåling	
0948	Agilent av, på med 10Hz	
0949	Vann av	
Ok	Lillevideo av	
Ok	Storevideo av	
0953	Laste inn data frå storevideo	
0953	Restarter pc, traversen ville ikkje kjøre	
10	Måle inn forskyving	
1009	Laserscanne	
	Bilderunde	
1017	Siste koordinater –måle inn referansepunkt	
Ok	Ingen stein i renna	
1019	Agilent på, 10 Hz	
1018	Videokamera på og strøm på	
1019	Vann på, 29 l/s	
	Vannstand/vannføring er stabil (agilent-vasstand)	
	Bilderunde	
Ok	Sjekk forsterkeren for hastighetsmålingene	
1030	Agilent av, på med 100Hz	
1030	Hastighetsmåling	
1031	Agilent av, på med 10Hz	
1031	Slå på blå 200 l/s pumpe	
1034	101 l/s i 6.5 min	
1041	123 l/s	06:26
1043	146 l/s	08:37
1044	bilderunde	
1045	169 l/s	1046
1046	Grumsete vann, vanskelig å se	
1047	192 l/s	1256
1049	192+22 l/s vannføring opp mot 192+27.	1506
1052	192+46 l/s	1716
1053	Bilderunde Kan ikkje observere noen ristende steiner. Klarer bare å se litt over midten pga grums. Ser ikkje veggen.	
1054	192+69	1926
1056	192+92	2138
1056	Observerer en stein som rister ved ca x200 mellom glass og midten (gul stein)	
1058	192+117	2346
	Bilder ovenfra	
1100	192+142	2558

	Stein ved x250 omtalt før rister nå meir Lille rød pumpe på	Stoppeklokk e stoppet ca 2606, av ca 15 s? Fortsetter å følge papirskjema = litt lengre tid ved denne vannføring.
1103	192+168	2807
1106	192+193	3019
1105	Bilderunde	
1108	217+193	
1108	Krone stein ved veggen ble flyttet opp på og litt lengre ned fortsatt på korna. Ved veggen. bilde	
1109	Minst en stein frå topp krone gikk, kronestein flyttet seg	
1111	244+193	
1111	Ser ut som en stein ved knekkpunktet ble løftet litt i grand. bilde	
1112	Minst to stein i renna	
1113	271+193	36524
1113	Tror at kronesteinene ved veggen som ble flyttet før ble tatt	
1114	Stein ligger nesten opp på plastirngen ca x300 mellom vegg og midt, blide.den ligger nå flatt oppå plastringen	
1116	stein fra knekkpunktet gikk	
1118	Bilderunde ovenfra	
	297+193	3856
	Slår av vannet	4428
	Vann av	4832
1126	Slår av blå 200 l/s pumpe	
1126	Slår av videokamera, laster over data frå store	
	Stein i renna: 8 store kronestein (xx knust) 4 plastringsstein 11 støttefyllingsstein	
Ok	Måle inn stein	
1137	Av med agilent	
1138	Laserscanne	
1144	Måle inn referansepunkt i bunn	
Ok	Laste inn data frå lillevideo	
1152	Agilent på, 10 Hz	
1152	Videokamera på og strøm på	
1152	Vann på, 200 l/s	
1155	Stein ved knekkpunktet rister	
1257	Starter tida	
1230	Laste over data frå pc til harddisk	
1231 -35	Agilent var nede fordi vi prøvde å kopiere data, altså når vi tok ut harddisken igjen. Da stoppet aglient. Slet litt med å få den på igjen, den fant ikkje usb som var connected. Agilent gikk igjen frå 1235 NB: ikkje bruk usb porter når agilent er på.	

1243	Bilderunde	
1246	justert forsterkeren for hastighetsmålingene	
1250	Agilent av, på med 100Hz	
ok	Hastighetsmåling med ca 120 g salt	
1254	Agilent av, på med 10Hz, besøk som gjorde at den stå på noen minuttar med 100 Hz	
1257	Vann av	
1300	Slår av 100 l/s rød pumpe	
1305	Slår av videokamera,	
ok	0 Stein i renna:	
1330	Måle inn stein, Flora peker. Vi hadde litt trøbel med Disto, den målte plutselig ikke lengre frå bakenden frå, men vi fant ut av det. Målingene er ok. Sikker noen som kom bor i knappen.	
1342	Av med agilent	
1342	Laserscane	
Ok	Måle inn referansepunkt i botn, ok ble tatt før	
1345	Øyvind tenger å kjøre noe vann i modellen sin og eg må derfor vente noe. Han sier at det tar ca. 30 min.	
ok	Lastet ned data frå lillevideo og storevideo, slettet de første videoene	
ok	Oppdater skilt	
1356	Bilderunde	
1417	Agilent på, 10 Hz	
1422	Videokamera på og strøm på	
1422	Slå på 100 l/s pumpe rød (pumper som er på begge rød og begge blå). Sikringa til lille rød pumpa gikk en gang da Øyvind kjørte. Klarte derfor ikke å slå den på. Geir skal se på det. OBS: følg litt med på pumpelyset	
1424	Vann på, 300 l/s (280 l/s på rød og 20blå) slik at Øyvind kan disponere noe vann frå blå. Flora kjører C renna og bruker litt frå blått.	
	Veldig grumsete vann, bølger mue oppstrøms	
1431	Justerer til 250 frå rødt, og 50 frå blått, ser om det blir mindre grums	
1435	Begynner på 60 min	
1444	Noen bilder ovenfra. Den ene steinen ligger fortsatt opppå plastringen.	
1447	Plastringsstein ved vinduet, klarte ikke å se hvor den kom fra	
1522	Justerer forsterkeren	
1524	Slår av agilent, på med 100Hz –to ganger, var litt kjappt ute.	
1527	Hastighetsmåling	
1528	Slår av agilent, på med 10 Hz	
1523	Bilderunde	
1535	Stein vingler ved glasset i krona, en som er litt gult	
1535	Slår av vannet og store blå, store og lille rød pumpe	
1600	To stein i renna, en kronestein og en plastringsstein.	
Ok	Måler inn stein og referansepunkt	
1558	Agilent av	
1558	Laserscane dam	
Ok	Laster inn data frå videokamera	
Ok	Bilderunde	
1630	Opne bypass	
<b>20. november 2015</b>		
Ok	Skrive på infoplakater	
ok	Lys på	

Ok	Bilderunde	
Ok	Pumpe på (rød, 100 liter)	
Ok	Stenge bypass	
Ok	Fylle boks	
ok	StorevideoKamera; slette data, klokke	
Ok	Lillevideo100kamera (kameraklokke ok)	
0835	Måle inn stein, full boks	
0840	Laserscan	
0845	Agilent på, 10 Hz	
0845	Pumper på (200 l/s rød, 200 l/s blå)	
0849	Videokamera på og strøm på	
0849	Vann på, 400 l/s (250 rødt, 150 blått)	
0854	En stein ved vinduet, toppen av krona rister mye (pekt inn for videokamera), denne er gul i botn. Framleis ganske grumsete vatn, men ikkje like ille som i går. Stein oppå dammen nært veggen midt i hellinga ligger framleis oppå dammen.	
0855	Starter på 60 min	
	Vannet i renna er fortsatt veldig grumsete og vi ser bare ca 2-3 rad med stein frå sida. Ovenfra ser man litt betre, men ikkje helt ved begynnelsen av krona.	
0946	Bilderunde	
0946	Minst en stein har gått, nr 411, lå like nedstrøms gulstein 600 (den er der ikkje lengre)	
0950	Agilent av, på med 100 Hz	
0951	Hastighetsmåling	
0952	Agilent av, på med 100 Hz	
0955	Vann av	
ok	Slår av videokamera, laster over data frå store	
ok	Stein i renna: 1 plastringsstein 411, tatt opp	
1010	Måle inn stein	
1012	Av med agilent	
1013	Laserscanne	
1019	Måle inn referansepunkt i bunn	
1016	Agilent på, 10 Hz	
1020	Videokamera på og strøm på	
1021	Vann på, 450 l/s (275 rødt, 175 blått)	
1026	Starter på 30 min	
	Måler og veier stein som gikk under forsøkskjøring i går, kronestein/oransje og plastringsstein.	
1051	Bilderunde	
1053	Justerer forsterker fæør hastighetsmåling	
1054	Agilent av, på med 100 Hz	
1054	Hastighetsmåling	
1056	Agilent av, på meed 10 Hz	
1056	Vann av	
ok	Slår av videokamera, laster over data frå store	
	En støttefullingsstein i renna.	
1110	Måle inn stein	
1112	Av med agilent	

1112	Laserscane	
Ok	Måle inn referansepunkt i bunn	
Ok	Bilderunde	
1130	Plukke stein 29 + 25 stk, se papirskisse	
		
Ok	bilderunde	
1137	Agilent på, 10 Hz	
	Videokamera på og strøm på	
	Vann på, 450 l/s (275 rødt, 175 blått)	
	Klarte ikke å kjøre vannføringen helt opp før det ble brudd	
	Se agilent for Q måling	
1304	Graver en kanal gjennom steinene som ligger nedstrøms, sjekk tetterpå i agilent data om dette vises i hvor fort vannstanden syker.	
	Det ser ut som om det er noe mindre lekkasje nå enn før forsøket. Ev. har partiklene frå grumset tettet noen lekkasjer.	
	Målt inn alle plastringsstein som ble erodert og noen av kronesteinene.	
1312	Agilent stopp	
1320	Åpner bypass	

### Kommentarar forsøk/resultat

























Tid for første stein: Ikkje mogleg å sjå på lillevideo. Vha logg og storevideo er det funne kronestein som gjekk 11:08:21, og da var vassføringa jfr. Agilent 390 l/s. Etter endt kjøring var det 11 kronestein og 4 plastringsstein i renna, men tidspunkt for når plastringsstein gjekk har ikkje vore mogleg å finne.

## H. Modellforsøk 12 plastra skråningsvern

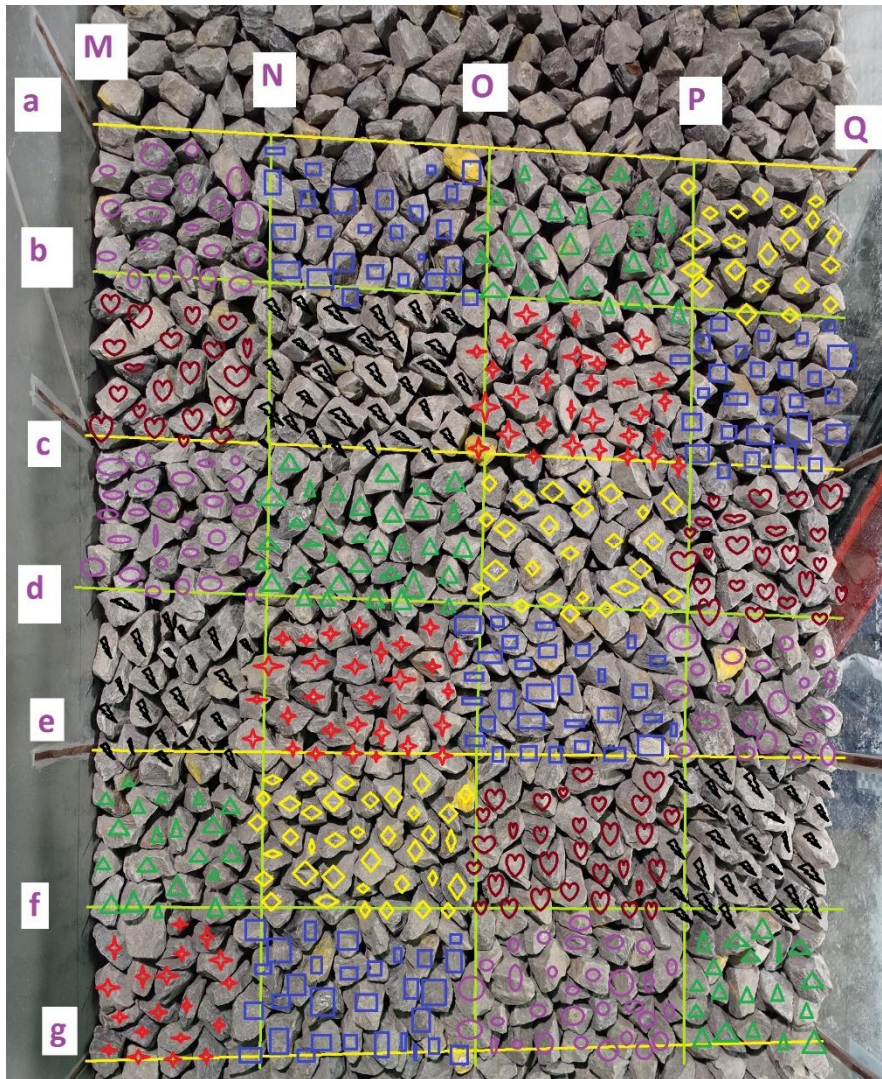
### Plastringstettleik

Forsøksdam nummer 12 er bygd med full lengd på rista, som er XX m, plastringstettleiken kan difor målast i fleire område, og summerast. I Figur H-1 Plastringstettleik, forsøksdam 12 er det synt korleis hellinga på dammen er delt inn i tre område mellom dei totalt fire elektrodane som er på kvar side av dammen. Tabell H-1 Merka stein forsøksdam 12 syner mengda stein i kvar enkelt rute. Totalt for heile området som er målt, er plastringstettleiken 12.7 stein/0.024 m<sup>2</sup>.

Tabell H-1 Merka stein forsøksdam 12

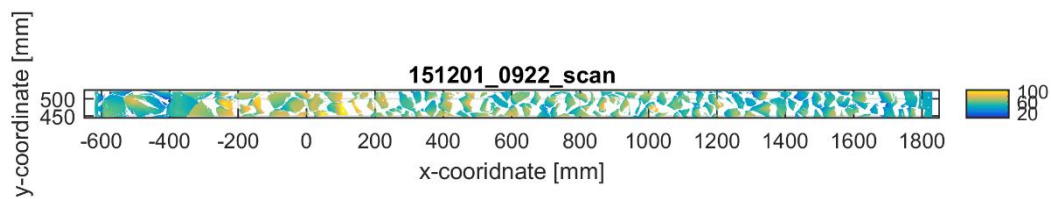
	M-N	N-O	O-P	P-Q	Total
a-b	20 stein merka 	25 stein merka 	27 stein merka 	21 stein merka 	505 stein pr m <sup>2</sup> = 12.1 stein pr 0.024 m <sup>2</sup> .
b-c	20 stein merka 	30 stein merka 	32 stein merka 	27 stein merka 	
c-d	26 stein merka 	34 stein merka 	26 stein merka 	24 stein merka 	537.5 stein pr m <sup>2</sup> = 12.9 stein pr 0.024 m <sup>2</sup> .
d-e	23 stein merka 	30 stein merka 	30 stein merka 	22 stein merka 	
e-f	21 stein merka 	37 stein merka 	31 stein merka 	29 stein merka 	542.5 stein pr m <sup>2</sup> = 13.0 stein pr 0.024 m <sup>2</sup> .
f-g	19 stein merka 	30 stein merka 	31 stein merka 	19 stein merka 	



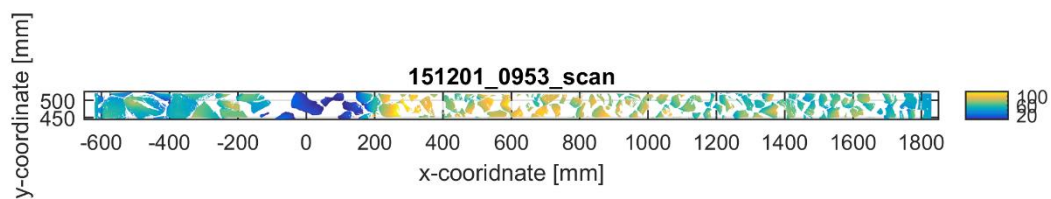


Figur H-1 Plastringstettleik, forsøksdam 12

Målte forskyvingar



Figur H-23D-figur før belastning



Figur H-3 3D-figur etter belastning

Tabell H-2 Modellforsøk 12, målte forskyvingar og plassering av divers

Plassering av divers	X	Y	Laser-Z	Rotasjon og translasjon			Forskyving		
				X	Y	Z	X	Y	Z
Referanse i bunn	76	560	2139	2167	428	-14			
Referanse rist	274	471	1820	1825	517	141			
Diver u4	717	504	1675	1376	484	16			
Diver u3	1008	472	1477	1024	516	19			
Diver u2	1367	511	1234	591	477	22			
Diver u1	1703	502	1006	185	486	26			
Diver u0	2077	471	905	-182	517	-98			
nesten 0 punkt	1873	956	917	-6	32	6			
<b>Innmåling før forsøk, med full boks</b>									
Referanse i botn	73	560	2137	2168	428	-11			
Referanse rist	272	472	1818	1826	516	144			
Gulstein 1800	326	523	1773	1756	465	151			
Gulstein 1400	619	498	1578	1404	490	151			
Gulstein 1000	919	498	1363	1035	490	164			
Gulstein 600	1287	484	1103	584	504	-178			
Gulstein 200	1598	507	911	273	481	14			
Gulstein 0/knekkpunkt	1757	530	774	114	458	151			
Gulstein -200	1996	532	773	-125	456	152			
<b>Innmåling etter oppkjøring til 101 l/s</b>									
Referanse i botn	72	559	2138	2170	429	-11	1	1	0
Referanse rist	269	472	1819	1829	516	145	3	0	1
Gulstein 1800	322	523	1772	1759	465	154	3	0	3
Gulstein 1400	587	500	1586	1435	488	162	31	-2	11
Gulstein 1000	874	496	1374	1079	492	179	44	2	16
Gulstein 600	1191	482	1132	680	506	-207	96	2	-29
Gulstein 200	1480	508	970	391	480	-45	118	-1	-59
Gulstein 0/knekkpunkt	1622	530	843	249	458	82	135	0	-69
Gulstein -200	1987	526	778	-116	462	147	9	6	-5

## Logg

Riprap 12, 01.12.2015

Stein er i skala 1:6.45, enda større stein i toppen av krona. Plastra av PHH, full lengde på dammen.

PHH, FK

	Kva	Evnt fil
08:23	Microsonic sensor var utan strøm, slår på	
Ok	Skrive på infoplakater	
Ok	Lys på	
Ok	Bilderunde	

0839	Pumpe på (rød, 200 liter)	
Ok	Stenge bypass	
0840	Fylle boks	
Ok	StorevideoKamera; slette data, klokke	
Ok	Lillevideo100kamera (kameraklokke ok)	
0851	Skifter batteri på disto	
0855	Måle inn stein, full boks –disto gikk tom for batteri, Priska henter nye (uoppladbare) på kontoret.	
0928	Pære på arbeidslys over renna røyk, skifter denne.	
0915	Måle inn stein på nytt med full boks.	
0923	Laserscan	
0930	Agilent på, 10 Hz	
Ok	Videokamera på og strøm på	
Ok	Vann på, 101 l/s	
	Slo vannet direkte av etter at det var nådd 101 l/s, store forskyvninger i krona.	
0939	Slår av kamera	
0939	Slår av pumpe	
Ok	Laste ned data, kopierer	
1053	Pumpe på, rød 200 l/s	
1055	3 plastringsstein var i renna	
1056	Slår på Agilent, 10 Hz	
1058	Kamera på	
1059	Vann på, 101 l/s er målet	
1101	Stabil vannføring, dammen forskyver seg stadig meir.	
	Brudd	
1106	Vannet er slått av	
1107	Slår av videokamera	
1108	Slår av pumpe	
1109	Stopp agilent	
1110	Åpner bypass	

## I. Steinmålingar

### Feltforsøk

Stein som vart tekne med frå felt til laboratoriet for måling og vewing er synt i XX. Resultat frå måling, vewing og kalkulasjonar er gjeve i Tabell I-1. Desse steinane hadde gjennomsnittleg tyngdetettleik  $\rho = 2750 \text{ kg/m}^3$  og Kubiskheit/ $C_f = 0.5$ .

Figur I-1 syner målte stein i laboratoriet



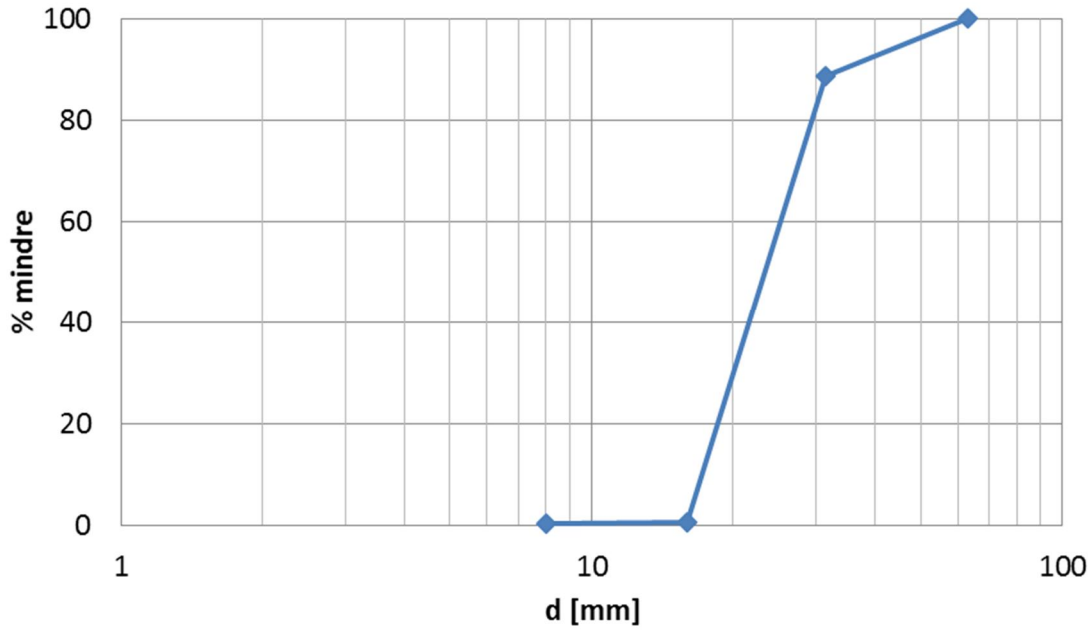
Figur I-1 Steinar frå felt målte i laboratoriet

Tabell I-1 Stein frå felt målt og voge i laboratoriet

#	Målt i laboratoriet					Kalkulert frå målingar		
	Steinvolum = vekt av forskove vatn [g] = [cm <sup>3</sup> ]	Steinvekt [g]	a [cm]	B [cm]	c [cm]	d [cm]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$C_f$
1	432	1150	18.8	10.9	4.2	10	<u>2.66</u>	50 %
2	335	888	14.2	10.1	5.0	9	<u>2.65</u>	47 %
3	531	1389	17.0	12.4	6.8	11	<u>2.62</u>	37 %
4	547	1483	18.0	9.9	6.9	11	<u>2.71</u>	44 %
5	1225	3831	21.7	19.2	7.6	15	<u>3.13</u>	39 %
6	2880	7810	22.3	15.8	11.8	16	<u>2.71</u>	69 %
						$\mu =$	<u>2.75</u>	<b>48 %</b>
						$\sigma =$	<u>0.17</u>	<b>11 %</b>

### Modellforsøk

Stein i støttefylling vart sikta av (Jakobsen, 2015) og (Pettersen, 2015). Oppsummering av sikting er gjeve i Tabell I-2 og kornfordelingskurva er gjeve i Figur I-2.



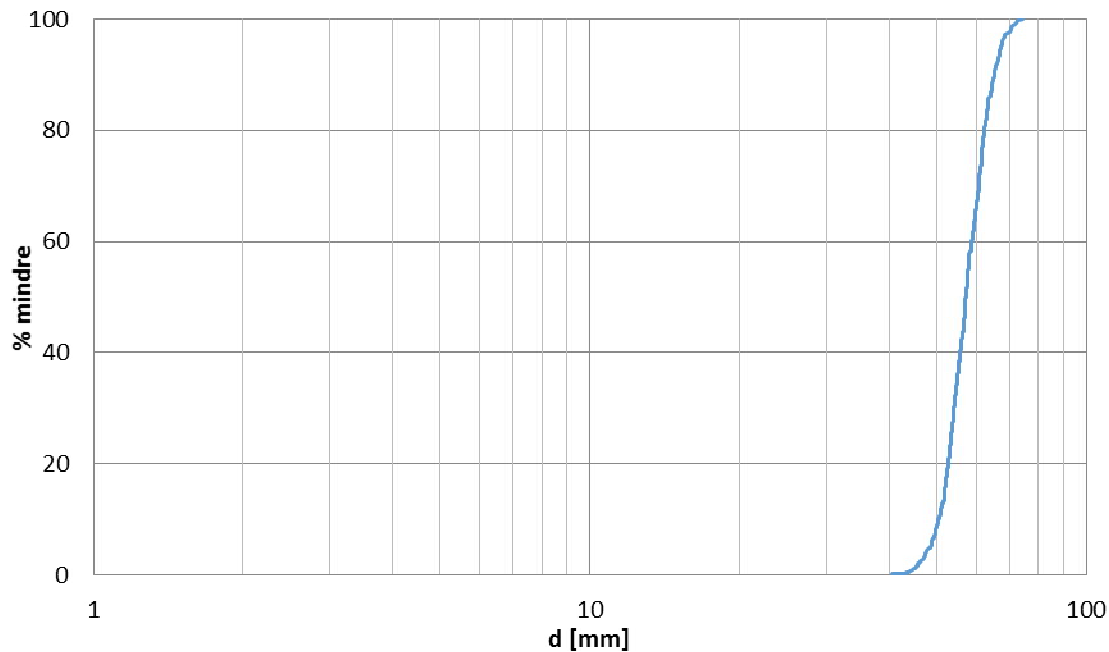
Figur I-2 Kornfordelingskurve, støttefylling

Tabell I-2 Støttefylling, sikteresultat

		masse [g]		
<b>Masse prøve før sikting</b>		<b>25702</b>		
	<b>d [mm]</b>	<b>sum delprøve 1 til 6</b>	<b>oppsummert nedenfra [kg]</b>	<b>% mindre</b>
63mm	63	0	25.644	100.00
31,50mm	31.5	2917	22.727	88.63
16mm	16	22585	0.142	0.55
8mm	8	53	0.089	0.35
Bunn		89		0.00
<b>Masse prøver etter sikting</b>		<b>25644</b>		
Siktetap [g]		58		
Siktetap [%]		0.23		
with linear interpolation	d50 [mm]	24.7		
	d10 [mm]	17.7		
	d60 [mm]	26.5		
	Cu=d60/d10	1.5		
	d5	16.8		



Plastringsstein er dei same som vart nytta i (Jakobsen, 2015) og (Pettersen, 2015). I samband med desse oppgåvene vart det målt og voge 50 stein, samt at volumet til 50 stein vart målt for å bestemme tyngdetettleiken  $\rho$  til plastringsstein. Kornfordelingskurva til plastringsstein er gjeve i Figur I-3 og oppsummering av måling og veging er gjeve i Tabell I-3 Plastringsstein, oppsummering mål og vekt.



Figur I-3 Kornfordelingskurve, plastringsstein

Tabell I-3 Plastringsstein, oppsummering mål og vekt

	a	b	c	d	masse	tyngdetettleik
	mm	mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>
Gjennomsnitt	91	53	38	56	204	2709
Standardavvik	8	8	7	6	60	36
min	69	30	22	41	68	2636
maks	115	86	63	74	466	2774
median	91	53	37	56	194	2707
	%	mm				
d10	10.0	50.4				
d60	59.9	58.8				
Cu=d60/d10		1.2				
d50	50.0	57.1				
dmin		40.5				
dmax		74.4				
dmax/dmin		1.8				

d5	5.1	48.6				
d95	95.0	67.2				
d95/d5		1.4				

Kronevern-stein vart tekne frå ein sekk med stein som låg på laboratoriet, det vart plukka tilstrekkeleg mange av dei største steinane. Desse vart vaska og fekk ein oransje dott med spraymaling på seg. Kronevernstein vart nytta under forsøk 9-12 for å leggje i den halvdelen av krona som er lengst oppstrøms for å tilnærme feltforsøk best mogleg. Nokre av kronevernsteinane vart målte for å finne tyngdetettleik  $\rho = 3000 \text{ kg/m}^3$ , som tyder at dei har litt større tyngdetettleik enn plastringssteinane.

Tabell I-4 Måle på nokre kronevernstein

	a	b	c	d	V	m	masstettleik	BLc=m/( $\rho$ abc)
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[g/cm <sup>3</sup> ]	%
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>109.1</b>	<b>70.0</b>	<b>45.1</b>	<b>69.3</b>	<b>156.3</b>	<b>468.8</b>	<b>3.0</b>	<b>0.5</b>
<b>std.avvik</b>	<b>16.5</b>	<b>16.0</b>	<b>6.9</b>	<b>6.1</b>	<b>28.2</b>	<b>76.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
	103	60	41	63	134	412	3.07	52.9 %
	100	64	50	68	157	489	3.11	49.1 %
	78	79	47	66	131	388	2.96	45.2 %
	105	59	36	61	116	353	3.04	52.0 %
	109	59	52	69	160	480	3.00	47.8 %
	136	62	56	78	156	480	3.08	33.0 %
	115	68	43	70	191	586	3.07	56.8 %
	127	109	36	79	205	562	2.74	41.1 %



## J. MATLAB

### MATLAB-kode for å evaluere laserscan frå modellforsøk

Tabell J-J-1 Matlabkode nytta for å lage 3D-bilete frå laserscan frå modellforsøk

```
%import data manually
%import for scan numer: 1
Data=importdata('151201_0922_scan.rec3d');
fname='151201_0922_scan';
%define moving speedof traverse: [m/second]
%moving_speed=11.3; %now testing 11.3 mm/s; it seems like the program uses mm and not m.
%measurement sampling frequency (lines per second)
%sample_f=100; %check frequency PHH: frequency 100 gives the mosts probable picture. Check
laser frequency.
%
% adjusted
%define moving speedof traverse: [m/second]
moving_speed=13.1; %11.3 mm/s it seems like the program uses mm and not m.
%measurement sampling frequency (lines per second)
sample_f=97.4; %check frequency PHH: found in the laser specifications
% x-coordinate of the downstram end (rist)
rist=1863; %33 mm extra correction due to some noise downstream of the end.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% prepare data
%choose colomns
A=[Data(:,1),Data(:,2),Data(:,7)];

%cut last dataset
NumberOfDataSets=size(A,1)/290;
RoundOff=floor(NumberOfDataSets);
A_cut=A(1:RoundOff*290,:);

%make array
k=1;
for i=1:290:size(A_cut,1)
Arrayi(:,k)=A_cut(i:i+289,:);
k=k+1;
end

%% extract x, y, z
%x coordinate over time (is is dependent on sampling frequency and moving speed of
measurement vehicle.)
number_of_samples=[1:size(Arrayi,3)];
%for m=1:290
%number_of_sampled_lines(m,:)=number_of_samples;
%end
%adapted for loop to have the last measured value as x=0
for m=1:290
number_of_sampled_lines(m,:)=number_of_samples-max(number_of_samples);
```

```

end
x=number_of_sampled_lines*(moving_speed/sample_f);

%y coordinate over time (is not constant because higher elevations are closer to the laser and
therefore points stand closer together!!!)
y=Arrayi(:,1,:);
y=permute(y,[1 3 2]); %rearrange dimensions so that dimensions 2 and 3 are switched

%elevation (z) over time
z=Arrayi(:,2,:);
z=permute(z,[1 3 2]); %rearrange dimensions so that dimensions 2 and 3 are switched
%invalid elevation data is marked as 0. To instead mark them as NaN:
z(z<0.1)=NaN;

%1/0 column over time (just for double checking that every line has 290 points)
OneZero=Arrayi(:,3,:);
OneZero=permute(OneZero,[1 3 2]); %rearrange dimensions so that dimensions 2 and 3 are
switched

%% cut where fist time all z values ~= NaN starting from highest
z1=isnan(z);
z2=sum(z1(:,:));

n=size(z);
n=n(2);
while z2(n)==290;
    n=n-1;
end
lz=n

%% plot

% % Watch measurement over time
% for n=1:size(z,2)
% plot(z(:,n));
% ylim([55 80])
% pause(0.01) %in seconds
%end

% surf(x,y,z1,'EdgeColor','none','LineStyle','none');
% view(2);
% axis equal;
%%
%correction of y to facilitate merging of different stripes
% y0=y./y;

%% set 0 to highest x and adjust to 1830
x_scan1=x(:,1:lz);
b=max(max(x_scan1))
x_scan1=x_scan1-b+rist;
%% plot
%adjust y to the coordinate system in the flume (0,0,0)is at the knekkpunkt

```

```

%along the wall. The middle of the laser beam is at y=485 mm, x=0mm
y_scan1=y(:,1:lz)+485;%+y0*100;
z_scan1=z(:,1:lz);
% surf(x_scan1,y_scan1,z_scan1,'EdgeColor','none','LineStyle','none');
% axis equal;
% view(2);
%% figure naming
% create the figure name
%[pathstr, name,ext]=fileparts(fname);
filename = fname;
%% plot with adjusted axis

% Auto-generated by MATLAB on 18-May-2015 15:49:28

% Create figure
figure1 = figure('Color',[1 1 1]);

% Create axes
axes1 = axes('Parent',figure1,...
    'XTick',[-600 -400 -200 0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800],...
    'PlotBoxAspectRatio',[30.7677237786783 1 1.50515076812564],...
    'DataAspectRatio',[1 1 1]);
%% Uncomment the following line to preserve the X-limits of the axes
xlim(axes1,[-650 1850]);
box(axes1,'on');
grid(axes1,'on');
hold(axes1,'on');

% Create surf
surf(x_scan1,y_scan1,z_scan1,'Parent',axes1,'LineStyle','none',...
    'EdgeColor','none');

% Create xlabel
xlabel('x-cooridnate [mm]');

% Create ylabel
ylabel({'y-coordinate [mm]'});

% Create title
title(fname, 'interpreter','none');

% Create colorbar
colorbar('peer',axes1);

%% save figure
%as matlab figure
% savefig(filename);
% as png picture
%make string of fname
print(fname,'-dpng','-r300');
%
%save matlabfigure

```

```
%savefig(fname);
```

```
clearvars -except VarName1 VarName2 VarName3 VarName4 VarName5 VarName6 VarName7  
x_scan1 y_scan1 z_scan1 OneZero moving_speed sample_f Scan1 x y z n fname
```

## MATLAB-kode for å evaluere hastigheitsmålinger

### Tabell J-2 MATLABkode nytta for å evaluere hastigheitsmålinger

```
%% Import data from text file.  
% Script for importing data from the following text file:  
%  
% C:\Users\priskahe\Documents\MATLAB\U2355A_Continuous_2015327_18150169.csv  
%  
% To extend the code to different selected data or a different text file,  
% generate a function instead of a script.  
  
% Auto-generated by MATLAB on 2015/04/08 13:55:12  
  
%% Initialize variables.  
%filename =  
'C:\Users\priskahe\Documents\MATLAB\U2355A_Continuous_2015414_165131356.csv';  
filename =  
'C:\Users\priskahe\Documents\MATLAB\U2355A_Continuous_2015415_11457193.csv';  
delimiter = ',';  
startRow = 33;  
  
%% Format string for each line of text:  
% column1: double (%f)  
% column2: double (%f)  
% column3: double (%f)  
% column4: double (%f)  
% column5: double (%f)  
% column6: double (%f)  
% column7: double (%f)  
% For more information, see the TEXTSCAN documentation.  
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';  
  
%% Open the text file.  
fileID = fopen(filename,'r');  
  
%% Read columns of data according to format string.  
% This call is based on the structure of the file used to generate this  
% code. If an error occurs for a different file, try regenerating the code  
% from the Import Tool.  
textscan(fileID, '%[\n\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);  
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue', NaN, 'ReturnOnError',  
false);  
  
%% Close the text file.  
fclose(fileID);
```

```

%% Post processing for unimportable data.
% No unimportable data rules were applied during the import, so no post
% processing code is included. To generate code which works for
% unimportable data, select unimportable cells in a file and regenerate the
% script.

%% Create output variable
data = [dataArray{1:end-1}];
save ('data');
%% Clear temporary variables
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
%% Clear all figures
clf;
%%
%enter measuring frequency which was used in Agilent
frequency = 100; %measuring frequency in [Hz]
%%
%data arrays for from the salt probes
s200=data(:,5);
s600=(data(:,6));
s1000=(data(:,7));
s1400=(data(:,8));
%%
%absolute peake before smoothing
%find the maximum
[M200,I200]=max(s200);
[M600,I600]=max(s600);
[M1000,I1000]=max(s1000);
[M1400,I1400]=max(s1400);
%tpeak
tpeak=[I200;I600;I1000;I1400]/frequency;
ypeak=[M200;M600;M1000;M1400];
%most intensive velocities
v12int=0.4/((I600-I200)/frequency);
v23int=0.4/((I1000-I600)/frequency);
v34int=0.4/((I1400-I1000)/frequency);
v13int=0.8/((I1000-I200)/frequency);
v24int=0.8/((I1400-I600)/frequency);
v14int=1.2/((I1400-I200)/frequency);
vpeak=[v12int; v23int; v34int; v13int; v24int; v14int];
%% %%%
%plot of raw data
figure (1)%
subplot(2,2,1)
plot(s200,'-r');
hold all;
plot(s600,'--g');
plot(s1000,':b');
plot(s1400,'-.m');
xlabel('Timestep [-]')
ylabel('Voltage [V]')

```

```

%plot(data(:,1),data(:,4:7))
title('Raw data');
%extract t in [s]
t=data(:,1)/frequency;
smoothvalue=100;%enter the amount of values you like to movingaverage over
%smooth data first
sm200=smooth(s200,smoothvalue, 'moving');
sm600=smooth(s600,smoothvalue, 'moving');
sm1000=smooth(s1000,smoothvalue, 'moving');
sm1400=smooth(s1400,smoothvalue, 'moving');
%plot(data(:,1),data(:,4));hold all; plot(data(:,1),sm200);hold off;
figure(1);
subplot(2,2,2);
plot(sm200,'-r');hold all;
plot(sm600,'-g');
plot(sm1000,'b');
plot(sm1400,'-m');
hold off;
title ('Smoothed');
xlabel('Timestep [-]');
ylabel('Voltage [V]');
%%
%find the maximum
[M200,I200]=max(sm200);
[M600,I600]=max(sm600);
[M1000,I1000]=max(sm1000);
[M1400,I1400]=max(sm1400);
%tpeak
tint=[I200;I600;I1000;I1400]/frequency;
yint=[M200;M600;M1000;M1400];
%most intensive velocities
v12int=0.4/((I600-I200)/frequency);
v23int=0.4/((I1000-I600)/frequency);
v34int=0.4/((I1400-I1000)/frequency);
v13int=0.8/((I1000-I200)/frequency);
v24int=0.8/((I1400-I600)/frequency);
v14int=1.2/((I1400-I200)/frequency);
vint=[v12int; v23int; v34int; v13int; v24int; v14int];
%% Clear temporary variables
%clearvars M200 I200 M600 I600 M1000 I1000 M1400 I1400 v12int v23int v34int v13int v24int
v14int;
%%
%calculation for 200
%find start point for passing salt
diffsm200=diff(sm200);
%plot(diffsm200);
n=I200;
delta=1;
while delta>0
    sm200start=n;
    delta=sm200(n)-sm200(n-1);
    n=n-1;

```

```

end
sm200startvalue=sm200(sm200start);
%find end point for passing salt
n=l200;
while sm200(n)> sm200startvalue;
    sm200stop=n;
    n=n+1;
end
sm200stopvalue=sm200(sm200stop);
%figure(2);
%plot(sm200);
%hold all;
%plot(sm200start,sm200startvalue,'*');
%plot(sm200stop,sm200stopvalue,'*');
%hold off;
%curve minus offset
offset200=ones(size(sm200)).*sm200startvalue;
smo200=sm200-offset200;
%calculation schwerpunkt
x200=sm200start:sm200stop;
x200=x200.';
y200=smo200(sm200start:sm200stop);
A200=trapz(y200);
xs200=1/A200*trapz(x200.*y200);
ys200=1/2/A200*trapz(y200.^2);
%figure(3);
%plot(x200,y200);
%hold all;
%plot(xs200,ys200,'*');
%hold off;
%%
%calculation for 600
%find start point for passing salt
diffsm600=diff(sm600);
%plot(diffsm600);
n=l600;
delta=1;
while delta>0
    sm600start=n;
    delta=sm600(n)-sm600(n-1);
    n=n-1;
end
sm600startvalue=sm600(sm600start);
%find end point for passing salt
n=l600;
while sm600(n)> sm600startvalue;
    sm600stop=n;
    n=n+1;
end
sm600stopvalue=sm600(sm600stop);
%figure(2);
%plot(sm600);

```



```

%hold all;
%plot(sm600start,sm600startvalue,'*');
%plot(sm600stop,sm600stopvalue,'*');
%hold off;
%curve minus offset
offset600=ones(size(sm600)).*sm600startvalue;
smo600=sm600-offset600;
%itegral under the peak
%calculation schwerpunkt
x600=sm600start:sm600stop;
x600=x600.';
y600=smo600(sm600start:sm600stop);
A600=trapz(y600);
xs600=1/A600*trapz(x600.*y600);
ys600=1/2/A600*trapz(y600.^2);
%figure(3);
%plot(x600,y600);
%hold all;
%plot(xs600,ys600,'*');
%hold off;
%%
%calculation for 1000
%find start point for passing salt
diffsm1000=diff(sm1000);
%plot(diffsm1000);
n=l1000;
delta=1;
while delta>0
    sm1000start=n;
    delta=sm1000(n)-sm1000(n-1);
    n=n-1;
end
sm1000startvalue=sm1000(sm1000start);
%find end point for passing salt
n=l1000;
while sm1000(n)> sm1000startvalue;
    sm1000stop=n;
    n=n+1;
end
sm1000stopvalue=sm1000(sm1000stop);
%figure(2);
%plot(sm1000);
%hold all;
%plot(sm1000start,sm1000startvalue,'*');
%plot(sm1000stop,sm1000stopvalue,'*');
%hold off;
%curve minus offset
offset1000=ones(size(sm1000)).*sm1000startvalue;
smo1000=sm1000-offset1000;
%itegral under the peak
%calculation schwerpunkt
x1000=sm1000start:sm1000stop;

```

```

x1000=x1000. ';
y1000=smo1000(sm1000start:sm1000stop);
A1000=trapz(y1000);
xs1000=1/A1000*trapz(x1000.*y1000);
ys1000=1/2/A1000*trapz(y1000.^2);
%figure(3);
%plot(x1000,y1000);
%hold all;
%plot(xs1000,ys1000,'*');
%hold off;
%%
%calculation for 1400
%find start point for passing salt
diffsm1400=diff(sm1400);
%plot(diffsm1400);
n=l1400;
delta=1;
while delta>0
    sm1400start=n;
    delta=sm1400(n)-sm1400(n-1);
    n=n-1;
end
sm1400startvalue=sm1400(sm1400start);
%find end point for passing salt
n=l1400;
while sm1400(n)> sm1400startvalue;
    sm1400stop=n;
    n=n+1;
end
sm1400stopvalue=sm1400(sm1400stop);
%figure(2);
%plot(sm1400);
%hold all;
%plot(sm1400start,sm1400startvalue,'*');
%plot(sm1400stop,sm1400stopvalue,'*');
%hold off;
%curve minus offset
offset1400=ones(size(sm1400)).*sm1400startvalue;
smo1400=sm1400-offset1400;
%itegral under the peak
%calculation schwerpunkt
x1400=sm1400start:sm1400stop;
x1400=x1400. ';
y1400=smo1400(sm1400start:sm1400stop);
A1400=trapz(y1400);
xs1400=1/A1400*trapz(x1400.*y1400);
ys1400=1/2/A1400*trapz(y1400.^2);
%figure(3);
%plot(x1400,y1400);
%hold all;
%plot(xs1400,ys1400,'*');
%hold off;

```

```

%%
%plot all the balance points and integrated curves
figure(1);
subplot(2,2,3);
plot(x200,y200,'-r');
hold all;
plot(x600,y600,'--g');
plot(x1000,y1000,':b');
plot(x1400,y1400,'-.m');
plot(xs200,ys200,'+r');
plot(xs600,ys600,'*g');
plot(xs1000,ys1000,'xb');
plot(xs1400,ys1400,'sm');
hold off;
title('Balance points');
xlabel('Timestep [-]');
ylabel('Voltage - offset Voltage [V]');
%%
%translation velocities
v12t=0.4/((xs600-xs200)/frequency);
v23t=0.4/((xs1000-xs600)/frequency);
v34t=0.4/((xs1400-xs1000)/frequency);
v13t=0.8/((xs1000-xs200)/frequency);
v24t=0.8/((xs1400-xs600)/frequency);
v14t=1.2/((xs1400-xs200)/frequency);
vt=[v12t; v23t; v34t; v13t; v24t; v14t];
%%
%maximum velocities
v12max=0.4/((sm600start-sm200start)/frequency);
v23max=0.4/((sm1000start-sm600start)/frequency);
v34max=0.4/((sm1400start-sm1000start)/frequency);
v13max=0.8/((sm1000start-sm200start)/frequency);
v24max=0.8/((sm1400start-sm600start)/frequency);
v14max=1.2/((sm1400start-sm200start)/frequency);
vmax=[v12max; v23max; v34max; v13max; v24max; v14max];
vmax;
vint;
vpeak;
vt;
%%
%writing results in a table
ProbeName={'200';'600';'1000';'1400'};
tstart=[sm200start; sm600start; sm1000start; sm1400start]/frequency;
tstop=[sm200stop; sm600stop; sm1000stop; sm1400stop]/frequency;
startvalue=[sm200startvalue; sm600startvalue; sm1000startvalue; sm1400startvalue];
ts=[xs200; xs600; xs1000; xs1400]/frequency;
ys=[ys200; ys600; ys1000; ys1400];
Tvalues=table(tpeak,ypeak,tint,yint,tstart,tstop,startvalue,ts,ys,'RowNames',ProbeName)
VelocityName={'v12';'v23';'v34';'v13';'v24';'v14'};
Tvelocities=table(vpeak, vint, vmax, vt,'RowNames',VelocityName)
Tval=[tpeak,ypeak,tint,yint,tstart,tstop,startvalue,ts,ys]
Tvel=[vpeak, vint, vmax, vt];

```

```

%%
%insert data table with the time values in the figure
f = figure(1);
%subplot(2,2,4);
% create the data
%d = Tval;

% Create the column and row names in cell arrays
cnames = {'tpeak', 'ypeak', 'tint', 'yint', 'tstart', 'tstop', 'startvalue', 'ts', 'ys'};
rnames = {'200', '600', '1000', '1400'};

% Create the uitable
t = uitable(f,...
    'Position', [700 300 0.755 0.87],...
    'Data', Tval,...
    'ColumnName', cnames,...
    'RowName', rnames);

% Set width and height
t.Position(3) = t.Extent(3);
t.Position(4) = t.Extent(4);
%%
%%insert data table with the velocity values in the figure
f = figure(1);
%subplot(2,2,4);
% create the data
%d = Tvel;

% Create the column and row names in cell arrays
cnames = {'vpeak', 'vint', 'vmax', 'vt'};
rnames = {'v12', 'v23', 'v34', 'v13', 'v24', 'v14'};

% Create the uitable
t = uitable(f,...
    'Position', [800 100 0.755 0.87],...
    'Data', Tvel,...
    'ColumnName', cnames,...
    'RowName', rnames);

% Set width and height
t.Position(3) = t.Extent(3);
t.Position(4) = t.Extent(4);

```

## K. Elektroniske vedlegg, innholdsliste

Elektroniske vedlegg er tilgjengelege ved Institutt for Vann og Miljøteknikk ved NTNU.

- 1) Feltforsøk
  - a) Feltforsok\_Diver
    - i) Kompensert/Ukompensert data henta ut etter forsøksdag. Diverer under dammen er hentet ut til slutt og måler for alle forsøksdager.
    - ii) Logg diver
  - b) Feltforsøk1
    - i) Laserscan
    - ii) Microsonic
    - iii) Streampro
    - iv) WL16
  - c) Feltforsøk2
    - i) Laserscan
    - ii) Microsonic
    - iii) Streampro
    - iv) WL16
  - d) Feltforsøk3
    - i) Laserscan
    - ii) Microsonic
    - iii) Streampro
    - iv) WL16
- 2) Modellforsøk
  - a) Modellforsok\_Diver
    - i) Diverdata hente ut i etterkant av forsok 9-12 (ingen installerte under forsøk8)
  - b) Modellforsok\_Agilent
    - i) Agilentmålingar for kvart forsøk, fordelte på forsøksdag
- 3) Video
  - a) Ei mappe for kvart forsøk. Første stein og brot filma frå ulike vinklar.