

Plastring av fyllingsdammer

forskyving i plastring og anvendelse av
Smartstone sensorer

Jens Jakobsen

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Jochen Aberle, IVM

Medveileder: Priska Helene Hiller, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vann- og miljøteknikk



MASTEROPPGAVE

Student: Jens Jakobsen

Tittel: Plastring av fyllingsdammer – forskyving i plastring og anvendelse av Smartstone sensorer

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.

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 2014. 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 å dokumentere forskyving plastring under hydraulisk belastning. Det er viktig for å anslå om forskyving kan være avgjørende for selve stabiliteten av plastringen. Det er interessant å se både hvor og når forskyvingen oppstår. I tillegg skal Smartstones, en nylig utviklet sensor, testes. Oppgaven løses ved hjelp av fysiske modellforsøk.

Oppgaven skal omfatte følgende hovedpunkter:

1. Litteraturstudie om plastring i både norsk og internasjonal litteratur.
2. Planlegging og utførelse av innledende forsøk om hvordan Smartstones fungerer i plastring.
3. Utarbeidelse av en hypotese om hvor og når det forventes at forskyvning i plastring oppstår.
4. Planlegging av en forsøksplan for fysiske modellforsøk for å teste hypotesen.
5. Bidra i forberedelsene av modellforsøk og utføre de.
6. Dokumentere målingene og tolke resultatene.
7. Sammenlign resultatene med tidligere utførte forsøk og litteraturen.
8. Diskutere resultatene kritisk.
9. Rapportering.

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

3 RETTLEDNING, DATA OG INFORMASJON

Professor Jochen Aberle 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.

Masteroppgaven skal ikke leveres senere enn onsdag **10. juni 2015**.

Trondheim, 7. januar 2015

Prof. Jochen Aberle

ABSTRACT

In this study laboratory experiments on the downstream slope protection to embankment dams have been executed. Today the downstream slope protection is constructed as placed riprap, to increase the stability. This means that the stones are placed one by one, in an interlocking pattern and have good contact with the neighbor stones. Earlier, the downstream slope protection was conducted as riprap were the stones where randomly dumped.

The main purpose in this study has been to examine the displacements that occurs in placed riprap exposed for hydraulic impact, and how this is affecting the stability of the riprap. The plan was to use Smartstones to measure the displacements. A Smartstone is a newly developed device that can measure the movement in the riprap, by placing a sensor inside of the riprap stone. The Smartstones were tested out, but it turned out that it needs some modifications before it can be used properly. Instead the displacements were registered in a more conventional way.

The tests were conducted in a flume that was 25 meters long, 1 meter wide and 2 meters high. A model made out of steel was placed inside of the flume. This model was supposed to reflect the downstream side and the top of an embankment dam. On this model the downstream slope protection was built. The model had a slope (S) on 1:1,5, and was waterproof, so all the water went over the riprap and not through it. The stones used in the downstream slope protection had a median size (D_{50}) of 57 mm and a coefficient of uniformity (C_u) of 1,16. In total, 6 tests were conducted. 4 tests were built with placed riprap, 1 test was built with randomly placed riprap and one test were built as placed riprap, but without an interlocking pattern.

The results showed that the tests that were built with placed riprap had a strength 10 – 20 times higher than the test that was built with randomly placed riprap.

For the tests that were built as placed riprap, the riprap opened up in the transition between the downstream slope and the top of the dam. The reason for this was that the displacement in the riprap in the slope was bigger than the displacement in the riprap on the top of the dam. The opening in the riprap turned out to be critical for the stability of the riprap protection, because every breach started off in this opening. 3 out the 4 tests that were built as placed riprap, breached when the rocks in the top of the downstream slope protection had a displacement of about 6 %, relative to the length of the whole downstream slope protection. This indicate that this is a critical limit.

SAMMENDRAG

I denne oppgaven er det gjennomført modellforsøk på nedstrøms skråningsvern på fyllingsdammer. Nedstrøms skråningsvern blir i dag utført som plastring, det vil si at en og en stein plasseres på en slik måte at de ligger stabilt og med innbyrdes god kontakt, for å øke stabiliteten. Tidligere ble nedstrøms skråningsvern utført som rauset steinsikring, det vil si at steinene ble dumpet på plass og stabiliserte seg ved hjelp av tyngdekraften.

Hovedformålet har vært å undersøke forskyvningene som oppstår i plastret steinsikring under hydraulisk belastning, og hva slags påvirkning dette har for stabiliteten til plastringen. Til å måle forskyvningene var det i utgangspunktet planlagt å anvende Smartstones, en nyutviklet innretning som kan måle bevegelsen til plastring ved å plassere en sensor inne i plastringssteinen. Smartstones ble testet ut og brukt under samtlige forsøk, men det viste seg at den trenger enkelte modifikasjoner for å kunne fungere optimalt. Heldigvis ble bevegelsene også registrert med en enklere og mer tradisjonell målemetode og resultatene for forskyvning har basert seg på denne metoden.

Forsøkene ble gjennomført i en renne som var 25 meter lang, 1 meter bred og 2 meter høy. I renna var det plassert en modell laget av stål, som skulle gjenspeile nedstrøms side og krona til en fyllingsdam. På denne modellen ble skråningsvernet bygget opp. Modellen hadde skråningshelning (S) på 1:1,5 og var vanntett slik at alt vannet rant over skråningsvernet og ikke igjennom. Plastringssteinene som ble brukt hadde en median steinstørrelse (D_{50}) på 57 mm og et korngredningstall (C_u) på 1,16. Det ble totalt gjennomført 6 modellforsøk, der fire av disse ble gjennomført med plastret steinsikring lagt i forband. Ett forsøk ble gjennomført med rauset steinsikring og ett forsøk ble gjennomført som plastret steinsikring uten forband.

Resultatene viste at bruddvannføringen til de fire forsøkene som ble utført som plastret steinsikring lå 10 – 20 ganger høyere enn bruddvannføringen til det ene forsøket som ble utført som rauset steinsikring.

For de forsøkene som var utført som plastring lagt i forband åpnet nærmest plastringen seg opp i overgangen mellom skråningsvernet og kronevernet (knekningspunktet) ved hydraulisk belastning, og dette førte til at skråningsvernet og kronevernet ble to separate deler. Dette var fordi forskyvningene i skråningsvernet var større enn forskyvningene i kronevernet. Denne åpningen i plastringen viste seg å være kritisk med tanke på brudd, da bruddet alltid startet i knekningspunktet. 3 av de 4 forsøkene som var utført som plastret steinsikring lagt i forband, gikk til globalt brudd når plastringssteinene øverst i skråningsvernet hadde forskjøvet seg ca. 6 prosent, relativt til lengden av hele skråningsvernet, noe som indikerer at dette er en kritisk grense. Forskyvningene forsøkene hadde når de gikk til brudd var uavhengig bruddvannføringen.

FORORD

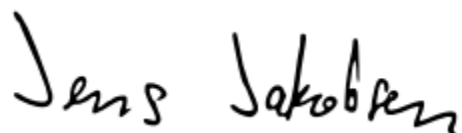
Denne masteroppgaven er avsluttende del av det 5-årige bygg- og miljøteknikk studiet ved Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet. Oppgaven er gjennomført ved institutt for vann- og miljøteknikk våren 2015, og omfatter 30 studiepoeng. Masteroppgaven er en videreføring fra prosjektoppgaven som jeg skrev høsten 2014, der Smartstones ble testet ut.

Jeg ønsker å takke Jochen Aberle som har vært hovedveileder og har kommet med mange gode og konkrete råd underveis. En spesiell takk går til medveileder Priska Helene Hiller, som har vært til veldig stor hjelp under hele perioden.

Modellforsøkene som ble gjennomført i forbindelse med denne oppgaven har blitt gjort i samarbeid med medveileder Priska Helene Hiller, og medstudent Eirik Helgetun Pettersen. Jeg ønsker derfor å takke de for det gode samarbeidet. Under planleggingen og oppbyggingen av modellen som har blitt benyttet, har Geir Tesaker vært en sentral person og en stor takk rettes til han.

Trondheim, 10. juni 2015

Jens Jakobsen



Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
2	Teori.....	3
2.1	Krefter på stein ved hydraulisk belastning	3
2.2	Steinens form og egenskaper	5
2.3	Litteratur	5
2.4	Dagens gjeldende regelverk.....	10
3	Metode	13
3.1	Laborarieteknikk.....	13
3.2	Modellen.....	13
3.3	Målemetoder og registrering av data	16
3.3.1	Vannføring og vanddybde	16
3.3.2	Hastighetsmåling	16
3.3.3	Måling av bevegelse til plastringssteinene	17
3.4	Materialer.....	21
3.5	Gjennomføring/forberedelse av forsøk.....	24
3.5.1	Steinsikrings-teknikker.....	25
3.5.2	Utlegging av filtermateriale	29
3.5.3	Vannføringsmønster	29
4	Resultater	31
4.1	Bruddvannføringer.....	31
4.2	Forskyvninger	32
4.2.1	Forskyvninger i x-retning.....	34
4.2.2	Forskyvninger i z-retning	37
4.3	Hastighetsmålinger	40
4.4	Smartstones.....	40
5	Diskusjon	41
5.1	Bruddvannføringer.....	41
5.2	Forskyvninger	43
5.2.1	Forskyvninger i x-retning.....	43
5.2.2	Forskyvninger i z-retning	45
5.3	Smartstones.....	46
5.4	Feilkilder.....	47

6	Konklusjon og videre arbeid	49
7	Referanser.....	51
	Vedlegg	53

FIGURER

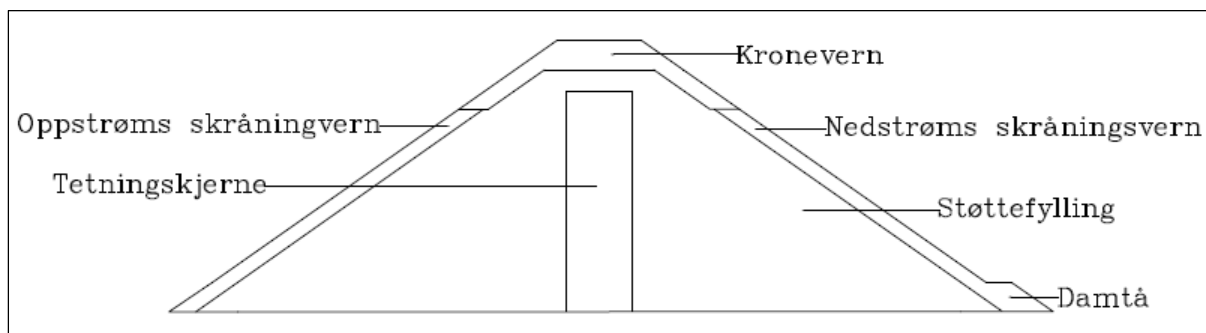
Figur 1: Prinsippskisse over fyllingsdam med skråningsvern.....	1
Figur 2: Krefter som virker på en stein ved overtoppende vannstrømning (NVE, 2009).....	3
Figur 3: Kraftene som virker på en plastringsstein ved overtoppende strømning.....	4
Figur 4: Akser til plastringsstein (Langaker, 2013)	5
Figur 5: Mulige bruddmekanismer for erosjonssikring (Siebel, 2007).....	6
Figur 6: Forskyvninger på plastringsstein pga. hydraulisk belastning (Rør, 2014).	10
Figur 7: Prinsippskisse over renna som ble brukt.	14
Figur 8: Vertikalsnitt av modellen som ble brukt.	15
Figur 9: Resultat fra hastighetsmåling (forsøk 1, vannføring: 11,5 l/s/m).....	17
Figur 10: Oversikt over plastringen og de merkede steinene (MS) som ble brukt til punktinnmåling. Fra forsøk 2.	18
Figur 11: Smartstone sylindren.	20
Figur 12: Kornfordelingskurve for filtermaterialet og plastringssteinen.	22
Figur 13: Boksplokk over aksene til plastringssteinene.....	23
Figur 14: Fordelingen til de forskjellige aksene til plastringssteinene.....	23
Figur 15: Plastring med forband.....	26
Figur 16: Plastringssteiner lagt med 60 graders helning forhold til skråplanet	26
Figur 17: Plastret steinsikring uten forband. Fra forsøk nr.5.	27
Figur 18: Rausa steinsikring. Fra forsøk 4.	28
Figur 19: Vannførings- og vannstandscurve fra forsøk 2.	29
Figur 20: Forskyvningene til MS200 under forsøk 1.....	33
Figur 21: Krona til plastringen etter en hydraulisk belastning, sett oven ifra (forsøk 3).	34
Figur 22: Plastringen etter en hydraulisk belastning, sett fra siden (forsøk 3).....	35
Figur 23: Relative x-forskyvninger i forhold til $L_{skrå}$. Fra forsøk 1	36
Figur 24: Relative x-forskyvninger i forhold til $L_{skrå}$. Fra forsøk 2.	36
Figur 25: Oversikt over siste innmålte x-forskyvninger før plastringen gikk til brudd for forsøk 1, 2, 3 og 6. Forskyvningene er relative i forhold til $L_{skrå}$. 6.....	37
Figur 26: Relative z-forskyvninger i forhold til D_{50} til akse d. Fra forsøk 1	37
Figur 27: Relative z-forskyvninger i forhold til D_{50} til akse d. Fra forsøk 2.	38
Figur 28: Oversikt over siste innmålte z-forskyvninger før plastringen gikk til brudd, for forsøk 1, 2, 3 og 6. Forskyvningene er relative i forhold til D_{50} til akse d.....	39
Figur 29: Plastringsstein på vei ut av plastringen. Fra forsøk 6.....	39
Figur 30: Data fra akselerometeret til Smartstone.....	40
Figur 31: Oversikt over siste innmålte x-forskyvninger før plastringen gikk til globalt brudd, for forsøk 1, 2, 3 og 6. Forskyvningene er relative i forhold $L_{skrå} - x$	44

TABELLER

Tabell 1: Oversikt over forsøkene som ble gjennomført i forbindelse med denne oppgaven .	24
Tabell 2: Oversikt over bruddvannføring og antall plastringssteiner som ble revet løs fra plastringen før globalt brudd inntraff.	31
Tabell 3: Vannføringshistorikk for de forskjellige forsøkene..	32
Tabell 4: Oversikt over siste innmålte forskyvningene før brudd.....	34
Tabell 5: Oversikt over beregningsmetoder for dimensjonerende steinstørrelse. Tabellen viser den kritiske enhetsvannføringen som de forskjellige beregningsmetodene gir for forsøkene utført i forbindelse med denne rapporten.	42
Tabell 6: Input som ble brukt i de forskjellige beregningsmetodene, for å beregne kritisk enhetsvannføring for forsøkene utført i forbindelse med denne rapporten.	43

1 INNLEDNING

Betegnelsen fyllingsdam brukes på dammer som hovedsakelig består av oppfylte og komprimerte materialer av jord, grus eller stein. Består dammen av mer enn 50 prosent sprengstein betegnes den som en steinfyllingsdam. Består dammen av 50 prosent eller mer leire, silt eller grus betegnes den som en jordfyllings- eller grusfyllingsdam (NVE, 2012). De fleste store fyllingsdammene (> 15 meter) ble bygget i perioden 1960-1990, der majoriteten av disse dammene ble bygget som steinfyllingsdammer med sentral tetningskjerne av morene (Kjærnsli et al., 1992). Disse dammene er bygget opp med forskjellige lag. Utenpå tetningskjernen som har til oppgave å hindra vann i å sige igjennom, ligger det en støttefylling av stein. Den har en stabiliserende oppgave og skal sørge for at dammen ikke gir etter for det hydrostatiske trykket den blir utsatt for. Som regel bygges det inn en overgangssone med filter mellom tetningskjernen og støttefyllingen, slik at tetningskjernen skal holde seg på plass. Det ytterste laget er bygget opp med grov stein og fungerer som erosjonsbeskyttelse. Dette blir omtalt som skråningsvernet og kronevernet til dammen. I bunn på nedstrøms side befinner damtåa seg som skal sørge for ekstra sikkerhet mot utglidning. For steinfyllingsdammer med morenetetning bør ikke skråningshelningen overstige 1:1,5 (66,7 %). Dette kommer av hensyn til geoteknisk stabilitet og moderate setninger (NVE, 2012). Figur 1 viser en prinsippskisse over en steinfyllingsdam med sentral tetningskjerne av morene



Figur 1: Prinsippskisse over fyllingsdam med skråningsvern

Ved overtopping av fyllingsdammer kan nedstrøms side bli utsatt for store hydrauliske påkjenninger. Dette skal i utgangspunktet ikke skje, men ved tilstopping av flomløp eller flommer langt større enn hva dammen er dimensjonert for, er dette et scenario som kan inntreffe. Klimaendringer introduserer også flere uforutsigbare flommer og bidrar til å øke sannsynligheten for overtopping av fyllingsdammer (Lia et al., 2013).

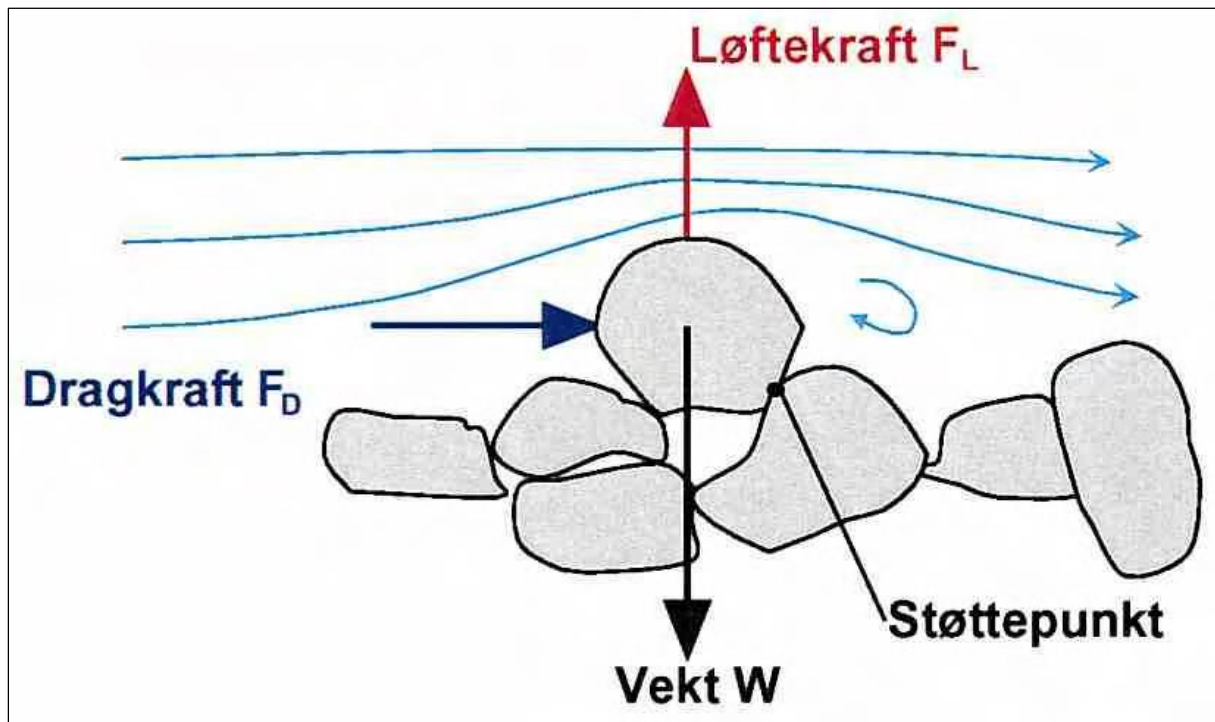
For å øke stabiliteten til nedstrøms skråningsvern blir det i dag utført som plastring, det vil si at en og en stein plasseres på en slik måte at de ligger stabilt og med innbyrdes god kontakt (NVE, 2012). Tidligere har skråningsvernet blitt utført som rauset steinsikring der steinene har blitt dumpet på plass og dermed fått en tilfeldig plassering. Det er utført få studier på plastringsteknikk og det finnes lite kunnskap på området. Derfor har det blitt satt i gang flere prosjekter de siste årene for å øke kompetansen rundt plastring. Blant annet har det blitt gjennomført flere masteroppgaver på feltet de tre siste årene. I tillegg startet det i 2013 opp et doktorgradsstudium om temaet. Modellforsøkene som har blitt gjennomført i denne oppgaven skjer i sammenheng med dette studiet.

Hovedformålet til denne oppgaven har vært å undersøke forskyvningene som oppstår i plastret steinsikring under hydraulisk belastning, og hva slags påvirkning dette har for stabiliteten til plastringen. Dette har blitt gjort ved hjelp av modellforsøk i laboratoriet. Til å måle forskyvningene var det i utgangspunktet planlagt å anvende Smartstones (se kapittel 3.3.3), en nyutviklet innretning som kan måle bevegelsen til plastringen ved å plassere en sensor inne i plastringssteinen. Smartstones ble testet ut og brukt under samtlige forsøk, men det viste seg at de trenger enkelte modifikasjoner for å kunne fungere optimalt. Heldigvis ble bevegelsene også registrert med en enklere og mer tradisjonell målemetode og resultatene i denne rapporten baserer seg hovedsakelig på data fra denne målemetoden.

2 TEORI

2.1 KREFTER PÅ STEIN VED HYDRAULISK BELASTNING

Kapittel 2.1 går igjennom de drivende og de stabiliserende kreftene som virker på stein i strømmende vann. Kraftene fra vannet vil virke drivende og forsøke å flytte på steinen, mens steinens vekt, friksjon mot underlaget og friksjon mot omkringliggende steiner virker stabiliserende og bidrar til at steinen ikke beveger seg (NVE, 2009).



Figur 2: *Krefter som virker på en stein ved overtoppende vannstrømning (NVE, 2009)*

Det strømmende vannet påvirker stabiliteten til steinen på flere måter; det gir steinen oppdrift, det gir dragkraft parallelt med strømretningen og det gir en løftekraft på tvers av strømretningen (figur 2). Disse kreftene er beskrevet under:

Løftekraft

Når vannet strømmer over steinen, vil hastigheten øke og trykke reduseres. Dette fører til at steinen blir utsatt for en løftekraft. Løftekraften kan beregnes fra følgende uttrykk:

$$F_L = C_L \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad [1]$$

Der F_L = løftekraft (N); C_L = løftekoeffisient (-); A = areal langsmed strømningsretning (m^2); ρ = vannets tetthet (kg/m^3); og v = vannets hastighet (m/s).

Dragkraft

Når vannet «krasjer» i steinens front, bremses vannet opp og trykket øker. På lesiden av steinen oppstår det et sug, og til sammen fører dette til en dragkraft i strømningsretningen. Dragkraft kan beregnes fra følgende uttrykk:

$$F_D = C_D \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad [2]$$

Der F_D = dragkraft (N); C_D = dragkoeffisient; A = areal normalt på strømningsretningen (m^2); ρ = vannets tetthet (kg/m^3); og v = representativ hastighet (m/s). Den representative hastigheten, v , er den uforstyrrede vannhastigheten like oppstrøms for steinen. Løft- og dragkoeffisientene finnes i diverse håndbøker og er avhengig av steinens geometri. På generelt grunnlag kan det sies at glatte og avrundete steiner har lavere dragkoeffisient enn hva kantete steiner har.

Stabiliserende krefter

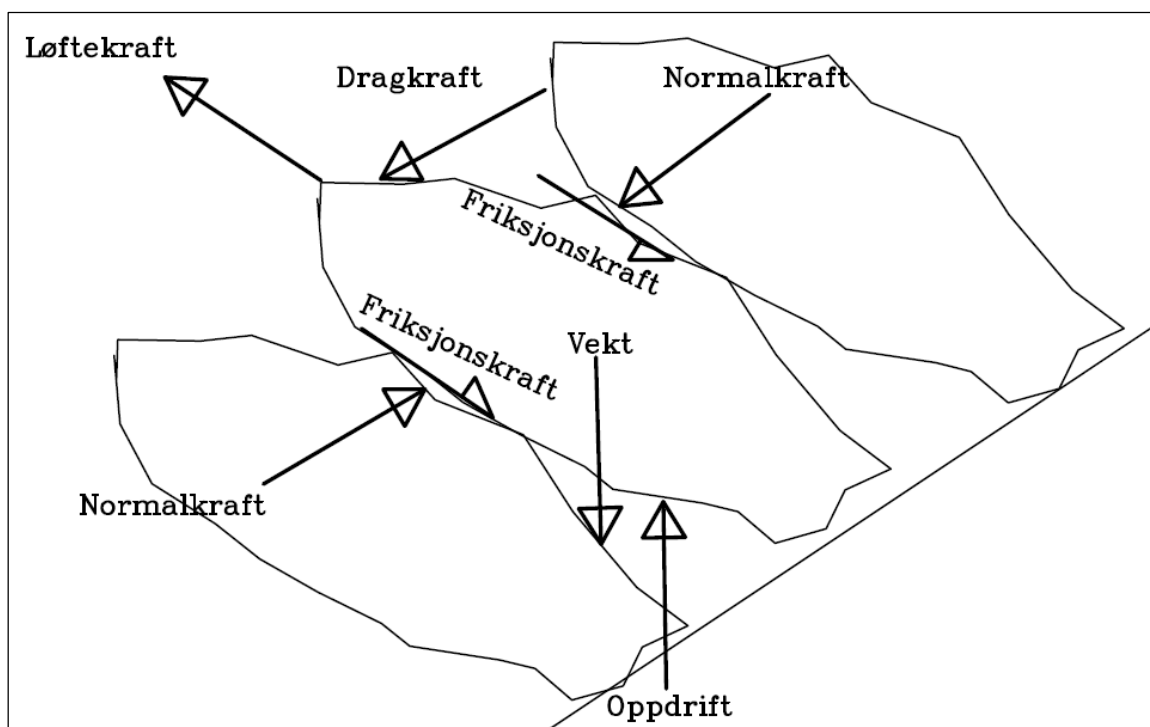
De stabiliserende kreftene avhenger av steinens form, densitet og størrelse. Steinens stabilitet avhenger også mye av hvordan den er plassert. Hvis steinen er plassert i en steinsikring vil den kunne ha mange steiner å støtte seg på. Dette er tilfellet for en plastret steinsikring. I en plastret steinsikring vil i tillegg steinene bli presset mot hverandre og dermed bli låst fast i plastringen pga. friksjonskreftene som oppstår mellom steinene. Alle kreftene som virker på en plastringsstein lagt i forband, inkludert friksjonskreftene er illustrert i figur 3. Friksjonskreftene beregnes med følgende formel:

$$F_r = F_N \cdot \tan(\Phi) \quad [3]$$

Der F_r = friksjonskraften mellom steinene (N); F_N = normalkraften mellom steinene (N); og Φ = friksjonsvinkelen til plastringssteinene (-). Som nevnt tidligere, vil vannet gi steinen en oppdrift. Oppdriften til steinen regnes med når neddykket vekt skal beregnes. Den beregnes som steinens vekt på land, minus oppdriften den får i vannet, som vist i formel [4] (NVE, 2010):

$$W = (\gamma_s - \gamma_v) \cdot V \quad [4]$$

Der γ_s = steinens romvekt (N/m^3); γ_v = vannets romvekt (N/m^3); og V = steinens volum (m^3).

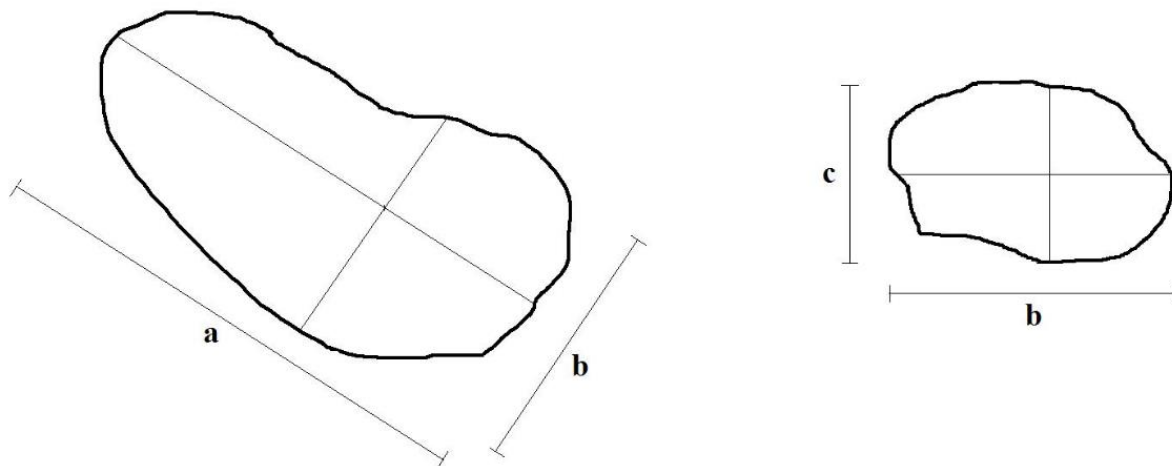


Figur 3: *Kreftene som virker på en plastringsstein ved overtoppende strømning.*

2.2 STEINENS FORM OG EGENSKAPER

Til erosjonssikring burde det brukes sprekstein med bestandighet mot frost og andre belastninger. Steintypene granitt, gabbro og gneis er godt egnet, mens skifrige bergarter tåler mindre når det kommer til frostsprengning og slitasje. Rund stein egner seg dårlig til erosjonssikring og bør ikke brukes i bratte skråninger (NVE, 2009).

Aksene til plastringssteinen er definert som i figur 4. Der a er den lengste akse, b er den mellomste og c er den minste akse.



Figur 4: Akser til plastringsstein (Langaker, 2013)

Ut i fra akse a, b og c, har det blitt definert en gjennomsnittlig karakteristisk akse d. Denne aksene regnes ut ved formel [5]:

$$d = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c} \quad [5]$$

2.3 LITTERATUR

I dette kapittelet er en oppsummering av den litteraturen som har blitt funnet mest relevant framstilt. Internasjonalt finnes det mye litteratur som går på rauset steinsikring, men lite innen plastring. Den internasjonale litteraturen som er fremstilt her går derfor først og fremst på beregningsmetoder for nødvendig steinstørrelse ved rauset steinsikring. I Norge har det som nevnt i innledningen blitt gjennomført flere masteroppgaver innen plastring av fyllingsdammer de siste årene. De mest relevante av disse oppgavene vil bli oppsummert her.

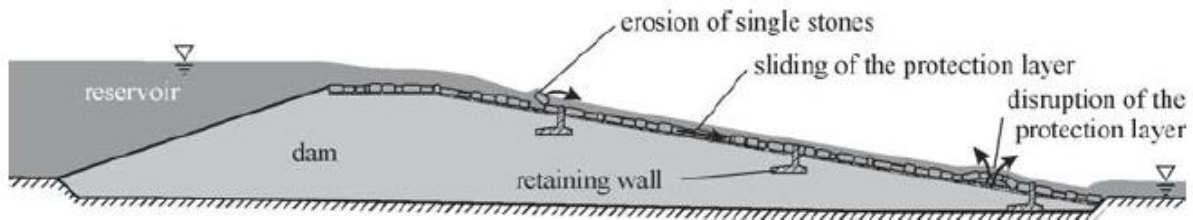
De fleste studiene som har blitt gjennomført innenfor plastret og rauset steinsikring, har hovedsakelig sett på styrken til erosjonssikringen, og ikke på forskyvningene som har oppstått. Et unntak er masteroppgaven til Hans Edvard Røer (2014), der også forskyvningene har blitt viet noe oppmerksomhet.

Siebel

I Tyskland planlegges det mange små dammer (<10 m) som skal fungere som fordrøyningsbasseng i forbindelse med flom. Disse dammene må ha en seksjon som skal tåle overtopping av vann (flomløp), men fordi betong ikke er et «naturlig materiale», er ikke flomløp i betong veldig aktuelt. Derfor er det planlagt å bygge fyllingsdammer som kan overtoppes med

vann. Ved overtopping av fyllingsdammer kreves det en solid erosjonssikring, spesielt på nedstrøms side. I denne studien har dette blitt undersøkt nærmere.

Ved det hydrauliske laboratoriet ved Universitet i Stuttgart testet Siebel (2007) ut både rauset og plastret erosjonssikring. Det ble utført forskjellige forsøk med forskjellige typer bruddmekanismer; «erosjon av enkeltsteiner», «utglidning av erosjonssikringslaget» og «Brudd i erosjonssikringslaget». Disse tre bruddmekanismene er illustrert i figur 5.



Figur 5: Mulige bruddmekanismer for erosjonssikring (Siebel, 2007).

For bruddmekanismen «erosjon av enkeltsteiner», ble det utviklet en beregningsmetode som beregnet minimum median steinstørrelse (D_{50}). Denne beregningsmetoden er gitt som:

$$D_{50} = 1,71 \cdot S^{0.68} \cdot q^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [6]$$

Der D_{50} = median steinstørrelse (m); S = skråningshelning; q = enhetsvannføring; ρ_w = vannets tetthet (kg/m^3); og ρ_s = steinens tetthet (kg/m^3). Forsøkene som denne beregningsmetoden bygger på, ble gjennomført i en 7,2 meter lang og 1,5 meter bred renne. Skråningshelningen varierte fra 1:15 – 1:3 og renna hadde en kapasitet på 335 l/s/m. Steinene som ble brukt hadde D_{50} på ca. 54 og 77 mm.

I renna ble det bygd opp en erosjonssikring og det ble så kjørt vann over et gitt tidsintervall. Etter denne kjøringen, ble mengden stein som lå i bunn av renna og dermed hadde erodert bort fra erosjonssikringen, veid og sammenlignet med massen til hele erosjonssikringen. Ut i fra dette ble beregningsmetode [6] utviklet. Beregningsmetoden er gjeldende for skråningshelninger fra 1:26 – 1:3, og enhetsvannføringer opp til 1000 l/s/m.

Peirson et al.

Peirson et al. (2008) testet ut effekten av å plassere hver enkelt stein (plastring), kontra å dumpe steinen, i erosjonsbeskyttelsen. Forsøkene ble utført med skråningshelninger på 20, 30 og 40 %, med steiner der median steinstørrelse var 76, 94 og 109 mm. Renna som ble brukt hadde bredde på 0,9 meter og dybde på 0,6 meter.

Selve erosjonsbeskyttelsen ble bygd i to lag med lik steinstørrelse, dette gjaldt både for den rausede og den plastrede erosjonssikringen. I den plastrede erosjonssikringen ble steinene plassert på en slik måte at porøsiteten i erosjonssikringen ble minst mulig. I den rausede erosjonssikringen ble steinene dumpet på plass, for deretter å bli jevnet litt ut. Dette ble gjort for å gjenspeile virkeligheten best mulig, der steinene som regel blir dumpet ved hjelp av maskinelt utstyr. Brudd ble definert som da underliggende filterlag ble eksponert.

Resultatene viste at den plastrede erosjonssikringen tålte ca.30 % mer, og at den totale vekten per overflateareal økte med ca.35 %, i forhold til den rausa erosjonssikringen.

Khan og Ahmad

Khan og Ahmed (2011) tok for seg 53 tidligere gjennomførte forsøk som omhandlet rauset erosjonssikring, der median steinstørrelse varierte fra 15-278 mm, og helningen varierte fra 1-40 %. Det ble gjennomført en regresjonsanalyse av disse 53 forsøkene og ut i fra dette ble en ny beregningsmetode [7] forslått. Denne beregningsmetoden relaterer median steinstørrelse til enhetsvannføring, skråningshelning, tykkelse på erosjonssikring og korngraderingstall. Beregningsmetoden som ble forslått anslår median steinstørrelse med en feilmargin på $\pm 20\%$.

$$D_{50} = 0,66 \cdot t^{0,58} \cdot S^{0,22} \cdot C_u^{-0,45} \cdot q^{0,22} \quad [7]$$

Der D_{50} = median steinstørrelse (m); t = tykkelse parameter (m), gitt som n ganger D_{50} , der n er antall lag med steinsikring; S = skråningshelning (-); C_u = korngraderingstallet (-); og q = enhetsvannføringen ($m^3/s/m$). Korngraderingstallet, C_u beregnes som D_{60}/D_{10} .

32 av de 53 forsøkene som ble brukt i studien ble gjennomført av Robinson et al. (1998) Forsøkene ble gjennomført i tre separate, rektangulære renner, med bredder på 0,76, 1,07 og 1,83 meter. Helningen på rennene varierte fra 2 - 40 %, og D_{50} på steinen som ble brukt varierte fra 15 - 278 mm. Korngraderingstallet, C_u varierte fra 1,25 – 1,73.

Forsøkene ble utført ved gradvis økende vannføring og brudd ble definert som da det underliggende filterlaget eller geo-tekstil laget ble eksponert.

De 21 andre forsøkene ble gjennomført av Abt og Johnson (1991). Forsøkene her ble gjennomført i to rektangulære renner, begge med en bredde på 2,4 meter. En av rennene var utendørs og ble brukt til forsøk med helninger større enn 10 %. Den andre renna var innendørs og ble brukt til forsøk med helninger mindre enn 10 %. Steinene som ble brukt hadde en D_{50} som varierte fra 50,8 – 157,5 mm og et korngraderingstall, C_u som varierte fra 1,69 – 2,30. Brudd ble definert som når geo-tekstil laget ble eksponert.

Abt et al.

Abt et al. (2013) gir en god oversikt over tidligere forskning på erosjonssikring og har tatt for seg 21 formler som er utviklet for å kunne beregne nødvendig steinstørrelse på erosjonssikringen. Disse 21 formlene baserer seg på til sammen 96 gjennomførte modell forsøk som tok for seg rauset erosjonssikring. Parameteren som har blitt testet ut var blant annet median steinstørrelse, skråningshelning, enhetsvannføring, korngraderingstall, og tykkelse på erosjonssikring.

For å teste ut de 21 formlene, ble det kjørt en regresjonsanalyse der observert median steinstørrelsen (hentet fra en databasen), ble sammenlignet med median steinstørrelse beregnet av hver enkelt beregningsmetode. Databasen nevnt over, inneholdt resultater fra 10 tidligere studier. Disse 10 studiene hadde til sammen gjennomført og dokumentert 96 forskjellige modellforsøk med overtopping av rauset erosjonssikring.

Resultatene viste at det var beregningsmetoden til Khan og Ahmed (2011) som totalt sett gjorde det best i regresjonsanalysen. Siebel (2007) kom på «3 plass».

Det kommer også fram i artikkelen at definisjonen på brudd varierte mye mellom de ulike beregningsmetoden. F.eks. definerte en av beregningsmetodene brudd som da den første steinen forsvant fra erosjonssikringen, mens en annen beregningsmetode definerte brudd som da hele

erosjonssikringen forsvant og førte til at underliggende lag ble eksponert. Dette var derfor en stor usikkerhetsskilde.

Thornton et al

Thornton et al. (2013) gjennomførte en regresjonsanalyse der 102 overtoppingsforsøk, fra 10 separate studier ble brukt. Mange av disse overtoppingsforsøkene var hentet fra databasen til Abt et al. (2013). Ut fra analysen ble det utviklet en ny beregningsmetode til å finne median steinstørrelse på erosjonsbeskyttelsen. Metoden relaterte median steinstørrelse til helningsvinkel, enhetsvannføring, korngraderingstall, tykkelse på erosjonsbeskyttelse og steinens tyngdetetthet. Beregningsmetoden som ble utviklet er vist under:

$$D_{50} = 0,57 \cdot S^{0,20} \cdot C_u^{-0,28} \cdot q^{0,21} \cdot t^{0,62} [1,16/(SG - 1)^{0,30}] \quad [8]$$

Beregningsmetoden bruker engelske enheter der D_{50} = median steinstørrelse (inch); t = tykkelse parameter (inch), gitt som n ganger D_{50} , der n er antall lag med steinsikring; S = skråningshelning (-); C_u = korngraderingstallet (-); q = enhetsvannføringen ($\text{ft}^3/\text{s}/\text{ft}$); og SG = spesifikk tyngdetetthet (-).

Forsøkene som ble lagt til grunn i studien hadde stein der D_{50} varierte fra 1,5 til 65,5 cm og korngraderingstallet lå i området 1,14 – 5,33. Skråningshelningen varierte fra 0,20 – 50 %.

Beregningsmetoden til Khan og Ahmad (2011) ble sammenlignet med beregningsmetode [8]. Der kom det fram at metode [8] scorer noe bedre enn Khan og Ahmad på regresjonsanalysen, med korrelasjonskoeffisienter på henholdsvis 0,97 og 0,96. Metode [8] har også et større spekter når det kommer til median steinstørrelse (1,5 – 65,5 cm), i forhold Khan og Ahmed (1,5 – 19,3 cm).

Amundsen

Amundsen (2012) gjennomførte laboratorieforsøk for å teste styrken på nedstrøms skråningsvern på fyllingsdammer. Forsøkene ble gjennomført i en 13 meter lang renne, med et tverrsnitt på 0,6 ganger 0,8 meter. Modellene som ble bygget hadde hovedsakelig en damhelning på 1:1,5 og en damhøyde på 300-1000 mm. Det ble benyttet stein der medianen til steinene lå mellom 26-73 mm. Det ble hovedsakelig undersøkt tre typer steinsikring; rauset steinsikring, plastret steinsikring der plastringssteinens lengste akse lå parallelt horisontal planet og plastret steinsikring der plastringssteinens lengste akse lå normalt på damskråningen. Plastringen ble utført ved å håndlegge en og en stein.

Under forsøkene ble det både registrert første steins bevegelse og dambrudd. Amundsen definerte dambrudd som: «*det tidspunktet hvor erosjon og ras har jobbet seg opp til toppen av forsøksmodell*». Under mange av forsøkene var vannføringen ved første steins bevegelse lik bruddvannføringen.

Resultatene viste at plastret steinsikring lagt i forband, økte styrken til plastringen med 180 - 490 % i forhold til rauset steinsikringen. Resultatene viste også at helningsvinkelen til plastringssteinen hadde stor innvirkning på styrken til plastringen, og at plastringen der steinene stod normalt på damhelningen, hadde en vesentlig større bruddvannføring enn plastringen der steinene lå med lengste akse parallelt horisontal planet.

Steinenes bevegelse ble registrert ved å benytte to videokameraer. Ett videokamera filmet fra siden og ett filmet fra nedstrøms side ved kanalens topp.

Langaker

Langaker (2013) gjennomførte modellforsøk på plastring på nedstrøms side av fyllingsdammer. Hovedformålet var å finne ut hvor godt prototypeforsøk lot seg gjenskape i modellforsøk.

Modellforsøkene ble utført på vassdragslaboratoriet ved NTNU, i en 12 meter lang og 0,61 meter bred renne. Alle forsøkene hadde en skråningshelning på 1:1,5 og bestod av en homogen støttefylling med et lag plastringsstein på topp. Det var kun nedstrøms del og krona som var bygget opp. Oppstrøms del av dammen var derfor ikke representert. Høyden på dammene varierte fra 135 - 205 mm og det ble benyttet stein der D_{50} lå på 27, 35 og 41 mm. Modellene ble altså bygget opp med varierende steinstørrelse, samt varierende helningsvinkel på plastringssteinene i forhold til damskråningen. Det ble også gjennomført noen forsøk med rausa steinsikring.

Forsøkene ble kjørt med en gradvis økende vannføring og både første steins bevegelse og bruddvannføring ble registrert. Langaker definerte bruddvannføring slik: «... *senking av damkrona, eller eventuelt utglidning i bunn for de tilfeller der damtå var kritiske punkt. I de tilfeller der en stein løsner fra bakerste rad i kronevernet, men ytterste stein fortsatt er stabil er derfor ikke definert som brudd*»

Resultatene viste at det var vanskelig å gjenskape prototypeforsøkene som modellforsøk. Forsøkene viste at modelltestene overestimerte bruddvannføringen med 24-51%, i forhold til prototypeforsøkene.

Brudd i selve plastringen skjedde kun ved rauset steinsikring, med unntak av enkelte tilfeller der plastringssteinene lå med lengste akse parallelt med horisontal planet. For de andre tilfellene kom bruddet enten i damtåa eller i kronevernet. Resultatene viste at plastringssteinens helningsvinkel hadde stor innvirkning på styrken til skråningsvernet

Til å dokumentere forsøket ble det benyttet to videokamera som filmet fra hver sin vinkel. Ett fra siden og ett forfra vinkelrett på dammen. Filmen som ble tatt opp ble brukt til å kartlegge bruddforløpet og hvor bruddet startet.

Røer

Røer (2014) undersøkte hvordan ulike strømningsforhold påvirket plastret steinsikring i forband. Det ble gjennomført 15 modellforsøk i en renne med lengde 3,8 meter, bredde 0,15 meter og høyde 0,465 meter. Det ble benyttet plastringsstein der D_{50} var på 25 mm og helningen på plastringssteinene var 63 grader i forhold til skråningshelningen. Selve skråningshelningen var 1:1,5 og høyden av forsøksdammene varierte fra 135 - til 300 mm. Figur 6 viser grunnoppsettet for forsøksdammene som ble bygget.

Det ble testet tre forskjellige måter å strømme vannet forbi plastringen på; overtopping, gjennomstrømning og en kombinasjon av disse to. Resultatene viste at ved overtopping tålte plastringen en vesentlig høyere vannføring (117-153 l/s/m), enn ved gjennomstrømning (27-28 l/s/m). En kombinasjon av disse strømningsforholdene hadde bruddvannføringer som varierte fra 69-157 l/s/m.

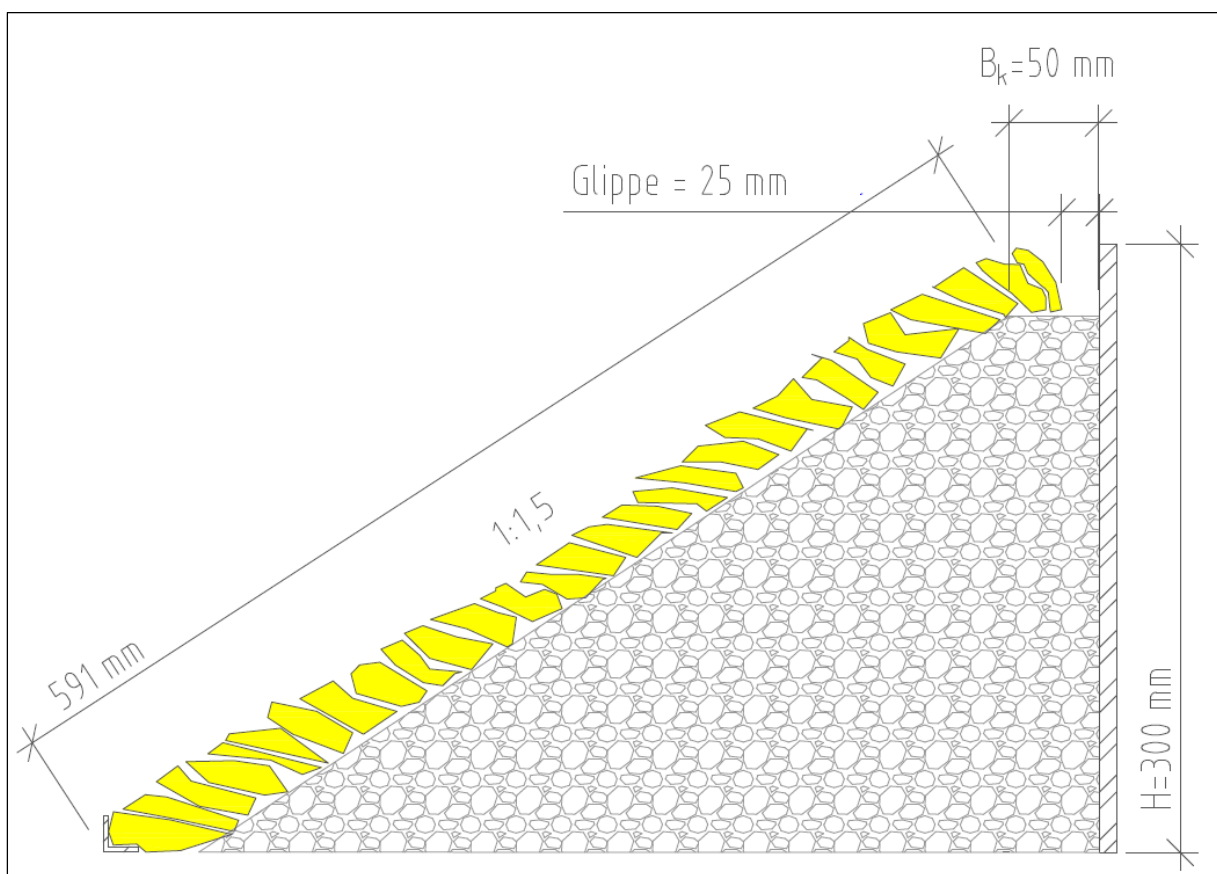
Ved overtopping av dammen ble det registrert partikkelerosjon i krona, altså at enkeltstein ble revet bort. Dette kunne etter hvert føre til at hele krona ble revet bort. Ved gjennomstrømning av dammen ble det derimot kun registrert brudd i selve skråningsvernet. For

de fleste tilfellene ble det observert en stor restkapasitet etter at enkeltsteiner i plastringen var revet vekk.

Under mange av forsøkene til Røer oppstod det forskyvninger i plastringen. På et av forsøkene ble dette undersøkt nærmere. Dette er beskrevet under:

Figur 6 viser som nevnt grunnoppsettet for forsøksdammene som ble bygget. På denne figuren er en forskyvning i krona også illustrert. De gule steinene er plastringsstein, under de ligger det en støttefylling. Vannet renner mot venstre. Under ett av forsøkene, der vannet rant både over og igjennom plastringen fikk plastringen en glippe på 25 mm i krona. Denne forskyvningen ble målt ved at plastringen ble kjørt til brudd og deretter bygd opp med samme stein slik at forskyvningene grovt kunne undersøkes.

Ser man dette i forhold til den totale plastrede lengden på 641 mm (591 + 50 mm), blir det en forskyvning på ca. 4 %.



Figur 6: Forskyvninger på plastringsstein pga. hydraulisk belastning (Røer, 2014).

2.4 DAGENS GJELDENE REGELVERK

Den første damforskriften i Norge, *Forskrift for dammer*, ble utgitt i 1981. Her ble det utarbeidet regler og anbefalinger til hvordan dimensjonering av fyllingsdammer skulle utføres. Før den tid var det nasjonal og internasjonal litteratur som la grunnlaget for dimensjonering og utførelse av fyllingsdammer (NVE, 2012).

I dag er det damsikkerhetsforskriften fra 2009 og veileder til fyllingsdammer fra 2012 som er gjeldende når det kommer til dimensjonering av nedstrøms skråning på fyllingsdammer. I damsikkerhetsforskriften ligger funksjonskravene, mens veileder for fyllingsdammer utdyper disse kravene. Andre løsninger enn de som er angitt i veilederen kan også bli godkjent dersom

like god sikkerhet kan dokumenteres (NVE, 2012). En oppsummering av det viktigste innen nedstrøms skråningsvern fra damsikkerhetsforskriften og veileder for fyllingsdammer er vist under.

Damsikkerhetsforskriften

I damsikkerhetsforskriften (Olje- og energidepartementet, 2009), kapittel 5-10 står det følgende om nedstrøms skråninger på fyllingsdammer: «*Nedstrøms skråning skal ha skråningsvern som sikrer at dammen tåler stor vanngjennomstrømning og/eller overtopping som følge av ulykkeslaster eller skade på dam. Stein i skråning skal ha tilfredsstillende størrelse og kvalitet og være stabilt ordnet i forband. Steinene skal plasseres med fall og lengderetning innover i dammen. Overgang mot støttefylling må utføres slik at utvasking av innenforliggende materiale ikke finner sted*»

Veileder for fyllingsdammer

I dag kan dimensjonerende steinstørrelse på nedstrøms skråningsvern beregnes med følgende metode (NVE, 2012):

$$D_{\min} = 1 \cdot S^{0.43} \cdot q^{0.78} \quad [9]$$

Der D_{\min} = minimum diameter for stein (m); S = skråningshelning (-); q = enhetsvannføring ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$). Enhetsvannføringen skal ikke settes lavere enn $0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ for dammer med konsekvensklasse 2 og 3, mens den i konsekvensklasse 1 ikke skal settes lavere enn $0,3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. For konsekvensklasse 4 er det ikke oppgitt en minimum q -verdi, men størrelsen på steinene i det ytterste sjiktet, bør ikke være mindre enn $0,15 \text{ m}^3$. Forholdet mellom største og minste diameter burde ikke overstige 1,7.

Veilederen sier også: «*Skråningsvernet skal utføres som plastring, dvs. at steinene skal plasseres slik at de ligger stabilt og med god innbyrdes kontakt. Hver enkelt stein skal plasseres slik at lengdeaksen ligger med fall innover i dammen, og slik at det dannes et godt forband*».

Veilederen har også et avsnitt om de forskjellige sjiktene til nedstrøms skråningsvern: «*Målt horisontalt skal tykkelsen av skråningsvernet være minst 2 m. Skråningsvernet skal bestå av to sjikt med stein. Det innerste steinsjiktet kan bestå av mindre stein enn det ytterste, men stor nok stein til å fylle hulrom i ytterste sjikt. Normalt bør steinen i sjikt 2 tilfredsstillende $d_{\min} > D_{\max}/4$, der d er stein i sjikt 2 og D er stein i sjikt 1 (yttersteinene)*».

Beregningsmetode [9] bygger på Energibedriftenes Landsforening sitt FoU-prosjekt *Stabilitet og bruddforløp av dammer*, men er modifisert for å oppnå større sikkerhet. Per dags dato er dette det største forskningsprosjektet som har blitt gjennomført på steinfyllingsdammer i Norge og består av 3 delprosjekt:

1. Skjærstyrke av steinfyllinger og stabilitet av damskråninger
2. Stabilitet av nedstrøms støttefylling og damtå i fyllingsdammer med stor vanngjennomstrømning
3. Bruddforløp i fyllingsdammer

Dimensjoneringskriteriet som NVE anbefaler ([9]), er hentet fra delprosjekt nr. 2, som ble gjennomført i perioden 2001-2004 og baserer seg stort sett på fyllingsdammer med homogene masser. Det vil si at tverrsnittet til dammene ikke hadde noen laginndeling og øverste sjiktet

ble altså ikke utført som plastret skråningsvern av grov stein, men bestod av de materialene som resten av dammen var bygget opp av.

Totalt ble det gjennomført 23 laboratorieforsøk og 12 forsøk på 7 dammer med høyde 4,3 - 6,1 m. Laboratorieforskene ble gjennomført på vassdragslaboratoriet ved NTNU. Damhøyden på forsøkene var enten 0,6 eller 1,2 meter og skråningshelningene varierte fra 1:3 – 1:1,4 (33 – 71 %). Massene som ble brukt hadde en D_{50} som varierte fra 10,9 mm – 204 mm og C_u varierte fra 1,4 – 5,5. Forsøksdammene ble betegnet som homogene steinfyllingsdammer.

Dammene i storskala forsøkene hadde skråningshelninger som varierte fra 1:1,4 – 1:1,6 og massene som ble brukt hadde en D_{50} som varierte fra 0,007 – 350 mm. De fleste dammene her var også homogene steinfyllingsdammer, men en av dammene var også utført som en homogen leirfyllingsdam. Denne dammen hadde D_{50} på 0,007 mm (EBL Kompetanse, 2005).

3 METODE

Forsøkene ble gjennomført på vassdragslaboratoriet ved NTNU. Det ble til sammen gjennomført 6 forsøk, disse er beskrevet i kapittel 3.5. Forsøkene ble gjennomført i en renne der det var plassert en modell som skulle gjenspeile nedstrøms side av en plastret fyllingsdam. Nærmere beskrivelse av renna og modellen finnes i kapittel 3.2. Forsøkene gikk ut på å kjøre vann over den plastrete modellen for å finne ut hvor mye den tålte. Prosessen med å plukke ut, måle og registrere materialet som skulle brukes som plastringsstein og underliggende filtermateriale, var omfattende. En nærmere beskrivelse av dette arbeidet finnes i kapittel 3.4. For å dokumentere forskyvningene til plastringen har det hovedsakelig blitt brukt tre metoder:

- Punktinnmåling av plastringsstein
- Video- og kamera overvåkning
- Bruk av sensorer i plastringssteinen (Smartstones)

De to førstnevnte metodene var vellykket, men Smartstonesene fungerte ikke veldig godt. I tillegg til de nevnte metodene ble det gjort et forsøk på å 3D-scanne plastringen, men dette ble ikke helt vellykket og vil derfor ikke bli omtalt veldig nøye i denne oppgaven. Nærmere beskrivelse av alle metodene finnes i kapittel 3.3.

3.1 LABORORIETEKNIKK

For å kunne sammenligne resultater fra modellforsøket (m), med resultater fra virkeligheten (p), er man avhengig av en korrekt skaleringsmetode. Froude's modellov har blitt benyttet fordi forsøkene som har blitt gjennomført har fritt vannspeil og gravitasjon er den drivende kraften (Crowe et al., 2005). Froude's modellov beskriver forholdet mellom treghet og gravitasjon. Froudetallet skal være likt i både modellen Fr_m , og i virkeligheten Fr_p , for at skaleringen skal bli korrekt. Dette beskrives med formel 11.a og 11.b:

$$Fr_m = Fr_p \quad [11.a]$$

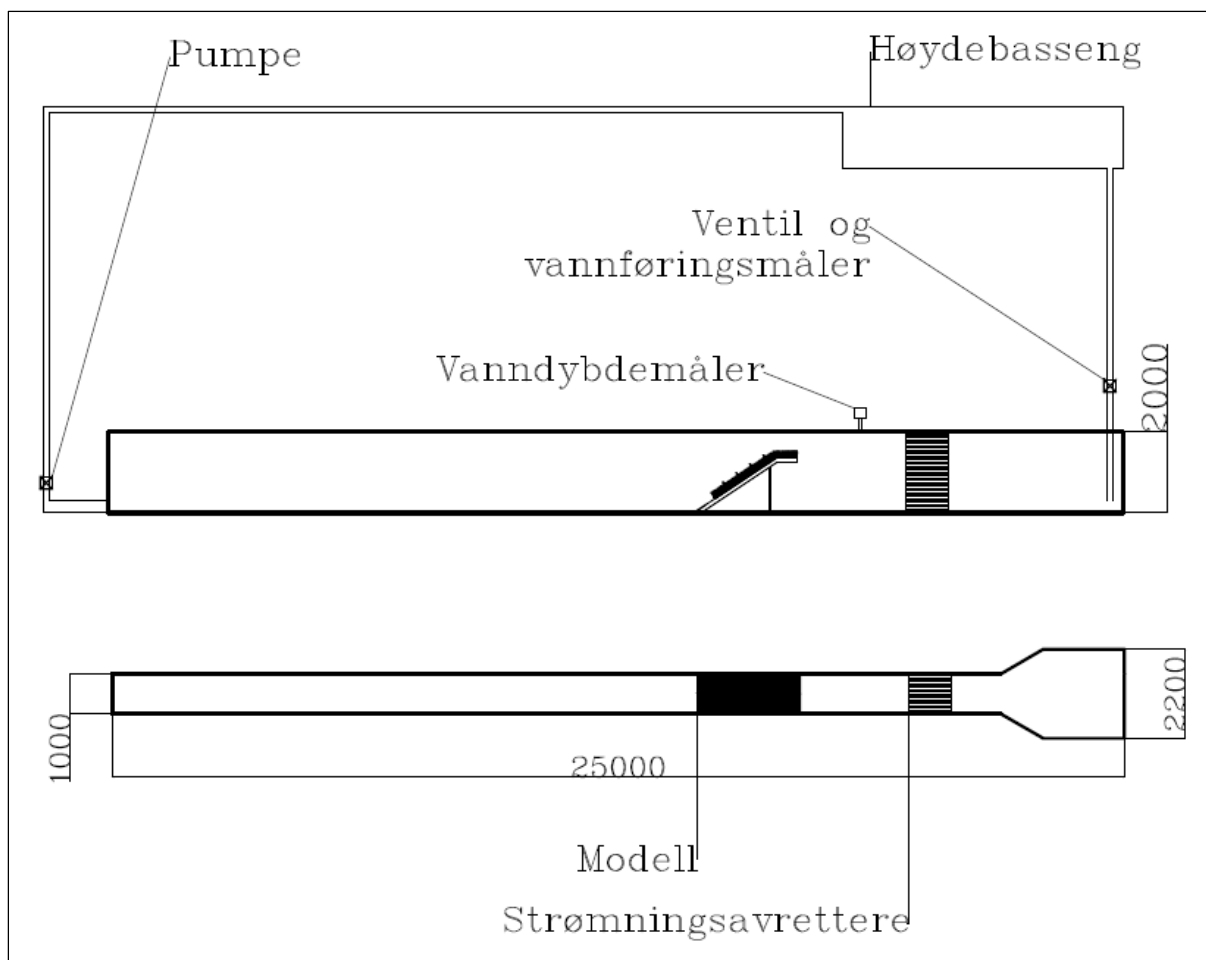
$$\left(\frac{v_m}{\sqrt{g * L_m}} \right) = \left(\frac{v_p}{\sqrt{g * L_p}} \right) \quad [11.b]$$

Der Fr_m = Froudetallet til modellen (-); Fr_p = Froudetallet til fullskala dam (-); v_m = vannets hastighet i modellen (m/s); v_p = vannets hastighet i fullskala dam (m/s); L_m = karakteristisk lengde modell (m); og L_p = karakteristisk lengde fullskala dam (m).

3.2 MODELLEN

Alle forsøkene ble gjennomført i en renne i vassdragslaboratoriet. Renna var 25 meter lang, 1 meter bred og 2 meter høy. Veggene til renna var laget av stålplater, med unntak av der selve forsøket forgikk. Der var den ene veggen laget av glass slik at det var mulig å se inn i renna fra siden. Gulvet til renna var laget av betong, mens renna var åpen oven ifra. En forenklet planskisse over renna er vist i figur 7.

Like oppstrøms for modellen var det plassert strømningsavrettere. Strømningsavretterne var små plastrør på ca. en meter som var stablet oppå hverandre i hele tverrsnittet til renna. Vannet rant igjennom rørene og sørget for roligere strømningsforhold på nedstrøms side av strømningsavretterne.

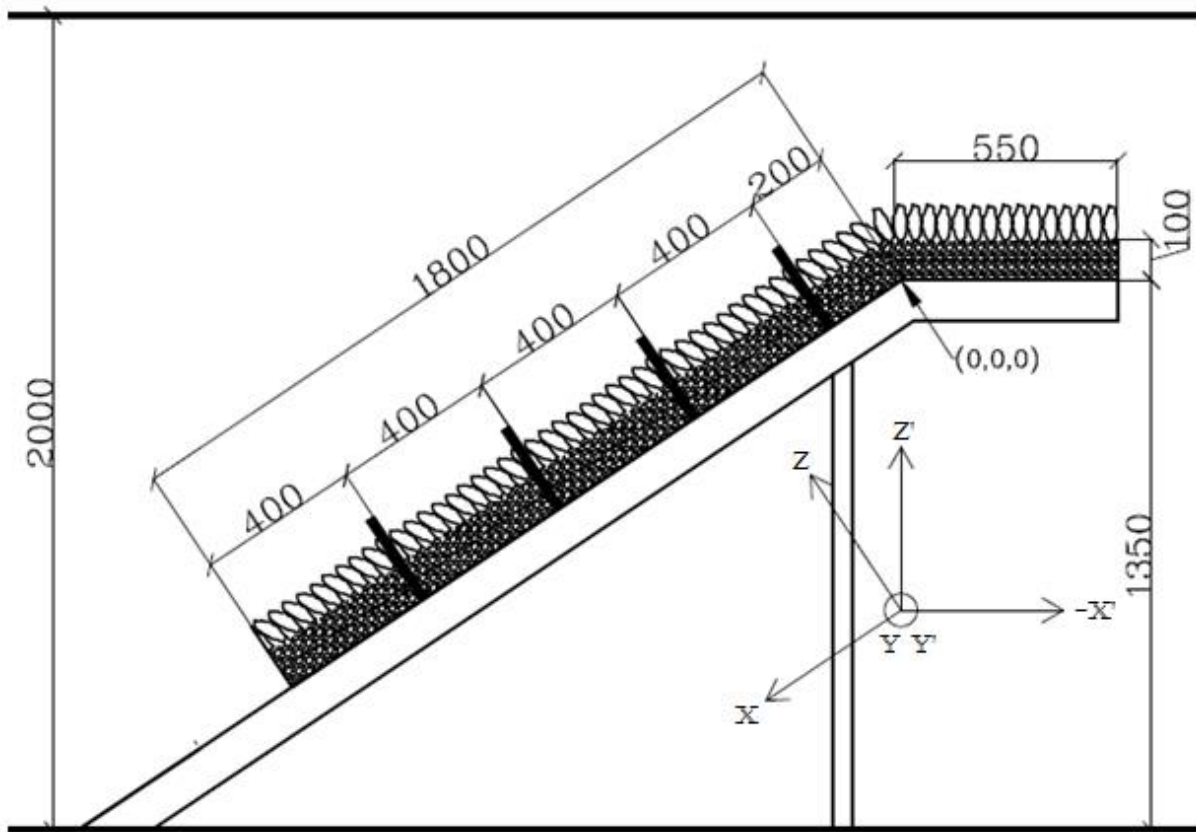


Figur 7: Prinsippskisse over renna som ble brukt. Den øverste tegningen viser et vertikalt snitt av renna og pumpesystemet. Den nederste tegningen viser en planskisse av renna. Vannet renner mot venstre.

I renna var det plassert en modell som skulle gjenspeile nedstrøms side av en fyllingsdam. Denne er illustrert i figur 7. Skråplanet til modellen hadde en helning på 1:1,5 (66,7 %) og var bygget opp av stålprofiler som bærende elementer. En stålrister og et lag filterduk lå over stålprofilene slik at modellen fikk en helhetlig overflate som filtermaterialet og plastringssteinen kunne hvile på. I mellom stålprofilene lå det et vanntett materiale for å hindre gjennomstrømning. Dermed gikk alt vannet over modellen og ikke igjennom. Det var allikevel noe lekkasjer gjennom modellen, men dette var såpass lite at det antagelig ikke hadde innvirkning på forsøkene.

Damtåa inngår ikke i dette forsøket, og det ble derfor ikke plastret helt ned til bunnen av modellen. Det ble satt opp en stålrister, normalt på overflaten til modellen, 1,8 meter nedenfor toppen av modellen (se figur 8). Denne sørget for å holde filter og plastringsstein på plass.

Et lag med filtermateriale ble påført og jevnt fordelt med en tykkelse på ca. 100mm. Plastringssteinene ble så plassert en og en for hånd på topp av filterlaget. Se kapittel 3.5 for mer detaljer rundt dette.



Figur 8: Vertikalsnitt av modellen som ble brukt. Installasjoner som ble brukt i forbindelse med hastighetsmålinger vises også. Det samme gjør koordinatsystemet og origo til koordinatsystemet. Positiv y-akse peker ut av planet. Verdiene er gitt i millimeter.

Koordinatsystem

Det ble innført et koordinatsystem for å kunne beskrive punkter og høyder i modellen. Koordinatsystemet og dets origo, er vist figur 8. Koordinatsystemet består egentlig av to koordinatsystemer. Ett system der x-aksen ligger i horisontalplanet, og ett system der x- og z-aksen roteres 33,67 grader mot klokka, om y-aksen. X-aksen blir dermed liggende parallelt med skråplanet til modellen. Y-aksen til de to systemene vil derimot være lik. Koordinatsystemet som har x-akse i horisontalplanet har fått syntaksen x' , y' og z' , mens koordinatsystemet der x-aksen ligger parallelt med skråplanet får syntaksen x , y og z . Origo er lik for begge systemene og befinner på toppen av modellen, i selve knekken der den plane delen møter den skråstilte delen av modellen. Dette er illustrert i figur 8. Y-koordinaten til origo ligger helt inntil den veggen av renna som «ligger lengst inn i planet», når man ser på figur 8.

Alle elementer som ligger oppstrøms for origo og i koordinatsystemet x' , y' og z' blir beskrevet med dette systemet, mens alle elementer som ligger nedstrøms for origo og i koordinatsystemet x , y og z vil bli beskrevet med dette systemet. Av praktiske hensyn vil både koordinatsystem x , y og z , og x' , y' og z' bli omtalt som x , y og z videre i oppgaven.

Overgangen mellom disse to koordinatsystemene vil heretter bli omtalt som knekningspunktet til modellen. Lengden av den skrå delen til plastringen, altså skråningsvernet (1800 mm) vil heretter bli omtalt som $L_{\text{skrå}}$, mens lengden av den horisontale delen til plastringen, altså kronevernet (550 mm) vil heretter bli omtalt som $L_{\text{horisontal}}$.

Pumpesystem til renna

Pumpesystemet til renna hadde en vannføringskapasitet på 600 l/s. Ved vannføringer høyere enn 400 l/s, ble renna overtoppet på oppstrøms side og det kunne derfor ikke benyttes vannføringer høyere enn 400 l/s.

Pumpesystemet pumpet vannet opp i et høydebasseng og fra dette høydebassenget ble vannet ført gjennom rør som hadde utløp i enden av renna. I motsatt enda av renna ble vannet tatt opp av pumpesystemet og ført opp i høydebassenget igjen (se figur 7).

3.3 MÅLEMETODER OG REGISTRERING AV DATA

I dette kapitlet beskrives alt som ble målt og registret, og hvordan dette ble gjort. Veldig mye av dataen som har blitt registret, har blitt tatt inn og behandlet i dataprogrammet Agilent.

3.3.1 Vannføring og vanndybde

Begge pumpesystemene til renna hadde egen ventil og vannføringsmåler (SIEMENS SITRANS FM MAGFLO MAG 5000). Ventilene regulerte vannføringen og ble justert manuelt. Vannføringsmålerne målte vannføringen med teknologi som baserer seg på elektromagnetisk induksjon og har en måleusikkerhet på 0,5 % (Siemens, 2005). Data fra vannføringsmålerne ble overført elektronisk.

Ca. 1,5 meter oppstrøms for modellen var det plassert en sensor (Microsonic mic + 340/IU/TC) som målte vanndybden (se figur 7). I følge produsenten har den en måleusikkerhet på 1% (Microsonic). Data fra denne høydemåleren ble også overført elektronisk. Null-nivået til vanndybden er definert på samme høyde som origo til koordinatsystemene. Sensoren som måler vanndybden har en rekkevidde som går lavere enn origo, og dermed har det også blitt registrert negative vanndybde-verdier.

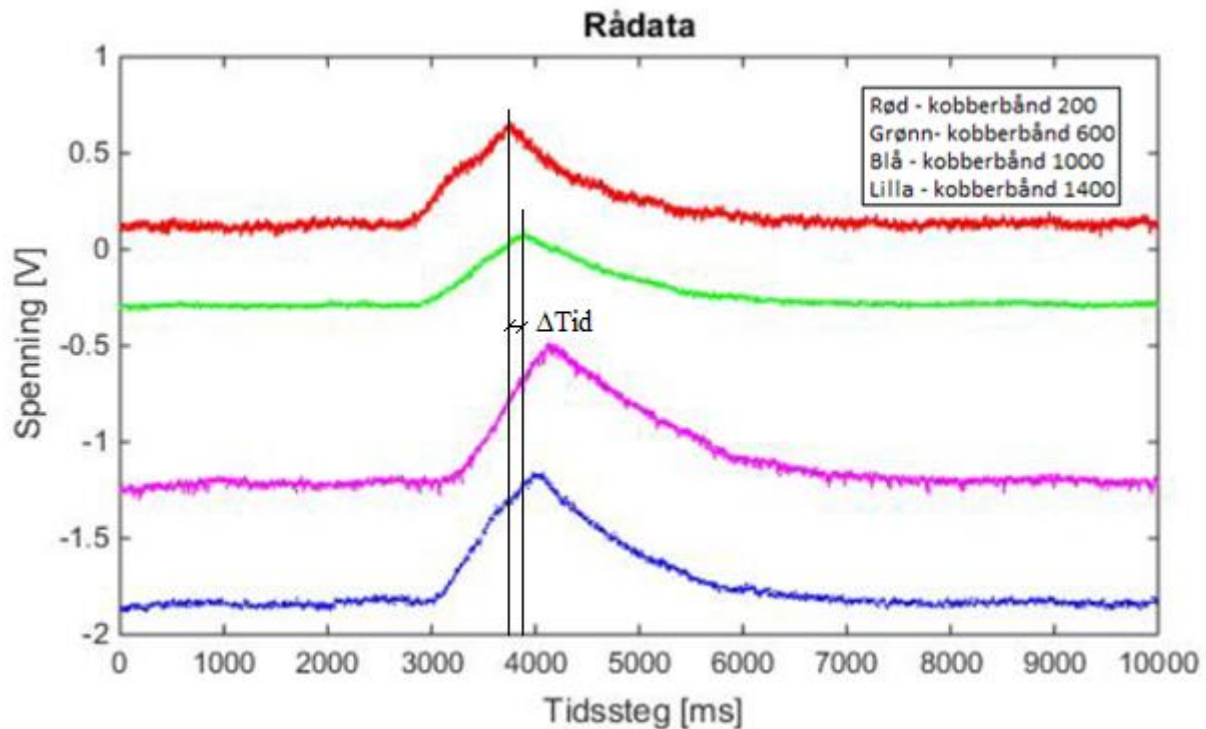
For både vannføring og vanndybden ble det registrert 10 målepunkter i sekundet (10 Hz.)

3.3.2 Hastighetsmåling

Hastigheten til vannet som strømmet over plastringen ble målt ved hjelp saltmålinger. Åtte kobberbånd ble limt fast på veggene til renna. Fire på hver side av modellen, parallelt ovenfor hverandre (se figur 8). Det ble koblet strøm til kobberbåndene og den elektriske konduktiviteten mellom de kobberbåndene som stod parallelt ovenfor hverandre kunne dermed måles. Hastighetsmålingene ble gjennomført ved at salt ble sluppet ut på oppstrøms side av modellen. Da saltet passerte forbi kobbertrådene, økte den elektriske konduktiviteten og disse tidspunktene ble registrert. Avstanden mellom kobbertrådene var 400 mm (se figur 8), og dermed kunne hastigheten beregnes. Det ble plassert ut kobberbånd ved x-koordinatene 200, 600, 1000 og 1400 mm. De blir heretter omtalt som kobberbånd 200, kobberbånd 600, kobberbånd 1000 og kobberbånd 1400. Hastighetsmålingene ble registret med en frekvens på 100 Hz.

Figur 9 viser grafene til hastighetsmålingen som ble utført på forsøk 1, med en enhetsvannføring på 11,5 l/s/m. Som figuren viser er det 4 grafer, ett for hvert par med kobberbånd. Alle grafene har en markert topp og tidspunktet til disse toppene brukes til å finne hastigheten mellom de forskjellige kobberbåndene. På figuren er tidsintervallet mellom kobberbånd 200 og kobberbånd 600 tegnet inn, som « Δ Tid».

Hastighetsmålingen som er illustrert i figur 9, var en av svært få vellykkede hastighetsmålinger. De fleste hastighetsmålingene inneholdt for mye støy, og det var derfor vanskelig å definere ett toppunkt på grafene.



Figur 9: Resultat fra hastighetsmåling (forsøk 1, vannføring: 11,5 l/s/m).

For di saltmålingene ikke fungerte optimalt har bildene som ble tatt under forsøkene også blitt brukt til å estimere hastigheten til vannet. Ut i fra bildene har det vært mulig å estimere vannhøyden over plastringen. Vannføringen har vært gitt og dermed har vannhastigheten blitt beregnet. Saltmålingene sammen med analysering av bildene, har gitt en pekepinn på hvor hastigheten ligger for de forskjellige vannføringene.

3.3.3 Måling av bevegelse til plastringssteinene

Som nevnt i innledningen av metodekapittelet har det blitt gjennomført flere metoder for å dokumentere forskyvningene til plastringssteinene. Punktinnmåling av plastringssteinene, samt kamera- og video overvåkning, var de metodene som viste seg å være mest vellykket. Resultatene vil derfor basere seg hovedsakelig på disse metodene. Smartstones og 3D-skanning og vil allikevel bli beskrevet i dette kapittelet.

Med unntak av at punktinnmålinger ikke ble gjennomført for forsøk 4, har alle målemetodene blitt benyttet på samtlige forsøk.

Punktinnmåling

Til å måle inn plastringssteinene ble traversen som ble brukt til 3D-skanning benyttet. En avstandsmåler (Leica DISTO X310) ble festet fast på armen til traversen og målte dermed den vertikale koordinaten til plastringssteinene. Selve traversen forflyttet seg kun i det horisontale planet og målte dermed de to horisontale koordinatene til systemet. Disse koordinatene ble regnet om til koordinatsystemene som er benyttet i denne oppgaven (se figur 8). Totalt sju

steiner ble merket, inkludert 3 Smartstones (Smartstones er beskrevet lengre ned i dette kapittelet), slik at de kunne måles inn regelmessig under forsøkene.

Smartstones ble farget oransje, mens de resterende 4 steinene ble farget gule. For å beskrive hvor de forskjellige steinene lå ble de «navngitt», etter hvilken x-koordinat de ca. hadde ved start av forsøkene. Navnene på de forskjellige steinene og hvor de ligger er vist i figur 10. MS står for «merket stein».

I forsøk 4 ble ikke punkttinnmålinger gjennomført.



Figur 10: Oversikt over plastringen og de merkede steinene (MS) som ble brukt til punkttinnmåling. Fra forsøk 2.

Selve innmålingen av steinene foregikk ved at en person navigerte inn traversen på steinene og en annen person styrte traversen. De fargede steinene hadde alle et kryss påskrevet med tusj, og sentrum av dette krysset ble benyttet som målepunkt (se figur 11). Avstandsmåleren som ble benyttet har ifølge produsenten en målenøyaktighet på 1mm (Leica-geosystems).

Det ble merket av et referansepunkt nedenfor selve plastringen, på modellen. Dette referansepunktet ble målt inn sammen med de andre punktene og fungerte som en kontroll på at nøyaktigheten målemetoden.

Kamera- og video overvåkning

Forsøkene ble nøye dokumentert ved hjelp av kamera- og video overvåkning. Det ble satt opp to videokameraer (Sony HDR-SR12E og Sony HDR-CX115E). Ett fra siden og ett på nedstrøms side av modellen. Disse videokameraene gjorde opptak så lenge det ble kjørt vann over modellen. Det ble også brukt et speilreflekskamera (Nikon D70) for å ta bilder av plastringen. Det ble tatt bilder med speilreflekskameraet både fra siden og oven ifra plastringen. Dette ble gjennomført før vannet ble skrudd på, mens vannet gikk og etter at vannet var skrudd av, for hver vannføring. Bildene og videoklippene har blitt brukt til å analysere forflytning og brudd av plastringen.

Smartstones

En Smartstone, vil si en stein med en sensor plassert inne i seg som kan registrere bevegelse. Selve sensoren sitter inne i en metall sylinder (diameter 8 mm, lengde 55 mm), med en 70 mm lang antenne (se figur 11). Sensoren inneholder et akselerometer som kan måle akselerasjon i 3 akser, et e-kompass som måler magnetisk fluks i 3 akser og et gyroskop som måler vinkelhastighet rundt 3 akser. Dette gjør den til en 9-akse sensor. I tillegg inneholder sylindren et minne til å lagre data, aktiv RFID- (radiofrekvensidentifikasjon) teknikk for å sende data og 2 små batterier som sørger for strømforsyning. En Linux gateway brukes for å kommunisere med sylindren og for å overføre data (Gronz et al. 2015). Se Gronz et al. (2015), Kobel (2014) og Jakobsen (2014) for mer detaljer om Smartstones.

En Smartstone er en helt ny innretning som er på utviklingsstadiet. Med unntak av den enda upubliserte artikkelen skrevet av Gronz et al. (2015), samt 2 prosjektoppgaver høsten 2014, finnes det ikke noe litteratur på dette og det er derfor heller ikke blitt skrevet noe om Smartstones i teoridelen av denne oppgaven. Ett av punktene denne oppgaven skulle ta for seg var Smartstones og anvendelse av denne i et modellforsøk. Målet var å benytte Smartstones til å registrere bevegelse i plastring ved hydraulisk belastning. Dette har blitt testet ut, men det har blitt oppdaget mangler med Smartstones som gjør at den foreløpig ikke egner seg til dette formålet.

Høsten 2014 ble enkelte aspekter ved Smartstones ble testet ut, og det ble blant annet sett på lagringskapasitet, batterikapasitet og rekkevidde. (Kobel, 2014) og (Jakobsen, 2014). Her kom det fram at minnet gikk fullt etter ca. 15 minutter og batteriene gikk tomme etter ca. 1 time, ved kontinuerlig registrering.



Figur 11: Øverste bilde viser Smartstone sylindren. Nederste bilde viser Smartstonesylindren plassert i et utboret hull i en plastringsstein. Sammen utgjør disse to komponentene en Smartstone. For å holde vannet ute ble steinen forseglet med en gummikork. Krysset som er merket av ble brukt under punktinnmålingene.

Under forsøkene til denne masteroppgaven ble sylindren plassert inne i et utboret hull i plastringssteinen og forseglet med en gummikork, som vist på figur 10. Denne metoden fungerte bra og sørget for å holde sylindren tørr. Det var også viktig å sørge for at sylindren lå fastklemt inne i steinen, slik at den kun beveget seg når plastringssteinen beveget seg. Hullet som var boret ut i plastringssteinen, hadde en litt større diameter enn selve sylindren, og sylindren ble derfor rullet inn i en slik mengde teip at den akkurat måtte presses inn for å få plass. Etter å ha blitt presset inn lå den fastklemt og kunne ikke bevege seg fritt inne i

plastringssteinen. Det ble også teipet fast en snor rundt sylindren slik at den enkelt kunne trekkes ut av plastringssteinen. Under samtlige av forsøkene ble det benyttet tre Smartstones.

Selv om det ble oppdaget mangler med Smartstones har det lyktes med å registrere noe data. Et eksempel på registrerte data vil bli presentert i resultatkapittelet.

Det ble også gjennomført innledende forsøk på Smartstones, disse forsøkene er ikke relevante for oppgaven og vil derfor ikke bli omtalt.

3D-skanning

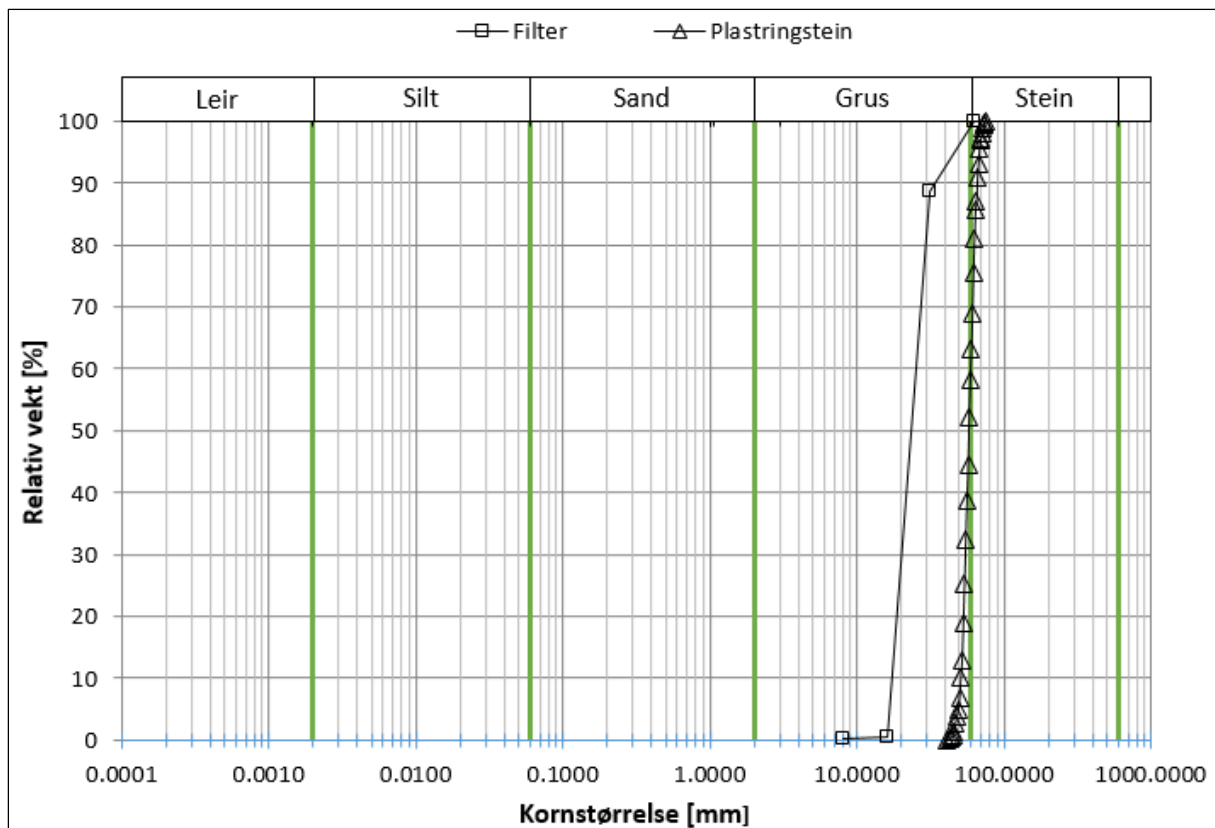
Det ble gjort et forsøk på å 3D-scane plastringen. Det ble derfor installert en travers på toppen av renna. På traversen var det montert en arm som kunne kjøres i alle retninger og som hadde stor nok rekkevidde til å nå hele plastringen. På armen var det plassert en 3D-skanner som skannet inn plastringen etter hver vannføring. 3D-skanneren skannet inn med en bredde på ca. 15 cm. Hastigheten til traversen var på ca. 1 cm i sekundet, så det ble derfor bestemt å kun kjøre 3D-skanneren fra topp til bunn av plastringen en gang, etter hver vannføring av tidsmessige årsaker. Plastringen ble skannet fra topp til bunn, i midten av plastringen og alle de markerte steinene som ble punktinnmålt ble inkludert i skanningen.

Selve behandlingen av dataen som ble generert, bød på problemer og ga derfor ikke de ønskede resultatene. 3D-skanningen vil derfor ikke bli omtalt videre i denne oppgaven, men med mer erfaring kan 3D-skanneren forhåpentligvis kunne benyttes ved senere forsøk.

3.4 MATERIALER

Det ble brukt to typer materialer under forsøket; ett filtermateriale som ble lagt rett på selve modellen, og selve plastringssteinen som ble stablet/lagt over filtermaterialet (se figur 8). Plastringssteinen ble plukket for hånd, mens filtermaterialet kom som en levert fraksjon. Materialene ble analysert slik at eksakte data på størrelse, vekt og massetetthet kunne bestemmes.

Filtermaterialet ble analysert ved å gjennomføre sikteprøver i henhold til NS 8005 – *Geoteknisk prøvning, Laboratoriemetoder, Kornfordelingsanalyse av jordprøver* (Standard Norge, 1990). Denne standarden beskriver metoder for å analysere kornfordelingen i jordprøver. Kornfordelingen ble bestemt gjennom sikting, med en siktesats bestående av bunnpanne, lokk og trådsikter etter ISO 3310-1, med maskevidder: 63 μm , 125 μm , 250 μm , 500 μm , 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 31,5 mm og 63 mm. I følge standarden skal alle korn i en prøve, mindre enn 19mm, vaskes og tørkes i en tørkeovn før sikting. Denne prøven inneholdt stort sett korn større enn 19 mm og den ble derfor ikke tørket i en tørkeovn. Men prøven ble spylt med vann og deretter tørket i vanlig romtemperatur før den ble siktet. Prøven som ble valgt ut til å bli analysert, veide 25,6 kg og ble delt opp i seks ca. like store delprøver. Figur 12 viser kornfordelingskurven som ble utarbeidet etter siktingen.

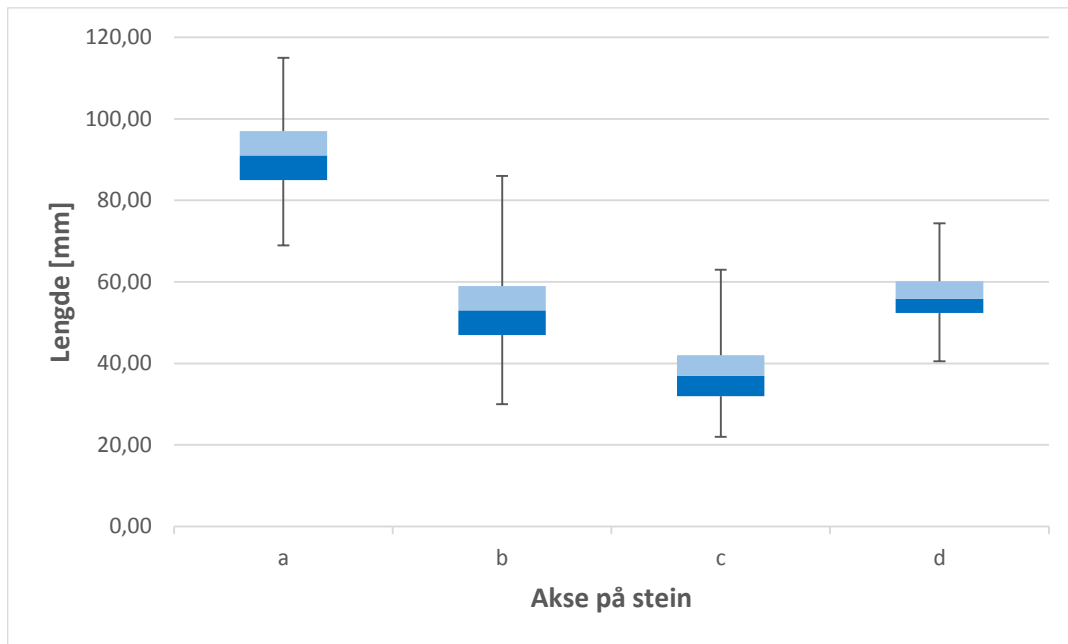


Figur 12: Kornfordelingskurve for filtermaterialet og plastringsteinen.

Plastringsteinene ble analysert ved at en prøve på 500 steiner ble plukket ut. Lengden til akse a, b og c (se kapittel 2.2), ble registrert for samtlige steiner i denne prøven. Dette forgikk manuelt og ble gjort med et skyvelære. Steinene ble også veid. Volumet på 50 av steinene ble også registrert, slik at gjennomsnittlig tyngdetettheten kunne beregnes. Denne ble beregnet til 2712 kg/m^3 .

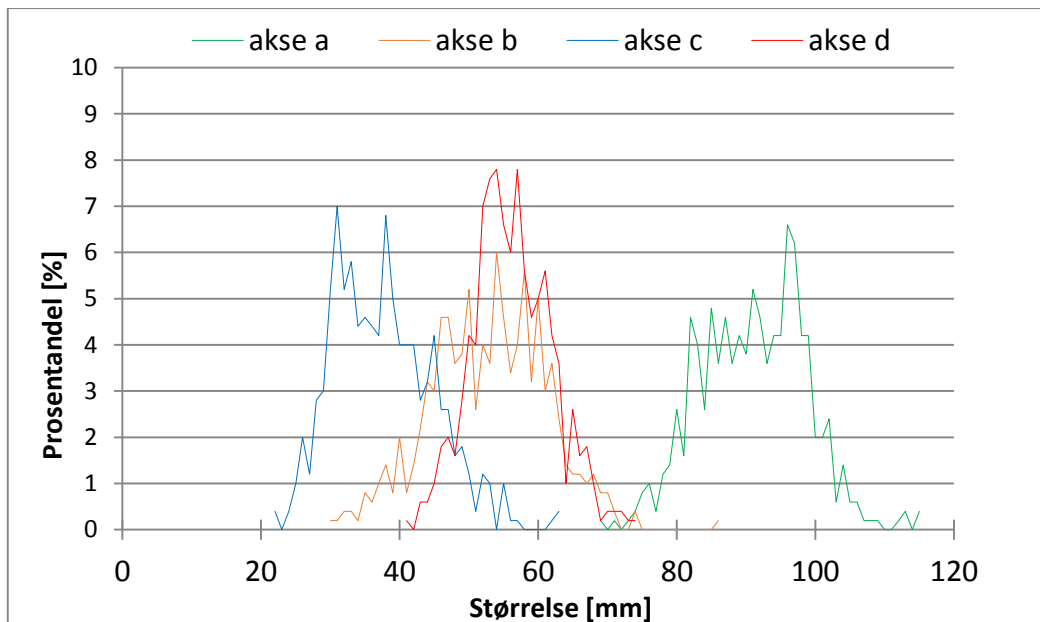
Ut ifra prøven på 500 steiner ble det utarbeidet en kornfordelingskurve som er framstilt i samme diagram som kornfordelingskurven til filtermaterialet. I denne kornfordelingskurven er det akse d som er framstilt. Figur 13 fremstiller lengdene til akse a, b, c og d, i et boksplokk. Som boksplokket viser, ligger akse d ganske nærme akse b.

Medianen til akse d, altså D_{50} , ble beregnet til 57 mm. Korngraderingstallet (C_u), beregnes $C_u = D_{60}/D_{10}$, og for akse d, ble C_u beregnet til 1,16. Materialet er dermed veldig ensgradert, noe som også går fram av kornfordelingskurven i figur 12.



Figur 13: Boksplott over aksene til plastringssteinene

Alle aksene til plastringssteinene er også fremstilt i forhold til hverandre i figur 14. I motsetning til kornfordelingskurvene i figur 12 som er framstilt med tanke på vektfordelingen til materialene, er fordeling i figur 14 basert på størrelsen til steinene. Størrelsen på steinene har blitt rundet av til nærmeste millimeter, og antall steiner på hver størrelse har så blitt regnet om til en prosentandel i forhold til totalt antall steiner (500 stk). Det går fram av figuren at spredningen hos akse d er noe mindre enn de andre aksene.



Figur 14: Viser fordelingen til de forskjellige aksene til plastringssteinene.

Valg av materiale

Kriteriet som ble lagt til grunn når størrelsen til plastringssteinene skulle bestemmes, var at de måtte være små nok til å kunne kjøres til brudd i renna som ble brukt. Samtidig måtte steinene være store nok til å få plass til en Smartstones-sylinder.

Som nevnt i kapittel 2.4, bør sjiktet innenfor det ytterste laget med plastringsstein (filtermaterialet) tilfredsstillende $d_{\min} > D_{\max}/4$, der d er størrelsen til filtermaterialet og D størrelsen til plastringssteinen. Det har her blitt tatt utgangspunkt i akse b, fordi det er denne akse som vil være gjeldende ved sikteprøver. Som boksplottet viser, er maksverdien til akse b, lik 86 mm for plastringssteinene, altså er $D_{\max} = 86$ mm. $D_{\max}/4 = 21,5$ mm. Altså burde minimumsverdien til filtermaterialet (d_{\min}) ikke være mindre enn 21,5 mm, men kornfordelingskurven viser at denne verdien ligger på 8 mm. Dette er derimot bare en veldig liten del (0,35 %) av filtermaterialet. Det aller meste av filtermaterialet har en størrelse på 16-31,5 mm. Filtermaterialet skulle derfor ideelt sett vært noe større ifølge filterkriteriet til veileder for fyllingsdammer, men avviket er ikke veldig stort.

3.5 GJENNOMFØRING/FORBEREDELSE AV FORSØK

Det ble totalt gjennomført seks forsøk. En oversikt over disse er gitt i tabell 1. Selve modellen var konstant hele tiden. Variablene var vannføringsmønster, utleggingsteknikk av plastringsstein og utleggingsteknikk av filtermateriale. Disse variablene er beskrevet senere i dette kapitlet.

Tabell 1: Oversikt over forsøkene som ble gjennomført i forbindelse med denne oppgaven

Forsøk nr.	Steinsikringsteknikk	Filter komprimert/ikke komprimert
1	Plastret steinsikring i forband	Ingen komprimering
2	Plastret steinsikring i forband	Noe komprimering
3	Plastret steinsikring i forband	Ingen komprimering
4	Rauset steinsikring	Ingen komprimering
5	Plastret steinsikring uten forband	Ingen komprimering
6	Plastret steinsikring i forband	Ingen komprimering

For å kunne sammenligne forsøkene med tanke på når de gikk til brudd, har det vært nødvendig med en definisjon på bruddvannføringen. I denne oppgaven er bruddvannføring definert på to måter:

«Første steins-brudd»

Dette er definert som vannføringen der den første plastringssteinen forsvinner fra plastringen. Etter et førstesteins-brudd vil plastringen fortsatt kunne fungere godt som erosjonsbeskyttelse for underliggende lag.

Denne definisjonen gjelder ikke for rauset steinsikring fordi dette er en fleksibel erosjonssikring, hvor det skal være rom for forskyvinger og omplassering av noen steiner (Siebel, 2007)

«Globalt brudd»

Dette er definert som når størsteparten av plastringen forsvinner pga. de hydrauliske kreftene. Etter et globalt brudd vil plastringen ha mistet all evne til å beskytte underliggende lag.

Der ikke annet er spesifisert, vil betegnelsen «brudd», bli brukt om globalt brudd, videre i oppgaven.

Gjennomføring av forsøk

For å sørge for at ingen elementer i forberedelsene og gjennomføringen av forsøkene skulle bli glemt, ble det utarbeidet en forsøksprotokoll. Forsøksprotokollen omhandlet hvordan plastringen skulle gjennomføres, hvordan forsøkene skulle forberedes og gjennomføres, og saker som måtte gjøres etter at forsøkene var ferdige. Denne forsøksprotokollen ligger i vedlegg C.

Kort oppsummert gikk selve gjennomføringen av forsøkene for seg på denne måten: Før vannet ble satt på (se kapittel 3.5.3 for mer info om vannføringen), ble plastringen nøye dokumentert ved at punkttinnmålinger ble gjennomført, bilder ble tatt, videokameraene ble slått på og plastringen ble skannet inn. Vannføringen ble så skrudd opp og stod som regel i en time før den ble skrudd av igjen, med mindre plastringen gikk til globalt brudd innen denne timen var omme. Mens vannføringen stod og gikk, ble det utført hastighetsmålinger. Disse målingene ble som regel utført 45 minutter ut i kjøringen.

Etter at vannet var skrudd av, ble plastringen dokumentert på samme måte som før vannet ble satt på. Denne rutinen gjentok seg helt til plastringen gikk til globalt brudd. Ved mistanke om «førstesteins-brudd», ble vannet skrudd av, slik at bruddet kunne bekreftes/avkreftes. Vannet ble så skrudd på igjen og fortsatte tidsmessig der det slapp.

Det ble ført en forsøkslogg for alle forsøkene. I denne loggen ble alle hendelser skrevet ned, slik at man enkelt kunne gå tilbake ved senere anledninger for å sjekke detaljer fra forsøket. Forsøksloggen til samtlige forsøk ligger i vedlegg B1 – B2.

Smartstonsene ble også operert gjennom forsøkene. Dette ble gjort av undertegnede.

3.5.1 Steinsikrings-teknikker

Steinsikringen ble utført på tre forskjellige måter. Disse er beskrevet under.

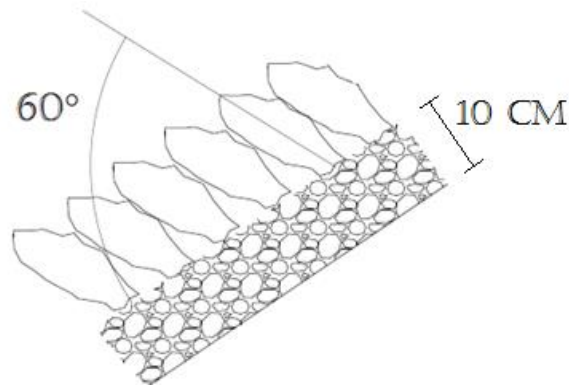
Plastret steinsikring i forband

Denne teknikken brukes på nye fyllingsdammer. Prinsippet er at hver stein blir lagt slik at de får flere kontaktpunkter med de andre steinene, og blir låst fast pga. dette. Dette kalles forband, og formålet er at steinene får en høyest mulig uttrekningskraft. Det er også ønskelig at overflaten til plastringen er så glatt som mulig og at det ikke finnes mange utstikkende steiner. Eventuelle utstikkende steiner vil bli utsatt for en ekstra stor løftekraft og dragkraft, og kan dermed bli svake punkter i plastringen.



Figur 15: *Plastring med forband. Bildet til venstre viser plastringen sett oven ifra, bildet til høyre viser et utsnitt av plastringen sett fra siden. Fra forsøk nr.2*

Steinene ble lagt en og en, for hånd. For å utføre arbeidet på en mest mulig lik måte som ved en virkelig plastring, der plastringssteinene blir lagt med gravemaskin, ble det ikke brukt mye kraft ved utlegging. Plastringssteinene ble forsøkt lagt med en vinkel på 60 grader, sett i forhold til skråplanet til modellen (se figur 16). Tidligere forsøk har vist at desto større vinkel på plastringssteinen, desto sterkere plastring. Men vinkler særlig større enn 60 grader gjør det vanskelig for en gravemaskinfører å plastre i virkeligheten og dette blir derfor en begrensende faktor (Langaker, 2013).



Figur 16: *Plastringssteiner lagt med 60 graders helning forhold til skråplanet til modellen. Filterlaget har en tykkelse på 10 cm. Størrelse-forholdet mellom filtermaterialet og plastringssteinene stemmer ikke på denne figuren.*

Plastret steinsikring uten forband

Også ved denne teknikken ble steinene blitt lagt en og en, for hånd. Men det har blitt forsøkt å legge plastringen på en slik måte at man unngår effekten av forband. Dette er gjort ved å legge steinene i faste rader (se figur 17). Her ble også plastringssteinene forsøkt lagt med en vinkel på 60 grader, sett i forhold til skråplanet til modellen. Denne teknikken ble benyttet for å kunne se effekten av forband i plastringen.



Figur 17: *Plastret steinsikring uten forband. Fra forsøk nr.5.*

Rauset steinsikring

Her er ikke steinene stablet i mønster, men lagt tilfeldig utover. Denne teknikken ble brukt for å kunne sammenligne rauset steinsikring med den plastrede steinsikringen og med litteraturen. Se figur 18 for eksempel på rausa steinsikring.

Fordi rauset steinsikring er en fleksibel erosjonssikring og det skal være rom for forskyvinger og omplussing av noen steiner, vil ikke punkttinnmålinger bli gjennomført på forsøk 4, som består av rauset steinsikring.



Figur 18: Rausa steinsikring. Fra forsøk 4.

Feilkilder under bygging av steinsikring

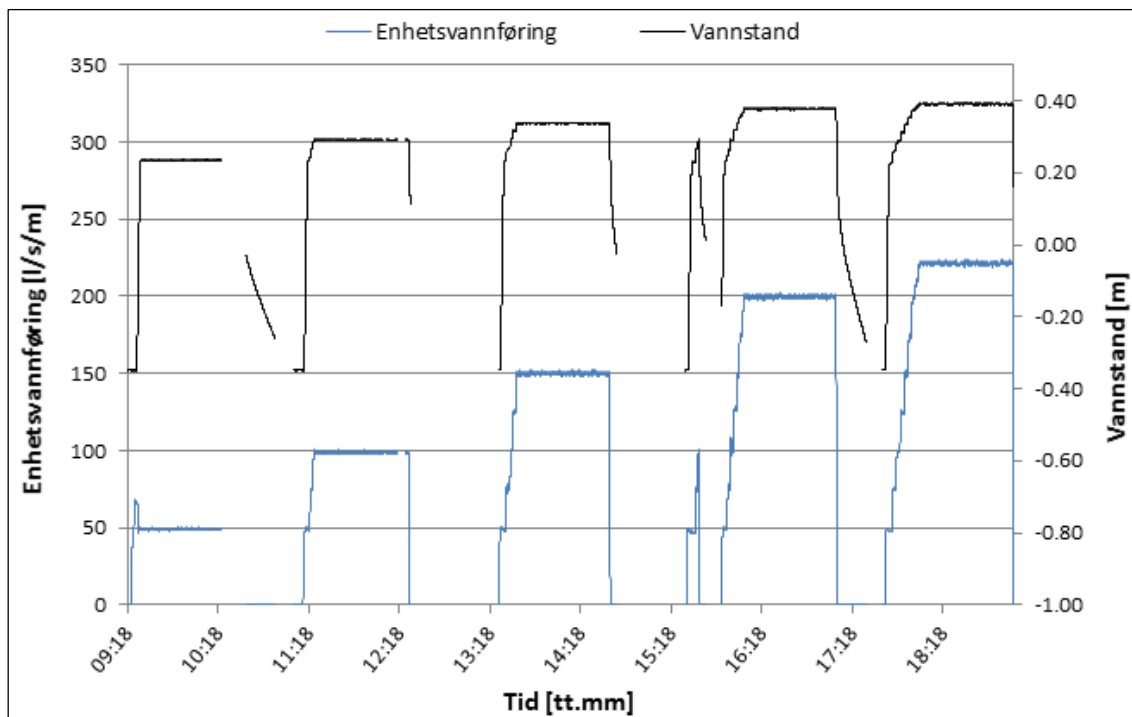
En stor feilkilde når det gjelder resultatene her, er personen som bygger plastringen. Totalt tre personer var involvert i byggingen av steinsikringene. Person 1 bygde opp steinsikring 1, 5 og 6. Person 2 bygde opp steinsikring 2 og 3, mens person 3 bygde opp steinsikring 4. Under bygging av plastringen ble det utført kontroll av plastringen underveis, slik at plastringen skulle bli best mulig utført. Kontrollen ble utført av en av de to personene som ikke bygde steinsikringen.

3.5.2 Utlegging av filtermateriale

Plastringssteinene ble plassert på et 10 cm tykt lag med filterstein (se figur 16). Filterlaget hjelper til med å holde plastringssteinen stabil og gir en god etterligning av hvordan plastring ville vært lagt i virkeligheten (Falkenberg, 2013). Filtermassen ble skuffet rett på modellen og jevnet ut slik at plastringssteinen skulle få en jevn overflate å ligge på. Under de fleste forsøkene ble filtermasse ikke komprimert, kun jevnet ut. I forsøk 2 ble filtermassen derimot lettere komprimert ved bruk av en plankebit som ble presset mot filtermassen ved hjelp av håndkraft. Dette førte til en litt tettere filtermasse enn ved de andre forsøkene.

3.5.3 Vannføringsmønster

Vannføringsmønsteret varierte mye fra forsøk til forsøk. Både hva angår tidsaspektet for de forskjellige vannføringene og for hvilke vannføringer som ble brukt. Vannføringen har blitt registrert for alle for forsøkene og blitt plottet sammen med vanndybden. Disse vannføringskurvene finnes i vedlegg B1 – B6. I figur 19 er det vist et eksempel på en vannføringskurve (fra forsøk 2). Tabell 3 i resultat kapittelet viser en oversikt over hvilke vannføringer som ble brukt på de forskjellige forsøkene.



Figur 19: Vannførings- og vannstandskurve fra forsøk 2. X-aksen viser reell tid.

Fordi det ikke ble registrert data imellom vannføringene er kurvene stykkevis som figur 19 viser. Den blå grafen viser enhetsvannføringen og det kommer tydelig fram hvordan vannføringen har foregått. I dette tilfellet har vannføringen startet på 50 l/s/m og deretter økt til

100, 150, 200 og 220 l/s/m. Hver vannføring har foregått i ca. en time. Grafen viser også at oppkjøringen har gått gradvis.

Ved oppkjøringen til 200 l/s/m, har det gått et første steins-brudd og vannføringen har derfor blitt skrudd av. Vannføringen ble deretter kjørt opp til 200 l/s/m som planlagt.

Vannføringsmåleren registrerte data med en frekvens på 10 Hz, det vil si at 10 datapunkter kom inn hvert sekund. Vannføringskurvene er plottet med datapunkter hvor et punkt tilsvarer gjennomsnittet av 10 datapunkter. Dvs. at vannføringskurven har blitt plottet med et punkt per sekund.

Som nevnt tidligere, varierte vannføringsmønsteret fra forsøk til forsøk. I forsøk 1, ble det testet ut litt forskjellige vannføringer for å finne ut omtrentlig hva plastringen tålte. I dette forsøket ble de fleste vannføringene kjørt i 30 minutter. Dette ble oppjustert til en time for de resterende forsøkene. Vannføringene som ble valgt i forsøk 2-6, tok utgangspunkt i svarene som forsøk 1 ga, og ble justert etter hver vannføring, avhengig av hvordan forskyvningene i plastringen utviklet seg. Hvis punktinnmålingene viste store forskyvninger etter en vannføring, ble ikke neste vannføring økt mye i forhold til forrige vannføring. Det skal sies at det var vanskelig å anslå når plastringen skulle gå til globalt brudd og dette gjenspeiler seg i vannføringsmønsteret som ble brukt i de forskjellige forsøkene.

Når vannet ble skrudd på, ble det som regel skrudd på gradvis. Ofte med steg på 20 eller 25 l/s/m og 2 minutters pause mellom hvert steg. Forsøksloggene i vedlegg B1 – B6, beskriver i detalj hvordan oppkjøringen av vannføringen til de forskjellige forsøkene foregikk.

4 RESULTATER

4.1 BRUDDVANNFØRINGER

Tabell 2 gir en oversikt over de forskjellige bruddvannføringene, både for førstesteins brudd og globalt brudd. Den første verdien angir den høyeste vannføringen som plastringen klarte en hel kjøring på. Verdien i parentes angir hvilke vannføring som ble kjørt, da plastringen gikk til brudd. Tabell 2 gir også en oversikt over antall stein som ble revet løs før globalt brudd inntraff.

For flere av førstesteins bruddene som gikk, var det vanskelig å avgjøre hvilken vannføring som ble kjørt akkurat da det skjedde. Ofte kom bruddet i det vannføringen var på vei oppover, og det har da vært vanskelig å vite eksakt når steinen har løsnet. Vannføringene for førstesteinsbrudd gitt i parentes kan derfor være noe unøyaktig.

Tabell 2: Oversikt over bruddvannføring og antall plastringssteiner som ble revet løs fra plastringen før globalt brudd inntraff.

Forsøk	Vannføring ved første steins brudd [l/s/m]	Vannføring ved globalt brudd [l/s/m]	Antall steiner revet løs fra plastringen før globalt brudd
1	50 (100)	240 (225)	15
2	150 (100)	340 (360)	19
3	-	200 (250)	0
4	-	20 (30)	-
5	-	0* (75)	0
6	100(200)	400 (400)	42

* Forsøk 5 gikk til globalt brudd ved oppkjøring til første vannføring. Første vannføring var planlagt å være 100 l/s/m, men plastringen røk ved en vannføring på 75 l/s/m.

Forsøk 4 var bygd opp med rauset steinsikring, og første steins-brudd er derfor ikke registrert her fordi en rauset steinsikring skal kunne ha rom for enkelte forskyvninger, som nevnt i kapittel 3.5. I forsøk 3 og 5 gikk ikke første steins-bruddet før det globale bruddet inntraff og tabell 2 har derfor ikke noe verdi for disse tilfellene heller.

Antall stein som ble revet løs fra plastringen, spriker veldig fra forsøk til forsøk, og det er få trender å spore. Det er allikevel verdt å merke seg at for forsøk 1 og 2, har ca. like mange steiner blitt revet løs fra plastringen før globalt brudd har inntruffet. Forsøk 3 og 5 har begge gått til globalt brudd uten at enkelt stein har forsvunnet fra plastringen. Forsøk 4 var bygget opp som rauset steinsikring og eventuelle enkeltsteiner som har forsvunnet her, har ikke blitt registret

Tabell 3 gir en oversikt over hvilke vannføringer som ble brukt for de forskjellige forsøkene og hvor lenge de ble kjørt. Verdiene viser hvor lenge vannføringen forgikk (angitt i timer). Det er kun vannføringene som ble kjørt i full lengde, som har blitt registrert i tabell 3. For de tilfellene der forsøket gikk til globalt brudd mens en vannføring ble kjørt, har altså ikke denne vannføringen blitt registrert i tabell 3. Forsøk 5 gikk til brudd på veg opp til første vannføring og står derfor ikke bokført med noen vannføring i tabell 3.

Helt i bunn av tabellen er den totale mengden vann som ble kjørt over modellen for hvert forsøk oppgitt. Fordi det kun er registrert vannføringer som ble kjørt i full lengde i tabell 3, vil ikke den totale mengde vann være helt nøyaktige, men fungere som et godt estimat.

Tabell 3: *Vannføringshistorikk for de forskjellige forsøkene. Verdiene er gitt i timer.*

Forsøk nr.	1	2	3	4	5*	6
Vannføring[l/s/m]						
6				1		
7	1					
12	1					
20				1		
50	1	1				
100	0,5	1				1
120	0,5					
140	0,5					
150		1				
160	0,5					
180	0,5					
200	0,5	1	1			1
220	0,5	1				
240	0,5	1				
250						1
260		1				
280		1				
300		1				1
320		1				
340		1				
350						17
400						4
Total vannmengde [m³]	2696	8856	720	94	-	30240

* Forsøk 5 gikk til globalt brudd ved oppkjøring til første vannføring og fikk derfor ikke kjørt noen vannføringer i full lengde.

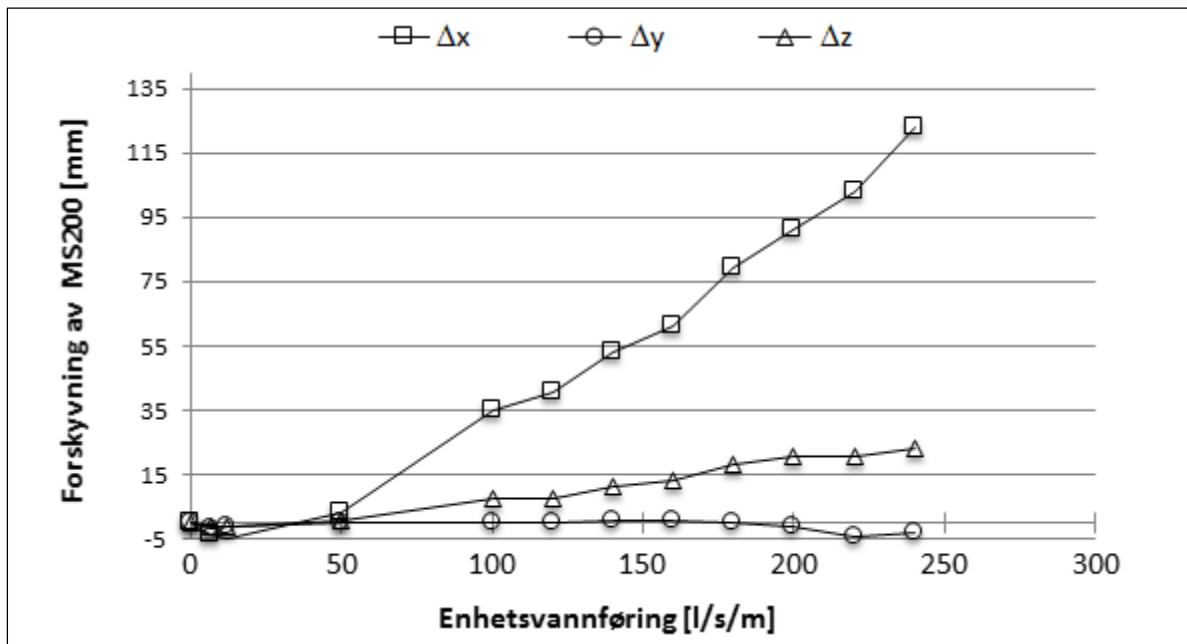
Vannføringshistorikken til forsøk 6, skilte seg litt fra de andre vannføringene fordi plastringen ikke gikk til globalt brudd før maks vannføringskapasitet (400l/s/m) var nådd. Etter at den maksimale vannføringen var nådd, ble det forsøkt å kjøre med en vannføring på 350 og 400 l/s/m over lengre tid, for å få et globalt brudd. Etter ca. 17 timer på 350 l/s/m og ca. 4 timer på 400 l/s/m, gikk plastringen til brudd. Vannføringskurvene i vedlegg B1 – B6 beskriver vannføringshistorikken i detalj.

4.2 FORSKYVNINGER

Resultatene for forskyvningene baserer seg først og fremst på punktinnmålingene som ble gjennomført. Bilder og video har også vært nyttige hjelpemidler for å analysere forskyvningene. Noe av resultatene fra Smartstones dataene vil også bli framstilt for å illustrere hvordan det kan disse resultatene kan se ut

Hovedfokuset vil ligge på x-aksen, men også resultater fra z-aksen vil bli framstilt. Y-aksen ansees som mindre viktig og vil ikke få like mye oppmerksomhet i denne oppgaven. Dette kommer av at de hydrauliske kreftene hovedsakelig virker i x- og z-retning. Dette illustreres blant annet i figur 20, der forskyvningene i x, y og z retning er fremstilt for MS200 (se figur 10 for definisjon på MS) i forsøk 1. Figuren viser forskyvningene som ble innmålt etter hver vannføring, som en kumulativ graf. F.eks. kan man se at total forskyvning i x-retning var 125 mm, før plastringen gikk til brudd.

Forskyvningene til MS200 i x- og z-retning er ganske klare, mens forskyvningen i y-retning ligger rundt 0 mm. Dette er typisk for de andre steinene og forsøkene også, noe som illustreres i tabell 4 som gir en oversikt over alle de siste innmålte forskyvningene før brudd.



Figur 20: Forskyvningene til MS200 under forsøk 1. Forskyvningene er gitt i mm.

Som nevnt i metode kapittelet, ble de markerte steinene målt inn etter hver vannføring. Når en plastring gikk til brudd er det dermed forskyvningen som ble innmålt før den siste vannføringen ble slått på, som har blitt stående som siste innmåling. Forskyvningene akkurat før plastringen går til brudd, vil derfor ikke fremkomme av resultatene i denne oppgaven.

Forsøk 5 gikk til brudd på den første vannføringen og det ble derfor ikke målt inn noen forskyvninger for dette forsøket. Forsøk 4 bestod av en rauset steinsikring og her ble det som nevnt tidligere, ikke gjennomført punktinnmålinger. Det vil derfor kun bli fremstilt forskyvningsresultater fra punktinnmålinger for forsøk 1, 2, 3 og 6.

MS1800 ligger helt i bunn av plastringen og har derfor ingen mulighet til å bevege seg i x-retning. Pga. dette vil ikke MS1800 bli omtalt videre i denne oppgaven.

Tabell 4 viser at forskyvningene i x-retning blir større og større desto nærmere knekningspunktet steinene ligger. Unntaket er MS-200 der forskyvningene er relativt små. Det er også interessant at x-forskyvningen til MS0, er tilnærmet lik i forsøk 1, 2 og 6. Det er verdt å merke seg at MS-200 har negative verdier i z-retning for samtlige forsøk.

Tabell 4: Oversikt over siste innmålte forskyvningene før brudd. *1x betyr forskyvningen i x-retning for forsøk 1. Verdiene er gitt i mm.*

Forskyvning	1x	2x	3x	6x	1y	2y	3y	6y	1z	2z	3z	6z
Stein nr.												
MS-200	46	17	10	32	12	-1	0	-8	-29	-3	-7	-10
MS0	110	106	65	108	-7	6	12	4	9	34	17	15
MS200	125	89	68	98	-4	10	1	12	21	16	14	28
MS600	81	70	50	79	3	-2	0	6	15	32	18	19
MS1000	55	39	29	52	-2	4	-12	10	17	31	31	19
MS1400	29	32	12	20	-2	6	2	-2	16	27	14	17

4.2.1 Forskyvninger i x-retning

Figur 21 og figur 22 viser bilder av plastringen til forsøk 3. Her har den blitt avbildet etter en hydraulisk belastning på 200 l/s/m, i en time. I knekningspunktet har plastringen nærmest åpnet seg opp, og ført til at plastringen har delt seg i to deler.

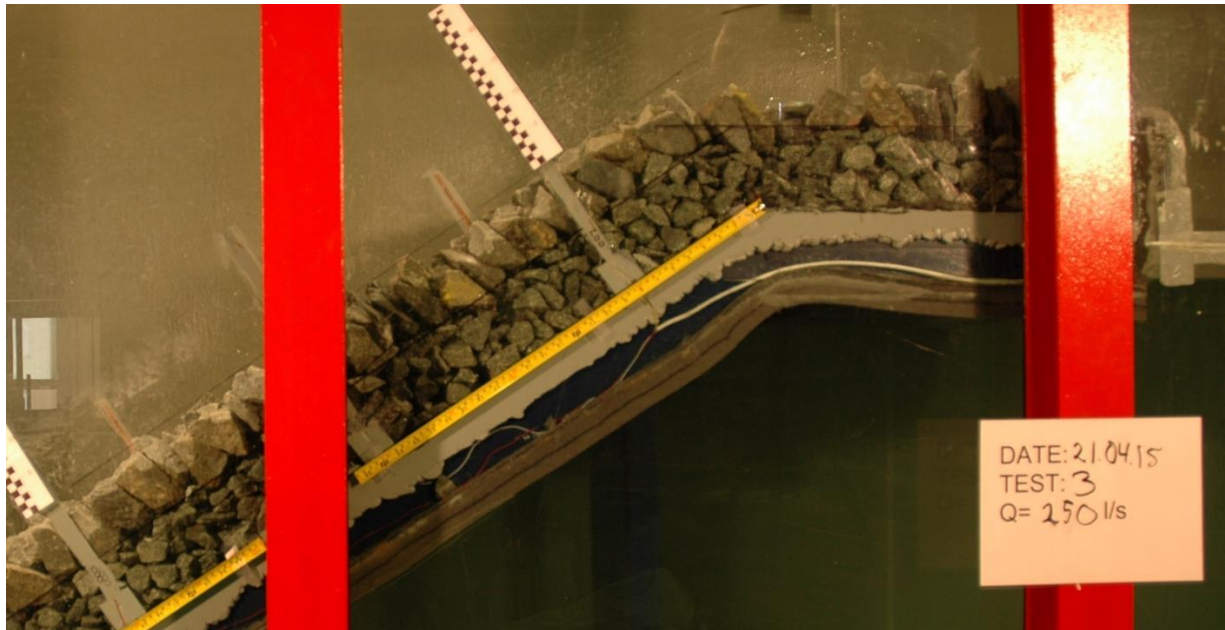


Figur 21: Kroma til plastringen etter en hydraulisk belastning, sett oven ifra (forsøk 3).

Forskyvningene som en ser her, er også veldig typisk for de andre forsøkene som hadde steinsikring utført som plastring med forband (forsøk 1, 2, 3 og 6). Alle disse forsøkene gikk til globalt brudd ved at laget med plastringsstein i knekningspunktet, nærmest åpnet seg opp, og

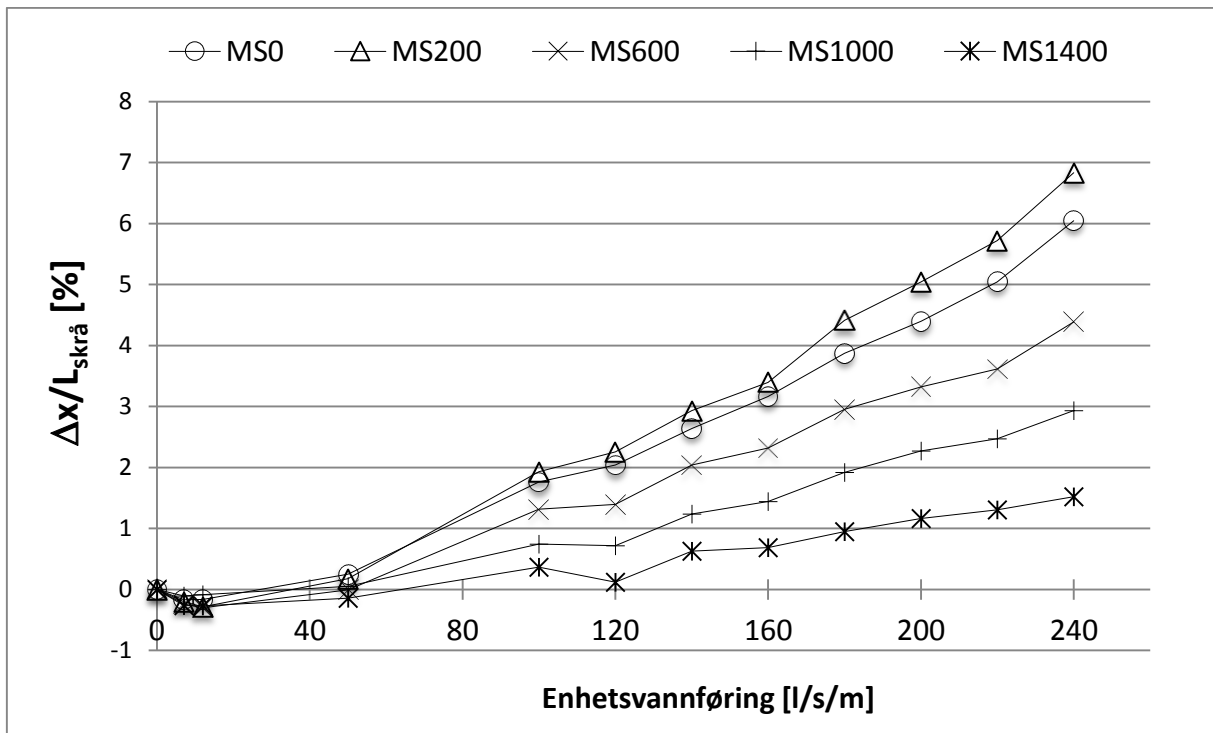
deretter ble den øverste delen av skråningsvernet skylt vekk, før også de nedre delene av skråningsvernet ble skrelt av, steg for steg. Selve bruddet tok kun få sekunder.

For forsøk 4, som ble utført som rauset steinsikring, utviklet det globale bruddet seg annerledes. I stedet for at steinene i skråningsvernet ble skrelt bort stegvis, gikk hele plastringen til globalt brudd så å si samtidig, ved at alle steinene som lå i skråningsvernet skled vekk som en sammenhengende enhet. Forsøk 5 som var utført som plastret sikring uten forband hadde en bruddutvikling som var en kombinasjon av de to sistnevnte bruddutviklingene.



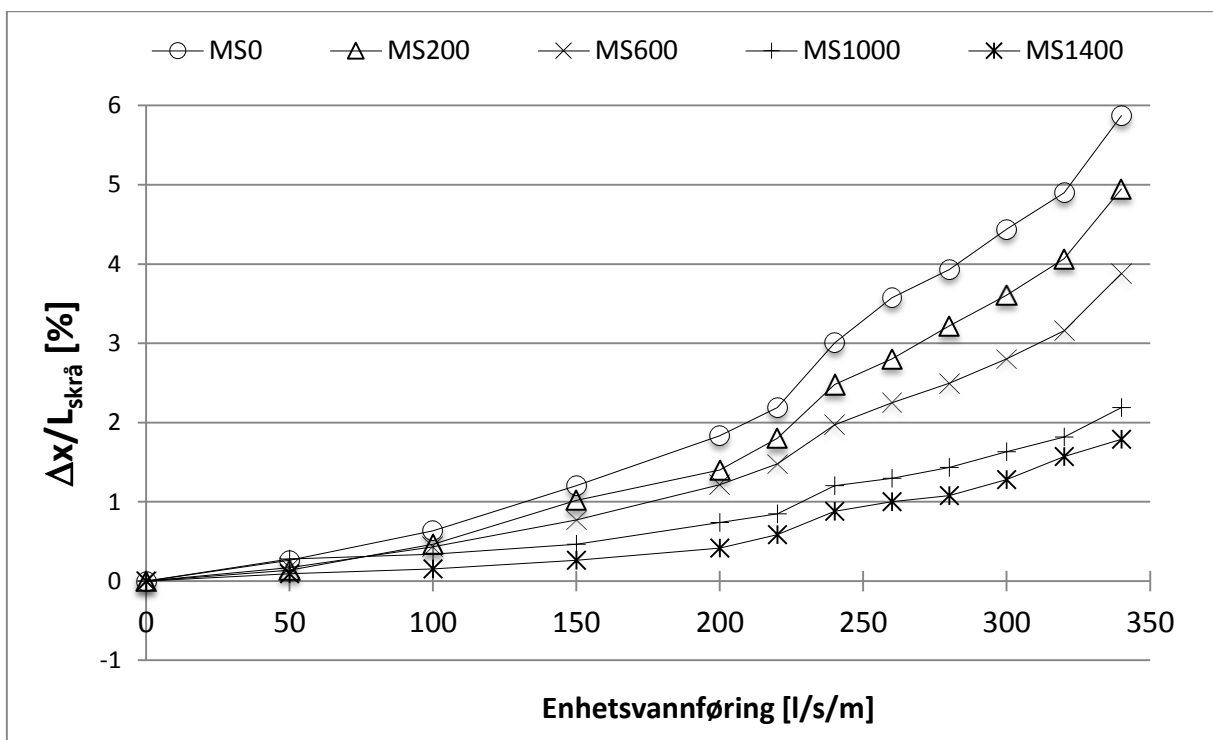
Figur 22: Plastringen etter en hydraulisk belastning, sett fra siden (forsøk 3).

Figur 23 og figur 24 fremstiller de relative forskyvningene i x-retning, til de forskjellige steinene i forsøk 1 og 2. For å kunne sammenligne forskyvningene med andre studier innen plastring, har forskyvningene blitt regnet over til prosent i forhold til lengden av skråningsvernet ($L_{\text{skrå}}$). Denne lengden er 1800 mm (se figur 8 for mer info). Det ble valgt å kun bruke lengden til skråningsvernet og ikke inkludere lengden til kronevernet ($L_{\text{horisontal}}$). Dette er fordi plastringen nærmest delte seg i to deler som nevnt tidligere, og det var derfor naturlig å betrakte de to delene hver for seg. MS-200 som ligger i kronevernet, er derfor ikke inkludert i figur 21 og figur 22. Forskyvningene til MS-200 er kun gitt i tabell 4.



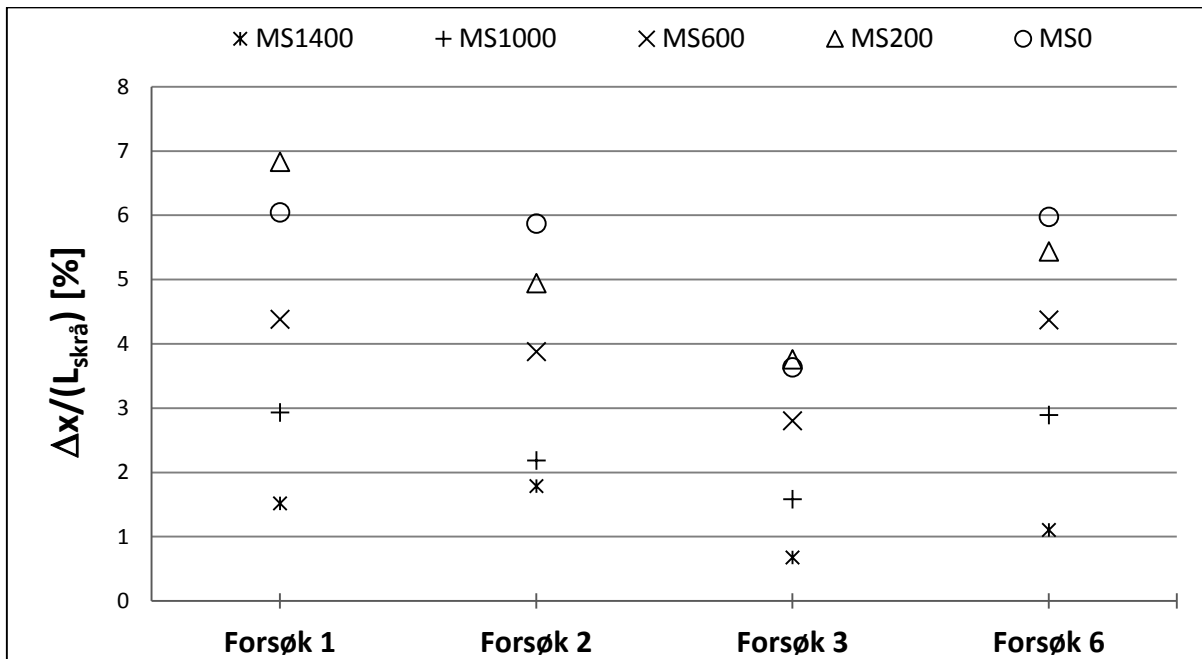
Figur 23: Relative x-forskyvninger i forhold til $L_{skrå}$. Fra forsøk 1

Forskyvningene som figur 23 og figur 24 viser, er typiske for resten av forsøkene også (se vedlegg A for tilsvarende grader for forsøk 4 og 6). For steinene som ligger i skråningsvernet, øker forskyvningene, jo lengre opp i plastringen steinene ligger. Altså øker forskyvningene desto nærmere null-punktet til x-aksen steinene ligger. Forskyvningene øker med økende vannføring og vannmengde.



Figur 24: Relative x-forskyvninger i forhold til $L_{skrå}$. Fra forsøk 2.

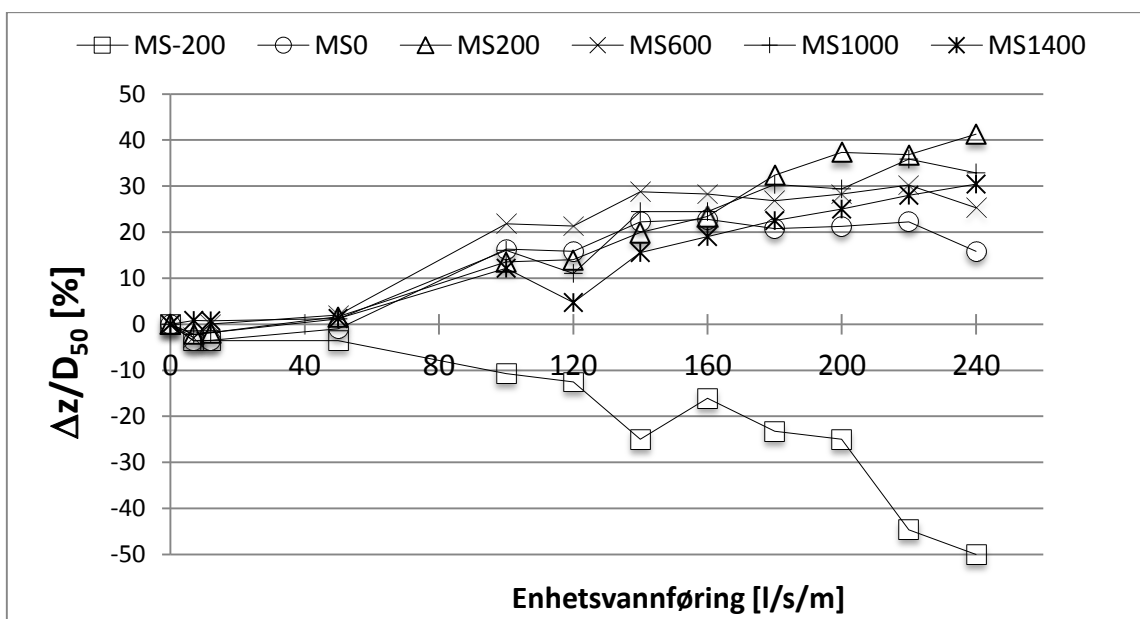
Figur 28 viser de siste innmålte x-forskyvningene før plastringen gikk til brudd, for forsøk 1, 2, 3 og 6, og gir dermed en oppsummering av forskyvningene i x-retningen. Også her er forskyvningene relativt til $L_{skrå}$.



Figur 25: Oversikt over siste innmålte x-forskyvninger før plastringen gikk til brudd for forsøk 1, 2, 3 og 6. Forskyvningene er relative i forhold til $L_{skrå}$.

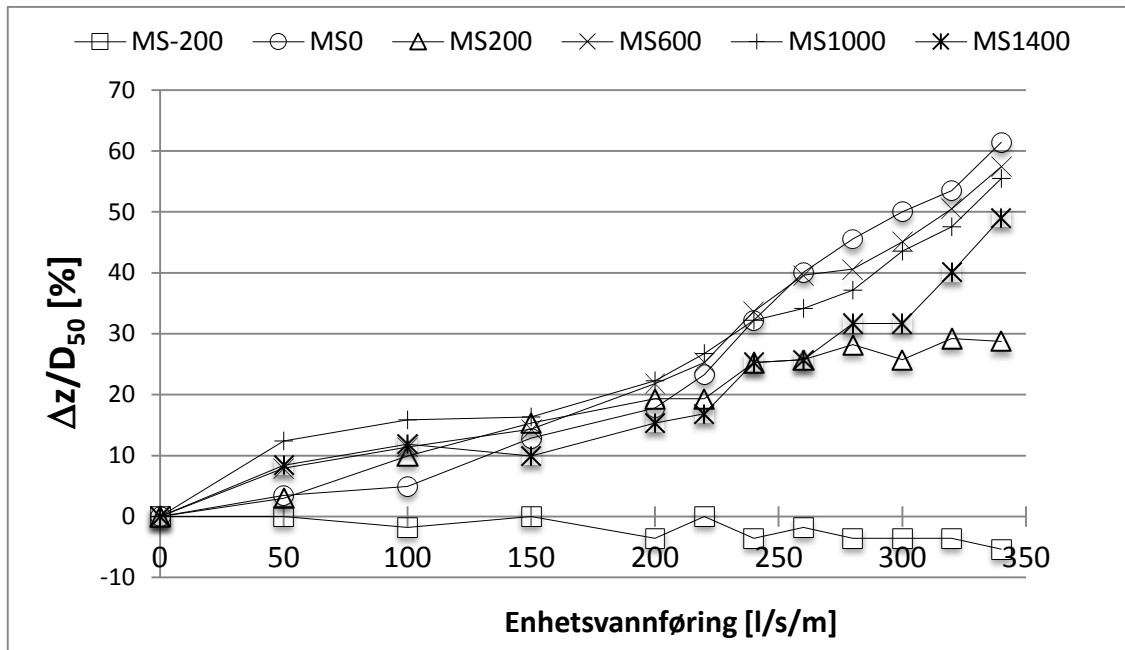
4.2.2 Forskyvninger i z-retning

Z-verdiene har også blitt regnet ut til et dimensjonsløst tall for å kunne sammenligne resultatene med andre studier. Her er forskyvningene blitt regnet om til prosent i forhold til D_{50} , til akse d (57 mm). En forskyvning på 57 mm, tilsvarer altså en 100 % forskyvning.



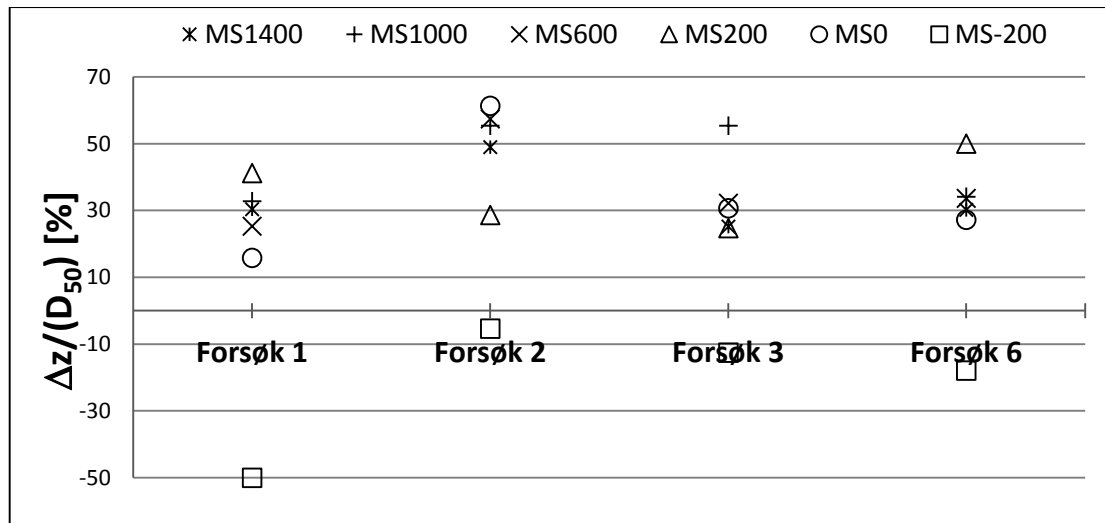
Figur 26: Relative z-forskyvninger i forhold til D_{50} til akse d. Fra forsøk 1

Figur 26 og figur 27 viser forskyvningene i z-retningen, for henholdsvis forsøk 1 og 2. Den steinen som tydelig skiller seg ut, er MS-200. Her går forskyvningene i negativ retning, dvs. at det målte punktet, forskyver seg «innover», i retning filtermassen. Forskyvningene til de andre steinene er positive og de forskyver seg dermed «utover», i motsatt retning av filtermassen. Forskyvningene som figur 26 og figur 27 viser er ganske typiske for resten av forsøkene også (se vedlegg A for tilsvarende figurer for forsøk 3 og 6). Verdiene varierer noe, men for de andre forsøkene er også forskyvningene til MS-200 negative, mens forskyvningene til de andre steinene er positive. Dette går fram av figur 28 som summerer opp forskyvningene i x-retning for forsøk 1, 2, 3 og 6.



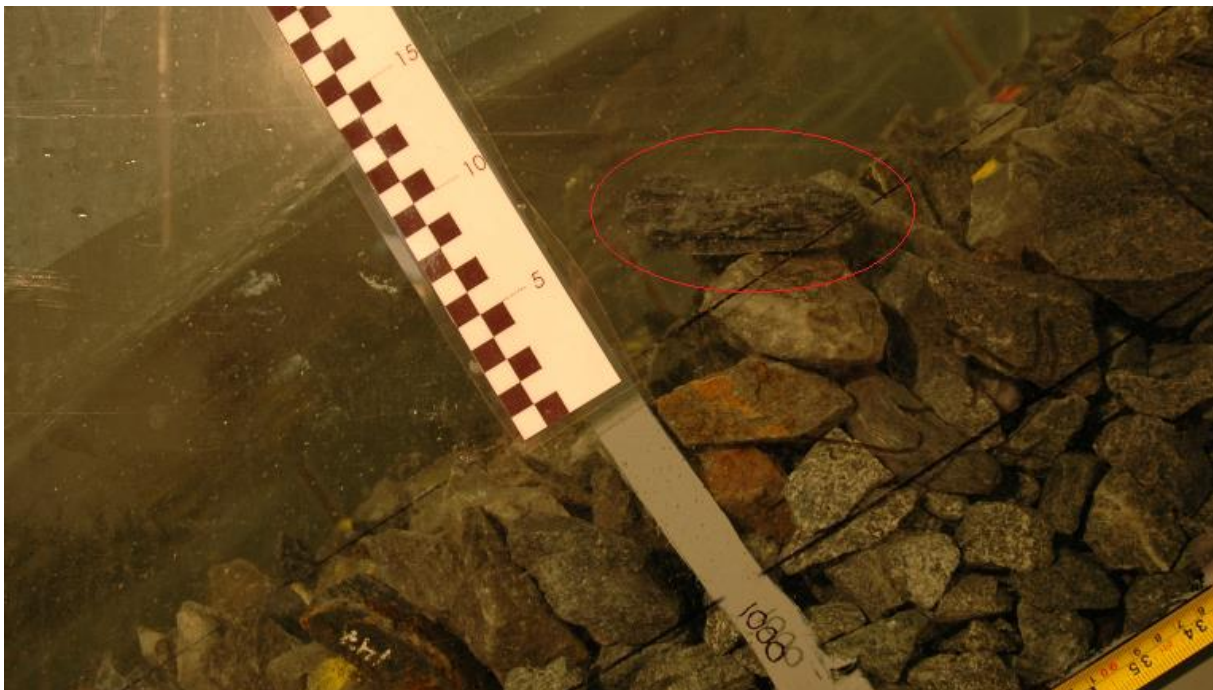
Figur 27: Relative z-forskyvninger i forhold til D_{50} til akse d. Fra forsøk 2.

Figur 28 viser de siste innmålte forskyvningene før plastringen gikk til brudd, for forsøk 1, 2, 3 og 6, og gir dermed en oppsummering av forskyvningene i z-retningen. Også her er alle forskyvningene gitt som en prosent i forhold til D_{50} , til akse d. Det er verdt å merkes seg at MS-200 har i forsøk 1, fått en vesentlig større forskyvning enn i de andre forsøkene



Figur 28: Oversikt over siste innmålte z-forskyvninger før plastringen gikk til brudd, for forsøk 1, 2, 3 og 6. Forskyvningene er relative i forhold til D_{50} til akse d.

Som nevnt tidligere forsvant det enkeltsteiner fra plastringen under kjøringen av forsøkene (se tabell 2 for antall stein som forsvant). Det forsvant steiner fra hele plastringen, og det var ingen deler som pekte seg ut som spesielt utsatt, når det gjaldt erosjon av enkelt steiner. Som figur 26 og figur 27 viser, skjedde forskyvningen i z-retning gradvis, for de steinene som ble punktinnmålt. Figur 29 viser en stein på vei ut av plastringen, like før den blir dratt ut av de hydrauliske kreftene. Da steinene ble dratt ut, etterlot de seg hull i plastringen.



Figur 29: Plastringsstein på vei ut av plastringen. Fra forsøk 6

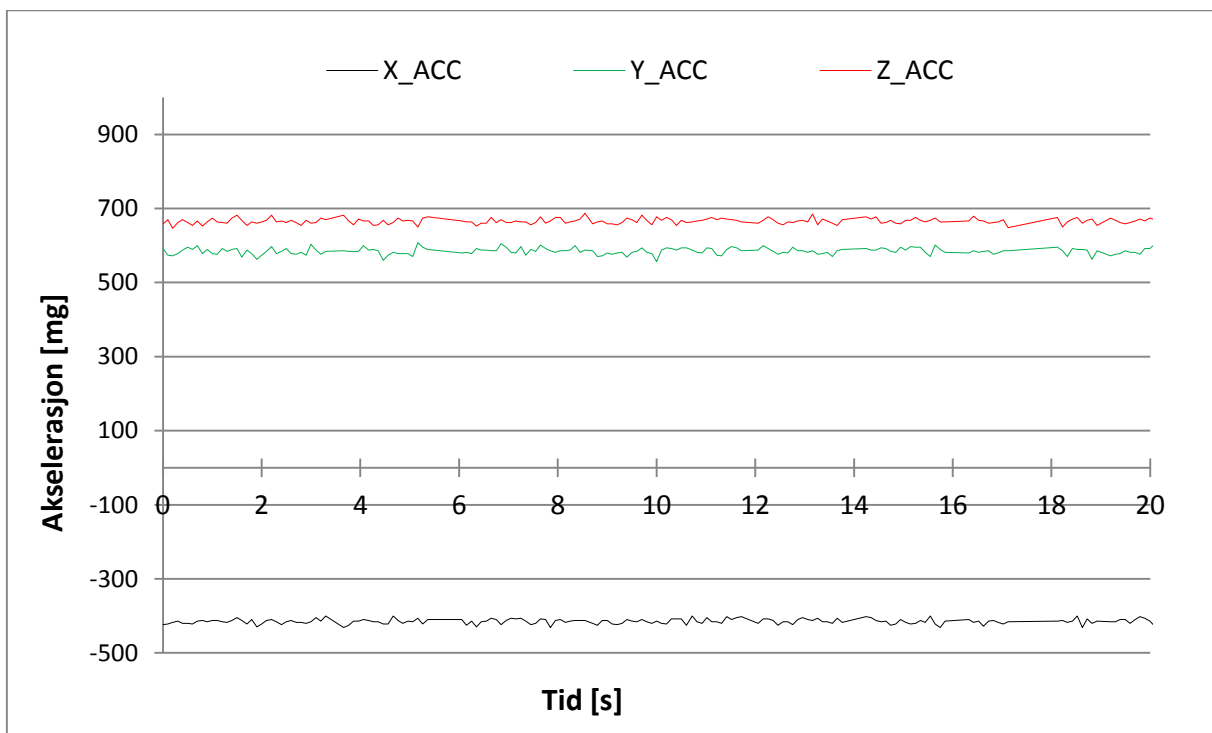
4.3 HASTIGHETSMÅLINGER

Som beskrevet i kapittel 3.3.2, har hastigheten til de forskjellige vannføringer blitt estimert ut i fra saltmålingene og bildene som ble tatt under forsøkene.

Ved veldig lave vannføringer (10-40 l/s/m), renner tilnærmet alt vannet igjennom plastringen og filtermaterialet, og hastigheten blir dermed relativ lav. Det ble estimert at hastigheten her ligger på ca. 0,3 m/s (på bakgrunn av saltmålingene). Ved 50 l/s/m begynner noe av vannet å renne over plastringen, og det er nå hastigheten til vannet som renner over plastringen som har blitt beregnet. Denne hastigheten vil være vesentlig høyere enn hastigheten til vannet som renner igjennom plastringen og filtermassen. Ved vannføringer mellom 50 - 400 l/s/m, er det anslått at hastigheten ligger et sted mellom 1-4 m/s, der hastigheten øker med økende vannføring.

4.4 SMARTSTONES

Som beskrevet i kapittel 3.3.3, fungerte ikke Smartstones veldig bra. Det ble allikevel registrert noe data. Figur 30 viser et utdrag av dataene som ble registrert under forsøk 1. Sensoren kan måle akselerasjon i tre retninger og dette er plottet i figuren under. Den vertikaleaksen viser akselerasjonen, gitt i milli g, mens den horisontaleaksen viser tiden i sekunder. Som grafene viser, varierer akselerasjonsverdiene noe. Dette kan tyde på at Smartstone har ligget å vibrert. Det ble dessverre ikke registrert noe data fra Smartstones, i det selve bruddet gikk.



Figur 30: Data fra akselerometeret til Smartstone som lå ved x-koordinaten 1000 mm (MS1000). Fra forsøk 1.

5 DISKUSJON

5.1 BRUDDVANNFØRINGER

Plastret steinsikring lagt i forband vs. rauset steinsikring

Resultatene viser at det er stor forskjell på bruddvannføringen til forsøkene. En ting som peker seg spesielt ut, er forskjellen mellom plastret steinsikring lagt i forband, og rauset steinsikring. Forsøk 4 som ble utført som raust steinsikring, gikk til globalt brudd ved 20 l/s/m (se tabell 2). For forsøk 1, 2, 3 og 6, som alle ble utført som plastret steinsikring med forband, lå bruddvannføringen på mellom 200 l/s/m og 400 l/s/m. Forsøk 4 gikk til globalt brudd etter at en vannmengde på ca. 94 m³ (se tabell 3) hadde passert den rausa steinsikringa, mens for forsøk 1, 2, 3 og 6, lå tilsvarende verdi på mellom 720 m³ og 30 240 m³. Dette indikerer at en plastret steinsikring lagt med forband har en vesentlig høyere styrke enn hva en rauset steinsikring har. Forsøk 1, 2, 3 og 6 dermed en bruddvannføring som ligger 10 – 20 ganger høyere enn forsøk 4.

Fordi vannføringsmønsteret til de forskjellige forsøkene var såpass forskjellig, blir det ikke helt korrekt å sammenligne de forskjellige bruddvannføringene direkte med hverandre. I tillegg er antall utførte forsøk veldig lav, noe som gjør den statistiske sikkerheten dårlig. Til tross for dette gir resultatene allikevel en indikasjon på styrkeforholdet mellom de to steinsikringstypene.

Andre studier som har sett på styrkeforskjellen mellom plastret og rauset steinsikring, er blant annet Peirson et al. (2008) og Amundsen (2012) (se kapittel 2.3). Peirson et al. sine resultater viste at plastret steinsikring tålte 35 % mer enn hva rauset steinsikring gjorde. Et resultat som viser ett helt annet styrkeforhold enn hva resultatene fra denne rapporten har vist. Det skal sies at det ikke er spesifisert om plastringen er lagt i forband eller ikke. Det er kun opplyst at steinene er plassert på en slik måte at porøsiteten i plastringen ble minst mulig.

Amundsen kom derimot fram til at plastret steinsikring lagt i forband hadde en bruddvannføringen som lå mellom 180 – 490 % høyere i forhold til rauset steinsikring (avhengig av vinkelen til plastringssteinen). Amundsen brukte tilnærmet samme plastringsteknikk som har blitt benyttet under forsøkene som denne rapporten bygger på.

Argumentene over viser at resultatene fra studiene som har blitt gjort for å sammenligne plastret steinsikring lagt i forband, med rauset steinsikring, spriker veldig. Det er derfor vanskelig å dra noen konklusjon og en større studie innenfor plastring med forband kunne derfor ha vært svært nyttig.

Selve bruddutviklingen til de forskjellige forsøkene kan si mye om hvorfor plastret steinsikring lagt i forband, mest sannsynlig har en høyere styrke enn rauset steinsikring. Ved globalt brudd skled den rausede steinsikringen ut, nærmest som en sammenhengende enhet (se kapittel 4.2.1). Den plastrede steinsikringen lagt i forband klarte å stå imot denne utglidningen og bruddet forgikk i stedet ved at steinene ble skrelt bort steg for steg. Dette indikerer at styrken til plastring lagt i forband, er høyere enn rausa steinsikring.

Forsøk 5 som ble utført som plastret steinsikring uten forband. Første vannføring var planlagt å være 100 l/s/m, men forsøket gikk altså til brudd på oppkjøringen til denne vannføringen ved ca. 75 l/s/m. Det er ikke veldig lett å tolke alt for mye ut av dette resultat bortsett fra at den plastrede steinsikringen uten forband hadde en vesentlig lavere styrke, sammenlignet forsøkene som ble utført med plastret steinsikring med forband. Dette gir en indikasjon på at forbandet

har en stor betydning for styrken til plastringen. Også her blir den statistiske sikkerheten veldig lav, fordi det kun ble utført et forsøk på plastret steinsikring uten forband.

Sammenligningen av forskjellige beregningsmetoder

Beregningsmetodene introdusert i kapittel 2.3 og 2.4, sammenlignes her med forsøkene gjennomført i denne rapporten. Tabell 5 gir en oversikt over beregningsmetodene og viser hvilke parametere som ble brukt under forsøkene som ligger til grunn for de forskjellige beregningsmetodene. Som tabellen viser, baserer samtlige utregningsmetoder seg på forsøk der rauset steinsikring har blitt benyttet. Samtidig er skråningshelningen som den internasjonale litteraturen er utarbeidet på, en god del lavere enn den som er brukt til forsøkene i denne rapporten (67 %). Verdien av denne sammenligningen kan derfor diskuteres med tanke på at de fleste av forsøkene til denne rapporten har blitt utført som plastring lagt i forband, der skråningshelningen har vært en god del større enn den som har blitt benyttet i den internasjonale litteraturen. Det er allikevel interessant å se hvordan plastret steinsikring lagt i forband «presterer», sett i forhold til beregningsmetoder utviklet for rausede steinsikringer

For å kunne sammenligne de forskjellige beregningsmetodene med forsøkene utført i forbindelse med denne rapporten, har kritisk enhetsvannføringen blitt regnet ut med samtlige beregningsmetoder, der data (materialdata og skråningshelning) fra forsøkene utført i forbindelse med denne rapporten har blitt brukt som input (se tabell 6). Resultater er vist i tabell 5.

Tabell 5: Oversikt over beregningsmetoder for dimensjonerende steinstørrelse. Tabellen viser den kritiske enhetsvannføringen som de forskjellige beregningsmetodene gir for forsøkene utført i forbindelse med denne rapporten.

Navn	Bereg. - metode	Parametere brukt under forsøkene som ligger til grunn for beregningsmetodene			Kritisk enhetsvannføring [l/s/m], beregnet med data fra forsøkene utført i denne oppgaven
		Skrånings helning [%]	Steinstørrelse D ₅₀ [mm]	Steinsikring s-teknikk	
NVE	[9]	33-71	0,007-350	Rauset	21
Khan og Ahmad	[7]	1-40	15-278	Rauset	57
Siebel	[6]	7-33	54-77	Rauset	12
Thornton et al.	[8]	0,2-50	15-655	Rauset	137

Som tabellen viser, spriker verdien for kritisk enhetsvannføring til de forskjellige beregningsmetodene mye. Khan og Ahmad, og Thornton et al. beregner en enhetsvannføring som er vesentlig høyere enn det NVE gjør. En mulig årsak til dette er at NVE sin beregningsmetode er et dimensjoneringskriteriet, der sikkerhetsfaktorer er lagt til. Dette er ikke tilfellet for de andre beregningsmetodene.

Alle beregningsmetodene gir enhetsvannføringer som er vesentlig lavere, enn bruddvannføringene til forsøkene som ble utført som plastring lagt i forband i denne oppgaven (forsøk 1, 2, 3 og 6). Disse lå som nevnt tidligere mellom 200 – 400 l/s/m. Det er spesielt interessant å se på disse verdiene i forhold til den kritiske enhetsvannføringen som dimensjoneringskriteriet til NVE gir (21 l/s/m). NVE oppgir i veileder til fyllingsdammer, at steinsikring med dimensjonerende steinstørrelse gitt av formel [9], skal utføre som plastring lagt i forband. Forsøkene utført i forbindelse med denne oppgaven, tålte ca. 10 -20 ganger mer

enn det dimensjoneringskriteriet til NVE oppgir. Dette gir en indikasjon på at dimensjoneringskriteriet til NVE er ganske konservativt. Dimensjoneringskriteriet er som nevnt i kapittel 2.4, basert på homogene steinfyllingsdammer uten et skråningsvern bestående av plastring lagt i forband. I tillegg har en ekstra sikkerhetsfaktor blitt lagt til. Det kan derfor stilles spørsmålsteget om hvor egnet dette dimensjoneringskriteriet er. En naturlig antagelse er at et dimensjoneringskriterie som skal brukes til å beregne størrelsen til plastringsstein lagt i forband, også hadde blitt utviklet på bakgrunn av forsøk som ble utført som plastring lagt i forband. En interessant ting å merke seg er at forsøk 4 i denne rapporten som ble utført med rauset steinsikring, hadde en bruddvannføring på 20 l/s/m, altså tilnærmet samme verdi som det beregningsmetoden til NVE gir.

Thornton et al. sin beregningsmetode beregner en enhetsvannføring som er over ti ganger høyere enn metoden til Siebel. Noe av årsaken til det store spriket i beregnede enhetsvannføringer i tabell 5, kan være som nevnt tidligere, at de fleste av beregningsmetodene er utenfor sitt definerte området når det gjelder skråningshelning. En annen ting som skal nevnes er at de forskjellige studiene har utviklet beregningsmetoder som baserer seg på forsøk med forskjellige bruddefinisjoner. Dette bidrar også til å skape usikkerhet i verdiene.

Thornton et al. hadde i tillegg en veldig uklar forklaring på hva slags enheter som skulle brukes i formelen, det er derfor en mulighet at feil enheter og dermed feil verdier har blitt brukt som input. Dette kan forklare den veldig høye verdien (137 l/s/m), som beregningsmetoden gir. Inputen som ble brukt til å beregne kritisk bruddvannføring, med de forskjellige beregningsmetodene, er gitt i tabell 6.

Tabell 6: Input som ble brukt i de forskjellige beregningsmetodene, for å beregne kritisk enhetsvannføring for forsøkene utført i forbindelse med denne rapporten.

Navn	Berg. met.	Input							
		S	D ₅₀	t	SG	C _u	D _{min}	ρ _w	ρ _s
NVE	[9]	33,7°	-	-	-	-	0,041 (m)	-	-
Khan og Ahmad	[7]	0,67 (-)	0,057 (m)	0,057 (m)	-	1,16 (-)	-	-	-
Siebel	[6]	0,67 (-)	0,057 (m)	-	-	-	-	1000 (kg/m ³)	2712 (kg/m ³)
Thornton et al.	[8]	67 (-)	2,24 (in)	2,24 (in)	2,712 (-)	1,16 (-)	-	-	-

5.2 FORSKYVNINGER

Diskusjonen under omhandler ikke forsøk 4 eller 5.

5.2.1 Forskyvninger i x-retning

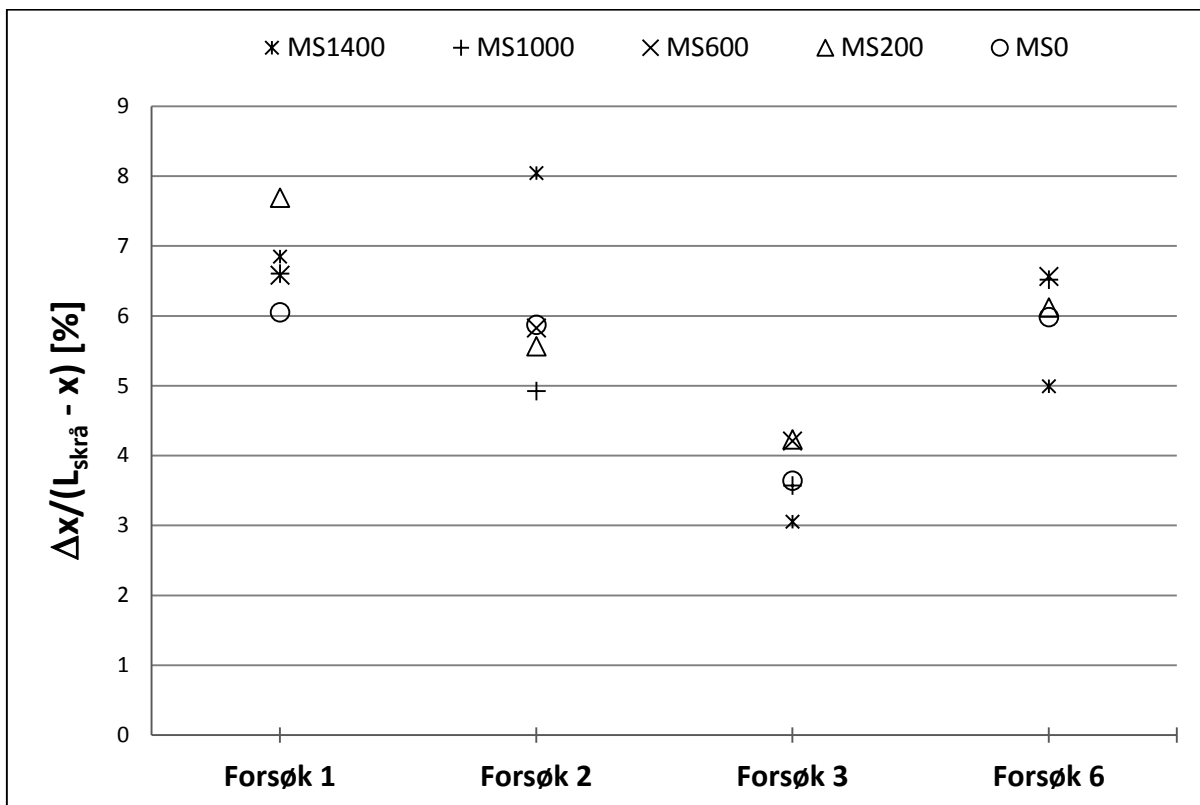
Utviklingen til forskyvningene underveis i forsøkene

Som figur 23 og figur 24 viser, øker forskyvningene i x-retning med økende enhetsvannføring. Denne økningen er nesten lineær, men ved mindre intervaller mellom hver vannføring, kan det se ut til at stigningstallet til grafen øker. Årsaken til dette er antageligvis at det ved mindre intervaller, totalt sett vil bli kjørt mer vann i forhold til når det er større intervaller mellom hver vannføring. For figur 24 (forsøk 2) øker stigningstallet til grafene etter passerte 200 l/s/m. Her har intervallet mellom hver vannføring gått fra 50 l/s/m, til 20 l/s/m.

Dette kan tyde på at det ikke bare er intensiteten på vannføringen som har innvirkning på x-forskyvningene, men at også den totale vannmengden som har passert plastringen også virker inn.

Endelige forskyvninger

Figur 31 viser de siste innmålte x-forskyvningene før plastringen gikk til brudd, for forsøk 1, 2, 3 og 6. Her har forskyvningene til de forskjellige steinene blitt regnet om til prosent i forhold til avstanden de har til bunn av plastringen. Denne avstanden beskrives: $L_{\text{skrå}} - x$ (der x er x-koordinaten til de forskjellige steinene). F.eks. vil denne avstanden til MS200, bli 1600 mm.



Figur 31: Oversikt over siste innmålte x-forskyvninger før plastringen gikk til globalt brudd, for forsøk 1, 2, 3 og 6. Forskyvningene er relative i forhold $L_{\text{skrå}} - x$.

Som figur 31 viser, er de relative x-forskyvningene til steinene innad i hvert forsøk ganske like, men MS1400 i forsøk 2 skiller seg litt fra de andre steinene i forsøk 2. Det er også verdt å merke seg at forskyvningene i forsøk 3 ligger litt lavere enn de andre forsøkene.

Det at de relative x-forskyvningene i figur 31 er såpass like innad i hvert forsøk, tyder på at plastringen nærmest oppfører seg som en fjær som blir trykket inn, når den blir utsatt for en hydraulisk belastning. Desto lengre unna bunn av plastringen steinen ligger, desto større blir den totale forskyvningen (se figur 23 og figur 24), men relativt til $L_{\text{skrå}} - x$, er forskyvningene til de forskjellige steinene nesten like.

Ut i fra figur 31 kan det virke som at en relativ forskyvning på 7 – 8 %, er en øvre grense for skråningsvernet for forsøkene utført i forbindelse med denne rapporten. Etter at denne forskyvningen har blitt oppnådd, har forsøkene gått til brudd. Det er heller ingen sammenheng mellom bruddvannføring og forskyvninger hos de forskjellige forsøkene. Forsøk 6 hadde f.eks. en bruddvannføring på 400 l/s/m, mens forsøk 1 hadde en bruddvannføring på 240 l/s/m. Allikevel er forskyvningene i forsøk 1, noe større enn i forsøk 2.

Som nevnt i resultatkapittelet, vil de siste forskyvningene som ble innmålt før det globale bruddet inntraff, ikke tilsvare forskyvningene akkurat før bruddet gikk. Fra siste innmåling og til bruddet gikk, har plastringen blitt utsatt for en hydraulisk belastning som mest sannsynlig har ført til økte forskyvninger.

Dette kan være forklaringen på at de innmålte x-forskyvningene til forsøk 3 er såpass små, sett i forhold til de andre forsøkene. Like før selve bruddet gikk, kan det tenkes at forskyvningene til forsøk 3 var mye større enn det de innmålte forskyvningene viste. Hvis Smartstones hadde fungert optimalt, kunne de muligens vært i stand til å registrere forskyvningen akkurat før bruddet gikk (se kapittel 3.3.3 for mer info om Smartstones).

Separering av skrånings- og kronevern

Figur 21 og figur 22 illustrerer hvordan plastringen nærmest delte seg i 2 deler etter en hydraulisk belastning. Dette var fordi x-forskyvningene til skråningsvernet var vesentlig større enn x-forskyvningene i kronevernet. Dette kan sees i tabell 4, der blant annet forskyvningene til MS-200 er listet opp. X-forskyvningene til MS-200 er relativt små sett i forhold til nabosteinene MS0 og MS 200.

Årsakene til dette ligger mest sannsynlig i den ulike påkjenningen fra gravitasjons- og dragkrefter. Skråningsvernet vil bli utsatt for gravitasjonskrefter som «drar» steinene nedover, denne kraften opplever ikke steinene i kronevernet. Samtidig vil dragkraften (se kapittel 2.1) på steinene i skråningsvernet bli større fordi hastigheten her også er større.

Globalt brudd startet i knekningspunktet for samtlige forsøk. Det kan virke som at plastringen gikk til brudd når åpningen i plastringen ved knekningspunktet ble stor nok. De øverste steinene i skråningsvernet ble da revet bort av de hydrauliske kreftene og resten av skråningsvernet ble deretter revet med nedover, steg for steg.

Det er interessant at MS0, altså steinen som ligger i knekningspunktet, hadde ca. samme forskyvning før brudd, i både forsøk 1, 2 og 6. Altså i tre av fire forsøk med plastring med forband. Forskyvningene var på henholdsvis 110, 106 og 108 mm. Dette tilsvarer en forskyvning på ca. 6 % i forhold til $L_{\text{skrå}}$ (se figur 23 og figur 24). For forsøk 3 var tilsvarende forskyvning på 65 mm, eller ca. 3,5 % i forhold til $L_{\text{skrå}}$.

Røer så også på de samme type forskyvningene som er beskrevet i avsnittet over (se kapittel 2.3 for detaljer om rapporten til Røer) og resultatene hans viste en forskyvning på ca. 4 %. Et resultatet ikke veldig ulikt resultatene i denne oppgaven. Resultat til Røer, baserer seg kun på ett forsøk og metoden som ble brukt til å måle forskyvningene på var ulik den metoden som har blitt brukt i forsøkene til denne rapporten. Sammenligningen med Røer har derfor en begrenset verdi, men er allikevel interessant.

5.2.2 Forskyvninger i z-retning

Erosjon av enkeltsteiner

Figur 28 viser en oversikt over de siste innmålte z-forskyvningene før forsøkene gikk til brudd. Bortsett fra MS-200, som har negative verdier, er det ingen av de andre steinene som skiller seg ut. De har alle ganske like forskyvninger i z-retning.

Under forsøkene ble det som nevnt i kapittel 4.2.2, registret hvor de forskjellige enkeltsteinene løsnet fra plastringen, og det var heller ikke her noe mønster å spore.

Observasjonene over kan tyde på at det ikke er noen deler av plastringen som skiller seg ut som spesielt sårbar når det gjelder erosjon av enkeltsteiner. Med tanke på at hastigheten til vannet vil være høyere i skråningsvernet enn i kronevernet, vil også løftekraften (se kapittel

2.1) være større i skråningsvernet. Derfor ville en naturlig antagelse ha vært at flere enkeltstein eroderte bort der, i forhold til i kronevernet der hastigheten og løftekraften som virker på steinene er mindre. I tillegg vil skråningsvernet også måtte jobbe imot tyngdekraften.

Årsakene til at det ikke eroderte bort vesentlig flere steiner i skråningsvernet, i forhold til kronevernet, ligger mest sannsynlig hos normalkreftene og dermed friksjonskreftene som virker i mellom plastringssteinene og bidrar til å låse fast plastringssteinene. Som nevnt tidligere «delte» plastringen seg opp i to deler etter å ha blitt utsatt for en hydraulisk belastning. Dette kom av at kompresjonen i x-retning i skråningsvernet var større enn i kronevernet, noe som indikerer at også normalkreftene, og dermed friksjonskreftene mellom plastringssteinene i skråningsvernet var høyere enn i kronevernet. Plastringssteinene i skråningsvernet vil dermed få en høyere innlåsningskraft enn det plastringssteinene i kronevernet gjør.

Dessverre fungerte ikke hastighetsmålingene slik som forventet og nøyaktige hastigheter for de forskjellige delene av plastringen har derfor ikke kunnet bli beregnet. Dette er beklagelig fordi da har heller ikke løftekraften kunne blitt beregnet.

Utvikling av forskyvningene underveis i forsøket

Figur 26 og figur 27 viser hvordan z-forskyvningene utviklet seg underveis i forsøk 1 og 2. Forskyvningene til alle de merkede steinene som ligger i skråningsvernet er ganske like og forskyvningene økte med økende vannføring og vannmengde. Ingen av de merkede steinene forsvant ut av plastringen før det globale bruddet inntraff, men for de steinene som forsvant ut av plastringen som enkeltstein, har dette mest sannsynlig forgått gradvis. Denne gradvise forskyvningen ble også observert visuelt under forsøkene. Figur 29 viser en plastringsstein med store forskyvninger i z-retning, like før den blir revet ut av de hydrauliske kreftene. På dette stadiet vil innlåsningskreftene fra nabosteiner være tilnærmet lik 0, og de hydrauliske kreftene som virker på steinen vil være vesentlig større pga. det økte eksponerte arealet til steinen.

Når en stein forsvinner fra plastringen, etterlater den seg et hull. Filtersteinene som ligger i dette hullet vil dermed bli mer utsatt for de hydrauliske kreftene, og det er større fare for at filtersteinene vil bli revet ut og vekk fra plastringen (Aberle, 1995).

MS-200 hadde negative verdier for forskyvningene i z-retning, noe som kommer av at de plastringssteinene i krona som lå nærmest knekningspunktet, nærmest veltet om etter at det utviklet seg en åpning i knekningspunktet (se figur 21). Dette hadde en dominoeffekt på steinene bakover i krona og MS-200 som lå ca. midt i krona, veltet også om.

5.3 SMARTSTONES

Hovedårsaken til at Smartstones (se kapittel 3.3.3 for mer info om Smartstones) ikke ble noen stor suksess i denne studien, var fordi det ofte ikke lyktes med å få de over til opptaksmodus ved ønsket anledning. For å få Smartstones over til opptaksmodus, må det først gis en kommando gjennom gatewayen, og deretter må Smartstones utsettes for bevegelse. Bevegelsene som oppstod på grunn av den hydrauliske belastningen som plastringssteinene ble utsatt for, var som regel ikke stor nok til å få Smartstones over til opptaksmodus (se Jakobsen (2014) for mer informasjon om de forskjellige modusene til Smartstone). Ved enkelte anledninger, gikk de allikevel over til opptaksmodus og data ble registrert. Men fordi det var lite kontroll på når Smartstones gikk over til opptaksmodus, har ikke dataen som ble registrert veldig mye verdi. Før forsøkene ble satt i gang, var planen at Smartstones skulle registrere bevegelsen til plastringen like før og under brudd. Dette lyktes dessverre aldri.

Smartstones har absolutt et potensiale, men enkelte modifikasjoner må gjennomføres før den kan anvendes til sitt tiltenkte formål, altså å registrere bevegelse i plastring ved en hydraulisk belastning. Kommunikasjonsmulighetene må forbedres og rent praktisk betyr dette at Smartstones må kunne settes i opptaksmodus uten at det er behov for en mekanisk belastning.

Per dags dato er tiltenkt bruksområdet til Smartstones registrering av bevegelse under eksperimentell virksomhet, men på lengre sikt kan Smartstones også kunne ha potensiale til å brukes innen overvåkning av fyllingsdammer i drift. Tanken er da at de kan plasseres på strategiske steder i plastringen og dermed registrere eventuelle bevegelser. Med riktig bruk av teknologien vil det da kunne være mulig å sitte hvor som helst i verden og få informasjon om eventuelle bevegelser som har oppstått. For at dette skal kunne gjennomføres kreves det i tillegg til bedre kommunikasjonsmuligheter, også bedre batterikapasitet og lagringskapasitet (per dags dato blir minnet til Smartstones fylt opp etter ca. 15 minutter og batteriene går tomme etter ca. 1 time, ved kontinuerlig registrering av bevegelse). Heldigvis er steinene på fullskala dammer vesentlig større enn de steinene som brukes til modellforsøk. Smartstonesylindren vil derfor ikke ha de samme begrensningene innenfor størrelse som den har i dag, og en drastisk økning i batteri- og lagringskapasitet vil derfor være realistisk.

5.4 FEILKILDER

Når det gjelder bruddvannføringene, ligger det en usikkerhet i selve vannføringsmåleren. Produsenten oppgir måleusikkerheten på 0,5 %. I tillegg ligger det en usikkerhet vannlekkasjene som oppstod i modellen. Disse lekkasjene ble ikke målt, men de ble estimert til å være veldig små i forhold til bruddvannføringen. I ettertid ser man at det hadde vært fordelaktig å målt denne lekkasjen slik at den kunne blitt kvantifisert.

Punktinnmålingene som ble gjort hadde flere potensielle feilkilder. Selve innmålingen av steinene foregikk ved at en person navigerte inn traversen på steinene og en annen person styrte traversen. Menneskelig feil kan selvfølgelig ha oppstått her. Avstandsmåleren som ble benyttet hadde en målenøyaktighet på 1 mm, og er dermed ikke en veldig stor feilkilde.

Som nevnt i kapittel 3.3.3, ble det merket av et referansepunkt nedenfor selve plastringen, dette referansepunktet ble målt inn sammen med de andre punktene og fungerte som en kontroll. Den største differansen mellom to innmålinger i referansepunktet var på 10 mm. Dette viser at målenøyaktigheten til punktinnmålingene ikke var helt optimal.

6 KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

Hovedformålet til denne oppgaven har vært å dokumentere forskyvningene til en plastret steinsikring. Dette har blitt gjennomført, men Smartstones viste seg å ikke være helt moden enda. Målingen av forskyvningene ble derfor gjennomført med punktinnmålinger i stedet. Dette var vellykket og ga gode resultater.

Da det kun ble gjennomført totalt 6 forsøk, er den statistiske sikkerheten veldig lav og det er derfor vanskelig å kunne trekke noen slutning ut fra forsøkene som har blitt gjort. Men forsøkene ga sterke indikasjoner på at plastring lagt i forband har en vesentlig høyere styrke enn det rauset steinsikring har. Resultatene viste at bruddvannføringen til de fire forsøkene som ble utført som plastret steinsikring lå 10 – 20 ganger høyere enn bruddvannføringen til det ene forsøket som ble utført som rauset steinsikring. Dimensjoneringskriteriet til NVE ga en kritisk enhetsvannføring som var ca. like stor som bruddvannføringen til forsøket som ble utført som rauset steinsikringen. De fire forsøkene som ble utført som plastret steinsikring i forband, hadde altså en bruddvannføring som lå 10 – 20 ganger høyere enn det dimensjoneringskriteriet til NVE anbefalte. Dette indikerer at dimensjoneringskriteriet til NVE er veldig konservativt.

For de forsøkene som var utført som plastring lagt i forband, åpnet nærmest plastringen seg opp i knekningspunktet ved hydraulisk belastning, og dette førte til at skråningsvernet og kronevernet ble to separate deler. Dette var fordi x-forskyvningene i skråningsvernet var større enn x-forskyvningene i kronevernet. Denne åpningen i knekningspunktet viste seg å være kritisk med tanke på globalt brudd, da det globale bruddet alltid startet i knekningspunktet. 3 av de 4 forsøkene som var utført som plastret steinsikring lagt i forband gikk til globalt brudd når plastringssteinen øverst i skråningsvernet hadde forskjøvet seg ca. 6 prosent, relativt til lengden av hele skråningsvernet, noe som indikerer at dette er en kritisk grense.

Det viste seg også at x-forskyvningene til alle steinene i skråningsvernet, relativt til $L_{\text{skrå}} - x$ (avstanden plastringesteinene hadde til bunn av plastringen), var tilnærmet lik innad i hvert forsøk. For 3 av 4 forsøk, lå disse forskyvningene på 5 – 7 %.

Forskyvningene forsøkene hadde når de gikk til brudd, var uavhengig av bruddvannføringen.

Forskyvningene normalt på plastringen, altså z-forskyvningene viste seg å være ganske like i hele skråningsvernet. Alle plastringssteinene i skråningsvernet hadde positive z-verdier og beveget seg altså utover. I kronevernet hadde plastringssteinene negative z-verdier, dette kom av at de plastringssteinene i krona som lå nærmest knekningspunktet, nærmest veltet om etter at det utviklet seg en åpning i knekningspunktet, og dette hadde en dominoeffekt på steinene bakover i krona.

Ingen steder i plastringen viste seg å være spesielt utsatt når det gjelder erosjon av enkeltsteiner, det forsvant altså steiner fra hele plastringen, både i skråningsvernet og i kronevernet.

Smartstones fungerte ikke optimalt, og data fra målingene kunne ikke brukes. Hovedårsaken til at Smartstones ikke ble noen stor suksess i denne studien, var fordi det ofte ikke lyktes med å få de over til opptaksmodus ved ønsket anledning. For å få Smartstones over til opptaksmodus må det først gis en kommando, og deretter må Smartstones utsettes for en mekanisk påkjenning. Påkjenningen de fikk fra de hydrauliske kreftene var som regel ikke stor til å gjøre nettopp dette.

Smartstones har absolutt et potensiale, men enkelte modifikasjoner må gjennomføres før den kan anvendes til sitt tiltenkte formål, altså å registrere bevegelse i plastring ved en hydraulisk belastning. Kommunikasjonsmulighetene må forbedre, og rent praktisk betyr dette at Smartstones må kunne settes i opptaksmodus, uten at det er behov for en mekanisk påkjenning.

Resultatene fra forsøkene gjennomført i forbindelse med denne oppgaven og tidligere masteroppgaver har altså vist at det er stor styrkeforskjell på rauset steinsikring og plastret steinsikring lagt i forband. Studiene som har blitt gjennomført er allikevel ikke omfattende nok til å kunne bestemme styrken til plastring med god sikkerhet. Mer omfattende studier burde derfor gjennomføres innenfor temaet. Doktorgradsavhandlingen som denne oppgaven var en del av, gjør nettopp dette og det vil bli spennende å se resultatene fra denne avhandlingen.

7 REFERANSER

- ABERLE, J. 1995. *Stabilität ungebundener Deckwerke unter Berücksichtigung der Deckwerksverschiebung bei Überströmung*. Masteroppgave, Universität Karlsruhe
- ABT, S. R. & JOHNSON, T. L. 1991. Riprap design for overtopping flow. *Journal of hydraulic engineering*, 117, 959-972.
- ABT, S. R., THORNTON, C. R., SCHOLL, B. A. & BENDER, T. R. 2013. Evaluation of Overtopping Riprap Design Relationships. *Journal of The American Water Resources Association*, 49, 15.
- AMUNDSEN, J. M. 2012. Laboratorieforsøk av plastring av nedstrøms skråning på fyllingsdammer. *Masteroppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim*.
- CROWE, C. T., ELGER, D. F. & ROBERTSON, J. A. 2005. *Engineering Fluid Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc.
- EBL KOMPETANSE 2005. *Stability and breaching of embankment dams, Report on Sub-project 2, Stability of downstream shell and dam toe during large through-flow*, Oslo, EBL kompetanse AS.
- FALKENBERG, T. L. 2013. Erosjonssikring av elvebunn nedstrøms dammer fundamentert på løsmasser. *Masteroppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim*.
- GRONZ, O., HILLER, P. H., WIRTZ, S., BECKER, K., ISERLOH, T., SEEGER, M., ABERLE, J., CASPER, M. C. & RIES, J. B. 2015. Smartstones: a small 9-axis sensor implanted in stones to track their movements.
- JAKOBSEN, J. 2014. *Plastring av fyllingsdammer – test av smartstones*. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- KHAN, D. & AHMED, Z. 2011. Stabilization of Angular-Shaped Riprap under Overtopping Flows. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 59, 5.
- KJÆRNSLI, B., VALSTAD, T. & HØEG, K. 1992. *Rockfill dams: design and construction*, Trondheim, Norwegian Institute of Technology. Department of Hydraulic Engineering.
- KOBEL, J. 2014. *Smartstones*. Norwegian University of Science and Technology.
- LANGAKER, O. K. 2013. Plastring av nedstrøms skråning på fyllingsdammer. Prototyp- og modellforsøk. *Masteroppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim*.
- LEICA-GEOSYSTEMS. Available: http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-DISTO-X310_98484.htm [Accessed 23.05 2015].
- LIA, L., VARTDAL, E. A., SKOGLUND, M. & CAMPOS, H. E. 2013. Rip Raop Protection of Downstream Slopes of Rock Fill Dams - A Measure to Increase Safety in an Unpredictable Future Climate. 10.
- MICROSONIC. Available: <http://www.microsonic.de/en/Products/micplus/STANDARD-SENSORS/mic340IUTC.htm?P=1> [Accessed 20.05 2015].

- NORGE, S. 1990. NS 8005 - Geoteknisk prøving - Laboratoriemetoder - Kornfordelingsanalyse av jordprøver.
- NVE 2009. Veileder for dimensjonering av erosjonssikring av stein. *NVEs hustrykkeri*.
- NVE 2010. Vassdragshåndboka. Håndbok i Vassdragsteknikk. *Trondheim. Tapir akademiske forlag*.
- NVE 2012. Veileder for fyllingsdammer. *Oslo: NVEs hustrykkeri*.
- OLJE- OG ENERGIDEPARTEMENTET 2009. Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften).
- PEIRSON, W. L., FIGLUS, J., PELLE, S. E. & COX, R. J. 2008. Placed rock as protection against erosion by flow down steep slopes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134, 1370-1375.
- ROBINSON, K., RICE, C. & KADAVY, K. 1998. Design of rock chutes. *Transactions of the ASAE*, 41, 621-626.
- RØER, H. E. 2014. Nedstrøms skråning av steinfyllingsdammer - modellforsøk av plastring under like strømningsforhold. *Masteroppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim*.
- SIEBEL, R. 2007. Experimental investigations on the stability of riprap layers on overtoppable earthdams. *Environmental Fluid Mechanics*, 7, 455-467.
- SIEMENS. 2005. *Sitrans F M Magflo - Handbook* [Online]. Available: http://www.spiraxsarco.com/global/us/Products/Documents/SITRANS_F_M_MAGFLO-Installation_Maintenance_Manual.pdf [Accessed 2015 20.05].
- THORNTON, C. I., ABT, S. R., SCHOLL, B. N. & BENDER, T. R. 2013. Enhanced stone sizing for overtopping flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140.

VEDLEGG

Innholdsfortegnelse vedlegg

Vedlegg A – Resultater.....	s.54
Vedlegg B1 – Beskrivelse av forsøk 1.....	s.56
Vedlegg B2 – Beskrivelse av forsøk 2.....	s.66
Vedlegg B3 – Beskrivelse av forsøk 3.....	s.77
Vedlegg B4 – Beskrivelse av forsøk 4.....	s.80
Vedlegg B5 – Beskrivelse av forsøk 5.....	s.82
Vedlegg B6 – Beskrivelse av forsøk 6.....	s.83
Vedlegg C - Forsøksprotokoll.....	s.100
Vedlegg D – Materialdata	s.102

Beskrivelse av vedlegg

-I vedlegg A ligger de forskyvningsgrafene som ikke ble tatt med i hovedrapporten. Dette gjelder forskyvning i x- og z-retning for forsøk 3 og 4.

-I vedleggene B1 – B6 finnes vannføringskurver og forsøkslogg for alle forsøkene. Der forsøkene har gått over flere dager, har vannføringskurvene blitt delt opp, slik at en figur tilsvarer en dag.

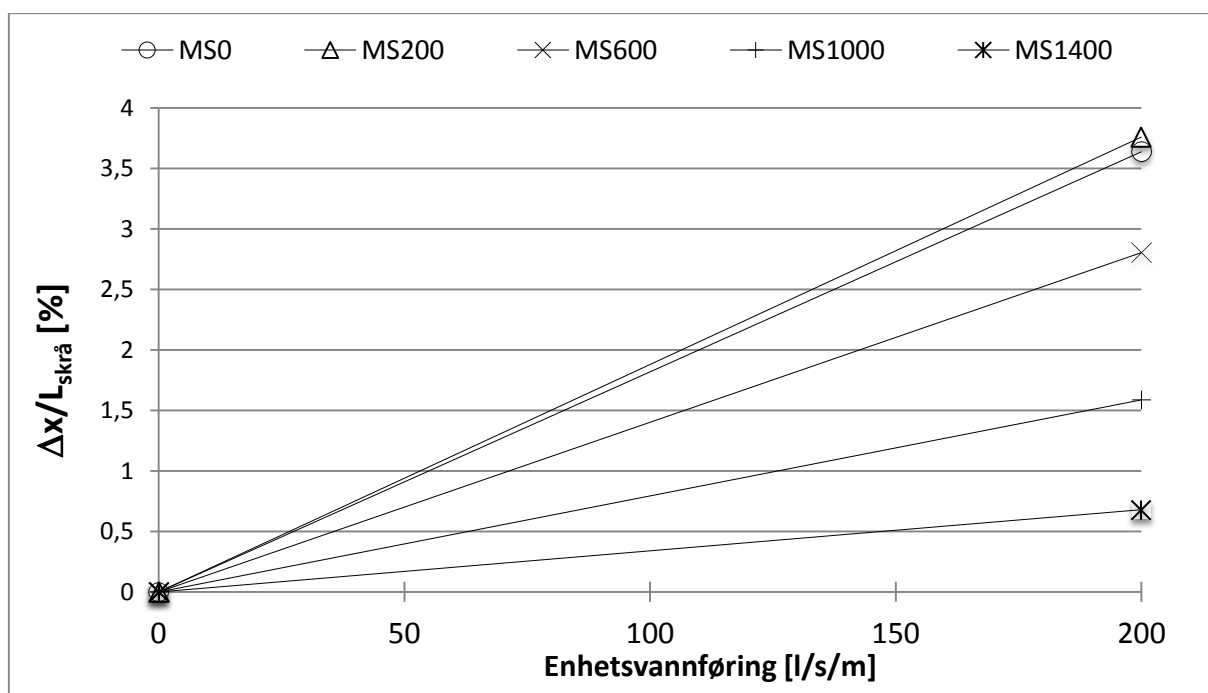
-I vedlegg C ligger forsøksprotokollen

-I vedlegg D finnes rådataene for plastringssteinene.

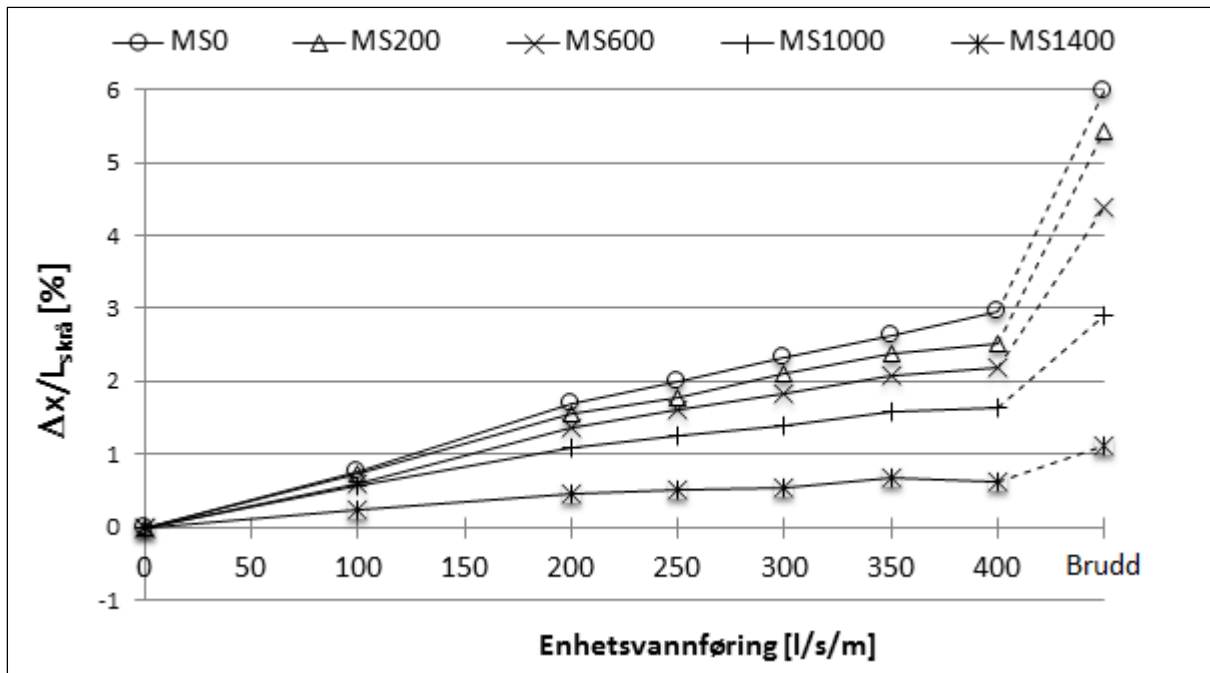
VEDLEGG A– RESULTATER

I vedlegg A ligger de forskyvningsgrafene som ikke ble tatt med i hovedrapporten. Dette gjelder forskyvning i x- og z-retning for forsøk 3 og 4. Se kapittel 4.2.1 og 4.2.2 for generell beskrivelse av de forskjellige figurene.

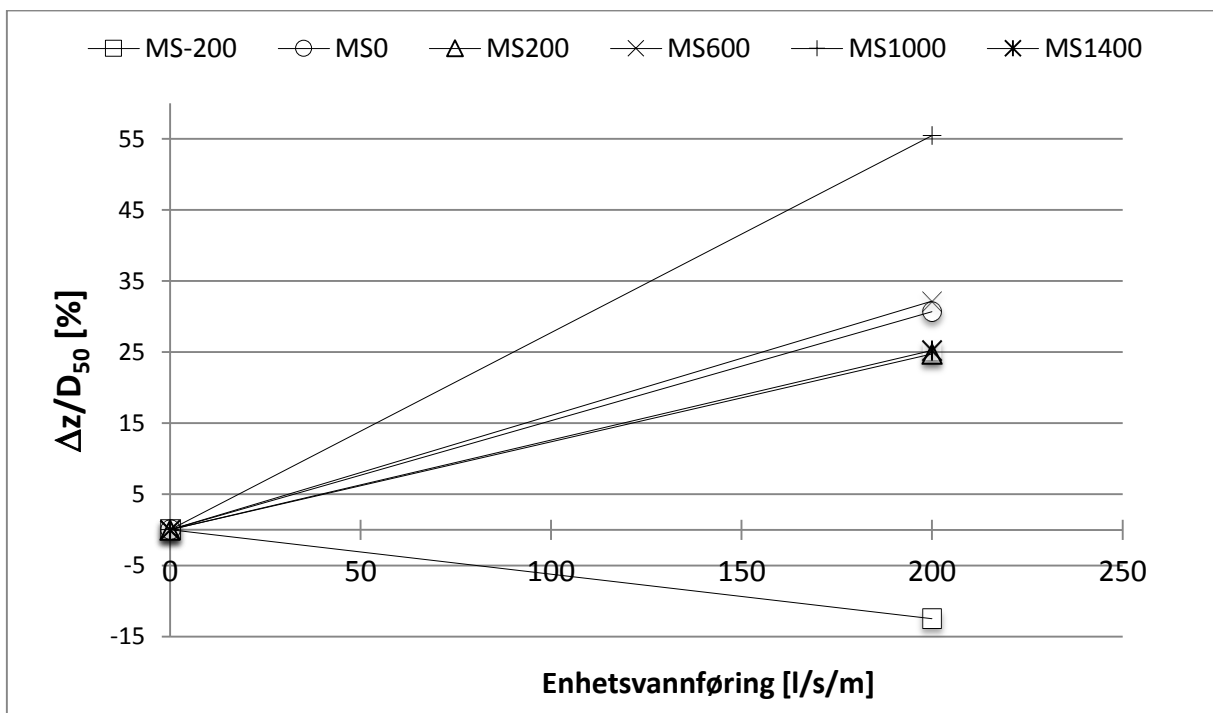
Grafene under som beskriver x- og z-forskyvningen for forsøk 6, er noe forskjellige i forhold til grafene for de andre forsøkene. Fordi forsøk 6 ikke gikk til brudd ved 400 l/s/m (se kapittel 4.1 for mer om info bruddvannføringene), har alle forskyvningene som forgikk etter den første kjøringen på 400 l/s/m, og til forsøket gikk til brudd, blitt summert opp til ett steg. Dette kan sees på figurene som viser forskyvningene til forsøk 6, nedenfor. Der er det siste steget på den horisontale akse definert som «brudd».



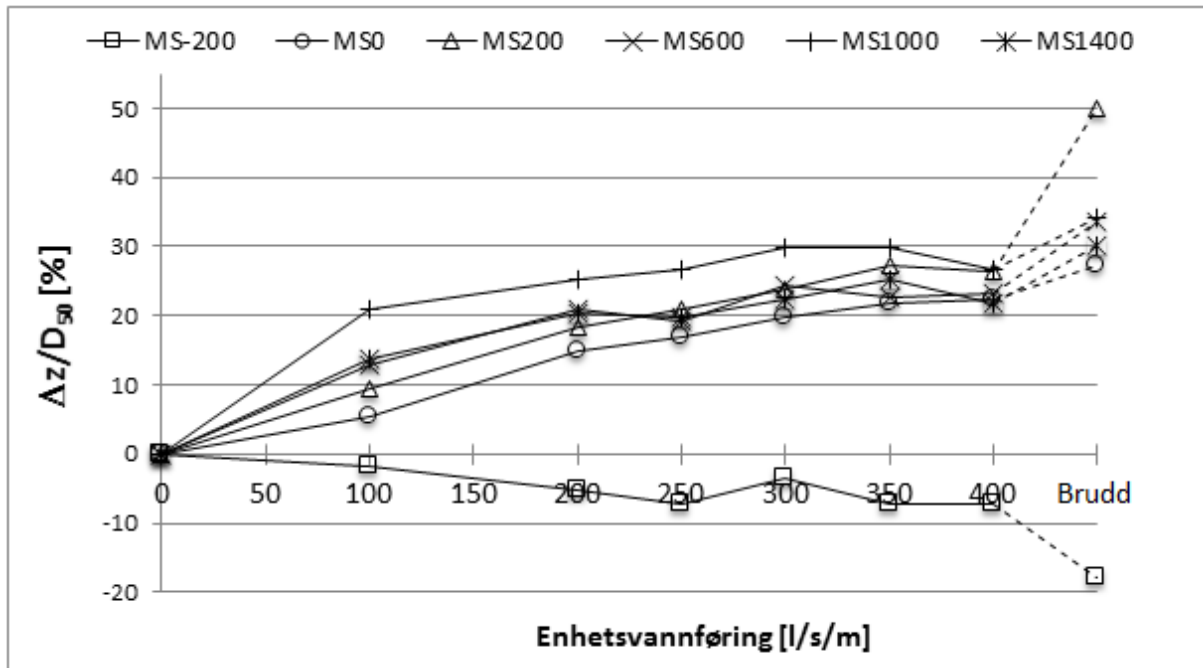
Relative x-forskyvninger i forhold til $L_{\text{skrå}}$. Forsøk 3.



Relative x-forskyvninger i forhold til $L_{skrå}$. Forsøk 6

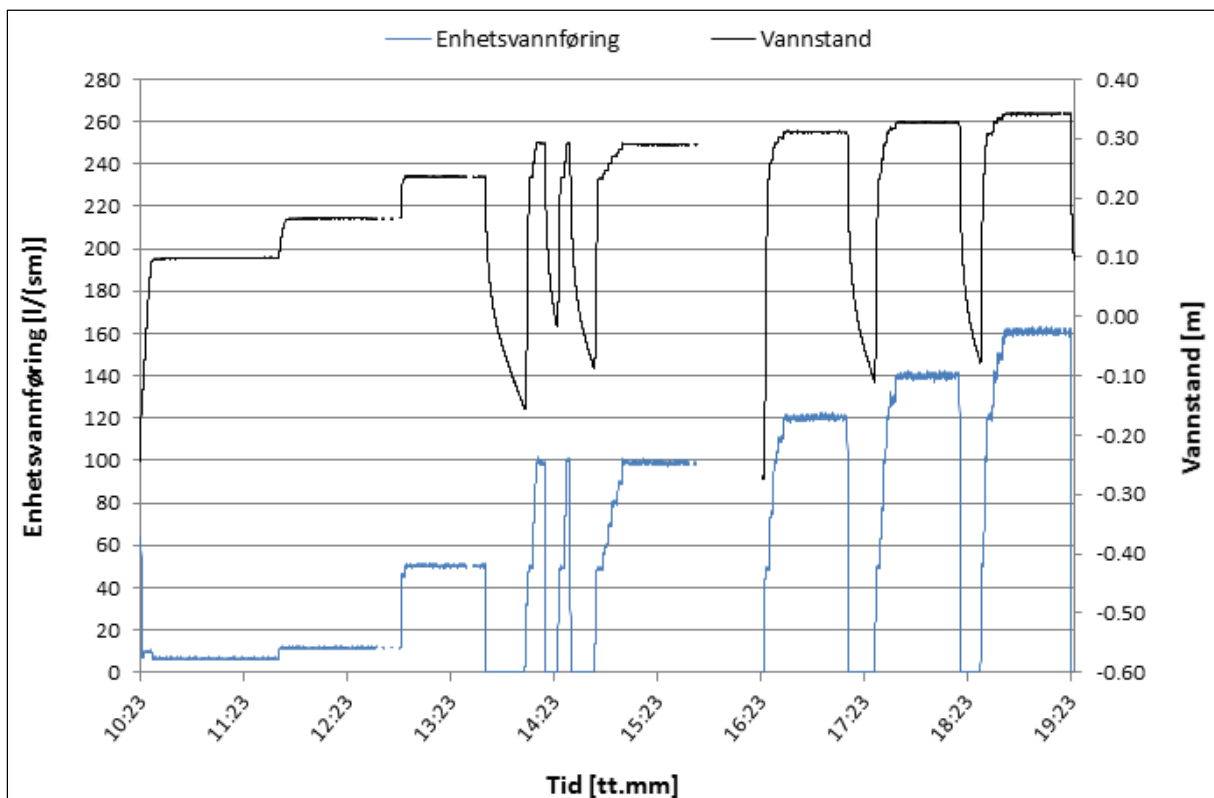


Relative z-forskyvninger i forhold til D_{50} til akse d. Forsøk 3.

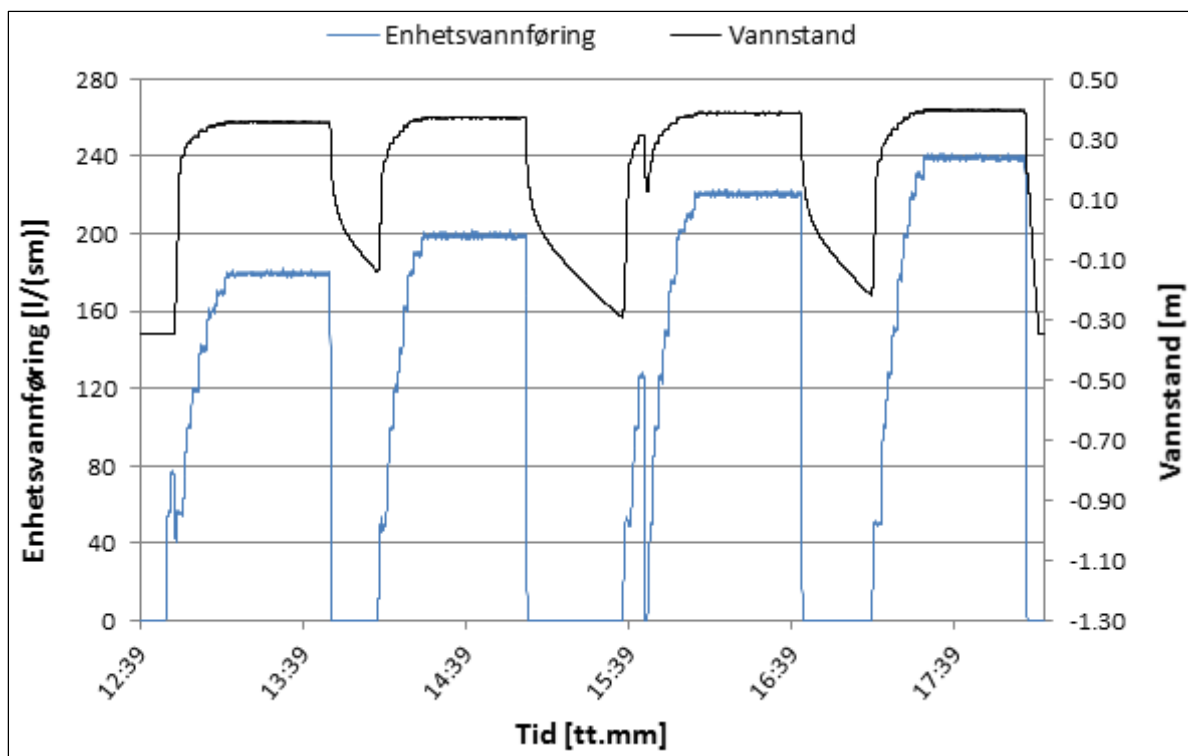


Relative z-forskyvninger i forhold til D_{50} til akse d. Forsøk 6

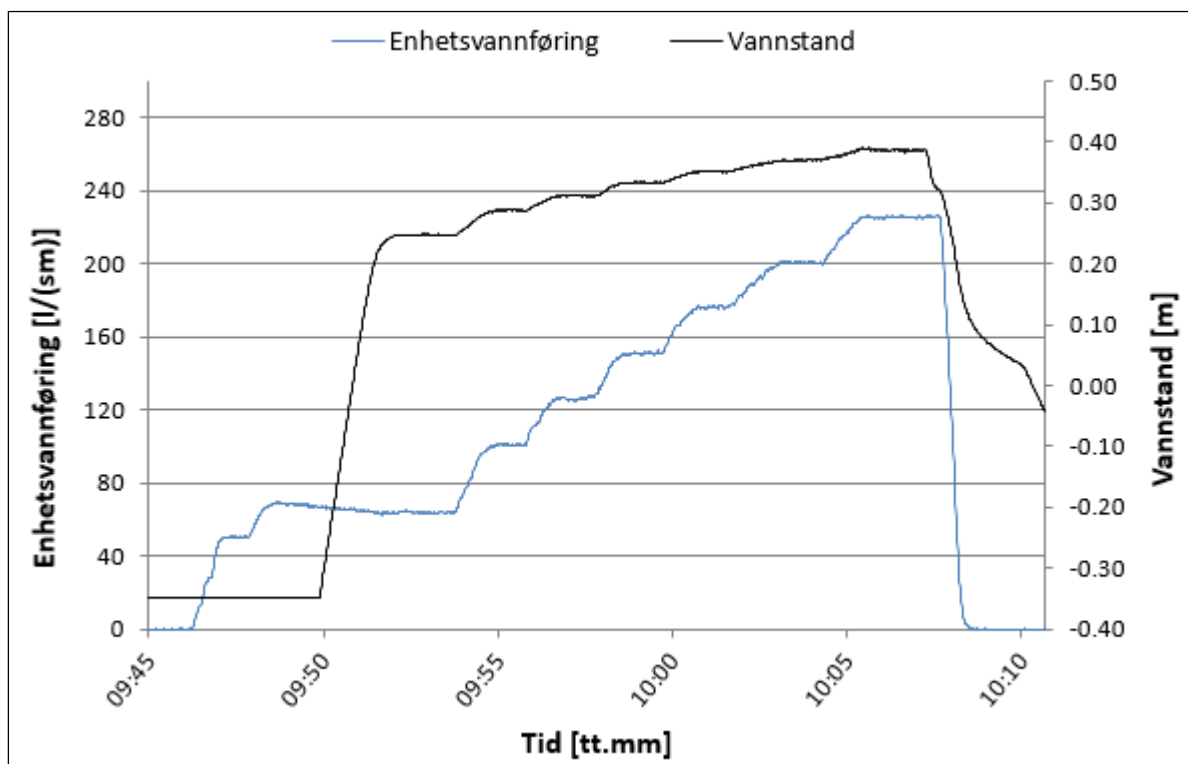
VEDLEGG B1– BESKRIVELSE AV FORSØK 1



Vannføringskurve forsøk 1, dag 1 av 3 (27.03.2015)



Vannføringskurve forsøk 1, dag 2 av 3 (07.04.2015)



Vannføringskurve forsøk 1, dag 3 av 3 (08.04.2015)

Forsøk nr.1 - logg

Forsøksdager: 27.03, 07.04, 08.04

Deltagere: Eirik Helgetun Pettersen, Jens Jakobsen, Priska Helene Hiller

27.03.2015 – dag 1 av 3

Tid	Logg	Filer
	Tatt bilder med og uten målestokk fra videokamera og med speilrefleks Bypass stengt Forhåpentligvis alt klar	
10:18	Start. Første vannføring tilpasses til at alt vann renner i filteret	
10:24	Startet Agilent	
10:27	Vannet begynner å renne over konstruksjonen og gjennom filteret	
10:34	Q=7.4 l/s (fra måling på rør) Q=6.7 l/s Agilent (sjekk nøyaktig etterpå i datafilen) En god del vann går langs vinduet. Video på	
11:05	Tar bilder med kamera og speilrefleks Dropper saltmåling fordi bare få kopperstriper har litt kontakt med vann Måler inn de gule steinene mens vannet står på Ikke noe overtopping	
11:41	Øker vannføring til like før overtopping av plastringssteiner Ny video	
11:49	Tar bilder Vannstand =1.54 m Q=12.3 l/s måling på rør Q=ca 11.5 l/s fra Agilent	
12:20	Tar bilder Måler inn steiner	
12:39	Stopper Agilent registrering for å gjøre en saltmåling Øker sampling frequency til 100 Hz fra 10 Hz 30 g salt oppløst i 0.4 l vann, helt i like oppstrøms plastring Gjentar målingen og lagrer data litt lengre slikt at vi sikkert får integret under	
12:50	Agilent skrus på igjen med 10 Hz, ny fil	
12:53	Q økes til 50 l/s	
13:00	Bilderunde med speilrefleks	
13:04	Hvit stein ved 200 mot vinduet rister/beveger seg.	Se bilde
13:10	Hvit stein ved 200 har stabilisert seg, og rister ikke lengere.	
13:34	Stoppet Agilent, vannstand ser stabil ut Saltmåling 30g 0.4 l, ser ok ut	
13:39	Starter Agilent igjen, Bilderunde Vann av	
14:00	Målte inn steiner	

	Skrudde på kamera	
14:05	Slår på vannføring til 50 l/s	
14:10	Øker Q rolig til 100 l/s	
14:15	Hørte at noe flyttet på seg	
14:17	Tok bilde Slår av vannet	
	Tatt bilde. 1 stein mangler. Sannsynligvis var den ca. 43 cm nedstrøms knekkpunktet. Like til høyre (sett nedstrøms fra) fra smartstone 400	
14:24	Slår på vann igjen, Q til 50 l/s	
14:28	Q økes til 100 l/s	
14:32	PHH så en stein, Eirik hørte og synes at det var flere Stenger vannet.	
	En stein gikk i knekkpunktet ca 10 cm fra vinduet, sannsynligvis gikk det 2 steiner derfra Det ligger nå totalt 3 steiner nedstrøms i renna dvs 2 ekstra Nå plukker Eirik opp steinene slik det blir enklere å se hvor mange som går Ingen av steinene har nummer Tatt bilder også med kamera. Startet ny video	
14:46	Vi slår på vann igjen starter med 50 l/s	
14:51	Saltmåling med 30 g 0.4 l, nå bare 10 Hz for å kunne ha Agilent gående. Vannføring økes nå til 60 l/s	
14:53	Saltmåling ved ca. 60 l/s, tatt speilrefleksbilde Øker til 70 l/s	
14:55	Saltmåling ved ca. 70 l/s, tatt speilrefleksbilde Øker til 80 l/s	
14:58	Saltmåling ved ca. 80 l/s, tatt speilrefleksbilde Øker til 90 l/s	
15:02	Saltmåling ved ca. 90 l/s, tatt speilrefleksbilde Øker til 100 l/s	
15:04	Saltmåling ved ca. 100 l/s, tatt speilrefleksbilde Jens hører en stein som dirrer	
15:14	Stein som dirrer ca. 80 cm nedstrøms knekkpunkt ca. stein nr.3 fra vinduet	
15:27	Saltmålt med 30 g 0,4 l med 10 Hz med vannføring på ca. 100 l/s. Målte 5 ganger for å kunne sjekke repeterbarheten i målingene.	
15:44	Video stopp Bilderunde Vannføringsmåling med 100 Hz	
	Vann stopp	
15:53	Bilderunde Oppmåling av steiner	
16:10	Laserskanning ved y533	
	Husk å starte Agilent	

16:21	Bilderunde Video på Agilent på	
16:21	Slår på vannføring 50 l/s (målet blir 120 l/s)	
16:28	Øker til 75 l/s	
16:30	Øker til 100 l/s	
16:32	Øker til 110 l/s	
16:34	Stein som rister 110 cm nedstrøms knekkpunkt nr 2 fra vinduet Saltmåling	
16:35	Øker til 120 l/s	
16:37	Saltmåling	
17:09	Aglient stopp 10 Hz Saltmåling med 100 Hz Bilderunde Agilent på igjen med 10 Hz	
17:12	Vann av Innmåling av steiner	
17:15	Ingen steiner ligger nedstrøms for plastringa	
17:27	bilderunde	
17:29	Slår på vannføring 50 l/s (målet blir 140 l/s)	
17:32	Øker til 75 l/s	
17:34	Øker til 100 l/s	
17:36	Øker til 120 l/s	
17:38	Øker til 130 l/s	
17:40	Saltmåling ved ca. 130 l/s på 10 Hz	
17:41	Øker til 140 l/s	
	Saltmåling ved ca. 140 l/s	
17:55	Kobberstripe 200 og 1000 begynner å løsne fra vinduet, fint på veggen	
18:07	Stein nr.4, 95 cm nedstrøms knekkpunkt rister. Stein ved 110 cm (logg 16:34) har sluttet å riste	
18:14	Aglient stopp Saltmåling med 100 Hz Bilderunde Agilent på igjen med 10 Hz Videostopp og bilde	
18:19	Vann av Innmåling av steiner	
18:30	Video på igjen	
18:31	Slå på vann 50 l/s (målet er 160 l/s)	
18:32	Øker til 100 l/s	
18:34	Øker til 120 l/s	
18:35	Stein beveger seg like oppstrøms knekkpunktet, en annen stein oppstrøms knekkpunktet beveget seg. De har ikke lengre kontakt mot oppstrøms steiner, men presses mot de nedstrøms	

18:47	Øker til 140 l/s	
18:39	Øker til 150 l/s	
18:43	Bilde Saltmåling med 10 Hz	
18:44	Øker vannføring til 160 l/s	
18:46	Saltmåling med 10 Hz, Bilderunde	
19:16	Agilent av Saltmåling med 100 Hz Bilderunde Agilent på igjen med 10 Hz	
19:23	Video av Video bilde Vann av	
19:25	Agilent stopp Bilderunde	
19:39	Ferdig med å måle inn steiner	
19:41	Rydding Merker stativet med speilrefleks Merker kameraposisjon for video Siste bilderunde Laste ned data fra speilrefleks Laste ned data fra video Lagret Agilent	
	Husk backup på server og ekstern HD	

07.04.2015 – dag 2 av 3

10:15	Begynner å gjøre klar for å fortsette med forsøket	
10:25	Laserscan ved y 533, men det er mange røde faser	
10:40	Måler inn steiner for å dobbeltsjekke Plastringen samt hele filteret er tørt (det ser i hvert fall slikt ut fra vinduet) Steinene er ikke helt på samme plass. De nederste ser ut som de har sunket (ut ifra innmåling med disto)	
11:00	To plastringssteiner ligger i renna (41 og en til) Vi kan ikke huske om de var der på fredag 27.3. eller ikke	
	Fikset også kopperstripene langs glasset med tape (de som løsnet litt i toppen)	
12:35	Bypass stengt, 200ls pumpe på	
12:39	Agilent på Lys på Kamera på Smartstones klar (Jens skriver egen logg)	

12:44	OBS sjekker tid på kameraer. Siste test 27.3. var med normaltid. Vi stiller nå alt om til sommertid. Tar bilde av PC (den med Agilent og traverse) NB: bildene som ble tatt 7. april, men før 12:44 har normaltid som tidsstempel.	
12:48	Setter på vann. Starter med ca. 50 l/s (målet er 180 l/s)	
12:55	Øker sakte til ca. 100 l/s	
12:58	Øker sakte til ca. 120 l/s	
	Vannlinjen over toppen er utformet litt annerledes fordi noen steiner mangler, se bilde	
13:00	Øker til 140 l/s	
	Noen steiner rister litt	
13:04	Øker til 160 l/s	
13:07	Øker til 170 l/s	
13:10	Saltmåling med 10 Hz ved ca. 170 l/s	
13:11	Øker til 180 l/s	
13:13	Saltmåling med 10 Hz ved ca. 180 l/s	
	Starter på 30 min venting	
13:42	Flere og flere steiner begynner å riste, men de er fortsatt inn i plastringen.	
13:44	Stopp Agilent for å måle hastighet med 100 Hz Bilderunde	
	1000 og 200 mm kopperstripe på vinduet løsnet igjen (tape var ikke nok for å fikse)	
13:46	Agilent på igjen med 10 Hz	
13:49	Vann av	
	Ingen plastringssteiner i renna	
14:04	Ferdig med å måle inn steiner	
	Bilder og starte kamera igjen. Sjekket at Agilent er på med 10 Hz	
14:06	Setter på vann. Starter med ca. 50 l/s (målet er 200 l/s)	
14:09	Øker sakte til ca. 100 l/s	
	Det er en dunk ved ca. 600 mm nedstrøms knekken. Ev. de to oppstikkende steiner som endret strømmingen og forårsaket det?	
14:12	Øker til ca. 120 l/s	
14:14	Øker til ca. 140 l/s	
14:16	Øker til ca. 160 l/s	
14:18	Øker til ca. 180 l/s	
14:20	Øker til ca. 190 l/s	
14:22	Saltmåling med 10 Hz og ca. 190 l/s	
14:23	Øker til ca. 200 l/s	
14:26	Saltmåling med 10 Hz og ca. 200 l/s Starter 30 min venting	
14:56	Justert zero for saltmåling	

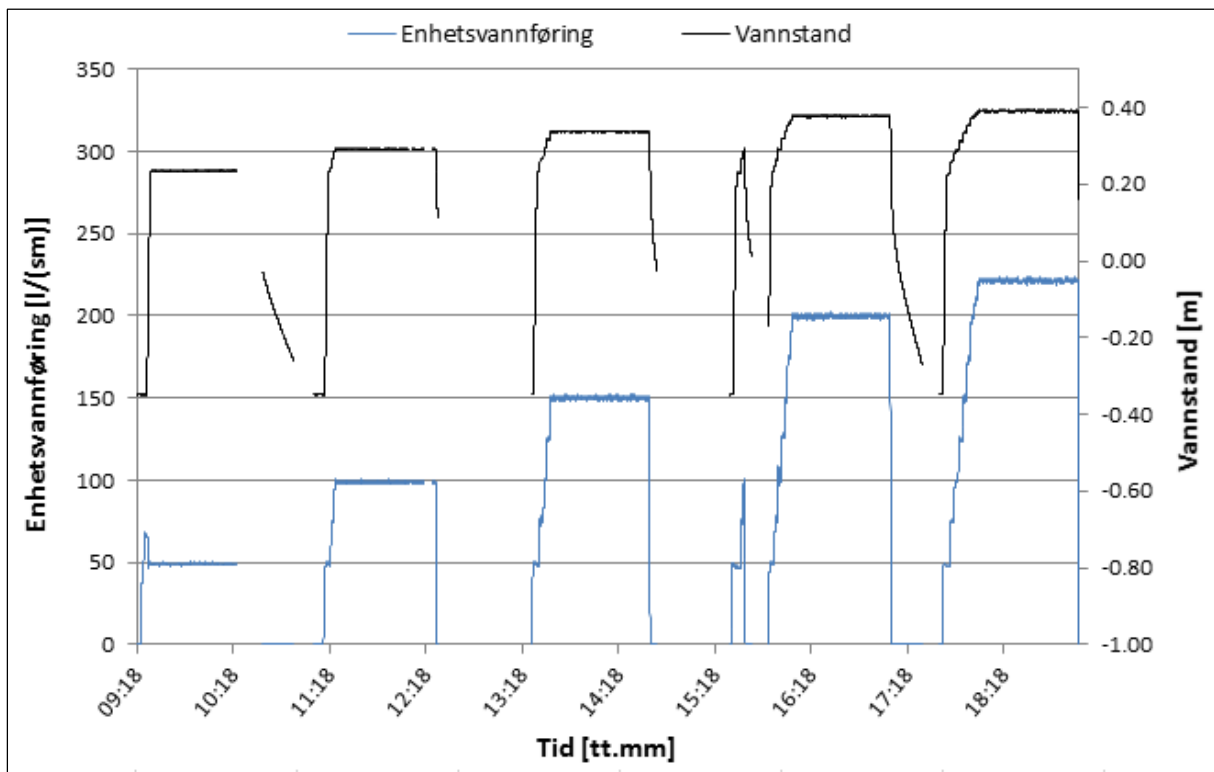
	Stopp Agilent Saltmåling med 100 Hz Agilent på igjen med 10 Hz Bilderunde	
15:00	Vann av	
	1 stein ligger i renna Ser ut som steinen er fra knekken Eirik hørte en lyd 14:19. Tenkte at det var steiner som vibrerte og slo mot hverandre, og ikke en stein som ble dratt ut plastringen. Må sjekkes mot video.	
	Oppmåling av steiner Bilderunde Kamera på igjen	
	100 l/s pumpe på i tillegg	
	Blå 100 l/s pumpe er også på, fikk ikke beskjed når den ble skrudd på	
15:36	Setter på vann. Starter med ca. 50 l/s (målet er 220 l/s)	
15:40	Øker til 100 l/s	
15:42	Øker til 125 l/s	
15:44	Eirik hørte noe. Vi stenger vannføringen for å sjekke om det var en stein	
15:46	Ingenting. Slå på vann, starter med 50 l/s	
15:48	Øker til 100 l/s	
15:50	Øker til 125 l/s	
15:52	Øker til 150 l/s	
15:54	Øker til 175 l/s	
15:56	Øker til 200 l/s	
16:00	Øker til 210 l/s	
16:02	Saltmåling med 10 Hz	
16:03	Øker til 220 l/s	
16:06	Saltmåling med 10 Hz Starter ventetid på 30 min	
16:25	Observerte en stein som ble tatt like ved den gule steinen ved 600 mm nedstrøms knekken, bilder. Steinen ble suget opp, la seg på plastringen og ble så tatt av strømmen	
	Det står dårlig til med kobberstripen 200 på vinduet	
16:37	Stopp Agilent	
16:38	Hastighetsmåling med 100 Hz Agilent på igjen med 10 Hz	
	Batteriet i videokameraet gikk tom. Usikker om filmen er hel.	
16:42	Vann av	
	3 steiner ligger i renna	
	Oppmåling av steiner	

	Fiksing av kamera og bytting av batteri. Tar bilder, kamera på	
17:09	Vann på igjen Øker til 50 l/s (målet er 240 l/s)	
17:12	Øker til ca. 100 l/s	
17:14	Øker til ca. 125 l/s	
17:16	Øker til ca. 150 l/s	
17:18	Øker til ca. 175 l/s	
17:20	Øker til ca. 200 l/s	
17:22	Øker til ca. 220 l/s	
17:24	Øker til ca. 230 l/s	
	Stein som vinglet ved knekken ble nå stabilisert med en som la seg inn til den steinen	
17:26	Saltmåling med 10 Hz	
17:28	Øker til 240 l/s	
17:30	Saltmåling med 10 Hz Starter ventetid på 30 min	
17:35	Stein, 2 steiner oppstrøms gul stein 1000 mm vingler	
17:39	Ca 5. stein fra vinduet ved 200 nedstrøms knekken begynte å riste	
17:44	Begge steiner ser ut som om de har stabilisert seg igjen	
17:45	To steiner nedstrøms gul steinen i krona rister litt i lag	
17:48	To steiner til på samme sted har beveget seg	
17:50	En stein ved knekken i krona ble suget opp og dratt ut	
17:53	Enda en stein fra knekken forsvant	
17:55	Salmåling med 10 Hz	
18:00	Agilent stopp Saltmåling med 100 Hz Agilent på igjen med 10 Hz Dårligere signal fordi noen av kopperstripene er skadet Bilderunde	
18:05	Vann av Stopper pumpene Åpner bypass 6 steiner ligger i renna	
18:07	Kamera stopp og bilde	
	Bilderunde Knekken er tydelig svekket og det ser ut som om det nå bare er et spørsmål av tid, til hele ryker. Plastringen ser ut som å ha bøyer flere steder.	
18:12	Agilent stopp	
18:15	Innmåling av steiner	
18:24	Rydding Lagret bilde fra speilrefleks kamera på harddisk Lagret videoer og bilder fra kamera på harddisk	

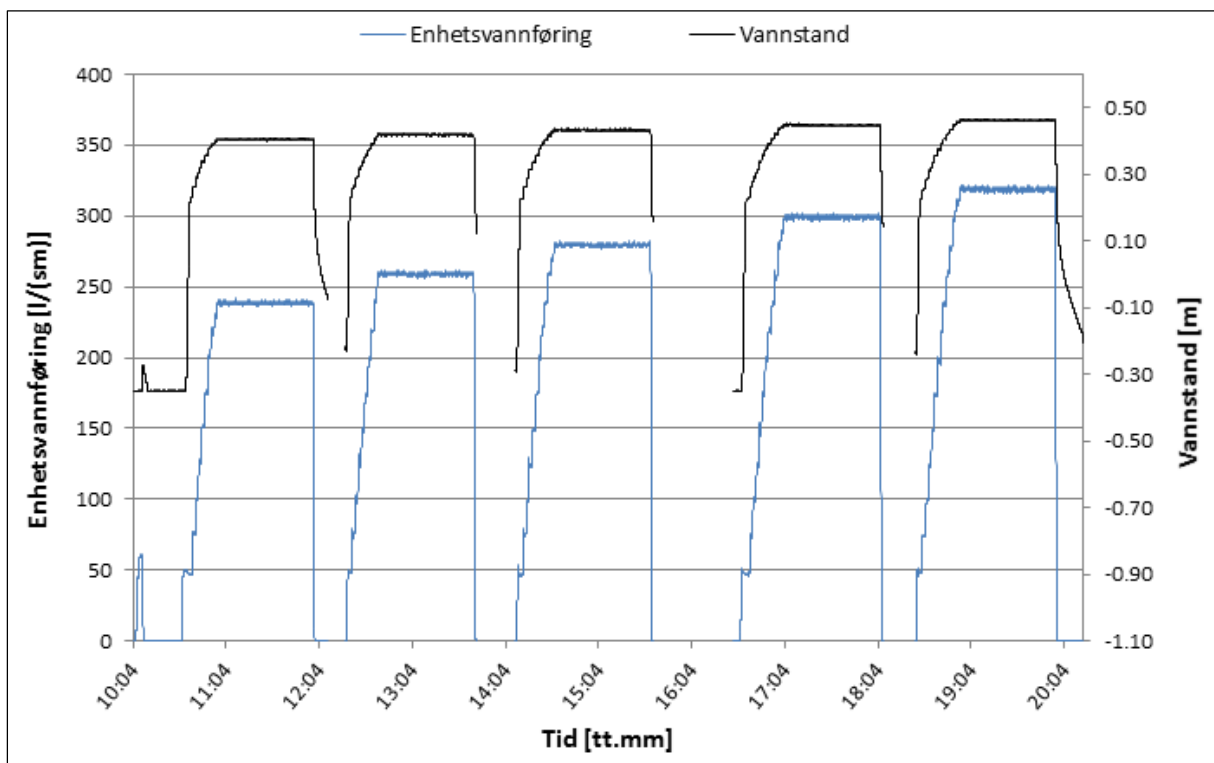
08.04.2015 – dag 3 av 3

8:15	Kopierte alle filer fra ekstern harddisk også over til ekstern harddisk på kontoret til PHH	
8:45	Laserscanner virker som å virke når jeg kjører den fra gamle PC Målte en stripe ved y=533	
9:00	Gjøre alt klart til forsøk Innmåling av steiner Etc.	
9:44	Pumper på Bypass lukket Agilent på med 10 Hz	
9:47	Kamera på	
9:48	Vann på Setter på ca. 50 l/s (målet er 260 l/s), det ble ca. 60 l/s	
9:54	Øker til ca. 100 l/s	
9:56	Øker til ca. 125 l/s	
9:58	Øker til ca. 150 l/s	
10:00	Øker til ca. 175 l/s	
	Observerte ikke ennå noen steiner som rister	
10:02	Øker til 200 l/s	
	Noen steiner begynner å riste	
10:04	Øker til 225 l/s	
	2 steiner flyttet litt på seg ved knekken	
	2 steiner gikk i knekken (de to som stakk ut)	
10:07	Ca. øverste halvmetre forskyvet seg litt mot nedstrøms	
10:08	Global brudd	
	Skrur av vannet	
	Hele er vasket bort, bitte litt igjen i toppen	
10:09	Skrur av kamera Bilderunde Pumpene av Åpner bypass Agilent stopp	

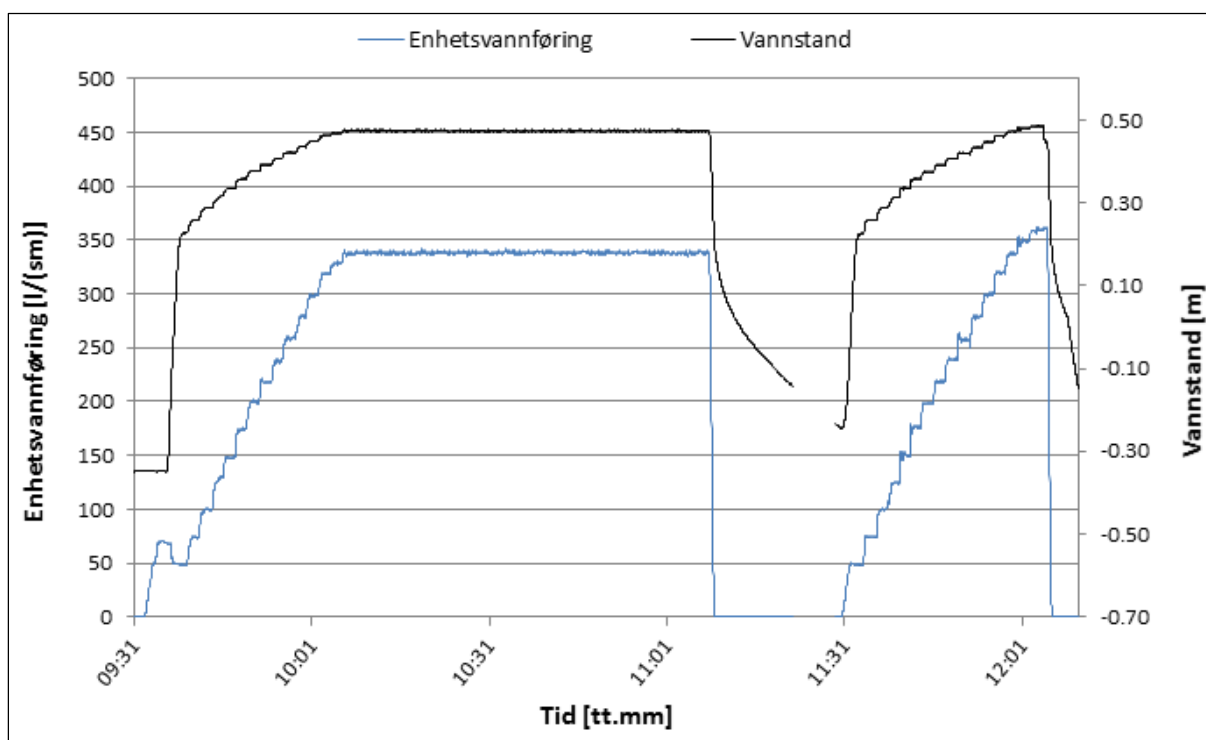
VEDLEGG B2– BESKRIVELSE AV FORSØK 2



Vannføringskurve forsøk 2, dag 1 av 3 (14.04.2015)



Vannføringskurve forsøk 2, dag 2 av 3 (15.04.2015)



Vannføringskurve forsøk 2, dag 3 av 3 (16.04.2015)

Forsøk nr.2 - logg

Forsøksdager: 14.04, 15.04, 16.04

Deltagere: Eirik Helgetun Pettersen, Jens Jakobsen, Priska Helene Hiller

14.04.2015 – dag 1 av 3

Tid	Logg	Filer
8:15	Byttet batteri på Disto laseren	
8:17	Åpnet Agilent og lastet config file (samme som sist men oppdatert navn)	150414_riprap2.xml
8:20	Innmåling av steiner	
8:38	Laserscann ved y=540mm	150413_Scan_Riprap_Middle_Stripe
	Kontrollerer mobilklokke mot pc-klokka. Avvik på mindre enn 1 sekund.	
9:18	Pumper på	
	Agilent på med 10 Hz	
9:21	Slår på 50 l/s (må fylle opp bak dammen først)	
9:26	Vann begynner å renne gjennom filter	
9:27	Overtopping starter	
9:30	Starter på 1 time med 50 l/s	
10:16	Agilent stopp	

10:17	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l)	
10:18	Agilent på igjen med 10 Hz, går ikke	
	Problemer med å koble opp gjen(?) til Agilent	
10:30	Skrur av vann	
10:36	Agilent ser ut som å virker igjen (tok strømmen på boksen og startet den på nytt) Agilent nå på med 10 Hz	
10:45	Innmåling av steiner	
10:52	Laserscan ved y=540 mm	
	Bilderunde 1 filterstein i renna (ev. fra sida eller noe sånt)	
10:59	Oppdaterer skilt fra 50 til 100 l/s	
	Agilent skrudde seg selv av igjen...	
11:12	Agilent virker igjen. Husk å slå av scanneprogram når det ikke scannes, CPU var ganske opptatt ca. 80%. Uten scanne program under 10%.	
11:13	Video på	
11:15	Vann på igjen 50 l/s (målet er 100 l/s)	
11:20	Øker til 75 l/s	
11:22	Øker til 100 l/s	
11:24	Start på 60 min	
12:08	Agilent stopp	
12:09	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l)	
12:11	Starter Agilent med 10 Hz igjen	
12:12	Tegner vannlinje på glasset (100 l/s)	
12:14	Bilderunde	
12:21	Agilent slutter å fungere	
12:23	Agilent virker igjen	
12:24	Bilde med videokamera	
12:25	Vann av	
12:26	Stopper Agilent	
12:30	Måler inn steiner	
12:47	Laserscann	
12:54	Bytter batteri på videokamera	
13:00	Bilde speilrefleks	
13:22	Pumpe 200 l/s på	
13:24	Starter videokamera	
13:24	Starter Agilent med 10 Hz	
12:25	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 150 l/s)	
13:30	Øker til 75 l/s	

13:32	Øker til 100 l/s	
13:34	Øker til 125 l/s	
13:36	Øker til 150 l/s	
13:38	Start på 60 min	
13:48	Stein ved 670 mm nært glasset rister. Tatt bilde.	
14:22	Stopper Agilent	
14:23	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l)	
14:24	Starter Agilent med 10 Hz igjen	
14:25	Tegner vannlinje på glasset (100 l/s)	
14:26	Bilderunde	
14:38	Vann av	
14:39	Oppdager lekkasje nedstrøms rista mot veggen.	
14:43	Stopper Agilent.	
14:50	Forsøkte å måle lekkasjen. Fylte ei 10-litersbøtte på ca. 7-8 sekunder. Greide å tette det meste ved å stappe liggeunderlaget ned igjen.	
15:13	Innmåling	
15:17	Laserscanning	
15:27	Starter videokamera x2	
15:28	Starter Agilent med 10 Hz	
15:29	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 200 l/s)	
15:35	Øker til 75 l/s	
15:37	Øker til 100 l/s	
15:38	Eirik hører noe som slår mot glasset. Tror det er en stein. Slår av vannet for å sjekke. 2 plastrings steiner har falt ut (fra samme sted). Dette er stein nr.61 og en uten nummer.	
15:42	Stoppet agilent og video.	
15:45	Koordinatene til hullet der begge steinene forsvant fra: x:1047 y:412	
15:48	Tar bilder med speilreflekskamera	
15:51	Starter video	
15:52	Starter Agilent med 10 Hz	
15:52	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 200 l/s)	
15:56	Øker til 75 l/s	
15:58	Øker til 100 l/s	
16:00	Øker til 125 l/s	
16:02	Øker til 150 l/s	
16:04	Øker til 175 l/s	
16:06	Øker til 200 l/s	
16:08	Starter 60 minutter	

16:11	Eirik ser en stein som forsvinner. Litt til venstre for midten sett fra nedstrøms side. Ser hull og tar bilde av sannsynlig posisjon for steinen ved krona helt inn mot veggen.	
16:50	Agilent stopp	
16:51	Saltmåling med 100 Hz	
16:53	Agilent på igjen med 10 Hz	
17:00	Tegnet vannlinje på glasset	
17:01	Bilderunde	
17:08	Vann av	
	3 steiner i renna	
	Måler inn steiner	
17:28	Agilent stopp	
17:38	Agilent på med 10 Hz	
17:39	Starter videokamera	
17:41	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 220 l/s)	
17:46	Øker til 75 l/s	
17:48	Øker til 100 l/s	
17:50	Øker til 125 l/s	
17:53	Øker til 150 l/s	
17:56	Øker til 175 l/s	
17:58	Øker til 200 l/s	
18:00	Øker til 210 l/s	
18:03	Øker til 220 l/s	
18:05	Starter 60 minutter	
18:49	Slår av Agilent	
18:50	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l vann)	
18:51	Starter Agilent med 10 Hz igjen.	
19:01	Bilderunde	
19:05	Slår av vann	
19:06	Slår av Agilent	
19:06	Slår av video.	
19:20	Måler inn steiner	
19:23	Laserscanning	
19:49	Lagrer og overfører alle data til ekstern harddisk	

15.04.2015 – dag 2 av 3

9:10	Innmåling av steiner. Disto satt litt løs på traversen. Eirik festet den nå bedre med tape.	
9:30	Laserscann	

	Noen ganger ser det ut som traversen stopper bittelitt ved knekken. Sørg neste gang godt med og sjekk filene.	
10:04	Pumper på Bypass stengt Kamera klar	
10:04	Agilent på med 10 Hz	
10:05	Vann på ca. 50 l/s (målet er 240 l/s)	
10:11	Lekkasje ved foten, vegg Vann stopp. Vannet stoppet før overtopping	
	Fikset med rist plate og metalltråd	
10:35	Agilent av Agilent på igjen slik at vi får ny fil	
10:35	Vann på ca. 50 l/s	
10:42	Øker til 75 l/s	
10:44	Øker til 100 l/s	
10:46	Øker til 125 l/s	
10:48	Øker til 150 l/s	
10:50	Øker til 175 l/s	
10:52	Øker til 200 l/s	
10:54	Øker til 220 l/s	
10:56	Øker til 230 l/s	
	Flere steiner rister litt	
10:58	Øker til 240 l/s	
11:00	Starter på 1 time belastning	
11:44	Agilent stopp	
11:45	Saltmåling med 100 Hz	
	Vannlinje tegnet på	
11:47	Agilent på igjen med 10 Hz	
12:00	Vann av	
12:09	Målte inn steiner, etter 240l/s	
12:11	Laserscanning. Stoppet ikke i knekkpunktet	
	1 stein la i renna og ble plukket opp	
	Bilderunde	
12:20	Agilent på med 10 Hz	
	Kamera på	
12:21	Vann på, ca. 50 l/s (målet er 260 l/s)	
12:25	Øker til ca. 75 l/s	
12:27	Øker til ca. 100 l/s	
12:29	Øker til ca. 125 l/s	
12:31	Øker til ca. 150 l/s	
12:33	Øker til ca. 175 l/s	
12:35	Øker til ca. 200 l/s	
12:37	Øker til ca. 220 l/s	
12:39	Øker til ca. 240 l/s	

12:41	Øker til 260 l/s	
12:43	Starter på 60 min	
12:49	Agilent stopp	
	Saltmåling med 100 Hz allerede nå i tilfellet plastringen ikke tåler 1 time med 260 l/s	
12:51	Agilent på igjen med 10 Hz	
13:09	Justerer offset på agilent salmåling	
13:27	Saltmåling med 100 Hz	
13:29	Starter Agilent med 10 Hz igjen	
13:36	Tegner vannlinje	
13:37	Bilderunde	
13:43	Vann av	
13:45	Stopper Agilent	
14:46	Stopper videokamera	
13:47	Måler inn plastringssteinene etter 260l/s	
14:00	Laserscanning. Stopper ikke ved knekkpunktet	
14:09	Starter videokamera	
14:10	Starter Agilent	
14:11	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 280 l/s)	
14:15	Øker til ca. 75 l/s	
14:17	Øker til ca. 100 l/s	
14:19	Øker til ca. 125 l/s	
14:21	Øker til ca. 150 l/s	
14:23	Øker til ca. 175 l/s	
14:25	Øker til ca. 200 l/s	
14:27	Øker til ca. 220 l/s	
14:29	Øker til ca. 240 l/s	
14:31	Øker til ca. 260 l/s	
14:33	Øker til ca. 270 l/s	
14:35	Øker til ca. 280 l/s	
14:37	Starter 60 minutter	
15:17	Stopper Agilent	
15:18	Saltmåling med 100 Hz	
15:19	Starter Agilent med 10 Hz igjen	
15:28	Tegner vannlinje	
15:30	Bilderunde	
15:37	Vann av	
15:39	Stopper Agilent	
15:41	Stopper videokamera	
15:46	Målte inn datapunkter til steinene etter 1 time med 280l/s	
16:00	Henter ut data fra det lille kameraet	
16:05	Finner og henter ut to steiner fra renna	
16:10	Bilderunde	
16:30	Starter Agilent	

16:31	Starter videokamera	
16:34	Vann på igjen, 50 l/s på blått system(målet er 300 l/s)	
16:41	Øker til ca. 75 l/s, 50 l/s på blått, 25 l/s på rødt	
16:43	Øker til ca.100 l/s, 50 l/s på blått, 50 l/s på rødt	
16:45	Øker til ca. 125 l/s, 50 l/s på blått, 75 l/s på rødt	
16:47	Øker til ca. 150 l/s, 50 l/s på blått, 100 l/s på rødt	
16:49	Øker til ca. 175 l/s, 50 l/s på blått, 125 l/s på rødt	
16:51	Øker til ca. 200 l/s, 50 l/s på blått, 150 l/s på rødt	
16:53	Øker til ca. 220 l/s, 50 l/s på blått, 170 l/s på rødt	
16:55	Øker til ca. 240 l/s, 50 l/s på blått, 190 l/s på rødt	
16:57	Øker til ca. 260 l/s, 50 l/s på blått, 210 l/s på rødt	
16:59	Øker til ca. 280 l/s, 50 l/s på blått, 230 l/s på rødt	
17:01	Øker til ca. 290 l/s, 50 l/s på blått, 240 l/s på rødt	
17:03	Øker til ca. 300 l/s, 50 l/s på blått, 250 l/s på rødt	
17:05	Starter på 60 minutter	
17:15	Joe og Priska hører en lyd. Kan være en stein som forsvinner	
17:19	Priska hørte noe men er veldig usikker om det var stein	
17:24	Saltmåling ved 10 Hz	
17:52	Agilent stopp	
17:52	Saltmåling med 100 Hz	
17:54	Agilent på igjen med 10 Hz	
	Tegne inn vannlinje	
18:05	Vann av	
18:07	Stopper Agilent	
18:07	Stopper videokamera	
18:10	Innmåling av steiner	
18:19	Laserscann	
	2 steiner var i renna (en var 180)	
	Bilderunde	
18:27	Agilent på	
	Video på	
18:29	Vann på 50 l/s (målet er 320 l/s)	
18:32	Øker til ca. 75 l/s, 75 l/s på blått	
18:34	Øker til ca.100 l/s, 100 l/s på blått	
18:36	Øker til ca. 125 l/s, 100 l/s på blått, 25 l/s på rødt	
18:38	Øker til ca. 150 l/s, 100 l/s på blått, 50 l/s på rødt	
18:40	Øker til ca. 175 l/s, 100 l/s på blått, 75 l/s på rødt	
18:42	Øker til ca. 200 l/s, 100 l/s på blått, 100 l/s på rødt	
18:44	Øker til ca. 220 l/s, 100 l/s på blått, 120 l/s på rødt	
18:46	Øker til ca. 240 l/s, 100 l/s på blått, 140 l/s på rødt	
18:48	Øker til ca. 260 l/s, 100 l/s på blått, 160 l/s på rødt	
18:50	Øker til ca. 280 l/s, 100 l/s på blått, 180 l/s på rødt	

18:52	Øker til ca. 300 l/s, 100 l/s på blått, 200 l/s på rødt	
	Flere steiner begynner å bevege seg i krona	
18:54	Øker til ca. 310 l/s, 100 l/s på blått, 210 l/s på rødt	
18:56	Øker til ca. 320 l/s, 100 l/s på blått, 220 l/s på rødt	
18:58	Starter 60 minutter	
19:44	Agilent av	
19:44	Saltmåling med 100 Hz	
19:47	Agilent på med 10 Hz igjen	
19:47	Tegner vannlinje på glasset	
19:48	Bilderunde Øverste steinen (i krona) som måles inn har mistet kontakt med de nedstrøms liggende steinene. Forskyvingen fra selve markørsteinen er derfor ikke direkte representativ for steinene i dette området.	
19:54	Eirik ser en stein som forsvinner. Slår i glasset helt nedenfor rista(1800)	
19:58	Vann av	
20:00	Pumper av Video stopp	
20:10	Innmåling av steiner	
20:15	Agilent stopp	
	Åpnet bypass	
20:20	Laserscann	
	Kopierte video fra lille kamera Kopierer video og bilder fra store kamera	
	To steiner la i renna (en ser ut som å være fra ca. 1400 ved gulstein 1400 og et ved ca 600 ved veggen)	Bilder
20:29	Bilderunde	
	Kopiert data fra speilrefleks Kopiert data fra agilent og laser	

16.04.2015 – dag 3 av 3

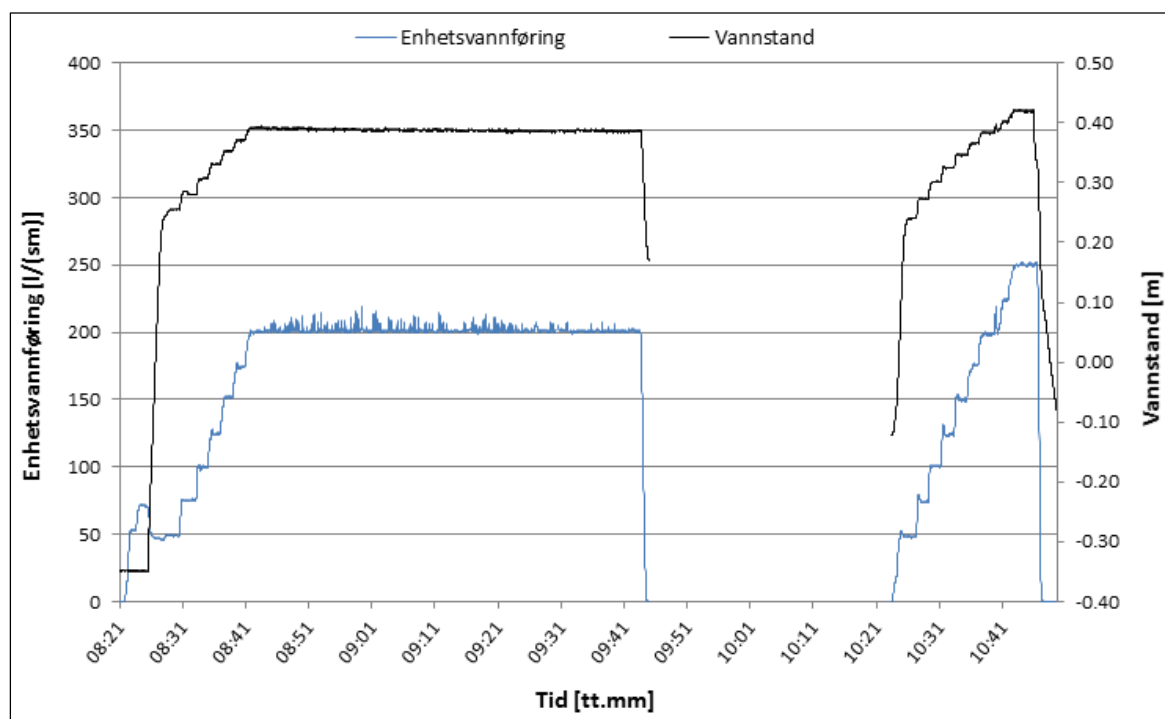
9:00	Gjøre ting klar til forsøk	
	Innmåling av steiner	
9:14	Laserscann	
	Gjøre kamera klar Bypass stengt	
	Agilent med ny config fil som også har med blå Q-system	150416_riprap2_withBlueQ.xml
9:26	Bilderunde (skiltene er allerede tilpasset til 340 l/s)	
	Når man ser litt nedenfra på plastringen er det enklere å se hull. Eirik tar også bilder fra i renna.	

	Plastringen ser nå litt mer medtatt ut og har større forskyvinger ved knekkpunktet.	
9:29	Pumper på (begge røde og lille blå)	
9:31	Agilent på Dato sjekk på kamera og video på	
9:32	Vann på øker til ca. 50 l/s på blått (målet er 340 l/s) Fylte boksen bak modellen med litt over 50 l/s, men reduserte før overtopping startet til ca. 50 l/s	
9:38	Overtopping starter	
9:40	Øker til ca. 75 l/s, 75 l/s på blått	
9:42	Øker til ca. 100 l/s, 100 l/s på blått	
9:44	Øker til ca. 125 l/s, 100 l/s på blått, 25 l/s på rødt	
9:46	Øker til ca. 150 l/s, 100 l/s på blått, 50 l/s på rødt	
9:48	Øker til ca. 175 l/s, 100 l/s på blått, 75 l/s på rødt	
9:50	Øker til ca. 200 l/s, 100 l/s på blått, 100 l/s på rødt	
9:52	Øker til ca. 220 l/s, 100 l/s på blått, 120 l/s på rødt	
9:54	Øker til ca. 240 l/s, 100 l/s på blått, 140 l/s på rødt	
9:56	Øker til ca. 260 l/s, 100 l/s på blått, 160 l/s på rødt	
9:58	Øker til ca. 280 l/s, 100 l/s på blått, 180 l/s på rødt	
10:00	Øker til ca. 300 l/s, 100 l/s på blått, 200 l/s på rødt	
10:02	Øker til ca. 320 l/s, 100 l/s på blått, 220 l/s på rødt	
10:03	Flere steiner rister	
10:04	Øker til ca. 330 l/s, 100 l/s på blått, 230 l/s på rødt	
10:06	Øker til ca. 340 l/s, 100 l/s på blått, 240 l/s på rødt	
10:08	Starter 60 minutters belastning med 340 l/s	
10:10	Bilderunde	
10:18	Eirik ser fem steiner som ligger i renna. Vi så ikke når de forsvant fra plastringen.	
10:26	Priska ser en stein forsvinne. Tror det gikk fra knekkpunktet inne ved glasset.	
10:43	Priska teller 7 steiner i renna (men litt vanskelig å se)	
10:53	Justerer offset på Agilent forsterker for saltmåling	
10:54	Agilent stopp	

10:55	Saltmåling med 100 Hz	
	Tegne inn vannlinge ved 340 l/s	
10:56	Eirik hørte en lyd ved renna (usikker hva det var)	
10:57	Agilent på igjen med 10 Hz	
10:08	Vann av	
10:12	Video stoppet	
10:12	Innmåling av steiner	
11:20	Laserscann	
11:22	Agilent stopp	
	7 steiner var i renna (83 og 219 blant dem)	
	Bilderunde	
11:29	Agilent start	
11:30	Video på	
11:30	Vann på øker til ca. 50 l/s på blått (målet er 360 l/s)	
11:33	Overtopping starter	
11:34	Øker til ca. 75 l/s, 75 l/s på blått	
11:36	Øker til ca. 100 l/s, 100 l/s på blått	
11:38	Øker til ca. 125 l/s, 100 l/s på blått, 25 l/s på rødt	
11:40	Øker til ca. 150 l/s, 100 l/s på blått, 50 l/s på rødt	
11:42	Øker til ca. 175 l/s, 100 l/s på blått, 75 l/s på rødt	
11:44	Øker til ca. 200 l/s, 100 l/s på blått, 100 l/s på rødt	
11:46	Øker til ca. 220 l/s, 100 l/s på blått, 120 l/s på rødt	
11:48	Øker til ca. 240 l/s, 100 l/s på blått, 140 l/s på rødt	
11:50	Øker til ca. 260 l/s, 100 l/s på blått, 160 l/s på rødt	
11:52	Øker til ca. 280 l/s, 100 l/s på blått, 180 l/s på rødt	
11:54	Øker til ca. 300 l/s, 100 l/s på blått, 200 l/s på rødt	
11:56	Øker til ca. 320 l/s, 100 l/s på blått, 220 l/s på rødt	
11:58	Øker til ca. 340 l/s, 100 l/s på blått, 240 l/s på rødt	
12:00	Øker til ca. 350 l/s, 100 l/s på blått, 250 l/s på rødt	
12:0	Øker til ca. 360 l/s, 100 l/s på blått, 260 l/s på rødt	
12:10	Agilent og video stopp Store video var av da Eirik ville stoppe det... men det lyste rød under bruddet	

	Lille kameraet måtte han stoppe manuelt	
	Saltmåler var dårlig loddet, derfor dårlig signal. Usikkerhet i data	
	Det store kameraet stoppet igjen, og kan derfor ikke brukes i videre forsøk	

VEDLEGG B3– BESKRIVELSE AV FORSØK 3



Vannføringskurve forsøk 3, dag 1 av 1 (21.04.2015).

Forsøk nr.3 - logg

Forsøksdag: 21.04.2015

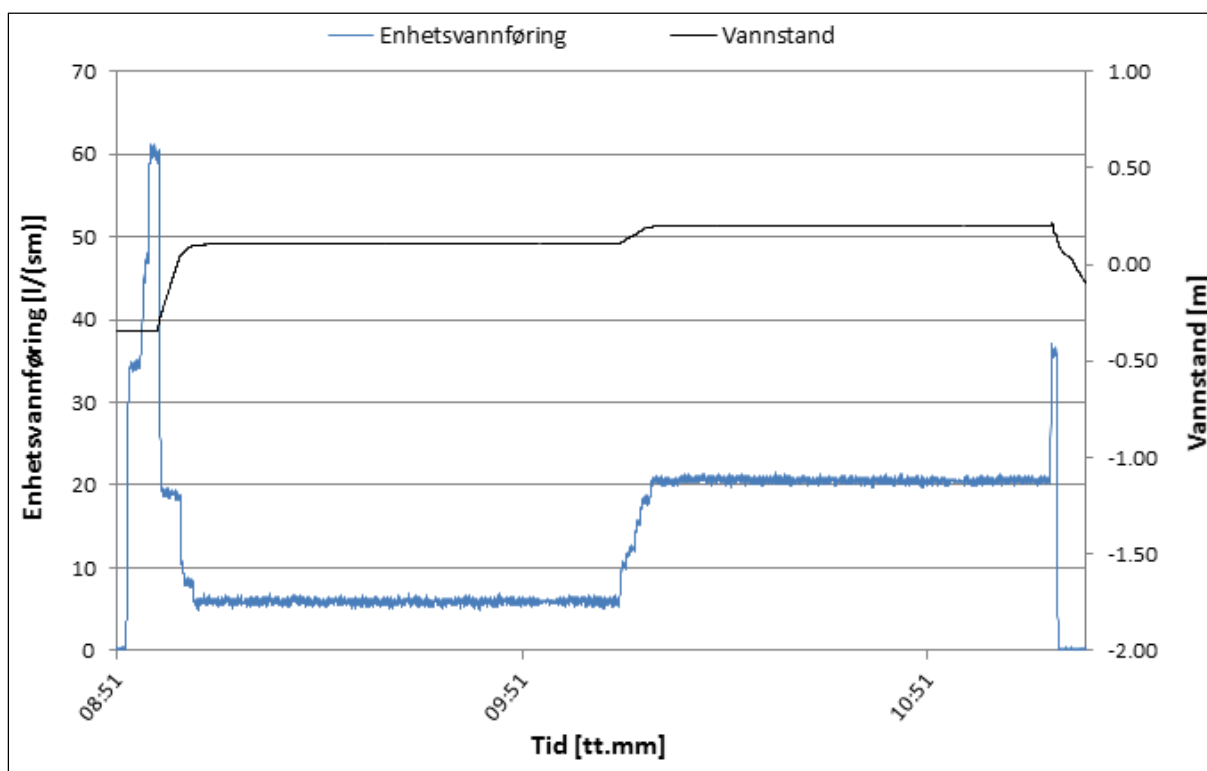
Deltagere: Eirik Helgetun Pettersen, Jens Jakobsen, Priska Helene Hiller

Tid	Logg	Filer
	EHP og PHH starter	
7:35	Byttet batteri på Disto laseren	
8:00	Lukket bypass	
8:18	Åpnet Agilent og lastet config file OBS det var strøbrudd på ultrasonic og den ble slått på ca. 8:10. Den bør stå litt på for oppvarming (ca. 30 min), men forskjellen er liten. Vi trenger litt tid for å kjøre opp vannføringen og setter i gang.	150421_riprap3.xml
7:40	Innmåling av steiner	
7:55	Laserscann ved y=540mm	150413_Scan_Riprap_Middle_Stripe

Ok	Kontrollerer mobilklokke mot pc-klokka. Avvik på mindre enn 1 sekund. Kontroll av klokke på alle kamera	
Ok	Skrive på infoplakater	
Ok	Lys på	
Ok	Plassere videokamera	
Ok	Bilderunde. Starter videokamera	
8:15	Pumper på	
8:21	Agilent på med 10 Hz	
8:21	Slår på 50 l/s (200 l/s er målet) Var ca. 70 l/s for å fylle opp, reduserte til 50 l/s før overtopping startet	
	Lekkasjen er nå mye mindre enn før som følge av ekstra tetting langs sidene.	
8:27	Overtopping starter	
8:31	Øker til 75 l/s	
8:32	Fisket opp en langkust som var gjenglemt i renna. Ser ut som om den ikke påvirket testen. Ev. litt oppstrøms vannstand. Den var gjenglemt oppstrøms riggen.	
8:33	Øker til 100 l/s	
8:35	Øker til 125 l/s	
8:37	Øker til 150 l/s	
8:39	Øker til 175 l/s	
	Noen steiner rister	
8:41	Øker til 200 l/s	
8:42	PHH så hvordan ca. 5 steiner beveget seg bitte litt ned over noen mm like ved vinduet 300-500 mm nedstrøms knekkpunkt. En stein ved ca. 500 mm nedstrøms knekkpunktet.	
8:43	Start på 60 minutter	
8:45	Glipen like oppstrøms knekkpunktet har allerede åpnet seg noe. En stein i knekkpunktet ristet litt	
8:49	Vi kan observere hvordan glipen åpner seg mer ved knekkpunktet. Flere steiner som forskyvet seg noe mot nedstrøms.	
	Ganske stort hull (plass til ca. 1-2 steiner) ca. 200 mm fra vinduet like oppstrøms knekkpunktet. Usikker om det har forsvunnet noen stein derfra.	bilde
8:54	Renna lekker fortsatt litt bak skrivebordet under trappa	
9:08	Priska går, Jens kommer og tar over	

9:29	Saltmåling med 10 Hz på grunn av misforståelse	
9:30	Agilent stopp	
9:31	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l vann)	
9:32	Agilent på igjen med 10 Hz	
9:34	Tegnet vannlinje på glasset	
9:35	Bilderunde	
9:44	Vann av	
9:45	Stopper video	
9:45	Stopper Agilent	
9:49	Antall steiner i renna:0 plastringssteiner, 1 filterstein	
9:50	Måler inn steiner	
10:11	Laserscanning	
10:15	Bilderunde	
10:23	Agilent på med 10 Hz	
10:24	Starter videokamera	
10:24	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 250 l/s)	
10:27	Øker til 75 l/s	
10:29	Øker til 100 l/s	
10:31	Øker til 125 l/s	
10:33	Øker til 150 l/s	
10:35	Øker til 175 l/s	
10:37	Øker til 200 l/s	
10:40	Øker til 225 l/s	
10:42	Øker til 250 l/s	
10:44	Start på 60 minutter	
10:47	Brudd	
10:48	Vann av	
	Kamera av	
	Agilent av	
10:51	Bilderunde	
	Åpner bypass	
11:33	Lagrer alle data til ekstern harddisk	

VEDLEGG B4– BESKRIVELSE AV FORSØK 4



Vannføringskurve forsøk 4, dag 1 av 1 (24.04.2015)

Forsøk nr.4 – logg

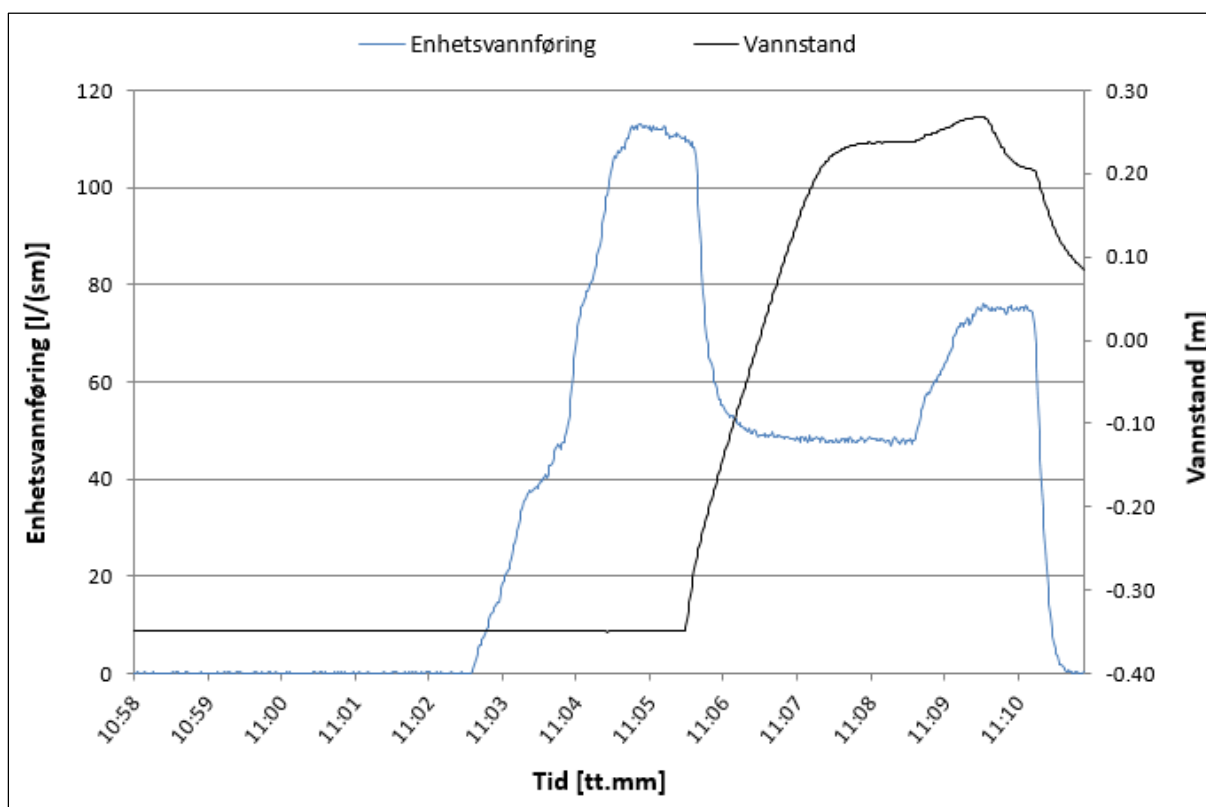
Forsøksdag: 24.04.2015

Deltagere: Eirik Helgetun Pettersen, Jens Jakobsen, Priska Helene Hiller, Wiebke Zander

Tid	Logg	Filer
x	Byttet batteri på Disto laseren, den bruker vi ikke i dag	
ok	Lukket bypass	
ok	Åpnet Agilent og lastet config file	150424_riprap4.xml
x	Innmåling av steiner (faller bort for denne testen)	
8:20	Laserscann ved y=540mm	150413_Scan_Riprap_Middle_Stripe
8:40	Kontrollerer mobil klokke mot pc-klokka. Avvik på 2 sekunder.	
8:37	Kontrollert videoklokke	
8:30	Kontrollerer speilrefleks kameraklokke og ta bilde av PC klokke	
ok	Kontrollerer videoklokke på video 2 og ta bilde av PC klokke. Sjekk at den monteres vannrett, hvis den skal ta bilde fra horisontal posisjon.	
ja	Skrive på infoplakater	
ok	Lys på	
ok	Plassere videokamera	

8:40	Byttet batteri på Smartstone 71 og 61 (66 hadde ok spenning)	
8:45	Plasserer Smartstones i rauset steinsikringen: 66 ved 200 mm, 71 ved 600 mm, 61 ved 1000 mm	
8:45	Bilderunde. Starter videokamera	
8:50	Pumper på	
8:51	Agilent på med 10 Hz	
8:55	Vann på slik at vann bare renner gjennom filteret (var tidligere ca. 7 l/s) Q=6 l/s	
9:03	Start på 60 min	
9:26	Henrik kjører også forsøk. Han bruker ca. 50-70 l/s	
9:50	Justerer offset på Agilent	
9:53	Agilent stopp	
9:54	Saltnåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l)	
9:56	Agilent på igjen med 10 Hz	
10:03	Tegnet vannlinje på glasset	
10:00	Bilderunde	
10:05	Vannføringen økes til like før overtopping (det var tidligere ca. 15 l/s med plastring) Q=20 l/s	
10:11	Start på 60 min	
10:39	Henrik er ferdig med forsøket sitt og vi disponerer pumpa.	
10:54	Agilent stopp	
10:55	Saltnåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g salt i ca. 0.4 l vann)	
10:56	Agilent på igjen med 10 Hz	
11:00	Lastet ned video fra lille kamera og slettet minne.	
ok	Tegnet vannlinje på glasset	
Ok	Bilderunde	
11:10	Øker vannføringen til 40 l/s (40 l/s er målet)	
	Brudd	
11:14	Agilent stopp	
	Kopiert bilder fra 3 kamera til harddisk Kopiert agilent filer	
	All data kopieres til ekstern harddisk	
	Batterier settes til lading	
	Ekstra kopi til EHPs harddisk og PHHs stor harddisk	

VEDLEGG B5– BESKRIVELSE AV FORSØK 5



Vannføringskurve forsøk 5, dag 1 av 1 (26.04.2015)

Forsøk nr.5 – logg

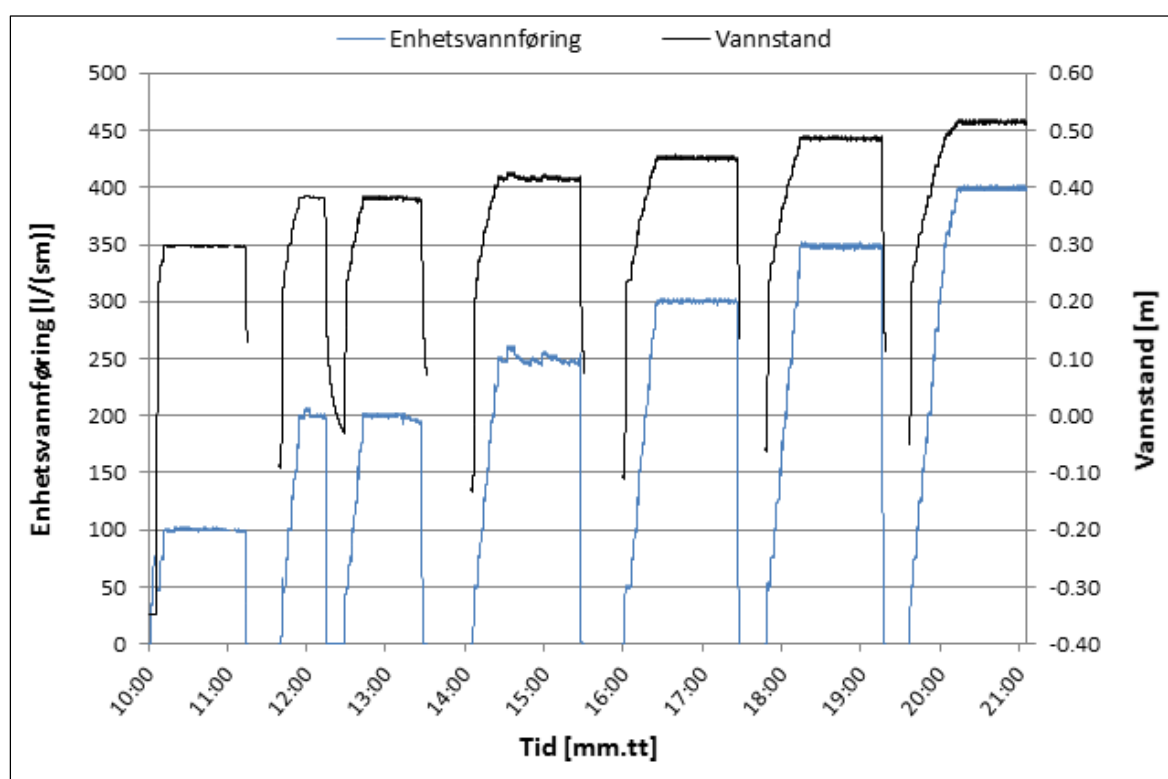
Forsøksdag: 26.04.2015

Deltagere: Eirik Helgetun Pettersen, Jens Jakobsen

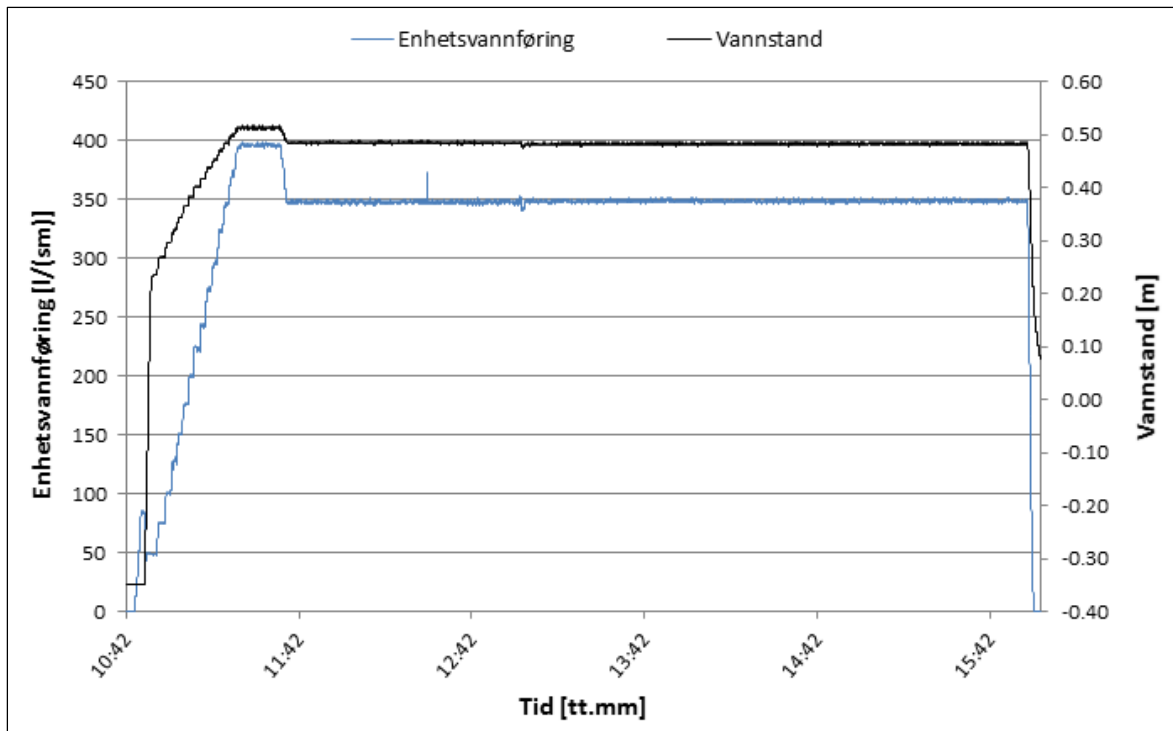
Tid	Logg	Filer
Ok	Byttet batteri på Disto laseren	
Ok	Lukket bypass	
10:17	Åpnet Agilent og lastet config file	150426_riprap5.xml
10:40	Innmåling av steiner	150426_Coordinates_Marked_Stones.xlsx
10:49	Laserscann ved y=540mm. Stopper litt ved knekkpunktet (mindre enn 1 sekund)	150413_Scan_Riprap_Middle_Stripe
Ok	Kontrollerer mobil klokke mot pc-klokka. Avvik på 5 sekund.	
Ok	Kontrollert videoklokke	
Ok	Kontroller speilreflekskameraklokke og ta bilde av PC klokke. Avvik på 5 sekunder	
Ok	Kontroller videoklokke på video 2 og ta bilde av PC klokke. Sjekk at den monteres vannrett, hvis den skal ta bilde fra horisontal posisjon. Avvik på 3 sekunder	
Ok	Skrive på infoplakater	
Ok	Lys på	

Ok	Plassere videokamera	
Ok	Batteri ok på smartstones	
	Plasserer Smartstones i rauset steinsikringen: 66 ved 200 mm, 71 ved 600 mm, 61 ved 1000 mm	
10:51	Pumper på	
10:58	Agilent på med 10 Hz	
10:59	Bilderunde. Starter videokamera	
11:02	Vann på, 50 l/s (målet er 100 l/s)	
11:09	Øker til 75 l/s	
11:10	Brudd ved ca. 75 l/s	
11:11	Stopper Agilent	
11:12	Stopper kamera	
11:45	Overfører og lagrer alle data	
	All data kopieres til ekstern harddisk	
	Batterier settes til lading	
	Ekstra kopi til EHPs harddisk og PHHs stor harddisk	

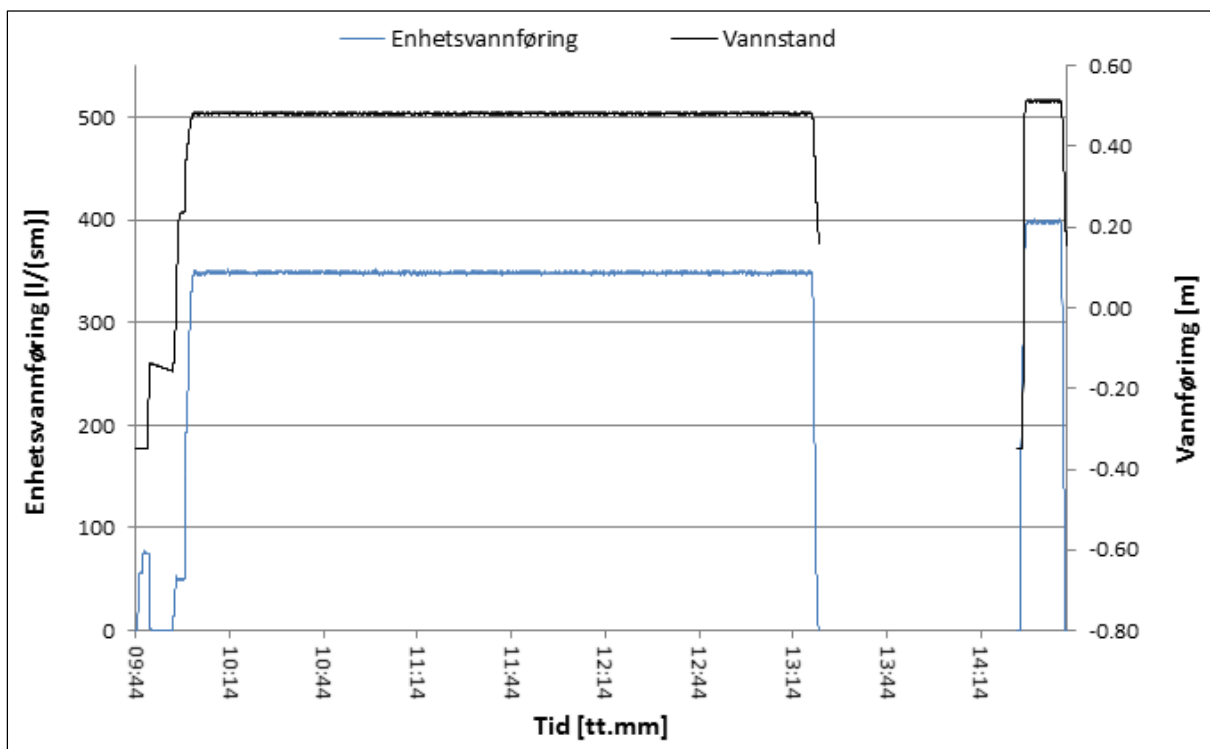
VEDLEGG B6– BESKRIVELSE AV FORSØK 6



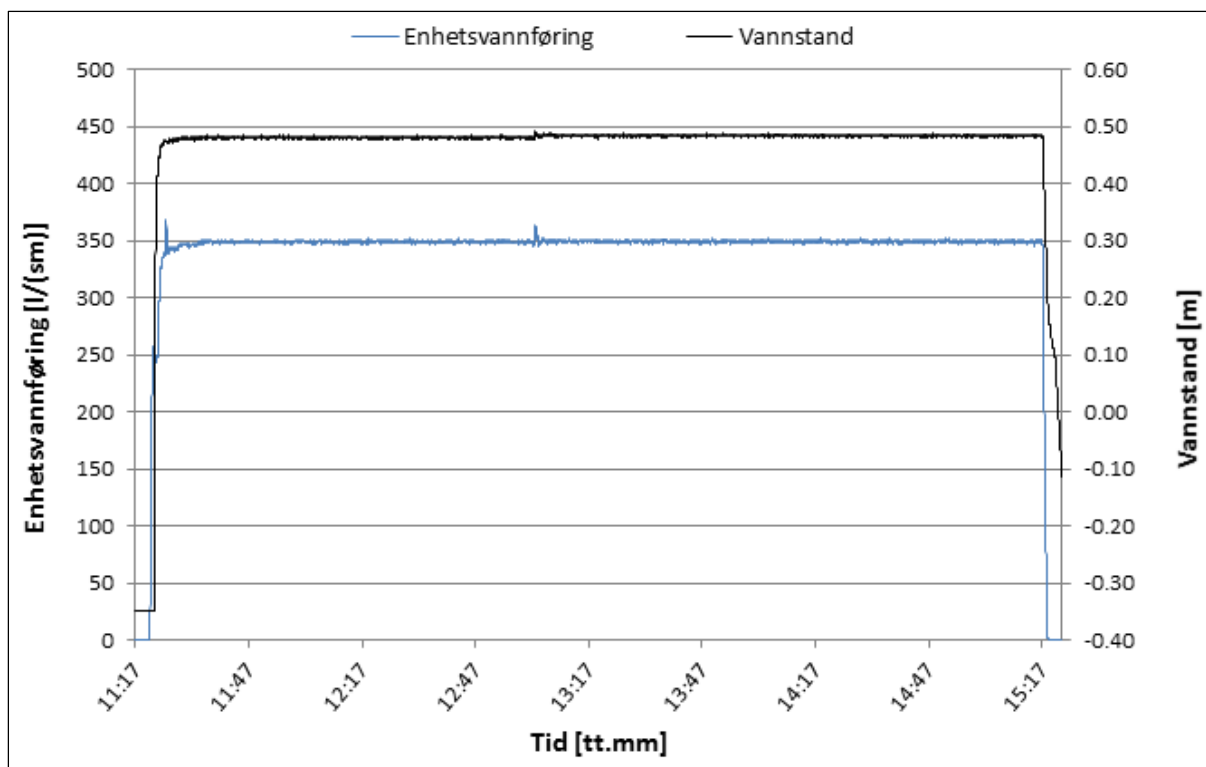
Vannføringskurve forsøk 6, dag 1 av 6 (28.04.2015)



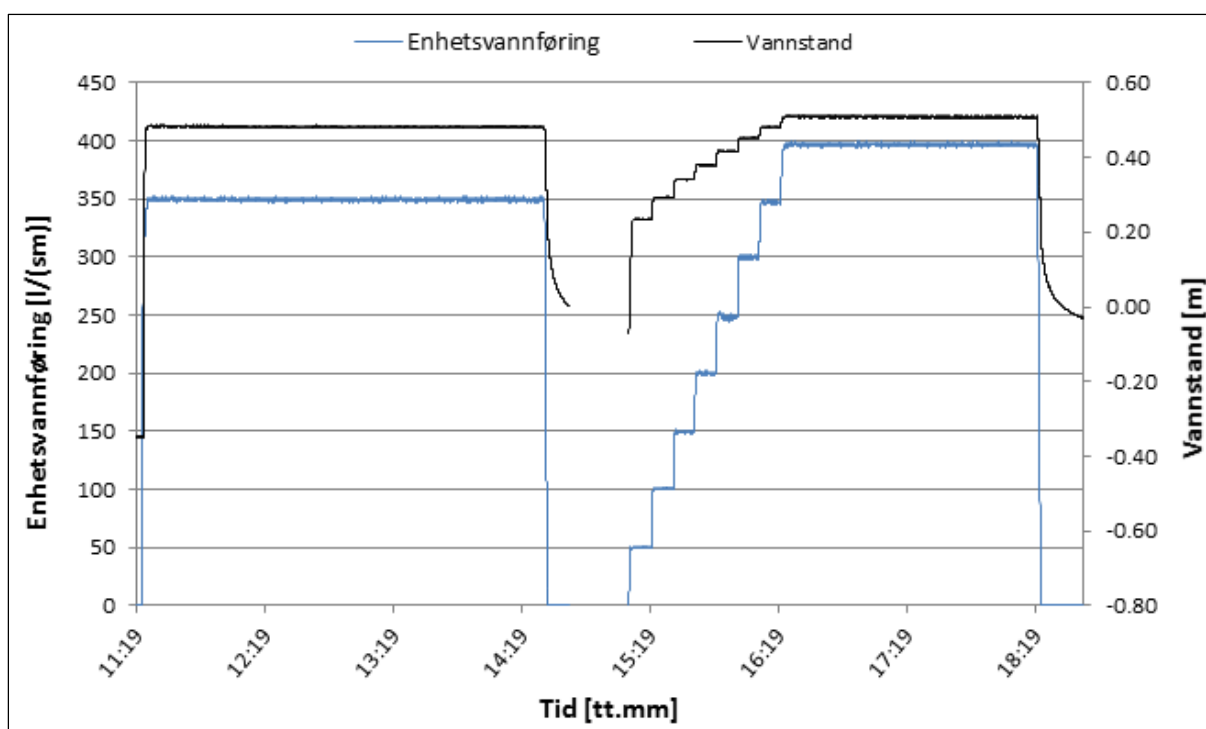
Vannføringskurve forsøk 6, dag 2 av 6 (29.04.2015)



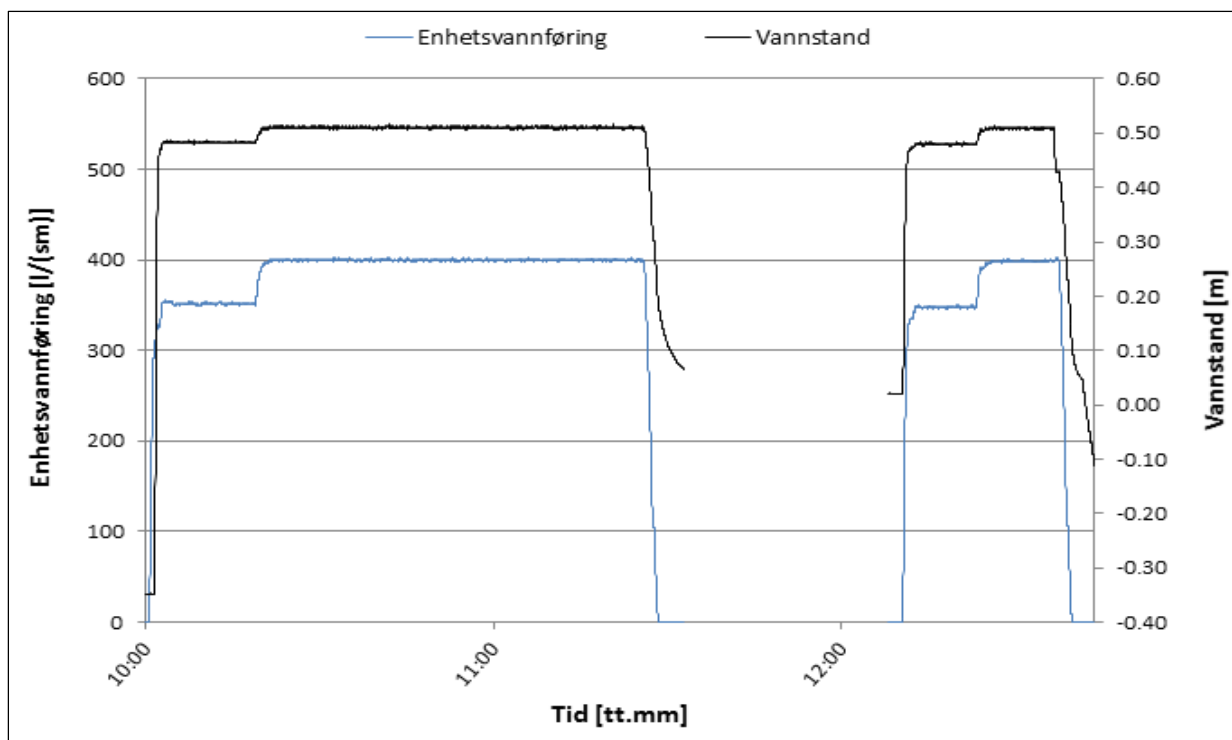
Vannføringskurve forsøk 6, dag 3 av 6 (30.04.2015)



Vannføringskurve forsøk 6, dag 4 av 6 (06.05.2015)



Vannføringskurve forsøk 6, dag 5 av 6 (08.05.2015)



Vannføringskurve forsøk 6, dag 6 av 6 (12.05.2015)

Forsøk nr.6 – logg

Forsøksdager: 28.04, 29.04, 30.04, 06.05, 08.05, 12.05

Deltagere: Eirik Helgetun Pettersen, Jens Jakobsen, Priska Helene Hiller, Fredrikke Kjosavik

28.04.2015 – dag 1 av 6

Tid	Logg	Filer
ok	Byttet batteri på Disto laseren, batteriet er fortsatt ganske full	
ok	Lukket bypass	
Ok	Åpnet Agilent og lastet config file	150428_riprap6.xml
Ok	Innmåling av steiner	
9:40	Laserscann ved y=540mm	150413_Scan_Riprap_Middle_Stripe
Ok	Kontrollerer mobilklokke mot pc-klokka. Avvik på 0,5 sekund.	
Ok	Kontrollert videoklokke	
Ok	Kontroller speilreflekskameraklokke og ta bilde av PC klokke	
Ok	Kontroller videoklokke på video 2 og ta bilde av PC klokke. Sjekk at den monteres vannrett, hvis den skal ta bilde fra horisontal posisjon.	
ok	Bilderunde	

Ok	Skrive på infoplakater	
Ok	Lys på	
Ok	Plassere videokamera	
10:00	Bilderunde fra sida. Starter videokamera	
9:54	Pumper på (200 l/s er på) Henrik kjører også forsøk, han bruker ca. 70 l/s)	
10:00	Agilent på med 10 Hz	
10:01	Video på	
10:02	Slår på 50 l/s (100 l/s er målet) litt mer for oppfylling av boksen, reduseres til 50 l/s før vannet begynner å renne gjennom filteret	
10:07	Overtopping starter	
10:09	Øker til 75 l/s	
10:11	Øker til 100 l/s	
10:13	Start på 60 min	
10:58	Agilent stopp	
11:00	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g salt i ca. 0.4 l vann)	
11:02	Agilent på igjen med 10 Hz	
Ok	Tegnet vannlinje på glasset	
11:03	Blue screen på PC med Agilent Restart, vet ikke hva som var årsaken får blue screen. Skjedde for første gang	
11:06	Agilent på igjen med 10 Hz	
11:06	Bilderunde	
11:13	Vann av	
11:15	Stopper video	
11:15	Stopper Agilent	
Ok	Antall steiner i renna:0 plastringssteiner, 0 filterstein	
Ok	Måler inn steiner Referansepunktet er ikke optimalt som skrevet tidligere. En mulig årsak kan være at vi måler inn referanse før test når det ikke er vanntrykk bak modellen.	
Ok	Laserscanning	
Ok	Bilderunde	
11:38	Skrur på 100 l/s pumpe i tillegg (Henrik jobber fortsatt)	
11:39	Agilent på med 10 Hz	
11:39	Starter videokamera	
11:40	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 200 l/s)	
11:44	Øker til 75 l/s	
11:46	Øker til 100 l/s	
11:48	Øker til 125 l/s	
11:50	Øker til 150 l/s	
	Noen steiner begynner å riste	
11:52	Øker til 175 l/s	

	Flere steiner i krona rister litt	
11:54	Øker til 200 l/s	
11:56	Start på en time	
12:14	Eirik ser et par steiner som ligger i renna. Stopper vannet og tar de opp. Prøver å se hvordan de har forsvunnet. 42 minutter igjen før det har gått en time. Ser også en stein som er på tur ut, mye lenger nede og litt lenger mot midten enn de som er forsvunnet.	
12:23	Laserskanning av punktene der steinene var plukka fra. Stein1: x=1126, y=177. Stein2: x=1264, y=327. Steinene har nummer 144 og 244.	
	Bilderunde	
12:27	Stopp/start av Agilent	
12:28	Starter video	
12:29	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 200 l/s)	
	En stein rister (ved toppen/knekkpunktet helt inn mot glasset)	
12:32	Øker til 75 l/s	
12:34	Øker til 100 l/s	
12:36	Øker til 125 l/s	
12:38	Øker til 150 l/s	
12:40	Øker til 175 l/s	
12:42	Øker til 200 l/s	
	Ikke tegn til annen bevegelse/risting i stein.	
12:44	Fortsetter på 1 time. Gjenstår 42 minutter	
12:45	Fredrikke observert kanskje stein ved ca 1000 bli plukka, den som ble registrert at var på tur ut 12:14. Ellers ikke tegn til bevegelse.	
13:14	Agilent stopp	
13:14	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l) Var ev. ikke bra fordi forsterkeren ikke var justert	
	Justerer offset ved forsterkeren	
13:17	Ny saltmåling med Agilent på 100Hz	
13:20	Agilent på igjen med 10 Hz	
13:25	Tegnet vannlinje på glasset	
13:25	Bilderunde	
13:27	Vann av	
13:28	Stopper video	
13:31	Stopper Agilent	
Ok	Antall steiner i renna: 1 plastringssteiner, 1 liten filterstein	
Ok	Laster ned video fra lillevideo	
Ok	Måler inn steiner	
13:45	Laserscanning	
Ok	Bilderunde	
14:05	Agilent på med 10 Hz	
Ok	Starter videokamera	

14:06	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 250 l/s)	
14:10	Øker til 75 l/s	
14:12	Øker til 100 l/s	
14:14	Øker til 125 l/s	
14:16	Øker til 150 l/s	
14:18	Øker til 175 l/s	
14:20	Øker til 200 l/s	
14:22	Øker til 225 l/s	
14:25	Øker til 250 l/s	
14:27	Starter på 1 time	
14:33	Priska observerte stein i renna ved vinduet.	
14:37	Vannføring økte til 260 l/s vi justerer ned til 250 L7s vannføringen er ev. påvirket fordi flere bruker systemet Henrik kjører fortsatt forsøk. Han bruker opp til 35 l/s	
14:50	Vannføringen var nede i 245 l/s, vi justerer opp til 250 l/s.	
14:56	Fredrikke observerte en til stein i renna ved vinduet.	
15:15	Agilent stopp	
15:16	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l)	
15:17	Agilent på igjen med 10 Hz	
15:17	Tegnet vannlinje på glasset	
Ok	Bilderunde	
15:27	Vann av	
ok	Stopper video	
15:30	Henrik er ferdig for dagen	
15:31	Stopper Agilent	
Ok	Antall steiner i renna:2 plastringssteiner, 0 liten filterstein	
Ok	Måler inn steiner	
15:40	Laserscanning	
Ok	Bilderunde	
15:59	Agilent på med 10 Hz	
16:00	Starter videokamera (byttet batteri på store video)	
16:02	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 300 l/s)	
	Det ser litt ut at overtopping starter bittelitt tidligere på viduside. Det er også der det ble dratt ut flest steiner.	
16:06	Øker til 75 l/s	
16:08	Øker til 100 l/s	
16:10	Øker til 125 l/s	
16:12	Øker til 150 l/s	
16:14	Øker til 175 l/s	
16:16	Øker til 200 l/s	
16:18	Øker til 225 l/s	
16:20	Øker til 250 l/s	
16:22	Øker til 275 l/s	
16:24	Øker til 300 l/s	
16:26	Starter på 60 min	

16:29	Stein nært vinduet ved 1500 rister (Fredrikke).	
17:09	En stein like oppstrøms knekken rister	
17:14	Justerte offset ved forsterkeren	
17:14	Agilent stopp	
17:15	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l)	
17:16	Agilent på igjen med 10 Hz	
17:16	Tegnet vannlinje på glasset	
Ok	Bilderunde	
17:26	Vann av	
17:28	Stopper video	
17:28	Stopper Agilent	
Ok	Antall steiner i renna: 0 plastringssteiner, 0 liten filterstein	
Ok	Måler inn steiner	
ok	Lastet ned video fra lillevideo og slettet	
17:40	Startet lille blåe pumpe (100 l/s)	
17:37	Laserscanning	
Ok	Bilderunde	
	Agilent på med 10 Hz	
ok	Skrive på skilt	
17:47	Starter videokamera	
17:49	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 350 l/s); 0 l/s på rødt, 50 l/s på blått	
16:52	Øker til 75 l/s (0 l/s rødt, 75 l/s blått)	
16:54	Øker til 100 l/s (0 l/s rødt, 100 l/s blått)	
17:56	Øker til 125 l/s (25 l/s rødt, 100 l/s blått)	
17:58	Øker til 150 l/s (50 l/s rødt, 100 l/s blått)	
18:00	Øker til 175 l/s (75 l/s rødt, 100 l/s blått)	
18:02	Øker til 200 l/s (100 l/s rødt, 100 l/s blått)	
18:04	Øker til 225 l/s (125 l/s rødt, 100 l/s blått)	
18:06	Øker til 250 l/s (150 l/s rødt, 100 l/s blått)	
18:08	Øker til 275 l/s (175 l/s rødt, 100 l/s blått)	
18:10	Øker til 300 l/s (200 l/s rødt, 100 l/s blått)	
18:12	Øker til 325 l/s (225 l/s rødt, 100 l/s blått)	
18:14	Øker til 350 l/s (250 l/s rødt, 100 l/s blått)	
18:16	Starter på 60 min	
18:52	Priska hørte noe, men er usikker om det var plastringen	
19:03	Stopper Agilent	
19:03	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l)	
19:05	Agilent på igjen med 10 Hz	
19:05	Tegner vannlinje på glasset	
Ok	Bilderunde	
19:16	Vann av	
ok	Stopper video	
19:19	Stopper Agilent	
Ok	Antall steiner i renna:0 plastringssteiner, 0 liten filterstein	

Ok	Måler inn steiner	
Ok	Laserscanning	
Ok	Bilderunde	
19:36	Agilent på med 10 Hz	
Ok	Skrive på skilt	
19:36	Starter videokamera	
19:38	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 400 l/s); 0 l/s på rødt, 50 l/s på blått OBS følg med boksen slik at den ikke overtoppes	
19:40	Øker til 75 l/s (0 l/s rødt, 75 l/s blått)	
19:42	Øker til 100 l/s (0 l/s rødt, 100 l/s blått)	
19:43	Store videokamera var ikke på likevel (rart) vi bytter batteri og starter det på nytt	
19:44	Øker til 125 l/s (25 l/s rødt, 100 l/s blått)	
19:46	Øker til 150 l/s (50 l/s rødt, 100 l/s blått)	
19:49	Øker til 175 l/s (75 l/s rødt, 100 l/s blått)	
19:51	Øker til 200 l/s (100 l/s rødt, 100 l/s blått)	
19:53	Øker til 225 l/s (125 l/s rødt, 100 l/s blått)	
19:54	Noen steiner begynner å riste	
19:55	Øker til 250 l/s (150 l/s rødt, 100 l/s blått)	
19:57	Øker til 275 l/s (175 l/s rødt, 100 l/s blått)	
19:59	Øker til 300 l/s (200 l/s rødt, 100 l/s blått)	
20:01	Øker til 325 l/s (225 l/s rødt, 100 l/s blått)	
20:03	Øker til 350 l/s (250 l/s rødt, 100 l/s blått)	
Ok	OBS følg med boksen	
20:05	Øker til 360 l/s (260 l/s rødt, 100 l/s blått)	
20:07	Øker til 370 l/s (270 l/s rødt, 100 l/s blått)	
20:09	Øker til 380 l/s (280 l/s rødt, 100 l/s blått)	
20:11	Øker til 390 l/s (290 l/s rødt, 100 l/s blått)	
20:13	Øker til 400 l/s (300 l/s rødt, 100 l/s blått)	
ok	OBS følg med boksen! Noe lekkasjer gjennom småhull, tettet eller satt bøtte under.	
20:15	400 l/s, Starter på 60 min	
20:20	Dirring i en filterstein under en plastringsstein som dirrer (den ved ca 1500)	
20:23	Dirring i svart plastringsstein litt lenger oppstrøms og mot veggen for øverste gule målestein	
20:24	Stein i renna	
20:27	Dirring i plastringsstein litt mot vinduet for gul målestein i knekken.	
20:30	Tok opp stigen fordi vannet begynte å dra den med seg	
	Vi tettet boksen litt og lagde hevert for å få vann tilbake i boksen som la i kanten	
20:36	Lyset i hallen gikk, vannføringen er konstant (400l/s). Arbeidslamper lyser fremdeles opp renna.	

20:44	Tre++ stein ved 900 er på tur opp, ingen synlig bevegelse. Bilde.	
20:44	Vannlinje tegnes på glasset	
20:50	Bilderunde (inkl. hjelpekonstruksjoner)	
20:55	Stein i renna	
21:04	Stopper Agilent	
21:05	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l)	
21:06	Agilent på igjen med 10 Hz	
21:10	Diskutere videre prosedyre, iom nådd maks kapasitet for renna, og det er sent på kveld.	
21:16	Tegner vannlinje på glasset som 20:44	
Ok	Bilderunde	
21:18	Vann av	
21:18	Pumper av	
21:20	Bypass åpen	
ok	Stopper video	
21:21	Stopper Agilent	
ok	Antall steiner i renna:2 plastringssteiner, x liten filterstein	
Ok	Måler inn steiner (referansepunkte ble målt, da boksen allerede var ganske tom)	
Ok	Laserscanning	
ok	Bilderunde	
	OBS: Mateo må få videoen sin som ble laget litt før kl. 16	
	All data kopieres til ekstern harddisk	
	Batterier settes til lading	
	Ekstra kopi til EHPs harddisk og PHHs stor harddisk	
	29.04.2015 – dag 2 av 6	
10:38	Skrur på pumper	
Ok	Klokker på video er ok	
Ok	Bilderunde	
Ok	Innmåling av steiner	
Ok	Laserscanning	
Ok	Lukket bypass	
Ok	Oppdatert plakater	
10:42	Starter Agilent med 10 Hz	
10:44	Starter videokamera	
10:46	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 400 l/s); 0 l/s på rødt, 50 l/s på blått OBS følg med boksen slik at den ikke overtoppes	
10:53	Øker til 75 l/s (0 l/s rødt, 75 l/s blått)	
10:55	Øker til 100 l/s (0 l/s rødt, 100 l/s blått)	
10:57	Øker til 125 l/s (25 l/s rødt, 100 l/s blått)	
10:59	Øker til 150 l/s (50 l/s rødt, 100 l/s blått)	

11:01	Øker til 175 l/s (75 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:03	Øker til 200 l/s (100 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:05	Øker til 225 l/s (125 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:07	Øker til 250 l/s (150 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:09	Øker til 275 l/s (175 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:11	Øker til 300 l/s (200 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:13	Øker til 325 l/s (225 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:15	Øker til 350 l/s (250 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:17	Øker til 375 l/s (275 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:19	Øker til 400 l/s (300 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:35	Skrur ned til 350 l/s (250 l/s rødt, 100 l/s blått)	
11:40	Matteo trenger store kameraet, så vi lar han låne det siden det ikke ser ut som plastringen går til brudd med det første. Fortsetter å filme med Jens sin mobiltelefon for sikkerhetsskyld	
12:01	Avbrudd i mobilvideoen. Starter opp igjen.	
12:11	Får tilbake kameraet fra Matteo. Starter store kamera igjen.	
12:14	Ser 5 steiner i renna.	
12:15	Stopper Agilent	
12:15	Saltmåling med Agilent på 100 Hz (ca. 30 g i ca. 0.4 l)	
12:17	Agilent på igjen med 10 Hz	
12:58	Justerer slik at vi nå kjører 50 l/s på blått og 300 l/s på rødt. Ushant bruker også det blå systemet nå.	
15:00	Byttet batteri på store kamera	
15:02	Byttet minnekort på lille kamera	
15:56	Skrur av vann	
15:58	Slår av kamera	
16:00	Stopper Agilent	
Ok	Innmåling av stein	
Ok	Overføring av video	
Ok	Oveføring av laser og agilent-filer	
Ok	Bilderunde	
Ok	Totalt 9 steiner i renna	

30.04.2015 – dag 3 av 6

ok	Klokker på video er Mobilklokke går 5 sec etter Storevideo går 1 sec etter Lillevideo går 2 sec etter	
9:41	Bilderunde	
9:20	Innmåling av steiner Referansepunktet ble målt inn en gang ved tom boks og en gang ve full boks	
9:35	Laserscanning	
9:24	Lukket bypass	

ok	Oppdatert plakater	
9:44	Pumper på; begge rød, og lille blå (Ushanth bruker også blå)	
9:44	Starter Agilent med 10 Hz	
9:46	Fyller boksen, men ser at det ikke blir vann gjennom filter; stopper vanntilførsel	
	Målte inn ref. punktet på nytt med full boks bak modellen	
9:54	Starter videokamera	
9:56	Vann på igjen, 50 l/s (målet er 350 l/s); 0 l/s på rødt, 50 l/s på blått OBS følg med boksen slik at den ikke overtoppes	
9:58	Overtopping starter	
10:00	Øker vannføring til 350 l/s (50 på blått, 300 på rødt)	
10:06	1 stein i renna observert gjennom vinduet	
10:12	En stein i krona vingler litt	
10:17	Steinene ved ca 900 mm har løftet seg mer enn tidligere.	bilde
13:21	Bilderunde	
13:21	Slår av vannet	
Ok	1 stein i renna.	
13:22	Stopper Agilent	
	Stopper videokamera	
13:25	Måler inn steiner	
13:33	Batteri på lasermåler tom	
13:38	Batteri byttet	
13:40	Sjekker at laseren blir	
14:26	Starter Agilent og videokamera	
14:28	Vann på igjen. Bypass ble åpnet etter innmåling slik at vannstanden sank. Vannstanden ble deretter skrudd opp til 400 l/s så fort som mulig. 400 l/s ved overtopping av dammen.	
14:37	Eirik synes han høre noe som slår i glasset. Kan det ha vært en stein?	
14:40	Vann av	
14:42	Agilent og video stoppet	
Ok	Overføring av data	
Ok	1 stein i renna	

06.05.2015 – dag 4 av 6

	PHH kjører forsøket, WZ hjelper ved innmåling av steiner	
Ok	Klokker på video er	
ok	Speilrefleksklokke ok, bilde	
ok	Mobilklokke går 1 sec etter	
ok	Storevideo, bilde	
ok	Lillevideo, bilde	
10:30	Lyset over den halledelen med blå renna er av	

ok	Bilderunde	
10:30	Innmåling av steiner ved tom boks	
10:38	Laserscanning	
11:00	Lukket bypass	
ok	Oppdatert plakater	
11:17	Pumper på; begge rød, og lille blå (Ushanth bruker også blå)	
11:17	Starter Agilent med 10 Hz	
Ok	Starter videokamera	
11:20 ca.	Vann på, rett til 350 l/s (målet er å kjøre direkte til 350 l/s over den tørre plastringen); 300 l/s på rødt, 50 l/s på blått OBS følg med boksen slik at den ikke overtoppes	
	Var trøbbel med å få luft ut av bypasset, åpnet den kort for å slippe ut luft	
11:32	Vet ikke når det skjedde, men steinene ved 1000 har sluppet en ned	bilde
	Flere steiner rister, noen ristet sterkere under roppkjøringen	
11:35	Vannføring ferdig justert	
	To steiner ved 700 (stolpen) er nok på vei ut etter hvert	
11:40	Så på når de to steinene gikk. Den ene tok jeg bilde med mobilen. Han slo ut en annen og ble selv stabil	Mobilvideo PHH
11:49	Slettet bilder på speilrefleks til og med 28. april, fordi den var full	
11:51	En stein ligger nå på en måte opp på, altså fortsettelse av beskrivelsen over	
12:50	Plastringen ser fortsatt ok ut. Steinen som ligger opp på er fortsatt der.	
13:00	Justerer pumpene slik at det blir fortsatt 350 l/s totalt men 100 l/s fra blått og 250 l/s fra rødt, slik at Henrik også kan kjøre forsøk. Ushanth er ferdig for dagen.	
13:07	Ferdig med å justere vannføring	
14:40	Store video var ikke lengre på (vet ikke hvorfor, batteri var ikke tom og det var fortsatt memory). Byttet batteri og video er på igjen.	
	Ellers ser ting ok ut (måleutstyr).	
	Det virker som om det mangler noen steiner i krona (ved knekkpunktet), men det kan også være at forskyvingene har blitt så store at det virker slikt.	bilder
15:16	Vann av	
15:21	Kamera av	
15:21	Pumper av, bypass åpen	
15:22	Agilent stopp	
15:50	Innmåling av steiner (Wiebke hjelper)	
16:10	Hentet 3 plastringsstein fra renna	
ok	Bilderunde	
16:00	Laserscann	

ok	Overføring av data	

08.05.2015 – dag 5 av 6

	PHH kjører forsøk, JJ hjelper ved innmåling av steiner	
Ok	Klokker på video er	
Ok	Speilrefleksklokke ok, bilde	
Ok	Mobilklokke går 4 sec før	
Ok	Storevideo 2 sec etter, bilde	
Ok	Lillevideo ok, bilde	
11:01	Bilderunde	
11:05	Innmåling av steiner ved tom boks	
11:12	Laserscanning	
11:12	Lukket bypass nesten (litt åpen for å slippe ut luft)	
11:00	Oppdatert plakater	
11:15	Pumper på; begge rød, og lille blå	
11:19	Starter Agilent med 10 Hz	
11:20	Starter videokamera	
11:21	Vann på, rett til 350 l/s (målet er å kjøre direkte til 350 l/s over den tørre plastringen); 250 l/s på rødt, 100 l/s på blått OBS følg med boksen slik at den ikke overtoppes	
11:23	Lukk bypass helt Flere steiner rister noe	
11:26	Vannføring ferdig justert	
11:30	PHH observerte en liten forskyving (ca. 1 cm) av 3 steiner i krona ca i midten ca. 10 cm oppstrøm s knekkpunkt	
11:48	Oppdaget en stein ved foten helt ved vinduet som ligger ustabil oppå. Usikker om steinen er derfra eller kom fra lengre oppe og bare har lagt seg der.	
12:00	Går fra laben. Geir holder et øye med demningen	
13:30	Tilbake, en stein ligger i renna	
	Steinen ved 1000 ligger nå nesten helt opp på en annen	bilde
13:33	Bilderunde og sjekk av kamera. Alt ok.	
13:45	Går en tur til kontoret, Ushanth kan holde et øye med forsøket	
14:20	Store kamera hadde skrudd seg av da jeg kom tilbake. Det var fortsatt batteri og memory. Kamera på igjen.	
14:29	Vann av	
	Steinen som la opp på ved 1000 forsvant mens jeg stenget av vannet	
14:32	Kamera av Det store kameraet hadde slått seg av selv igjen (batteriet var nå plutselig tomt med det viste fortsatt 120 min med batteri før 10 min siden)	

14:36	Laster ned video fra store og lille kamera	
ok	bilderunde	
14:41	Agilent stopp	
14:50	Innmåling av steiner (Jens hjelper)	
14:56	Laserscann	
ok	Hentet 3 plastringsstein ut av renna (350 og to andre)	
Ok	Oppdater plakater	
15:08	Agilent på	
15:07	Video på	
15:09	Vann på (målet er 400 l/s, men kjører 10 min i 50 l/s skritt); 50 l/s (50 l/s på blått, 0 på rødt)	
15:10	Overtopping starter	
15:15	En stein i krona like oppstrøms knekkpunktet vingler. Ellers er det vanskelig å se noe fordi det er mest hvit vann.	
15:20	Øker til 100 l/s (100 l/s på blått, 0 på rødt), tok bilde med speilrefleks like før økningen	
15:29	Slå på lampe over renna som ble slukket under innmåling av steiner	
15:30	Øker til 150 l/s (100 l/s på blått, 50 på rødt), tok bilde med speilrefleks like før økningen	
15:40	Øker til 200 l/s (100 l/s på blått, 100 på rødt)	
15:43	Ganske løs stein ved 800 (like oppstrøms der det forsvant to steiner tidligere en gang)	bilde
15:47	Observerte en stein i krona som rister som jeg ikke har observert ristende før	
15:50	Øker til 250 l/s (100 l/s på blått, 150 på rødt), tok bilde med speilrefleks like før økningen	
15:51	Steinene som ristet før rister nå enda mer	
15:53	Justerte vannføringen til ca. 150 l/s, den var ca. 153 l/s	
16:00	Øker til 300 l/s (100 l/s på blått, 200 på rødt), tok bilde med speilrefleks like før økningen	
16:03	Steinene som ristet før, rister fortsatt	
16:10	Øker til 350 l/s (100 l/s på blått, 250 på rødt), tok bilde med speilrefleks like før økningen	
16:13	Noen steiner rister litt mer enn før andre mindre	
16:20	Øker til 400 l/s (100 l/s på blått, 300 på rødt), tok bilde med speilrefleks like før økningen OBS følg med boksen	
16:23	Steinene rister fortsatt, tok bilde fra sida med speilrefleks	
16:33	En stein gikk fra krona. Det var ikke en som jeg observerte ristende. En stein som før la i ro i krona begynner å riste litt (bilde)	
16:38	Aktiverte hevert i boksen for å få vann tilbake dit	

16:42	Observerer en stein like nedstrøms knekkpunktet, ca. 2 stein oppstrøms Smartstone 200 som rister (ikke observert ristende før)	
16:56	Steinene rister nå mindre	
17:01	En til stein observert i renna (en var der fra før som ble observert ut 16:33)	
17:17	Steinen ved 800 har stabilisert seg. En stein har lagt seg på bakfra.	
17:40	Det så ut som om en stein beveget seg en del opp og ned, men bare en gang. Usikker om det var lys og skygge eller virkelig bevegelse.	
18:20	Skrur av vannet	
18:22	Pumper av	
ok	Video stopp	
18:35	Innmåling av steiner	
18:41	Agilent stopp	
ok	Laster ned data fra store og lille video	
ok	Bilderunde	
ok	Laster ned data fra speilrefleks	
18:52	Åpnet bypass	
ok	Lastet over laser data og agilent	

12.05.2015 – dag 6 av 6

	PHH kjører forsøket, JJ hjelper ved innmåling av steiner	
ok	Klokker på video er ok Speilrefleksklokke ok, bilde Mobilklokke ok Storevideo 2 sec etter, bilde Lillevideo ok, bilde	
ok	Bilderunde	
9:50	Innmåling av steiner ved tom boks, EHP hjelper med å måle inn	
9:55	Laserscanning	
9:30	Lukket bypass nesten (litt åpen for å slippe ut luft)	
9:31	Oppdatert plakater	
9:58	Pumper på; begge rød, og lille blå	
10:00	Starter Agilent med 10 Hz	
10:00	Starter videokamera	
10:01	Vann på, rett til 350 l/s (målet er å kjøre direkte til 350 l/s over den tørre plastringen); 250 l/s på rødt, 100 l/s på blått OBS følg med boksen slik at den ikke overtoppes	
	Stein ved 1000 forsvant Stein som la ved foten ved vinduet forsvant ved oppkjøring	
10:04	Lukk bypass helt	
	Tok bilde med speilrefleks ved 1000	bilde

10:09	Vannføring ferdig justert	
10:12	Vannlinjen over krona har forandret seg noe sammenlignet med tidligere. Vannstand oppstrøms er fortsatt ca. likt, men knekken er ikke lengre så tydelig	
10:18	Tilpasset skilt	
10:19	Øker vannføringen til 400 l/s (300 på rødt og 100 på blått)	
10:24	Vannføring ferdig justert	
10:24	Også nå er vannlinjen lavere mot knekkpunktet, det betyr at hastigheten der er høyere enn før.	
10:24	Start på en time	
10:28	Sjekket nå renna og det ligger tre steiner ganske langt nede. De ble sannsynligvis vasket ut under oppkjøringen	
10:41	Nå ble en stein i krona veldig ustabil, den var en gang tidligere ustabil	bilde
10:46	Da gikk steinen, bilde før og etter ovenfra	
	Flere steiner i krona beveger seg (noen har ristet allerede før)	
10:52	Telte nå 6 steiner i renna	
11:15	Stein gikk ved 800	Bilde etter
	Ser ut som om det også forsvant en stein ved 1000 (den som la oppå)	
11:19	Observerer nå også steiner som rister som ikke har ristet før (ulike steder i plastringen)	
11:20	En stein gikk fra knekkpunktet	
11:21	Bilderunde	
11:26	Vann av	
11:30	Video av	
11:33	Agilent stopp	
11:45	Innmåling av steiner (jens hjelper, full boks)	
11:50	Laserscann	
12:00	Hentet 12 plastringssteiner ut av renna	
12:00	Bilderunde	
12:09	Agilent på	
12:10	Video på	
12:12	Vann på (målet er 400 l/s) starter med rett til 350 l/s (100 blått, 250 rødt) justeres opp etter 10 min	
12:14	Vannføring justert ferdig	
12:16	Ser 4 steiner i renna	
12:18	Bilderunde	
12:24	Øker vannføringen til 400 l/s (100 på blått, 300 på rødt)	
12:26	Litt bevegelser i krona	
	Vannføring ferdig justert	
	Neon ekstra bilder	
12:37	Brudd	
12:38	Vann av	

12:40	Video av Åpnet bypass Pumper av	
12:44	Agilent stopp	
14:00	Kopiert over til rød harddisk: Lillevideo Storevideo Speilrefleks Logg og Excelfil Laserdata Agilent	

VEDLEGG C – FORSØKSPROTOKOLL

Før forsøk

Dato: _____

Forsøksnummer: _____

Plastring utført av: _____

Plastring kontrollert av: _____

1. Plastring av forsøksområde

- Kontroller at rist i bunn er plassert og festet 400 mm nedenfor nederste saltmålingssensor
- Fyll filtermaterialet slik at det ligger jevnt med nedre markerte linje (10 cm fra risten) på glasset
- Begynn å legge plastringssteinene mot nedre rist med helningsvinkel på 60 grader. Første stein legges på venstre side inn mot veggen (fra nedstrøms). Legg en horisontal rad til man når glasset. Steinene skal stikke opp litt over rista.
- Kontroller første rad med vinkelmåleren.
- Start på neste rad på ved veggen på venstre side. Forsøk å legge steinene med forband og innbyrdes kontakt.
- Smartstones og markørsteiner plasseres ved nivå 200, 600, 1000 og 1400 samt i krone.
- Plastre til nivå for saltmåler nås. Plastring kontrolleres av kontrollør. Gjentas frem til knekkpunkt.
- Ved runding av knekkpunkt skal plastringen forsøkes å legges med vinkel tilnærmet 90 grader. Legges til man når rista.

2. Før start av forsøk

- Sørg for å ha forsøkslogg klar. Alt som gjøres noteres med tidspunkt i loggen. Lag mappe med navn ÅÅMMDD i dropbox der alle filer lagres.
- Kontroller at speilreflekskamera, videokamera og lamper står på riktig sted. Kontroller at klokken på kameraene er synkroniserte med PC. Ta bilde av PC klokke.

- Bytt batteri i Disto
- Kontroller at Agilent tar i alle signaler (lad configuration file). Kontroller at laser, travers og tilhørende programvare fungerer
- Mål inn koordinater på smartstones og markørsteiner. Noteres i eget excel-mal som navngis ÅÅDDMM_Coordinates_Marked_Stones.xlsx
- Laserscanning
- Steng bypass

3.Kjøring av forsøk

- Kontroller minne og batteri på kameraer
- Kontroller at det ikke ligger noe i renna.
- Fyll ut info på laminert ark og ta bilderunde. Start video
- Start Agilent med frekvens på 10 Hz.
- Vann på. Økes skrittvis til ønsket vannføring. Noter tid i logg.
- Ved bevegelse av første stein stoppes vannføring. Tidspunkt og beskrivelse i loggen.
- La vannføring stå i 45 minutter slik at vannstanden stabiliserer seg
- Saltmåling med 100 Hz. Måles i 100 sekund. Agilent startes igjen med 10 Hz. Kontroller at data fra målinger er ok.
- Agilent slås på igjen med 10 Hz
- Vannprofil tegnes på glasset. Ny bilderunde
- Vann av etter totalt 60 minutter
- Mål inn koordinater på smartstones. Noteres i ÅÅDDMM_Coordinates_Marked_Stones.xlsx
- Laserscanning.
- Sjekk om det ligger noen steiner i renna. Hvis ja, tell og ta dem ut. Noter i loggen.
- Loop 3 gjentas med økt vannføring frem til brudd

4.Etter fullført kjøring

- Bilderunde etter brudd
- Kopiere alle filer til ekstern harddisk / dropbox
- Skru av pumper, åpne bypass
- Batterier settes på lading.
- Rydde rundt renna. Kontroller at saltmålere ikke er ødelagt.
- Sortering av stein

VEDLEGG D – MATERIALDATA

I dette vedlegget finnes rådataene for plastringssteinene. Alle steinene har blitt veid, samt målt opp i aksene a, b og c. I tillegg har volumet blitt målt på 50 av steinene.

stein nr.	størrelse[mm]			masse[g]	volum[ml]
	akse a	akse b	akse c		
1	97	60	27	256	162
2	90	58	42	298	188
3	85	49	49	286	182
4	85	50	38	187	118
5	93	47	44	235	147
6	94	61	41	292	184
7	112	57	46	389	246
8	100	69	40	263	165
9	92	61	30	208	131
10	92	50	49	203	126
11	78	45	31	125	
12	96	60	44	265	
13	95	40	33	271	
14	73	44	38	164	
15	88	55	34	161	
16	96	50	33	205	
17	96	51	45	264	
18	92	39	34	128	
19	95	54	45	271	
20	103	63	46	284	
21	74	64	49	184	
22	98	48	43	244	
23	94	66	40	243	
24	85	37	36	121	
25	96	46	42	203	
26	91	35	27	126	
27	90	50	43	261	
28	81	46	37	164	
29	86	45	36	148	
30	84	67	46	256	
31	83	69	37	297	
32	93	54	31	162	
33	103	44	41	178	
34	88	62	32	228	
35	92	54	39	177	

36	83	45	28	139	
37	78	51	38	146	
38	80	40	32	92	
39	97	47	33	204	
40	81	46	32	119	
41	83	49	30	158	
42	78	61	33	147	
43	80	62	31	162	
44	79	60	44	193	
45	92	56	47	231	
46	87	44	33	164	
47	92	58	35	200	
48	82	57	28	181	
49	89	63	63	380	
50	90	41	29	145	
51	100	68	33	221	
52	83	58	50	177	
53	104	47	38	208	
54	102	54	29	218	
55	94	61	34	183	
56	88	50	48	249	
57	96	49	33	172	
58	85	60	37	231	
59	82	52	24	118	
60	84	57	35	190	
61	93	62	36	203	
62	80	63	40	166	
63	91	47	31	164	
64	94	57	38	196	
65	96	58	40	253	
66	104	52	46	297	
67	113	60	57	321	
68	75	48	36	108	
69	82	65	53	271	
70	97	39	38	239	
71	97	57	45	229	
72	83	54	33	175	
73	90	60	43	242	
74	96	62	41	263	
75	90	45	45	216	
76	104	57	37	179	
77	95	46	44	237	
78	98	62	62	282	
79	95	62	26	149	
80	96	50	55	366	

81	89	55	37	187	
82	99	50	28	172	
83	80	58	42	197	
84	89	62	46	327	
85	87	55	29	209	
86	87	54	37	213	
87	93	51	36	186	
88	80	36	31	181	
89	92	48	28	141	
90	87	53	52	290	
91	82	49	42	217	
92	85	59	26	152	
93	82	60	55	250	
94	98	68	42	254	
95	84	47	36	150	
96	96	60	27	188	
97	82	48	44	176	
98	94	65	46	291	
99	100	86	37	254	
100	97	62	30	149	
101	94	60	48	271	171
102	91	50	32	190	121
103	81	66	55	272	170
104	86	42	38	123	77
105	82	58	33	145	91
106	107	51	34	219	139
107	95	52	41	249	159
108	89	68	26	192	121
109	94	56	45	282	179
110	92	65	44	314	163
111	98	47	30	162	
112	96	45	36	250	
113	88	46	32	170	
114	96	49	31	206	
115	81	47	43	198	
116	94	48	42	242	
117	83	59	37	301	
118	104	55	38	238	
119	95	67	55	390	
120	98	66	39	258	
121	91	30	30	111	
122	95	63	50	275	
123	94	60	30	285	
124	95	53	38	244	
125	104	55	52	237	

126	92	43	31	107	
127	92	53	44	294	
128	82	54	52	203	
129	89	55	42	210	
130	90	53	39	211	
131	98	57	33	192	
132	87	58	31	133	
133	79	60	43	192	
134	100	62	36	203	
135	78	65	39	201	
136	97	52	42	278	
137	97	59	38	178	
138	97	42	35	178	
139	102	52	31	185	
140	94	46	41	226	
141	95	68	47	316	
142	96	52	47	227	
143	99	44	35	226	
144	88	47	41	205	
145	98	55	53	291	
146	84	43	40	139	
147	102	43	35	222	
148	93	52	36	214	
149	83	46	44	172	
150	92	53	37	213	
151	87	47	38	181	
152	96	59	48	318	
153	89	45	35	183	
154	85	48	45	183	
155	88	47	37	173	
156	97	46	36	173	
157	102	52	34	204	
158	100	51	38	190	
159	96	44	38	167	
160	91	62	38	186	
161	109	60	47	352	
162	99	60	39	245	
163	102	55	48	349	
164	83	53	32	159	
165	99	45	37	156	
166	100	47	45	253	
167	92	46	44	159	
168	98	54	36	161	
169	90	60	47	186	
170	96	59	25	192	

171	91	54	34	176	
172	97	44	37	144	
173	95	51	38	157	
174	89	62	33	186	
175	83	58	40	180	
176	87	64	39	258	
177	79	66	48	311	
178	91	41	35	130	
179	96	49	28	120	
180	96	50	35	225	
181	101	54	38	280	
182	88	40	31	151	
183	90	46	45	229	
184	76	37	35	166	
185	85	53	26	157	
186	88	62	32	160	
187	91	43	31	136	
188	97	46	42	215	
189	96	53	38	227	
190	99	42	38	184	
191	89	52	41	207	
192	96	38	32	170	
193	85	60	47	305	
194	96	47	31	150	
195	99	58	47	361	
196	87	31	30	126	
197	76	56	31	135	
198	87	44	33	164	
199	91	46	45	227	82
200	97	63	30	155	298
201	86	38	37	131	120
202	106	59	55	466	148
203	81	64	30	191	71
204	85	74	46	238	111
205	75	48	31	113	128
206	99	54	44	177	146
207	92	48	43	201	150
208	93	54	46	231	170
209	95	53	31	238	
210	97	50	46	271	
211	96	58	33	267	
212	91	55	45	269	
213	97	54	29	186	
214	80	60	42	201	
215	81	65	25	129	

216	99	52	34	207	
217	96	61	35	202	
218	87	63	42	211	
219	82	56	38	182	
220	91	55	45	263	
221	93	46	45	187	
222	94	54	30	146	
223	97	55	31	220	
224	115	71	45	353	
225	89	57	40	300	
226	90	38	31	122	
227	86	47	27	135	
228	85	63	39	220	
229	98	45	36	192	
230	98	56	51	316	
231	91	65	51	261	
232	81	40	39	181	
233	88	45	31	123	
234	82	48	38	194	
235	97	58	29	180	
236	87	49	41	176	
237	99	50	43	209	
238	104	59	34	171	
239	86	56	39	219	
240	89	43	41	170	
241	101	50	46	274	
242	87	62	29	158	
243	81	53	38	187	
244	85	49	46	191	
245	100	50	44	248	
246	99	63	26	198	
247	97	45	45	181	
248	92	61	44	203	
249	71	56	41	207	
250	89	70	31	254	
251	87	51	40	263	
252	90	52	32	151	
253	82	54	39	280	
254	89	69	50	246	
255	88	48	45	164	
256	85	46	42	224	
257	98	50	29	175	
258	101	56	42	274	
259	91	52	31	145	
260	93	52	31	186	

261	88	51	31	204	
262	96	54	33	214	
263	99	48	47	255	
264	96	52	32	197	
265	79	50	49	169	
266	92	49	30	185	
267	86	47	34	179	
268	99	49	35	220	
269	96	33	31	127	
270	86	54	31	190	
271	94	52	49	210	
272	92	40	33	118	
273	86	55	32	179	
274	86	57	43	246	
275	95	57	29	152	
276	76	58	34	243	
277	91	57	43	169	
278	93	38	38	167	
279	96	56	41	297	
280	100	49	44	248	
281	94	57	38	212	
282	91	56	46	296	
283	90	54	30	141	
284	90	43	41	202	
285	86	40	38	158	
286	77	45	30	157	
287	79	50	40	168	
288	83	55	34	162	
289	97	59	35	145	
290	101	62	50	395	
291	96	50	34	176	
292	89	42	39	147	
293	93	56	45	249	
294	86	48	28	194	
295	101	57	29	235	
296	79	57	26	178	
297	105	58	25	151	
298	80	53	39	230	
299	91	38	32	117	
300	93	61	47	283	
301	87	38	35	96	60
302	84	54	32	195	124
303	101	58	39	198	125
304	87	47	28	155	99
305	84	58	37	229	144

306	82	53	31	138	86
307	90	37	35	127	79
308	99	47	30	159	101
309	94	58	40	241	154
310	90	59	35	224	142
311	84	41	36	101	
312	85	47	44	209	
313	88	59	49	346	
314	95	32	31	143	
315	82	38	39	113	
316	102	57	42	275	
317	85	33	30	136	
318	85	50	22	158	
319	84	37	31	149	
320	83	44	29	110	
321	87	54	39	178	
322	85	66	35	231	
323	89	57	38	169	
324	97	60	35	189	
325	97	52	38	315	
326	97	58	30	193	
327	82	44	33	148	
328	99	56	39	199	
329	85	59	39	188	
330	98	61	44	334	
331	99	63	41	303	
332	85	58	50	196	
333	92	51	37	170	
334	94	71	48	242	
335	92	62	29	206	
336	91	56	31	158	
337	85	47	32	141	
338	86	51	34	175	
339	98	60	53	235	
340	97	44	30	167	
341	87	74	45	273	
342	77	53	45	209	
343	98	57	43	264	
344	94	48	38	213	
345	101	40	35	191	
346	94	66	34	191	
347	83	42	30	183	
348	80	58	50	191	
349	102	55	53	258	
350	79	50	42	186	

351	78	35	33	115	
352	83	64	34	158	
353	95	53	47	253	
354	92	46	33	131	
355	91	49	47	239	
356	86	50	39	152	
357	93	52	32	166	
358	105	58	49	250	
359	85	45	29	131	
360	95	50	28	163	
361	90	54	34	197	
362	89	56	53	203	
363	97	47	33	195	
364	90	36	25	68	
365	88	63	31	207	
366	82	44	32	125	
367	85	48	37	143	
368	102	46	33	161	
369	97	39	32	136	
370	89	47	43	223	
371	98	46	32	231	
372	86	54	48	293	
373	88	52	29	146	
374	83	58	33	128	
375	86	63	35	177	
376	98	60	38	291	
377	84	55	32	144	
378	94	60	42	307	
379	98	44	35	171	
380	88	49	43	231	
381	80	32	26	126	
382	100	64	39	287	
383	95	49	37	211	
384	102	44	28	208	
385	95	62	36	234	
386	95	40	32	108	
387	108	40	38	171	
388	98	46	38	143	
389	80	58	32	138	
390	96	68	63	293	
391	94	60	41	270	
392	83	54	22	108	
393	98	43	39	155	
394	101	49	47	185	
395	89	35	31	115	

396	115	70	30	258	
397	91	54	30	156	
398	97	59	41	281	
399	91	68	34	166	
400	102	65	38	253	
401	93	54	35	166	105
402	86	51	34	205	129
403	97	55	41	234	149
404	85	58	34	155	97
405	94	70	41	256	162
406	102	63	29	205	128
407	90	60	27	159	100
408	113	67	37	301	191
409	80	52	24	127	81
410	93	44	33	153	97
411	104	64	41	302	
412	88	47	45	158	
413	82	35	33	149	
414	78	61	41	238	
415	87	51	33	166	
416	92	61	52	359	
417	99	59	30	207	
418	83	36	31	112	
419	82	53	52	267	
420	95	54	36	186	
421	92	50	33	142	
422	76	55	26	122	
423	89	55	47	298	
424	96	48	28	159	
425	83	58	40	184	
426	74	59	37	166	
427	97	49	35	120	
428	87	51	28	155	
429	75	61	40	162	
430	83	45	39	195	
431	85	39	26	94	
432	92	58	40	291	
433	94	57	30	248	
434	103	54	31	163	
435	98	50	30	186	
436	96	53	40	198	
437	106	69	44	330	
438	89	50	32	152	
439	92	56	37	240	
440	88	42	40	153	

441	91	60	42	297	
442	69	57	27	106	
443	98	46	29	152	
444	99	64	56	298	
445	80	46	38	140	
446	87	60	44	236	
447	95	49	42	325	
448	91	62	39	199	
449	96	47	46	236	
450	82	50	34	135	
451	93	55	28	214	
452	97	53	49	232	
453	88	49	43	271	
454	97	59	34	277	
455	105	58	42	360	
456	83	46	32	159	
457	87	55	31	153	
458	99	61	39	280	
459	84	43	40	210	
460	100	55	36	259	
461	99	58	31	219	
462	82	45	36	146	
463	90	47	33	198	
464	82	42	34	175	
465	91	61	37	203	
466	82	58	33	169	
467	93	43	36	184	
468	97	59	41	316	
469	89	67	32	218	
470	86	55	32	172	
471	93	34	30	128	
472	99	61	40	250	
473	83	56	30	128	
474	91	52	38	135	
475	82	44	25	98	
476	101	48	26	154	
477	82	48	45	210	
478	87	45	36	197	
479	99	46	33	166	
480	102	37	28	163	
481	76	43	40	146	
482	91	44	40	161	
483	106	54	49	291	
484	93	50	36	201	
485	86	46	30	136	

486	97	54	36	203	
487	75	57	40	141	
488	96	67	48	222	
489	96	55	52	303	
490	90	40	39	205	
491	84	61	35	256	
492	92	41	39	179	
493	85	49	43	174	
494	89	43	36	148	
495	101	48	45	186	
496	80	56	31	193	
497	95	62	38	43	
498	84	60	28	177	
499	91	53	33	252	
500	87	54	32	149	
Gjennomsnitt	91	53	38	203	136
Min	69	30	22	43	60
25% persentil	85	47	32	159	102
Median	91	53	37	193	130
75% persentil	97	59	42	242	162
maks	115	86	63	466	298