

Mari Leikvangen

# Optimal komprimering av støttefylling på fyllingsdammer

Masteroppgave i Bygg og miljøteknikk

Veileder: Leif Lia

Juni 2019



Mari Leikvangen

# Optimal komprimering av støttefylling på fyllingsdammer

Masteroppgave i Bygg og miljøteknikk  
Veileder: Leif Lia  
Juni 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk





## MASTEROPPGÅVE

**Kandidat:** *MARI LEIKVANGEN*

**Tittel:** **OPTIMAL KOMPRIMERING AV STØTTEFYLLING PÅ  
FYLLINGSDAMMAR**

### 1 BAKGRUNN

Bygging av små- og store fyllingsdammar krev komprimering av alle soner i dammen, både for å auke eigenvekta på dammen og å hindre at setningane i konstruksjonen endrar funksjon, kvalitet og vedlikehaldsbehov gjennom levetida. Komprimering kan gjerast på fleire måtar som overflatekomprimering, vasspyling, langtids-lagring m.fl., men på dei fleste damkonstruksjonar i dag nyttast det rullande vibro-valsing med vanleg utstyr kjent ifrå liknande arbeid. Vibro-valsar har blitt både større og meir effektive med tida og i dag finnast det også avansert måleutstyr montert på valsane. Omfang av komprimering styrast vanlegvis gjennom ‘Beskrivelse/Kontrakt’ og har vanlegvis krav som gjeld vekt av komprimeringsutstyr og tal på overfartar.

Krav som nemnt over tek ikkje omsyn til spesifikke eigenskapar i massen og heller ikkje til korleis massen responderer på komprimering. I tillegg er det slik at tungt komprimeringsutstyr knuser masse i toppen av komprimeringslaget, slik at det dannar seg horisontale sjikt mellom kvart lag i støttefyllinga. Slike lag vil ha liten vassgjennomstrøyming og danne tette sjikt, som igjen gjer at støttefyllinga ikkje får slik homogene eigenskapar som det reknast med i dimensjoneringa av dammar. Derfor er det ønskeleg med så lite komprimering som råd, men tilstrekkeleg for å nå dei mekaniske eigenskapane i massen. Med å ta i bruk måleutstyr som allereie i dag finnast på komprimeringsutstyret vil det vere mogeleg å følgje med korleis massen responderar på komprimering og tilpasse arbeidet etter det.

I denne oppgåva vil det vere aktuelt å skaffe data frå komprimering av støttefyllingar, både tidlegare data og oppfølging av pågåande arbeid. Det kan også vere aktuelt å skaffe data frå anna type arbeid enn dambygging, samt frå studiar i laboratorium og/eller anna forskingsarbeid. Det er ikkje kjent korleis eventuelt internasjonale standardar skjel mellom ‘tal på overfartar’ og ‘respons på komprimering’, slik at det vil vere naturleg også å skaffe ein oversikt over andre lands handtering av komprimering av fyllingsdammar.

## 2 HOVEDPUNKT I OPPGÅVA

Arbeidet vil ha med seg følgjande hovudpunkt:

1. Litteraturstudie på komprimering av støttefylling i fyllingsdammar
2. Analyse av effektar av komprimering
3. Studie av tilgjengeleg funksjon og måleutstyr på vibrovalsar
4. Innhenting av data frå komprimering
5. Analyse av materiale og vurdering av effektar
6. Rapportering.

Følgjande forhold er viktige for gjennomføring av oppgåva:

Omfang og oppsett av oppgåva vil bli påverka av kor mykje litteratur, rapportar og tilgjengelege data som finnast på bruk av avansert målemetodar. Det kan bli aktuelt å vitje fleire anlegg, medan det i størst grad må reknast med å nytt tilgjengelege data som finnast. Arbeidet er lagt opp som eit samarbeid med industrielle aktørar, og involvering med dei er heilt nødvendig for å skaffe data og kunnskap til å løyse oppgåva.

Bruk av simuleringsverktøy vil avgjerast undervegs, avhengig av kor avansert det er teneleg å modellere ei støttefylling. Det kan også vise seg å vere teneleg med eigenutvikla og enkle reknemodellar, avhengig av kva som finnast ifrå før.

## 3 RETTLEIING, DATA OG INFORMASJON

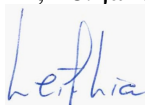
Professor Leif Lia vil vere hovudrettleiar og Professor Arnfinn Emdal (Geoteknikk) og siv.ing. Andreas Fløystad i Sweco Norge vil vere medrettleiarar. Det er fleire stipendiatar som arbeider med fyllingsdammar i forskingssenteret HydroCen, så det vil vere naturleg å etablere kontakt med dei. Diskusjon med og bidrag frå kollegaer og andre medarbeidarar i NTNU, Sintef, rådgivande ingeniørfirma, NVE og kraftselskap er tilrådd. Bidrag som nyttast i rapporten skal refererast på rett måte.

## 4 RAPPORTFORMAT, REFERANSER OG ERKLÆRING

Oppgåva skal skrivast i eit tekstbehandlingsprogram slik at figurar, tabellar, foto osv. får god rapportkvalitet. Rapporten skal innehalde eit samandrag, ei innhaldsliste, ei litteraturliste og opplysningar om andre relevante referansar og kjelder. Oppgåva skal leverast i B5-format som .pdf i Inspera/DAIM og trykkast i tre eksemplar som sendast direkte frå trykkeri til faglærer/institutt. Samandraget skal ikkje gå over meir enn 450 ord og skal vere eigna for elektronisk rapportering.

Masteroppgåva skal ikkje leverast seinare enn den leveringsfristen som kjem fram gjennom DAIM/Inspera (20 veker). Oppgåva skal presenterast muntleg.

Trondheim, 16. januar 2019



---

Leif Lia  
Professor

# SAMMENDRAG

Komprimeringsarbeidet har stor innvirkning på kvaliteten til en steinfyllingsdam med tanke på stabilitet, setningsbilde, vedlikehold og levetid. Det finnes ulike metoder for komprimering av steinfylling for eksempel spyling eller dumping i høye floer, men den mest brukte metoden er valsing med vibrasjon.

Veileder for fyllingsdammer stiller krav til vekt og antall overfarter med valsen for å få en tilstrekkelig komprimering, men kravet er ikke tilpasset dagens tyngre valser. Kravet tar heller ikke hensyn til hvordan materialet responderer på komprimering. Det blir stadig vanligere i andre bransjer å benytte responsbasert valsing til komprimering. Forskning viser også et økt fokus på bruk av kontinuerlig komprimeringskontroll (CCC) og intelligent komprimeringen (IC) til å effektivisere komprimeringsarbeidet. Kontinuerlig komprimeringskontroll brukes til å kontrollere hele valseområde under komprimering, mens intelligent komprimering beskriver valser som responderer på underlaget ved å endre frekvens, amplitude eller hastighet etter behov og benytter navigasjonssystemer for stadfesting av responsmålingene.

Målet for denne oppgaven har vært å undersøke om og hvordan denne teknologien kan brukes og implementeres for bruk på norske fyllingsdammer etter ønske fra bransjen. For å evaluere om responsmålinger kan brukes til å optimalisere komprimeringen er det utført et litteraturstudie som kan deles i to deler. Den første delen tar for seg komprimering av støttefylling og hvilke variabler som kan påvirke resultatene, mens den andre delen går dypere inn på bruk av kontinuerlig komprimeringskontroll og intelligent komprimering. Det er også undersøkt hvordan retningslinjer i andre land forholder seg til denne teknologien.

Det er utført to valseforsøk for å undersøke hvordan responsmålingeverdien «Compaction Meter Value» (CMV) fungerer i praksis samt å undersøke hvordan entreprenører forholder seg til bruk av responsmålinger. Valseforsøkene resulterte i at man kan evaluere valseområdet på en enklere måte å muligens korte ned antall overfarter ved bruk av responsmålinger. I tillegg viste entreprenørene en positiv innstilling i forhold til bruk av CMV og ønsket å bruke dette videre i prosjektene sine.

For å utarbeide et forslag til komprimeringsprogram med responsmålinger er det tatt utgangspunkt i Statens Vegvesen sine håndbøker, samt internasjonal praksis på området. Valseprogrammet skal også være enkelt å bruke, og føre til en effektivisering av dagens metoder.

Gjennom arbeidet med oppgaven er det vist hvordan CMV kan benyttes til å oppnå en homogen og stabil fylling. Det er tydeliggjort at intelligent komprimering og kontinuerlig komprimeringskontroll kan benyttes til å få en mer «teknisk» riktig komprimering og en mye bedre dokumentasjon og kontroll av komprimeringsarbeidet. Valseforsøkene viste tendenser til tilfredsstillende komprimering etter færre overfarter en anbefalt men dette må utprøves før det bestemmes endelige retningslinjer.

# ABSTRACT

In building of rockfill dams, compaction has an important role for the stability of the dam. There are different methods for compaction of rockfill, like dumping in high lifts and flushing, but the most used method today is compaction with vibratory rollers.

The Norwegian water resources and Energy directorate (NVE) have regulations for compaction of rockfill in embankment dams which is based on weight and number of passes of the roller. These regulations were made when the vibratory rollers were smaller and lighter, but the regulations do not correspond with today's heavy vibratory rollers. Also, the regulations do not consider the characteristics of the rockfill or how the rockfill material responds to compaction. In other industries it has become common to use compaction techniques with measurement values (ICMV). Also, researches show an enhanced focus on the use of continuous compaction control (CCC) and intelligent compaction (IC) to make compaction more efficient. CCC is used to continuously control the whole compaction area and IC describes adaptive rollers with navigation systems for verifications of measurement values.

The object of this thesis has been to examine if and how this new technology can be utilized for Norwegian dam building. To investigate if ICMV can be used, a literature study has been conducted. The study can be divided into two parts, where the first part describes compaction of rockfill and how different variables can affect the results, and the second part explains how to use intelligent compaction and continuous compaction control for rockfill dams.

A field study was conducted on two test beds. The purpose was to investigate how the measurement value "compaction meter value" (CMV) can be used in practice, and how the attitudes amongst contractors and construction workers is towards the use of measurement values. The field studies resulted in improved evaluation and control of the roller areas and probably the use of a lesser number of passes to get sufficient compaction. Also, contractors and construction workers wish to use CMV in their future projects, but they need guidance to best utilize these measurements values to their fuller extent.

Throughout the work with this thesis, it is illustrated how CMV can be utilized to achieve a homogenous and stable rockfill in embankment dams. Also, the use of intelligent compaction and continuous compaction control will yield a more technical compaction in the correct way. Continuous compaction control contributes to a better documentation and control of the compaction work. To give advice on lesser number of passes there is a need for further research on the current area.





# FORORD

Masteroppgaven er skrevet våren 2019 i forbindelse med faget TVM 4910 Vassdragsteknikk ved Institutt for bygg og miljøteknikk ved Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Masteroppgaven er den avsluttende delen av sivilingeniørstudiet i Bygg og miljøteknikk, studieretning vann og miljø i årene 2017-2019. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng.

Oppgaven har sitt utspring i ønsker fra bransjen om å forbedre komprimeringsarbeidet ved bygging av fyllingsdammer. Dermed har målet med oppgaven vært å undersøke om responsmålinger og bruk av «Kontinuerlig komprimeringskontroll» og «Intelligent komprimering» vil effektivisere komprimeringsarbeidet. Videre vil oppgaven belyse forbedringer, med tanke på gjeldene krav i Veileder for fyllingsdammer, basert på mulighetene ved bruk av responsmålinger til kontroll av komprimeringsarbeidet.

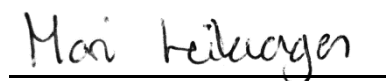
Det hadde ikke vært mulig å gjennomføre denne oppgaven uten støtte og hjelp fra veiledere, fagpersoner og bransjefolk. Jeg ønsker dermed å takke en rekke personer for deres bidrag til oppgaven. Først vil jeg takke Professor Leif Lia fra NTNU for veiledning og diskusjoner underveis i arbeidet, og får å ha satt meg i kontakt med sentrale fagpersoner i bransjen. Takk til medveilder Arnfinn Emdal fra Geoteknikk for nyttige tips underveis.

Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med Sweco Norge As, så det rettes en stor takk til sivilingeniør Andreas Fløystad ved vannkraftavdelingen i Sweco Kristiansand for organisering av besøk og valseforsøk på anlegg, samt masse kunnskap om komprimering og hvordan dette gjøres i bransjen. Det rettes også en takk til Tor Omdal i Agder Energi for innpass, og mulighet for å gjennomføre valseforsøk på deres anlegg i Åseral. Takk til Joakim Svendsby, Mads Hompland, Øyvind Bjelland og Per Alf Nedland i RISA AS for bistand og veiledning under valseforsøkene, samt stille utstyr, område og mannskap til disposisjon under valse og densitetsforsøkene.

Det rettes også en stor takk til Egil Andreas Vartdal i Norconsult for nyttig kunnskap og gode diskusjoner rundt komprimering. Takk til Ingebrigt Bævre i Statkraft for nyttige data fra andre dammer i Norge. Takk til Fredrik Berentsen i Leica Geosystems for gode innspill og diskusjoner rundt bruk av responsmålinger til komprimeringskontroll.

Det rettes en stor takk til Carl Wersäll fra den Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm for å dele sin kunnskap om intelligent komprimering og kontinuerlig komprimeringskontroll, samt nyttig informasjon om standarden i Sverige. Takk til Paul Slangen fra Universitetet i British Columbia, Vancouver for kunnskap om bruk av responsmålinger til komprimeringskontroll.

Trondheim, juni 2019



Mari Leikvangen



# INNHOOLD

<b>1</b>	<b>INNLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1	BAKGRUNN	1
1.2	MÅL/PROBLEMSTILLING	1
1.3	BAKGRUNNSMATERIALE OG METODE	2
1.4	OPPBYGGING AV OPPGAVEN	2
1.5	AVGRENSNING	2
1.6	DEFINISJONER	3
<b>2</b>	<b>TILNÆRMING</b>	<b>4</b>
2.1	LITTERATURSTUDIE	4
2.1.1	<i>Evaluering av kilder</i>	4
2.2	FELTARBEID	5
<b>3</b>	<b>LITTERATURSTUDIE PÅ KOMPRIMERING AV STØTTEFYLLING Fyllingsdammer</b>	<b>6</b>
3.1	STØTTEFYLLING	6
3.1.1	<i>Produksjon av støttefylling</i>	7
3.2	KOMPRIMERING	10
3.3	DAGENS STANDARD FOR KOMPRIMERING	11
3.3.1	<i>Håndbok N200</i>	12
3.4	TIDLIGERE KOMPRIMERINGSMETODER	13
<b>4</b>	<b>ANALYSE AV EFFEKTER AV KOMPRIMERING</b>	<b>14</b>
4.1	HVA ER OPTIMAL KOMPRIMERING	14
4.2	EGENSKAPER	14
4.2.1	<i>Materialtype</i>	14
4.2.2	<i>Komprimeringsarbeidet</i>	19
4.2.3	<i>Densitet (tørrdensitet)</i>	21
4.2.4	<i>Vanninnhold</i>	22
<b>5</b>	<b>STUDIE AV TILGJENGELIG FUNKSJON OG MÅLEUTSTYR PÅ VIBRASJONSVALSER</b>	<b>24</b>
5.1	KOMPRIMERINGSMETODER	24
5.1.1	<i>Statisk komprimering</i>	24
5.1.2	<i>Komprimering ved støt</i>	25
5.1.3	<i>Dynamisk komprimering</i>	25
5.2	VARIASJONSPARAMETERE	26
5.2.1	<i>Eksentriske vekter</i>	26
5.2.2	<i>Statisk linjelast</i>	28
5.2.3	<i>Amplitude</i>	28
5.2.4	<i>Frekvens</i>	29
5.2.5	<i>Kjørehastighet</i>	29
5.3	MÅL PÅ KOMPRIMERING	30
<b>6</b>	<b>KONTINUERLIG KOMPRIMERING OG INTELLIGENT KOMPRIMERING</b>	<b>31</b>
6.1	RESPONSMÅLEVERDI	31
6.1.1	<i>Compaction meter value (CMV)</i>	32
6.2	KOMPRIMERINGSKONTROLL	38
6.2.1	<i>Sandvolumeter</i>	39
6.2.2	<i>Vannvolumeter</i>	39

6.2.3	Nivellering .....	39
6.2.4	Platebelastning .....	40
6.2.5	Andre kontrollmetoder .....	40
6.2.6	Komprimeringsprogram.....	41
6.3	INTELLIGENT KOMPRIMERING OG KONTINUERLIG KOMPRIMERING KONTROLL .....	44
6.3.1	Retningslinjer for IC fra andre land .....	47
6.3.2	Korrelasjonsstudier.....	49
<b>7</b>	<b>INNHEMING AV DATA FRA KOMPRIMERING.....</b>	<b>53</b>
7.1	FORMÅL .....	53
7.2	UTSTYR.....	53
7.3	ANLEGG.....	55
7.4	FORSØKSOPPLEGG .....	58
7.4.1	Feltforsøk med valseforsøk.....	58
7.4.2	Feltforsøk, densitetstest .....	65
<b>8</b>	<b>RESPONSMÅLINGER PÅ MASSER .....</b>	<b>68</b>
8.1	PRESENTASJON AV DATA .....	68
8.1.1	Leica sitt brukergrensesnitt Conx .....	68
8.1.2	CMV.....	68
8.1.3	Frekvens .....	70
8.1.4	Amplitude .....	72
8.1.5	Hastighet .....	73
8.1.6	Setning.....	74
8.2	VURDERING .....	78
8.2.1	CMV.....	78
8.2.2	Frekvens .....	80
8.2.3	Amplitude .....	80
8.2.4	Hastighet .....	81
8.2.5	Setning.....	81
<b>9</b>	<b>MÅLING AV DENSITET .....</b>	<b>84</b>
9.1	PRESENTASJON AV RESULTATER .....	84
9.2	VURDERING .....	85
<b>10</b>	<b>VURDERING FRA LITTERATURSTUDIE .....</b>	<b>87</b>
10.1	DAM FOLLSJØ .....	87
10.2	VALSEOPPETT FRA LEICA-GEOSYSTEMS .....	87
10.3	DATA FRA TIDLIGERE VALSEFORSØK PÅ DAM LANGEVATN .....	88
10.4	SAMMENLIKNING MED ANDRE ARBEIDER .....	92
<b>11</b>	<b>DISKUSJON.....</b>	<b>95</b>
11.1	VURDERING AV FELTARBEID PÅ DAM LANGEVATN .....	95
11.2	USIKKERHETER I MÅLEDATA .....	96
11.3	OBSERVASJONER I FELT .....	96
11.4	INTELLIGENT KOMPRIMERING OG KONTINUERLIG KOMPRIMERINGSKONTROLL .....	97
11.5	OPPSUMMERING .....	99
<b>12</b>	<b>KONKLUSJON.....</b>	<b>100</b>
12.1	VALSEPROGRAM.....	100
12.2	FORSKERSPØRSMÅL.....	101
12.3	KONKLUSJON .....	101
<b>13</b>	<b>VIDERE ARBEID .....</b>	<b>103</b>

14	REFERANSELISTE .....	104
----	----------------------	-----

# FIGURER

FIGUR 1: ULIKE TYPER AV Fyllingsdammer (BOGFJELLMO, 2014) .....	6
FIGUR 2: VISER EN GOD UTLEGGING AV STEINMATERIALER .....	9
FIGUR 3: PRODUKSJON AV STØTTEFYLLING.....	10
FIGUR 4: ILLUSTRASJON AV KOMPRIMERING (FLADVAD & AKSNES, 2014).....	11
FIGUR 5: HVORDAN ANDEL FINSTOFF FORHOLDER SEG TIL STØRRE PARTIKLER(KOLISOJA, 1997).....	16
FIGUR 6: KORNGRADERINGSKURVE (GOLZÉ, 1977) .....	17
FIGUR 7: GRADERING AV MATERIALET (FLADVAD & AKSNES, 2014)FIGUR 7 .....	18
FIGUR 8: ULIKE KOMPRIMERINGSKURVER FOR 8 JORDARTER.....	18
FIGUR 9: BRUTTO DENSITET (SINTEF) .....	22
FIGUR 10: STATISK VALS FRA BROMAG(J.-L. BRIAUD ET AL., 2003).....	24
FIGUR 11: ULIKE OPERASJONSTILSTANDER TIL EN VIBRERENDE VALS (DIETMAR ADAM & PISTROL, 2016).....	26
FIGUR 12: EKSENTERVEKTER CAT(CATERPILLAR, 2007).....	27
FIGUR 13: FORSKJELLIGE INNSTILINGER AV EKSENTERVEKTEN FRA DYNAPAC. FOR ALLE FIGURER: (1) FAST EKSENTERVEKT (2) LØS EKSENTERVEKT (COMPACTION EQUIPMENT DYNAPAC, 2017) .....	27
FIGUR 14: VISER AMPLITUDEN TIL EN SINUSBØLGE (SE BILAG 6).....	28
FIGUR 15: ENDRINGER I AMPLITUDE VED ØKENDE STIVHET I MATERIALET (WHITE & VENNAPUSA, 2010).....	32
FIGUR 16:HARMONISKE SVINGNINGER (FLADVAD, 2012A).....	33
FIGUR 17: RESULTAT AV FOURIER-TRANSFORMASJON (WOLFRAM, 2011).....	34
FIGUR 18: BEDRE RESULTAT MED FLERE HARMONISKE SVINGNINGER (FLADVAD, 2012A).....	35
FIGUR 19: ØKENDE AMPLITUDE VED KOMPRIMERING MED CMV (CHANG ET AL., 2011) .....	36
FIGUR 20: TEORETISK AKSELERASJON SOM VARIERER MED TID .....	37
FIGUR 21: FAKTISKE AKSELERASJON .....	37
FIGUR 22: FLERE BØLGER SOM KAN SUMMERES VIA EN FOURIER TRANSFORMASJON.....	37
FIGUR 23: ULIKE HARMONISKE FREKVENSER .....	37
FIGUR 24: SKISSE AV SANDVOLUMETER (VEGDIREKTORATET, 1997) .....	39
FIGUR 25: PRINSIPPSKISSE FOR NIVELLERING (VEGDIREKTORATET, 1997) .....	40
FIGUR 26: PLATEBELASTNING(VEGDIREKTORATET, 1997).....	40
FIGUR 27: INTELLIGENT KOMPRIMERINGSSYSTEM FRA BOMAG(CHANG ET AL., 2011) .....	45
FIGUR 28: KOMPRIMERINGSKURVE OG GRENSEVERDI (CHANG ET AL., 2011).....	46
FIGUR 29:OVERKOMPRIMERING (WHITE ET AL., 2008).....	47
FIGUR 30: MÅLEFORSKJELLER FOR VALS OG ULIKE PUNKTMÅLEMETODER(WHITE & VENNAPUSA, 2010) .....	51
FIGUR 31: SKISSE AV VALS BRUKT I VALSEFORSØK (HAMM, 2019A) .....	53
FIGUR 32: KOMPONENTER I ICON SYSTEMET (POWERPOINT PRESENTASJON FRA FREDRIK BERENTSEN I LEICA GEOSYSTEMS).....	54
FIGUR 33: EKSEMPELUTSKIFT FRA VALS.....	55
FIGUR 34: EW60E HENTET FRA VOLVO (VOLVO, 2019).....	55
FIGUR 35: SKISSE AV SONEINDELINGEN (SWECO, 2017) .....	56
FIGUR 36: SIKTEPRØVE (ANDREAS FLØYSTAD) .....	57
FIGUR 37: FULLER KURVEN (ANDREAS FLØYSTAD) .....	57
FIGUR 38: SAMMENLIKNING AV 0-400 OG FULLER KURVEN .....	58
FIGUR 39: VALSEFORSØK 1.....	60
FIGUR 40: VALSEOMRÅDE FOR FLO 1 OG MARKERING AV SETNINGSPUNKTENE (ANDREAS FLØYSTAD, SWECO) .....	61
FIGUR 41: MÅLEPUNKT SETNINGER .....	62
FIGUR 42: VALSEFORSØK 2.....	63

FIGUR 43: VALSEOMRÅDE, MED FLO 2 ØVERST OG DE 12 STIKNINGSPUNKTENE MARKERT (ANDREAS FLØYSTAD, SWECO).....	64
FIGUR 44: FOT TIL BRUK UNDER STIKNINGSMÅLINGER (BILDE FRA RISA AS).....	64
FIGUR 45: VEKTKASSE .....	66
FIGUR 46: BILDE AV TESTOMRÅDE SOM VISER HULLENE DER PRØVENE BLE TATT UT.....	66
FIGUR 47: PRESENING MED VANN I TESTHULL 1.....	67
FIGUR 48: STEINMATERIALER, 0-400 MM .....	67
FIGUR 49: CMV VARIASJON .....	70
FIGUR 50: FREKVENNS OVERSIKT .....	71
FIGUR 51: FREKVENNS FRA VALSERAPPORT.....	71
FIGUR 52: AMPLITUDE FOR FLO 1 OG 2 .....	72
FIGUR 53: VISUALISERING AV AMPLITUDE.....	73
FIGUR 54: VALSEMØNSTER I FORHOLD TIL HASTIGHET .....	74
FIGUR 55: ENDRING I SETNING, CMV OG ENDRING I CMV FOR FLO 1.....	76
FIGUR 56: ENDRING I SETNINGER, CMV OG ENDRING I CMV FOR FLO 2.....	76
FIGUR 57: STANDARDAVVIK VARIASJON.....	78
FIGUR 58: RESULTATER FLO 1 .....	81
FIGUR 59: RESULTATER FLO 2 .....	82
FIGUR 60: PRØVEHULL 1 .....	84
FIGUR 61: PRØVEHULL 2.....	84
FIGUR 62: PRØVEHULL 3.....	84
FIGUR 63: FLYTSKJEMA FOR RESPONSMÅLINGER .....	87
FIGUR 64: METODER FOR BRUK AV CMV .....	88
FIGUR 65: ENDRING I SETNING FOR FLO 1 OG 2 .....	90
FIGUR 66: SAMMENLIKNING VALSEFORSØK 1 .....	91
FIGUR 67: SAMMENLIKNING VALSEFORSØK 2.....	91
FIGUR 68: FLYTSKJEMA.....	92
FIGUR 69: KORRELASJON MELLOM SETNINGSMÅLINGER OG CMV (LARS FORSSBLAD, 1981).....	93
FIGUR 70: KORRELASJON FOR FLO 1 .....	94
FIGUR 71: SEIGHET I FLOEN (ANDREAS FLØYSTAD, SWECO).....	97
FIGUR 72: FREMSTILLING AV OVERLAPP (HENTET FRA CONX RAPPORT) .....	99



# TABELLER

TABELL 1: DEFINISJONER .....	3
TABELL 2: UTDRAK FRA HÅNDBOK N200, MANIPULERT KILDE (VEGDIREKTORATET, 2014).....	12
TABELL 3: OVERHØYDE FOR ULIKE MATERIALER (FLADVAD & AKSNES, 2014).....	20
TABELL 4: RESPONSVERDIER (NAZZAL, 2014).....	31
TABELL 5: DATA FOR VALS, HAMM NABOEN H16I (HAMM, 2019A).....	53
TABELL 6: OPPBYGGING DAM LANGEVATN (SWECO, 2017).....	56
TABELL 7: VERDIER AV CMV FOR ULIKE MATERIALTYPER (LARS FORSSBLAD, 1981).....	59
TABELL 8: CMV FOR FLO 1 .....	68
TABELL 9: AKKUMULERT CMV FOR FLO 1 .....	69
TABELL 10: CMV FOR FLO 2 .....	69
TABELL 11: AKKUMULERT CMV FOR FLO 2 .....	69
TABELL 12: AMPLITUDE FLO 1 .....	72
TABELL 13: AMPLITUDE FLO 2 .....	72
TABELL 14: HASTIGHET FOR DE TO TESTENE .....	73
TABELL 15: SETNINGSMÅLINGER FOR FLO 1.....	75
TABELL 16: SETNINGSMÅLINGER FOR FLO 2.....	75
TABELL 17: SETNINGEN VALSEFORSØK 1 .....	77
TABELL 18: SETNINGER VALSEFORSØK 2 .....	77
TABELL 19: TOTAL SETNING I FORHOLD TIL LAGTYKKELSE.....	78
TABELL 20: FLO 1.....	83
TABELL 21: FLO 2.....	83
TABELL 22: DENSITETSMÅLINGER.....	84
TABELL 23: NY DENSITET .....	84
TABELL 24: DENSITETSTEST FOR STEINMATERIALET.....	85
TABELL 25: HULROM I KOMPRIMERT FYLLING .....	85
TABELL 26: SETNINGSDATA FLO 1 .....	89
TABELL 27: SETNINGSDATA FLO 2 .....	89
TABELL 28: VALSEFORSØK 1.....	92
TABELL 29: VALSEFORSØK 2.....	92



# 1 INNLEDNING

*I dette kapitlet presenteres bakgrunnen for masteroppgaven og hvordan oppgaven er bygget opp og løst. Alle aktører som har vært hjelpelige med informasjon og støtte introduseres. Målet for oppgaven presenteres, samt hvilke avgrensningen som er satt.*

## 1.1 BAKGRUNN

Temaet som er valgt i oppgaven baserer seg på bruk av ny teknologi til å kontrollere komprimeringen ved bygging av fyllingsdammer. Komprimeringsarbeidet er en viktig del ved bygging av nye fyllingsdammer. Det er kostnads og tidskrevende slik at en effektivisering av arbeidet ønskelig. Samtidig er det vanskelig å kontrollere komprimeringen av de største sonene i fyllingsdammer på grunn av størrelsen på steinmaterialene.

God komprimering vil øke stabiliteten og dermed hindre at setninger endrer dammens funksjon, kvalitet og vedlikeholdsbehov gjennom levetiden. For dårlig komprimering kan føre til sprekkdannelse eller lekkasje som i verste fall kan føre til et brudd i dammen.

Denne oppgaven baserer seg på komprimering av støttefyllingene i en fyllingsdam. Støttefylling er den eller de største sonene og som utgjør mest volum i dammen. Ofte består en støttefylling av sprengstein eller tunnelstein med store dimensjoner. Det gjør at tradisjonelle kontrollmetoder ikke kan brukes med hensyn til de store dimensjonene.

Komprimering kan utføres på flere ulike måter, for eksempel ved spyling av dumpet fylling, statisk komprimering med vals eller komprimering ved bruk av vibrasjonsplate. I dambygging brukes vanligvis en vibrerende vals til komprimering. Vibrasjonsvalser har blitt tyngre og mer effektive med tiden, og i dag finnes det i tillegg avansert måleutstyr som akselerometer og GPS-systemer montert på de fleste valsene.

Krav til komprimering blir ofte oppgitt i antall overfarer og vekt av komprimeringsutstyret. Disse kravene tar ikke hensyn til materialeegenskaper eller hvordan materialet responderer på komprimering.

Komprimering gjøres for å stabilisere materialene i en støttefylling, men man ønsker også at fyllingen skal være drenerende slik at vann kan renne gjennom. Ved bruk av tyngre valser risikerer man at det øverste laget knuses og at det dannes finstoff som ytterligere tetter fyllingen. Derfor er det ønskelig med så lite komprimering som mulig. Samtidig må man ha tilstrekkelig komprimering for å oppnå de ønskede mekaniske egenskapene. Ved å benytte tilgjengelig måleutstyr som finnes på moderne valser kan man undersøke hvordan materialet responderer på komprimeringen, og man kan tilpasse arbeidet etter dette.

## 1.2 MÅL/PROBLEMSTILLING

I denne oppgaven er det fokusert på hva som er optimal komprimering av støttefylling og hvordan man oppnår dette. Formålet med oppgaven er å se på nye metoder som kan gjøre komprimeringsarbeidet enklere og mer effektivt enn dagens standard. Det er sett på metoder som brukes i veibygging, og muligheten for å implementere disse metodene ved bygging og rehabilitering av fyllingsdammer. Det er ønskelig å utarbeide en ny metode eller en valseplan som kan brukes ved komprimering i fyllingsdammer. Det stilles følgende forskningsspørsmål:

- Hvordan kan responsmåling brukes for å forbedre komprimeringsmetodene som brukes i dag?

### 1.3 BAKGRUNNSMATERIALE OG METODE

I forbindelse med denne masteroppgaven er det samarbeidet tett med Sweco Norge AS, avdeling Kristiansand, som har et godt fagmiljø innenfor vassdrag og dammer, Agder Energi som eier og vedlikeholder flere kraftverk med fyllingsdammer i Sør-Norge og RISA AS som er en av de største regionale entreprenørene på Sør- og Vestlandet. Norges vassdrags og energidirektorat (NVE), Statkraft, Norges geotekniske institutt (NGI) og Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) har vært en viktig kilde til informasjon.

En stor del av denne masteroppgaven er basert på litteraturstudie, og det meste av informasjonen er hentet fra velkjente forfattere innenfor komprimeringsteori og dambygging. Noe informasjon og dokumentasjon er samlet inn fra samarbeidspartnere og andre relevante fagpersoner i bransjen. I tillegg har relevante lovverk, forskrifter og veiledere blir brukt.

Damprosjektet Langevatn i Åseral er brukt som utgangspunkt for feltarbeid, mens det er brukt setningsdata fra dam Follsjø til sammenlikning.

### 1.4 OPPBYGGING AV OPPGAVEN

Oppgaven er delt i fem deler. Først en innledende del med bakgrunnsinformasjon om oppgaven og metodevalg. Så følger en del hvor teori og resultater fra litteraturstudie er presentert. En oversikt over feltforsøkene og deres utførelse blir så presentert og vurdert. Deretter følger den avsluttende delen som kan deles opp i en generell del der resultater og muligheter blir vurdert. Til slutt følger en diskusjonsdel og konklusjonen blir trukket. Oppgaven er bevisst inndelt i mange kapitler for at det skal være enklere å lese, samt holde oversikt over de ulike temaene som presenteres. Det er laget en liten introduksjon for hvert kapittel for å gi bedre oversikt.

### 1.5 AVGRENSNING

For å kunne utføre feltarbeidet var man avhengig av å få innpass på et damanlegg, og tilgang på utstyr og område fra anleggsleder. Det ble planlagt et anlegg som kunne besøkes, men snø førte til at feltarbeidet kom senere i gang en optimalt sett, og man fikk ikke tid til å utføre flere forsøk.

Oppgavedefinisjonen kom til underveis i arbeidet, og var i starten bare et utgangspunkt eller tema. Det har gjort at oppgaven hadde mulighet til å utvikle seg etter hvor mye feltarbeid det ble mulig å gjennomføre, samt justere arbeidet etter hva som er mest interessant å jobbe med. Likevel har det vært krevende å komme i gang med oppgaven, nettopp fordi den kunne omfatte så mangt.

Kontrollmetodene brukt i tillegg til responsmålingene begrenset seg naturlig av de store materialstørrelse som foreligger i en støttefylling. Det er svært få metoder som kan brukes til kontroll for så store materialer uten veldig mye utstyr og et eventuelt anleggslaboratorie. Etter å ha utført et densitetsforsøk ble omfanget av en slik test oppdaget, og det hadde krevd svært mye ressurser og et høyt tidsbruk for å utføre flere tester. Dermed var ikke dette mulig i forhold til oppgavens arbeidsomfang og prosjektets fremdriftsplan.

Mangel på relevant litteratur har også utgjort en betydelig begrensning med tanke på innholdet i oppgaven. Det er svært få som har utført liknende forsøk på så store materialer, og det ble dermed brukt tid på å finne relevant litteratur og kilder som kunne benyttes i oppgaven.

Oppgaven begrenses også med tanke på at den gjelder for støttefyllings soner i steinfyllingsdammer. Dette er gjort for å innsnevre oppgaven til et rimelig arbeidsomfang. Det kan tenkes at mye av teorien også er relevant for andre deler av dammen og eventuelle andre typer dammer.

I og med at Dam Langevatn er brukt som utgangspunkt for oppgaven har det vært naturlig å rette oppgaven mot dammer med sentral tetting. Likevel kan det tenkes at datagrunnlaget kan gjelde for hvilken som helst støttefylling, da selve valseforsøket er uavhengig av hvordan type dam det er snakk om.

#### 1.6 DEFINISJONER

Det er nevnt flere forskrifter, veiledere, departement og håndbøker i oppgaven. De er ikke omtalt med originaltittel, hvorav henvisningene nedenfor er definert:

<b>Originaltittel:</b>	<b>Omtales som:</b>
Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (Olje og energi departementet, 2013)	Damsikkerhetsforskriften
Veileder for fyllingsdammer (Norges vassdrag og energidirektorat, 2012)	Fyllingsdamsveilederen
Komprimering – Krav og utførelse (Standard Norge, 2004)	NS 3458
Vegbygging, håndbok N200 (Vegdirektoratet, 2014)	Håndbok N200
Feltundersøkelse, håndbok R211 (Vegdirektoratet, 2018)	Håndbøkene
Feltundersøkelse, håndbok 015 (Vegdirektoratet, 1997)	Håndbøkene
Norges vassdrag og energidirektoratet	NVE

Tabell 1: Definisjoner

## 2 TILNÆRMING

*I dette kapitlet presenteres metoden som er brukt for å løse oppgaven i forhold til litteraturstudie og feltarbeid.*

Oppgaven er utført som en kombinasjon av litteraturstudie og feltarbeid, der litteraturstudie har utgjort største delen av oppgaven. Det har vært naturlig å gjennomføre feltarbeid for å få en praktisk forståelse av hovedtemaet og for å drive forskningen om komprimering innenfor vannkraft videre.

Litteraturstudie består av kapitlene 3, 4, 5 og 6 som gir en oversikt over komprimering av støttefylling samt intelligent komprimering og kontinuerlig komprimeringskontroll. Feltarbeid presenteres i kapitlene 7,8 og 9 og i kapittel 10, 11 og 12 følger diskusjon og konklusjon. I kapittel 13 presenteres videre arbeid.

### 2.1 LITTERATURSTUDIE

Litteraturstudie hadde som mål å finne ut mest mulig om komprimering, bruk av intelligent komprimering og kontinuerlig komprimering, og hvordan dette kunne implementeres ved bygging av fyllingsdammer. Siden oppgavedefinisjonen var relativt løs i oppstarten ble søkene etter litteratur gjort bredt for å få en god forståelse av komprimering og støttefylling.

Studier av tidligere arbeid innenfor temaet samt komprimeringsteori utgjør mesteparten av de skriftlige kildene. De fleste skriftlige kildene er fra kjente fagfolk i bransjen for eksempel:

- Robin Fell (Stapledon, MacGregor, Bell & Fell, 2005),
- Lars Forssblad (Lars Forssblad, 1981; Lars Forssblad, 1987),
- Alfred R. Golzé (Golzé, 1977),
- David J. White (White, Thompson & Engineering, 2008; White & Vennapusa, 2010)
- Michael A. Mooney (Mooney, 2010; R. Rinehart & Mooney, 2009; R. V. Rinehart, Mooney, Facas & Musimbi, 2012)
- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987, 2012a)

Det er også flere forfattere og forskere som er brukt i denne oppgaven, men det henvises til referanselisten for en fullstendig oversikt.

Mye relevant informasjon er innhentet gjennom møter, samtaler, e-post og anleggsbefaring i samarbeid med Sweco og Agder Energi spesielt, men også Norconsult, Leica og den Kungliga Tekniska Högskolan i Sverige har vært hjelpelige med forskning og nyttige perspektiv i forhold til oppgaven. I tillegg har NVE og Statkraft kommet med relevant informasjon og rapporter som har utviklet oppgaven videre.

For å lettere kunne utvikle retningslinjer, for komprimering med responsmålinger, som vil fungere i Norge er det hentet informasjon om hva som gjøres i andre land i forhold til dambygging. Likevel er det ikke funnet noe særlig litteratur som spesielt tar for seg «intelligent komprimering» eller «kontinuerlig komprimeringskontroll» for dambygging, og derfor er oppgaven basert på mye av teknologien som benyttes i veibransjen. Samtidig er det lagt vekt på å sortere ut det som egner seg best for bygging av fyllingsdammer.

#### 2.1.1 EVALUERING AV KILDER

Det er viktig med en god kildekultur for å vurdere relevansen av kildene. Det ble benyttet VIKOs anbefaling om å vurdere troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egenhet (NTNU, 2019 )

*Troverdighet* handler om å vurdere forfatterens bakgrunn og kvalifikasjoner, utgivers anerkjennelse og publiseringssted. Ved å benytte søkemotorene BIBSYS Oria, Google Scholar og End Note sin

søkefunksjon øker sjansen for at kilden er kvalitetssikret. I tillegg er det undersøkt med andre fagpersoner hvilke forfattere som er velkjente i bransjen.

*Objektivitet* går ut på å vurdere om innholdet er objektivt, nøytralt og samsvarer med tidligere forskning. Har forfatter eller utgiver intensjoner som ikke belyses.

*Nøyaktighet* handler om hvor detaljert og presis kilden er. Det vurderes hvor oppdatert kilden er med tanke på det siste innen fagområdet. Dato for publisering og revidering er en indikator på dette. I tillegg må det vurdering hvor god forskningsmetodikken er. Er funnene godt dokumentert og har de holdepunkter i faglitteraturen.

*Egnethet* går ut på å vurdere om teksten er relevant for oppgaven, om teksten belyser oppgaven på en ny måte og hva nytteverdien av teksten er.

## 2.2 FELTARBEID

Feltarbeidet beskrives i kapittel 7, 8 og 9. Her presenteres metodene og datagrunnlaget fra forsøkene, samt resultatene for hvert forsøk.

Det var ønskelig å undersøke responsmåleverdier ved å utføre flere valseforsøk. I tillegg ville man utføre tradisjonelle kontrollmetoder for å verifisere målingene fra valseforsøkene.

For å utarbeide metoder som brukes i feltarbeidet ble det undersøkt i litteraturen hva som har blitt gjort tidligere, og utfra dette tatt et standpunkt på hvilke tester det var ønskelig å utføre.

Det har også vært ønskelig å utføre flere tradisjonelle kontrollmetoder for å ha mer datagrunnlag til sammenlikning, men på grunn av tidsbegrensning og materialstørrelsen ble ikke dette mulig.

For å vurdere responsmålinger som en kontrollmetode ble det besøkt et anlegg som benyttet seg av responsmåleverdien CMV i valseforsøkene sine. Resultatene fra valseforsøkene ble vurdert i ConX, Leicas programvare for overvåkning av responsmålinger. Det ble utført densitetstester og stikningsmålinger for å verifisere dataene fra valseforsøkene.

### 3 LITTERATURSTUDIE PÅ KOMPRIMERING AV STØTTEFYLLING FYLLINGS DAMMER

I dette kapitlet forklares oppbyggingen av en støttefylling og hvilke ulike krav som stilles. Prosessen fra sprengning av stein til komprimering forklares der det fokuseres på kvalitet av støttefyllingen. Begrepet komprimering er forklart og utdypet i forhold til dambygging. Tilslutt presenteres kravene satt til komprimering i Norge.

#### 3.1 STØTTEFYLLING

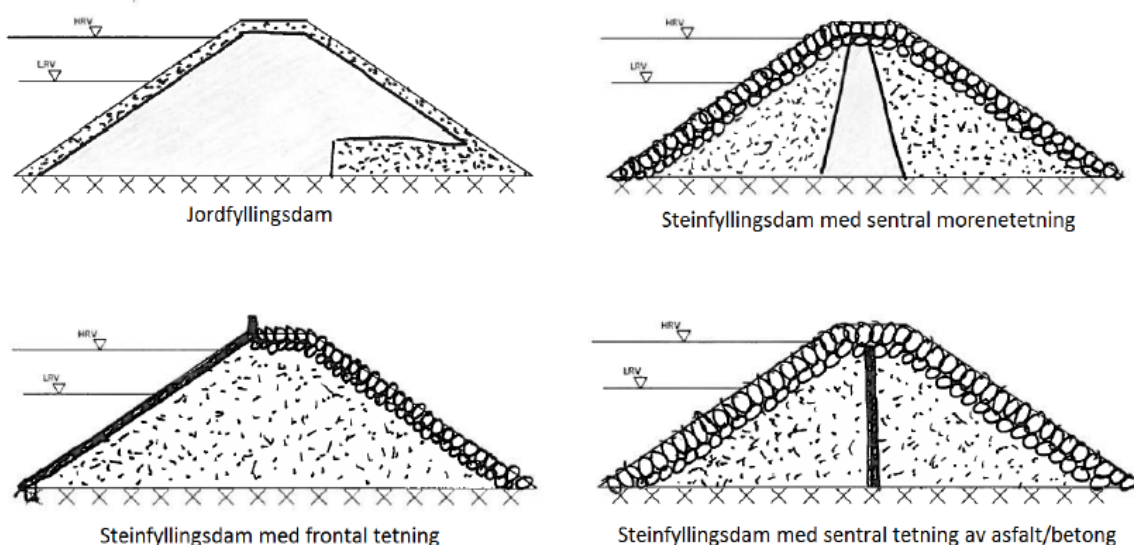
For å forstå hva som menes med optimal komprimering av støttefylling i en fyllingsdam, så trengs det en forståelse av begrepet fyllingsdam, i dette tilfelle steinfyllingsdam, og støttefylling. Ifølge International Commission of Large Dams, ICOLD (International commission on large dams (ICOLD), 2019) så er en steinfyllingsdam

*«En fyllingsdam der mer enn 50% av det totale volumet består av komprimert eller dumpet tett naturlig eller knust stein.»*

Fyllingsdammer kan rangeres utfra materialene de er bygget av. Om mer enn halvparten av damvolumet består av silt, leire, sand eller grus defineres dammen som en jord(fyllings)dam eller grusfyllingsdam. (Kjærnsli, Valstad & Høeg, 1992). Jorddammer er den mest uoversiktlige damtypen i forhold til beregning og sikkerhet. Fokuset i denne oppgaven ligger derfor hos steinfyllingsdammer.

En steinfyllingsdam er delt inn i forskjellige soner som har ulike egenskaper. Dammene kan deles i kjerne/tetting, filtersone, overgangssone, støttefylling og skråningsvern.

Det finnes også flere typer oppbygging av steinfyllingsdammer som fører til ulike former for støttefylling. Det kan skilles mellom to hovedtyper av steinfyllingsdam, se figur 1: Dam med sentral kjerne eller dam med frontal tetting. Tetningsmaterialet kan i utgangspunktet bestå av hvilket som helst vanntett materiale, men de vanligste er asfalt, morene og betong. En steinfyllingsdam med frontal tetting vil ha en filtersone og støttefylling bak tettingen, mens en dam med sentral kjerne vil ha støttefylling på begge sider av kjernen, samt filter og overgangssoner.



Figur 1: Ulike typer av fyllingsdammer (Bogfjellmo, 2014)



Den viktigste funksjonen til en støttefylling er ifølge fyllingsdamveilederen (Norges vassdrag og energidirektorat, 2012) å gi støtte til tetningen i dammen for å oppnå en stabil dam som tåler belastningene den blir utsatt for. I en støttefylling skal det brukes stein av god kvalitet og materialsammensetningen skal tilfredsstillende overgangssonen som basismateriale. Steintyper som granitt/gneis eller tilsvarende er eksempler på stein av god kvalitet. Samtidig skal steinmassene være velgradert og gi god dreneringskapasitet for overtopping og lekkasje.

En støttefylling skal bestå av materialer som gir tilfredsstillende stabilitet og moderate deformasjoner med hensyn på kvalitet, utforming, dimensjoner og utførelse. Innbygging av materialer i forskjellige soner skal sikre et kvalitetsmessig godt produkt med tanke på utlegging, lagtykkelse, sonebredde, komprimering og avvikstoleranse. (Olje og energi departementet, 2013)

Det er satt ulike fysiske krav til en støttefylling ifølge fyllingsdamveilederen (Norges vassdrag og energidirektorat, 2012). Kapittel 3.5.1 setter krav til drenasjekapasitet til en steinfylling. *For å oppnå tilfredsstillende drenasjekapasitet bør korngraderingen av massen i fyllingen ha  $d_{10}$  større enn 10mm.*  $d_{10}$  kalles også effektiv kornstørrelse og beskriver størrelsen til porekanalene som fører vann gjennom materialet. Derfor er  $d_{10}$  et godt mål på dreneringseffekten til materialet. (Ameratunga, Sivakugan & Das, 2016). Størrelsen på  $d_{10}$  avgjøres i hvert enkelt byggeprosjekt ut fra stabilitetsberegningen, men er et greit mål på god nok kapasitet.

Man ønsker ulike egenskaper ut fra hvor støttefyllingen er plassert i dammen. Ved en sentral kjerne har man to støttefyllinger som gjerne kan være inndelt i flere soner med ulik maksimal steinstørrelse. Oppstrøms støttefylling vil være vannfylt og trenger kun dreneres ved en eventuell rask nedtapping av magasinet. Dermed kan kravet til  $d_{10}$  senkes litt for oppstrøms støttefylling. Nedstrøms støttefylling må tåle drenering av en eventuell overtopping for å unngå brudd, og dermed må  $d_{10}$  være høy nok for å oppnå tilfredsstillende dreneringskapasitet av støttefyllingen.

Støttefyllingen skal også fungere som et filter ved lekkasjer. Det betyr at hver sone skal ha mindre steinstørrelse enn nabo-sonen som ligger lengre ifra kjernen av dammen, for eksempel har filtersonen, som ligger nærmest kjernen, mindre steinstørrelse enn overgangssonen. På denne måten vil alltid lekkasjehull bli fylt igjen av stein fra nabo sonene slik at ikke lekkasjene klarer å forplante seg inn mot eller ut fra kjernen.

Det er også satt krav til korngraderingskurven med tanke på stabilitet og tetthet av støttefyllingen. En støttefylling må være velgradert for å oppnå god nok tetthet til å bli stabil. (Norges vassdrag og energidirektorat, 2012)

### 3.1.1 PRODUKSJON AV STØTTEFYLLING

En god støttefylling avhenger av hele prosessen fra sprengning til komprimering. Det viktigste er å oppnå en homogen og velgradert fylling i alle ledd. Her utdypes de ulike leddene i prosessen.

#### *Sprengning*

Det blir først satt av et område som skal brukes til steinbrudd. Her bestemmer entreprenøren fra hvilken vinkel han vil sprengne inn i fjellet. Det etableres en åpning i steinbruddet ved å sprengne enden av fjellet. Det kan også være lurt å utføre en prøvesprengning for å bestemme akseptable spreng- og boremønstre. I tillegg kan man se hvordan steinmassene reagerer i forhold til andel finstoff og fordeling av de ulike steinstørrelsene.

Stein sprenges ut ved bruk av enten «pall<sup>1</sup>sprengning» med vertikale hull eller «kammerssprengning» som involverer å sprengne ladninger plassert i tunneler som er drevet inn i fjellet på bakkenivå. Kammerssprengning er billigere, men vil produsere mer finstoff og for store steiner som igjen fører til en sekundær sprengning for å få ønskede steinstørrelser. Derfor brukes ikke kammerssprengning til å produsere fyllingsmaterialer i dambygging.

Pallsprengning vil si at det borres ut vertikale hull i flere rader hvor sprengstoff legges ned. Det må brukes tunge bunnladninger for å løsne fjellet fra pallegulvet og for å sikre at alle materialene sprenges ut. Det anbefales å ha høye pallhøyder, typisk mellom 14 – 18 meter, og kun sprengne i enkle rader. Bruk av færre rader fører til mindre sekundær knusing av materialet som er ønskelig der man vil ha en del blokkmateriale. Om man sprenger flere rader samtidig vil radene bakerst kastes inn i de foranliggende steinmassene som fører til færre og mindre blokker. En tommelfingerregel er at rundt 20% av massene fra hver sprengning skal bestå av store blokker. De groveste blokkene vil plassere seg på toppen og de finere materialene vil konsentrere seg i bunnen etter sprengning. Dette er viktig å huske på ved videre lasting og dumping.

#### *Lasting*

Gravemaskiner eller hullastere vil laste steinmassene oppi lastebiler eller bulldosere som flytter massene til dammen eller lagringsområdet. Det er viktig at graveren er nøye med skuffevalget sitt med tanke på hvordan sprenghaugene er fordelt. Det er viktig at hele høyden av sprenghaugen tas med i skuffen for å sikre en god fordeling av materialene.

Et annet viktig perspektiv er å legge de groveste materialene lengst bak på lastepanet for å forenkle utleggingen av materialene senere. Det fører til at de store materialene vil ligge i bunnen av tippet og de mindre steinpartiklene vil fylle ut mellomrommene. Videre behandling av massene vil være enten mellomlagring, der dambygging ikke har startet enda, eller tippes ute på dammen til utlegging og komprimering.

#### *Mellomlagring eller bearbeiding*

I enkelte tilfeller må massene bearbeides og dermed også mellomlagres før de kan plasseres på dammen. Bearbeiding kan bestå av fjerning av for store eller små steinstørrelser eller påse at man har riktig steinstørrelse for en spesifikk sone, som filtersoner. (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2012b)

Det mest kostnadseffektive, og vanlige er å laste dirkete fra steinbruddet til dammen, med en enkelt sortering i bruddet. Sorteringen består av å fjerne de største steinene. Metodene nedenfor gjelder alle mest for støttefylling av mindre steinstørrelser, som for eksempel 0-400mm. De mest vanlige separasjon eller knusemekanismer i et pukkverk er:

- *Grizzly (sikt)*: det mest vanlige separasjonsutstyret. En grizzly separerer bare de største steinene i materialet. Den består av en skråstilt rist der stavene er lagd av et solid materiale som tåler påkjenningen de blir utsatt for. Stavene er bredest i toppen, slik at mellomrommet mellom stavene øker med dybden og at risten ikke blir tilstoppet under sikting. Ofte er det også en vibrerende rist med roterende kamakslar slik at de største materialene passerer over gitteret og faller av enden, mens de ønskede materialene faller gjennom risten. Grizzlier kan konstrueres på mange forskjellige måter, men vil alltid inneholde bruk av en rist eller sprinkelverk av sterke materialer.
- *Siktetrommel*: en perforert roterende metalltrommel som sorterer ut steinfraksjoner. De perforerte åpningene kan endres for å kunne sortere flere fraksjoner. Steinmaterialene

---

<sup>1</sup> Med pall menes en horisontal avsats i berget, naturlig eller dannet ved sprengning. (Hb.025 bergvolum som sprenges ut i en høyde.) (Statens vegvesen, 2011)

mates inn i den ene enden av trommelen, og sorteres underveis før resten av materialet tømmes ut, og over på et transportbånd som plasserer materialene i riktige hauger.

- *Ristende eller vibrerende sil:* Denne brukes for sortering og består av en eller flere metallsikter med ønskede åpninger. Sikten er plassert enten horisontalt eller med en helling på en fast ramme som kan riste eller vibrere. Etter sorteringen blir steinmaterialene ført videre på et transportbånd. Det kan brukes flere siler etter hverandre for å sortere flere fraksjoner.
- *Pukkverk:* Brukes ved produksjon av filter og dreneringsmateriale siden disse materialene ofte må ha en uniform gradering og inneholde en viss andel finstoff. Det finnes flere ulike knusemekanismer og de rangeres etter materialstørrelsen som skal produseres. Kjeftknuser og slagmøller tilhører primærfasen, der materiale mindre enn 200 mm produseres, kjegleknuser tilhører sekundærfasen som knuser materialene fra primærfasen ned til mindre enn 70mm og valseknuser er for tertiærfasen som knuser materialene fra forrige fase ned til de minste fraksjonene som brukes. (S. Jacobsen, 2016)

### Utlekking

Etter bearbeiding og mellomlagring er materialene klare for å tippes ute på damområdet. Her er det viktig å tenke på hvordan de tippes. For å få en godt utlagt flo<sup>2</sup> må man legge alt på rett plass og helst så homogent blandet som mulig. En dårlig flo er en inhomogen masse, altså bestående av enten mange store eller små steinmaterialer, som legges ned foran de allerede utlossede materialene. Det er viktig at bulldoseren som skal legge ut steinmaterialene får dytte de fremfor seg i stedet for å måtte løfte tippelasset på plass, og at skuffebladet er så nærme grunnen som mulig for å oppnå et jevnt lag før komprimering starter. Fyllingsmassene skal ikke inneholde is, snø, tre, røtter, matjord eller humusjord. (Lars Forssblad, 1987; Olsen, 2009) For å møte filterkriteriet er det også viktig at overgangssonene ikke inneholder en samling av store steiner. (Stapledon et al., 2005)

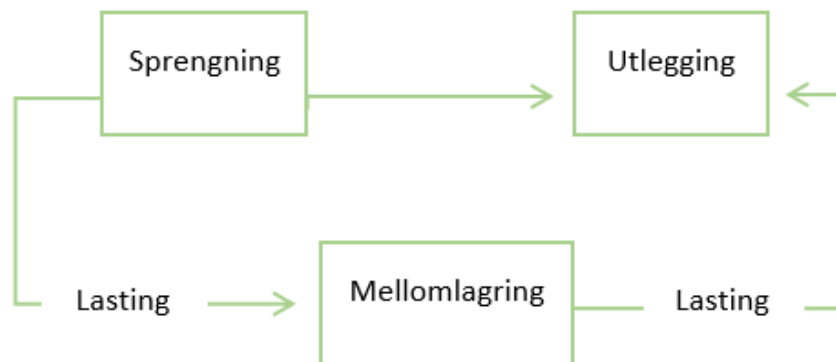


Figur 2: Viser en god utlegging av steinmaterialer

Til utlegging kan det brukes flere typer maskiner som:

- (1) Beltevogn, traktor og bulldosere: Disse brukes til å dra komprimeringsvalser, ploger, harver osv med blader for å flytte og spre materiale, samt å fjerne for store steiner fra fyllingen
- (2) Veiheveler: Disse brukes til å spre og blande materialene, utjevne materialene mellom ulike soner som kjerne, overgang og filter, fjerne store steiner og rive av overflater til tidligere komprimerte flater.
- (3) Lameller: Lameller er typisk dratt av beltevogner eller traktorer og brukes til å rive opp overflaten til tidligere komprimert fylling eller til å ventilere og blande inn vann i ukomprimerte lag før valsing.

<sup>2</sup> Flo er et annet ord for lag eller lagtykkelse som brukes mye i praksis



Figur 3: Produksjon av støttefylling

### 3.2 KOMPRIMERING

Komprimering kan defineres på flere ulike måter. I hovedsak så vil komprimering si å trykke eller presse sammen masser og i denne sammenhengen steinmasser i en støttefylling. (Gundersen & Oslo, 2018)

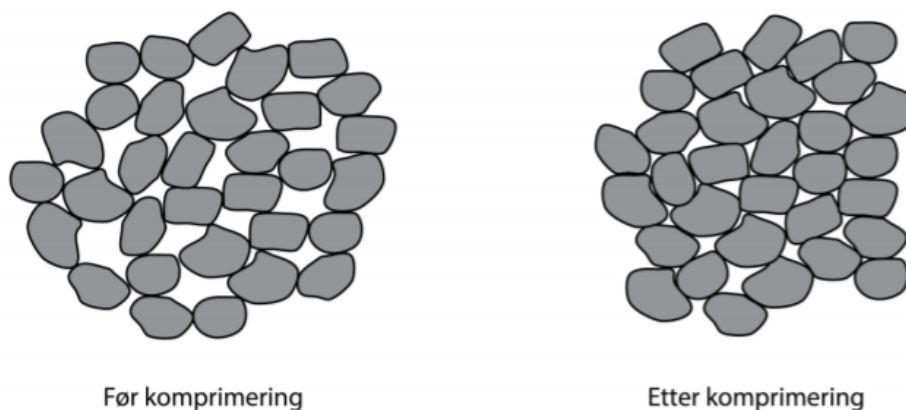
(Holtz, Kovacs & Sheahan, 2011) definerer komprimering som mekanisk stabilisering av materialer:

« *Compaction is the densification of soils and rocks by the application of mechanical energy* »

(Lars Forssblad, 1981) beskriver komprimering utfra densiteten til materialet som:

« *Compaction means that the density of a material is increased through the application of external forces* »

Komprimering er altså en måte å samle løst materiale på ved bruk av ytre krefter. Målet med komprimering er å redusere hulrom i materialet ved å fjerne luft og vann som gjør massen tettere, se Figur 4. Denne prosessen senker permeabiliteten og øker styrken til materialet. (United States Department of Agriculture, 2015)



Figur 4: Illustrasjon av komprimering (Fladvad & Aksnes, 2014)

En fylling består av mineralpartikler, ofte stein eller grus, og luftlommer som normalt er delvis fylt med vann. Under komprimering blir partiklene omplassert og luftvolumet reduseres. I en støttefylling som består av grove masser så kan vannet også presses ut. (Lars Forssblad, 1981; Kjærnsli et al., 1992)

Generelt er målet for komprimering å forbedre de tekniske egenskapene til materialene. (Holtz et al., 2011) trekker frem ulike faktorer som eksempel på fordeler man oppnår ved komprimering:

- Skadelige setninger kan reduseres eller forebygges
- Styrkeparameterne til materialet øker
- Stabiliteten til skråninger forbedres
- Økt bæreevne til materialene
- Hydraulisk ledeevne kan reduseres
- Uønskede volumendringer for eksempel svelling og krymping i forhold til frost av finkornete materialer kan kontrolleres. Dette er ikke så vanlig for norske materialer.

Ifølge (Dr. Leslie Davison & Prof. Sarah Springman, 2000) kan komprimering utnyttes for å forbedre egenskaper til eksisterende materialer. Hovedmålene for komprimering er som følgende:

- Øke skjærstivheten til materialet og dermed også bærekapasiteten
- Øke stivheten og derfor redusere videre setninger
- Minske hulrommene, og dermed permeabiliteten som igjen reduserer telehiv

### 3.3 DAGENS STANDARD FOR KOMPRIMERING

Kravet som er satt i Norge til komprimering av en støttefylling finnes i fyllingsdamveilederen (Norges vassdrag og energidirektorat, 2012). Direkte sitat:

*«Hvert lag bør komprimeres med tung vibrovalse tilsvarende et komprimeringsarbeid med 8 overfarter av 13 tonns vibrovalse og kjørehastighet 30 m/min.»*

Kravet er litt vagt med tanke på at det finnes mye tyngre og bedre utstyr i dag. Dermed er det vanskelig å vite hva kravet til antall overfarter er for tilfeller der det benyttes tyngre valser enn 13 tonn. Samtidig er statisk linjevekt er bedre uttrykk for å sammenlikne valser enn vekt av valsene.

I kapittel § 6-1. bygging i Damsikkerhetsforskriften (Olje og energi departementet, 2013) står det at det til enhver tid skal foreligge dokumentasjon på forhold som omfatter kontrollarbeidet i byggeperioden. Videre nevnes måling og prøvetakning i byggeperioden, herunder hvordan vannstand, lekkasjer, deformasjon, poretrykk mv. skal overvåkes.

Det står ikke direkte at en valseplan eller plan over komprimeringen skal foreligge men det kan tenkes at den går under dette punktet.

Likevel sier NS 3458 (Standard Norge, 2004) at *«for å oppnå den ønskede kvalitet av komprimeringen forutsettes at det i forkant av komprimeringsarbeidet utarbeides en plan for arbeidet inklusive kontroll»* og dermed stilles det også krav til dokumentasjon av komprimeringsplanleggingen og arbeidet.

Damsikkerhetsforskriften er bindende for dameier og er også den bestemmende delen i forhold til Norsk Standard og Fyllingsdamveilederen. Damsikkerhetsforskriften gir funksjonskravene for bygging, mens Norsk Standard og Fyllingsdamveilederen fungerer som en veileder for å oppfylle kravene satt i Damsikkerhetsforskriften. Det er altså opp til byggherren å benytte NS 3458 og fyllingsdamveilederen.

### 3.3.1 HÅNDBOK N200

Statens vegvesen har definert egne krav for komprimering av veifyllinger. Kravene er hentet fra Håndbok N200 og presenteres i Tabell 2.

Materiale	Konsistens	Komprimingsutstyr	Statisk linjelast	Lagtykkelse etter komprimering	Antall passeringer
			[kN/m]	[mm]	[stk]
Sprengt stein	-	Vibrerende vals	> 45	Utlagt på endetipp	10
			> 30	500-2000	5
Grus. Sand, selvdrenerende	Bløt	Vibrerende vals	> 30	200-600	4-6
	Tørr		> 30	200-300	6-8

Tabell 2: Utdrag fra Håndbok N200, manipulert kilde (Vegdirektoratet, 2014)

Håndbok N200 (Vegdirektoratet, 2014) stiller også krav til et valseprogram basert på responsmålinger. «En prøvestekning på minimum 50 meter komprimeres, og gjennomsnittlige responsmåleverdi beregnes etter hver overfart. Nødvendig antall overfarter bestemmes ved at økningen av den gjennomsnittlige responsmåleverdien mellom de to siste overfartene skal være mindre enn 10%»

For å utarbeide et valseprogram har Håndbok N200 fastsatt følgende punkter som planen skal inneholde opplysninger om:

- Underliggende masser
- Materialtyper som skal komprimeres
- Lagtykkelser
- Vanning
- Valseutstyr
- Valsemønster
- Hastighet
- Vibrering
- Antall overfarter
- Kontroll/dokumentasjon
- Spesielle hensyn som må tas ved komprimering over eller nær installasjoner (ledninger i grunnen, bygninger mv.)

For at et valseprogram skal være gyldig defineres også to punkter:

- Undergrunnen og materialene som skal komprimeres må ha samme egenskaper (materialtype, lagtykkelse, mv.) som området der valseprogrammet ble utarbeidet
- Valsen som brukes skal ha samme fysiske egenskaper (statisk linjelast, vibrasjonsinnstillinger, mv.) som valsen som ble brukt under utarbeidelsen av valseprogrammet.

### 3.4 TIDLIGERE KOMPRIMERINGSMETODER

Moderne komprimeringsmetoder må basere seg på tidligere erfaringer med tanke på utlegging og komprimering av steinmaterialer. For å kunne vurdere hvorfor det trengs en oppdatering i komprimeringsmetodene er det nyttig å vite hvordan det ble gjort før. (Breitenbach, 1993)

De tidligste steinfyllingsdammene besto av løst og tippet steinfylling uten noen form for komprimering. Disse dammene var somregel maksimalt 25 m høye og med frontal tetting av tre. Et eksempel er Meadow Lake dam i California som er 23 m høy.

Etter hvert som damstørrelsen økte begynte man å legge steinmaterialene i flere lag ved bygging og alle dammene hadde en frontal tetting av tre, stål, betong eller asfalt. Disse dammene var sikkerhetsmessig trygge, men det oppsto setninger under bygging og første fylling som førte til lekkasjer. Setningene oppsto på grunn av oppstrøms lastpåvirkning fra vann.

For å unngå setninger begynte man å spyle fyllingene med vann for å stryke steinmaterialene og for å redusere store setninger i ettertid. Spylingen av fyllingene reduserte setninger fra 5-7% uten spyling, til 1% med spyling samtidig som lekkasjer og kostnader for reparasjon ble redusert. Tettingen til dammen ble også flyttet fra oppstrøms side til midten med tanke på lekkasjeproblematikken med frontal tetting. Samtidig vil en sentral tetting være mer fleksibel enn en frontal tetting slik at setningene kan reduseres. (Cooke, 1984)

Rundt 1950-tallet endret komprimeringsmetoden seg fra kun spyling til komprimering ved bruk av valser og spyling. Bakgrunnen for endringen var bygging av enda høyere dammer, ikke tilgjengelig stein av god nok kvalitet og utviklingen av tyngre, mer robuste valser.

Etter hvert kom også vibrerende valser som førte til en mer effektiv komprimering av grus og steinfylling. Vibrasjonene fra valsen gjorde det mulig å utnytte steinmaterialer av dårligere kvalitet og fortsatt få en god nok fylling. I tillegg ble kostnadene for utlegging og komprimering lavere.

Spyling ble brukt, sammen med vibrasjon, der man trengte tett komprimering, fyllmaterialet inneholdt mye finstoff eller der stein ble svakere og ville knuses raskere ved bruk av vann. Fordelene ved å bruke spyling sammen med komprimeringer er redusert deformasjon, redusert segregering av materialet, økt tetthet og styrke. (Breitenbach, 1993)

Vanlig praksis i dag er å komprimere med vibrasjonsvals uten spyling. Svartevannsdammen i Sirdal var den første dammen i Norge der man brukte vibrerende vals uten vanning. Steinfyllingen ble plassert i 2 m tykke lag og komprimert. (Kjærnsli et al., 1992; Sande, 1975) Det tenkes at vibrasjonsvalsene er såpass effektive i dag at spyling blir unødvendig.

## 4 ANALYSE AV EFFEKTER VED KOMPRIMERING

*I dette kapitlet forklares de viktigste parameterne som har innvirkning på komprimeringsarbeidet. Optimal komprimering blir også forklart nærmere.*

### 4.1 HVA ER OPTIMAL KOMPRIMERING

Med optimal komprimering menes den komprimeringen som gir et best mulig resultat basert på alle de ulike faktorene som påvirker komprimeringsarbeidet. De ulike faktorene må optimaliseres for å finne den beste løsningen. De viktigste punktene man ønsker i en komprimert støttefylling er:

- Homogen fylling
- God drenering
- God nok stabilitet, styrke og stivhet
- Lite potensiale for setninger

(Brandl & Adam, 2014) beskriver viktige mål for komprimering, der optimalisering er et av dem. Optimalisering av komprimeringen tar for seg kvalitet, mengde komprimeringsenergi, tid og geotekniske parametere til det komprimerte materialet. Overkomprimering og løsgjøring av lag burde unngås like mye som heterogene egenskaper i fyllingen. Derfor holder geotekniske og mekaniske ingeniører på med utvikling av «intelligent komprimering», der valsene responderer på lokalt varierende materialeegenskaper ved å optimalisere maskinparametere. Valser med regulerende komprimeringssystem (vibrasjon eller oscillerende) er et steg i riktig retning. Slike valser hever komprimering fra et rutinearbeid til et mer vitenskapelig basert arbeid.

### 4.2 EGENSKAPER

Oppbyggingen av de fleste steinfyllingsdammer består av en kjerne av leire, morene eller asfalt, overgangssoner av små velgraderte steinmaterialer, filtersoner av ren, velgradert sand, indre dreneringssoner om dette trengs, støttefylling av grove steinmaterialer og et kronevern samt plastringsstein. (Golzé, 1977) Egenskapene til en steinfylling bestemmes i stor grad av graderingen og styrken til steinmaterialene.

Steinmaterialene skal fortrinnsvis være harde, bestandige, motstandsdyktige mot forvitring og tåle ekstra nedbryting fra sprengning, lasting, transport, plassering og komprimering. I tillegg bør steinmaterialene ikke inneholde andre mineraler som vil bryte ned steinmaterialet enten mekanisk eller kjemisk. (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2012a)

En rekke parametere påvirker komprimeringsegenskapene til støttefyllingen. Oppfinneren av Standard Proctor<sup>3</sup>-metoden, Ralph Roscoe Proctor hevdet at komprimering er en funksjon av fire ulike parametere: (Holtz et al., 2011)

1. Materialtype
2. Komprimeringsarbeidet
3. Tørrdensitet
4. Vanninnhold

#### 4.2.1 MATERIALTYPE

Materialtype kan beskrives av kornfordeling og kornform. Disse to begrepene er også fellesnevner for en rekke andre parametere som hver for seg har stor innvirkning på komprimeringsarbeidet. I dette kapitlet beskrives de to begrepene grundigere samtidig som effektene de har på komprimering nevnes.

---

<sup>3</sup> Proctor metoden er en laboratorie-metode for å bestemme forholdet mellom vanninnhold og tetthet, se Håndbok 14 fra Statens vegvesen for mer.



Permeabiliteten til steinmateriale har også innvirkning på hvor tett materialet kan pakkes sammen. Ett mindre permeabelt materiale vil være vanskeligere å komprimere på grunn av vannet som ikke lar seg presse ut. I denne oppgaven fokuseres det på støttefyllinger og steinmaterialene vil være relativt permeable slik at komprimeringen ikke vil bli særlig påvirket. Permeabilitet i forhold til steinmaterialene vil derfor ikke forklares mer utover dette avsnittet.

#### KORNFORDELING

Maksimal kornstørrelse, andel av fint stoff og gradering av kornstørrelsene er effekter av kornfordelingen ifølge (Kolisoja, 1997). Kornfordelingen til materialer bestemmes ved en sikteanalyse og illustreres ved kornfordelingskurver. På x-aksen angis siktesatsen logaritmisk fra 0 – 100 millimeter, mens y-aksen angir prosentandel av kornene som har passert den aktuelle siktesatsen. Ved bruk av en kornfordelingskurve klassifiseres steinmaterialene etter hvor store korn som finnes i prøven. For støttefylling brukes vanligvis andel finstoff til å definere materialparameterne.

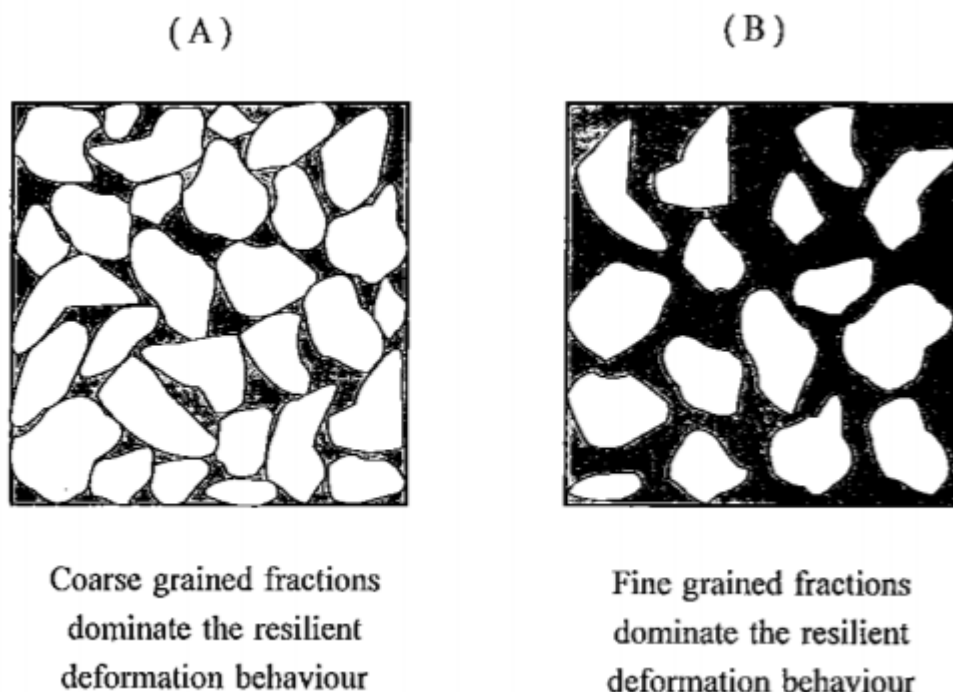
#### *Maksimal kornstørrelse*

En av de enkleste og samtidig mest korrekte parameterne å beskrive kornfordelingen med er maksimal steinstørrelse. (Kolisoja, 1997) Ved å definere maksimal steinstørrelse kan man si noe om hvilket materiale man har med å gjøre, og også vite noe om evnen til komprimeringen av materialet. (Kolisoja, 1997) utførte teoretiske forsøk med idealiserte og sfæriske kuler ved å plassere de i flere rader og påføre last. Forsøkende viste at ved å redusere størrelsen på kornene i materialene vil også stivheten i materialet reduseres som følge av at deformasjonen øker. Denne stivheten uttrykkes som deformasjonsmodulen til materialet. Det betyr at når maksimal kornstørrelse reduseres, så reduseres stivheten til materialet.

#### *Andel finstoff*

En annen måte å beskrive kornfordelingen av de grove massene på er ved å spesifisere finstoffinnholdet. Mengde finstoff er definert som prosent av vekten til det tørre materialet med en steinstørrelse mindre enn 0.06 eller 0.075mm. (Kolisoja, 1997) Kornskjellettet sin stivheten avhenger av fysisk kontakt mellom de store steinpartiklene i massen. Stryken kan sees i sammenheng med stivheten i materialet og fysisk kontakt mellom kornene i materialet. Et stivt materiale vil være sterkere enn et mindre stivt materiale.

Fysisk kontakt oppnås best i et materiale som inneholder lite finstoff fordi de største partiklene vil kunne ha direkte kontakt med hverandre. Økt fysisk kontakt fører til at kornskjellettet klarer å overføre mer last til de største partiklene. Finstoffet i slike materialer vil legge seg mellom de største partiklene, og ved komprimering dannes det en stabil og solid konstruksjon. I et materiale med et høyt innhold av finstoff vil alle mellomrom mellom de største partiklene være fylt opp, samtidig som man har overflødig finstoff. Dermed vil ikke de største partiklene være i kontakt med hverandre. Det resulterer i at kornskjellettet nå består av de fineste materialene, og lastene som påføres materialet vil overføres i finstoffet i stedet for det aller groveste. Det ender med at stivheten til materialet blir redusert og de største partiklene flyter blant de minste. Finstoffet vil dominere egenskapene til materialet. Figur 5 illustrerer hvordan kornene orienterer seg i materialet med relativt liten og stor andel av finstoff.



Figur 5: Hvordan andel finstoff forholder seg til større partikler (Kolisjoja, 1997)

Andel finstoff påvirker også vannopptaket i materialet. Det er i hovedsak finstoffet i materialet som absorberer vann, og dermed vil andel finstoff påvirke hvor mye vann materialet tar opp. I slike grove materialer er finstoffinnholdet så lavt at det normalt ikke vil påvirke vannopptaket, men ved en økt andel vil egenskapene til materialet endre seg. Finstoff som absorberer vann produserer en vannfilm rundt kornene, og denne kan bli relativt tykk ved et stort vannopptak. Høyt innhold av finstoff fører til økt vannopptak, redusert permeabilitet og en mulighet for oppbygging av poretrykk mellom partiklene. Dette er uheldig i forhold til komprimering da det blir vanskeligere å presse ut vann av materialet og dermed også å presse partiklene sammen. (Kolisjoja, 1997)

En støttefylling skal være permeabel for å la vann fra lekkasje eller overtopping renne fritt gjennom. Ved høyt innhold av finstoff eller stein av dårlig kvalitet, som lett knuses, vil permeabiliteten endres ved komprimering og man får en tettere fylling. For å være sikker på at støttefyllingen holder seg permeabel selv etter komprimering er det viktig å ha god steinkvalitet som tåler komprimering, og en mindre andel finstoff. (Golzé, 1977)

#### Gradering av kornstørrelsene

Korngradering eller gradering av materialet er en viktig parameter for bæreevnen, kvaliteten og komprimeringsegenskapene til fyllingen. Graderingen gjøres enten ved å sikte eller sortere de ulike størrelsene i materialet. En kornfordelingskurve viser kornstørrelse plottet mot % som passerer en siktstørrelse. Graderingen beskrives gjerne med et graderingstall, og bestemmes ut fra kurven ved å se på forholdet mellom kornstørrelsen hvor 60% av materialet passerer og kornstørrelsen hvor 10% av materialet passerer. (Ameratunga et al., 2016) Graderingstallet uttrykkes ved formel 4.1 fra (Norges vassdrag og energidirektorat, 2012):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad 4.1$$

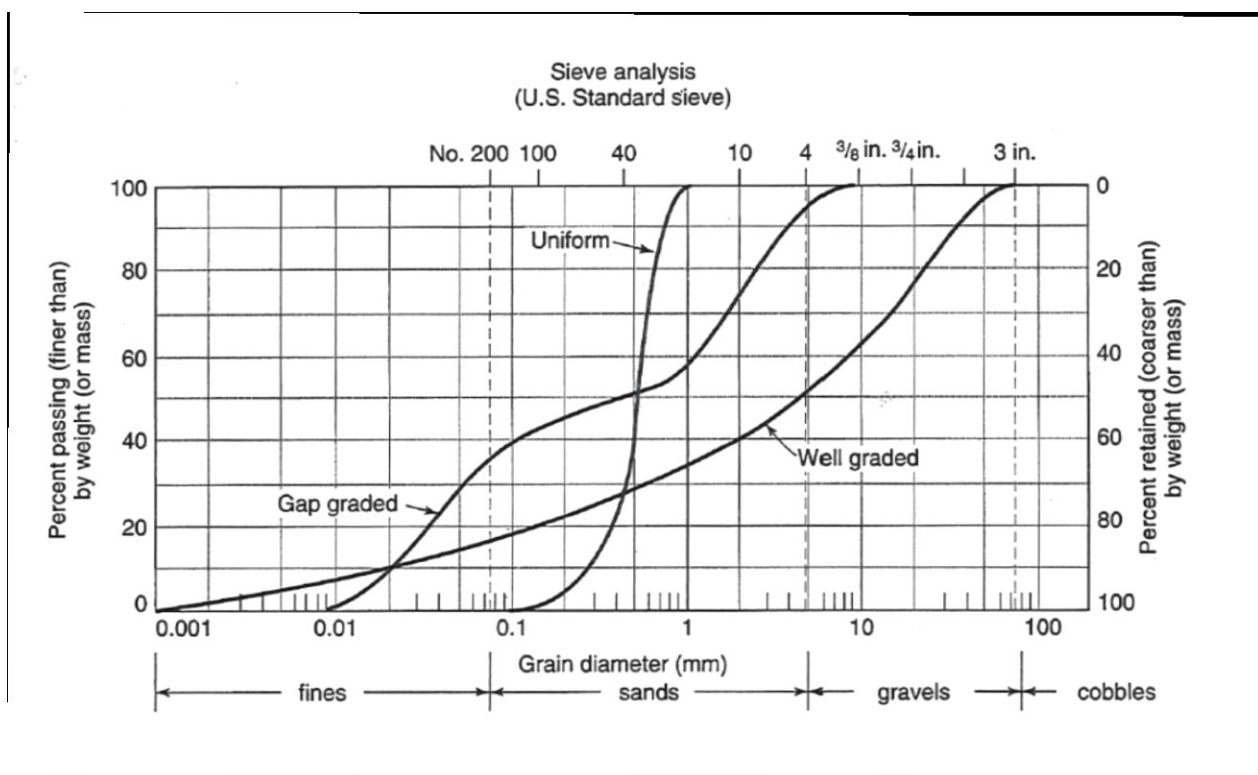
$C_u$  korngraderingstall  
 $D_{60}$  kornstørrelse hvor 60% av materiale passerer

$D_{10}$  kornstørrelse hvor 10% av materiale passerer

Korngraderingstallet beskriver uniformiteten til materialet, og brukes som et krav for å unngå partikkelsprang og lokale partier i steinmaterialet som mangler enkelte fraksjoner.

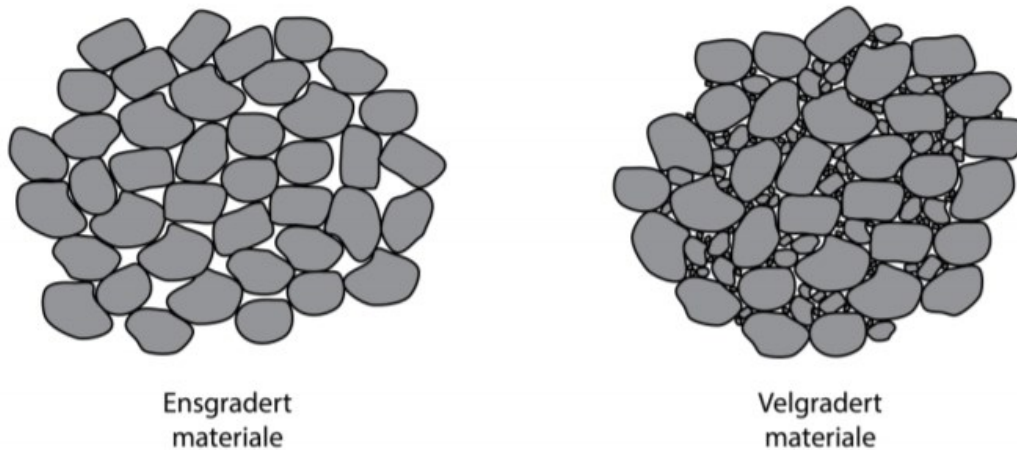
Korngraderingstall som ligger nær 1 viser at kornene er rundt samme størrelse. For støttefylling burde korngraderingstallet ligge på 10 eller mer. Dette tallet er ikke et fastsatt krav, men bestemmes utfra stabilitetsberegninger av dammen og tar hensyn til egenvekt av materialene som er brukt. Utfra erfaring kan en korngraderingskurve med  $C_u > 10$  eller mer brukes med god sikkerhet for å oppnå tilfredsstillende drenering og egenvekt. (Ameratunga et al., 2016; Norges vassdrag og energidirektorat, 2012)

Materialet rangeres ut fra om det er ensgradert, middels gradert eller velgradert. Statens vegvesen definerer materialet som engradert der graderingstallet  $C_u$  er mindre enn 5 og velgradert der graderingstallet  $C_u$  er større enn 15. Alt som ligger mellom kalles dermed middels gradert. (Vegdirektoratet 2018, 2018) (Standard Norge, 2004)



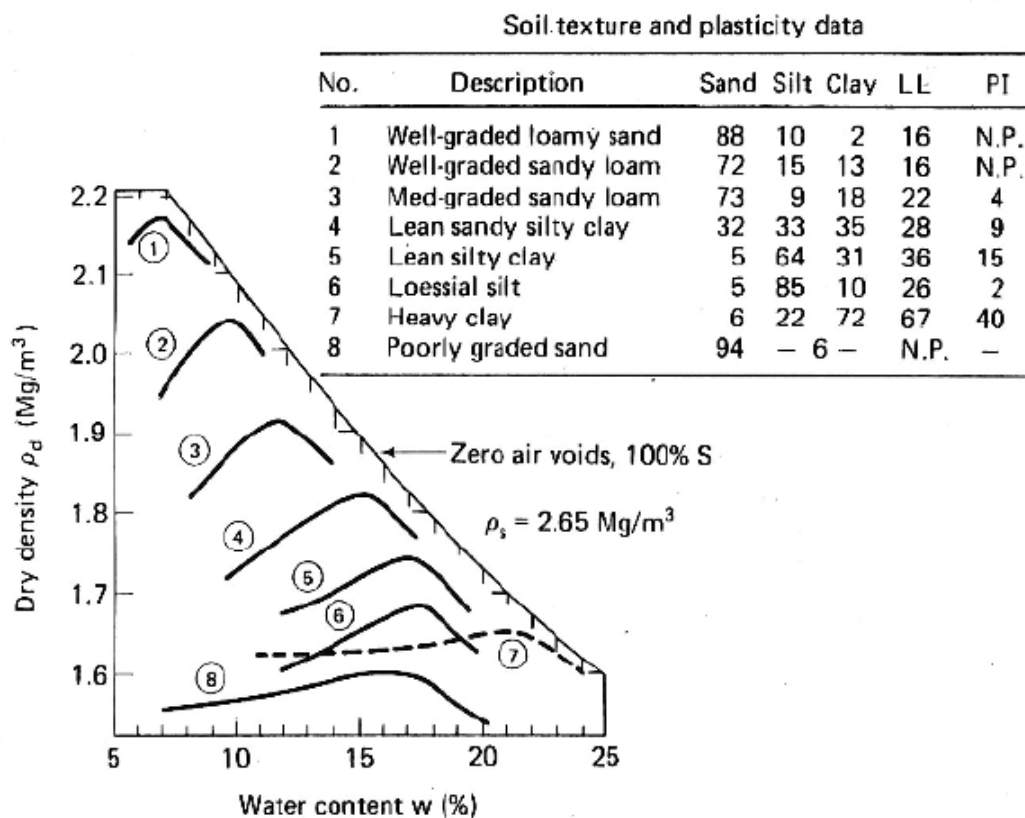
Figur 6: Korngraderingskurve (Golzé, 1977)

Velgradert materiale vil ha en god representasjon av alle partikler størrelser fra minst til størst. Et engradert materiale vil ha en uniform gradering der de fleste partiklene er av samme størrelse eller der det mangler enkelte fraksjoner slik at oppstår hopp i korngraderingskurven. Figur 7 illustrerer denne forskjellen godt.



Figur 7: Gradering av materialet (Fladvad & Aksnes, 2014)Figur 7

I velgradert materiale vil alle hulrommene være fylt av mindre korn som gir et tettere materiale og en økt bæreevne etter komprimering. I ensgradert materiale hvor kornene er av samme størrelse finnes det ingen partikler som kan fylle hulrommene, og derfor får man ikke like god komprimering av disse materialene. Figur 8 illustrerer denne effekten godt. Figuren viser ulike komprimeringskurver for åtte forskjellige materialer. Utfra kurvene kommer det frem at det er de mest velgraderte materialene som oppnår størst densitet ved lavest vanninnhold, mens en mer uniform gradering gir lavere densitet. For eksempel er både materiale nummer 1 og 8 sand, men de har ulik gradering. (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987) (Lars Forssblad, 1981)



Figur 8: Ulike komprimeringskurver for 8 jordarter

Teoretisk best komprimering av et materiale oppnås ved bruk av idealiserte sfæriske kuler med en gradering etter Fuller-kurven. Fuller fant ut at en kurve beregnet ved formel 4.2 med en graderingskoeffisient på 0.5 vil gi maksimal densitet for sfæriske kuler.

$$p = 100 * \left(\frac{d}{D_{max}}\right)^n \quad 4.2$$

$p$	Prosent av materialet mindre enn $d$
$D_{max}$	Maksimal kornstørrelse i materialet
$n$	Graderingskoeffisient
$d$	Siktstørrelse

Knust stein vil avvike fra den idealiserte kurven av sfæriske kuler når det kommer til maksimal densitet ettersom knust stein har en irregulær form. Det er senere funnet ut at knust stein oppnår maksimal densitet ved graderingskoeffisienter rundt 0.45-0.5. (Uthus, 2007) Ved beregning av korngraderingskurven for støttefylling er det ønskelig at kurven skal ligge så tett opp mot Fuller kurven som mulig for å få nok densitet, samtidig som kravet til drenering må være tilfredsstillt ( $d_{10} > 10\text{mm}$ )

#### KORNFORM

Komprimering påvirkes også av kornformen til steinmaterialene. Det skilles mellom materialer produsert naturlig som grus og sand, og materialer produsert ved sprengning som knust stein, tunnelstein eller bruddstein. For grove materialer som brukes i støttefylling har kornform mer betydning for komprimeringen enn mye finstoff. De viktigste faktorene som påvirker kornformen i grove materialer er den mineralogiske sammensetningen og strukturen i partiklene. (Kolisoja, 1997). Dette kan forstås ved at sammensetningen til kornene har stor betydning for stryken til materialet og derfor også hvordan materialet påvirkes av ytre krefter som komprimering.

Under komprimering av steinmaterialer er det stor sannsynlighet for knusing av kornene, og grad av nedknusing avhenger av kornform. Materialer som er avlange eller lagdelte er mer utsatt for deformasjoner enn for eksempel runde materialer. Ved komprimering av lagdelte og avlange materialer er det større fare for dannelse av finstoff som igjen kan føre til reduserte komprimeringsegenskaper. Likevel vil denne forskjellen, om man ser på materialene på et mikronivå, utjevnes noe ved komprimering. Årsaken er ifølge (Kolisoja, 1997) at de skarpe kantene vil knuses og rundes av under komprimering, og at oppførselen derfor vil være relativt lik som ved de naturlige produserte materialene med tanke på kontakt mellom kornene.

Deformasjonsegenskapene påvirkes også av kornets overflatestruktur, og dermed også komprimeringsegenskapene til materialet. Det er usikkert hvordan overflatestrukturen påvirker komprimeringen, man vet bare at det har en effekt. Årsaken til at man ikke vet hvordan effekten utarter er rett og slett for lite forskning på området. (Kolisoja, 1997)

#### 4.2.2 KOMPRIMERINGSARBEIDET

Komprimeringsarbeidet er et mål på den mekaniske energier som tilføres materialet under komprimering. Benevnelsen på mekanisk energi er energi pr volum eller  $\text{N}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $1 \text{ N}\cdot\text{m} = 1 \text{ joule}$ ). I feltarbeidet måles komprimeringsarbeidet i passeringer med en type vals et visst antall ganger over en spesifisert lagtykkelse. Nedenfor vil de ulike elementene utstyr, antall passeringer og lagtykkelse forklares nærmere.

### LAGTYKKELSE

Med lagtykkelse menes høyden av laget som skal komprimeres. Lagtykkelse ligger vanligvis mellom 0.5 – 2.0 meter, for støttefylling, og avhenger av steinstørrelse og hvilke maskiner som brukes i komprimeringsarbeidet.

I følge NVE så er «*største steinstørrelse vanligvis bestemt ved at det ikke i noen sone bør forekomme stein som bygger mer enn 2/3 av lagtykkelsen*» (Norges vassdrag og energidirektorat, 2012). Utfra dette bestemmes lagtykkelsen på bakgrunn av største steinstørrelse som forekommer i laget. Som (Lars Forssblad, 1981) nevner brukes ofte halvparten av steinstørrelsen. Eksempelvis så ville en fylling med maksimal steinstørrelse på 0.800m har en lagtykkelse på 1.6m. Større steiner kan tillates i fyllingen så lenge de ikke stikker opp og/eller ødelegger for komprimeringsarbeidet.

Lagtykkelsen er avhengig av hvilken vals som skal brukes i komprimeringsarbeidet. Om man skal legge ut steinmaterialer i tykke lag trengs en svært kraftig vals for å komprimere hele laget. Samtidig har en vals begrenset komprimeringsdyp (virkningsdyp) slik at det i noen tilfeller er nødvendig å dele opp utleggingen av steinmaterialene i flere mindre lag, for å kunne oppnå tilfredsstillende komprimering. Dette er fordelaktig for å minske nedknusing av de øverste materialene, som følge av kjøring med tung vals. Slik nedknusing svekker steinmaterialer. Det er derfor viktig å planlegge komprimeringsarbeidet før massene legges ut, slik at lagtykkelsene kan tilpasses valsekapasiteten. (Fladvad & Aksnes, 2014)

Lagtykkelse kan også bestemmes utfra valseforsøk. For store eller kritiske dammer er det anbefalt å utføre tester på densitet, gradering og deformasjon mot antall overfarter for å bestemme maksimal tillatt lagtykkelse. (Allan J. Breitenbach, 2012).

Statens vegvesen har utarbeidet en tabell som viser overhøyde for ulike materialer. Overhøyde beskriver volumendringen til et materiale, og brukes for å anslå hvor mye lagtykkelsen må økes med for å få riktig tykkelse etter komprimeringen.

Steinfylling	Sand og grus	Silt	Leire
25%	33%	50%	75%

Tabell 3: Overhøyde for ulike materialer (Fladvad & Aksnes, 2014)

### ANTALL OVERFARTER

En overfart betegner stekningen valsen dekker med trommelen på en hel runde. For å få dekket hele område kan det i enkelte tilfeller være nødvendig med flere kjørefiler.

Antall overfarter per flo kan bestemmes med valseforsøk. Da kjører man et forhåndsbestemt antall overfarter og tar kontroller underveis med for eksempel platebelastningsforsøk eller nivellering. Når man har oppnådd god nok fylling ifølge forsøkene så har man funnet optimalt antall overfarter som tilfredsstillende komprimeringen.

### KOMPRIMERINGSUTSTYR

Det er viktig å velge utstyr som er egnet for det materialet man skal komprimere og som er tilpasset transport, utlegging og andre arbeidsforhold. Faktorer som påvirker valg av utstyr er type jord/steinmasse, komprimeringskrav som grad av komprimering, lagtykkelse eller spesielt komprimeringsutstyr, transport og utleggingsmetode, værforhold, transport av maskiner til og mellom byggeplasser, muligheten til å standardisere komprimeringsarbeidet og muligheten for reparasjon og service. (Lars Forssblad, 1981) Komprimeringsutstyr kan deles inn etter vekt, henholdsvis tungt og lett utstyr.

Tungt utstyr kan i tillegg deles inn i tre: stampende vals (sauefot), gummihjulvals og vibrerende vals med ståltrommel. Det kan også brukes beltevogntrekkertil til komprimering av kohesjonsløst materiale.

*Stampende vals (sauefotvals)* brukes til å komprimere fine materialer eller grove materialer med en stor del plastisk finstoff. Fordeler: elting og stamping gjør at materialene blandes med vann bedre og det produseres sterke bånd mellom komprimeringslagene. Ulemper: overflaten blir ru og løs slik at vann lettere kan trenge inn i materialene. Sauefotvals har også lavere komprimeringsdybde enn andre maskiner.

*Gummihjulvals* brukes for å komprimere kohesive (noen ganger kohesjonsløst) materiale. Fordeler: større komprimeringsdybde enn sauefotvals og lar overflaten være jevn etter komprimering, slik at vann ikke trenger inn i materialet like lett. Komprimerer tettere og mer effektiv ved store kohesive materialer enn sauefotvals. Ulemper: overflaten må rives opp for hvert lag som komprimeres, og gummihjulvalsen er ikke så effektiv som sauefotvalsen til å knuse myk stein eller å blande materialene sammen.

*Vibrerende ståltrommelvals* brukes til å komprimere kohesjonsfritt materiale. Fordeler: det kan oppnås høyere densitet enn ved bruk av sauefotvals eller gummihjulvals. Fyllingen kan også vannes for å forbedre komprimeringen. Ulempe: kan føre til nedknusing av fyllmaterialer og dermed lage tynne lag av finstoff i fyllingen.

Lettere utstyr kan brukes til komprimering i små eller avgrensede områder, for eksempel inntil betongvegger og nedsynkninger i fjelloverflaten. Det kan brukes stamper eller vibrasjonsplate. (U.S. Army Corps of Engineers, 1995)

*Stamper:* En stamper er den minste komprimeringsmaskinen man kan få, noe som gjør den enkel og lett å bruke. Stamperen fungerer ved å hoppe på underlaget og produserer store trykkrefter som komprimerer underlaget. En stamper kan brukes i alle typer materialer. (Lars Forssblad, 1981)

*Vibrasjonsplate (hoppetusse):* En vibrasjonsplate består av en bunnplate med et vibrerende element som er drevet av en maskin. Platen og maskinen er montert på en ramme med stålfjærer eller gummelementer. Maskinen kan flytte seg enten kun forover eller i begge retninger ved komprimering. (Lars Forssblad, 1981)

#### 4.2.3 DENSITET (TØRRDENSITET)

Ønsket densitet spesifiseres ved prosjektering av støttefylling. (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2012b) Krav satt av Office of Chief of Engineering (U.S. Army Corps of Engineers, 1995) går ut på at drenerende soner av fyllingen skal ha en relativ densitet på minst 85% og at ingen deler av fyllingen skal ha lavere relativ densitet enn 80%.

Relativ densitet ( $D_r$ ) er definert som komprimeringstilstanden i forhold til den løseste og tettete tilstanden til materialet. Maksimal hulromsprosent betegner den løseste tilstanden, mens minimal hulromsprosent betegner den tettete tilstanden til materialet. Relativ densitet beregnes ved å finne den tettete og løseste tilstanden til materialet i laboratoriet, mens densiteten av fyllingen tas in-situ. Relativ densitet  $D_r$  kan beregnes etter formel 4.3.

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 (\%) \quad 4.3$$

## Analyse av effekter ved komprimering

$e_{max}$	Maksimal hulromsprosent
$e_{min}$	Minimal hulromsprosent
$e$	Hulromsprosent
$D_r$	Relativ densitet i prosent

Densitet uttrykker tettheten til fylling siden den er direkte relatert til hvor mange partikler et gitt volum inneholder. (J.-L. Briaud, Seo & M University, 2003)

Høy densitet fører til lavere komprimeringsevne. En løst pakket steinfylling vil lettere komprimeres enn en tettpakket fylling. En uniform gradering gir enn lavere densitet enn en velgradert masse.(Golzé, 1977).

Det er viktig at materialene som brukes i laboratorietester er samme som brukes i felt for å få riktig resultat. Samtidig er det svært krevende å ta ut materialprøver for større dybder, og disse materialene er sensitive for vibrering og bevegelse. Derfor blir det gjort få eller ingen tester på dammer som bygges i dag og man regner med at spesifisering av antall overfarer, valsevekt, lagtykkelse og hastighet vil gi ønsket densitet.(Stapledon et al., 2005)

Densitet av ulike typer steinmaterialer er vist i Figur 9 fra Sintef (Sintef).

<b>Brutto densitet (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Meget lav</b>	<b>Lav</b>	<b>Middels</b>	<b>Høy</b>	<b>Meget høy</b>
	< 2400	2400-2600	2600-2800	2800-3000	> 3000
<b>Steintype</b>					
Sandstein	■				
Kalkstein		■			
Leirskifer			---		
Marmor			■		
Fyllitt, glimmerskifer				■	
Kvartsittskifer			■		
Serpentinitt			---		
Kleberstein			---		
Gneis			■		
Granitter o.l.		■			
Larvikitt			■		
Gabbro, dioritt, diabas etc.	■			■	

Figur 9: Brutto densitet (Sintef)

### 4.2.4 VANNINNHOLD

Kontroll av vanninnhold i støttefylling bestående av grus eller singel er unødvendig og materialet kan komprimeres som det er. Om materialet inneholder en signifikant andel sand eller finstoff må materialet ha en høy grad av metning under komprimering, som kan oppnås ved bruk av lastebiler med høystrykkslanger eller andre godkjente metoder. Komprimering av umettet sand fører til en overflatespenning mellom vann og finstoffet, og materialet vil øke i volum og ta opp plass. Umettet sand vil ikke effektivt presses sammen ved komprimering og kan resultere i et dårlig komprimert og svakt lag, noe som kan skape problemer med drenering og stabilitet av dammen. Om materialet brukt i støttefyllingen inneholder mer enn 5 – 10% finstoff som passerer 0.074 mm sikten er det sannsynlig at vanninnholdet må kontrolleres for å sikre ønsket densitet ved komprimering. (U.S. Army Corps of Engineers, 1995)





## 5 STUDIE AV TILGJENGELIG FUNKSJON OG MÅLEUTSTYR PÅ VIBRASJONSVALSER

I dette kapitlet forklares ulike komprimeringsmetoder, utstyr og responsmåleverdier. Ulike parametere som kan endres for å optimalisere komprimeringen presenteres.

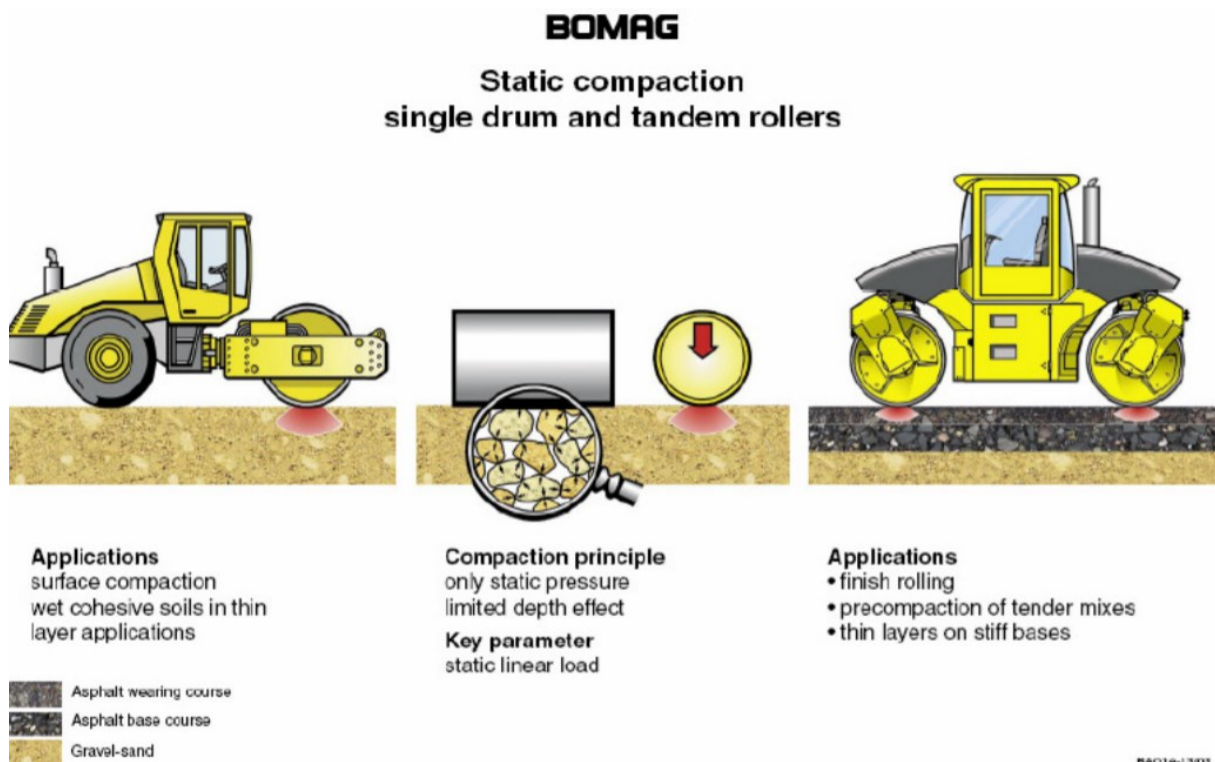
### 5.1 KOMPRIMERINGSMETODER

Maskiner brukt til komprimering rangeres etter komprimeringsmetode. De varierer i størrelse fra 5 til 25 tonn og opererer gjerne på en frekvens rundt 30 Hz. Kravet satt til maskinene er at de skal tåle spenningene fra komprimeringen. En vibrerende valsemaskin som skal brukes på en støttefylling må ha en tykk trommel av høykvalitets stål for å tåle slitasje fra de store steinmassene. (Lars Forssblad, 1981) De tre mest brukte komprimeringsmetodene er statisk komprimering, komprimering ved støt og dynamisk komprimering. Valg av komprimeringsmetode gjøres utfra steintype, tilgjengelig utstyr og lagtykkelse.

#### 5.1.1 STATISK KOMPRIMERING

Statisk komprimering er komprimering uten vibrasjon. Det er valsens egenvekt som legger trykk på overflaten. Prosessen drives av kontaktkreftene mellom underlaget og valsen som presser partiklene sammen, og effektivt reduserer hulrommene i materialet, se Figur 10. Statisk komprimering gir kun god nok komprimering i den øverste delen av laget fordi effektiv dybde er begrenset. Derfor burde lagene være at rett tykkelse for å få optimalisert komprimeringen.

Det kan brukes en statisk, stillestående vals eller en vibrerende vals der vibrasjonen skrur av. Valsen kan være glatt eller av typen sauefotvalse. For en støttefylling vil en glatt vals være å foretrekke mot en sauefotvalse som knar massene i større grad. Statisk komprimering brukes lite for store steinmasser som ligger i støttefyllinger men brukes heller på mindre materialer som silt, leire eller asfalt. (J.-L. Briaud et al., 2003; Fladvad & Aksnes, 2014) (Meehan & Tehrani, 2009)



Figur 10: Statisk vals fra BROMAG(J.-L. Briaud et al., 2003)

### 5.1.2 KOMPRIMERING VED STØT

Komprimering ved støt vil si en påført trykkraft mot materialet, og dette kan gi større krefter enn ved statisk komprimering. Støtkomprimering gir en kraftig trykkraft som trenger dypt ned i materialet. Pakkingen bestemmes av materialene, overflaten og fallhøyden. Støtkomprimering kan utføres ved bruk av en stamper som jobber på lav frekvens og stor amplitude. (Lars Forssblad, 1987)

### 5.1.3 DYNAMISK KOMPRIMERING

Under dynamisk komprimering oppstår det dynamiske og statiske krefter. De dynamiske kreftene kommer fra valsetrommelen som slår ned i materialet den skal komprimere med raske slag. Slagene forplanter seg som trykk og skjærbølger nedover i materialet, og setter partiklene i bevegelse. Kreftene eliminerer indre friksjon og vil derfor omorganisere partiklene i posisjoner som resulterer i mindre hulrom og høyere densitet. I tillegg vil et økende antall kontaktpunkt mellom partiklene føre til en høyere stabilitet, stivhet og lavere langtidssetninger. Dynamiske komprimering kan utføres av vibrasjonsvalser eller oscillerendevalser. (D. J. D. Adam, pavements, aspects & materials, 2007)

#### *Vibrerende komprimering*

Den mest effektive metoden å komprimere en grov fylling på er ved bruk av vibrerende valser. Vibreringen fra valsen gjør at hver enkelt stein kiles fast i hverandre og fører til en sterkere og tettere fylling. (Cooke, 1984) En vibrerende valse består av en trommel der akselen har roterende vektorer som driver trommelen fremover. Resultantkraften fra trommelen virker i samme retning som de eksentriske vektene. Komprimeringen oppnås ved en serie av kompresjonsbølger som trenger gjennom fyllingen i kombinasjon med egenvekten av valsen. Den resulterende komprimeringskraften treffer fyllingen i nesten vertikal retning.

Man oppnår høyere densitet ved bruk av vibrasjon fremfor statisk komprimering eller komprimering ved støt i friksjonsløst materiale. En ulempe med vibrasjon er økt sannsynlighet for knusing av materialet som kan føre til lag av finstoff i fyllingen. (U.S. Army Corps of Engineers, 1995)

Oppførselen til en vibrerende valse (frekvens, amplitude) kan endres avhengig av responsen fra fyllingen, se Figur 11. Oppførselen kan rangeres i fem følgende tilstander:

- Kontinuerlig kontakt
- Delvis løfting
- Dobbelt hopp
- Vuggende bevegelse
- Kaotisk bevegelse

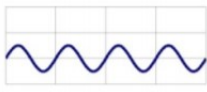


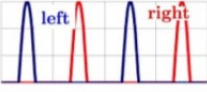

*Kontinuerlig kontakt* oppstår kun når stivheten er svært lav og materialene kan følge trommelbevegelsen. Dette er tilfelle ved ukomprimert fylling, myke steinmaterialer med en høy andel finstoff eller ved små amplituder.

*Delvis løfting* er typisk for velbalanserte valser og er den mest effektive komprimeringstilstanden. Den økende vertikale kontaktkraften fører til et periodisk tap av kontakt mellom trommel og fylling under komprimering.

Ved økt stivhet i fyllingen endres trommelbevegelsen til *dobbelt hopp*. Bølgebevegelsen som trommelen lager reproducerer kun annenhver periode i motsetning til ved delvis løfting. Når trommelen løftes vil den treffe underlaget vekselvis med en stor og en liten kraft. Energien som overføres ved kontakt mellom trommel og underlag er større som gir en bedre komprimering, men sannsynligvis også en løsgjøring av fyllingen. I tillegg så øker slitasjen på valsen, og dermed er denne tilstanden uønskelig.

Ytterligere komprimering fører til at akselen vil tilte fra side til side og man får et faseskifte i bevegelsen mellom høyre og venstre side. Det er vanskelig å håndtere valsen i denne tilstanden og en kontrollert komprimering er ikke mulig, derfor skal denne tilstanden unngås.

Kombinasjonen av høy stivhet og ugunstige maskinparametere som høy amplitude, høy frekvens og lav hastighet kan føre til en *kaotisk bevegelse*. Denne tilstanden gjør at bevegelsen ikke er periodisk lengre og styring av valsen er ikke mulig. Kaotisk bevegelse skal utvilsomt unngås.

drum motion	interaction drum-soil	mode of operation	soil contact force	application of CCC	soil stiffness	roller speed	excitation amplitude
periodic	continuous contact	Continuous Contact		yes	low ↓ high	fast ↓ slow	small ↓ large
	periodic loss of contact	Partial Uplift		yes			
		Double Jump		yes			
		Rocking Motion		no			
chaotic	non-period. loss of contact	Chaotic Motion		no			

Figur 11: Ulike operasjonstilstander til en vibrerende vals (Dietmar Adam & Pistor, 2016)

### Oscillerende komprimering

En oscillerende vals har en trommel som svinger horisontalt (frem og tilbake) fremfor vertikalt som for en vibrerende vals. Massene blir derfor knadd i stedet for presset sammen, og brukes for komprimering av asfalt. (J.-L. Briaud et al., 2003)

## 5.2 VARIASJONSPARAMETERE

Det er flere faktorer som har innvirkning på komprimeringseffekten til en vibrerende vals

- Frekvens
- Amplitude
- Hastighet
- Statisk vekt

En vibrasjon er generert ved en roterende aksel med eksentriske vekter der hastigheten bestemmer frekvensen. For å kunne forstå vibrasjonsmålinger så er det viktig å ha en god grunnteori om frekvens og amplitude.

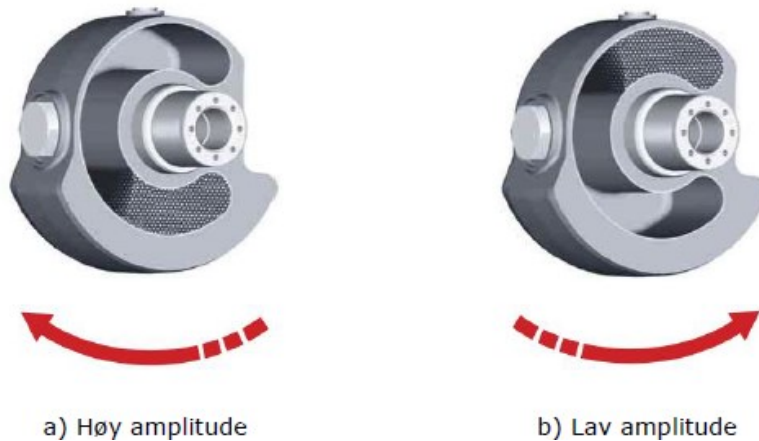
### 5.2.1 EKSENTRISKE VEKTER

Eksentriske vekter skaper vibrasjon inne i trommelen. Vektene er plassert slik at trommelens tyngdepunkt er i bevegelse når akselen roterer. Det er nødvendig at vektene er tunge nok til å sette valsetrommelen i bevegelse når de roterer og dermed skape vibrasjoner. De eksentriske vektene består av en «løs» del og en «fast» del. Det gjør det mulig å justere amplituden etter

rotasjonsretningen. Ved en rotasjonsretning der fast og løs del av vekten har samme plassering vil vektene samarbeide for å få trommelen ut av likevekt. Dette gir maksimal amplitude. Motsatt tilfelle der rotasjonsretningen snus vil vektene plasseres overfor hverandre som gir en lav amplitude. (Fladvad & Aksnes, 2014)

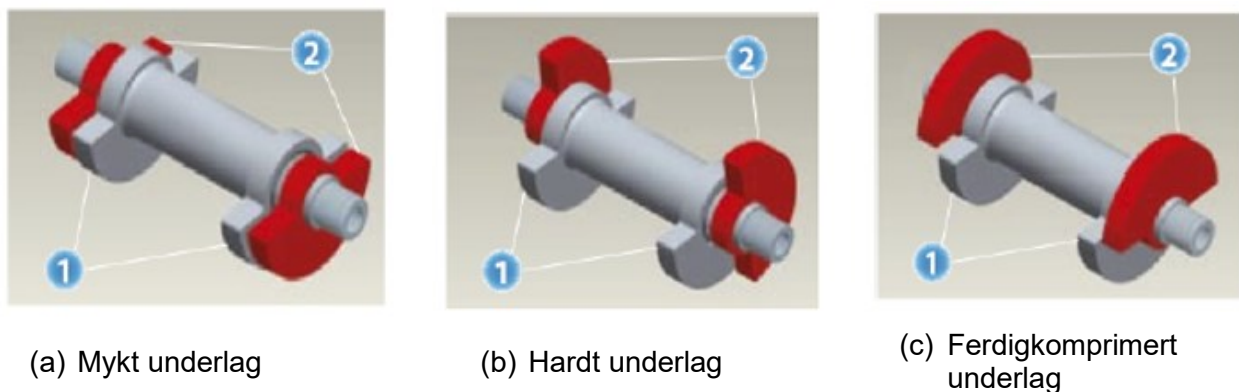
#### Ulike eksentriske vekter

Valseutstyr-fabrikanter har ulike måter å skape vibrasjon på. Et eksempel er vist i Figur 12 fra Caterpillar. Her utgjør stålkuler den «løse» delen av vekten og den «faste» delen er innlemmet i akslingen. Figur 12a viser når stålkulene legger seg sammen med den tunge delen av akselen og man oppnår en høy amplitude. Ved endret rotasjonsretning så glir kulene over til motsatt side og man oppnår en lav amplitude, se Figur 12b.



Figur 12: Eksentervokter CAT (Caterpillar, 2007)

Dynapac (Compaction Equipment Dynapac, 2017) bruker en annen metode for sine eksentriske vekter. Her brukes to like vekter, der den ene kan rotere mellom to stillinger på akselen. Figur 13 viser hvordan vektene skal stilles for ulike typer underlag. Komprimering av mykt underlag skal utføres med høy amplitude. Figur 13a viser at begge vektene er i samme stilling og man får en høy amplitude. For hardere underlag ønsker man en lavere amplitude og den løse vekten vinkles i forhold til den faste, Figur 13b. Når materiale er ferdig komprimert og man ønsker å kjøre over materialet uten vibrasjon så settes den løse vekten i motsatt stilling av den faste vekten som i Figur 13c. Dermed utlignes eksentrisiteten og man får ingen vibrasjon selv når akselen roterer. De fleste nye valser kan også låse den løse eksentervekten i flere posisjoner for å justere amplituden.



Figur 13: Forskjellige innstillinger av eksentervekten fra Dynapac. For alle figurer: (1) Fast eksentervekt (2) Løs eksentervekt (Compaction Equipment Dynapac, 2017)

### 5.2.2 STATISK LINJELAST

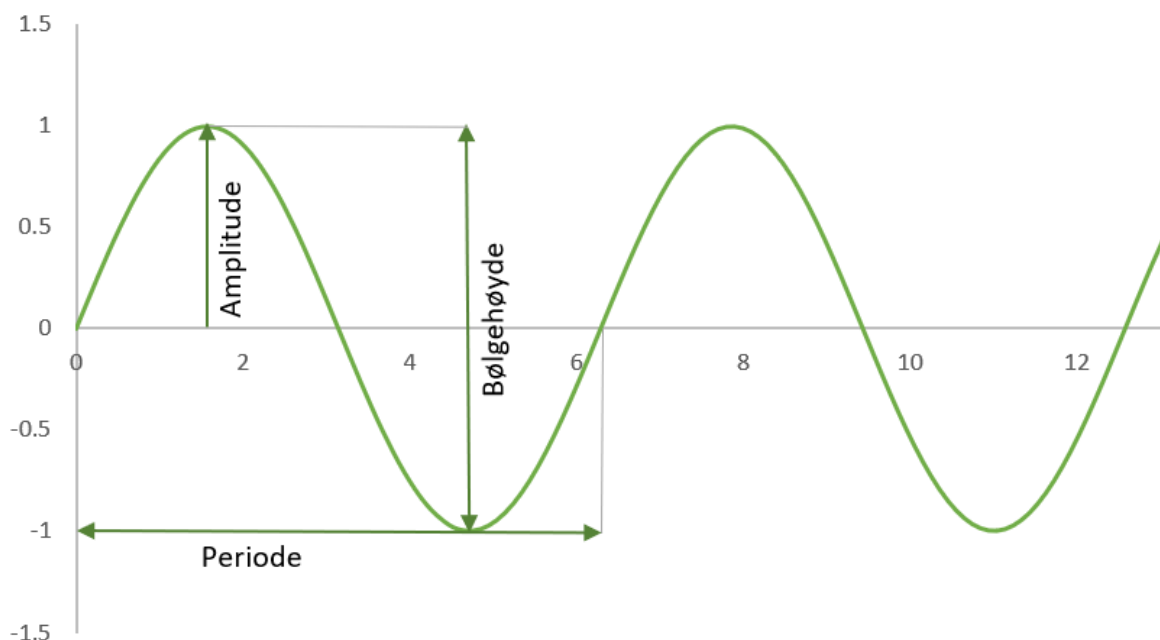
Statisk linjelast brukes for å kunne sammenlikne ulike valser med forskjellig bredde og vekt. NS 3458 (Standard Norge, 2004) definerer statisk linjelast som « *statisk tyngde av valsen mot bakken (trommel pluss den delen av tyngden av maskinen som overføres til trommelen), dividert med bredden av trommelen.*» Det er kun en smal stripe av valsetrommelen som er i kontakt med underlaget hver gang valsetrommelen treffer bakken. Trommelens vekt fordeles utover denne stripen og det fører til at statisk linjelast regnes i kg/cm. (Fladvad & Aksnes, 2014)

$$\text{Statisk linjelast} = \frac{\text{Vekt av valsetrommel [kg]}}{\text{Bredde av valsetrommel [cm]}} \quad 5.1$$

Om statisk vekt av trommelen økes, samtidig som de andre faktorene (amplitude, frekvens) forblir uendret vil det statiske og dynamiske trykket på underlaget øke proporsjonalt med vekten av valsen. Komprimeringstester har vist at dybdeeffekten til valsen er proporsjonal med tommevekten. Derfor er statisk linjevekt en viktig faktor for vibrerende valser. (økende vekt = økende dybde)

### 5.2.3 AMPLITUDE

Amplitude er et mål på hvor kraftig en svingning er. En valsetrommel med vibrasjon vil bevege seg som en bølge, med utslag oppover og nedover mens den beveger seg fremover. Amplitude defineres som avstanden fra likevektsstillingen til en av ytterstillingene. (Store norske leksikon, 2018) Ved å se på vibrasjonen som en sinusbølge vil amplituden tilsvare halvparten av bølgehøyden og måles ofte i millimeter. Amplituden tilsvarer dermed halve den vertikale bevegelsen valsetrommelen gjør fra topp til den slår ned mot massene, Figur 14 viser en sinusbølge og definisjonene av amplitude og bølgehøyde.



Figur 14: Viser amplituden til en sinusbølge (se bilag 6)

En økning i amplituden gir en økt komprimering og dybdevirkning i hele komprimeringsområde, og dette er spesielt tilfelle i veldig grove materialer som stein og grusmaterialer. Dybdevirkningen er

størst i overflaten og vil dempes nedover i underlaget som følge av motstand i steinmassene. Dybdevirkningen er avhengig av steintype som komprimeres og den statiske linjelasten til valsen. (Fladvad & Aksnes, 2014; Lars Forssblad, 1981)

#### 5.2.4 FREKVENNS

Frekvens kan sees på som et resultat av antall fullverdige runder vibrasjonsakselen gjør i sekundet, og beregnes som den inverse av perioden, se formel 5.2. Benevnningen til frekvens er Hz som betyr svingninger per sekund. Maksimal frekvens ligger mellom 25 og 50 Hz (1500 og 3000 svingninger/min). (Lars Forssblad, 1981) Frekvensen er et mål på hvor fort valsetrommelen beveger seg opp og ned, altså antall slag mot underlaget. Amplituden påvirker hvor stor kraft som overføres i hvert slag.

$$f = \frac{1}{T} \quad 5.2$$

$f$  frekvens

$T$  periode til en svingning, se Figur 14

Ved komprimering av større volumer av steinfylling i tykke lag anbefales en amplitude på 1.5 - 2.0 mm. Den tilhørende frekvensen ligger mellom 25 – 30 Hz (1500 til 1800 svingninger/min). En kombinasjon av stor amplitude og høy frekvens vil gi store trommelspenninger som kan føre til uregelmessige intervaller og en overkomprimering av materialene. (Lars Forssblad, 1981)

Et komprimert underlagt er tett og elastisk og kan oppføre seg som en fjær. Et system bestående av underlag og valse har en resonansfrekvens, normalt fra 13 – 27 Hz (800 til 1600 svingninger/min). Ved komprimering rundt resonansfrekvensen blir trommelamplituden forstørret og komprimeringseffekten øker. Resonansfrekvensen avhenger av materialene i underlaget og valsetype. Ved valsing rundt resonansfrekvensen vil vibrasjonsnivået øke i hele maskinen. Dette er ugunstig for kjørekraft og mekanisk pålitelighet. Valsing på frekvenser som er høyere enn resonans er svært vanlig for steinfylling og utnytter resonanseffekten til en viss grad, men på en mer stabil måte.

Den synkende komprimeringseffekten ved høye frekvenser forklares ved at trommelen, ved for store vibrasjonsintensiteter, forlater underlaget under en svingning, se 5.1.1. Tyngre slag som forlater underlaget kan føre til overkomprimering og dermed også en synkende densitet i underlaget.

#### 5.2.5 KJØREHASTIGHET

Kjørehastigheten til valsen er en viktig parameter i forhold til komprimeringseffekten. Energien som overføres til støttefyllingen for en konstant lagtykkelse, er proporsjonal med følgende formel:

$$\frac{\text{Antall overfarer}}{\text{Kjørehastighet}} \quad 5.3$$

Ut fra formel 5.3 skal antall overfarer dobles ved en dobling av kjørehastigheten, men det eksiterer likevel en optimal kjørehastighet som brukes for alle overfarer. For støttefyllingen er optimal kjørehastighet mellom 3 og 6 km/t som gir en optimal kapasitet i m<sup>3</sup>/t. En frekvens på 30 Hz og kjørehastighet mellom 3 og 6 km/t tilsvarer mellom 36 og 18 slag pr meter. En høyere hastighet gir lengre avstand mellom slagene fra valsetrommelen som påvirker komprimeringseffekten. Det er

derfor viktig å ha en jevn kjørehastighet for å oppnå en god komprimering. (Fladvad & Aksnes, 2014; Lars Forssblad, 1981)

### 5.3 MÅL PÅ KOMPRIMERING

(Stapledon et al., 2005) bruker en steinfyllingsmodul ( $E$ ) som avhenger av steintype, stryke, form, gradering, lagtykkelse, valsetype og overfarter. Denne modulen forteller hvordan fyllingsdammen oppfører seg i forhold til deformasjoner under bygging og fylling av magasinet. En høy modul betyr mindre setninger. Ifølge (Xu Zeping, 2011) vil en modul mellom 90 – 150 MPa minske setninger og oppsprekking. Beregningen av modulen gjøres utfra formel 5.4.

$$E_{rc} = \frac{\gamma * H * d_1}{\delta_s} \quad 5.4$$

$E_{rc}$	modulen under bygging [MPa]
$\gamma$	Egenvekt av fyllingen [ $\text{kN/m}^3$ ]
$H$	Den vertikale høyden fra setningen til topp dam
$d_1$	Den vertikale høyden fra setningen til bunn dam
$\delta_s$	Setningen beregnet fra et punkt i dammen

Det nevnes ulike punkter om modulen i (Stapledon et al., 2005), blant annet:

- Sterke steinmaterialer garanterer ikke en høy modul. Foz do Areia Dam ble bygd med sterke steinmaterialer men har en relativ lav modul (47MPa). Det skyldes en dårlig gradering av steinmaterialene brukt i støttefyllingen.
- Høyeste modul oppnås for grus fordi den runde formen hindrer knusing av materialene.
- Ytterligere komprimering og tynne lag kan gi en høy modul.



## 6 KONTINUERLIG KOMPRIMERING OG INTELLIGENT KOMPRIMERING

*Dette kapitlet tar for seg teknologien med kontinuerlig komprimering, responsmåleverdi og intelligent komprimering. Komprimeringskontroll blir også forklart nærmere, samt standard for kontinuerlig komprimering i andre land.*

### 6.1 RESPONSMÅLEVERDI

En vibrerende valsetrommel overfører krefter til det underlaget den komprimerer. Disse kreftene virker mellom valsetrommelen og materialene som komprimeres. Kraften fra trommelen virker som en trykkraft ned i underlaget. Materialene tar til seg noe av denne kraften ved å pakke seg sammen, men resten reflekteres (fjæres) tilbake til valsen. Etterhvert som materialene blir pakket mer sammen blir de også mindre mottagelige for kreftene som påføres, og kraften som reflekteres tilbake øker. Den kraften som reflekteres tilbake kalles for responsverdi og den kan måles på forskjellige måter utfra type vals og utstyr.

Det brukes et samlebegrep for responsverdi, nemlig «ICMV» eller «intelligent compaction measurement value». En responsverdi beregnes basert på målingene fra et akselerometer<sup>4</sup> som er plassert på valsen eller målinger av mekanisk driveffekt (MDP). Responsverdi beregnet ved hjelp av et akselerometer kan baseres på harmoniske frekvenser eller stivhet/elastisitetsmodul.

ICMV avhenger av valseparametere som trommeldiameter, statisk linjelast, frekvens, amplitude og hastighet, se kapittel 5.2. Responsmålinger kan gi valseføreren tilstrekkelig informasjon underveis for å unngå under og overkomprimering av underlaget. Nedenfor vises de ulike ICMV eller responsverdiene, i Tabell 4. (Nazzal, 2014)

Responsmåleverdi	Enhet	Leverandør
Mekanisk driveffekt	Dimensjonsløs	Caterpillar
Stivhet ( $K_b$ )	MN/m	Ammann
Vibrasjonsmodul ( $E_{vib}$ )	MN/m <sup>2</sup>	Bomag
Compaction control value (CCV)	Dimensjonsløs	Sakai
Compaction meter value (CMV)	Dimensjonsløs	Caterpillar, Dynapac, Volvo

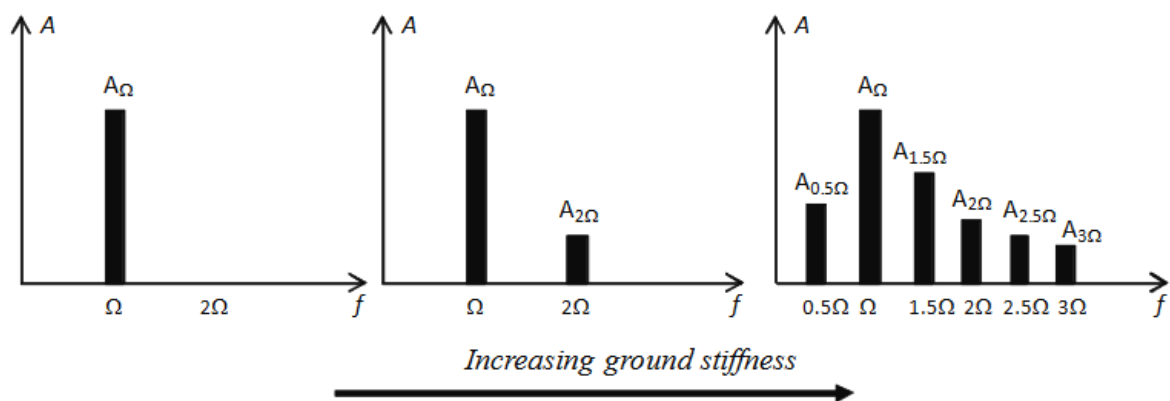
Tabell 4: Responsverdier (Nazzal, 2014)

- *Mekanisk driveffekt (MDP) fra Caterpillar* relaterer mekanisk ytelse av valsen under komprimering til egenskapene i de komprimerte materialene. En positiv MDP viser et materiale som er mindre kompakt enn et referansemateriale, mens en negativ verdi viser et materiale som er mer kompakt enn referanseunderlaget. (Chang et al., 2011)
- *Amman bruker stivhet  $K_b$*  som responsverdi.  $K_b$  representerer en kvasi-statisk stivhets verdi og er uavhengig av frekvensen mellom 25 til 40 Hz. For videre lesning refereres det til (Anderegg & Kaufmann, 2004a)
- *Vibrasjonsmodulen  $E_{vib}$  fra Bomag* baserer seg på stivheten  $K_b$ .  $E_{vib}$  kan også relateres direkte til stivheten man får fra platebelastningstesten, se kapittel 6.2.4. I tillegg kan  $E_{vib}$  defineres i MPa under komprimeringsprosessen, som gjør det enklere å sammenlikne med andre tradisjonelle kontrollmetoder for komprimering. Vibrasjonsmodulen er også relativt uavhengig av amplitude, frekvens og hastigheten til valsen. (Meehan & Tehrani, 2009)

<sup>4</sup> Et akselerometer måler akselerasjon og krefter induisert av tyngdekraften. Kan brukes for å måle helning, vibrasjon og støt.

Responsverdiene CMV og CCV beregnes utfra en analyse av trommelakselerasjonen. Responsverdiene baseres på forholdet mellom et antall valgte harmoniske frekvenser over et tidsintervall.

- *Verdien CCV (Compaction control value) fra Sakai* er en relativ stivhetsparameter som bestemmes utfra akselerometerdata basert på harmoniske svingninger. Amplituden til disse svingningene brukes for å bestemme verdien. Konseptet bak CCV er at når materialstivheten øker så vil trommelen gå inn i en svingene bevegelse som resulterer i vibrasjoner i ulike frekvenser. (Chang et al., 2011; Mooney, 2010) Figur 15 viser hvordan de ulike amplitudene forholder seg til frekvensen.



Figur 15: Endringer i amplitude ved økende stivhet i materialet (White & Vennapusa, 2010)

### 6.1.1 COMPACTION METER VALUE (CMV)

*CMV står for Compaction Meter Value* og er utviklet av svenske Geodynamik. CMV blir brukt under valseforsøkene i denne oppgaven og vil i dette kapittelet forklares grundigere.

For å måle CMV benyttes et akselerometer som måler hvor raskt trommelen beveger seg vertikalt og sammenlikner den målte verdien med en sinusbølge. Komprimering av massene gir en forstyrrelse på bølgen, i forhold til sinusbølgen, og vil gi utslag i form av CMV. Stivere masser gir en økning i CMV. (Lars Forssblad, 1981)

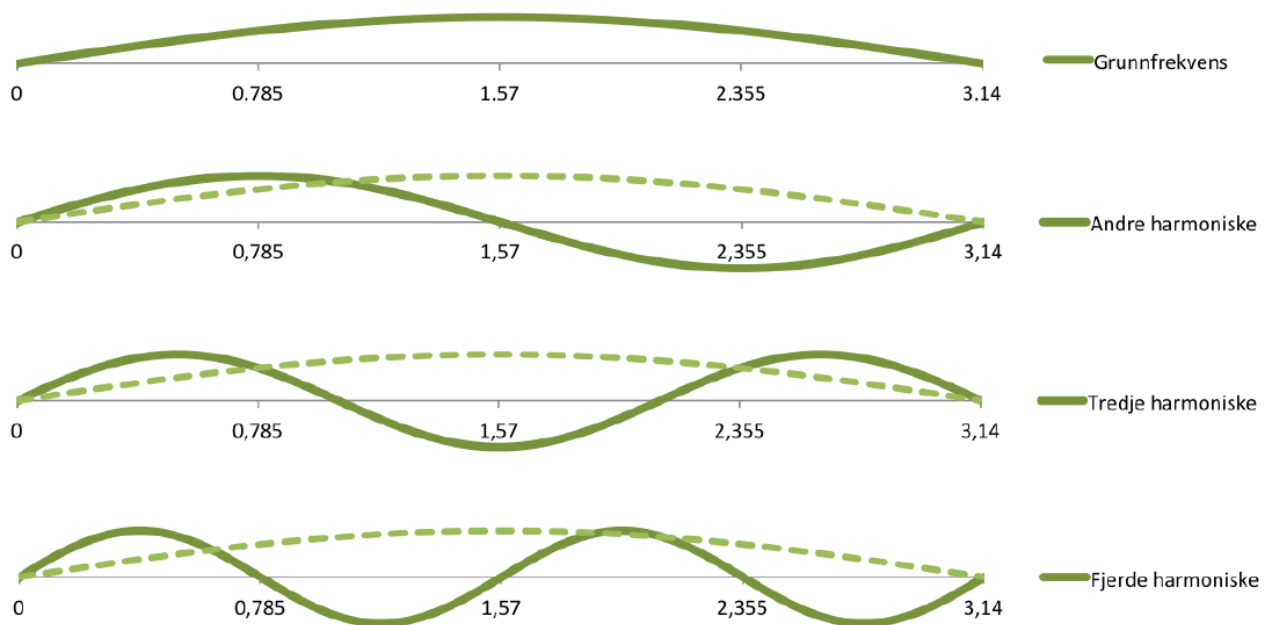
Definisjonen av CMV kommer fra feltstudier utført av Geodynamik og Dynapac der et akselerometer ble brukt under komprimering av granulære masser. Forsøket viser at forholdet mellom akselerasjonsamplituden til den første harmoniske svingningen og akselerasjonsamplituden til grunnfrekvensen er en indikator på stivheten til underlaget. (White & Vennapusa, 2010). CMV beregnes som:

$$CMV = C_1 * \frac{A_{2\Omega}}{A_{\Omega}} \quad 6.1$$

- $A_{\Omega}$  Den vertikale akselerasjonsamplituden til grunnfrekvensen
- $A_{2\Omega}$  Den andre harmoniske akselerasjonsamplituden til trommelen
- $C_1$  En kalibreringskonstant, ofte satt til 300

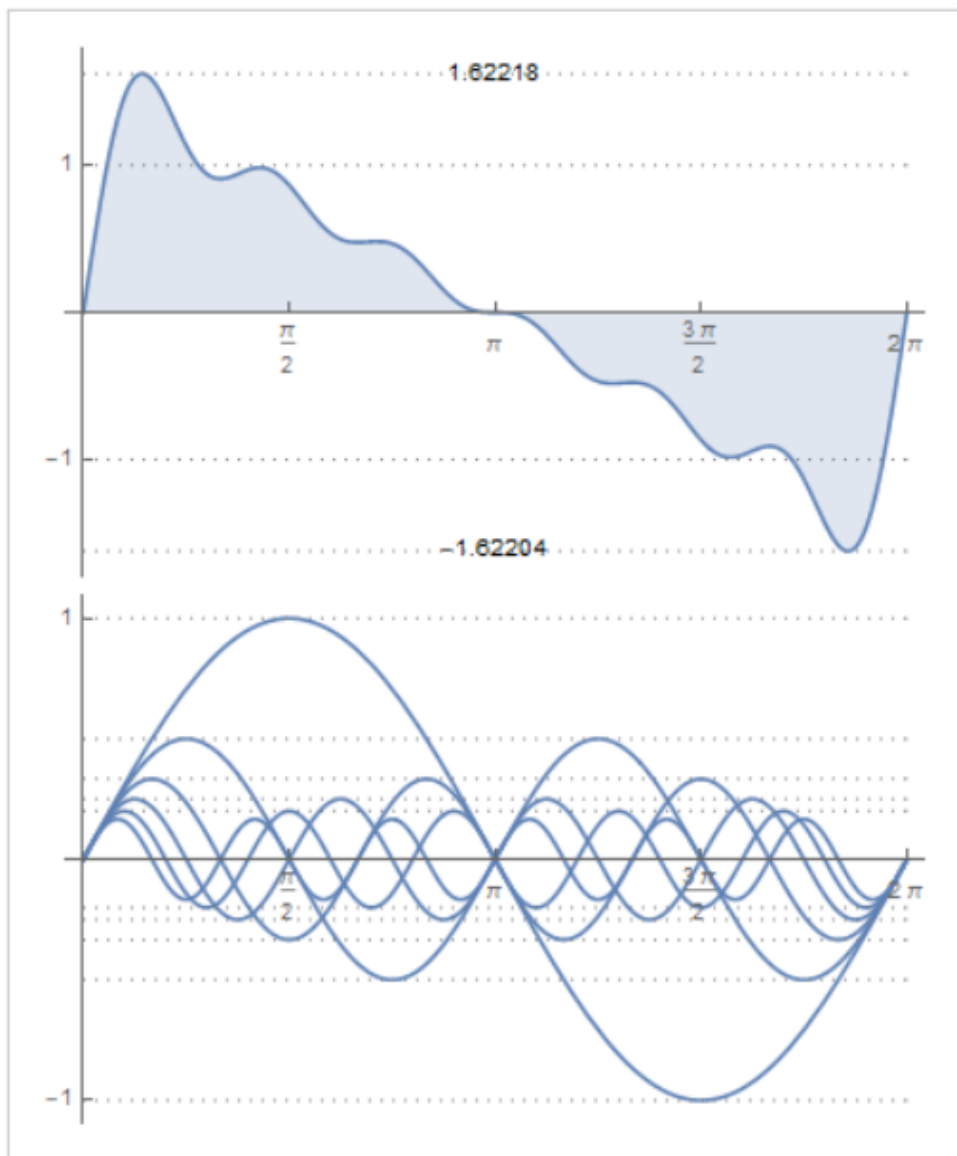
En harmonisk svingning er en svingning med en frekvens som er en heltallmultiplikasjon av grunnfrekvensen. Første harmoniske eller grunnsvingning har lavest frekvens, altså 1 ganger multiplisert med grunnfrekvensen. Høyere harmoniske svingninger er 2, 3 eller 4 ganger grunnfrekvensen. (Store norskse leksikon, 2009) (Lars Forssblad, 1981) En svingning er ikke harmonisk i seg selv, men ordet harmonisk beskriver forholdet mellom svingningene. Grunnfrekvensen kan være hva som helst, og trenger ikke ha et forhold til pi eller være en sinuskurve eller liknende.

Figur 16 viser hvordan en harmonisk svingning er svingninger med et harmoniske forhold mellom seg, her heltallsmultiplikasjon. Ved å multiplisere grunnfrekvensen med 2 får man 2 svingninger av grunnfrekvensen, men begge svingningene har samme amplitude som grunnfrekvensen. Det betyr at en andre harmonisk svingning har dobbel frekvens i forhold til grunnfrekvensen.



Figur 16: Harmoniske svingninger (Fladvad, 2012a)

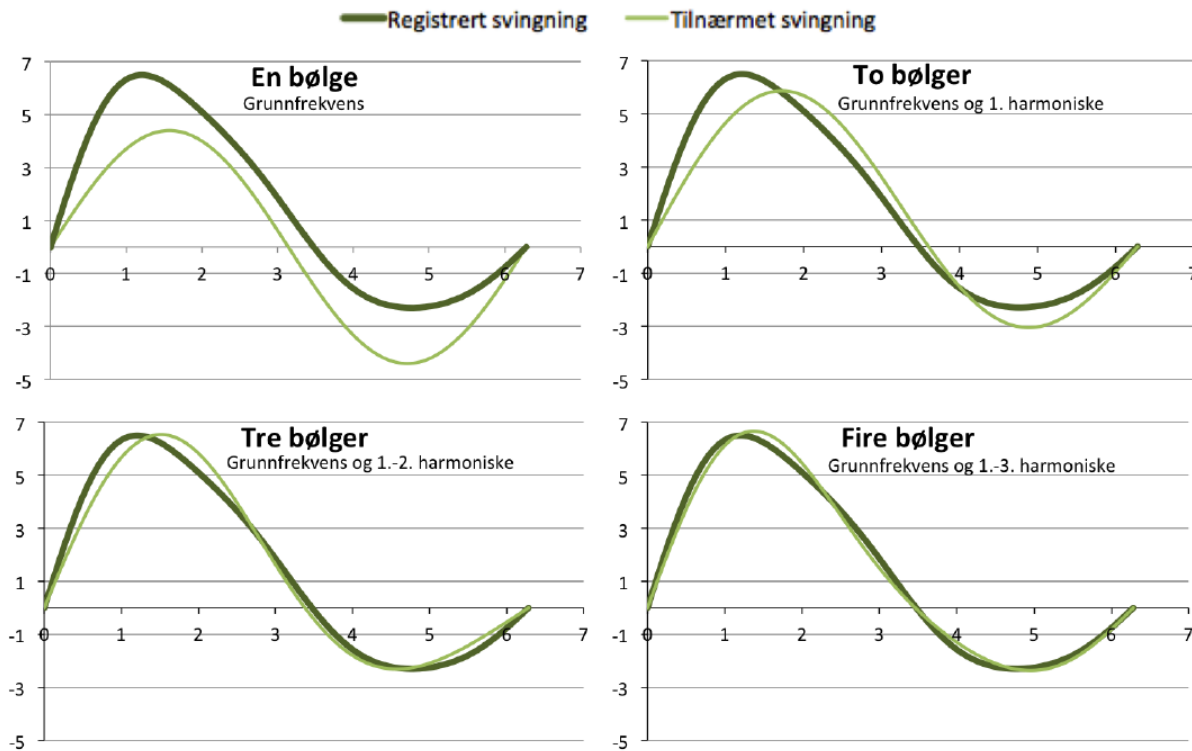
Responsmålingene fra akselerometeret bearbejdes ved bruk av Fourier transformasjoner som kan reprodusere en forvrengt svingning ved å summere flere harmoniske svingninger.



Figur 17: Resultat av Fourier-transformasjon (Wolfram, 2011)

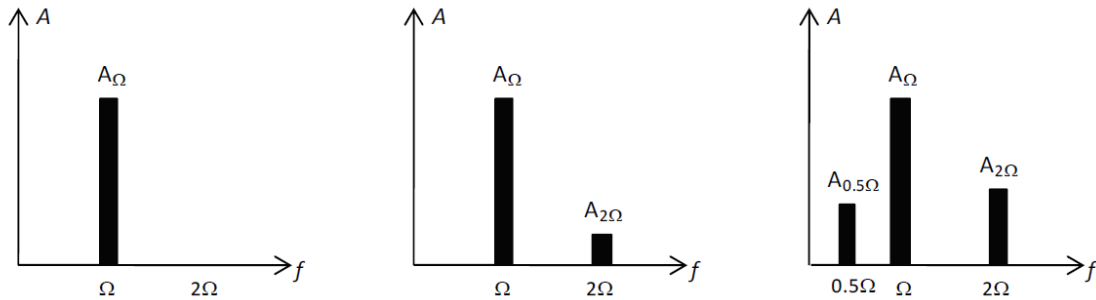
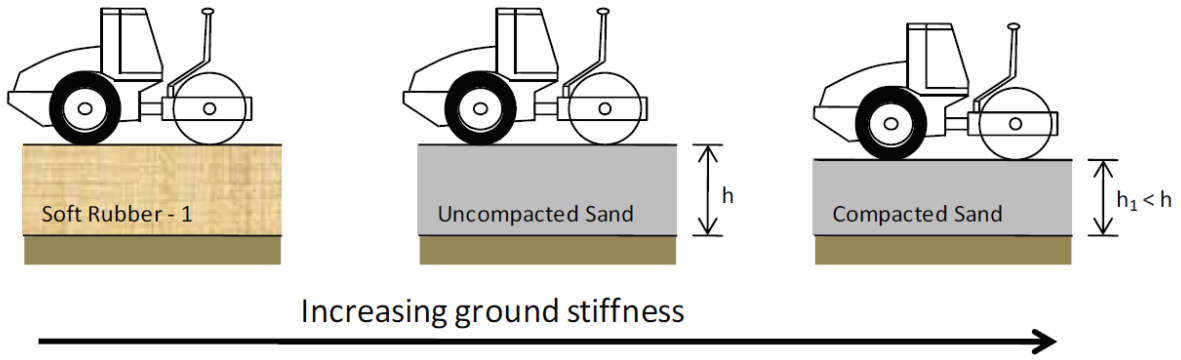
På Figur 17 kan man tenke seg at den øverste grafen representerer de forvrengte svingningen som måles fra akselerometret under komprimeringen. Ved å bruke Fourier transformasjoner kan man produsere den samme forvrengte svingningen ved å summere flere harmoniske svingninger, som vist i nedre del av Figur 17. I dette tilfellet er det summert seks ulike svingninger, men man kan få gode tilnærminger med færre harmoniske svingninger.

Figur 18 viser hvordan bruk av flere harmoniske svingninger gir en bedre representasjon av grunnsvingningen. Kurven med mørk grønnfarge viser til grunnsvingningen, som ved måling av CMV vil være den forvrengte bølgen som oppstår ved måling av vibrasjonene mot underlaget. Kurvene med lysere grønnfarge viser hvordan tilnærmingen blir bedre ved å legge til flere harmoniske svingninger. Samtidig som forholdet mellom svingningene blir mindre jo flere harmoniske svingninger som brukes, kan to svingninger være nøyaktig nok til å vise forstyrrelsen fra grunnsvingningen. CMV beregnes, se formel 6.1, ved bruk av grunnfrekvensen og den andre harmoniske, nettopp av den grunn av dette er nøyaktig nok.



Figur 18: Bedre resultat med flere harmoniske svingninger (Fladvad, 2012a)

For å forstå hvordan vibrasjonene mellom vals – underlag oppstår ble formelen for CMV utprøvd. Ifølge (Meehan & Tehrani, 2009) ble det observert at om valsen kjører over et mykt underlag, som gummi, oppsto det ingen svingning som tilsvarer den andre harmoniske, og dermed ble CMV målt til null, se første bilde på Figur 19. Når valsen så kjørte over et stivere underlag, steinmaterialer ved start av komprimering, var amplituden til den andre harmoniske lav og derav en lav CMV. Ved økende komprimering ble amplituden større og den tilsvarende CMV verdien økte, se bilde to og tre Figur 19.



Figur 19: Økende amplitude ved komprimering med CMV (Chang et al., 2011)

Forholdet mellom den harmoniske amplituden og amplituden til grunnfrekvensen er et mål på ikke-lineariteten til forholdet mellom vals og steinfylling. Hadde forholdet vært lineært, så ville en vals som kjørte med frekvens lik 30 Hz produsert en 30 Hz trommel-akselerasjon og forholdet  $A_{2\Omega}/A_{\Omega}$  ville vært lik 0. Siden forholdet mellom trommel og steinfylling er svært ikke-lineært vil responsen fra trommelen være forstyrret og ikke lik en sinusbølge, se Figur 17. Fordi det oppstår et delvis tap av kontakt mellom trommel og underlag vil kontaktflaten variere ikke-lineært gjennom hver lastesyklus. Dermed vil forholdet  $A_{2\Omega}/A_{\Omega}$  være et mål på forvrengningsgraden eller ikke-lineariteten til trommel-underlag forbindelsen ettersom stivheten øker. (J. Briaud, Saez & Geosynthetics, 2015)

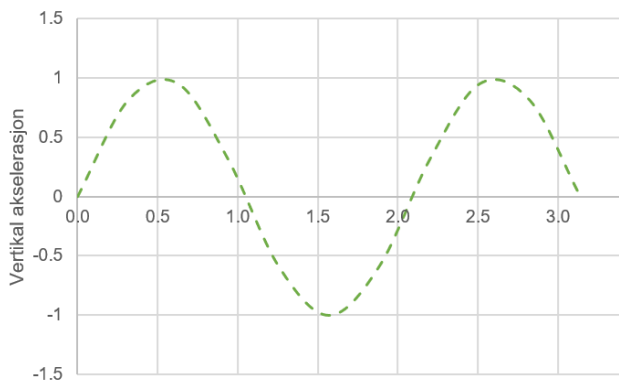
For å få korrekte resultater må man se CMV målingen sammen med *Resonant Meter Value (RMV)* som beskriver bevegelsene til trommelen. RMV defineres som forholdet mellom den subharmoniske akselerasjonsamplituden og den vertikale akselerasjonsamplituden til grunnfrekvensen. Den subharmoniske amplituden kommer fra hoppene til valse der trommelen skipper annenhver syklus. (Dietmar Adam & Pistor, 2016; White & Vennapusa, 2010)

$$RMV = C_1 * \frac{A_{0.5\Omega}}{A_{\Omega}} \tag{6.2}$$

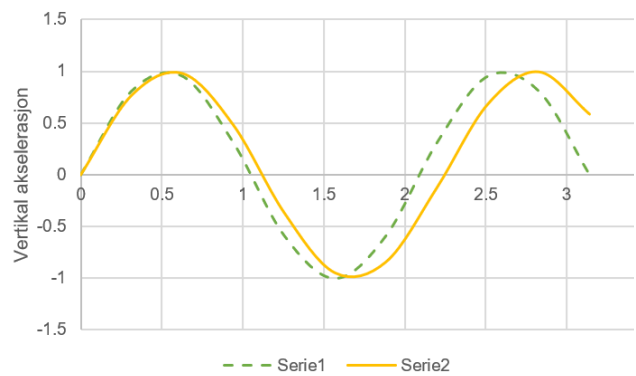
- $A_{\Omega}$  Den vertikale akselerasjonsamplituden til grunnfrekvensen
- $A_{0.5\Omega}$  Den subharmoniske akselerasjonsamplituden til trommelen. Kommer fra hoppene ved at trommelen skipper annenhver syklus
- $C_1$  En kalibreringskonstant, ofte satt til 300

Teoretisk vil  $RMV = 0$  bety at trommelen er i kontinuerlig kontakt med underlaget. Når  $RMV > 0$  vil trommelen gjøre dobbelt hopp og nærme seg overgangen til svingene og kaotisk kjøring som beskrevet i kapittel 5.1.3 (Buddhima Indraratna, 2015) Siste del av Figur 19 viser at ved et stivere underlag måles også den subharmoniske akselerasjonsamplituden. Siden det ikke oppstår noen form for dobbelt hopp eller kaotisk kjøring ved lav amplitude og lav CMV, som på de to første delene av figuren, vil ikke den subharmoniske svingningen måles her.

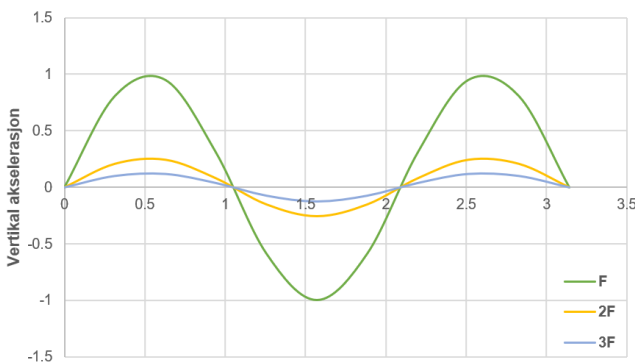
Figurene nedenfor, Figur 20, Figur 21, Figur 22 og Figur 23, viser fremgangsmåten for å beregne CMV, ved bruk av formel 6.1. Figur 20 viser en teoretisk akselerasjon som kan beregnes utfra frekvens og amplitude fra valsen. Figur 21 fremstiller den faktiske akselerasjonen (gul) som avviker fra den teoretiske (grønn stiplet). Figur 22 viser flere harmoniske svingninger som ved hjelp av Fourier transformasjon kan summeres til den faktiske akselerasjonen. Figur 23 viser amplituden til de ulike frekvensene, og utfra disse kan man beregne CMV. Disse utregningene gjøres ikke manuelt, men en datamaskin på valsen utfører disse beregningene. (Fladvad, 2012a)



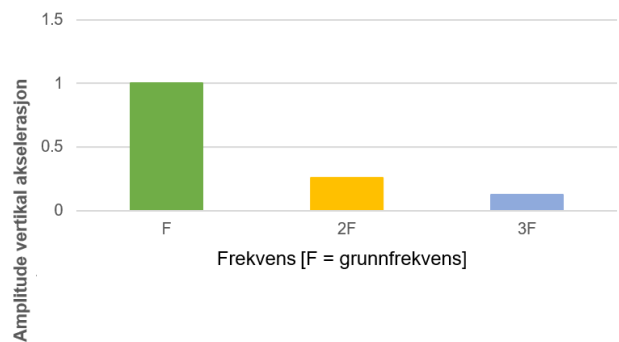
Figur 20: Teoretisk akselerasjon som varierer med tid



Figur 21: Faktiske akselerasjon



Figur 22: Flere bølger som kan summeres via en Fourier transformasjon



Figur 23: Ulike harmoniske frekvenser

### Beregningseksempel

---

I formelen for CMV brukes grunnfrekvensen og den andre harmoniske svingningen, tilsvarende F og 2F. Figur 22 viser hvordan akselerasjonen fordeler seg, mens Figur 23 viser amplituden til de aktuelle frekvensene. Ved å lese av på Figur 23 finner man de tilhørende amplitudene, henholdsvis  $A_{2\Omega} = 0.26$  og  $A_{\Omega} = 1$  som gir følgende beregning:

$$CMV = C_1 * \frac{A_{2\Omega}}{A_{\Omega}} \qquad 300 * \frac{0.26}{1} = 78$$

### 6.2 KOMPRIMERINGSKONTROLL

Komprimeringen må kontrolleres for å være sikker på at den er tilstrekkelig, og for å oppdage svake områder i fyllingen. For dårlig komprimering eller slurving med kontrollene kan føre til store setningsproblemer og mye vedlikehold i fremtiden. Derfor er det lønnsomt og viktig å utføre kontroller.

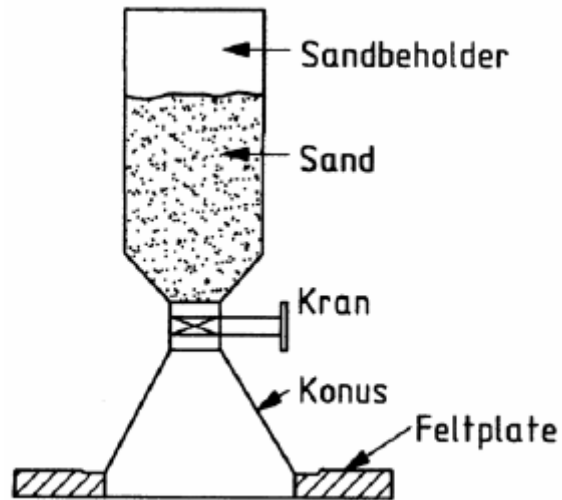
Det kan benyttes flere metoder til kontroll som enten måler densitet eller stivheten til det komprimerte laget. Konvensjonelle testmetoder er bruk av sandvolumeter og vannvolumeter for å måle densitet og platebelastning og nivellering for å kontrollere stivhet. Nedenfor vil disse metodene bli enkelt forklart før en nyere metode for komprimeringskontroll blir presentert. (Brandl & Adam, 2014)

For å forklare disse metodene er det valgt å utnytte håndbøkene til Statens Vegvesen og NS 3458 da det ikke finnes tilsvarende håndbøker for dambygging. (Vegdirektoratet, 1997, 2018) (Standard Norge, 2004) Metodene er likevel de samme som brukes for kontrollering av komprimeringsarbeidet ved bygging av fyllingsdammer.



### 6.2.1 SANDVOLUMETER

Sandvolumeter: Det graves ut et hull i det komprimerte laget. Volumet av hullet bestemmes ved å fylle hullet med en sandtype der densiteten er kjent. Materialene som graves ut av hullet skal tørkes. Utfra disse målingene kan man beregne prøvehullets volum, tørr masse fra prøvehullet og tørr densitet for massen i prøvehullet. Denne målingen kan brukes på silt-, sand- og grusmaterialer. Figur 24 viser en skisse av nødvendig utstyr.



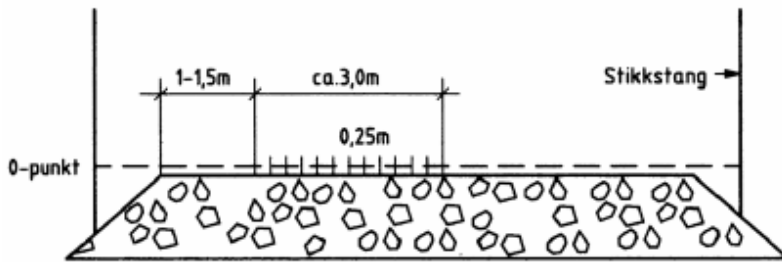
Figur 24: Skisse av sandvolumeter (Vegdirektoratet, 1997)

### 6.2.2 VANNVOLUMETER

Metoden er i prinsippet lik som ved bruk av et sandvolumeter. Det graves et hull i det komprimerte laget og materialene tas ut og tørkes. I hullet plasseres en gummiballong som fylles med vann. Utfra dette kan man beregne prøvehullets volum, tørr masse fra prøvehullet og tørr densitet for massen i prøvehullet.

### 6.2.3 NIVELLERING

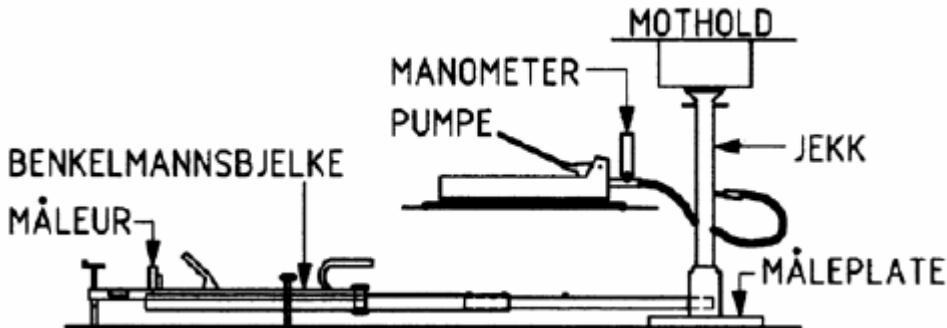
Nivellering kan brukes ved alle typer materialer. Prinsippet går ut på å måle høyden både før og etter komprimering. Det må utføres målinger for hver passering med komprimeringsutstyret. Deretter beregner man setningene eller forskjeller i høyder mellom hver passering. Statens vegvesen sier i Håndbok 15 (Vegdirektoratet, 1997) at laget er tilfredsstillende komprimert når siste passering gir en deformasjon på mindre enn 10% av totaldeformasjonen. (Lars Forssblad, 1981) nevner at nivellering brukes der densitetstester er vanskelig og dyrt. Figur 25 viser en eksempelskisse på oppsett av utstyret.



Figur 25: Prinsippskisse for nivellering (Vegdirektoratet, 1997)

#### 6.2.4 PLATEBELASTNING

Platebelastning kan brukes for kontroll av komprimering på utlagte steinmasser. Platen som brukes må ha dobbelt så stor diameter som største steinstørrelse. I Håndbok 15 nevnes det at testen ikke kan utføres for materialer på mer enn 150 mm i diameter, men dette kan avkreftes ifølge (Dev & S.K.Babbar, 2007) som brukte en plate med diameter på 1000 mm. Prinsippet går ut på at det plasseres en stiv og sirkulær plate oppå det komprimerte laget. Platen presses ned i underlaget, og det tas målinger av hvor mye laget deformeres. Utfra diameter på platen og belastningen kan man beregne elastisitetsmodulen til materialet under platen. Ved å gjenta belastningen og utregningen av elastisitetsmodulen kan man tilslutt beregne komprimeringen. Figur 26 viser en prinsippskisse av platebelastningsmetoden beskrevet i Håndbok 015 fra Statens vegvesen.



Figur 26: Platebelastning (Vegdirektoratet, 1997)

#### 6.2.5 ANDRE KONTROLLMETODER

(Holtz et al., 2011) nevner en kontrollmetode for å måle densitet av en komprimert fylling. Metoden kan oppsummeres punktvis:

- Grav et hull i den komprimerte fyllingen og bestem vekt av den utgravde massen
- Bestem vanninnholdet i prøven ved testing
- Mål volumet av det utgravde materialet
- Beregn total densitet
- Beregn tørr densitet
- Sammenlikn total og tørr densitet og beregn relativ komprimering ved formel

$$R. C = \frac{\rho_{d,tørr}}{\rho_{d,total}}$$

6.3

(Golzé, 1977) presenterer en ytterligere metode som er brukt ved bygging av Cougar Dam, Oroville Dam og Dan Pedro Dam. Metoden bestemmer relativ densitet utfra formel 6.3 og kan beskrives punktvis:

- Overflaten der testen skal utføres utjevnes så mye som mulig
- Det plasseres en stålring med størrelser på 1.2 m – 1.8 m i diameter og en høyde på 16 cm som sikres med sandposer.
- Det plasseres et plastikk-lag på innsiden av ringen som dekker kantene og underlaget inni ringen
- Ringen fylles med et kjent volum av vann
- Plastikk og vann fjernes og steinmaterialene blir grav ut til en kjent dybde
- Deretter plasseres et nytt plastikk-lag oppi ringen og det utgravde hullet, for så å fylles med vann
- Forskjellen mellom de to volumene tilsvarer det utgravde volumet
- De utgravde massene plasseres i en konteiner og volumet bestemmes. Volumet tilsvarer minimum densitet.
- Materialene tas med til et laboratoriet, der massen komprimeres på nytt og man beregner minimum, maksimal laboratedensitet og deretter relativ densitet
- Massen ble så siktet for å finne korngraderingen

Slike manuelle kontrollmetoder er en tidkrevende og kostbar prosess og gjøres relativt sjeldent ved dambygging. Andre faktorer som kompliserer metodene beskrevet overfor er ulik måledybde for de forskjellige testene, få målepunkt gjennom fyllingen som ikke gir et komplett bilde av situasjonen, og forsinkelser i byggetiden som følge av tiden brukt på ulike kontroller og stans i byggearbeidet for å unngå vibrasjoner/rystelser i grunnen som påvirker testresultatet. (Brandl & Adam, 2014)

NS 3458 (Standard Norge, 2004) beskriver ulike måter som kan brukes til kontroll av komprimering. Kontrollmetodene rangeres etter komprimeringsklasser der sprengstein går under normal og lett komprimering. Kontroll i disse klassene gjøres ved å kontrollere angitt lagtykkelse og antall plasseringer. Eksempelvis kan det være visuell kontroll eller nivellering.

For klassen spesiell komprimering skal krav til kontroll angis særskilt. Klassen kan brukes der en vil stille egne krav til utførelse og/eller kontroll utover de andre to klassene. En av måle metodene i denne klassen baseres på responsmålinger:

*«Direkte responsmåling på materialet (laget, lagpakken) under utførelse av komprimering, for eksempel ved hjelp av måleinstrument montert på komprimeringsutstyret, for å avgjøre når materialet er tilstrekkelig komprimert.» (Standard Norge, 2004)*

#### 6.2.6 KOMPRIMERINGSPROGRAM

For å kontrollere at komprimeringen blir gjort riktig kan man utarbeide komprimeringsplaner. Ifølge Damsikkerhetsforskriften (Olje og energi departementet, 2013) skal det foreligge en plan for gjennomføring av det tekniske kontrollarbeidet i byggeperioden, se kapittel 3.3. Det er likevel ikke satt krav til at det må utføres valseforsøk som en del av kontrollen, men det kan i enkelte tilfeller være både nødvendig og kostnadsbesparende.

Slike tester gjøres for å kunne bestemme lagtykkelse, riktig komprimeringsutstyr, antall overfarer, hastighet, vibrasjon, maksimal steinstørrelse, mengde forvitring eller segregering som opptrer under valsing og fysiske forhold som densitet og korngraderingskurve. (U.S. Army Corps of Engineers, 1995) (Fladvad & Aksnes, 2014)

Om det skal utføres valseforsøk vil komprimeringsplanen også inneholde et valseprogram som detaljert beskriver hvordan valseforsøkene skal gjennomføres, med planlagt antall overfarer som fører til at komprimeringskravene blir oppfylt. Målingene i valseprogrammet kan baseres på densitet, platebelastning, responsmålinger eller nivellement, avhengig av steinstørrelsene som skal komprimeres. Felles for alle disse målemetodene er at man trenger like forhold for at resultatene skal være sammenliknbare. Ved ulike materialtyper eller størrelser må det bygges flere teststriper.

Et valseforsøk kan ifølge (Lars Forssblad, 1981) utføres etter enkelte punkter. Man må likevel ta høyde for at hvert anleggsområde er unikt så det må gjøres tilpasningen utfra massetype og utstyr. Punktene som beskriver valseforsøket er:

- Laget som skal komprimeres under testen bør legges ut over et komprimert lag av samme materiale. I tillegg bør densiteten av det underliggende laget være tilsvarende den densiteten man ønsket at laget skal ha
- Testområdet skal komprimeres med minimum tre kjørefiler i bredden. Overlapp mellom filene bør være rundt 10 % av valsebredden. Alle tre filene skal komprimeres med et likt antall overfarer og punktmålinger, henholdsvis densitetsmålinger skal gjøres i den midtre filen. Utenfor det komprimerte område bør det være en skulder, med minimum en valsebreddes lengde for å unngå sideveis forskyvning av materialet
- Valsehastigheten skal bestemmes før testen og må sjekkes underveis. En tilfredsstillende valsehastighet ligger på rundt 4 km/t for en vibrerende valse på et lag av jord eller steinfylling. Vanskeligheten med å nå densitet eller stivhet ved punktmålingen kan føre til flere tester med lavere hastighet.
- Densitetsmåling bør utføres etter 4, 6 og 8 passeringer av valsen. Dette er for å unngå at densitetsmålingene skal bli forstyrret. I fine materialer vil man gjerne at materialene skal konsolidere før det tas ny test og i leirematerialer kan luft presses ut under testene, slik at ved å flere passeringer mellom testene får man et mer korrekt resultat som ikke er påvirket av de forrige målingene.
- For noen typer av jord er det svært viktig at fuktinnholdet er nær det optimale (+/- 2%) når valseforsøket utføres
- Den valgte lagtykkelsen bestemmes utfra utstyr og type material som beskrevet i kapittel 4.2. Det kan være lurt å prøve ut ulike lagtykkelser.
- I noen tilfeller kan det være verdifullt å variere lagtykkelsen og utføre testene på utvalgte seksjoner av området. Utfra resultatene kan maksimal lagtykkelse bestemmes.

(Breitenbach, 1993) forklarer hvordan et valseforsøk skal utføres med tanke på plassering og størrelse. Det skal velges et område som er plant, tørt og har fast grunn utenfor det område der dammen skal bygges. Områdegrensene bestemmes vanligvis av størrelsen på valseutstyret. Minimal bredde av testområde settes til tre ganger valsebredden pluss tre ganger høyden på det siste laget over grunnivået, se formel 6.4 **Feil! Fant ikke referanseilden.**

$$\text{Bredde av testområde} = (W * 3) + (L * T * 3) \quad 6.4$$

*W*      bredde av valsetrommel  
*L*      antall lag som skal plasseres  
*T*      planlagt lagtykkelse

#### *Valseforsøk med platebelastning*

En teststripe skal komprimeres i minst tre deler med et ulikt antall overfarer. På hver stripe tas det platebelastningsmålinger, og man finner ut hvor mange overfarer man trenger for å oppfylle kravet til stivhet. Det brukes stedfestingsutstyr for å dokumentere at hele området er dekket med riktig

antall overfarter. En begrensning for platebelastningsmetoden er at den egner seg dårlig for materialer større enn 150mm med hensyn på den store motvekten.(Fladvad & Aksnes, 2014)

#### *Valseforsøk med nivellering*

Nivelleringsmålingene må gjøres kontinuerlig under komprimeringsarbeidet. Det skal gjøres minst 5 tverrprofilmålinger med 10 målepunkter i hvert profil både før og etter hver overfart.

Komprimeringsarbeidet er tilfredsstillende når setning etter siste overfart utgjør mindre enn 10% av den totale setningen fra komprimeringen. Antall overfarter beregnes utfra et gjennomsnitt av de fem tverrprofilene.

Nivellering kan brukes for grove og fine steinmaterialer, men er tids - og ressurskrevende siden det må gjøres så mange målinger mellom hver overfart.

#### *Valseforsøk med densitetsmålinger*

For å kunne bruke densitetsmålinger må man først utføre laboratorietester til å finne maksimal tørr densitet for materialene. For materialer mindre enn 32 mm benyttes modifisert Proctor. For støttefyllinger er materialene alltid større enn 32 mm og andre metoder må benyttes. I kapittel 4.2 er relativ densitet beskrevet og dette kan være en annen metode å måle densiteten på. Metodene presentert i overstående kapittel 6.2.5 kan også benyttes. Man finner antall overfarter når man måler tilfredsstillende densitet. (Fladvad, 2012b)

#### *Valseforsøk med responsmålinger*

Standarden (Standard Norge, 2004) nevner bruk av responsmålinger som en metode for å kontrollere kravene og responsmålingene kan måles ved for eksempel måleutstyr som er montert på valsen. Det viser at denne metoden å kontrollere komprimering i en støttefylling på en godkjent og man referer til standarden for å forsvare denne metoden. Det gjør det muligens lettere å implementere denne type kontrollmetode i komprimeringsarbeidet, om den viser seg å være mer effektiv en dages metoder.

Ved et valseprogram med responsverdier benyttes vanligvis to strategier til kontroll av komprimering såkalt kalibrering og stikkprøver.

#### **STIKKPRØVER**

Stikkprøveprinsippet går ut på at man utfører et valseforsøk over et bestemt område som evalueres. Etter komprimering bestemmes de svakeste områdene innenfor testflaten utfra ICMV-utskriften og det blir gjort stikkprøver av disse områdene. Dersom stikkprøvene på de svake områdene møter kravene som stilles så vil hele område bli godkjent som godt nok komprimert.

En annen måte å utnytte stikkprøveprinsippet på er ved prosentvis endring i responsverdiene. Ettersom komprimeringen fortsetter så vil effekten av overfartene synke mer og mer. Ved å bruke samme metode som for nivellering kan man undersøke hvor mye responsverdien endres etter hver overfart, og gå ut ifra at det er tilstrekkelig komprimert når måleverdiene endrer seg med mindre enn 10% for hver overfart. Grunnlaget bak en slik grenseverdi er at det er unødvendig bruk av ressurser å komprimere mer når den prosentvise endringen er såpass liten. For en tilstrekkelig kontroll mellom de ulike overfartene trenger man en nøyaktig GPS for å være sikker på at det er verdier fra samme punkt som brukes i sammenlikningen. Også ved denne metoden kan man undersøke de svakeste punktene innenfor komprimeringsflaten og kontrollere at de tilfredsstillende kravene til de tradisjonelle metodene.

### KALIBRERING

Den andre og mer omfattende metoden med kalibrering kan deles i tre punkt:

- (1) kalibrering av responsverdiene mot tradisjonelle punktmålinger
- (2) bestemme en målverdi for ICMV som tilfredsstillende punktmålingene
- (3) utføre valseforsøk som sammenlikner ICMV for det gjeldende område med måleverdien

Dette gjennomføres ved at man bestemmer et representativt areal som komprimeres til kravene er godkjent. Deretter utføres punktmålinger som for eksempel platebelastning eller densitetsmålinger. Det er viktig at man treffer på riktig komprimeringsnivå så det ikke må utføres flere tidkrevende stikkprøver underveis. Utfra resultatene fra målingene kan man sette krav til hvilken måleverdi man skal oppnå på et tilsvarende område. Det må kalibreres for hvert lag i fyllingen og for hver materialtype som brukes. Denne metoden er mer tidkrevende, spesielt ved varierende masseforhold og ved små anlegg der flatene med ulike materialer blir veldig små. Det vil ta lengre tid å kalibrere alle verdiene riktig enn selve komprimeringsarbeidet slik at det brukes unødvendig mange arbeidstimer og dermed også økte kostnader. (Mooney, 2010; R. V. Rinehart et al., 2012)

### 6.3 INTELLIGENT KOMPRIMERING OG KONTINUERLIG KOMPRIMERING KONTROLL

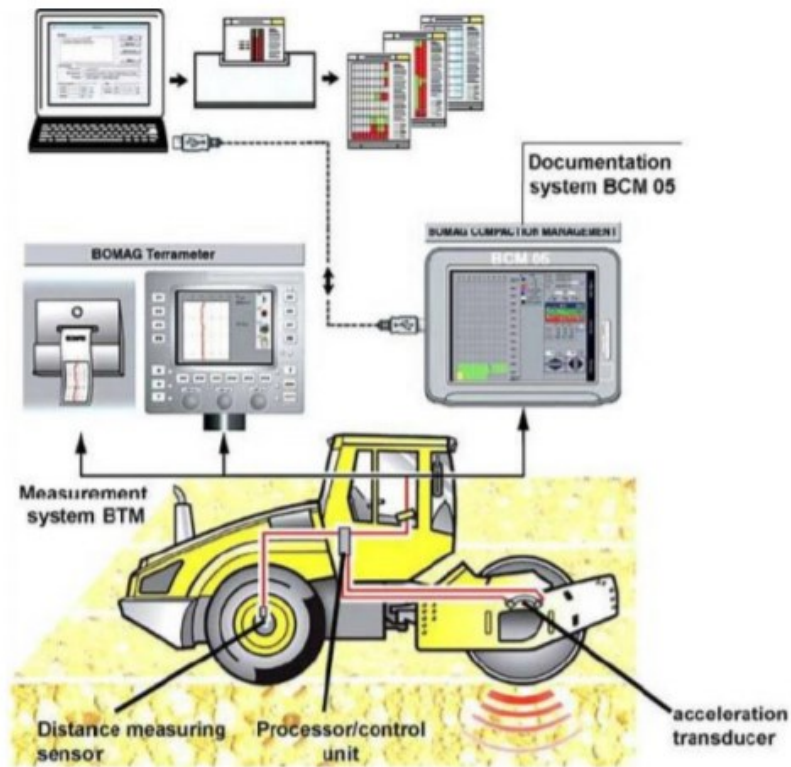
De tradisjonelle metodene kan kun måle mekaniske egenskaper for en veldig liten del av de komprimerte materialene. Det kan føre til at man ikke oppdager alle svake punkter i den komprimerte flaten som resulterer i en utilstrekkelig komprimering og en fylling av dårligere kvalitet. For å løse disse problemene har konseptene med kontinuerlig komprimering kontroll CCC og intelligent komprimering IC blitt realisert. Kontinuerlig komprimering kontroll CCC ble først brukt i Europa på slutten av 1970 tallet til komprimering av granulære materialer, men har siden da utviklet seg til bruk på de fleste typer materialer og områder.

Kontinuerlig komprimeringskontroll CCC (continuous compaction control) omfatter bruk av valser som har GPS, responsmålesystem og et innebygd display som viser responsmåleverdier. Om valsen også har et automatisk tilbakemeldingssystem (feedback system) for vibrasjonsamplituden eller/og frekvensen så kalles systemet intelligent komprimering. (Nazza, 2014) Det vil si at det er mulig å bruke kontinuerlig komprimeringskontroll uten intelligent komprimering.

Federal Highway Administration (FHWA) definerer intelligent komprimering som: *“Vibratory rollers that are equipped with measurement/control systems that can automatically control compaction parameters in response to materials stiffness measured during the compaction process. The roller must also be equipped with a documentation system that allow continuous recordation, through an accurate positioning system, of roller location and corresponding density-related output, such as number of roller passes and roller-generated materials stiffness measurements”* (Hossain, Mulandi, Keach, Hunt & Romanoschi, 2006)

Intelligent komprimering/CCC kan brukes for å komprimere jord, steinmaterialer, tilslag og asfalt ved å bruke moderne valser utstyrt med målesystem og tilbakemeldingskontroll. Ofte har valsene et globalt satellittnavigasjonssystem (Global Positioning System) GPS som kartlegger valseområdet og et program som automatisk dokumenterer måleresultatene underveis. Målingene fra valsen inkluderer responsmåleverdier ICMV, antall overfarer, overflate temperaturer (om nødvendig, men gjelder mest for veibygging), frekvens, amplitude og hastigheten til valsen. Ved å integrere målinger, dokumentasjon og kontrollsystemer kan man overvåke og korrigere komprimeringsprosessen i sanntid. Antall overfarer, valsegenererte stivhetsmålinger og presis plassering av valsen måles kontinuerlig og vises på et fargekodet kart underveis slik at valsefører kan holde kontroll. Figur 27 viser et eksempel på et intelligent komprimeringssystem fra Bomag som viser responsutstyret plassert på valsen (akselerator, kontrollenhet og ICMV sensor) samt kontrollsystemet bestående av et innebygd display, her Bomag Terrameter og et

dokumenteringssystem, her BCM 05, som er kan kobles til en datamaskin. Denne koblingen kan også gå trådløst via internett og bluetooth.



(Courtesy of Bomag)

Figur 27: Intelligent komprimeringsystem fra Bomag(Chang et al., 2011)

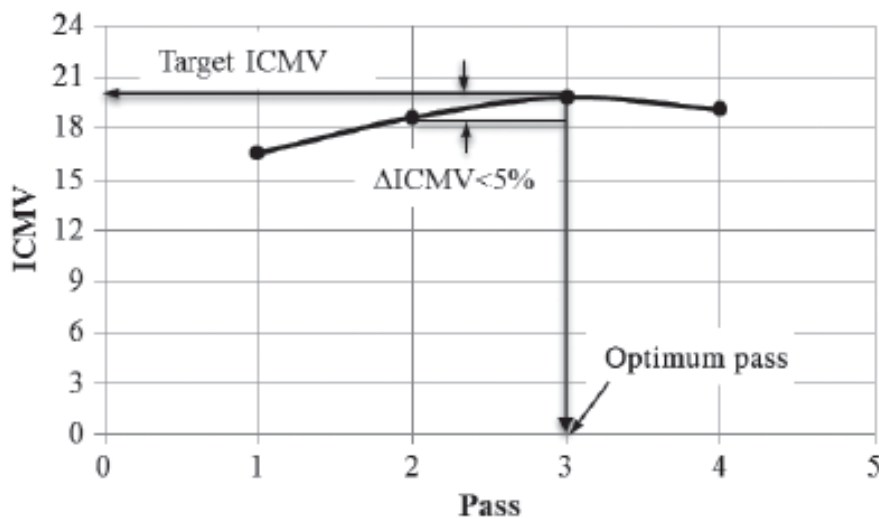
Om valsen har en GPS vil denne kartlegge plasseringen til valsen, hastighet og antall plasseringer over et gitt område. Samlingen av posisjoneringsdata er et kritisk element ved bruk av intelligent komprimering i forhold til nøyaktighet. For å sikre en presis og konsekvent datainnsamling må systemet ha følgende egenskaper:

- RTK-GPS (Real Time Kinematic-GPS) systemer eller liknende med enten landbasert GPS stasjon eller et digitalt referansesystem. Det går ut på å øke nøyaktigheten til GPS signalet ved bruk av en fast basestasjon som sender ut signaler til en bevegelig mottaker. Basestasjonen vil fjerne størstedelen av normale GPS feil og gir en nøyaktighet på mellom 1-2 cm.
- System-rapporter og registreringer i Nord/Øst eller lengdegrad/breddegrad i UTM koordinater eller liknende statlige koordinater for anleggsområdet.
- Det er nødvendig med en forskyvning mellom GPS antennen og den/de responsmålede tromlene. Forskyvningen må være inndata og godkjent.
- En tilgjengelig stab med tilstrekkelig kunnskap til å sette opp og klargjøre GPS utstyret til bruk samt veiledning for riktig bruk.

Valsen skal også ha et akselerometer plassert enten i eller på trommelen for å måle påført komprimeringskraft, frekvens og respons fra materialet. Målingene fra akselerometeret avgjør effektiviteten av komprimeringen. De ulike målemetodene og verdiene er beskrevet nærmere i kapittel 5.1 og 6.1

For å sammenlikne ICMV med materialmoduler eller densiteter målt med tradisjonelt måleutstyr som platebelastningstest eller sandvolumeter må man kalibrere verdiene. Det finnes mange ulike måter å bestemme en grenseverdi eller «target value» på utfra responsmålinger og tradisjonelt måleutstyr. (Chang et al., 2011) foreslår en 2 stegs prosedyre for å bestemme grenseverdien basert på densitetsmålinger.

- Steg 1 består av å bestemme grenseverdien som det punktet på komprimeringskurven som tilsvarer en endring i ICMV på mindre enn 5%. Det tilsvarende tallet på antall passeringer blir grenseverdien.
- Steg 2 består av å prøvevalse den bestemte grenseverdien for å kontrollere at densiteten er den samme. Figur 28 viser komprimeringskurven og grenseverdien markert som «Target ICMV»



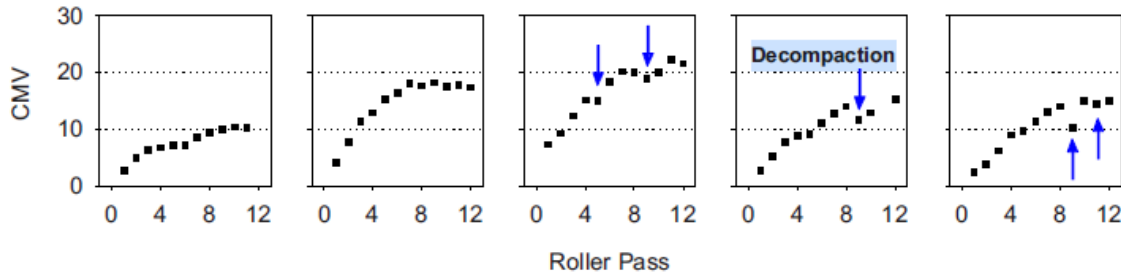
Figur 28: Komprimeringskurve og grenseverdi (Chang et al., 2011)

Det er mange fordeler ved å utnytte IC/CCC i komprimeringsarbeidet. (J.-L. Briaud et al., 2003) nevner blant annet:

- Høyere effektivitet og maksimal produktivitet ved bruk av automatisk justering av amplitude, frekvens og hastighet
- Minimere antall passeringer
- Høyere anvendelighet med tanke på lagtykkelse og type material valsen kan brukes for
- Optimale komprimeringsresultater som gir en bedre kvalitet
- En mer homogen komprimering
- Mindre knusing av materialet under komprimering
- Dynamisk måling av materialstivhet
- Ingen overkomprimering
- Komprimeringskontroll
- Lenge levetid for valsen ved å unngå turbulent kjøring

Ifølge (White et al., 2008) kan IC/CCC brukes til å oppdage overkomprimering ved å se når CMV har en negativt endring. Det indikeres i Figur 29 med piler.





Figur 29: Overkomprimering (White et al., 2008)

Intelligent komprimering/CCC har også noen ulemper som: innkjøp av nytt utstyr som er dyrere enn ved konvensjonelt valseutstyr og opptrening i riktig bruk av utstyret. Det påpekes den økte kostnaden vil sannsynligvis være midlertidig med tanke på den økte kvaliteten på det ferdige produktet vil ha en signifikant besparelse i mindre vedlikehold. (J. Briaud et al., 2015).

Samtidig vil Statens vegvesen innføre bruk av responsmålinger som kontrollmetode i sine standarder. Det gjør at mange entreprenører vil starte med bruk av responsmålinger og muligens CCC/IC, og det lønner seg dermed å investere i dette utstyret allerede nå for å henge med på utviklingen i bransjen. (Maskinentreprenørenes Forbund, 2013)

### 6.3.1 RETNINGSLINJER FOR IC FRA ANDRE LAND

Flere europeiske land har utviklet spesifikasjoner for å implementere IC teknologi i komprimeringsarbeidet sitt. (Mooney, 2010) har samlet flere av disse som et ledd i arbeidet med å videreføre bruk av intelligent komprimering i USA. I dag finnes det retningslinjer for intelligent komprimering i Tyskland, Sverige, Storbritannia, Østerrike og delstaten Minnesota. (Chang et al., 2011; Mooney, 2010) En viktig forskjell mellom USA og Europa er at kravene i Europa baserer seg på målinger av stivhet eller elastisitetsmoduler som bestemmes av platebelastningstester eller fallvektmålinger, mens i USA baseres kravene på tørrdensitet som måles av en nukleær densitetsmåler. (R. V. Rinehart et al., 2012)

#### TYSKLAND

Tyske retningslinjer for kontinuerlig komprimeringskontroll ble først innført i 1994 og utarbeides av ZTVE-StB.

*Prinsipp 1, stikkprøver:* CCC brukes til å kartlegge det komprimerte området og finne de svakeste punktene. Det utføres stikkprøver som densitetsmålinger eller platebelastningstester for å undersøke om de svake punktene er godkjent. Det er satt et minimumskrav til stikkprøver som f.eks. fire tester hver 5000 m<sup>2</sup>. Om de svake punktene ikke bli godkjent må massene bearbeides på nytt frem til kravene blir møtt. Dette er den mest brukte metoden i Tyskland.

*Prinsipp 2, kalibrering:* Man kalibrer over tre 20 m lange test striper med ulik komprimering grad, og bestemmer en målverdi/target-value utfra resultatene. En stripe skal være komprimert i en lav grad, altså kun en overfart. Neste stripe skal være middels komprimert med 3-5 overfarter og den siste stripen skal komprimeres i høy grad eller til det ikke er mulig å komprimere mer. De utføres 3-5 platebelastning eller densitetsmålinger per stripe. Videre finner man responsverdiene for hver forsøksstipe, og ved bruk av regresjonsanalyse<sup>5</sup> finner man en lineær sammenheng mellom

<sup>5</sup> Regresjonsanalyse er statistiske analysemetoder for å beskrive sammenhengen mellom én eller flere uavhengige variabler og en avhengig variabel.

responsverdi og platebelastning/densitetsverdi. Det er satt krav til hvor bra korrelasjon det skal være mellom målingene, henholdsvis  $R^2 > 0.5$  eller  $r > 0.7$ . Dersom disse kravene ikke klarer å oppnås er det ikke godkjent å bruke kalibrering som en kontrollmetode for komprimeringen. De tyske retningslinjene tillater heller ikke dobbelthopp og/eller endring av frekvens, amplitude under målingene.

### ØSTERRIKE

Østerrike innførte først retningslinjene sine i 1990 med revisjon i 1993 og 1999. I tillegg har ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering) basert sine retningslinjer på Østerrike sine.

*Prinsipp 1, prosentvis endring:* Østerrike har laget en egen metode for små anlegg og områder som ikke egner seg for kalibrering. Metoden går ut på at komprimeringen skal fortsette helt til den gjennomsnittlige responsmåleverdien etter hver overfart er mindre enn 5%. Deretter utføres det tester med platebelastning eller fallodd (LWD) på de svakeste områdene. E-modulen fra testene må være større eller lik en bestemt verdi. Det skal utføres et minimum av tre platebelastningstester eller 9 tester med fallodd. (Mooney, 2010)

*Prinsipp 2, kalibrering:* Det skal kalibreres over hele bredden av anleggsområdet og en minimums lengde på 100 m for hvert material. ICMV må måles med konstante valseparametere (frekvens, amplitude og hastighet). Det skal tas responsmålinger for lav, medium og høy grad av komprimering over testområde. Det skal utføres punktmålinger med enten platebelastning eller fallodd. Det skal utføres et minimum av ni platebelastningstester eller et gjennomsnitt av fire fallodds målinger på ni forskjellige steder, til sammen 36 målinger med fallodd pr valseforsøk. Det utføres lineær regresjon mellom verdiene og kravet er et  $R^2 > 0.5$ . Det er også krav til uniformitet av fyllingen.

### SVERIGE

Sverige introduserte retningslinjer for bruk av intelligent komprimering i 1994 med siste revisjon i 2017. Metodene for kontroll av komprimering beskrives i (Institute, 2017) og (Vägverket, 1994). Det er mulig å bruke to ulike metoder for kontroll, enten kan man bruke CCC eller metoden med stikkprøvekontroll etter at komprimeringsarbeidet er ferdig. Kontinuerlig komprimeringskontroll CCC kan anvendes etter begge prinsippene beskrevet overfor, kalibrering og til å analysere svake punkter i de komprimerte materialene. Ved bruk av kalibrering kan man redusere antall platebelastningstester fra åtte som var det tidligere kravet ned til to per 5000 m<sup>2</sup> av valseområdet. De to kontrollpunktene velges der valsen har dokumentert svakest resultater. Det stilles krav til  $E_2$  og forholdet  $E_2/E_1$ , der alle  $E_2$  verdiene må overskride en satt minimumsgrense. For granulære materialer må også forholdet  $E_2/E_1$  overstige en grenseverdi. Fallodds målinger kan brukes i stedet for platebelastning der liknende resultater kan påvises.

### STORBRITANNIA

I Storbritannia har de enda ikke åpnet for retningslinjer som standard for komprimeringskontroll, men (Winter, 2016) har beskrevet fordelene av å bruke CCC i forhold til gjeldene standarder i Storbritannia. Han nevner tre ulike måter å bruke CCC i komprimeringsarbeidet. Den første metoden, GPS og kartlegging, beskriver hvordan man kan overvåke og kontrollere hele komprimeringsområde, inkludert antall passeringer ved bruk av en innebygd GPS. Det vil effektivisere de gjeldene retningslinjene for kvalitetskontroll. Den andre metoden går ut på å avdekke svake punkter som trenger ytterligere komprimering ved å måle responsverdien fra valsen. Det er spesielt viktig for å unngå at overkomprimering oppstår som resulterer i lav densitet og høyt

luftinnhold. Den siste metoden tar for seg ytelsen til fyllingen. Ved å bruke CCC til å bestemme relativ densitet eller stivhet kan man overvåke kravene satt til utførelse av komprimeringsarbeidet. The UK Specification for Highway Works erkjenner at en forebygging av høyt luftinnhold i en komprimert fylling har høy prioritet med tanke på at man vil unngå setninger i fyllingen. (D Adam & Larsson)

#### MINNESOTA DOT

I 2007 utviklet Minnesota Department of Transportation (Mn/DOT) prøve-retningslinjer for kontroll av komprimering ved bruk av CCC og/eller fallodd. Den eneste metoden som brukes er kalibrering av responsverdier med falloddmålinger. Det skal kalibreres over teststriper med en minimums lengde på 100 m og minimums bredde på 10 m. Lagtykkelse må tilsvare den planlagte tykkelsen. Det skal konstrueres teststriper for hver materialtype. Det skal også utføres fuktighetsmålinger i henhold til Proctor Standard. Det er satt krav til fallodd-målinger, tre målinger per lag og bestemmelse av en målverdi per lag. Om noen krav ikke oppnås må de komprimeres på nytt til kravene nås og om man ikke klarer å oppnå kravene skal det konstrueres en ny teststripe for å undersøke potensielle endringer i komprimeringsparametere. (Mooney, 2010)

#### 6.3.2 KORRELASJONSSTUDIER

Det er utført en del feltundersøkelser for å utvikle bruken av intelligent komprimering og kontinuerlig komprimeringskontroll. Det er ønskelig å oppnå en god korrelasjon mellom standard måleutstyr for stivhet og densitet med responsmåleverdier (ICMV) for enklere å verifisere målingene og effektivisere komprimeringsarbeidet. Nedenfor belyses noen av disse feltarbeidene for å vise nytten av intelligent komprimering.

#### ICMV VS DENSITETSMÅLINGER

(R. V. Rinehart et al., 2012) utførte forsøk med valsemonterte responsmålere i Colorado, USA. Formålet var å knytte sammen de europeiske retningslinjene med dagens praksis i USA. Siden komprimeringskontroll i USA baseres på tørrdensitet målt med nukleær densitetsmåler, mens i Europa brukes platebelastningstester og fallodd var det viktig å sammenlikne de to metodene å kontrollere komprimeringen på. De to metodene kalibrering og stikkprøver ble gjort med platebelastningstester, nukleære densitetsmålinger og responsverdimålinger. Resultatene samsvarte godt med stikkprøvemethoden mens kalibreringsmetoden trenger videre utvikling for å fungere. Den anbefalte metoden for CCC ble tilslutt stikkprøveprinsippet eller liknende praksis.

#### POSISJONERINGSFEIL

(Facas, Mooney & Evaluation, 2009) undersøkte hvordan posisjoneringsfeil kan påvirke responsmålingene i forhold til å kunne sammenlikne ICMV med tradisjonelle punktmålinger. De brukte fire ulike valser i forsøkene sine. For å unngå målefeil ved bruk av ulike valser ble det anbefalt at ICMV skal lagres for hver 10-20 cm som kjøres. De presenterer tre ulike feilkilder.

- (1) Feilmålinger ved GPS uten RTK (Real-time kinematics). Om det brukes en vanlig GPS (uten RTK) kan man få feilmålinger fra 10-100 cm som utgjør en signifikant forskjell i måldata.
- (2) GPS mottakerens posisjon i forhold til senter av trommelen.
- (3) Hvordan ICMV og GPS-data settes sammen i tilfeller der de samles inn med ulikt tidsintervall (der valsen kjører). All forsinkelse av vibrasjonsdata (ICMV) som følge av den tiden det tar å konvertere akselerasjonsdata til ICMV spiller også inn her. Denne feilen avhenger av hastighet og kjøreretning for valsen.

Feilkilde (2) avhenger også av hvor på valsen akselerometeret er plassert. Er akselerometeret plassert i sentrum av trommelen vil den fysiske forskyvningen være lik null i forhold til GPS-mottakeren. Programvaren installert i valsen er ofte i stand til å korrigere for denne forskyvningen

men man må passe på at det gjøres riktig. I denne studien ble det bruk fire ulike valsetyper og man oppdaget at feilen i målingene kan være så stor som 1-2 meter om den ikke korrigeres for.

For å kunne sammenlikne resultater fra ICMV og punktmålinger må disse feilkildene korrigeres. Det kan gjøres for feilkilde (2) ved å verifisere målingene før start av valsing, og være sikker på at forskyvingen tas hensyn til av programvaren. For feilkilde (1) kan det løses ved å bruke en RTK-GPS der feilmålingene er nede på 1-2 cm. For feilkilde (3) ble det plassert to trestokker på tvers av komprimeringsområdet og valsene ble kjørt forover og bakover. Responsmåledataene ble korrigert i forhold til disse to trestokkene og resultatet ble relativt godt. Den resterende feilkilden kommer i forhold til forsinkelse som følge av å konvertere akselerasjonsdata til ICMV.

### AUTOMATISK FREKVENNS KONTROLL (AFC)

En ny metode innenfor intelligent komprimering bruker en automatisk justering av frekvensen for å oppnå resonans i trommel-underlag systemet. Det fører til en mer effektiv komprimering med et lavere energiforbruk. (Carl Wersäll, Åkesson & Persson, 2019) har utført feltforsøk for å undersøke hvordan dette kan implementeres til kontroll av komprimering.

Det har blitt vist at komprimering ved resonansfrekvensen er mer effektiv enn den vanlige komprimeringsfrekvensen. Det viser seg også at resonansfrekvensen er en del lavere enn den som vanligvis brukes, slik at man sparer antall overfarter, reduserer drivstoff forbruken og øker levetiden til trommelen. (Carl Wersäll, Åkesson & Persson, 2017)

Det ble bygget flere teststriper, der hver stripe har to komprimeringsfelt. Det ene feltet ble komprimering med en fast frekvens på 28 Hz, mens det andre feltet benyttet automatisk justering av frekvensen. Hver fylling ble komprimering 32 ganger med høy amplitude. Det ble også utført platebelastningstester utfra de tyske retningslinjene. Testene ble gjort etter 8 og 32 passeringer i åtte kontrollpunkt per fylling. Resultatene viser flere parametere som for eksempel at dobbelthopp er unngått med hensyn på den lave frekvensen, CMV og  $E_{vib2}$  korrelerte bra med et samlet datasett av fast frekvens og AFC som indikerer at verdien er uavhengig av frekvensen og mer relatert til materialstivhet.  $E_{vib}$  viste veldig høy avhengighet av frekvensen og anbefales ikke å bruke med AFC. Dermed er avlastningsmodulen fra platebelastningstesten  $E_{vib2}$  anbefalt å utnytte ved AFC og konvensjonell komprimering.

### SAMMENLIKNING AV ULIKE FELTFORSØK

(Mooney, 2010) har utført ett stort studie som evaluerer ulike CCC/IC teknologier på 17 ulike materialtyper fra flere prosjekter utført i USA, henholdsvis Colorado, Florida, North Carolina og Minnesota. Testområdene varierte i materialtype, vanninnhold og underliggende lag. Responsverdiene ble målt med ulik amplitude, frekvens og hastighet. Det ble også utført et variert antall av andre punktmålinger som platebelastning, fallodd og densitetstester for sammenlikning med ICMV. Hovedmålene med studiene var:

- (1) Undersøke enkle lineære forhold mellom ICMV og punktmålinger.
- (2) Fastsette nøkkelfaktorer som påvirker disse forholdene.
- (3) Vurdere ulike regresjonsforhold som tar for seg forskjellene mellom steinegenskaper og maskininnstillinger som amplitude eller frekvens.

Det var også et ønske om å øke forståelsen av CCC og IC teknologi, samt utvikle spesifikasjoner for bruk av CCC/IC til komprimeringskontroll. Resultatet fra alle korrelasjonsstudiene mellom CCC/IC og in-situ prøvemålinger er ramset opp nedenfor:

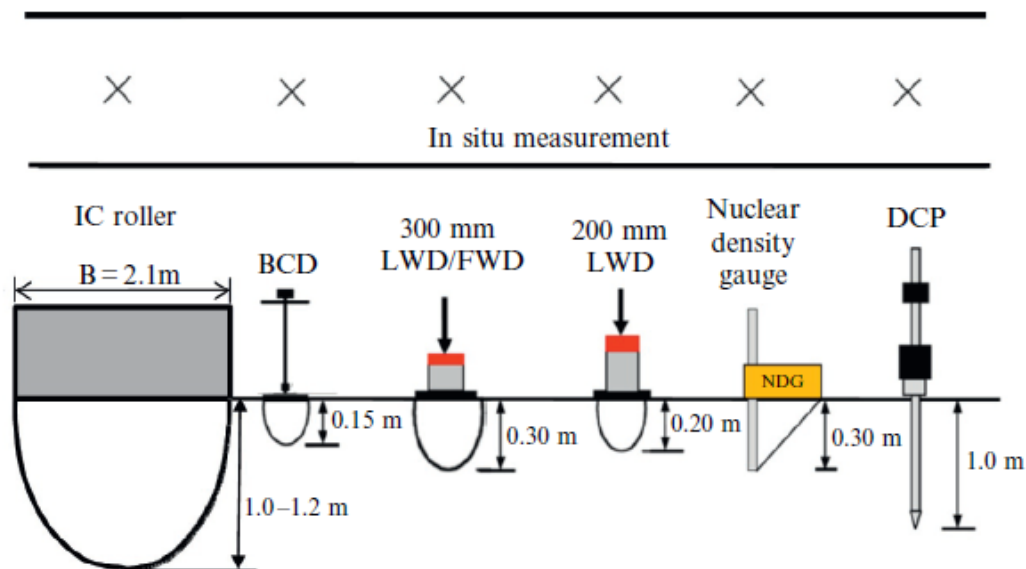
- Heterogenitet i det nederste laget
- Variasjoner i vanninnhold mellom lagene

- Liten rekkevidde på punktmålinger (in-situ)
- Endrede maskininnstillinger som amplitude, frekvens, hastighet og «hopping» av valsen
- Ujevn kontakt mellom trommel og underlag
- Usikkerhet ved sammenlikning av punktmålinger med ICMV
- Begrensning i antall målinger
- Ikke nok informasjon til å bruke dataene fra målingene
- Vesentlige målefeil i forhold til ICMV og punktmålinger

Den faktoren som påvirket målingene mest var heterogenitet i lagene under den floen som ble komprimert. Dette er mye på grunn av de ulike måledybde for punktmålinger sammenliknet med respsmålinger. (Mooney, 2010) fant ut at ved å implementere parameterverdier som representerer dette nederste laget, for eksempel fuktnivå eller respsmålingen til laget under det aktuelle laget i analysen, ble resultatene forbedret. I tillegg kan man bruke punktmålinger som har en tilsvarende dybdevirkning som respsmålingene for å redusere denne faktoren.

#### MÅLEDYBDE

(Mooney, 2010) nevner at årsaken til at verdiene fra respsmålere ikke korrelerer så bra med punktmålinger er de ulike måledybde for de to forskjellige metodene. (White & Vennapusa, 2010) viste at ICMV kan være upåvirket av tynne komprimeringslag, men kan være sterk påvirket av de underliggende lagene. For eksempel kan respsmåleverdier korrelere dårlig med punktmålinger som fallodd og platebelastning på grunn av at punktmålingene bare måler verdier for det aktuelle laget, mens respsmålingene har et større virkningsdyp og blir påvirket av lagene under det aktuelle laget. Figur 30 illustrerer forskjellene i måledyp for ulike metoder.



Figur 30: Måleforskjeller for vals og ulike punktmålemetoder (White & Vennapusa, 2010)

(R. Rinehart & Mooney, 2009) utførte feltforsøk med to ulike valser på to forskjellige områder bestående av henholdsvis knust stein over leire og knust stein over sand for å undersøke påvirkningen av måledybde. Resultatet av testene viste at måledybden  $H_c$  var 0.9 – 1.2 m for begge materialtypene med 11.5 og 14.9 tonn tunge valser. De nevner også dybdemålinger gjort av andre (Anderegg & Kaufmann, 2004b) indikerer at måledybden er avhengig av vibrasjonskraft og foreslår at 0.1 mm vibrasjonsamplitude fra trommelen tilsvarer 0.1 mm måledybde for punktmålinger.

(Brandl, Kopf & Adam, 2005) brukte en 13 tonn Bomag vals til å komprimere et tykt lag av grus lagt oppå madrasser. Det ble estimert en måledybde på 2,1 m ved å bruke en vibrasjonskraft på 100 kN med medium amplitude. Det nevnes i studien at måledybden er avhengig av størrelsen på valse og hvilken amplitude det kjøres med. (R. Rinehart & Mooney, 2009) fant derimot ikke en variasjon i måledyp med ulike amplituder. I tillegg ble ikke måledybden  $H_c$  særlig påvirket av stivhetsforholdet mellom materialene som ble komprimert. For lagtykkelser større enn  $H_c$  ble responsverdien en funksjon av kun det øverste materialet mens for lagtykkelser mindre enn  $H_c$  ble ICMV en funksjon av begge materialene.

### OPTIMALISERING AV FREKVENNS

(Carl Wersäll, Nordfelt & Larsson, 2016) antar at frekvensen har en stor påvirkning på komprimering siden frekvens er en fundamental parameter i alle dynamiske systemer. Ved å optimalisere frekvensen kan man optimalisere komprimering ved enten:

- Færre overfarer
- Mindre maskinstørrelse
- Energien brukt ved komprimering reduseres.

Studien viste at optimalisert frekvens for valse, en dynapac CA3500D med statisk linjevekt på 36 kg/cm, er på 18 Hz. Vanligvis ville en slik vals komprimert rundt 31 Hz, mens en reduksjon på mer enn 10 Hz fører til en signifikant reduksjon i energibruk som igjen fører til mindre bruk av drivstoff, mindre miljøfotavtrykk og mindre slitasje. Det ble også vist at løsgjøring av overflaten kan unngås. Den optimale frekvensen må ligge over resonansfrekvensen, som i dette tilfellet ligger på 17 Hz, for at komprimeringen skal effektiviseres. Derfor er man avhengig av å finne resonansfrekvensen for valse som igjen avhenger av type vals og underlag. Dette kan gjøres på flere ulike måter men vil gjøre bruk av optimalisert frekvens mer krevende.

### HETEROGENITET I UNDERLIGGENDE LAG

(Mooney, 2010) utførte fem forsøk på materialer med homogene og heterogene underlag for å se innvirkningen dette har på ICMV. Det ble testet fuktinnhold, stivhet, lagtykkelse, amplitude og frekvens mot ICMV. Det ble konkludert med at en variasjon i amplitude (+/- 0.30 mm) hadde relativt stor betydning i forhold til om underlaget var heterogent eller homogent. Lagtykkelse, frekvens og stivhet hadde ingen innvirkning, mens vanninnhold hadde innvirkning på tre av testområdene, to heterogene og et homogent underlag.

## 7 INNHENTING AV DATA FRA KOMPRIMERING

I dette kapittelet forklares feltarbeidet som er utført i sammenheng med denne oppgaven. Anleggsområde og utstyr forklares nærmere, samt at metodene brukt presenteres.

### 7.1 FORMÅL

Feltforsøkene som ble gjort i forbindelse med denne oppgaven kan oppsummeres med to formål:

- Undersøke gyldigheten til responsmålinger gjort med vals
- Forsøke å forbedre det tradisjonelle komprimeringsarbeidet ved dambygging

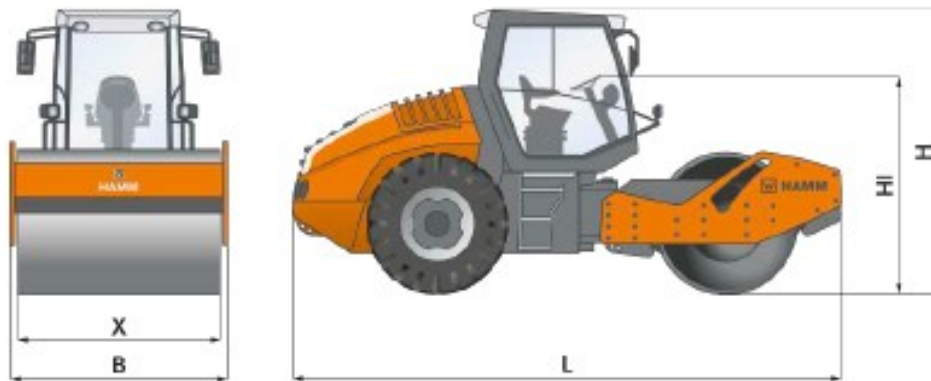
Ved å ta i bruk nye målemetoder gjennom teknologi kan det tenkes at komprimeringsarbeidet blir mer effektivt og man vil få en bedre komprimeringskontroll uten økt tidsbruk.

### 7.2 UTSTYR

Det ble benyttet en vals av typen Hamm H16i, komprimator med glatt trommel, til komprimeringsarbeidet. Fra datablad produsert av Hamm (Hamm, 2019a) vises dimensjoner og parametere for valse. En oppsummering av de viktigste parametere er oppramset i Tabell 5.

<b>Total lengde (L)</b>	5950	mm
<b>Bredde (B)</b>	2314	mm
<b>Driftvekt med styrhus</b>	16430	kg
<b>Trommel bredde (X)</b>	2140	mm
<b>Statisk linjelast</b>	50.3	kg/cm (kN/m)
<b>Vibrasjonsfrekvens foran I/II</b>	28/31	Hz
<b>Amplitude foran, I/II</b>	2.13 / 1.37	mm
<b>Sentrifugalkraft foran I/II</b>	328/259	kN
<b>Hastighet, trinnløs</b>	0 – 10.0	km/h

Tabell 5: Data for vals, Hamm Naboen H16i (Hamm, 2019a)



Figur 31: Skisse av vals brukt i valseforsøk (Hamm, 2019a)

Denne typen Hamm vals har en glatt trommel som egner seg for komprimering av steinmaterialer. Den kan i tillegg justere amplituden mellom lav og høy.

RISA AS har selv gått til innkjøp av responsmåler for dette prosjektet med formål om å benytte seg av dette videre. Det ble benyttet iCON komprimeringssystem fra Leica. Systemet består av Leica MCP80 som er et kontrollpanel, ICG80 GNSS mottaker, CMV sensor, MSS400 sensor og 2 stk

Innhenting av data fra komprimering

CGA60 GNSS antenner, se bilag 11 for nærmere beskrivelse av komponentene og hvordan de virker sammen. Figur 32 viser hvor på valsen de ulike komponentene er plassert.



Figur 32: Komponenter i iCON systemet (powerpoint presentasjon fra Fredrik Berentsen i Leica Geosystems)

Alle dataene fra valsen lagres i et webbasert brukergrensesnitt kalt ConX som leverer ut rapporter for ulike valg som CMV, frekvens og amplitude. Et eksempel på en rapport fra Conx vises i Figur 33. Det er mulig å følge valsen når den kjører via ConX og alle data blir overført hvert 30 sekund fra valsen til basedatamaskinen.



## Risa as

ROLLER REPORT					
Report Name	lag 7	Soil Fraction	0-400		
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet		
Note	CMV	Underlay Soil			
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-		
Transformation		Elevation Range			
Location	P1: 405823.93,6520316.95 P2: 405867.44,6520332.75 Stationing: 0.00 - 385.87				
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59				
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i				
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag7	Average	68.00	< 12.0	0.0 m <sup>2</sup>
Offset	-6.5	Std. Dev.	23.38		0%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	6.7 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	111.2		32%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	60 - 90.0	10.3 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	21.2		49%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	10.3	>= 90.0	4.1 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	48.7		19%

Figur 33: Eksempelutskift fra vals

Det er også montert to GNSS-mottakere på valsen, en på hver side av trommelen. Dette er gjort for å kunne måle riktig når valsen rygger. Hadde man bare hatt en sender ville valsen rotert referansemodellen ved rygging slik at all data hadde blitt plassert på feil sted i modellen.



Figur 34: EW60E hentet fra Volvo (Volvo, 2019)

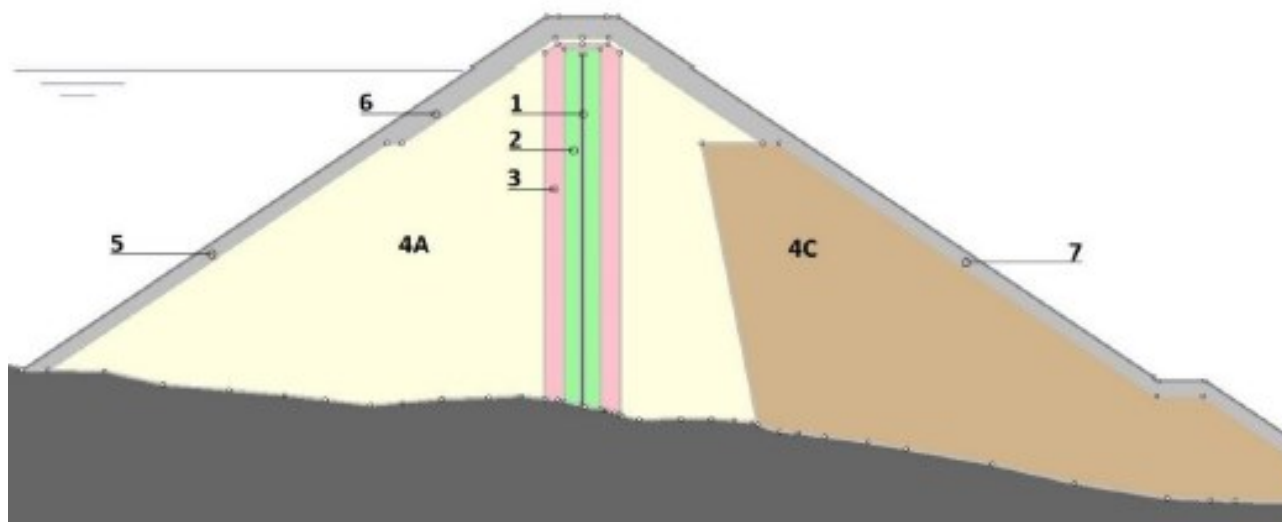
Til utgravning av masser ved densitetsmålingen ble det brukt en gravemaskin av typen Volvo EW60E med driftsvekt på 6 tonn (Volvo, 2019), se Figur 34. Vektkassen med gjekk var av typen Marsden PT-500. Det ble også brukt en presenning med mål 9.65 x 5.75. For å fylle vann i alle prøvehullene ble det brukt to 20 liters bøtter.

## 7.3 ANLEGG

Feltforsøkene er gjort på damanlegget til dam Langevatn i Åseral kommune, Vest-Agder. Anlegget er en del av Åseral Nord prosjektet som omhandler en overføringstunnel fra Langvatn til Nåvatn/Skjerkevatt, inkludert fire bekkeinntak og bygging av ny dam Langevatn. Bakgrunnen for prosjektet er at nåværende dam Langevatn ikke tilfredsstillende gjeldende krav til sikkerhet iht. Damsikkerhetsforskriften. (Olje og energi departementet, 2013) Den nye dam Langevatn blir en steinsfyllingsdam med sentral kjerne av asfalt. Oppbyggingen blir som følger:

Sone	Navn	Materiale	Fraksjon
1	Tetningskjerne	Varmblandet asfalt betong	0 - 16/22 mm
2	Filter	Knust og siktet sprengstein	0 – 60 mm
3	Overgangssone	Knust og siktet sprengstein	0 – 200 mm
4A	Støttefylling	Tunnelstein	0 – 400 mm
4B	Støttefylling oppstrøms	Tunnelstein	0 – 400 mm
4C	Støttefylling nedstrøms	Bruddstein	0 – 800 mm
5	Oppstrøms skråningsvern	Utsortert blokk fra sprengstein	Sjikt 1: $0,15 \text{ m}^3 < V < 0,7 \text{ m}^3$ Sjikt 2: $d > 0,25 \text{ m}$
6	Kronevern	Utsortert blokk fra sprengstein	Sjikt 1: $1,0 \text{ m}^3 < V < 4,0 \text{ m}^3$ Sjikt 2: $d > 0,5 \text{ m}$
7	Nedstrøms skråningsvern	Utsortert blokk fra sprengstein	Sjikt 1: $0,15 \text{ m}^3 < V < 0,7 \text{ m}^3$ Sjikt 2: $d > 0,25 \text{ m}$

Tabell 6: Oppbygging dam Langevatn (Sweco, 2017)



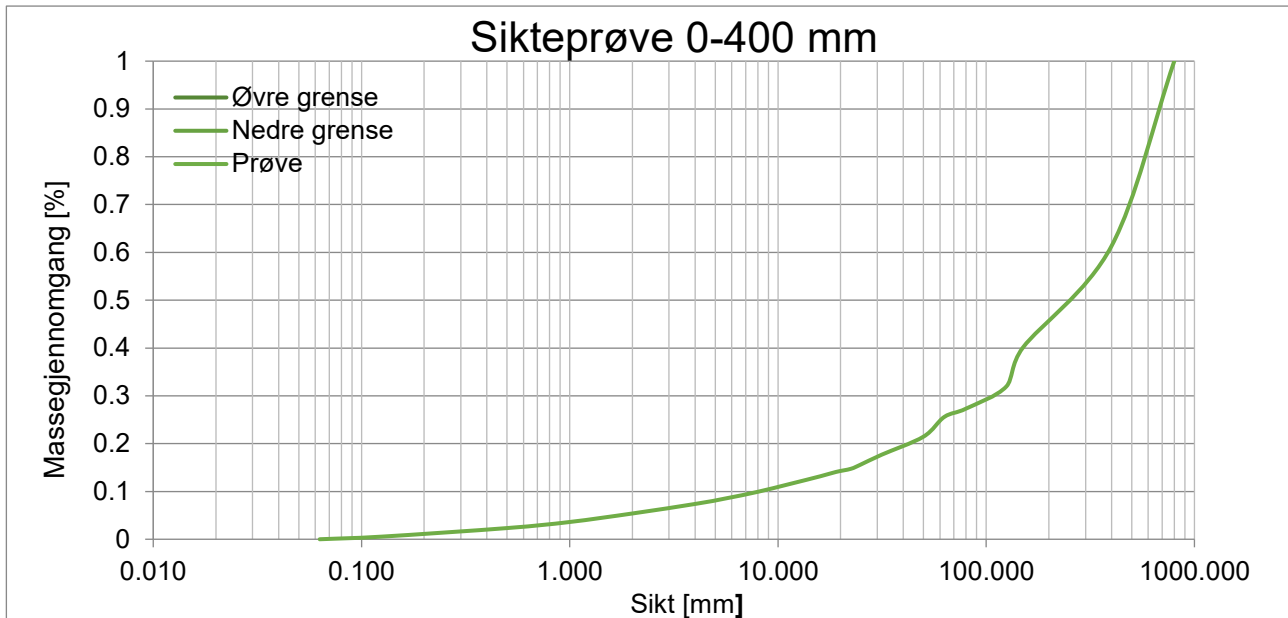
Figur 35: Skisse av soneinndelingen (Sweco, 2017)

Kravene som er satt til støttefylling i Sone 4A, 4B og 4C følger fyllingsdamveilederen (Norges vassdrag og energidirektorat, 2012) og er beskrevet i teknisk plan utarbeidet av Sweco (Sweco, 2017). Nedenfor er kravene oppsummert punktvis.

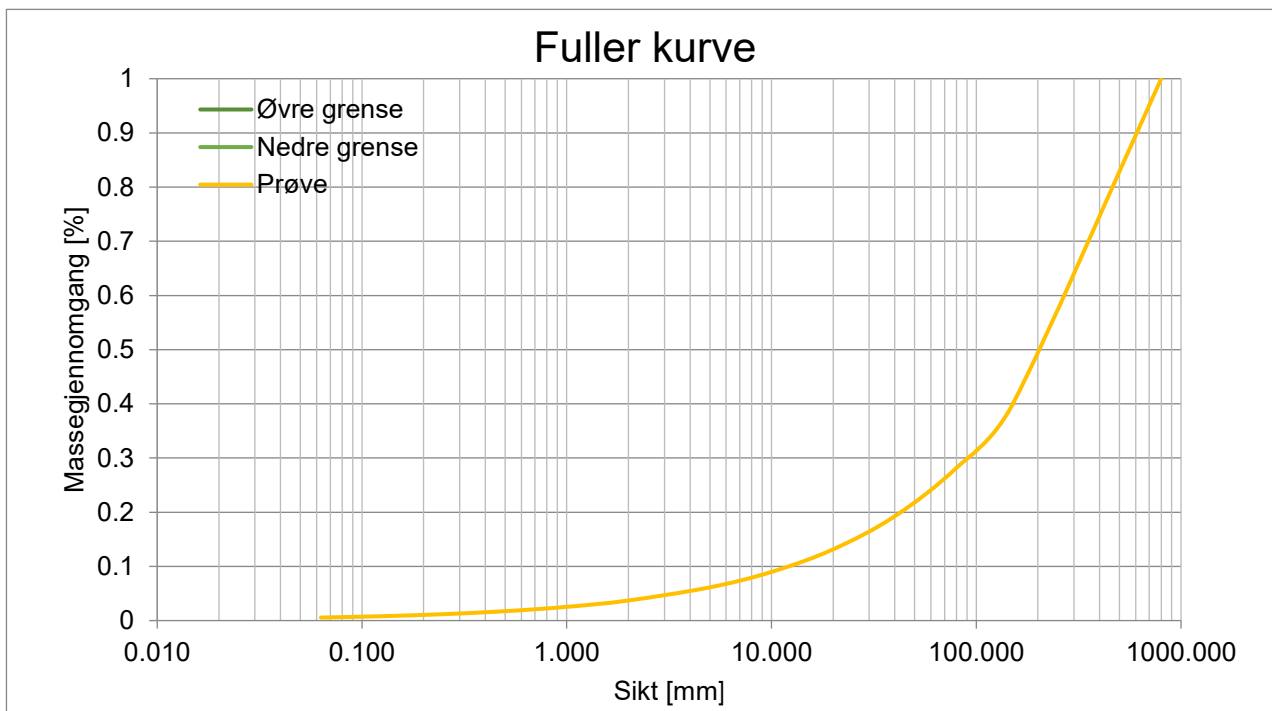
- Støttefylling skal legges ut så ensartet som mulig
- Unngå store steiner mot overgangssoner
- Flotykkelse er dobbelt av maksimal steinstørrelse, 0 – 400mm har flotykkelse på 0.8m.
- Sone 4A skal ha en stiv støttefylling (høy E-modul) slik at deformasjoner i kjernen minimeres
- Sone 4C skal ha gode drenasjegendenskaper, 0 – 800mm med flotykkelse på 1.6 m
- Støttefylling skal være velgradert med  $C_u > 10$
- Fyllingen skal tilfredsstillere filterkriterier med innenforliggende sone som basismateriale.
- Massevekt av materiale under 25 mm skal ha et finstoffinnhold på mindre enn 40 prosent

- Støttefyllingen skal ha gode dreneringsegenskaper og på bakgrunn av beregning av dreneringsegenskaper settes et følgende krav:
  - Sone 4A:  $d_{10} > 1\text{mm}$
  - Sone 4C:  $d_{10} > 10\text{mm}$

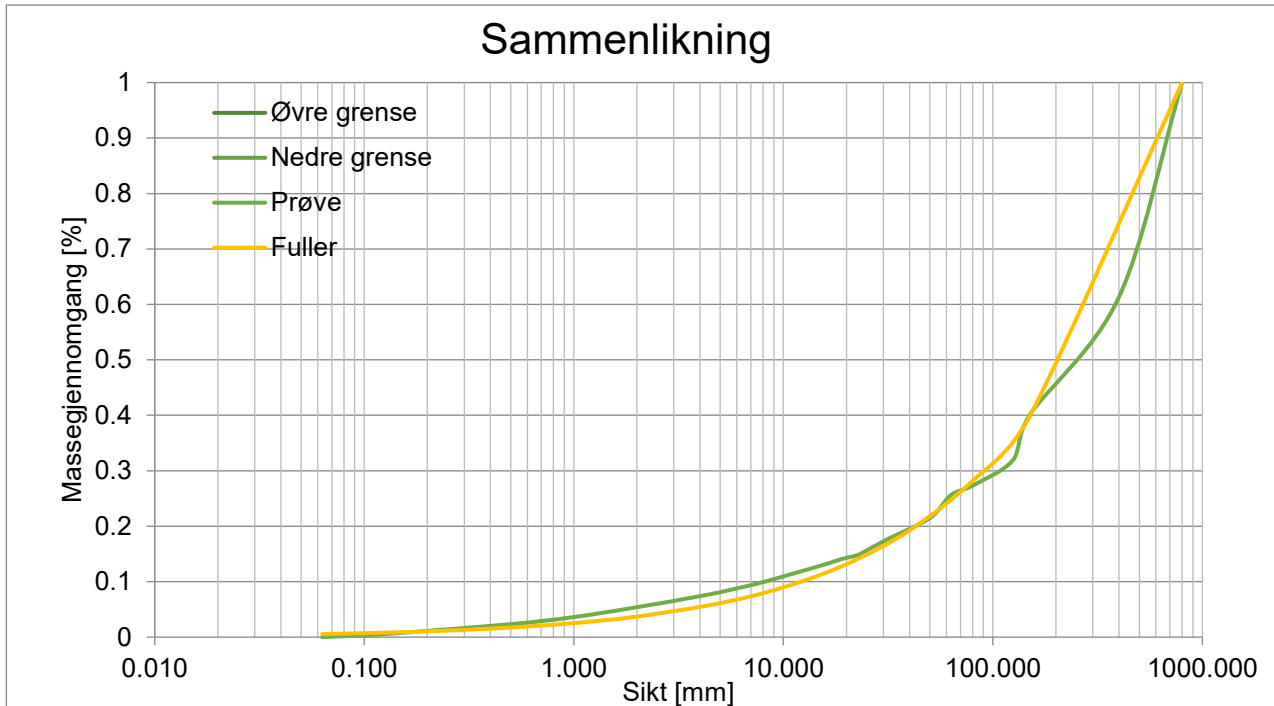
Tilhørende sikteprøve for 0-400mm støttefylling kan sees i Figur 36. Sikteprøven er utført 23.november 2018 og massene er hentet fra Flomkanal/Steinbrudd Sør



Figur 36: Sikteprøve (Andreas Fløystad)



Figur 37: Fuller kurven (Andreas Fløystad)



Figur 38: Sammenlikning av 0-400 og Fuller kurven

Det er utført geotekniske undersøkelser av området og det ble funnet at steintypen som foreligger i området er av typen hornblendegranitt, stedvis biotittførende som er en granittisk dypbergart. (Sweco, 2017 )

#### 7.4 FORSØKSOPPLEGG

Det er utført forsøk på tilsvarende materiale som skal i støttefylling sone 4A og 4B med maksimal steinstørrelse 400mm og flotykkelse på 0.8m. Oppsummering av feltarbeidet, kronologisk:

09.04.2019 Valseforsøk 1 med høy amplitude

09.04.2019 Valseforsøk 2 med lav amplitude

10.04.2019 Densitetstest

##### 7.4.1 FELTFORSØK MED VALSEFORSØK

Det ble utført to ulike valseforsøk den 09 april 2019. Begge testene ble utført på 0-400mm steinmasser, flohøyde 0.8 m. Det ble enighet om å holde en snittfart på 3 km/t for å få gode målinger. I tillegg ble det bestemt at valsen skal starte å kjøre forover, men vil rygge over neste fil. Grunnlaget for denne bestemmelsen ligger i at det er slik det gjøres under dambyggingen. For hvert valseforsøk ble det etablert et opp og nedkjøringsområde, som gjorde at valsen startet med vibrasjon og riktig hastighet på omtrent samme område før hver overfart. Valsen er innstilt på å kun måle CMV etter 10 overfarter. For å kunne måle respons for hvert lag ble følgende metode brukt:

- Det ble lagt inn forskjellige høyder for å kunne skille lagene. På den måten tror valsen at den kjører på lag nummer 10 hele tiden.
- For å kunne skille lagene må man velge et nytt lag med en ny høyde før hver overfart, slik at valsefører må stoppe opp og velge riktig lag for hver overfart.

- Hver høyde og hvert lag fikk navn som tilsvarer hvilket lag og overfart man er på, for eksempel overfart 2. Dette var for å lettere holde oversikt over dataene.
- Underveis i målingene ble det kontrollert at målingene så bra ut ved å følge valsen på datamaskinen.
- For at de registrerte målingene skulle bli sendt til kontoret måtte man opprette en internett-forbindelse mellom valsen og datamaskinen. I og med at valseforsøkene ble gjort i et område uten mobildekning var dette litt problematisk, men det ble løst ved at en mobiltelefon fikk koblet seg på systemet.

Det ble også valgt en target-value for valsen. Denne verdien er uavhengig av målingene men må settes inn for å kunne måle. Målverdien ble satt til 60, og dette baserer seg på tall fra (Lars Forssblad, 1981) gjengitt i Tabell 7

Materiale	Responsverdi (CMV)
Steinfylling	60 - 100
Grus	30 – 50
Sand	25 – 40
Silt	20 – 30

Tabell 7: Verdier av CMV for ulike materialtyper (Lars Forssblad, 1981)

#### Valseforsøk 1

Valseforsøk 1 ble gjennomført med 16 målepunkt. Disse punktene ble plassert i fire enkle rader som vist på Figur 39. Området er 30 m x 20 m og besto av fire kjørefiler med overlapp. Valseføreren sikter seg inn på å treffe disse punktene i senter av trommelen. Punkt 1-4 ble kjørt fremover, mens punkt 5-8 ble kjørt bakover. Det ble kjørt totalt 10 overfarter over hvert punkt. For dette valseforsøket ble det kjørt med høy amplitude, som tilsvarer 2.13 mm og en frekvens på 28 Hz, se bilag 10. Valsefører nevnte under testen at valsen opplyste om fare for dobbelthopp.

Stikning eller nivellement mot totalstasjon ble utført i alle de 16 punktene etter hver overfart. Totalt tilsvarer det 176 punktmålinger for hele floen. Hvert punkt ble fotografert og lagt inn med GPS-koordinater etter hver måling. Dermed kunne man se hvordan forholdene rundt punktene er som gjør det enklere å utelukke eventuelle feilmålinger. Alle punkter ble merket med kryss og tall for og lettere holde oversikt. I tillegg ble hvert punkt sprayet på nytt etter hver overfart slik at de ikke forsvant under komprimeringen. Det ble brukt en fot under nivelleringsstaven for å sikre et mer uniformt utgangspunkt for målingene. Se Figur 41 for ett sett av punktene som ble brukt under målingene.

Innhenting av data fra komprimering

x 4	x 5	x 12	x 13
x 3	x 6	x 11	x 14
x 2	x 7	x 10	x 15
x 1	x 8	x 9	x 16

Figur 39: Valseforsøk 1



*Figur 40: Valseområde for flo 1 og markering av setningspunktene (Andreas Fløystad, Sweco)*



(1) Målepunkt 1



(2) Målepunkt 8



(3) Målepunkt 11

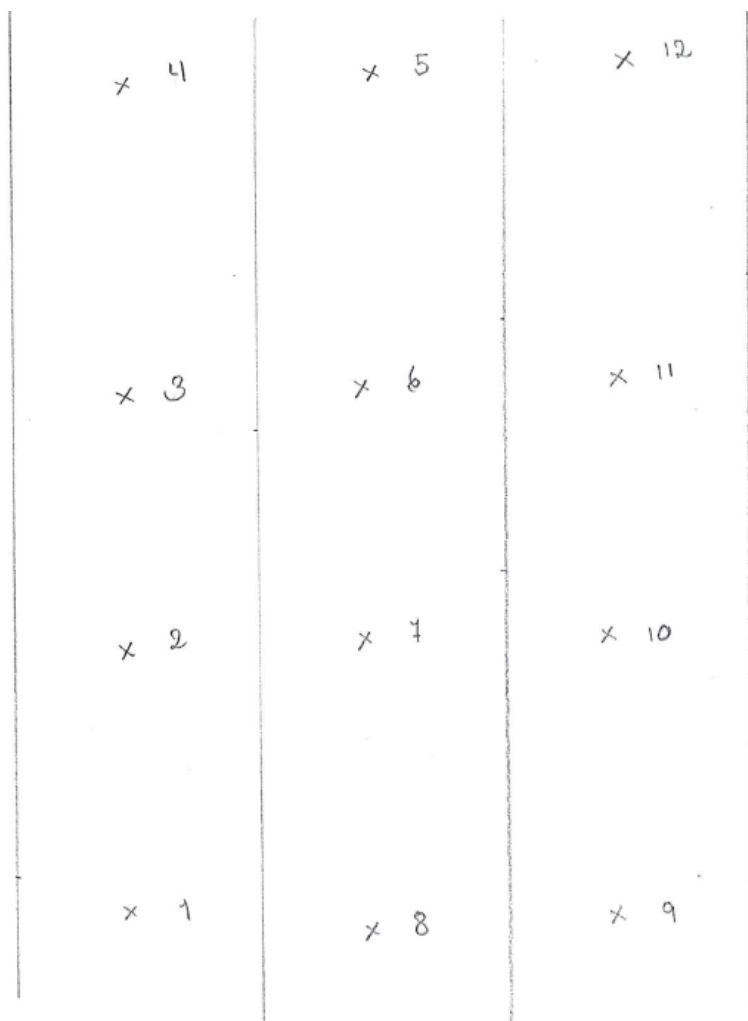
Figur 41: Målepunkt setninger

### Valseforsøk 2

Valseforsøk 2 ble gjennomført med 12 målepunkt og punktene ble plassert i tre enkle rader som vist på Figur 42. Valseområdet var 30 m x 15 m og besto av tre kjørefiler med overlapp. Valsefører har også her siktet seg inn for å treffe punktene i senter av trommelen. Punkt 1-4 og 9-12 ble kjørt fremover mens punkt 5-8 ble kjørt baklengs. Det ble også her kjørt totalt 10 overfarter over hver fil og hvert punkt. I dette valseforsøket ble det kjørt med lav amplitude, tilsvarende 1.37 mm, se bilag 10.

Stikning eller nivellement mot totalstasjon ble utført i de 12 oppmerkede punktene etter hver overfart. Total ble det tatt 132 stikningsmålinger for hele floen. Også her blir hvert punkt fotografert og lagt ved stikningsdataene slik at forholdene kan undersøkes i etterkant. Alle punkt ble merket med kryss og tall for å holde oversikt, og ble i tillegg sprayet etter hver overfart, slik at de ikke forsvant underveis i komprimeringsarbeidet. Det ble, også her, brukt en fot under nivelleringsstaven for å sikre et mer uniformt underlag for målingene, se Figur 44.





Figur 42: Valseforsøk 2



Figur 43: Valseområde, med flo 2 øverst og de 12 stikningspunktene markert (Andreas Fløystad, Sweco)



Figur 44: Fot til bruk under stikningsmålinger (bilde fra RISA AS)

#### VALSEPROGRAM FOR VALSEFORSØK

For å definere et valseprogram til valseforsøkene ble det tatt utgangspunkt i teori fra kapittel 6.2.6. Det ble bestemt at det skulle kjøres 10 overfarer per flo. Dette baseres nok på at kravet satt i teknisk plan for overfarer på 0-400 mm masse er 6-10, slik at ved å velge det høyeste antallet overfarer er det lettere å oppdage nedknusing. Hastighet ble satt til 3 km/t som ligger innenfor det optimale kravet, se kapittel 5.2.5.

Område testen skal utføres på ligger ikke på dammen som nevnes som et viktig element i utførelsen av testen, se kapittel 6.2.6 og (Breitenbach, 1993). Flaten under valseområde var jevn og relativt hard.

Ifølge (Breitenbach, 1993) burde valseområde ha en bredde beregnet utfra formel 6.4. Man kan se utfra beregningen nedenfor at bredden på valseområdet bør være 30,420 m og utfra beskrivelsene overfor har valseområdet en bredde på 30 m. Så den aktuelle bredden kan sies å tilfredsstillende den anbefalte bredden.

#### Beregning av bredde

$$\text{Bredde av testområde} = (W * 3) + (L * T * 3) \quad (2140\text{mm} * 3) + (10 * 800\text{mm} * 3) = 30\,420\text{ mm}$$

Flotykkelse ble valgt utfra teori fra kapittel 4.2, og var på dobbelt av maksimal steinstørrelse, altså 0.8 m siden maksimal steinstørrelse er på 0.4 m.

Valseområde tok utgangspunkt i størrelsen på trommelen pluss ekstra for overlapp mellom overfartene i henhold til (Breitenbach, 1993). Det ble også etablert en skulder på hver side av valseområdet for å forsikre at den sideforskyvningen som oppstår under komprimeringen ikke påvirker resultatene.

#### 7.4.2 FELTFORSØK, DENSITETSTEST

Det ble utført en densitetstest den 10.04.2019. Testen ble utført på 0-400 mm steinstørrelser, og ble utført på et komprimert lag etter 10 overfarer. For å avgjøre hvordan densitetstesten skulle utføres ble det tatt utgangspunkt i testene forklart i kapittel 6.2.5 av (Holtz et al., 2011) også 6.2.1 og 6.2.2

Det ble gravd tre hull på rekke i den midterste filen av det komprimerte laget, se Figur 46. Det er valgt å grave hull i den midterste filen for å få en så god prøve som mulig. Hadde man gravd lengre ut mot kanten av floen, kan det tenkes at steinene ville forskjøvet seg innbyrdes i laget med hensyn på nærhet til kanten, og det resulterer i en svakere prøve. Laget er tilsvarende det som ble gjort på valseforsøk 2.

Alle prøvene ble gravd ut med en gravemaskin og veid i en vektkasse med tralle, se Figur 45. Etter at materialene var gravd ut og veid ble det lagt en presenning over hvert av prøvehullene. Presenningen har mål 9.65 x 5.75m og dekket hvert hull veldig godt. Hvert hull ble så fylt med vann, der man telte antall liter for å kunne finne volumet av hullet, se Figur 47. Utfra dette vil man få en densitet på det komprimerte laget som igjen kan sammenliknes med responsmålingene til valsen.

Vekten ble kalibrert to ganger med to forskjellige metoder siden det var kjent fra før av at vekten hadde en viss feilmargen. De to metodene beskrives nedenfor.

*Metode 1:* Vektkassen ble kalibrert før første måling for å få gode resultater. Vekten ble satt på det mest horisontale område som fantes oppe på testområde. Siden vekten består av en kasse som er satt opp på en gjekk måtte alle materialene gjekkes opp for å få veid dem. Kalibreringen gikk ut på å

se hvor stor feilmargin man hadde ved å gjekke vekten opp og ned på samme område et visst antall ganger. Det ble totalt tatt 17 tester for å kalibrere vekten.

Metode 2: Vektkassen ble kalibrert igjen etter alle testene var utført. Det ble da brukt vann for å kalibrere vekten. Kassen ble fylt med et kjent antall liter vann og man så utfra hva vekten viste hvor stor feilmarginen var på. Det ble totalt veid fem ganger for å kalibrere vekten.

Utfra kalibreringen for metode 1, fant man en feilmargin på 15 kg, og for metode to viste det seg å være en feilmargin på 15-25 kg for lav vekt men feilmarginen stabiliserte seg ved 30kg for økende vekt. Alle kalibreringsresultatene er presentert i bilag 3.

Det ble også målt densitet av steintypen for å kunne sammenlikne dette med total densitet av det komprimerte steinlaget. Det ble tatt 9 prøver utfra samme steinmaterial som er benyttet til valseforsøkene og densitetsmålingene, se Figur 48. Testen ble utført ved å veie de 9 steinene i tørr tilstand, for så å legge de i vann og måle volumet av steinene. Det ble beregnet et gjennomsnitt av de 9 steinene, visst i bilag 12.



Figur 45: Vektkasse



Figur 46: Bilde av testområde som viser hullene der prøvene ble tatt ut



*Figur 47: Presenning med vann i testhull 1*



*Figur 48: Steinmaterialer, 0-400 mm*

## 8 RESPONSMÅLINGER PÅ MASSER

Her presenteres all data fra feltarbeidet som omhandler responsmålinger og setningsdataene. Alle dataene blir også vurdert.

### 8.1 PRESENTASJON AV DATA

Nedenfor vil alle dataene fra valseforsøkene blir presentert i egne kapiteler for å gjøre det enklere å lese.

#### 8.1.1 LEICA SITT BRUKERGRENSESNITT CONX

Conx er brukergrensesnittet til Leica. Det er her all data fra responsmåleren havner under valseforsøkene og kan hentes ut i ettertid. Siden ConX er webbasert kan man følge valsen live når den komprimerer. Bruk av ConX forklares nærmere i bilag 11, men det vil bli vist enkelte bilder fra ConX videre i oppgaven.

#### 8.1.2 CMV

Responsmålingene fra de to valseforsøkene er oppsummert i Tabell 8 og Tabell 10. Verdiene for CMV er et gjennomsnitt av alle responsmålingene som er registrert under kjøringen, siden valsen måler responsverdien kontinuerlig. Tabell 9 og Tabell 11 viser akkumulert CMV og % endring i CMV.

Valseforsøkene ble kjørt på en strekning på omlag 30 meter lang. Det ble kjørt med varierende hastighet mellom 2 og 4 km/t over valseområdet. Utskift av rapport fra ConX viser at valsen ligger på en gjennomsnittshastighet rundt 4 km/t, med en treffprosent på rundt 60%, se bilag 13. Det ble også kjørt med relativt høy frekvens og amplitude.

Overfart	CMV	Standardavvik	Standardavvik i % av CMV
1	32.34	13.27	41 %
2	35.71	14.98	42 %
3	45.46	20.27	45 %
4	49.05	19.78	40 %
5	59.85	23.68	40 %
6	61.58	24.39	40 %
7	68	23.38	34 %
8	62.64	26.89	43 %
9	67.66	26.97	40 %
10	67.42	31.61	47 %

Tabell 8: CMV for flo 1

Overfarter	CMV	Akkumulert CMV	Andel av akkumulert CMV
0	0	0	0
1	32.34	32.34	100 %
2	35.71	3.37	9 %
3	45.46	9.75	21 %
4	49.05	3.59	7 %
5	59.85	10.8	18 %
6	61.58	1.73	3 %
7	68	6.42	9 %
8	62.64	-5.36	-9 %
9	67.66	5.02	7 %
10	67.42	-0.24	0 %

Tabell 9: Akkumulert CMV for flo 1

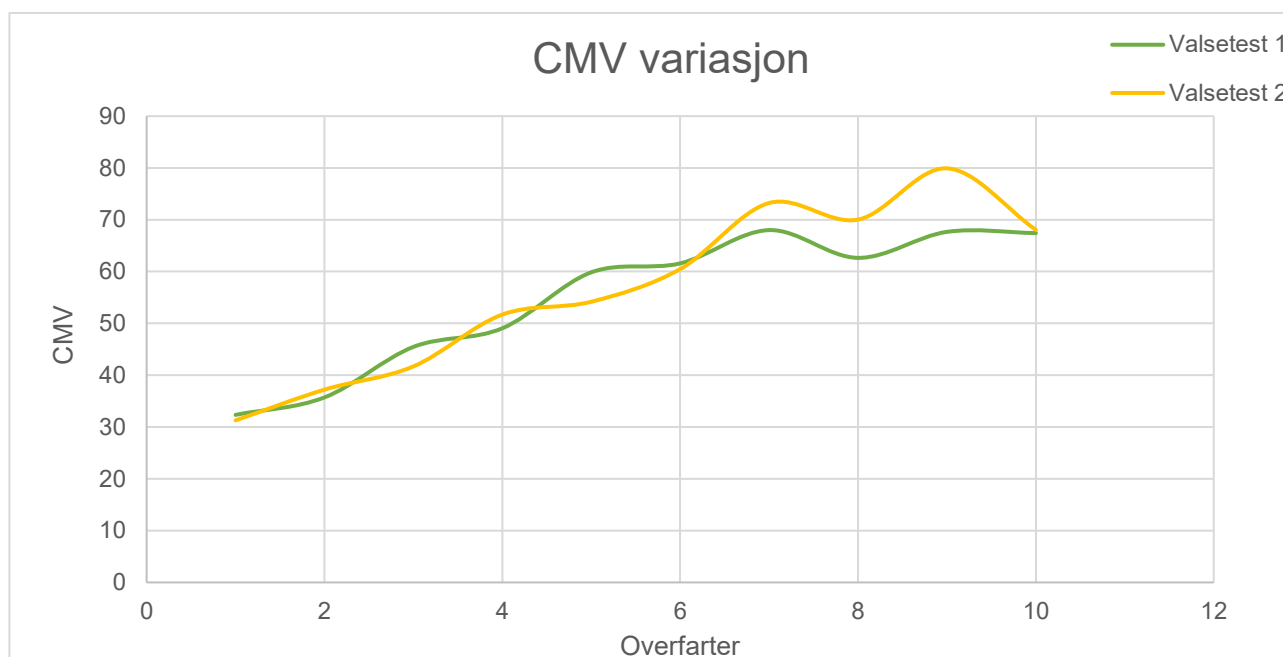
Overfart	CMV	Standardavvik	Standardavvik i % av CMV
1	31.27	13.44	43 %
2	37.21	13.22	36 %
3	41.69	13.63	33 %
4	51.7	22.5	44 %
5	54.17	16.7	31 %
6	60.47	31.6	52 %
7	73.23	34.89	48 %
8	70.02	27.19	39 %
9	79.92	27.34	34 %
10	68.03	31.39	46 %

Tabell 10: CMV for flo 2

Overfarter	CMV	Akkumulert CMV	Andel av akkumulert CMV
0	0	0	
1	31.27	31.27	100 %
2	37.21	5.94	16 %
3	41.69	4.48	11 %
4	51.7	10.01	19 %
5	54.17	2.47	5 %
6	60.47	6.3	10 %
7	73.23	12.76	17 %
8	70.02	-3.21	-5 %
9	79.92	9.9	12 %
10	68.03	-11.89	-17 %

Tabell 11: Akkumulert CMV for flo 2

Variasjonen i CMV for de to valseforsøkene kan sees i Figur 49.

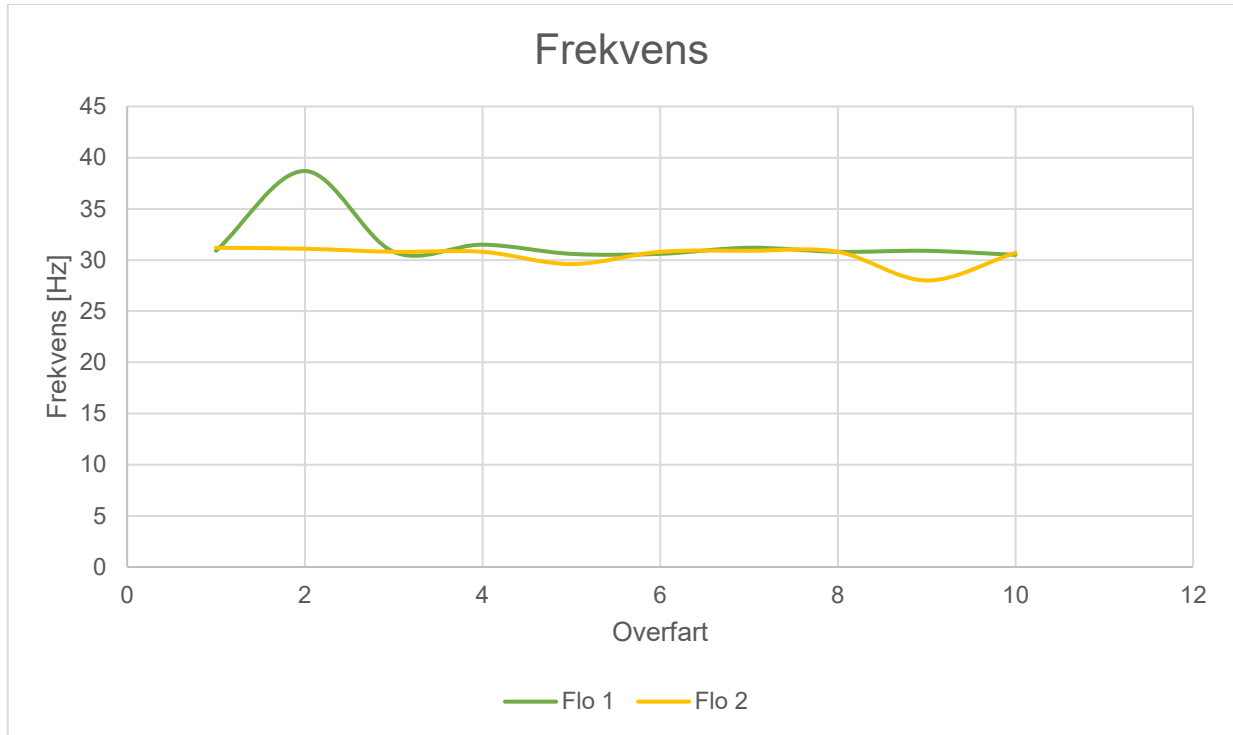


Figur 49: CMV variasjon

### 8.1.3 FREKVENS

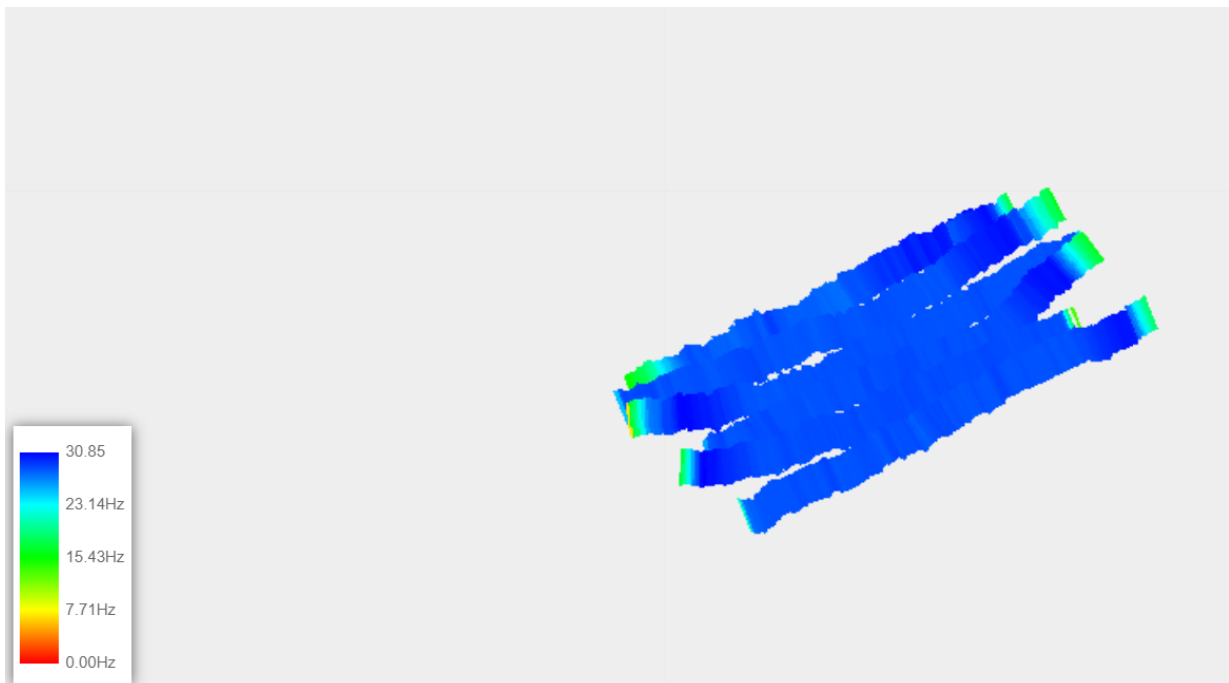
Ved å velge frekvens i nedtrekksmenyen får man ut en rapport over gjennomsnittsfrekvensen som er målt under testen. Ved å sette sammen alle frekvensene mot overfarer kan man få ut en graf som viser tendensene i frekvensmålingene, se Figur 50. Denne grafen viser at frekvensen holder seg relativt likt for flo 2 mens den varierer mer for flo 1. Man kan også se at frekvensen for begge floene er veldig like. Det var meningen at valse skulle kjøre med ulik frekvens over de to floene, men utfra resultatene har ikke dette blitt gjort. Grunnen er mest sannsynlig menneskelig svikt i forhold til videreføring av beskjeder mellom deltakere i valseforsøket.





Figur 50: Frekvens oversikt

Ut fra Figur 51 ser man at frekvensen har holdt seg jevnt på rundt 31 Hz gjennom hele valsingen over dette laget. Punktene med grønn farge har litt lavere frekvens enn resten, rundt 15 Hz.



Figur 51: Frekvens fra valserapport

8.1.4 AMPLITUDE

Amplitude henger tett sammen med frekvensen og defineres som halve bølgehøyden, se Figur 14. Ved å velge amplitude i nedtrekks-menyen får man ut maksimal amplitude som er brukt under valseforsøkene. Det virker som valsen bare måler maksimal amplitude siden man ikke får noen minimal amplitude og dermed heller ikke noen gjennomsnittsamplitude slik som for de andre parameterne.

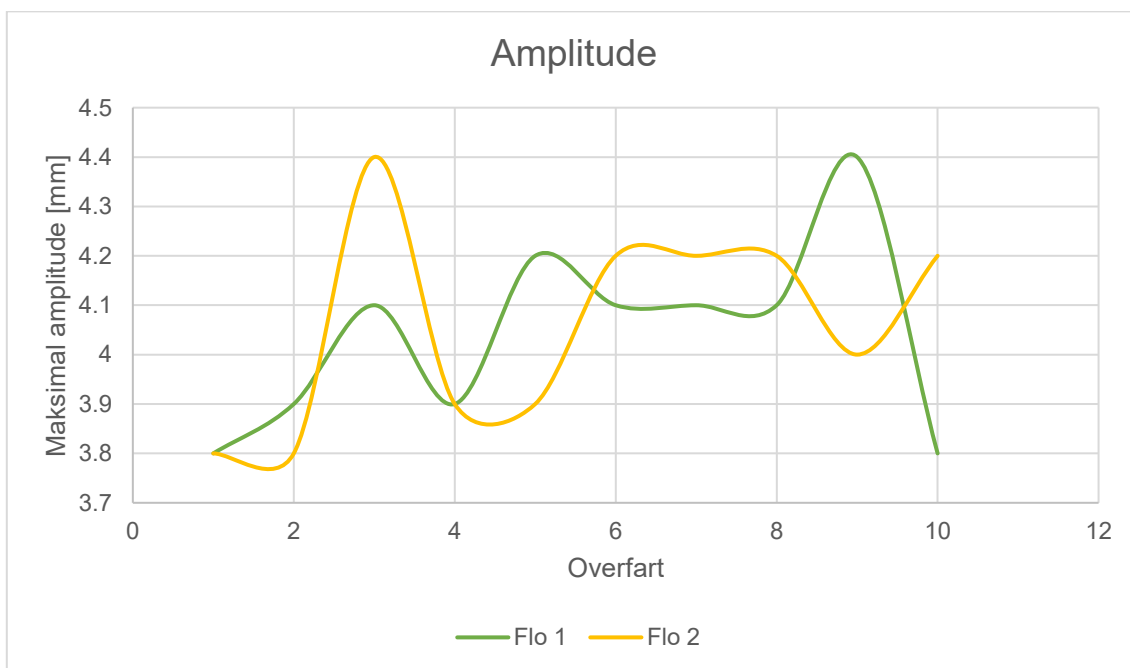
Flo 1	Overfart	Amplitude
		[mm]
	1	3.8
	2	3.9
	3	4.1
	4	3.9
	5	4.2
	6	4.1
	7	4.1
	8	4.1
	9	4.4
	10	3.8

Tabell 12: Amplitude flo 1

Flo 2	Overfart	Amplitude
		[mm]
	1	3.8
	2	3.8
	3	4.4
	4	3.9
	5	3.9
	6	4.2
	7	4.2
	8	4.2
	9	4
	10	4.2

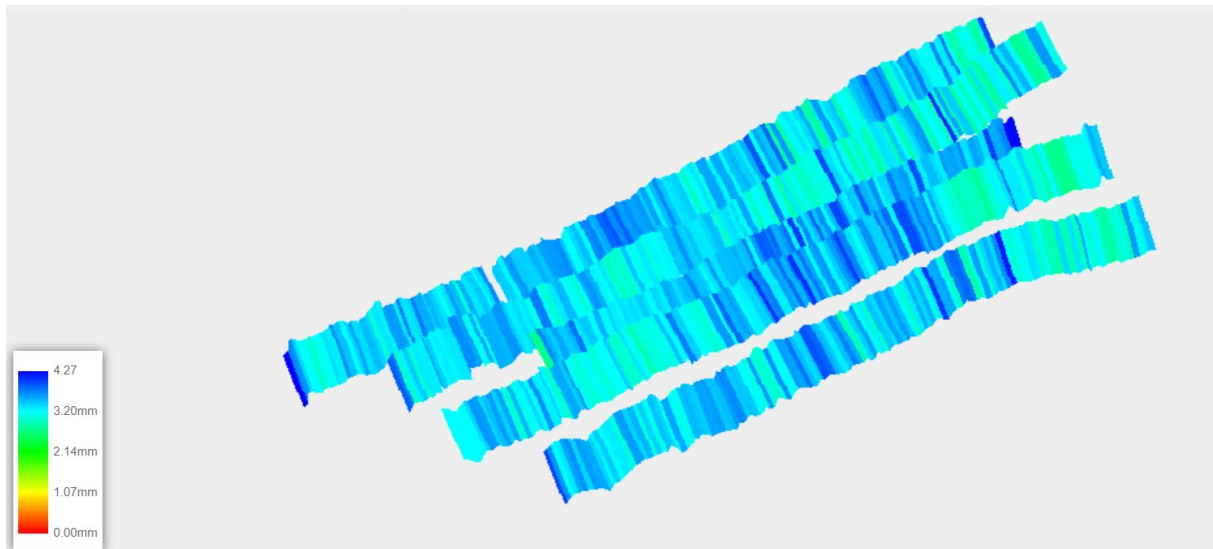
Tabell 13: Amplitude flo 2

Figur 52 viser maksimal amplitude for de to valseforsøkene i forhold til antall overfarter. For valseforsøk 1 øker amplituden i hopp og når sitt toppunkt etter 9 overfarter, mens for valseforsøk 2 kommer toppunktet etter 3 overfarter før amplituden synker og øker ujevnt.



Figur 52: Amplitude for flo 1 og 2

Figur 53 viser et bilde av hvordan amplituden blir fremstilt i Conx. Man ser utfra fargekodene hvilken amplitude som er brukt. Den mørke blå tilsvarer 4.3mm og lysere blå tilsvarer 3.2mm.



Figur 53: Visualisering av amplitude

### 8.1.5 HASTIGHET

Hastighet har også innvirkning på måleresultatene. Det er mulig å få ut gjennomsnittshastighet for hver overfart og et valsekart som viser hvor valsen har kjørt.

Ut fra Figur 54 kan man se hvor stor hastighet valsen har hatt under en overfart. Figuren viser også at valsen har hatt en lavere hastighet (0-4 km/t) når komprimeringen har pågått og høyere hastighet når valsen har kjørt utenfor forsøksområdet, (4-11km/t). Det ble av og til kjørt en runde utenfor forsøksområdet. Grunnen var for at valsen skal kunne starte på samme sted for hver overfart, men det hendte at denne runden gikk på motsatt side av det som er vist i Figur 54 eller langs skulderen til forsøksområdet.

Tabell 14: Hastighet for de to testene Tabell 14 viser at gjennomsnittshastigheten for begge forsøkene ligger nær 4 km/t, og har en treffprosent på rundt 60%.

Test	Gjennomsnitt hastighet totalt [km/t]	% treff innenfor område [%]
1	3.73	63.08
2	3.79	60.54

Tabell 14: Hastighet for de to testene



Figur 54: Valsemønstre i forhold til hastighet

#### 8.1.6 SETNING

Under de to valseforsøkene ble det i tillegg målt setninger. For flo 1 ble det målt setninger i 16 punkt, og for flo 2 ble det målt i 12 punkt per overfart. Totalt sett blir det 308 setningsmålinger. Alle setningsmålingene er presentert i bilag 4.

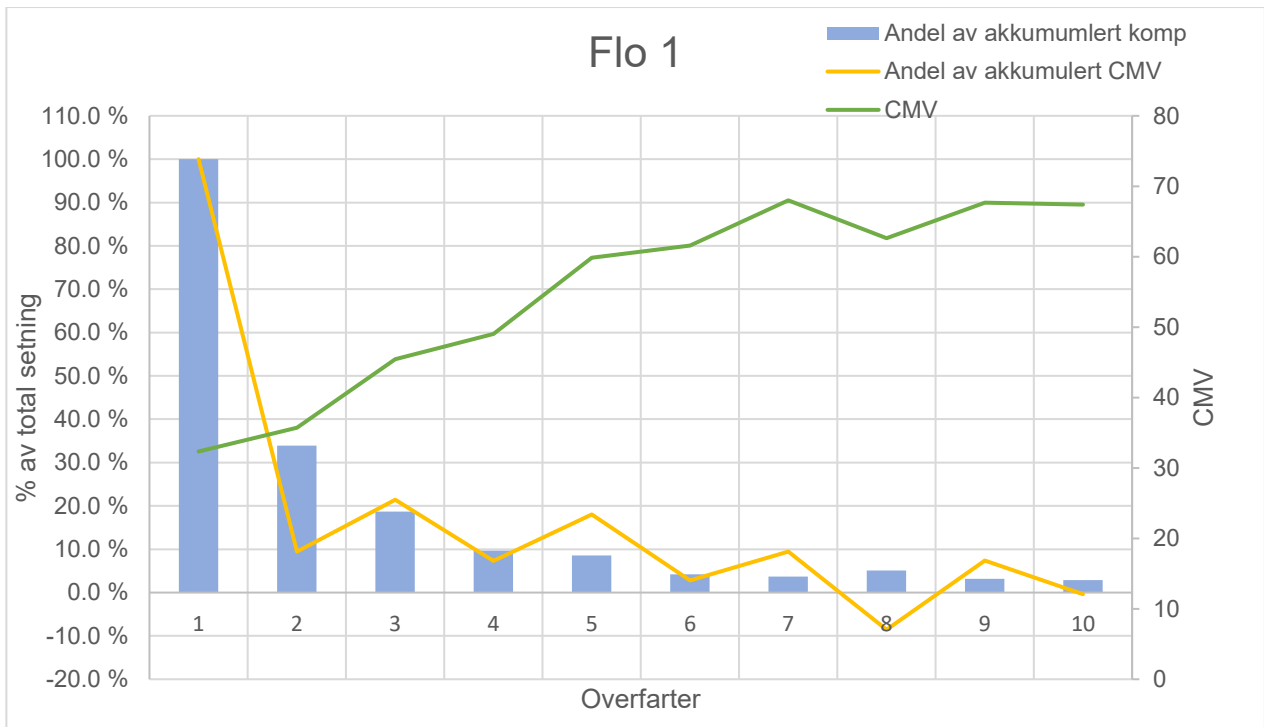
For å kunne sammenlikne setningene med responsmålingene ble det beregnet et gjennomsnitt av setningene per overfart. Overfart er den eneste fellesnevneren for de to parameterne så det er naturlig å fremstille dataene etter antall overfarter. For setningsmålingene ble det også beregnet total setningen etter hver overfart, samt prosent gjennomsnittlig komprimering av total setning pr lag. Utfra tallene presentert i Tabell 15: Setningsmålinger for flo 1 Tabell 15 og Tabell 16 kan man lese av når setningen ikke øker med mer enn 10% mellom hver overfart (merket med rødt). Dermed kan man bestemme det optimale antallet overfarter, basert på setningsmåling, jamfør krav fra Håndbok N200, i kapittel 6.2.3. I dette tilfelle er det optimale antallet overfarter 4 og 6 for henholdsvis flo 1 og flo 2.

<b>Snitt flo 1</b>				
<b>Overfarter</b>	<b>Høyde (snitt)</b>	<b>Komprimering (snitt)</b>	<b>Akkumulert komprimering</b>	<b>Andel av akkumulert komp</b>
	[moh]	[mm]	[mm]	[%]
0	686.90	0	0	
1	686.87	38.375	38.375	100.0 %
2	686.85	19.6875	58.0625	33.9 %
3	686.83	13.375	71.4375	18.7 %
4	686.83	7.625	79.0625	9.6 %
5	686.82	7.375	86.4375	8.5 %
6	686.81	3.8125	90.25	4.2 %
7	686.81	3.4375	93.6875	3.7 %
8	686.81	5	98.6875	5.1 %
9	686.80	3.25	101.9375	3.2 %
10	686.80	3	104.9375	2.9 %

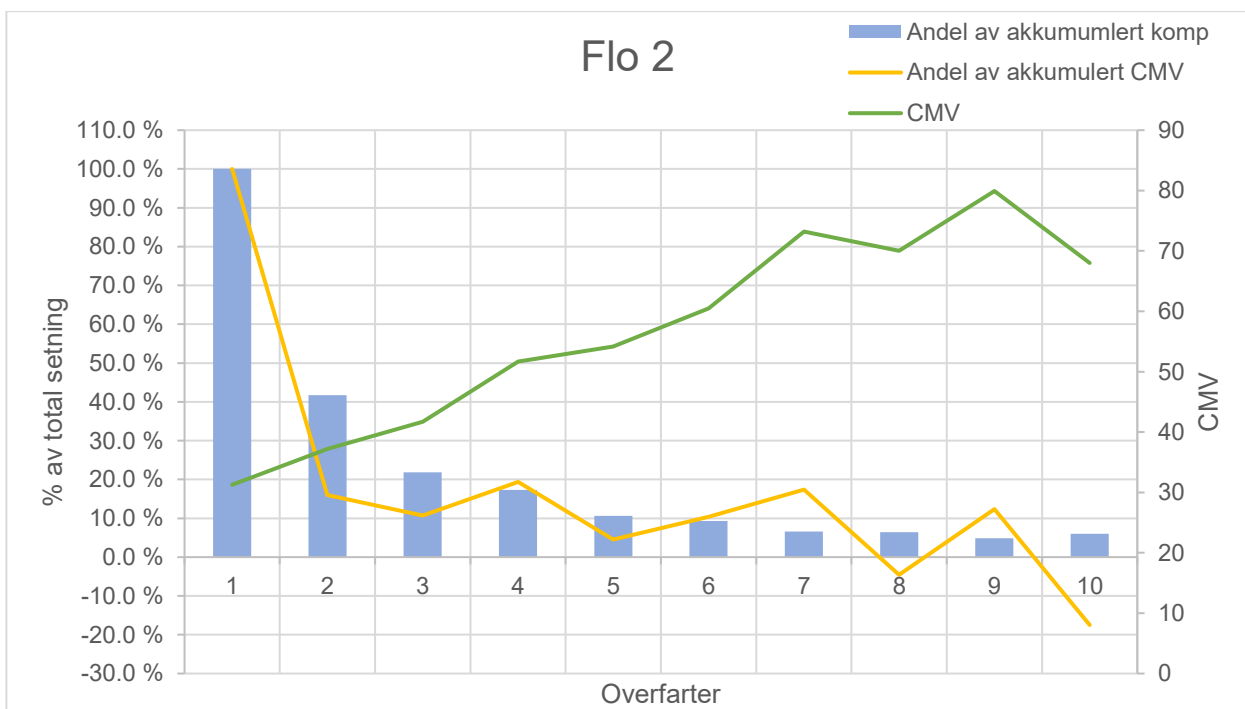
Tabell 15: Setningsmålinger for flo 1

<b>Snitt flo 2</b>				
<b>Overfarter</b>	<b>Høyde (snitt)</b>	<b>Komprimering (snitt)</b>	<b>Akkumulert komprimering</b>	<b>Andel av akkumulert komp</b>
	[moh]	[mm]	[mm]	[%]
0	687.53	0	0	
1	687.52	16.89	16.89	100.0 %
2	687.51	12.08	28.97	41.7 %
3	687.50	8.08	37.06	21.8 %
4	687.49	7.75	44.81	17.3 %
5	687.49	5.33	50.14	10.6 %
6	687.48	5.17	55.31	9.3 %
7	687.48	3.92	59.22	6.6 %
8	687.47	4.08	63.31	6.5 %
9	687.47	3.25	66.56	4.9 %
10	687.47	4.25	70.81	6.0 %

Tabell 16: Setningsmålinger for flo 2



Figur 55: Endring i setning, CMV og endring i CMV for flo 1



Figur 56: Endring i setninger, CMV og endring i CMV for flo 2

Figur 55 og Figur 56 viser endring i setning, endring i CMV og responsverdien. Man kan se når endringen i CMV avtar (den gule linjen). Grafen viser også at endring i CMV og endring i setningen følger hverandre relativt jevnt frem til henholdsvis 5 og 7 overfarer for valseforsøk 1 og 2. Den

grønne linjen viser målt CMV, og for begge valseforsøkene begynner endringen i CMV å bli negativ etter 7 overfarter.

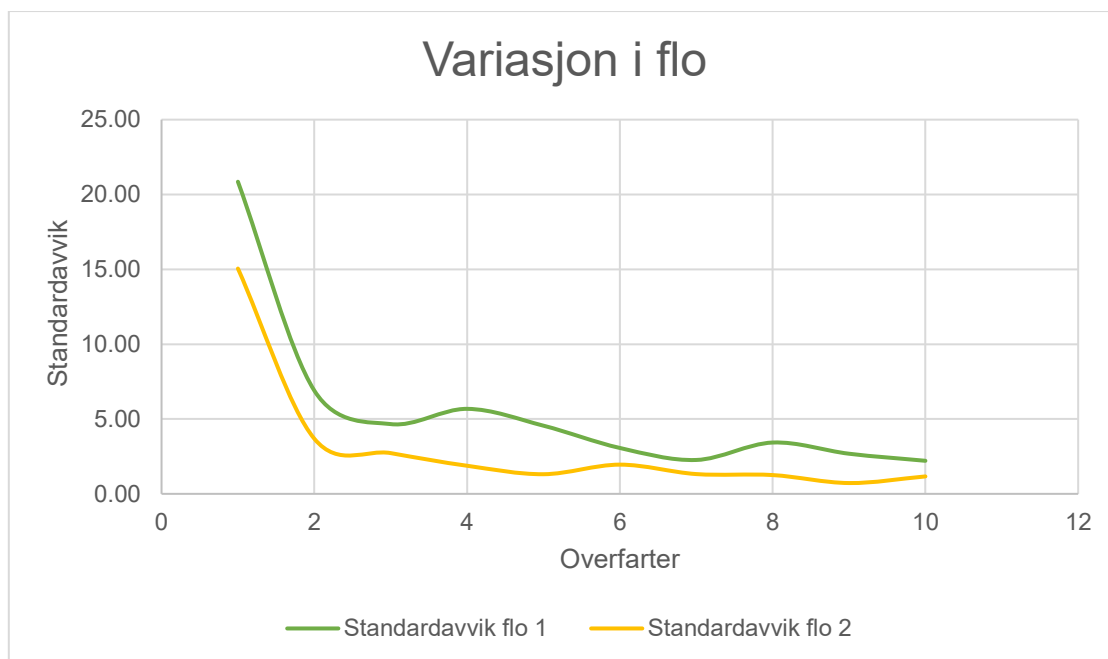
Tabell 17 og Tabell 18 viser setninger med tilhørende standardavvik. I tillegg ser man standardavviket i % av setning for å se hvor mye standardavviket utgjør av den målte setningen for hver enkelt overfart. For valseforsøk 1 er utgjør standardavviket 74% av den målte setningen for overfart 4, mens for valseforsøk utgjør standardavviket 38% av den målte setningen for overfart 6.

Overfart	Snitt komprimering [mm]	Standardavvik	Standardavvik i % av setning [%]
1	38.3750	20.8533	54 %
2	19.6875	6.8985	35 %
3	13.3750	4.6601	35 %
4	7.6250	5.6775	74 %
5	7.3750	4.5535	62 %
6	3.8125	3.0663	80 %
7	3.4375	2.2630	66 %
8	5.0000	3.4278	69 %
9	3.2500	2.6810	82 %
10	3.0000	2.2079	74 %

Tabell 17: Setningen valseforsøk 1

Overfart	Snitt komprimering [mm]	Standardavvik	Standardavvik i % av setning [%]
1	16.88888889	15.05060907	89 %
2	12.08333333	3.684615162	30 %
3	8.083333333	2.722080495	34 %
4	7.75	1.876388375	24 %
5	5.333333333	1.312334646	25 %
6	5.166666667	1.950783318	38 %
7	3.916666667	1.320248293	34 %
8	4.083333333	1.255543264	31 %
9	3.25	0.721687836	22 %
10	4.25	1.16368667	27 %

Tabell 18: Setninger valseforsøk 2



Figur 57: Standarddavig variasjon

Figur 57 viser variasjonen i standarddaviget for setningsmålingene. Standarddavig viser hvor mye hver setning varierer fra middelverdien. Det kan være en god indeks på hvor korrekte dataene er og eventuelt hvor det er store forskjeller i dataene.

Ved å se på total setning mot lagtykkelse kan man se hvor mye total setning utgjør av hele laget. Utfra Tabell 19 kan man se at for valseforsøk 1 er total setning større enn for valseforsøk 2. Det kan tenkes at flo 1 vil sette seg mer som et resultat av at underlaget er stivere og vil gi mindre respons til valsen enn ved flo 2. Tabellen viser også at total setning utgjør 13% for flo 1 og 9% for flo 2.

Valseforsøk	Lagtykkelse	Total setning	Setning i % av lagtykkelse
[Nr]	[mm]	[mm]	[%]
1	800	104.93	13 %
2	800	70.80	9 %

Tabell 19: Total setning i forhold til lagtykkelse

## 8.2 VURDERING

Her vurderes alle resultatene fra valseforsøkene. Vurderingen er delt opp i flere kapitler for å gjøre det enklere for leseren.

### 8.2.1 CMV

Man ser fra Tabell 8 og Tabell 10 at CMV varierer mellom 30 – 70 for de to valseforsøkene. For forsøk 1 når man ikke en høyere CMV enn 68, mens for valseforsøk 2 er høyeste CMV på 73. Tabellene viser også at standarddaviget for valseforsøk 2 er litt større enn for valseforsøk 1, noe som indikerer at verdiene i valseforsøk 2 varierer litt mer enn for forsøk 1.

Standarddavigene er relativt store i forhold til den tilhørende gjennomsnittsverdien for CMV, noe som tyder på at CMV varierer mye innad i datasettet. Siden det ikke ble mulig å åpne datasettet med alle CMV-målingene kan ikke dette utprøves, men utregningene av gjennomsnittlig CMV og



tilhørende standardavvik er beregnet av en datamaskin. Dermed er det lite som tyder på at det har oppstått en beregningsfeil.

Ut fra Figur 49 kan man se at etter sju overfarter så synker responsverdien før den øker igjen på neste overfart. Hadde dette vært tilfelle for en enkel CMV måling kunne man tenkt at valse kjørte over en stor stein og etterpå traff en mykere del av floen, mens for dette tilfellet gjelder det mellom overfarter. En mulig forklaring er at laget blir overkomprimert, og dermed vil knuses og løsne i toppen. Det gjør at responsverdien går ned fordi det oppstår mindre motstand mot valsetrommelen. Når laget er løsnet og knust vil valse komprimere laget på nytt og CMV-en vil øke, som følge av økt motstand. Dette er i så fall et sikkert tegn på at floen ikke trenger ytterligere komprimering. Det er flere som bekrefter at en negativ endring i CMV tyder på overkomprimering, se Figur 29 i kapittel 6.3.

Kapittel 3.3.1 beskriver kravet satt til responsmålinger fra Statens Vegvesen. Ved å se på Tabell 9 og Tabell 11 er kravet tilfredsstillt ved 2 overfarter for flo 1, og 5 overfarter for flo 2. Det er ganske stor forskjell mellom antall overfarter som tilfredsstillt kravene for flo 1 og flo 2. Det kan komme av ulike variabler som måledybden, ulikt utgangspunkt i forhold til underlaget mellom floene, vanninnhold og start av målingene.

Det er kjent fra kapittel 6.3.2 at valse kan ha en måledybde på rundt 1 m for valser mellom 11.5 og 14.9 tonn. I vårt tilfelle brukes en valse på 16 tonn og lagtykkelsen er 0.8 m. Det vil mest sannsynlig føre til at valse måler respons også for underlaget under den aktuelle floen. Det er vanskelig å vite hvor mye dette påvirker resultatene, men i kapittel 6.3.2 er det beskrevet flere parametere som kan ha innvirkning på måledybden som for eksempel vibrasjonskraft, amplitude og valsevekt. Det er ikke fullført noen punktmålinger som har ulik måledybde i denne oppgaven så dette punktet blir ikke diskutert videre.

For at responsmålingene skal bli korrekte må valse nullstilles og endre lag for hver overfart. Det ble avsatt et område hvor valse skulle nullstilles for å få likt utgangspunkt for hver overfart. Likevel er det vanskelig å vite akkurat hvor dette område er, i og med at området ikke var merket på noe vis. Det kan tenkes at dette utgjør en feilkilde, men det er vanskelig å vite hvor mye denne feilkilden påvirker målingene. Det kan antas at feilkilden er lik for begge floene og at datasettene blir like mye påvirket av dette. Ved komprimering av lag på dammen vil man ikke ha dette problemet i like stor grad så det er valgt å se bort ifra innvirkningen dette kan ha på resultatene.

Ulike vanninnhold er det vanskelig å vite noe om. Steinmaterialene har blitt oppbevart ute, men de er fra samme materialhaug så man kan anta at vanninnholdet er relativt likt. Fra kapittel 4.2 forstår man at vanninnhold har lite å si for resultatet under responsmålinger på så store steinmaterialer, og denne feilkilden kan neglisjeres.

(Mooney, 2010) påpeker, etter sine feltforsøk, at heterogenitet i underlagene er den største feilkilden i responsmålingene. I vårt tilfelle er flo 1 lag oppå et lag med ukjent stivhet, mens flo 2 ble lagt oppå den første floen. Det fører til en heterogenitet i underlagene og et ulikt utgangspunkt for valseforsøkene. Dermed vil målingene fra valseforsøk 2 også ta med respons fra flo nummer 1, som kan føre til ulik komprimeringsgrad for de to forsøkene.

Er laget under flo 1 veldig hardt, vil valsingen over flo 1 oppnå tilfredsstillende komprimering etter færre overfarter enn for flo 2. I vårt tilfelle trengs det flere overfarter for flo 2, så mest sannsynlig er laget under flo 1 hardere enn laget under flo 2.

Det kan også være tilfelle at begge lagene under floene er omtrent like stive og variasjonene i CMV skyldes andre variabler. Diskusjonene overfor tar for seg mulige variabler som kan virke inn på resultatene men dette burde undersøkes ytterligere. I vårt tilfelle, basert på diskusjonen overfor av

mulige variabler, resultatene i denne oppgaven og de 200 valseforsøkene utført av (Mooney, 2010), er det mest sannsynlig heterogenitet mellom underlagene som påvirker CMV-målingene.

Ved bygging av dammer legges floene oppå hverandre før de komprimeres. Det fører til at tilfelle med flo 2, som ligger oppå flo 1, beskriver situasjonen til de fleste lagene i dammen, og burde være utgangspunktet for eventuelle retningslinjer. Det kan eventuelt tas hensyn til at flo 1 burde komprimeres mer færre overfarter enn de påfølgende lagene om dette viser seg å være en trend i ytterlige valseforsøk.

For disse valseforsøkene ble det ikke målt RMV (Resonant meter value) som sier noe om hvordan valsen oppfører seg under valsing, men det kan tenkes at ved mange overfarter vil det oppstå dobbelthopp. Det ble også nevnt fra valsefører at valsen opplyste at det var fare for dobbelthopp ved enkelte overfarter.

Ifølge Fredrik Berentsen fra Leica vil valsen oppdage fare for dobbelthopp i tilfeller der det ikke oppstår dobbelthopp. Dette baseres på større måledybde enn lagtykkelse. I slike tilfeller vil responsen fra underlaget være større enn den faktiske responsen fra den aktuelle floen, og valsen vil varsle om dobbelthopp fordi laget under floen er stivere.

### 8.2.2 FREKVENNS

Frekvens ble holdt likt for begge valseforsøkene men man kan se utfra Figur 50 at frekvensen varierer mer for flo 1 enn for flo 2. Dette kan avhenge av hastigheten som er kjørt med, men utfra Tabell 14 har valseforsøket på flo 1 høyere treffprosent med en gitt hastighet. Endring i frekvens kan også sees i sammenheng med CMV-verdiene for valseforsøk på flo 1. Likevel viser Figur 49 at det er valseforsøk på flo 2 som varierer mest. Frekvensen varierer mest på overfart 2 for valseforsøket, og det kan tenkes at denne overfarten hadde en del svakere punkter som gjorde at amplituden økte og dermed også frekvensen. Utfra kapittel 6.3.2 ser man at frekvens har stor innvirkning på komprimeringen. Likevel viser Figur 50 at variasjonen i frekvens er såpass liten at det i dette tilfellet antas at påvirkningen på responsverdiene er neglisjerbar.

### 8.2.3 AMPLITUDE

Amplitude avhenger av hvilken frekvens det er kjørt med. Figur 53 viser at amplituden varierer relativt lite for begge valseforsøkene og gjennomsnittet ligger på 4.1 mm +/- 0.3 mm. For valseforsøk 2 når amplituden toppunktet sitt etter 3 overfarter, mens valseforsøk 1 når samme toppunkt etter 9 overfarter. Siden amplitude henger nøye sammen med responsverdien kan det tenkes at samme variasjoner vil finne sted i responsmålingene. Figur 49 viser derimot ikke samme tendenser i variasjon. Det kan også tenkes at valsen har høyere amplitude for å respondere på svakere punkter i laget og derfor vil variere for antall overfarter.

Samtidig vet man at CMV måles lengre ned enn lagtykkelsen, rundt 1 m, og dette kan også påvirke amplituden. Ifølge (Mooney, 2010) vil en variasjon i amplituden (+/- 0.30 mm) ha stor betydning for om underlaget er heterogent eller homogent. Dette styrker påstanden om at heterogene underlag gir ulik responsmåling og at underlaget under flo 1 var relativt ulikt laget under flo 2.

Ut fra kapittel 5.2.4 burde amplituden ligger mellom 1.5 - 2.0 mm for komprimering av tykke lag av store materialer. I dette tilfelle er amplituden det dobbelte av det som anbefales fra (Lars Forssblad, 1981). Det kan føre til at laget blir mer nedknust enn nødvendig. Samtidig kan det være at den anbefalte amplituden gjelder for tykkere lag og større steinmaterialer slik at det ikke vil ha en signifikant påvirkning på materialene i dette tilfellet.

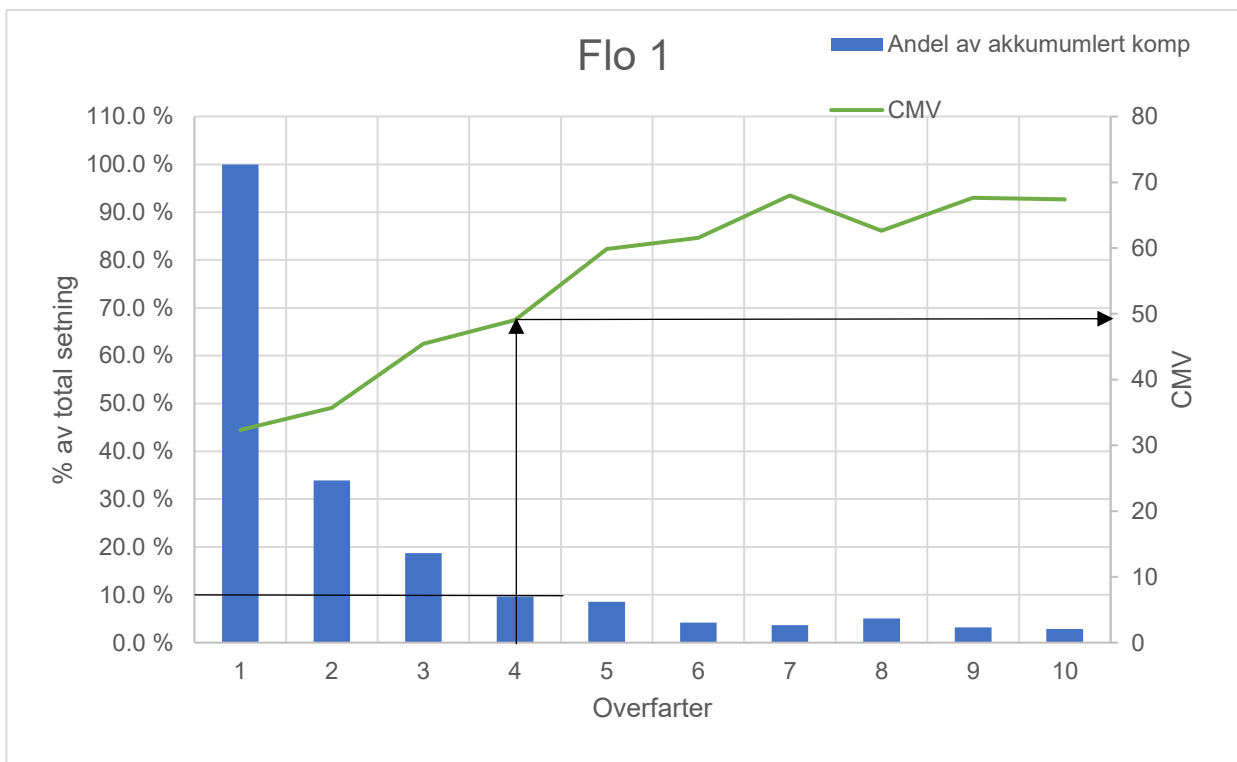
Det kan tenkes gjennomsnittsamplitude ville være lavere i dette tilfellet, men man får bare ut den maksimale amplituden, se kapittel 8.1.4, som gjør at det ikke er sammenlignbart med andre anbefalte amplituder, da disse mest sannsynlig er gjennomsnittsamplitude.

## 8.2.4 HASTIGHET

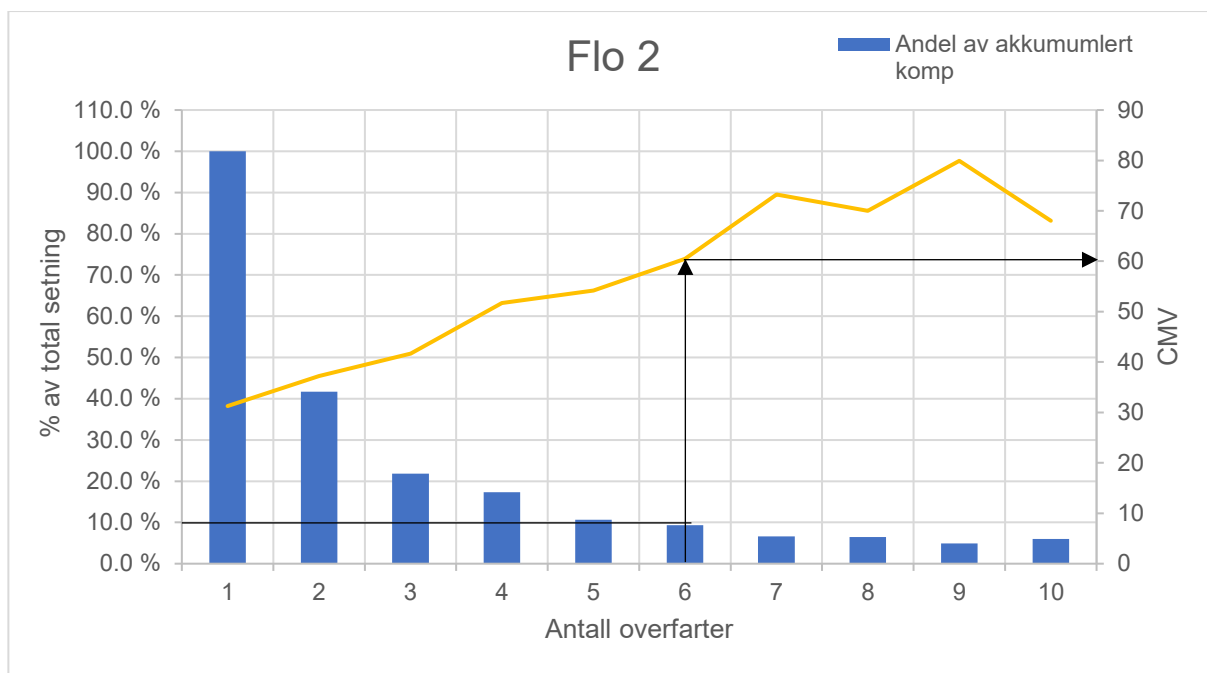
I 8.1.5 ser man at gjennomsnittshastigheten for de ulike valseforsøkene er svært like og holder seg på nesten 4 km/t. Siden de er såpass like vil ikke dette påvirke målingene i noen stor grad. Figur 54 viser at mesteparten av hastigheten på valseområde er mellom 0 – 4km/t, men det er kjørt en runde utenfor område som har større hastighet. Det er vanskelig å avgjøre hvor stor del av snitthastigheten som har blitt påvirket av den kjørerunden rundt valseområde. Samtidig ble ikke denne ekstra kjørerunden kjørt for hver overfart, og heller ikke på samme plass hver gang. Det kan likevel tenkes at forskjellene mellom de ulike overfartene og floene blir utjevnet, og at snitthastigheten derfor kan regnes som relativt sikker.

Kapittel 5.2.5 nevner at optimal kjørehastighet ligger mellom 3 og 6 km/t og i dette tilfellet ligger hastigheten til valsen innenfor dette intervallet. Med tanke på frekvensen som brukt under valseforsøkene, rundt 30 Hz, vil det være mellom 18 og 36 slag pr meter, (Lars Forssblad, 1981). Siden hastigheten holder seg relativt jevn over komprimeringsområdet kan det antas at det ikke vil ha noen konsekvens for komprimeringseffekten.

## 8.2.5 SETNING



Figur 58: Resultater flo 1



Figur 59: Resultater flo 2

Det er forventet av setningen skal avta etter flere overfarer, og utfra Tabell 15 og Tabell 16 stemmer det for de aktuelle målingene.

Grafene ovenfor, se Figur 58 og Figur 59, viser hvor mange passeringen som trengs for å tilfredsstille kravet beskrevet i kapittel 3.3. Verdiene er markert med grønne piler, og viser at 4 og 6 overfarer er nok for henholdsvis flo 1 og 2. Kravet satt i den tekniske planen for dam Langevatn er på mellom 6 og 10 overfarer som er høyere enn det som trengs for å tilfredsstille kravet. (Sweco, 2017), se bilag 1. Man ser utfra resultatene presentert her at flo 1 trenger vesentlig færre overfarer enn flo 2.

Utfra grafene kan man se at CMV ligger på henholdsvis 58 og 60 når endringen i setninger er på mindre enn 10%. Dette viser at målverdien «target value» satt til 60 er innenfor hva som er realistisk, og verdiene hentet fra (Lars Forssblad, 1981) stemmer godt med resultatet her.

Ved å se på standardavviket for valseforsøk 2, se Figur 57, kan man se at det er høyest ved seks overfarer, som også er måleverdien for å tilfredsstille kravet til 10% endring i setning. Dermed har man størst variasjon i dette området, noe som gjør at man kan tvile på om målverdien er rett. Det kan tenkes at man trenger flere eller færre overfarer for å tilfredsstille kravet.

Samtidig er feilkildene relativt store for setningsmålinger som gjør at man i det hele tatt kan tvile på målingene tatt. En rekke feilkilder presenteres i kapittel 11.2.

Overfarter	Andel av akkumulert CMV	Andel av akkumulert komp
0	0	
1	100 %	100.0 %
2	9 %	33.9 %
3	21 %	18.7 %
4	7 %	9.6 %
5	18 %	8.5 %
6	3 %	4.2 %
7	9 %	3.7 %
8	-9 %	5.1 %
9	7 %	3.2 %
10	0 %	2.9 %

Tabell 20: Flo 1

Overfarter	Andel av akkumulert CMV	Andel av akkumulert komp
0		
1	100 %	100.0 %
2	16 %	41.7 %
3	11 %	21.8 %
4	19 %	17.3 %
5	5 %	10.6 %
6	10 %	9.3 %
7	17 %	6.6 %
8	-5 %	6.5 %
9	12 %	4.9 %
10	-17 %	6.0 %

Tabell 21: Flo 2

Ut fra disse tabellene, henholdsvis **Feil! Fant ikke referansekilden.** og **Feil! Fant ikke referansekilden.**, kan man se at for flo 1 er kravet til 10% endring i setning tilfredsstilt ved 4 overfarter mens kravet til 10% endring i CMV er tilfredsstilt etter 2 overfarter. For flo 2 gjelder det for henholdsvis 5 og 6 overfarter for CMV og setningen. Samtidig ser man ut fra standardavvikene til CMV og setningsmålinger, er standardavvikene relativt mye større for setning enn for CMV. Dermed har setningsmålingene større variasjon enn CMV, og antall overfarter burde ta utgangspunkt i resposmålingene.

Tabell 19 viser total setning i forhold til lagtykkelsen, og den utgjør 13% for flo 1 og 9% for flo 2. Ifølge kapittel 4.2.2 ser man at antatt overhøyde ligger på 25% for steinfylling. I dette tilfellet er volumendringen i fyllingen lavere enn 25% og man trenger derfor ikke legge ut fyllingen med 25% overhøyde. Det er uvisst hvordan steinfylling antagelsen er basert på, men det kan tenkes at ved å legge ut en overhøyde på 25% ikke vil utgjøre en stor forskjell i forhold til resultatene i denne oppgaven.

## 9 MÅLING AV DENSITET

Dette kapitlet presenterer data fra densitetsmålingene som er utført. I tillegg vil alle målingene vurderes.

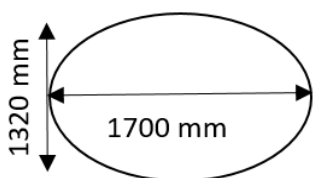
### 9.1 PRESENTASJON AV RESULTATER

Det ble totalt tatt tre densitetsprøver. Grunnen til at det ikke ble tatt flere er fordi mengdene og arbeidet ble så stort at det var vanskelig å utføre flere. Det ble kun gjort densitetstest etter siste valserunde på flo 2. Dette har også grunnlag i arbeidsmengde og ressursbruk. Densitetsmålingene er utført på velgraderte steinmasser, 0-400mm. Det tilsvarer sone 4A og 4B i støttefyllingen. Alle resultatene er presentert i bilag 12, og er vist i Tabell 22.

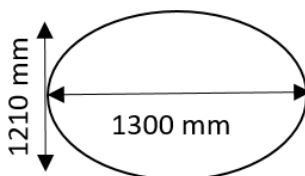
Prøve nummer	Volum	Volum	Masse	Densitet
	[liter]	[m <sup>3</sup> ]	[kg]	[kg/m <sup>3</sup> ]
1	406	0.406	1191.5	2934.729064
2	567.5	0.5675	1310.5	2309.251101
3	510	0.51	1180	2313.725490

Tabell 22: Densitetsmålinger

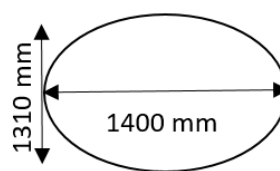
- Prøve 1 tilsvarer et hull med dybde på 0.51 m og størrelse på 1.70 m og 1.32 m i diameter, se Figur 60. Volumet av hullet tilsvarer 406 liter vann. Omregnet til kubikkmeter blir volumet 0.406 m<sup>3</sup>. Vekten av materialet gravd ut fra hullet veide 1191.50kg.
- Prøve 2 tilsvarer et hull med dybde på 0.70 m og størrelse på 1.30 m og 1.21 m i diameter, se Figur 61. Volumet av hullet tilsvarer 567.50 liter vann som blir 0.5675 m<sup>3</sup>. Vekten av materialene som ble gravd ut var 1310.50kg.
- Prøve 3 tilsvarer et hull med dybden 0.65m og størrelse på 1.40 m og 1.31 m i diameter, se Figur 62. Vekten av materialene som ble gravd ut er 1180 kg. Volumet av hullet tilsvarer 510 liter vann eller 0.510 m<sup>3</sup>.



Figur 60: Prøvehull 1



Figur 61: Prøvehull 2



Figur 62: Prøvehull 3

Siden vekten viste stabilt 30 kg for lite ved prøver på over 300 kg ble densiteten beregnet på nytt med de nye vektene, se Tabell 23.

Volum	Ny vekt	Ny densitet
[m <sup>3</sup> ]	[kg]	[kg/m <sup>3</sup> ]
0.406	1161.5	2860.83
0.5675	1280.5	2256.39
0.510	1150	2254.90

Tabell 23: Ny densitet

Det ble også tatt en densitetstest av et utvalg av stein fra samme steinbrudd. Resultatene fra denne testen blir presentert i Tabell 24.

Stein nummer	Vekt, tørr	Volum, vann	Volum	Densitet	Gjennomsnitt densitet
Stk	[kg]	[liter]	[m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
1	2.028	0.7	0.0007	2897.14	2659.11
2	1.397	0.5	0.0005	2794.00	2659.11
3	1.751	0.9	0.0009	1945.56	2659.11
4	0.911	0.3	0.0003	3036.67	2659.11
5	3.781	1.4	0.0014	2700.71	2659.11
6	1.357	0.6	0.0006	2261.67	2659.11
7	2.206	1	0.001	2206.00	2659.11
8	6.85	2.3	0.0023	2978.26	2659.11
9	1.556	0.5	0.0005	3112.00	2659.11

Tabell 24: Densitetstest for steinmaterialet

## 9.2 VURDERING

Siden det ikke ble tatt flere densitetsmålinger underveis i komprimeringsarbeidet er det umulig å sammenlikne oppnådd densitet med en CMV-måling. Det man kan få utav denne testen er total densitet etter 10 overfarter og man kan sammenlikne oppnådd densitet med densitet av steintypen.

Ut fra Tabell 25 er densiteten for prøve 2 og 3 under densiteten til steintypen (2659,11 kg/m<sup>3</sup>). Det gir mening fordi ved komprimering vil man få luftlommer mellom steinmaterialene som reduserer densiteten. Fra prøve nummer 1 er densiteten høyere enn densiteten av steintypen. Det stemmer ikke siden man, ved komprimering, ikke kan få høyere densitet enn densiteten av selve steinmaterialet.

Ved å sammenlikne densiteten av steinmaterialet med densitet av de komprimerte områdene kan man se hvor mye hulrom det er igjen i fyllingen etter komprimering. Tabell 25 kolonne 4 viser den komprimerte densiteten i prosent av densiteten til steintypen. For prøve 1 er prosenten over hundre noe som indikerer at denne målingen er feil, mens for prøve 2 og 3 er prosenten 85 for begge, det betyr at den komprimerte massen inneholder 15% hulrom.

Masse	Ny densitet	Densitet av steintypen	Sammenlikning av densitet
[kg]	[kg/m]	[kg/m]	[%]
1191.50	2860.84	2659.11	108 %
1310.50	2256.39	2659.11	85 %
1180.00	2254.90	2659.11	85 %

Tabell 25: Hulrom i komprimert fylling

Det finnes flere feilkilder ved en slik densitetsmåling. For eksempel kan vekten som veier steinene vise feil, hull i presenningen, menneskelige feil som feilmåling, avlesning og usikkerhet rundt når hullet er helt fylt med vann og holde tellingen på antall liter som går med til målingen.

Ved å se på resultatene etter den kalibrerte vekten ble brukt, se Tabell 23, har fortsatt prøve nummer 1 for høy densitet, slik at feilmålingen med vekt kan utelukkes.

Presenningen ble også sjekket for hull uten å finne noen tegn til dette. Samtidig ble presenningen først brukt på prøve nummer 1 og deretter på prøve nummer 2 og 3 så hadde det vært et hull ved det første målingen ville alle prøvene blitt påvirket. Samtidig ville prøve 2 og/eller 3 blitt påvirket om hullet kom etter bruk på prøve 1.

## Måling av densitet

For å unngå menneskelige feil kunne man benyttet en vannslange med måler, vært flere som kontrollerte målingene underveis, utført testmålinger og/eller utført flere målinger. Det er mest sannsynlig av menneskelige feil utgjør den største feilkilden i disse målingen.

Optimalt ville man utført flere tester underveis i komprimeringsarbeidet, for eksempel etter 2, 4, 6 og 8 overfarer, slik at man kunne sett oppbygningen av densiteten underveis. Dermed kunne man bestemt når densiteten er god nok og sett om dette korrelerte med CMV og setningsmålingen. Dette var ikke mulig som beskrevet overfor på grunn av tiden satt av til å utføre målinger.

Type stein som foreligger på Ljosland er av typen hornblendegranitt, som er en type granitt. I følge Figur 9 ser man at granitt har en densitet mellom  $2500 \text{ kg/m}^3$  til  $2890 \text{ kg/m}^3$ , og som vi ser av Tabell 24 stemmer dette godt overens med den målte densiteten fra steintypen som er hentet fra steinbruddet.



## 10 VURDERING FRA LITTERATURSTUDIE

Under litteraturstudie har det vært kontakt med flere fagfolk og fagmiljøer angående komprimering av tidligere bygde dammer i Norge, komprimeringsmetodikk og valsedata fra andre valseforsøk med responsmålinger. Et resultat av uthentet informasjon presenteres nedenfor, samt en sammenlikning og vurdering av resultatene opp mot forsøkene gjort i denne oppgaven.

### 10.1 DAM FOLLSJØ

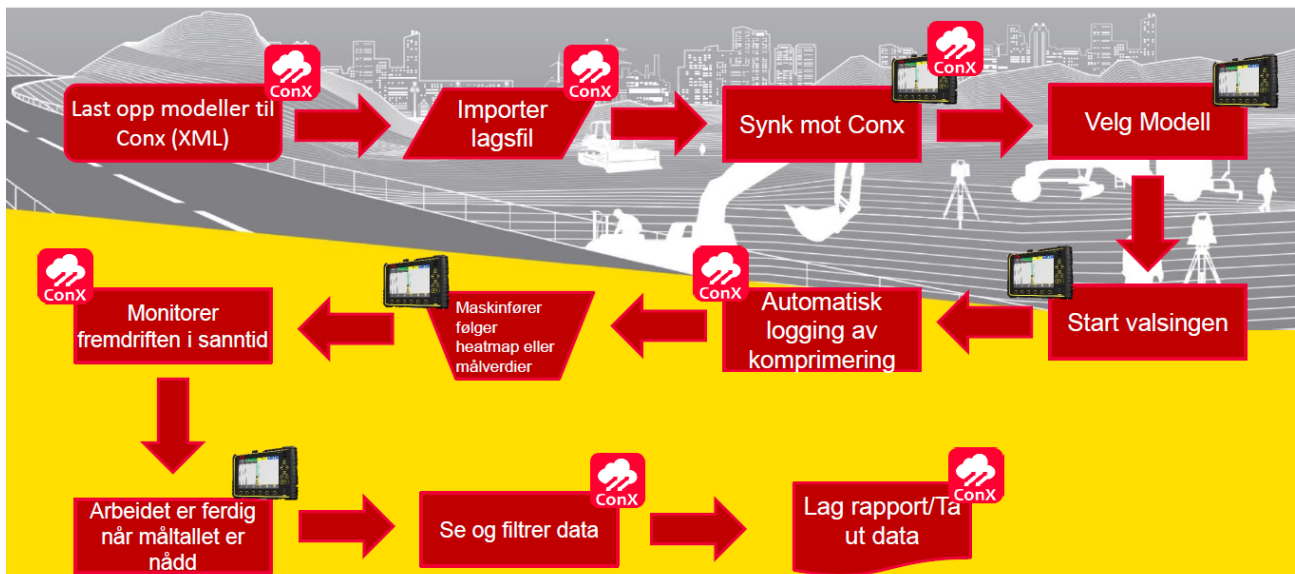
Follsjødammen driftes av Statkraft energi AS og er en del av Trollheim Kraftverk. Det ble i 1969 utført en geoteknisk kontroll av Follsjødammen, utført av Norges geotekniske institutt. Der ble det konstatert av støttefyllingen ble lagt ut i lag fra 2 – 5 meter og spylt under byggingen.

I 2011 ble Follsjødammen revurdert av Sweco. Utfra den revurderte rapporten har det siden ferdigstilling (1969) til 2012 blitt registret en total setning på ca. 2,5 % av damhøyden. Dette defineres som veldig store setninger. Det påpekes i rapporten at noe av årsaken til de store setningene er på grunn av byggemåten til støttefyllingen med store flotykkelser, for lite spyling grunnet problem med utstyr og mye finstoff i støttefyllingen nedstrøms. Det er også flere årsaker til de store setningene men man ser utfra rapporten at innbygging og komprimering av støttefylling er en viktig del av setningsbilde til dammen. Se bilag 8 for rapporter.

### 10.2 VALSEOPPSETT FRA LEICA-GEOSYSTEMS

Etter et telefonmøte med Fredrik Berentsen i Leica-Geosystems ble det mottatt et valseoppsett som har blitt presentert i en power-point-presentasjon gjort av Fredrik for andre valseførere om komprimering. Under presenteres utdrag fra denne presentasjonen.

## Arbeidsflyt



21

—when it has to be right  
**Leica**  
 Geosystems

Figur 63: Flytskjema for responsmålinger

Figur 63 viser et flytskjema som beskriver hvordan responsmålingene brukes under valsingen og hvordan man får overført og bearbeidet data fra komprimeringen. Mye av den samme metodenikken er benyttet i valseforsøkene gjort i denne oppgaven.

## To metoder for å finne CMV-verdien

### Metode 1:

- Vals et testområde til delta CMV viser under 10% endring i stivheten fra forrige overfart.
- Legg inn CMV-verdien fra valsen i lagsfilen.
- Kontroller resultatet med en godkjent målemetode (nivellering, platetest osv.)

### Metode 2:

- Vals et testområde (3 valsebredder X minimum 20m)
- Kjør et antall overfarter du vet er for lite, kontroller.
- Kjør et antall overfarter som sannsynligvis er for lite, kontroller.
- Kjør et antall overfarter som sannsynligvis er nærmest riktig, kontroller.
- Kjør et antall overfarter som er for mye, kontroller.
- For hver kontroll må det tas ut en rapport på gjennomsnitt CMV-verdi fra CONX.
- Når kontrollen viser at resultatet er ok, vil den aktuelle gjennomsnitt CMV-verdien du får fra CONX være den riktige å bruke som måltall i lagsfilen.



Figur 64: Metoder for bruk av CMV

Figur 64 presenterer hvordan CMV kan brukes i komprimeringsarbeidet og hvordan man finner en «target value». Metode 1 tar utgangspunkt i metoden beskrevet i Håndbok N200 og metode 2 benytter seg av samme valseområde presentert i kapittel 6.2.6 av (Breitenbach, 1993). Metode 2 er en versjon av kalibreringsmetoden beskrevet i kapittel 6.2.6, og brukes i Tyskland og Østerrike, se kapittel 6.3.1.

### 10.3 DATA FRA TIDLIGERE VALSEFORSØK PÅ DAM LANGEVATN

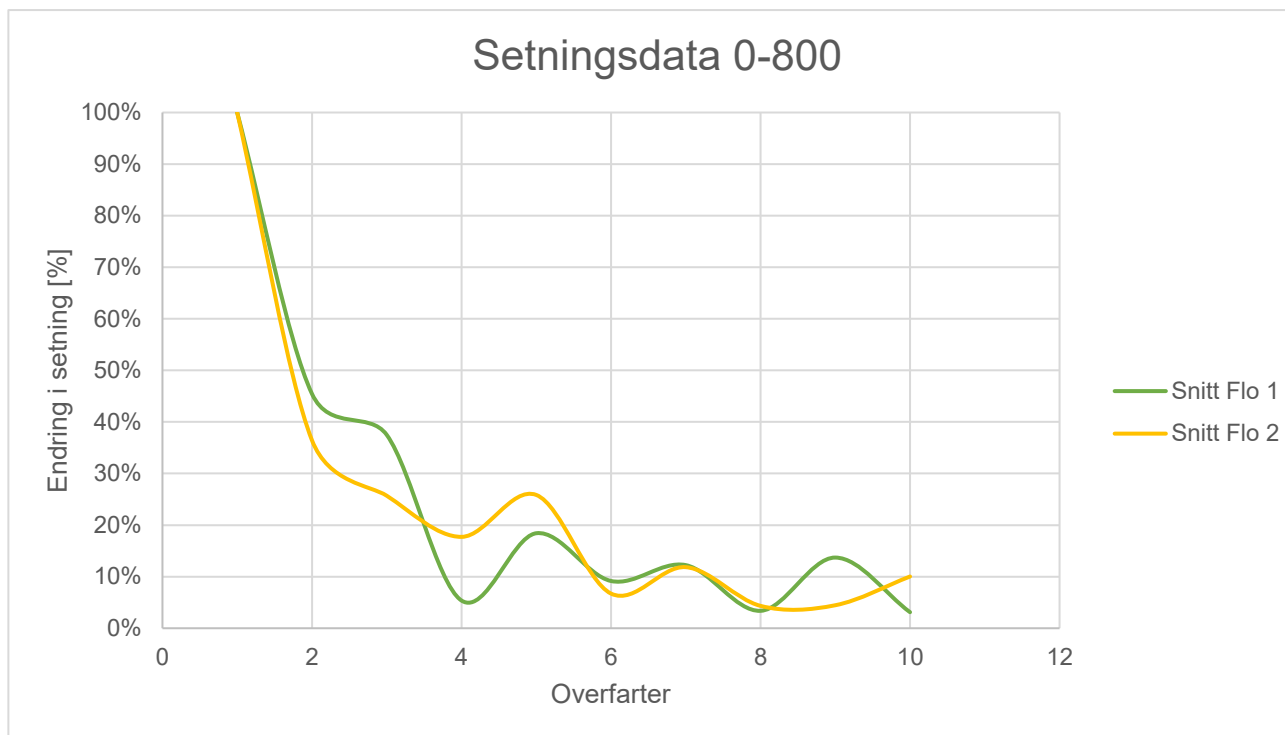
Det er utført flere valseforsøk på dam Langevatn, men det ble kun målt setning og ikke CMV for disse testene. De andre valseforsøkene ble utført på materialer for den største delen av støttefyllingen, 0-800 mm steinmaterialer. Det ble også brukt en tyngre vals enn den som er brukt i valseforsøkene for 0-400 mm, henholdsvis en 20 tonnns Hamm vals (Hamm, 2019b). Lagtykkelsen var på 1.6 m som tilsvarer dobbelt av maksimal steinstørrelsen. Data for setningene som er målt presenteres og vurderes her.

<b>Snitt Flo 1</b>				
<b>Overfart</b>	<b>Høyde (snitt)</b>	<b>Komprimering(snitt)</b>	<b>Komp. Akkumulert</b>	<b>Andel av komp. Akk</b>
<b> [#]</b>	<b> [moh]</b>	<b> [mm]</b>	<b> [mm]</b>	<b> [%]</b>
0	686.96	0.00	0.00	
1	686.95	12.00	12.00	1.00
2	686.94	10.00	22.00	0.45
3	686.93	13.20	35.20	0.37
4	686.92	2.00	37.20	0.05
5	686.92	8.40	45.60	0.18
6	686.91	4.60	50.20	0.09
7	686.90	7.00	57.20	0.12
8	686.90	2.00	59.20	0.03
9	686.89	9.40	68.60	0.14
10	686.89	2.20	70.80	0.03

Tabell 26: Setningsdata flo 1

<b>Snitt Flo 2</b>				
<b>Overfart</b>	<b>Høyde (snitt)</b>	<b>Komprimering(snitt)</b>	<b>Komp. Akkumulert</b>	<b>Andel av komp. Akk</b>
<b> [#]</b>	<b> [moh]</b>	<b> [mm]</b>	<b> [mm]</b>	<b> [%]</b>
0	688.61	0.00	0.00	
1	688.60	13.60	13.60	1.00
2	688.59	7.80	21.40	0.36
3	688.58	7.40	28.80	0.26
4	688.58	6.20	35.00	0.18
5	688.57	12.20	47.20	0.26
6	688.56	3.40	50.60	0.07
7	688.55	6.80	57.40	0.12
8	688.55	2.60	60.00	0.04
9	688.55	2.80	62.80	0.04
10	688.54	7.00	69.80	0.10

Tabell 27: Setningsdata flo 2

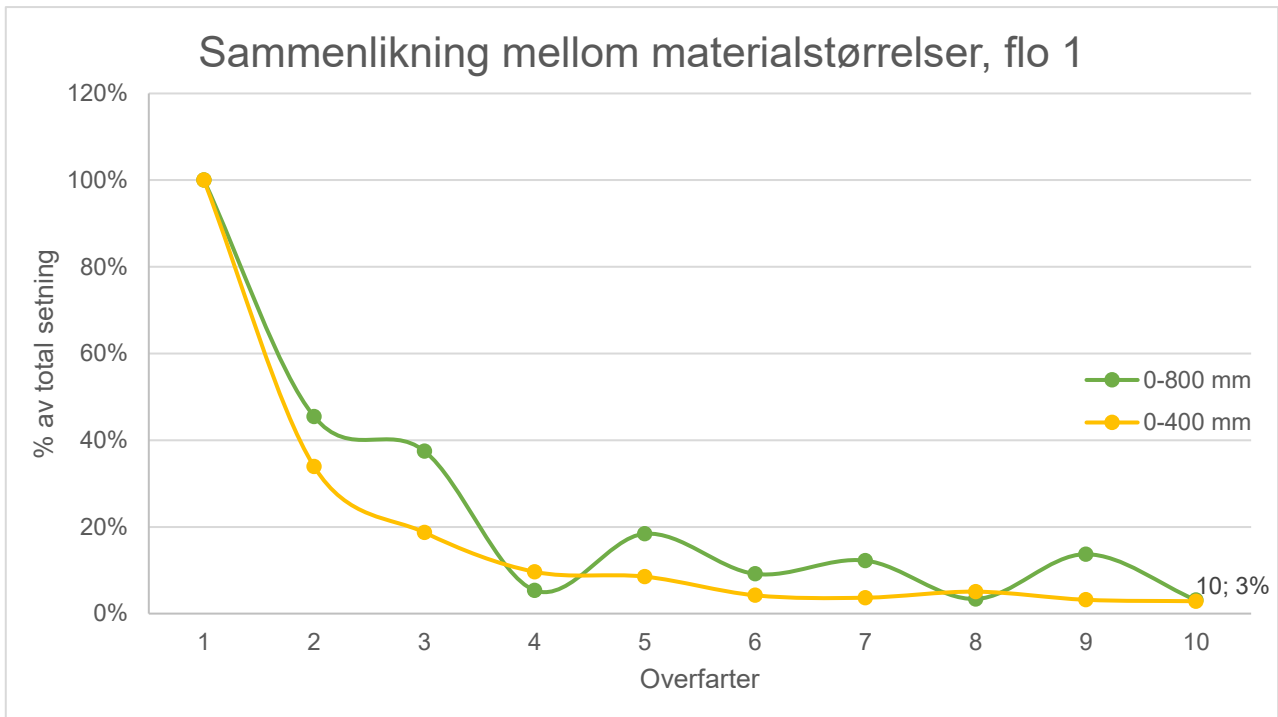


Figur 65: Endring i setning for flo 1 og 2

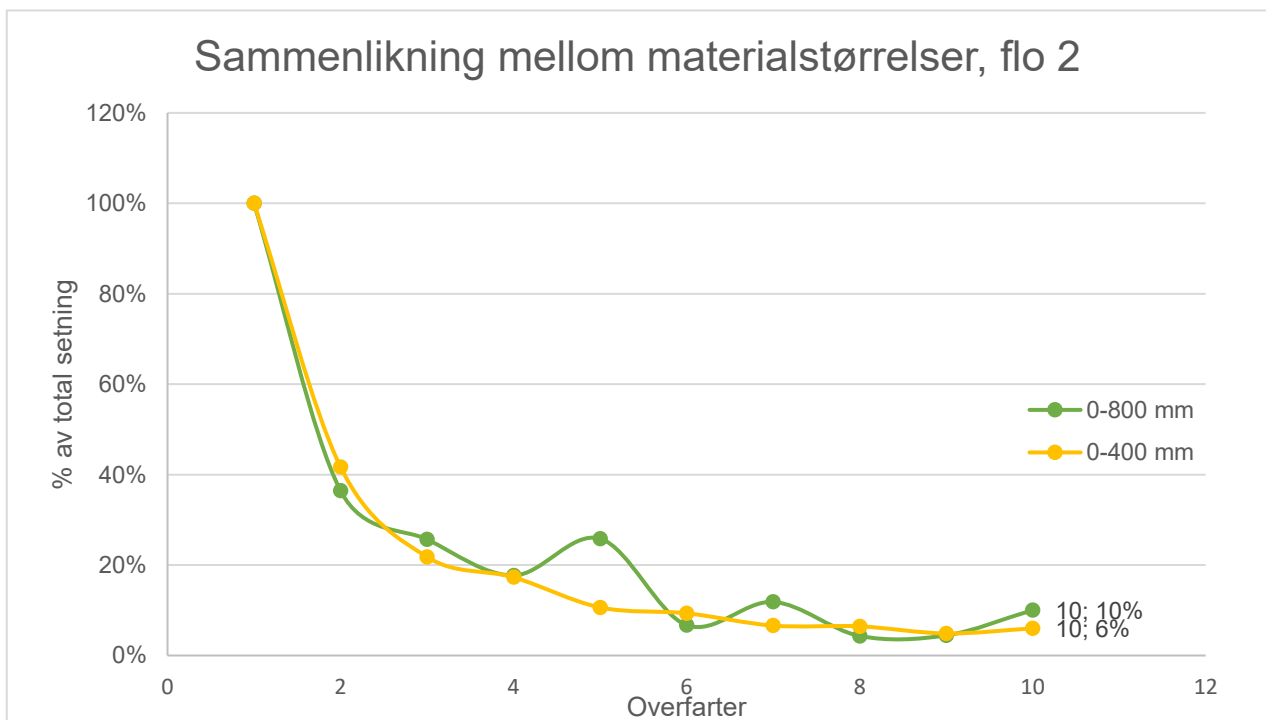
Disse dataene er relativt like som de for 0-400 mm i forhold til 10% kravet i setningsendring. Det kan tenkes at CMV for disse materialene ville hatt et likt forløp som for 0-400 mm, altså en negativ endring i CMV for de siste overfartene. For flo 1 nås 10% målet etter 4 overfarter mens for flo 2 nås det etter 6 overfarter. I dette tilfellet er også flo 2 lagt oppå flo 1.

Et annet funn fra disse dataene er at etter 4 overfarter for begge floene går setningen først ned før den på overfart 5 går opp igjen. Det kan tenkes at det skyldes en overkomprimering og løsning av laget. Likevel kan det også være målefeil med tanke på hvor store steiner man har med å gjøre for dette laget. Selv om målepunktene markeres med kryss og man prøver å måle på samme punkt hver gang kan det oppstå situasjoner der målepunktet har flyttet seg for mye.

I og med at setningsdataene for 0-800 mm viser samme trend som 0-400 mm kan det være relevant å se hvordan de to valseforsøkene for hver materialstørrelse korrelerer. Utfra figurene nedenfor kan man se at for valseforsøk 2, Figur 67, er setningsdataene relativt like uavhengig av 0-400 mm og 0-800 mm, mens for valseforsøk 1, Figur 66, er det mer variabelt. Siden flo 1 for begge valseforsøkene er plassert ulike steder er det sannsynlig at det utgjør forskjellen i datasettene. Likheter i dataene for valseforsøk 2 kan begrunnes av at floene ligger oppå flo 1 i begge tilfellene. Samtidig er begge floene komprimert med 10 overfarter hver. Det viser at underlaget har relativ stor innvirkning på setningsmålingene, og samtidig viser det at oppførselen for de to materialstørrelsene er relativt lik. Dermed kan det tenkes at også responsmålingene vil være relativt like og eventuelle retningslinjen kan fungere for begge materialstørrelsene.



Figur 66: Sammenlikning valseforsøk 1



Figur 67: Sammenlikning valseforsøk 2

#### 10.4 SAMMENLIKNING MED ANDRE ARBEIDER

(Fladvad, 2012b) har utført et liknende arbeid med responsmålinger for veibygging. Forsøkende er gjort på sorter kult 22/250 mm med en lagtykkelse på 120 cm (1.2 m). Massene ble komprimert med åtte overfarter. Det ble også målt setninger under valsingen for å kontrollere målingene. CMV-målingene blir presentert her for å kunne sammenlikne med målingene gjort i denne oppgaven.

Overfart	CMV	Standardavvik
1	17,01	4,81
2	16,18	3,24
3	16,98	3,51
4	17,13	3,97
5	20,23	3,60
6	16,43	2,59
7	23,53	4,42
8	26,67	8,08

(a) Valsetest 1

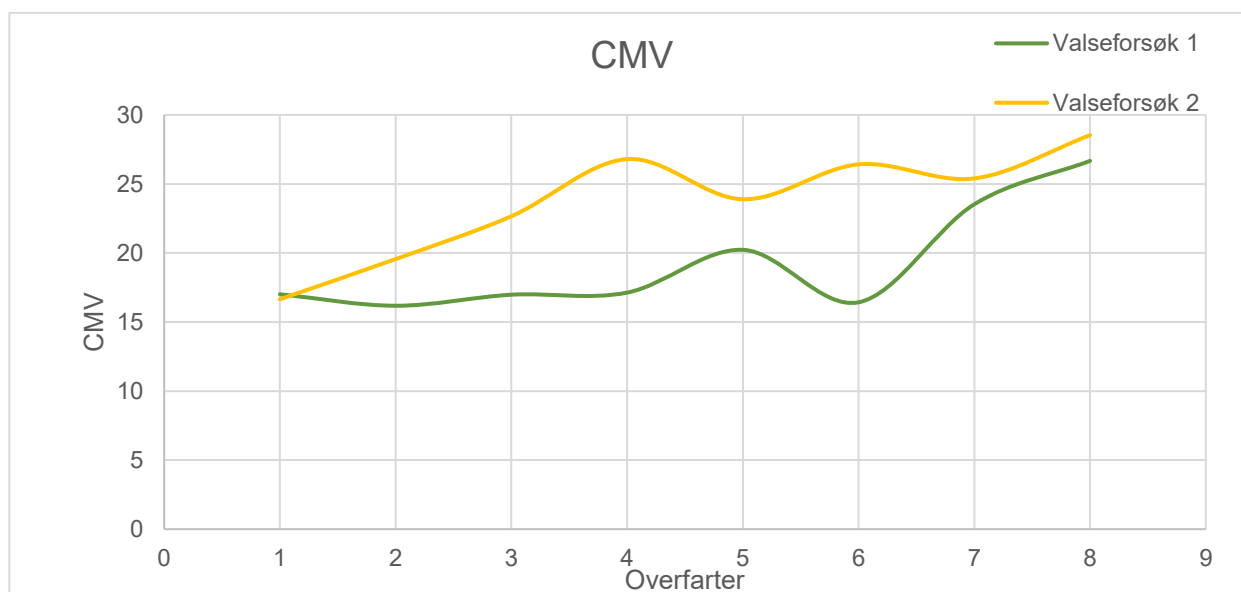
Tabell 28: Valseforsøk 1

Overfart	CMV	Standardavvik
1	16,65	4,68
2	19,56	6,02
3	22,66	4,19
4	26,80	4,78
5	23,89	4,50
6	26,42	5,44
7	25,40	5,13
8	28,53	4,76

(b) Valsetest 2

Tabell 29: Valseforsøk 2

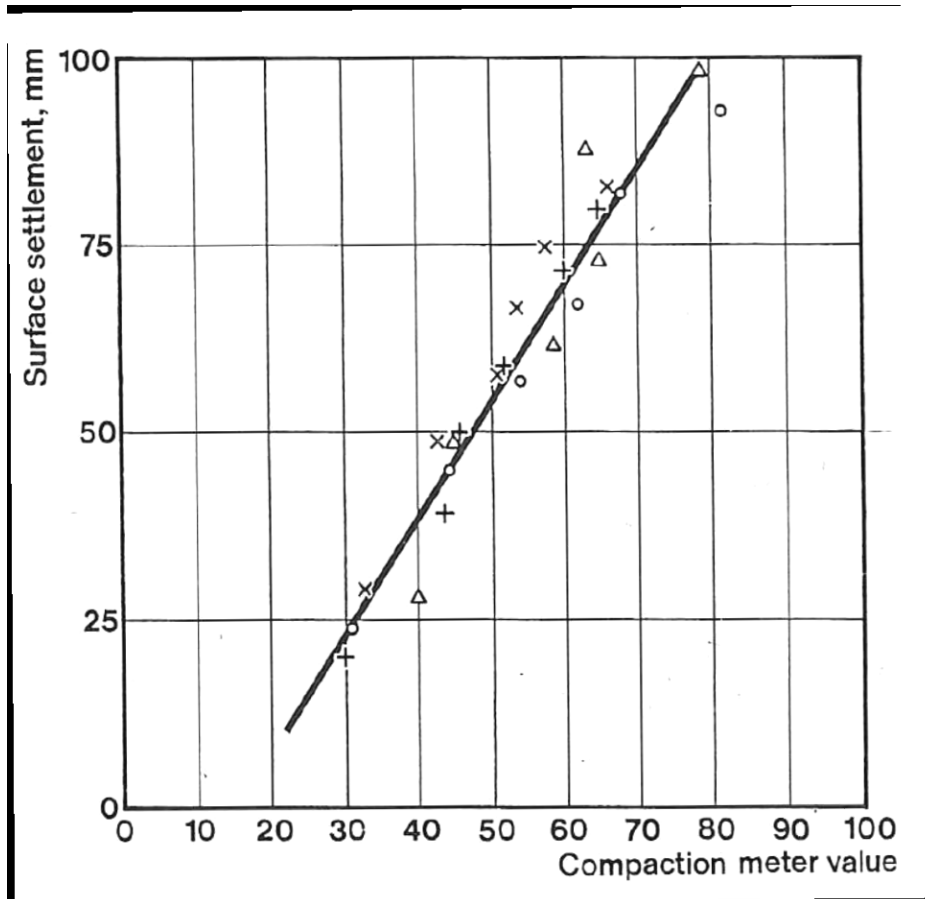
Ved å plote resultatene i en graf ser man lettere hvordan utviklingen i CMV arter seg.



Figur 68: Flytskjema

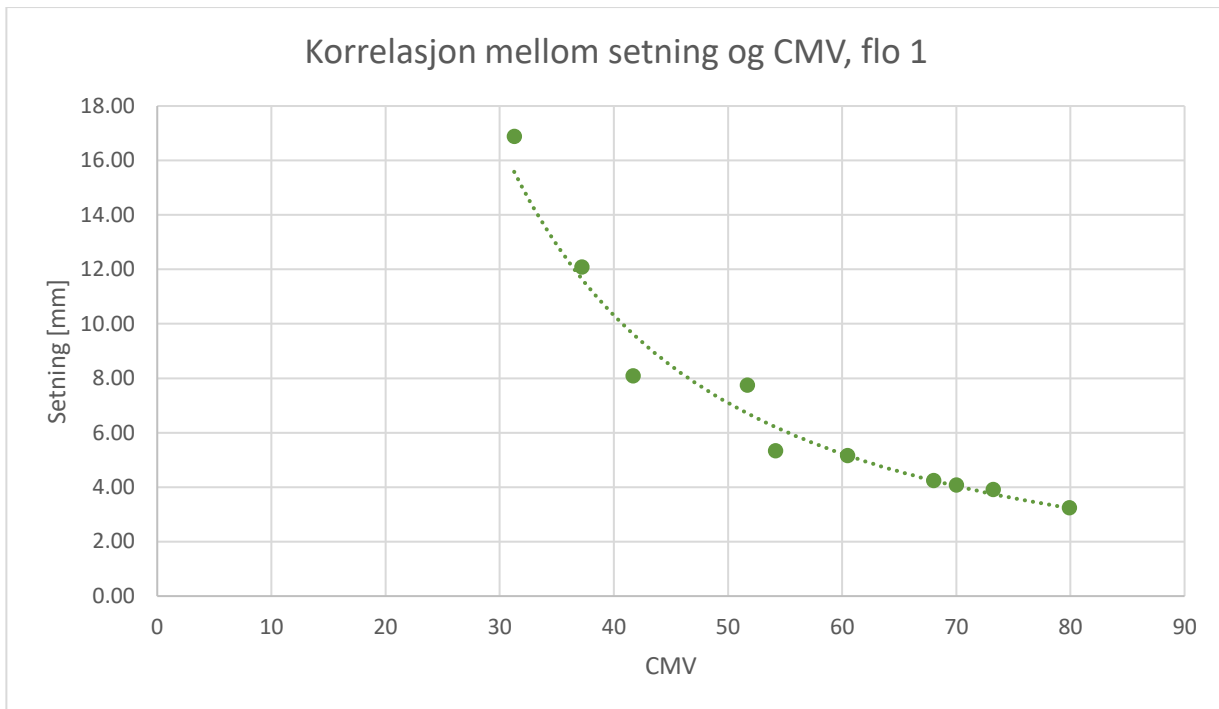
Ut fra Figur 68 ser man tendenser til overkomprimering mot slutten av forsøkene. For flo 1 får man overkomprimering etter 5 overfarter og for flo 2 får man overkomprimering etter 4 overfarter. Samtidig ble de siste to overfartene, henholdsvis 7 og 8, komprimert med lav amplitude, og dette vises ved at grafen stiger ganske mye i forhold til resten av kurven.

(Lars Forssblad, 1981) viser utfra fire feltforsøk på støttefylling en veldig god korrelasjon mellom setningsmålinger og CMV, se Figur 69. Det viser at både CMV og setningsmålinger kan brukes med relativ god sikkerhet til å bestemme for eksempel overfarter, da begge målemetodene henger godt sammen. Støttefyllingen besto av maksimal steinstørrelse på 0.7 m og ble komprimert med lagtykkelser på 2 m med 10 overfarter. Målingene i figuren er hentet fra støttefylling på Juktan kraftstasjon.



Figur 69: Korrelasjon mellom setningsmålinger og CMV (Lars Forssblad, 1981)

Samtidig kan man se en god korrelasjon mellom setningsmålinger og CMV for valseforsøkene i denne oppgaven, se Figur 70. Det viser at man like godt kan bruke setningsmålingene som CMV til å utarbeide retningslinjer. Likevel viser standardavvikene for setningsmålingene og responsmålingen at dette ikke er tilfelle, se kapittel 8.1.



Figur 70: Korrelasjon for flo 1



## 11 DISKUSJON

I dette kapitelet diskuteres alle dataene mot hverandre og måleusikkerheter ved utstyret gjøres rede for. Det presenteres en oppsummering til slutt.

### 11.1 VURDERING AV FELTARBEID PÅ DAM LANGEVATN

Siktekurven, se Figur 36, viser andel finstoff i støttefyllingsmateriale. I tillegg kan man se av den tekniske planen (Sweco, 2017) at finstoffet, alt under 25 mm, skal være mindre enn 40%. Det tilsvarer relativt lite finstoff som vil gi en stiv og stabil fylling etter komprimering, se kapittel 4.2. Vanninnholdet vil også være lavt som følge av lite finstoff. Det øker også sannsynligheten for at materialet holder seg permeabelt nok til å være drenerende. Likevel gjelder ikke denne siktekurven for materialene brukt i valseforsøkene, men er et mål på materialene som blir brukt for 0-400 mm i dammen.

Ut fra samme kurve kan man se at mye av materialene i massen er over 100 mm store. Ifølge kapittel 4.2 fører en stor andel av større steinstørrelsen til et stivere materiale, som er svært ønskelig for denne delen av støttefyllingen for å holde kjernen mest mulig stabil.

For at fyllingen skal være mest mulig velgradert er det ønskelig at korngraderingskurven ligger så nær Fuller kurven som mulig. Som man kan se av Figur 38 følger kurvene hverandre veldig bra frem til steinstørrelser over 100 mm, som tilsvarer av materialet er relativt velgradert.

Kornformen til materialene som blir brukt i dammen har mye å si for komprimeringen, se kapittel 4.2.1. I dette tilfellet ser man at kornformen ikke er avlange, se Figur 48, men heller mer kantete og runde som er den ønskelige formen.

Om man får mye nedknusing under valsingen vil partiklene få en økt andel finstoff. Dette kan påvirke styrken til den komprimerte massen på en negativ måte, se kapittel 4.2.1. Med mye finstoff blir det mindre kontakt mellom de største partiklene og styrken vil dermed reduseres. Det er derfor ønskelig å unngå nedknusing. Dobbelthopp og kaotisk kjøring fører til økt sannsynlighet for nedknusing, så det er viktig å stoppe valsingen om slike forhold oppstår.

(Lars Forssblad, 1981) nevner at nivellering brukes der densitetsforsøk er vanskelige og ressurskrevende å utføre. Det gjelder i dette tilfellet, da en test med tre prøvehull tok langt over en arbeidsdag å utføre.

Punktene beskrevet i kapittel 6.2.6 forteller hvordan et valseforsøk kan utføres. Her presenteres en oppsummering av hvordan valseforsøkene korresponderte med disse punktene.

- I vårt tilfelle er flo 1 lagt ut over et område som har ukjent stivhet og densitet slik at dette påvirker resultatene.
- Område ble komprimert i rundt fem filer i bredden, samt at man fikk overlappet de ulike filene. Punktmålingene ble gjort i 4 og 3 filer for flo 1 og flo 2, og alle disse punktene ble komprimert likt. Det var også anlagt en skulder utenfor valseområdet, som presisert i punkt nummer 2.
- Valsehastigheten ble bestemt før forsøkene starter og man ser ut fra hastighetsdataene at den ble holdt innenfor det optimale kravet.
- Densitetsmålinger ble kun utført 1 gang for siste overfart som gjør at disse ikke kan brukes til sammenlikning med setningsmålinger eller CMV.
- Fuktinnholdet spiller relativt liten rolle i disse forsøkene.
- Lagtykkelse ble bestemt ut fra krav satt i fyllingsdamveilederen og NS 3458.

### 11.2 USIKKERHETER I MÅLEDATA

Måleusikkerheter kan oppsummeres som:

- Måleutstyr (GPS)
- Utstyr for å måle CMV
- Målingene av setning
- Menneskelige feil
- Målenøyaktighet til utstyret

#### *GPS*

Ut fra kapittel 6.3 og kapittel 6.3.2 ser man at det kan være ulike måleusikkerheter med GPS systemet og disse unøyaktighetene er det viktig å være klar over for at dataene skal bli korrekte. Det er kjent at det kan oppstå forsinkelse mellom responsmåleren og GPS senderen som kan gjøre at responsmålingene ikke kommer frem til GPS før en ny måling har startet, og kan derfor forstyrre målingen. For valseforsøkene utført her ble det brukt en RTK-GPS med en måleusikkerhet på 1-2 cm og dermed er denne forsinkelsen redusert.

Det ble også brukt to GNSS mottakere for at valsen skal forstå hvilken retning det vales i og dette er med på å eliminere feilen ved at CMV blir plassert feil i forhold til retningen valsen kjører i.

#### *CMV*

Det er viktig at CMV utstyret fungerer for å få riktige målinger. I dette tilfelle er det brukt malen for oppbygging presentert fra Leica, se Figur 63. I tillegg ble det under første overfart sjekket på datamaskinen at valsen klarte å sende dataene underveis.

#### *Setningsmålinger*

Måling av setning kan bli påvirket av ujevnheter i punktene. Det ble under målingene benyttet en fot for å gjøre målingene mer korrekt i forhold til skjevhet i nivelleringsstaven. Samtidig kan et målepunkt ligge plassert slik at punktet forskyver seg unaturlig mye ved komprimering og da blir setningsmålingene for dette punktet urealistiske. Et eksempel kan sees på Figur 41, 1 og 3 som viser henholdsvis målepunkt 1 og 11. Her ser man at på målepunkt 11 er det helt flatt, mens i målepunkt 1 er punktet plassert oppå en stein slik at målingene her kan variere fra overfart til overfart.

Det kan også oppstå menneskelige feil ved nivellering, enten i form av avlesningsfeil eller feil logging av punkter. I dette tilfellet ble det brukt en erfaren stikker slik at sannsynligheten for de største feilene synker.

En stor måleusikkerhet for setningsdataene ligger i selve målingene med nivelleringsstang på en flate. Selv om det brukes en fot er det omtrent umulig å måle på samme punkt hver gang og målingene kan endres flere millimeter mellom hver måletakning noe som gir en stor usikkerhet i disse målingene.

#### *Utstyr og menneskelige feil*

Menneskelige feil og nøyaktighet til måleutstyret kan reduseres ved at flere personer utfører samme test og man bruke flere ulike typer utstyr. I dette tilfellet var det ikke ressurser eller tid nok til å prøve ut flere typer utstyr som valser og vekter. I tillegg var det ikke mulig å utføre densitetstesten flere ganger med tanke på omfanget av å gjøre en slik test.

### 11.3 OBSERVASJONER I FELT

Valsen ble kjørt med relativt høy amplitude og frekvens noe som ifølge kapittel 5.1.3 kan være svært ugunstig for å unngå kaotisk kjøring og dobbelthopp under komprimeringen. Det ble likevel ikke observert noen form for kaotisk kjøring eller dobbelthopp under valsingen. Det kan forklares

ved at hastigheten ikke var veldig lav, noe som også var en av parameteren som hadde innvirkning på kjøringen. I tillegg er måledybden, og dermed også virkningsdybden av vibrasjonene lengre enn selve flolaget, og det kan tenkes at materialet tåler mer komprimeringskraft. Samtidig kan det hende at ikke laget ble stivt nok til at slik kjøring kan oppstå. Det at laget ble overkomprimert reduserer spenningene som oppstår i tommel-underlag systemet, og vil redusere sannsynligheten for kaotisk kjøring siden responsen tilbake til trommelen blir lavere.

Ved mange overfarter (<6) ble det observert at laget ble mykere og beveget seg som en bølge ved påføring av vibrasjon. Det var mulig å se at laget ga etter under vekten av valsen, men spratt opp igjen etter at valsen hadde kjørt over, se Figur 71. Dette kan komme av at vannet i materialene blir presset ut under komprimering. Det overflødig vannet blander seg med alt finstoff og nedknust materiale og lager et mykere og mer «gummi» liknende lag øverst i floen. Dette er svært ugunstig og viser hvor mye effekten av nedknusing har å si for effekten av komprimeringen.



Figur 71: Seighet i floen (Andreas Fløystad, Sweco)

#### 11.4 INTELLIGENT KOMPRIMERING OG KONTINUERLIG KOMPRIMERINGSKONTROLL

Begge metodene til å kontrollere komprimeringen på, henholdsvis kalibrering og stikkprøve prinsippet kan være aktuelt å benytte for kontroll av steinfyllingsdammer i Norge. Ifølge Håndbok N200 brukes prinsippet fra Østerrike med prosentvis endring, men det er usikkert hvor godt dette fungerer i praksis.

Metoden med kalibrering tar lang tid og er ressurskrevende for bruk på støttefylling med store materialer. Metoden vil nok egne seg bedre der punktmålinger ikke er like krevende som på masser av sand, silt eller asfaltdekker. Samtidig kan denne metoden brukes på andre soner i dammen, som filtersone og kjerne, slik at man får implementert kontinuerlig komprimeringskontroll på flere områder. Fordelene vil være de samme som ved bruk på støttefylling.

Det kan også tenkes at metoden med stikkprøver vil fungere godt da den ikke trenger like mye ressurser, og at det vil være lettere å implementere denne metoden nettopp fordi den ikke er like tidkrevende som kalibreringsmetoden. Dette er også utprøvd i en studie som beskrevet i kapittel 6.3.1 som viser at prinsippet med stikkprøve fungerte best og ble anbefalt å benytte videre.

Bruk av automatisk frekvens kontroll, se kapittel 6.3.2, kan vurderes brukt i Norge, men det er mer sannsynlig å benytte dette etter at CCC og IC er implementert i anleggsarbeidene. Det vil muligens gi en besparelse i forhold til energibruk og drivstoffbruk, samt mer effektiv som følge av lavere frekvens og dermed færre overfarer.

Det finnes også en steinfyllingsmodul, se kapittel 5.3, som forteller hvordan fyllingsdammen oppfører seg i forhold til deformasjoner. Det kunne vært interessant å kombinere denne modulen med responsmålinger, slik at man får informasjon om deformasjonsutviklingen til dammen utfra valsing med responsmålinger. Det gir et bedre bilde av hvilke egenskaper som kan forventes ved bruk av responsverdier. Det er likevel ikke funnet noen studier på dette området, så det må undersøkes videre om dette lar seg gjennomføre.

Måledybde er noe som må tas hensyn til ved bruk av punktmålinger da det er et faktum at måledybden er ulik for de ulike punktmålingene og responsmåleren. Som beskrevet i kapittel 6.3.2, kan vibrasjonsamplituden sammenliknes for punktmålinger og responsmålinger. Det ble definert at 0.1 mm vibrasjonsamplitude fra trommelen kan tilsvare 0.1 mm måledybde i forhold til punktmålinger.

Etter et telefonmøte med Fredrik Berentsen, se bilag 9, ble det nevnt at vanning av fyllingen før komprimering vil lønne seg. Vannet gjør at friksjonen mellom materialene blir mindre og man oppnår en jevnere komprimering. Kapittel 3.4 viser at metoden med vanning ble brukt før men er i moderne tid fjernet med bakgrunn i at det ikke er effektivt.

Det skal kjøres med overlapp ved komprimering for å være sikker på at hele området blir komprimert likt. Det kan overvåkes ved bruk av slike kontrollsystemer som er brukt for disse valseforsøkene. Underveis i komprimering kan man se på kontrollpanelet hvor mye overlapp det er, og ved etterarbeid kan man se hvilke områder som har blitt kjørt på 2,3 og 4 ganger med overlapp. Ifølge Figur 72 ser man at noen områder er valset over 4 ganger på en overfart som følge av overlapp. Likevel ser man at mesteparten av området er valset kun 1 gang, men det finnes også områder innenfor valseområdet som ikke har blitt valset. Det er vanskelig å si om disse områdene ikke blir fanget opp av valsen eller om de faktisk ikke er blitt valset over.



Figur 72: Fremstilling av overlapp (hentet fra ConX rapport)

## 11.5 OPPSUMMERING

Ut fra diskusjonen over kan det trekkes følgende delkonklusjoner:

- (1) Stor variasjon i datasettene, men mest for flo 2
- (2) Valsen måler CMV for både den aktuelle floen og underlaget
- (3) Begge floene har relativt likt vanninnhold
- (4) Nullstilling av målingene har lite innvirkning da dette skjedde på samme område hver gang
- (5) Frekvensen for de ulike floene varierer lite og vil ha liten innvirkning på resultatene.
- (6) Setningsmålingene har flere feilkilder som er vanskelige å vurdere, men det ansees at feilkildene ikke påvirker resultatene i noen stor grad.
- (7) Setningsmålingene for 0-400 mm og 0-800 mm korresponderer relativt godt for samme underlag (valseforsøk 2)
- (8) Riktig type komprimering har mye å si for setningsutviklingen i dammen.
- (9) CMV utviklingen for forsøkene viser like tendenser som andre forsøk
- (10) Valseprogram kan utarbeides med grunnlag for kalibrering der man skal utføre valseforsøk og prosentvis endring for mindre anlegg
- (11) Responsmålinger kan brukes til å få en bedre oversikt over komprimeringen gjennom hele laget
- (12) Retningslinjer kan muligens gjelde for begge materialstørrelsene, henholdsvis 0-400 mm og 0-800 mm

## 12 KONKLUSJON

Her presenteres en diskusjon av alle resultatene oppnådd i arbeidet med oppgaven. Det utarbeides et valseprogram og forskerspørsmålet besvares før en endelig konklusjon presenteres.

### 12.1 VALSEPROGRAM

For å bestemme et valseprogram tas det utgangspunkt i praksis fra de landene som har implementert CCC/IC i sine standarder, se kapittel 6.3.1. For alle landene tas det utgangspunkt i de to metodene stikkprøve eller kalibrering. Et viktig moment for å bestemme et valseprogram er at det er mindre eller lik arbeidsmengde som dagen metoder. Samtidig er dagens metoder relativt simple som gjør det vanskelig å finne et enklere alternativ. Entreprenørene vil gjøre komprimeringsarbeidet så effektivt som mulig for å spare penger. Samtidig ønsker byggherre en god kvalitet på fyllingen, så det oppstår et vanskelig kompromiss her.

For at entreprenører og byggherre skal ha nytte, og et ønske om å benytte seg av CCC/IC i sine prosjekt er det viktig at det er enkelt å forstå, og at man effektiviserer arbeidet sammenliknet med dagens standard.

Metoden med kalibrering er omfattende og muligens dyrere enn metoden med stikkprøver, men den kan lønne seg på store prosjekt der man uansett må utføre valseforsøk. Ved å kalibrere valsen for å finne en «target value» så har man en verdi å valse mot når man bygger dammen. Dermed kan valsefører bare kjøre mot den fastsatte målverdien og man er sikker på at alle lagene får lik kvalitet. Samtidig sparer man unødvendige overfarter.

For mindre prosjekt, der det ikke settes krav til valseforsøk, er det mer aktuelt å benytte prinsippet med stikkprøver eller prosentvis endring som brukes i Østerrike. Ved denne metoden valser man helt til delta CMV ikke endres mer enn 5%. I praksis kan man enten velge å vise delta CMV i panelet i valsen og følge med å denne eller så kan man stille inn at når endringen i CMV er mindre enn eller lik 5% så lyser det rødt i valsen. På denne måten vet alltid valsefører når det er valset nok for å oppnå en god kvalitet av fyllingen. Det er også mulig å benytte seg av kravene satt i Håndbok N200 om 10% endring i CMV.

Videre burde det stilles krav til punktmålinger på de områdene som er svakest i fyllingen, men kanskje maksimalt 2 målinger pr 10 000 m<sup>3</sup> slik at det ikke skal bli for omfattende å bruke. Det må mer forskning til for å anbefale et antall målinger siden dette ikke er utprøvd i denne oppgaven. Det kan tenkes at man klarer seg uten å utføre noen målinger i fremtiden.

Et valseprogram skal inneholde materialparametere som for eksempel steintype, størrelse og underlag, se kapittel 6.2.6 samt oversikt over ønskede valseparametere og hvilke kontrollmetoder som kan brukes. Det bør også inneholde en enkel og forståelig brukerveiledning for utstyret som måler CMV, og en beskrivelse av hvordan dataene tas ut for videre bruk.

Man burde bestemme parametere slik at man oppnår ønskede kvaliteter i fyllingen. Som beskrevet i kapittel 4.1. For å få en homogen fylling er det viktig å ha en velgradert kornfordelingskurve, lik andel finstoff og et lavt vanninnhold i alle materialene som brukes. Samtidig burde steinformen være relativt lik hverandre, helst rundt, og steinmaterialene må komme fra samme type fjell eller ha tilsvarende like egenskaper. For å oppnå en god drenering er det satt krav til  $d_{10}$  skal være lik eller større enn 10 mm. God nok stabilitet, styrke og stivhet kommer også fra egenskapene til steinmaterialene. Samtidig baseres setningsbilde stort sett på oppbygging av fyllingen med komprimering og styrke.

Ut fra setningsbilde presentert for Follsjødammen, se kapittel 10.1, ser man hvilke konsekvenser dårlig komprimering kan ha for utvikling av setningsbilde i levetiden.

Det er også viktig å benytte like maskinparametere som amplitude, frekvens og hastighet for valsing som ved kalibrering. Ved bruk av prosentvis endring burde man følge anbefalte verdier for amplitude, frekvens og hastighet som presentert tidligere. Samtidig må statisk linjevekt og vekt av valseutstyret tilpasses de aktuelle materialene, og samme vals som brukes i kalibreringsfasen må benyttes i den endelige komprimering. Det må også vales med overlapp for å være sikker på at hele område dekkes. Lagtykkelse kan holdes innenfor kravene allerede satt i fyllingsdamveilederen, men det kan tenkes at ved videre utredning av virkningsdypet til valsen så kan lagtykkelsen økes.

Med tanke på den store variasjonen i dataene for CMV bør man sette krav til maksimalt tillatt standardavvik for å sikre en homogen fylling.

## 12.2 FORSKERSPØRSMÅL

- Hvordan kan responsmåling brukes for å forbedre komprimeringsmetodene som brukes i dag?

Forskerspørsmålet tar for seg bruk av responsmåling i komprimeringsarbeidet og om det kan forbedre de metodene vi har i dag.

Om man tar for seg kravet fra Fyllingsdamveilederen om antall overfarter med en viss tyngde på valsen så vil metodene presentert overfor muligens redusere antall overfarter totalt brukt for dammen, men kanskje ikke for hver enkelt flo. Antall overfarter bestemmes utfra oppnådd kvalitet på floen målt med responsmålingene. Bruk av responsmålinger vil kunne tilpasses de ulike materialtypene og valsetypene som brukes, slik at kravet blir mer generelt og brukervennlig enn det som er nevnt i Fyllingsdamveilederen.

Ifølge (Christopher M. Savan, 2016 ), som utførte en kost-nytte analyse, vil bruk av intelligent komprimering reduseres komprimeringskostnadene med 54 prosent i forhold til ved bruk av tradisjonelle komprimeringsmetoder. Tallet baseres på mindre komprimeringskontroll og mer uniform komprimering. Samtidig gjelder disse tallene for bygging av vei, der man sannsynligvis benytter mindre valser slik at besparelsen ikke vil være like stor for bygging av fyllingsdammer, men det vil nok likevel være en besparelse med tanke på mindre vedlikehold i fremtiden.

Responsmåling vil sannsynligvis føre til en mer homogen fylling ved at alle områdene blir kontrollert i større grad enn dagens standard. På den måten vil kvaliteten av fyllingen økes, vedlikeholdsarbeid reduseres og levetiden vil teoretisk sett økes. Det kan også tenkes at setningsproblematikken kan reduseres ytterligere.

Ved opplæring av valseførere om hvordan utstyret brukes og etterbehandling av data kan valsingen gjøres mer effektiv. I tillegg gjøres valsearbeidet mer attraktivt og flere vil forstå viktigheten av god komprimering.

## 12.3 KONKLUSJON

Bruk av responsmålinger i komprimeringsarbeidet har vist seg å være en god og effektiv måte å evaluere hele valseområdet på. Det gjør at det blir enklere å oppdage svake områder i fyllingen underveis og total kvalitet av fyllingen blir forbedret i forhold til med dagens standard.

NS 3458 nevner at responsmålinger kan brukes til å kontrollere komprimeringen i de tilfeller man ønsker å stille egne krav til utførelse og/eller kontroll utover det som er påkrevd. Dette gjør at åpningen for bruk av responsmålinger for dambygging trolig blir lettere. Samtidig kan man se at Håndbok N200 har åpnet for bruk av responsmålinger til å kontrollere veifyllinger. I tilfellet der responsmålinger implementeres i Damsikkerhetsforskriften må man gjennom en overgangsfase, slik at kravet som står nå forblir gjeldene sammen med bruk av responsmålinger.

## Konklusjon

De fleste entreprenører som har anleggsarbeidet på fyllingsdammer har også ofte mye anleggsarbeid på vei. I veibygging er det opplyst at det kommer en endring i standarden for bruk av responsmålinger. Derfor vil de fleste entreprenører etterhvert ha tilgjengelig utstyr og kompetanse til å bruke responsmålinger og kontinuerlig komprimeringskontroll i komprimeringsarbeidet. Det er derfor lurt å tillate bruk av dette også i Damsikkerhetsforskriften.

Man ser også en økende trend i Europa og verden for bruk av responsmålinger. Land som Tyskland, Østerrike og Sverige har implementert responsmålinger i standardene sine og flere land er i prosessen med å utvikle retningslinjer.

Utfra feltarbeidet gjort i denne oppgaven kan man se at kravet til antall overfarer kan reduseres, i henhold til krav om 10% endring i setning, noe som viser at responsmålinger er verdt å bruke for å optimalisere komprimeringsarbeidet. Det ser også ut til å ha liknende tendenser for andre materialstørrelser på samme anleggsområde

Det er verdt å merke seg at steinfyllinger har en veldig variabel sammensetning, og trenger derfor ulike grad av komprimering. Dette kan også sees i relativt store standardavvik for valseforsøkene utført i oppgaven. Om man hadde benyttet seg av intelligent komprimering og kontinuerlig komprimeringskontroll ville man fått en mye mer teknisk «riktig» komprimering og det ville også blitt mer kostnadseffektivt enn med dagens metoder. Samtidig gir bruk av CCC en veldig mye bedre dokumentasjon og kontroll på komprimeringen enn ved bruk av sjekklister for antall overfarer.



## 13 VIDERE ARBEID

Her presenteres forslag til videre arbeid basert på oppgavens resultater.

Dersom arbeidet med denne oppgaven skal føres videre bør det utføres flere feltforsøk. Det bør gjøres flere densitetstester underveis i valseforsøkene for å undersøke når man oppnår tilfredsstillende densitet, og om dette samsvarer med eventuelle setningsmålinger. Det kan også utføres platebelastningsforsøk som kan være lettere å sammenlikne med responsmåleverdiene fra Amman og Bomag om disse valsene benyttes.

Det bør også utføres forsøk på flere materialtyper og størrelser for å utarbeide generelle retningslinjer basert på geologisk område og materialstørrelser. I og med at store deler av Norge består av relativt gode steintyper i forhold til mange andre land lengre sør, vil muligens ikke generelle verdier utarbeidet i andre deler av verden kunne brukes i Norge.

Feltforsøk bør også utføres der man varierer valse og materialparametere for å forstå påvirkningen de har på responsmålinger. På den måten vil man kunne utnytte alle fordelene ved bruk av responsmålinger i komprimeringsarbeidet. Det kan for eksempel utprøves om det er mer effektivt å valse med frekvensen rundt resonansfrekvensen og eventuelle metoder for å finne resonansfrekvensen for ulike valser og materialer.

Etter et telefonmøte med Fredrik Berentsen, se bilag 9, ble det nevnt at vanning av fyllingen før komprimering vil lønne seg. Vannet gjør at friksjonen mellom materialene blir mindre og det er lettere å samle materialene ved komprimering. Kapittel 3.4 viser at metoden med vanning ble brukt før, men er i moderne tid fjernet med bakgrunn i at det ikke er effektivt. Det kan være interessant å undersøke hvorvidt dette har en innvirkning på komprimeringen, og om innvirkningen er stor nok til å bruke litt ekstra tid og ressursen på vanning.

For å kunne implementere kontinuerlig komprimeringskontroll i bransjen er det helt nødvendig at det utarbeides enkle retningslinjer, og at det åpnes for bruk i Damsikkerhetsforskiiften. Det kan tenkes at enkelte entreprenører ikke er like positive til å kjøpe inn dyrere valser og utstyr, og i tillegg drive ytterligere opplæring av valsepersonell. Likevel ser det ut til at det foregår et skifte innenfor komprimering da også Statens Vegvesen har innført responsmålinger i sine håndbøker.

Det kan også tenkes at opplæring av valsefører i bruk av responsmålinger, navigasjonssystem og programvare for å hente ut data vil føre til et mer positivt syn på komprimering som en helhet. Det bør dermed utvikles enkle opplæringsmanualer og blanketter lett tilgjengelig på byggeområdet.

Intelligent komprimering trenger videre forskning for å implementeres da det ligger mye usikkerheter rundt hvorvidt en valse selv justerer valseparametere gir en tilstrekkelig komprimering, men det kan tenkes at dette blir standarden i fremtiden.

## 14 REFERANSELISTE

- Adam, D. & Larsson, S. Progress towards the implementation of CCC in the UK.
- Adam, D. & Pistor, J. J. P. C. d. G. d. T., XXIV Ciclo. (2016). Dynamic roller compaction for earthworks and roller-integrated continuous compaction control: State of the art overview and recent developments, 1-41.
- Adam, D. J. D., pavements, c. o., aspects, r. t. G. & materials, p. (2007). Roller integrated continuous compaction control (CCC) technical contractual provisions & recommendations, 111-138.
- Allan J. Breitenbach. (2012). Summary of Rockfill Placement & Compaction Guidelines for Mine Structures: Part 1. Hentet 08.februar 2019 fra <https://www.geoengineer.org/multimedia-virtual/item/283-summary-of-rockfill-placement--compaction-guidelines-for-mine-structures-part-1>
- Ameratunga, J., Sivakugan, N. & Das, B. M. (2016). *Correlations of soil and rock properties in geotechnical engineering* Springer.
- Anderegg, R. & Kaufmann, K. J. T. R. R. (2004a). Intelligent compaction with vibratory rollers: Feedback control systems in automatic compaction and compaction control, *1868(1)*, 124-134.
- Anderegg, R. & Kaufmann, K. J. T. R. R. (2004b). Intelligent compaction with vibratory rollers: Feedback control systems in automatic compaction and compaction control, *1868(1)*, 124-134.
- Bogfjellmo, E. (2014). *Rehabilitering av fyllingsdammer* Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Bibsys brage Hentet fra [https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/233073/746127\\_FULLTEXT01.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/233073/746127_FULLTEXT01.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Brandl, H. & Adam, D. (2014). Continuous compaction control (CCC) for fill dams and roller compacted concrete dams. *New Developments in Dam Engineering: Proceedings of the 4th International Conference on Dam Engineering, 18-20 October, Nanjing, China* (s. 17): CRC Press.
- Brandl, H., Kopf, F. & Adam, D. J. S. N. d. B. f. V. (2005). Continuous compaction control with differently excited dynamic rollers.
- Breitenbach, A. J. (1993). Rockfill placement and compaction guidelines *Geotechnical Testing Journal*, *16*. Hentet fra [https://compass.astm.org/DIGITAL\\_LIBRARY/JOURNALS/GEOTECH/PAGES/GTJ10270J.htm](https://compass.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/JOURNALS/GEOTECH/PAGES/GTJ10270J.htm)
- Briaud, J.-L., Seo, J. J. T. A. & M University, C. S. (2003). Intelligent compaction: overview and research needs, 1-84.
- Briaud, J., Saez, D. J. G. I. C. H. C., Grouting & Geosynthetics. (2015). Recent developments in soil compaction, 275-308.
- Buddhima Indraratna, J. C., Cholachat Rujikiatkamjorn. (2015). *Ground Improvement Case Histories: Compaction, Grouting and Geosynthetics* Copyright © 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.
- Caterpillar. (2007). Vibratory Soil Compactors: CS533E: CP533E. Hentet 05.februar 2019 fra <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C731245>
- Chang, G., Xu, Q., Rutledge, J., Horan, B., Michael, L., White, D. & Vennapusa, P. (2011). Accelerated implementation of intelligent compaction technology for embankment subgrade soils, aggregate base, and asphalt pavement materials.
- Christopher M. Savan, D. K. W. N., Dr. Khaled Ksaibati. (2016 ). Benefit-Cost Analysis and Application of Intelligent Compaction for Transportation. *Transportation Geotechnics*. Hentet fra [https://www.researchgate.net/publication/305384064\\_Benefit-Cost\\_Analysis\\_and\\_Application\\_of\\_Intelligent\\_Compaction\\_for\\_Transportation/stats](https://www.researchgate.net/publication/305384064_Benefit-Cost_Analysis_and_Application_of_Intelligent_Compaction_for_Transportation/stats)
- Compaction Equipment Dynapac. (2017). Dynapac soil compactors. I Dynapac (Red.): Altas Copco Hentet fra <https://www.atlascopco.com/nb-no/construction-equipment/products/Compaction-equipment/soil-compaction-equipment/single-drum-vibratory-rollers/dynapac-ca1300pdb.nb-no>
- Cooke, J. B. (1984). Progress in Rockfill Dams. *Journal of Geotechnical Engineering-Asce*, *110(10)*, 1383-1414. Hentet fra <Go to ISI>://WOS:A1984TL47100001

- Dev, N. & S.K.Babbar. (2007). *Bearing Capacity Determination using Plate Load Test - A Case Study*. Innlegg presentert ved Geotechnica 2007 Abstract hentet fra [https://www.researchgate.net/publication/313915634\\_Bearing\\_Capacity\\_Determination\\_using\\_Plate\\_Load\\_Test\\_-\\_A\\_Case\\_Study/citations](https://www.researchgate.net/publication/313915634_Bearing_Capacity_Determination_using_Plate_Load_Test_-_A_Case_Study/citations)
- Dr. Leslie Davison, U. o. t. W. o. E., Bristol & Prof. Sarah Springman, S. F. T. I., Zurich. (2000). *Compaction* Hentet fra <http://environment.uwe.ac.uk/geocal/SoilMech/compaction/compaction.htm>
- Facas, N. W., Mooney, M. A. J. J. o. T. & Evaluation. (2009). Position reporting error of intelligent compaction and continuous compaction control roller-measured soil properties, *38(1)*, 13-18.
- Fladvad, M. (2012a). *Kontinuerlig komprimeringskontroll* Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, BIBSYS brage Hentet fra [https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Varige+veger/Studentoppgaver/\\_attachment/2081893?\\_ts=15fedf3a6a8&fast\\_title=Kontinuerlig+komprimeringskontroll.pdf](https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Varige+veger/Studentoppgaver/_attachment/2081893?_ts=15fedf3a6a8&fast_title=Kontinuerlig+komprimeringskontroll.pdf)
- Fladvad, M. (2012b). *Kontinuerlig komprimeringskontroll* Institutt for bygg, anlegg og transport.
- Fladvad, M. & Aksnes, J. (2014). *Planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid* (Varige veier 2011 - 2014). Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen.
- Forsblad, L. (1981). *Vibratory soil and rockfill compaction* Stockholm Sweden Dynpac Maskin AB, Solna, Sweden
- Forsblad, L. (1987). *Pakning av jord-och bergmaterial* AB Svensk Byggtjänst.
- Golzé, A. R. (1977). *Handbook of dam engineering* Van Nostrand Reinhold New York.
- Gundersen, D. & Oslo, U. i. (2018). Store norske leksikon I *Store norske leksikon* Hentet fra <https://snl.no/komprimere>
- Hamm. (2019a). H 16i C, Compactor with smooth drum. Hentet 09.04.2019 fra <https://www.hamm.eu/no/produkter~1/valsetog/serie-h/h-16i.168779.php>
- Hamm. (2019b). H 20i C, Compactor with smooth drum. Hentet 10.06.2019 fra <https://www.hamm.eu/en/products/compactors/series-h/h-20i.172479.php>
- Holtz, R. D., Kovacs, W. & Sheahan, T. (2011). *An Introduction to Geotechnical Engineering* 2nd. I: Pearson plc.
- Hossain, M., Mulandi, J., Keach, L., Hunt, M. & Romanoschi, S. (2006). Intelligent compaction control. *Airfield and Highway Pavement: Meeting Today's Challenges with Emerging Technologies* (s. 304-316).
- Institute, S. S. (2017 ). Schakt och fyllning för anläggningsbyggande-Yttäckande Packningskontroll (YPK), Earthworks-continuous compaction kontroll (CCC) Hentet fra <https://www.sis.se/api/document/preview/8024424/>
- International commission on large dams (ICOLD). (2019). Dictionary Hentet fra <https://www.icold-cigb.org/GB/dictionary/dictionary.asp>
- Kjærnsli, B., Valstad, T. & Høeg, K. (1992). *Rockfill dams: design and construction*. Trondheim Norwegian Institute of Technology, Division of Hydraulic Engineering
- Kolisjoja, P. (1997). *Resilient deformation characteristics of granular materials* Tampere University of Technology Finland, Publications.
- Maskinentreprenørens Forbund. (2013). Anleggsmaskinen, Nr 3 2013. *Anleggsmaskinen*, 3. Hentet fra <https://5oe3r39nnidohaa2uiso8xpy-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/03/AM-03-2013.pdf>
- Meehan, C. & Tehrani, F. S. J. D. (2009). An investigation of continuous compaction control systems, *204*, 19716.
- Mooney, M. A. (2010). *Intelligent soil compaction systems* Transportation Research Board.
- Nazzal, M. (2014). *Non-nuclear methods for compaction control of unbound materials*.
- Norges vassdrag og energidirektorat. (2012). Veileder for fyllingsdammer Hentet fra [http://publikasjoner.nve.no/veileder/2012/veileder2012\\_04.pdf](http://publikasjoner.nve.no/veileder/2012/veileder2012_04.pdf)
- NTNU. (2019 ). Kildekritikk Hentet 15.01 2019 fra <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder>

- Olje og energi departementet. (2013). Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften)  
Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-12-18-1600>
- Olsen, V. (2009). Rock quarrying: Prediction models and blasting safety.
- Rinehart, R. & Mooney, M. J. G. (2009). Measurement depth of vibratory roller-measured soil stiffness, *59*(7), 609-619.
- Rinehart, R. V., Mooney, M. A., Facas, N. F. & Musimbi, O. M. J. T. R. R. (2012). Examination of Roller-Integrated Continuous Compaction Control on Colorado Test Site, *2310*(1), 3-9.
- S. Jacobsen, M. M., S. Smeplass, K.O.Kjellsen, E.J.Sellevoid, J.Lindgård, R.Cepuritis, R.Myrdal,Ø.Bjøntegaard, M.Geiker m.fl. (2016). *Concrete Technology*.
- Sande, A. (1975). *Komprimering ved innbygging av masser i fyllingsdammer: Compaction of embankment dams*. Innlegg presentert ved Norske sivilingeniørers forening., Fagernes Abstract hentet fra <https://tow.ngi.no/article/title.aspx?tkey=72932>
- Sintef. Materialdata for naturstein: typiske verdier Hentet fra [https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi\\_og\\_samfunn/berg-og-geoteknikk/lister/typiske-materialdata-for-naturstein.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/berg-og-geoteknikk/lister/typiske-materialdata-for-naturstein.pdf)
- Standard Norge. (2004). NS 3458: Komprimering: Krav og utførelse Hentet fra <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS+3458&subscr=1>
- Stapledon, D., MacGregor, P., Bell, G. & Fell, R. J. T. o. t. A. (2005). Geotechnical Engineering of Dams, *20*, 99.
- Statens vegvesen. (2011). Sprengningsterminologi, ordliste. I *Sprengningsterminologi*. vegvesen.no. Hentet fra [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/221685/binary/420824](https://www.vegvesen.no/_attachment/221685/binary/420824)
- Store norkse leksikon. (2009). Harmonisk svingning. I *Store norske leksikon* Hentet fra [https://snl.no/harmonisk\\_svingning](https://snl.no/harmonisk_svingning)
- Store norske leksikon. (2018). Amplitude IØ. Grøn (Red.), *Store norske leksikon* Hentet fra <https://snl.no/amplitude>
- Sweco. (2017 ). Agder Energi Vannkraft AS: Dam Langevatn - teknisk plan 2017
- U.S. Army Corps of Engineers. (1995). Engineering and Design: Construction control for earth and rock-fill dams. *Engineer Manual, 110-2-1911*. Hentet fra [https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/em\\_1110-2-1911.pdf](https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/em_1110-2-1911.pdf)
- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. (1987). *Design of small dams* US Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. (2012a). Design Standards No. 13: Embankment Dams Chapter 2: Phase 4 *Embankment Dams, Chapter 2 Phase 4* Hentet fra <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/designstandards-datacollectionguides/finals-pdfs/DS13-2.pdf>
- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. (2012b). Design Standards No. 13: Embankment Dams: Chapter 10: Embankment Construction: Phase 4 Hentet fra <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/designstandards-datacollectionguides/finals-pdfs/DS13-10.pdf>
- United States Department of Agriculture. (2015). Part 645 Construction Inspection: National Engineering Handbook: Chapter 8 Earthfill and Rockfill. I(Vol. 645). United States Department of Agriculture. Hentet fra <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=40302.wba>
- Uthus, L. (2007). *Deformation properties of unbound granular aggregates* Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi.
- Vegdirektoratet 2018. (2018). *Håndbok V220: Geoteknikk i vegbygging*, . Hentet fra [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/70057/binary/1305835?fast\\_title=H%C3%A5ndbok+V220+Geoteknikk+i+vegbygging+%2818+MB%29.pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/70057/binary/1305835?fast_title=H%C3%A5ndbok+V220+Geoteknikk+i+vegbygging+%2818+MB%29.pdf)
- Vegdirektoratet. (1997). Håndbok 15: Feltundersøkelser: Retningslinjer
- Vegdirektoratet. (2014). *N200 Vegbygging*. vegvesen.no Statens vegvesen Hentet fra [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/188382/binary/980128?fast\\_title=H%C3%A5ndbok+N200+Vegbygging+\(21+MB\).pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/188382/binary/980128?fast_title=H%C3%A5ndbok+N200+Vegbygging+(21+MB).pdf)

- Vegdirektoratet. (2018). Feltundersøkelser: Retningslinjer: Håndbok R211 Hentet fra [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/111560/binary/1297147?fast\\_title=H%C3%A5ndbok+R211+Feltunders%C3%B8kelser%2C+retningslinjer+%2818+MB%29.pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/111560/binary/1297147?fast_title=H%C3%A5ndbok+R211+Feltunders%C3%B8kelser%2C+retningslinjer+%2818+MB%29.pdf)
- Volvo. (2019 ). EW60W: Volvo Excavators. I Volvo (Red.). volvo.com Hentet fra [https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/excavators/wheeled-excavators/brochures/brochure\\_ew60e\\_stagev\\_en\\_21\\_20057515\\_a.pdf?v=fg5EPw](https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/excavators/wheeled-excavators/brochures/brochure_ew60e_stagev_en_21_20057515_a.pdf?v=fg5EPw)
- Vägverket. (1994). Yttäckande packningskontroll: Metodbeskrivning 603:1994, 1994:76. Hentet fra [https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10617/RelatedFiles/1994\\_76\\_yttackande\\_packningskontroll\\_mb\\_603\\_1994.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10617/RelatedFiles/1994_76_yttackande_packningskontroll_mb_603_1994.pdf)
- Wersäll, C., Nordfelt, I. & Larsson, S. J. G. (2016). Soil compaction by vibratory roller with variable frequency, *67*(3), 272-278.
- Wersäll, C., Åkesson, F. & Persson, A. (2017). *Dynamic roller characteristics and CCC using automatic frequency control*. Géotechnique 67,: Department of Civil and Architectural Engineering, KTH Royal Institute of Technology
- Dynapac Compaction Equipment AB.
- Wersäll, C., Åkesson, F. & Persson, A. (2019). Dynamic roller characteristics and CCC using automatic frequency control. *IICTG 2019, Beijing, China, 16-17 April 2019*.
- White, D. J., Thompson, M. J. J. o. G. & Engineering, G. (2008). Relationships between in situ and roller-integrated compaction measurements for granular soils, *134*(12), 1763-1770.
- White, D. J. & Vennapusa, P. K. J. F. R. E.-.-P. д. h. w. i. i. e. r. W. a. V. F. A. I. (2010). A review of roller-integrated compaction monitoring technologies for earthworks.
- Winter, M. G. (2016). *Continuous Compaction Control for Earthworks Operations on Scottish Road Construction Projects*. The Future of Transport TRL: Bomag (Great Britain) Ltd. Hentet fra <https://trl.co.uk/sites/default/files/PPR842%20-%20Continuous%20Compaction%20Control%20for%20Earthworks%20Operations%20on%20Scottish%20Road%20Construction%20Projects%20Rev.pdf>
- Wolfram. (2011). Sums of Sine Waves with Several Step Sizes (Sawtooth or Square Approximations). Hentet 05.06 2019 fra <http://demonstrations.wolfram.com/SumsOfSineWavesWithSeveralStepSizesSawtoothOrSquareApproxima/>
- Xu Zeping, M. S. F. (2011). Design criteria and construction for very high CRRDs *SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROCKFILL DAMS*. Hentet fra <http://www.portaldageotecnia.com.br/wp-content/uploads/2018/05/DESIGN-CRITERIA-AND-CONSTRUCTION-FOR-VERY-HIGH-CFRDs.pdf>



# BILAG

<b>BILAG – TEORI FRA TEKNISK PLAN .....</b>	<b>II</b>
<b>BILAG – VALSEPROSEDYRE .....</b>	<b>VII</b>
<b>BILAG – KALIBRERING AV VEKT .....</b>	<b>IX</b>
<b>BILAG – SETNINGSMÅLINGER .....</b>	<b>X</b>
<b>BILAG – RESPONSMÅLINGER .....</b>	<b>XXVI</b>
<b>BILAG - AMPLITUDE.....</b>	<b>XXVII</b>
<b>BILAG – STANDARDAVVIK .....</b>	<b>XXX</b>
<b>BILAG – FOLLSJØDAMMEN .....</b>	<b>XLI</b>
<b>BILAG – MØTE MED LEICA-GEOSYSTEMS.....</b>	<b>XLIII</b>
<b>BILAG – E-POST KORRESPONDANSE .....</b>	<b>XLV</b>
<b>BILAG – GPS SYSTEM .....</b>	<b>XLVII</b>
<b>BILAG – DENSITETSMÅLINGER.....</b>	<b>XLIX</b>
<b>BILAG – DATA FRA CONX.....</b>	<b>LI</b>

# 1 BILAG – TEORI FRA TEKNISK PLAN

*Her samles utdrag fra teknisk plan som er benyttet i litteraturen. Teknisk plan for dam Langevatn utarbeidet av Sweco Norge AS. Litteraturen er brukt under feltstudie og dreier seg hovedsakelig om støttefylling og valgte verdier og krav for dam Langevatn.*

## 1 Innledning

### 1.1 Generelt

Dam Langevatn er en eksisterende betong- platedam i øvre del av Mandalsvassdraget. I forbindelse med prosjektet Åseral Nord skal Agder Energi Vannkraft AS (AEVK) bygge ny dam Langevatn. Reguleringshøyden økes med 10 m ved at eksisterende betongdam erstattes med en fyllingsdam. I tillegg til ny dam, omfatter prosjektet Åseral Nord ny overføringstunnel fra Langevatn til Nåvatn/ Skjerkevatn inkludert fire bekkeinntak. AEVK har engasjert Sweco Norge AS som konsulent for prosjekteringen, herunder utarbeidelse av teknisk plan for dammen.

Langevatn ligger i øvre del av Mandalsvassdraget, i Åseral kommune i Vest Agder fylke, og er reguleringsmagasin for Skjerka kraftverk, se figur 1. Inntaket til Skjerka kraftverk er i Skjerkevatn hvor det for tiden (2014- 2018) bygges nye dammer. De nye dammene i Skjerkevatn vil demme opp slik at Skjerkevatn og Nåvatn blir ett magasin. Langevatn og Skjerkevatn/ Nåvatn er forbundet med Langevannstunnelen.

Bakgrunnen for tiltaket er at eksisterende dam Langevatn ikke tilfredsstiller gjeldende krav til sikkerhet ihht. damsikkerhetsforskriften. Blant annet er platedammer i høy konsekvensklasse sårbare mot terror og sabotasje. I tillegg vil ny dam gi økt regulering i magasinet til fordel for kraftproduksjonen i vassdraget.



Sone	Navn	Materiale	Fraksjon
1	Tetningskjerne	Varmblandet asfaltbetong	0 - 16/22 mm
2	Filter	Knust og siktet sprengstein	0 - 60 mm
3	Overgangssone	Knust og siktet sprengstein	0 - 200 mm
4A	Støttefylling	Tunnelstein	0 - 400 mm
4B	Støttefylling oppstrøms	Tunnelstein	0 - 400 mm
4C	Støttefylling nedstrøms	Bruddstein	0 - 800 mm
5	Oppstrøms skråningsvern	Utsortert blokk fra sprengstein	Sjikt 1: $0,15 \text{ m}^3 < V < 0,7 \text{ m}^3$ Sjikt 2: $d > 0,25 \text{ m}$
6	Kronevern	Utsortert blokk fra sprengstein	Sjikt 1: $1,0 \text{ m}^3 < V < 4,0 \text{ m}^3$ Sjikt 2: $d > 0,5 \text{ m}$
7	Nedstrøms skråningsvern	Utsortert blokk fra sprengstein	Sjikt 1: $0,15 \text{ m}^3 < V < 0,7 \text{ m}^3$ Sjikt 2: $d > 0,25 \text{ m}$

Tabell 3. Soneinndeling.

### Sone 4A/4C- Støttefylling

Støttefyllingen skal bestå av samfengt sprengstein som legges ut slik at fyllingen blir så ensartet som mulig. Det tilstrebes en god overgang ved at det unngås stor stein inn mot overgangssoner og at det legges større stein som overgang mot skrånings- og kronevern.

Sone 4A representerer størstedelen av støttefyllingen og består av 0- 400 mm tunnelstein, flotykkelse 0,8 m. Sone 4A skal danne en stiv (høy e- modul) støttefylling inn mot de indre sonene i dammen, slik at deformasjoner i kjernen minimeres.

Sone 4C er nedstrøms støttefylling mellom sone 4A og skråningsvernet. Denne sonen må ha gode drenerseegenskaper og bygges derfor opp av 0- 800 mm bruddstein med flotykkelse 1,6 m.

Støttefyllingen skal være velgradert med korgraderingstall  $c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 10$ .

Støttefyllingen skal også tilfredsstillere filterkriterier med innenforliggende sone som basismateriale.

Høyt finstoffinnhold i støttefyllingen vil redusere materialets skjærstyrke, dette kan være tilfellet ved bruk av tunnelstein. Det settes krav til at massevekten av materiale under 25 mm i støttefyllingen har finstoffinnhold mindre enn 40 prosent.

Støttefyllingen skal ha tilstrekkelige drenerseegenskaper. På bakgrunn av beregning av drenersekapasitet settes det følgende krav:

- Sone 4A:  $d_{10} > 1 \text{ mm}$
- Sone 4C:  $d_{10} > 10 \text{ mm}$

## 1.5 Geologi

Prosjektområdet er lokalisert i prekambrisk grunnfjell. Bergartene inngår i Egersundkomplekset og Agderkomplekset. Hovedbergarten i prosjektområdet er ifølge berggrunnskart fra NGU (1:250 000) en hornblendegranitt, stedvis biotittførende (vedlegg 1). Dette er en granittisk dypbergart. I nordlig del av prosjektområdet består bergarten av granittisk **gneis**, stedvis øyegneis og båndgneis. Denne er stedvis migmatittisk.

Observasjoner fra befaring stemmer godt overens med ovennevnte. Bergarten er middels-grovkornet, med overvekt av lyse mineraler (feltspat, plagioklas, kvarts). Det er også en viss bestanddel av mørke mineraler (biotitt, hornblende).

Bergmassen er i hovedsak oppsprukket etter 3 hovedsprekkesett (vedlegg 3):

1. N130-170°Ø/70°SV-80°NØ
2. N40-50°Ø/80-90°SØ
3. N70-90°Ø/60°NV-60°SØ

I tillegg er det registrert sporadiske sprekker, der en betydelig andel av disse er av en subhorizontal karakter. Sprekkeavstanden varierer fra 0,2 m til sporadisk, med typisk avstand 1-3 m. De registrerte sprekkeene er i all hovedsak uten sprekkfylling. Det er observert leirfylling i sprekker ved enkelte lokaliteter. Sprekkeregistreringer er i hovedsak tatt i område ved dam og steinbrudd.

Sprekkes karakter er i all hovedsak ru, bølget. Ferske brudd er i stor grad irregulære og bryter langs grensene på mineralkornene. Dette gjelder spesielt hvor bergmassen er grovkornet.

### *Komprimering*

Riktig komprimering av innbygde materialer er viktig for at dammen skal ha tilfredsstillende stabilitet og at deformasjoner over tid minimeres. Tradisjonelt komprimeringsopplegg består i å stille krav til valsevekt og antall overfarer for de ulike sonene i dammen.

Imidlertid har moderne komprimeringsutstyr muligheter for å benytte responsmålinger som grunnlag for å bestemme optimal komprimering. Sammen med posisjonslogging av valsen kan moderne komprimeringsmetoder gi en bedre komprimering sammenlignet med tradisjonelt komprimeringsopplegg. Metode med responsmåling og også «intelligent komprimering» benyttes i veibygging og er beskrevet i Statens Vegvesens rapportnr. 284 [4].

Komprimeringsopplegg for innbygde masser i dam Langevatn bestemmes av fagansvarlig i samråd med byggherre og entreprenør. Komprimeringsopplegget skal gi et rimelig samsvar med tradisjonelt komprimeringsopplegg, angitt i tabell 5.

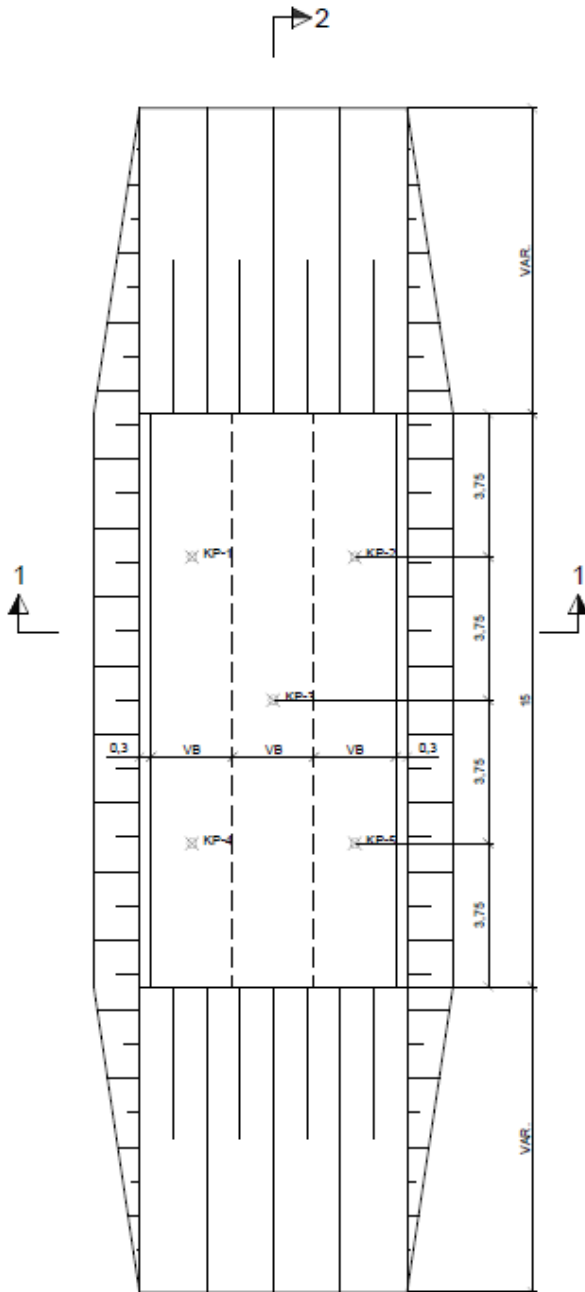
<b>Sone</b>	<b>Navn</b>	<b>Valsevekt/ linjelast</b>	<b>Passeringer</b>
3	Overgangssone	26- 40 kN/m	3- 6
4A	Støttefylling	>41 kN/m	6- 10
4C	Støttefylling	>55 kN/m	6- 10

*Tabell 5. Utgangspunkt for bestemmelse av komprimeringsopplegg.*

Komprimeringsopplegg for asfaltbetongkjerne og filter skal bestemmes på bakgrunn av prøveutlegging. Typisk komprimering, i tillegg til komprimering fra utlegger, er 2- 4 overfarer med 1- 5 tonns vibrovals for asfaltkjerne og filter.

## 2 BILAG – VALSEPROSEDYRE

Bilag II tar for seg prosedyre for bygging og komprimering av testfylling. Planen er utarbeidet av Sweco AS og Agder Energi



**DETALJ 1 - PRØVEFYLLING FOR  
KOMPRIMERING**  
1:100

## PROSEDYRE FOR BYGGING OG KOMPRIMERING AV PRØVEFYLLING

For å optimalisere antall komprimeringspasseringer av sone 4A, 4B og 4C skal det bygges totalt tre prøvefyllinger. Fyllmassene som benyttes skal være de samme som benyttes til dambyggingen og skal tilfredsstillende kravene til sone 4A, 4B og 4C. Prøvefyllingen skal bygges i rimelig tid før oppstart av fyllingsarbeidene på dam Langevatn.

### Underlag

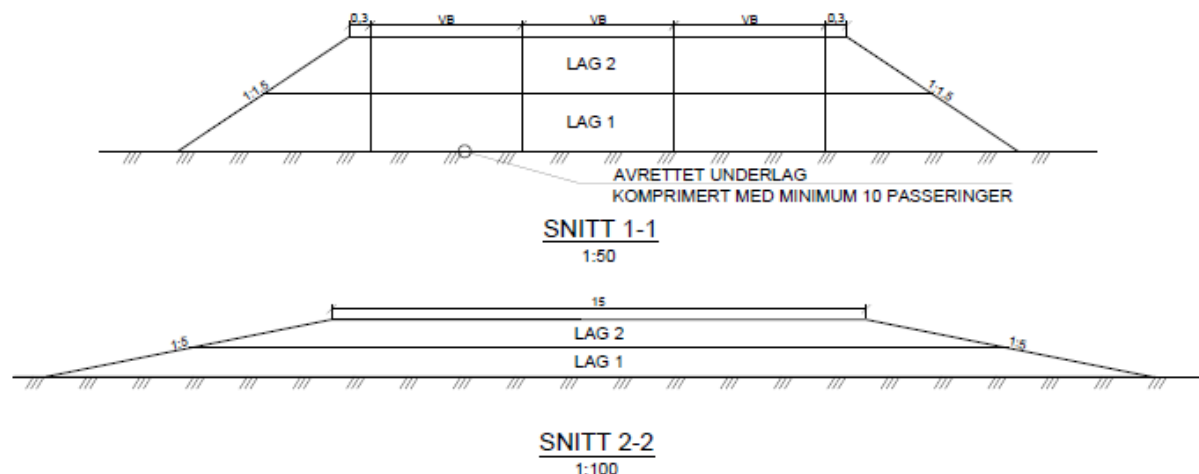
- Prøvefyllingen skal bygges på et avrettet og plant underlag.
- Underlaget skal være komprimert med minimum 10 passeringer med vibrovals med statisk linjelast > 50 kN/m.

### Oppbygning og utførelse

- Prøvefyllingen skal bygges i to lag der hvert lag skal være i samme tykkelse som beskrevet i tabell på tegning 201.
- Hvert lag skal komprimeres med samme vals som skal benyttes ved dambyggingen. Valsen skal tilfredsstillende krav til statisk linjelast gitt i tabell på tegning 201.
- Bredden av prøvefyllingen vil være avhengig av valsens bredde (VB).
- I utgangspunktet forutsettes det høy amplitude de første passeringene for så en gradvis overgang til lavere amplitude. Effekten og graden av dette skal vurderes under forsøkene.
- For hvert lag skal setningene som følge av komprimeringen innmåles i fem punkt (KP-1-KP-5). Plasseringen av innmålingspunktene er gitt i detalj 1.
- Komprimeringen skal innmåles for hver passering til og med 10 passeringer.
- Valsens kjøreretning skal spesifiseres (forover/revers).
- Responsmålinger og GNSS-stedfesting (eller tilsvarende) skal registreres kontinuerlig under forsøkene.

### Dokumentasjon

- Forsøkene skal dokumenteres i en rapport som kommer med anbefaling om valseprogram for helholdvis sone 4A, 4B og 4C.



### 3 BILAG – KALIBRERING AV VEKT

Her vises resultatene fra de to kalibreringsmetodene som ble brukt for å kalibrere vekten.

Metode 1:

Test nummer	Vekt [kg]
1	92
2	97
3	97
4	99.5
5	99
6	99
7	102
8	100
9	104.5
10	104.5
11	104.5
12	107
13	105
14	107
15	115.5
16	115.5
17	112.5

Metode 2:

Kjent mengde vann [liter]	Vekten viser [kg]
100	85
200	175
300	270
400	370
500	470

## 4 BILAG – SETNINGSMÅLINGER

Her presenteres alle setningsdata fra målingene under valsetestene samt beregninger som er gjort i Microsoft Excel. Målingene blir sortert etter punkt som er målt inn under valsetesten, samt flonummer.

### Punkt 1, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.1	686.753	0	
1	1.1	686.731	0.022	
2	2.1	686.715	0.016	
3	3.1	686.7	0.015	
4	4.1	686.691	0.009	
5	5.1	686.685	0.006	
6	6.1	686.684	0.001	
7	7.1	686.681	0.003	
8	8.1	686.679	0.002	
9	9.1	686.676	0.003	
10	10.1	686.673	0.003	
		Total 3 overfarter	0.053	28.3
		Total 4 overfarter	0.062	14.5
		Total 5 overfarter	0.068	8.8
		Total 6 overfarter	0.069	1.4
		Total 7 overfarter	0.072	4.2
		Total 8 overfarter	0.021	9.5
		Total 9 overfarter	0.077	3.9
		Total 10 overfarter	0.08	3.8

### Punkt 2, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.2	686.903	0	
1	1.2	686.862	0.041	
2	2.2	686.829	0.033	
3	3.2	686.812	0.017	
4	4.2	686.799	0.013	
5	5.2	686.796	0.003	
6	6.2	686.787	0.009	
7	7.2	686.788	-0.001	
8	8.2	686.777	0.011	
9	9.2	686.774	0.003	
10	10.2	686.771	0.003	
		Total 3 overfarter	0.091	18.7
		Total 4 overfarter	0.104	12.5



Optimal komprimering av støttefylling på fyllingsdammer

		Total 5 overfarter	0.107	2.8
		Total 6 overfarter	0.116	7.8
		Total 7 overfarter	0.115	-0.9
		Total 8 overfarter	0.126	8.7
		Total 9 overfarter	0.129	2.3
		Total 10 overfarter	0.132	2.3

Punkt 3, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.3	687.023	0	
1	1.3	686.962	0.061	
2	2.3	686.944	0.018	
3	3.3	686.93	0.014	
4	4.3	686.913	0.017	
5	5.3	686.904	0.009	
6	6.3	686.901	0.003	
7	7.3	686.894	0.007	
8	8.3	686.89	0.004	
9	9.3	686.888	0.002	
10	10.3	686.884	0.004	
		Total 3 overfarter	0.093	15.1
		Total 4 overfarter	0.11	15.5
		Total 5 overfarter	0.119	7.6
		Total 6 overfarter	0.122	2.5
		Total 7 overfarter	0.129	5.4
		Total 8 overfarter	0.133	3.0
		Total 9 overfarter	0.135	1.5
		Total 10 overfarter	0.139	2.9

Punkt 4, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.4	687.141	0	
1	1.4	687.046	0.095	
2	2.4	687.026	0.02	
3	3.4	687.022	0.004	
4	4.4	687.005	0.017	
5	5.4	687.002	0.003	
6	6.4	687.003	-0.001	
7	7.4	687	0.003	
8	8.4	686.996	0.004	
9	9.4	686.991	0.005	
10	10.4	686.988	0.003	

		Total 3 overfarter	0.119	3.4
		Total 4 overfarter	0.136	12.5
		Total 5 overfarter	0.139	2.2
		Total 6 overfarter	0.138	-0.7
		Total 7 overfarter	0.141	2.1
		Total 8 overfarter	0.145	2.8
		Total 9 overfarter	0.15	3.3
		Total 10 overfarter	0.153	2.0

Punkt 5, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.5	687.108	0	
1	1.5	687.079	0.029	
2	2.5	687.055	0.024	
3	3.5	687.035	0.02	
4	4.5	687.021	0.014	
5	5.5	687.013	0.008	
6	6.5	687.006	0.007	
7	7.5	687.001	0.005	
8	8.5	686.996	0.005	
9	9.5	686.992	0.004	
10	10.5	686.987	0.005	
		Total 3 overfarter	0.073	27.4
		Total 4 overfarter	0.087	16.1
		Total 5 overfarter	0.095	8.4
		Total 6 overfarter	0.102	6.9
		Total 7 overfarter	0.107	4.7
		Total 8 overfarter	0.112	4.5
		Total 9 overfarter	0.116	3.4
		Total 10 overfarter	0.121	4.1

Punkt 6, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.6	686.998	0	
1	1.6	686.957	0.041	
2	2.6	686.942	0.015	
3	3.6	686.924	0.018	
4	4.6	686.922	0.002	
5	5.6	686.914	0.008	
6	6.6	686.911	0.003	
7	7.6	686.908	0.003	
8	8.6	686.905	0.003	
9	9.6	686.903	0.002	
10	10.6	686.897	0.006	

Optimal komprimering av støttefylling på fyllingsdammer

		Total 3 overfarter	0.074	24.3
		Total 4 overfarter	0.076	2.6
		Total 5 overfarter	0.084	9.5
		Total 6 overfarter	0.087	3.4
		Total 7 overfarter	0.09	3.3
		Total 8 overfarter	0.093	3.2
		Total 9 overfarter	0.095	2.1
		Total 10 overfarter	0.101	5.9

Punkt 7, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.7	686.828	0	
1	1.7	686.781	0.047	
2	2.7	686.765	0.016	
3	3.7	686.753	0.012	
4	4.7	686.748	0.005	
5	5.7	686.742	0.006	
6	6.7	686.741	0.001	
7	7.7	686.736	0.005	
8	8.7	686.734	0.002	
9	9.7	686.729	0.005	
10	10.7	686.728	0.001	
		Total 3 overfarter	0.075	16.0
		Total 4 overfarter	0.08	6.3
		Total 5 overfarter	0.086	7.0
		Total 6 overfarter	0.087	1.1
		Total 7 overfarter	0.092	5.4
		Total 8 overfarter	0.094	2.1
		Total 9 overfarter	0.099	5.1
		Total 10 overfarter	0.1	1.0

Punkt 8, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.8	686.72	0	
1	1.8	686.707	0.013	
2	2.8	686.686	0.021	
3	3.8	686.676	0.01	
4	4.8	686.665	0.011	
5	5.8	686.658	0.007	
6	6.8	686.652	0.006	
7	7.8	686.65	0.002	
8	8.8	686.64	0.01	
9	9.8	686.635	0.005	
10	10.8	686.629	0.006	

		Total 3 overfarter	0.044	22.7
		Total 4 overfarter	0.055	20.0
		Total 5 overfarter	0.062	11.3
		Total 6 overfarter	0.068	8.8
		Total 7 overfarter	0.07	2.9
		Total 8 overfarter	0.08	12.5
		Total 9 overfarter	0.085	5.9
		Total 10 overfarter	0.091	6.6

Punkt 9, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.9	686.686	0	
1	1.9	686.644	0.042	
2	2.9	686.632	0.012	
3	3.9	686.617	0.015	
4	4.9	686.612	0.005	
5	5.9	686.61	0.002	
6	6.9	686.602	0.008	
7	7.9	686.599	0.003	
8	8.9	686.585	0.014	
9	9.9	686.59	-0.005	
10	10.9	686.588	0.002	
		Total 3 overfarter	0.069	21.7
		Total 4 overfarter	0.074	6.8
		Total 5 overfarter	0.076	2.6
		Total 6 overfarter	0.084	9.5
		Total 7 overfarter	0.087	3.4
		Total 8 overfarter	0.101	13.9
		Total 9 overfarter	0.096	-5.2
		Total 10 overfarter	0.098	2.0

Punkt 10, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.10	686.795	0	
1	1.10	686.777	0.018	
2	2.10	686.756	0.021	
3	3.10	686.74	0.016	
4	4.10	686.736	0.004	
5	5.10	686.727	0.009	
6	6.10	686.719	0.008	
7	7.10	686.715	0.004	
8	8.10	686.711	0.004	
9	9.10	686.709	0.002	
10	10.10	686.705	0.004	

Optimal komprimering av støttefylling på fyllingsdammer

		Total 3 overfarter	0.055	29.1
		Total 4 overfarter	0.059	6.8
		Total 5 overfarter	0.068	13.2
		Total 6 overfarter	0.076	10.5
		Total 7 overfarter	0.08	5.0
		Total 8 overfarter	0.084	4.8
		Total 9 overfarter	0.086	2.3
		Total 10 overfarter	0.09	4.4

Punkt 11, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.11	686.949	0	
1	1.11	686.915	0.034	
2	2.11	686.886	0.029	
3	3.11	686.872	0.014	
4	4.11	686.865	0.007	
5	5.11	686.858	0.007	
6	6.11	686.853	0.005	
7	7.11	686.849	0.004	
8	8.11	686.845	0.004	
9	9.11	686.841	0.004	
10	10.11	686.838	0.003	
		Total 3 overfarter	0.077	18.2
		Total 4 overfarter	0.084	8.3
		Total 5 overfarter	0.091	7.7
		Total 6 overfarter	0.096	5.2
		Total 7 overfarter	0.1	4.0
		Total 8 overfarter	0.104	3.8
		Total 9 overfarter	0.108	3.7
		Total 10 overfarter	0.111	2.7

Punkt 12, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.12	687.081	0	
1	1.12	687.041	0.04	
2	2.12	687.008	0.033	
3	3.12	686.989	0.019	
4	4.12	686.994	-0.005	
5	5.12	686.971	0.023	
6	6.12	686.968	0.003	
7	7.12	686.962	0.006	
8	8.12	686.96	0.002	
9	9.12	686.956	0.004	
10	10.12	686.951	0.005	

		Total 3 overfarter	0.092	20.7
		Total 4 overfarter	0.087	-5.7
		Total 5 overfarter	0.11	20.9
		Total 6 overfarter	0.113	2.7
		Total 7 overfarter	0.119	5.0
		Total 8 overfarter	0.121	1.7
		Total 9 overfarter	0.125	3.2
		Total 10 overfarter	0.13	3.8

Punkt 13, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.13	687.029	0	
1	1.13	686.973	0.056	
2	2.13	686.955	0.018	
3	3.13	686.943	0.012	
4	4.13	686.937	0.006	
5	5.13	686.932	0.005	
6	6.13	686.927	0.005	
7	7.13	686.921	0.006	
8	8.13	686.917	0.004	
9	9.13	686.91	0.007	
10	10.13	686.91	0	
		Total 3 overfarter	0.086	14.0
		Total 4 overfarter	0.092	6.5
		Total 5 overfarter	0.097	5.2
		Total 6 overfarter	0.102	4.9
		Total 7 overfarter	0.108	5.6
		Total 8 overfarter	0.112	3.6
		Total 9 overfarter	0.119	5.9
		Total 10 overfarter	0.119	0.0

Punkt 14, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.14	686.893	0	
1	1.14	686.846	0.047	
2	2.14	686.828	0.018	
3	3.14	686.814	0.014	
4	4.14	686.808	0.006	
5	5.14	686.802	0.006	
6	6.14	686.8	0.002	
7	7.14	686.795	0.005	
8	8.14	686.791	0.004	
9	9.14	686.789	0.002	
10	10.14	686.784	0.005	

Optimal komprimering av støttefylling på fyllingsdammer

		Total 3 overfarter	0.079	17.7
		Total 4 overfarter	0.085	7.1
		Total 5 overfarter	0.091	6.6
		Total 6 overfarter	0.093	2.2
		Total 7 overfarter	0.098	5.1
		Total 8 overfarter	0.102	3.9
		Total 9 overfarter	0.104	1.9
		Total 10 overfarter	0.109	4.6

Punkt 15, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.15	686.828	0	
1	1.15	686.822	0.006	
2	2.15	686.814	0.008	
3	3.15	686.81	0.004	
4	4.15	686.801	0.009	
5	5.15	686.794	0.007	
6	6.15	686.792	0.002	
7	7.15	686.791	0.001	
8	8.15	686.786	0.005	
9	9.15	686.779	0.007	
10	10.15	686.78	-0.001	
		Total 3 overfarter	0.018	22.2
		Total 4 overfarter	0.027	33.3
		Total 5 overfarter	0.034	20.6
		Total 6 overfarter	0.036	5.6
		Total 7 overfarter	0.037	2.7
		Total 8 overfarter	0.042	11.9
		Total 9 overfarter	0.049	14.3
		Total 10 overfarter	0.048	-2.1

Punkt 16, flo 1

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.16	686.73	0	
1	1.16	686.708	0.022	
2	2.16	686.695	0.013	
3	3.16	686.685	0.01	
4	4.16	686.683	0.002	
5	5.16	686.674	0.009	
6	6.16	686.675	-0.001	
7	7.16	686.676	-0.001	
8	8.16	686.674	0.002	
9	9.16	686.672	0.002	
10	10.16	686.673	-0.001	

		Total 3 overfarter	0.045	22.2
		Total 4 overfarter	0.047	4.3
		Total 5 overfarter	0.056	16.1
		Total 6 overfarter	0.055	-1.8
		Total 7 overfarter	0.054	-1.9
		Total 8 overfarter	0.056	3.6
		Total 9 overfarter	0.058	3.4
		Total 10 overfarter	0.057	-1.8

### Snitt at hele flo 1

Snitt flo 1				
Overfarter	Høyde (snitt)	Komprimering (snitt)	Akkumulert komprimering	Andel av akkumulert komp
0	686.9040625	0	0	
1	686.8656875	0.038375	0.038375	100.0 %
2	686.846	0.0196875	0.0580625	33.9 %
3	686.832625	0.013375	0.0714375	18.7 %
4	686.825	0.007625	0.0790625	9.6 %
5	686.817625	0.007375	0.0864375	8.5 %
6	686.8138125	0.0038125	0.09025	4.2 %
7	686.810375	0.0034375	0.0936875	3.7 %
8	686.805375	0.005	0.0986875	5.1 %
9	686.802125	0.00325	0.1019375	3.2 %
10	686.799125	0.003	0.1049375	2.9 %

For å beregne snitt av flo 1 er det tatt gjennomsnitt av alle målingene (høyde og komprimering, snitt) for hver overfart i hvert punkt. For å finne akkumulert komprimering (total komprimering) er komprimeringen for gjeldene punkt addert med total komprimering for foregående punkt. Eksempel fra snitt flo 1 tabellen mellom overfart 5 og 6 vises i figuren nedenfor. Komprimering, snitt for overfart 5 (0.007375) adderes med total komprimering i overfart 4 (0.0790625).

Overfart 5	0.007375
+ total komprimering overfart 4	0.0790625
= total komprimering for overfart 5	0.0864375



Snitt flo 1				
Overfarter	Høyde (snitt)	Komprimering (snitt)	Akkumulert kompr	Andel av akkumulert ko
0	686.9040625	0	0	
1	686.8656875	0.038375	0.038375	100.0 %
2	686.846	0.0196875	0.0580625	33.9 %
3	686.832625	0.013375	0.0714375	18.7 %
4	686.825	0.007625	0.0790625	9.6 %
5	686.817625	0.007375	=F9+E10	8.5 %
6	686.8138125	0.0038125	0.09025	4.2 %
7	686.810375	0.0034375	0.0936875	3.7 %
8	686.805375	0.005	0.0986875	5.1 %
9	686.802125	0.00325	0.1019375	3.2 %
10	686.799125	0.003	0.1049375	2.9 %

## Punkt 1, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.1	687.533	0	
1	1.1	687.531	0.002	
2	2.1	687.517	0.014	
3	3.1	687.514	0.003	
4	4.1	687.504	0.01	
5	5.1	687.499	0.005	
6	6.1	687.494	0.005	
7	7.1	687.489	0.005	
8	8.1	687.483	0.006	
9	9.1	687.48	0.003	
10	10.1	687.477	0.003	
		Total 3 overfarter	0.019	15.8
		Total 4 overfarter	0.029	34.5
		Total 5 overfarter	0.034	14.7
		Total 6 overfarter	0.039	12.8
		Total 7 overfarter	0.044	11.4
		Total 8 overfarter	0.031	19.4
		Total 9 overfarter	0.053	5.7
		Total 10 overfarter	0.056	5.4

## Punkt 2, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.2	687.545	0	
1	1.2	687.512	0.033	
2	2.2	687.5	0.012	
3	3.2	687.491	0.009	

4	4.2	687.486	0.005	
5	5.2	687.48	0.006	
6	6.2	687.476	0.004	
7	7.2	687.472	0.004	
8	8.2	687.468	0.004	
9	9.2	687.465	0.003	
10	10.2	687.46	0.005	
		Total 3 overfarter	0.054	16.7
		Total 4 overfarter	0.059	8.5
		Total 5 overfarter	0.065	9.2
		Total 6 overfarter	0.069	5.8
		Total 7 overfarter	0.073	5.5
		Total 8 overfarter	0.077	5.2
		Total 9 overfarter	0.08	3.7
		Total 10 overfarter	0.085	5.9

Punkt 3, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.3	687.552	0	
1	1.3	687.557	-0.005	
2	2.3	687.543	0.014	
3	3.3	687.537	0.006	
4	4.3	687.531	0.006	
5	5.3	687.529	0.002	
6	6.3	687.52	0.009	
7	7.3	687.517	0.003	
8	8.3	687.514	0.003	
9	9.3	687.511	0.003	
10	10.3	687.507	0.004	
		Total 3 overfarter	0.015	40.0
		Total 4 overfarter	0.021	28.6
		Total 5 overfarter	0.023	8.7
		Total 6 overfarter	0.032	28.1
		Total 7 overfarter	0.035	8.6
		Total 8 overfarter	0.038	7.9
		Total 9 overfarter	0.041	7.3
		Total 10 overfarter	0.045	8.9

Punkt 4, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.4	687.581	0	
1	1.4	687.593	-0.012	
2	2.4	687.583	0.01	
3	3.4	687.576	0.007	

Optimal komprimering av støttefylling på fyllingsdammer

4	4.4	687.567	0.009	
5	5.4	687.562	0.005	
6	6.4	687.555	0.007	
7	7.4	687.553	0.002	
8	8.4	687.55	0.003	
9	9.4	687.547	0.003	
10	10.4	687.54	0.007	
		Total 3 overfarter	0.005	140.0
		Total 4 overfarter	0.014	64.3
		Total 5 overfarter	0.019	26.3
		Total 6 overfarter	0.026	26.9
		Total 7 overfarter	0.028	7.1
		Total 8 overfarter	0.031	9.7
		Total 9 overfarter	0.034	8.8
		Total 10 overfarter	0.041	17.1

Punkt 5, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.5	687.589	0	
1	1.5	687.584	0.005	
2	2.5	687.567	0.017	
3	3.5	687.553	0.014	
4	4.5	687.542	0.011	
5	5.5	687.538	0.004	
6	6.5	687.53	0.008	
7	7.5	687.527	0.003	
8	8.5	687.523	0.004	
9	9.5	687.521	0.002	
10	10.5	687.517	0.004	
		Total 3 overfarter	0.036	38.9
		Total 4 overfarter	0.047	23.4
		Total 5 overfarter	0.051	7.8
		Total 6 overfarter	0.059	13.6
		Total 7 overfarter	0.062	4.8
		Total 8 overfarter	0.066	6.1
		Total 9 overfarter	0.068	2.9
		Total 10 overfarter	0.072	5.6

Punkt 6, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.6	687.557	0	
1	1.6	687.524	0.033	
2	2.6	687.51	0.014	
3	3.6	687.5	0.01	
4	4.6	687.493	0.007	
5	5.6	687.487	0.006	
6	6.6	687.483	0.004	
7	7.6	687.479	0.004	
8	8.6	687.474	0.005	
9	9.6	687.471	0.003	
10	10.6	687.468	0.003	
		<b>Total 3 overfarter</b>	<b>0.057</b>	<b>17.5</b>
		<b>Total 4 overfarter</b>	<b>0.064</b>	<b>10.9</b>
		<b>Total 5 overfarter</b>	<b>0.07</b>	<b>8.6</b>
		<b>Total 6 overfarter</b>	<b>0.074</b>	<b>5.4</b>
		<b>Total 7 overfarter</b>	<b>0.078</b>	<b>5.1</b>
		<b>Total 8 overfarter</b>	<b>0.083</b>	<b>6.0</b>
		<b>Total 9 overfarter</b>	<b>0.086</b>	<b>3.5</b>
		<b>Total 10 overfarter</b>	<b>0.089</b>	<b>3.4</b>

Punkt 7, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.7	687.491	0	
1	1.7	687.478	0.013	
2	2.7	687.47	0.008	
3	3.7	687.459	0.011	
4	4.7	687.45	0.009	
5	5.7	687.445	0.005	
6	6.7	687.44	0.005	
7	7.7	687.435	0.005	
8	8.7	687.43	0.005	
9	9.7	687.427	0.003	
10	10.7	687.422	0.005	
		<b>Total 3 overfarter</b>	<b>0.032</b>	<b>34.4</b>
		<b>Total 4 overfarter</b>	<b>0.041</b>	<b>22.0</b>
		<b>Total 5 overfarter</b>	<b>0.046</b>	<b>10.9</b>
		<b>Total 6 overfarter</b>	<b>0.051</b>	<b>9.8</b>
		<b>Total 7 overfarter</b>	<b>0.056</b>	<b>8.9</b>
		<b>Total 8 overfarter</b>	<b>0.061</b>	<b>8.2</b>

Total 9 overfarter	0.064	4.7
Total 10 overfarter	0.069	7.2

## Punkt 8, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.8	687.496	0	
1	1.8	687.496	0	
2	2.8	687.487	0.009	
3	3.8	687.479	0.008	
4	4.8	687.473	0.006	
5	5.8	687.467	0.006	
6	6.8	687.461	0.006	
7	7.8	687.455	0.006	
8	8.8	687.452	0.003	
9	9.8	687.448	0.004	
10	10.8	687.443	0.005	
		Total 3 overfarter	0.017	47.1
		Total 4 overfarter	0.023	26.1
		Total 5 overfarter	0.029	20.7
		Total 6 overfarter	0.035	17.1
		Total 7 overfarter	0.041	14.6
		Total 8 overfarter	0.044	6.8
		Total 9 overfarter	0.048	8.3
		Total 10 overfarter	0.053	9.4

## Punkt 9, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.9	687.549	0	
1	1.9	687.513	0.036	
2	2.9	687.495	0.018	
3	3.9	687.487	0.008	
4	4.9	687.477	0.01	
5	5.9	687.47	0.007	
6	6.9	687.465	0.005	
7	7.9	687.462	0.003	
8	8.9	687.456	0.006	
9	9.9	687.453	0.003	
10	10.9	687.448	0.005	
		Total 3 overfarter	0.062	12.9
		Total 4 overfarter	0.072	13.9
		Total 5 overfarter	0.079	8.9
		Total 6 overfarter	0.084	6.0
		Total 7 overfarter	0.087	3.4
		Total 8 overfarter	0.093	6.5

Total 9 overfarter	0.096	3.1
Total 10 overfarter	0.101	5.0

Punkt 10, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.10	687.464	0	
1	1.10	687.458	0.006	
2	2.10	687.45	0.008	
3	3.10	687.442	0.008	
4	4.10	687.435	0.007	
5	5.10	687.429	0.006	
6	6.10	687.426	0.003	
7	7.10	687.422	0.004	
8	8.10	687.417	0.005	
9	9.10	687.414	0.003	
10	10.10	687.41	0.004	
		Total 3 overfarter	0.022	36.4
		Total 4 overfarter	0.029	24.1
		Total 5 overfarter	0.035	17.1
		Total 6 overfarter	0.038	7.9
		Total 7 overfarter	0.042	9.5
		Total 8 overfarter	0.047	10.6
		Total 9 overfarter	0.05	6.0
		Total 10 overfarter	0.054	7.4

Punkt 11, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.11	687.479	0	
1	1.11	687.473	0.006	
2	2.11	687.467	0.006	
3	3.11	687.462	0.005	
4	4.11	687.455	0.007	
5	5.11	687.448	0.007	
6	6.11	687.446	0.002	
7	7.11	687.44	0.006	
8	8.11	687.438	0.002	
9	9.11	687.433	0.005	
10	10.11	687.43	0.003	
		Total 3 overfarter	0.017	29.4
		Total 4 overfarter	0.024	29.2
		Total 5 overfarter	0.031	22.6
		Total 6 overfarter	0.033	6.1
		Total 7 overfarter	0.039	15.4
		Total 8 overfarter	0.041	4.9

Total 9 overfarter	0.046	10.9
Total 10 overfarter	0.049	6.1

## Punkt 12, flo 2

Overfarter	S_OBJID	Høyde	m komprimert	% av totalt komprimert
0	0.12	687.548	0	
1	1.12	687.53	0.018	
2	2.12	687.515	0.015	
3	3.12	687.507	0.008	
4	4.12	687.501	0.006	
5	5.12	687.496	0.005	
6	6.12	687.492	0.004	
7	7.12	687.49	0.002	
8	8.12	687.487	0.003	
9	9.12	687.483	0.004	
10	10.12	687.48	0.003	
		Total 3 overfarter	0.041	19.5
		Total 4 overfarter	0.047	12.8
		Total 5 overfarter	0.052	9.6
		Total 6 overfarter	0.056	7.1
		Total 7 overfarter	0.058	3.4
		Total 8 overfarter	0.061	4.9
		Total 9 overfarter	0.065	6.2
		Total 10 overfarter	0.068	4.4

Overfarter	Høyde (snitt)	Komprimering (snitt)	Akkumulert komprimering	Andel av akkumulert komp
0	687.532	0	0	
1	687.52075	0.016888889	0.016888889	100.0 %
2	687.5086667	0.012083333	0.028972222	41.7 %
3	687.5005833	0.008083333	0.037055556	21.8 %
4	687.4928333	0.00775	0.044805556	17.3 %
5	687.4875	0.005333333	0.050138889	10.6 %
6	687.4823333	0.005166667	0.055305556	9.3 %
7	687.4784167	0.003916667	0.059222222	6.6 %
8	687.4743333	0.004083333	0.063305556	6.5 %
9	687.4710833	0.00325	0.066555556	4.9 %
10	687.4668333	0.00425	0.070805556	6.0 %

Beregningene er utført på samme måte som for flo 1.

## 5 BILAG – RESPONSMÅLINGER

Her presenteres alle responsverdiene som er hentet ut fra ConX.

Valsetest 1			
	Overfart	CMV	Standardavvik
	1	32.34	13.27
	2	35.71	14.98
	3	45.46	20.27
	4	49.05	19.78
	5	59.85	23.68
	6	61.58	24.39
	7	68	23.38
	8	62.64	26.89
	9	67.66	26.97
	10	67.42	31.61

Valsetest 2			
	Overfart	CMV	Standardavvik
	1	31.27	13.44
	2	37.21	13.22
	3	41.69	13.63
	4	51.7	22.5
	5	54.17	16.7
	6	60.47	31.6
	7	73.23	34.89
	8	70.02	27.19
	9	79.92	27.34
	10	68.03	31.39

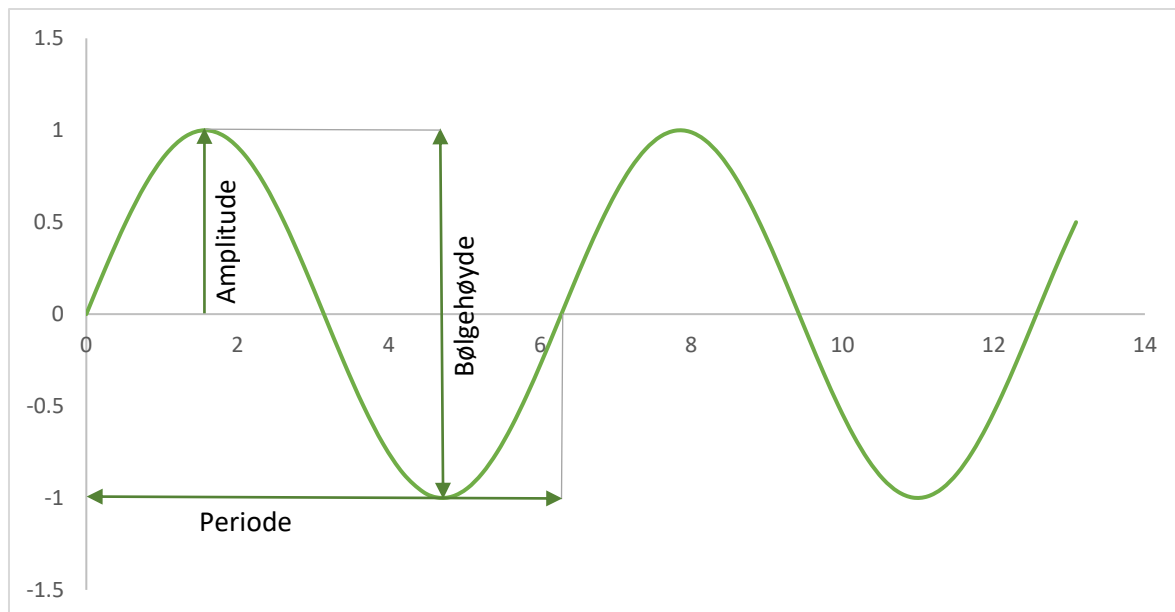


## 6 BILAG - AMPLITUDE

Her presenteres visualiseringen av amplituden.

<b>Steg</b>	<b>Sinus</b>
	0
0.26179939	0.25881905
0.52359878	0.5
0.78539816	0.70710678
1.04719755	0.8660254
1.30899694	0.96592583
1.57079633	1
1.83259571	0.96592583
2.0943951	0.8660254
2.35619449	0.70710678
2.61799388	0.5
2.87979327	0.25881905
3.14159265	-3.2157E-16
	-
3.40339204	0.25881905
3.66519143	-0.5
	-
3.92699082	0.70710678
4.1887902	-0.8660254
	-
4.45058959	0.96592583
	-
4.64693913	0.99785892
	-
4.84328867	0.99144486
	-
5.03963822	0.94693013
5.23598776	-0.8660254
	-
5.4323373	0.75183981
	-
5.62868684	0.60876143
	-
5.82503638	0.44228869
	-
6.02138592	0.25881905
	-
6.21773546	0.06540313
6.414085	0.13052619
6.61043454	0.32143947
6.80678408	0.5
7.00313362	0.65934582
7.19948316	0.79335334
7.39583271	0.89687274
7.59218225	0.96592583

7.78853179	0.99785892
7.98488133	0.99144486
8.18123087	0.94693013
8.37758041	0.8660254
8.57392995	0.75183981
8.77027949	0.60876143
8.96662903	0.44228869
9.16297857	0.25881905
9.35932811	0.06540313
	-
9.55567765	0.13052619
	-
9.7520272	0.32143947
9.94837674	-0.5
	-
10.1447263	0.65934582
	-
10.3410758	0.79335334
	-
10.5374254	0.89687274
	-
10.7337749	0.96592583
	-
10.9301244	0.99785892
	-
11.126474	0.99144486
	-
11.3228235	0.94693013
11.5191731	-0.8660254
	-
11.7155226	0.75183981
	-
11.9118721	0.60876143
	-
12.1082217	0.44228869
	-
12.3045712	0.25881905
	-
12.5009208	0.06540313
12.6972703	0.13052619
12.8936198	0.32143947
13.0899694	0.5



## 7 BILAG – STANDARDAVVIK

Her presenteres beregningen av standardavviket for setningsmålingene. Først for flo 1, deretter for flo nummer 2.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Figur 73: Formel for standardavvik

### Flo nummer 1

Overfart 1		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.022	0.038375	0.00026814
0.041	0.038375	6.8906E-06
0.061	0.038375	0.00051189
0.095	0.038375	0.00320639
0.029	0.038375	8.7891E-05
0.041	0.038375	6.8906E-06
0.047	0.038375	7.4391E-05
0.013	0.038375	0.00064389
0.042	0.038375	1.3141E-05
0.018	0.038375	0.00041514
0.034	0.038375	1.9141E-05
0.04	0.038375	2.6406E-06
0.056	0.038375	0.00031064
0.047	0.038375	7.4391E-05
0.006	0.038375	0.00104814
0.022	0.038375	0.00026814
<b>Sum</b>		0.00695775
<b>Standardavvik Excel</b>		0.02153718
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.02085328

Overfart 2		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>

0.016	0.0196875	1.35977E-05
0.033	0.0196875	0.000177223
0.018	0.0196875	2.84766E-06
0.02	0.0196875	9.76563E-08
0.024	0.0196875	1.85977E-05
0.015	0.0196875	2.19727E-05
0.016	0.0196875	1.35977E-05
0.021	0.0196875	1.72266E-06
0.012	0.0196875	5.90977E-05
0.021	0.0196875	1.72266E-06
0.029	0.0196875	8.67227E-05
0.033	0.0196875	0.000177223
0.018	0.0196875	2.84766E-06
0.018	0.0196875	2.84766E-06
0.008	0.0196875	0.000136598
0.013	0.0196875	4.47227E-05
<b>Sum</b>		0.000761438
<b>Standardavvik Excel</b>		0.007124781
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.006898539

Overfart 3		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.015	0.013375	2.64062E-06
0.017	0.013375	1.31406E-05
0.014	0.013375	3.90625E-07
0.004	0.013375	8.78906E-05
0.02	0.013375	4.38906E-05
0.018	0.013375	2.13906E-05
0.012	0.013375	1.89063E-06
0.01	0.013375	1.13906E-05
0.015	0.013375	2.64062E-06
0.016	0.013375	6.89062E-06
0.014	0.013375	3.90625E-07
0.019	0.013375	3.16406E-05
0.012	0.013375	1.89062E-06
0.014	0.013375	3.90625E-07
0.004	0.013375	8.78906E-05
0.01	0.013375	1.13906E-05
<b>Sum</b>		0.00032575
<b>Standardavvik Excel</b>		0.004512136
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.004660114

Overfart 4		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.009	0.007625	1.89063E-06
0.013	0.007625	2.88906E-05
0.017	0.007625	8.78906E-05
0.017	0.007625	8.78906E-05
0.014	0.007625	4.06406E-05
0.002	0.007625	3.16406E-05
0.005	0.007625	6.89062E-06
0.011	0.007625	1.13906E-05
0.005	0.007625	6.89062E-06
0.004	0.007625	1.31406E-05
0.007	0.007625	3.90625E-07
-0.005	0.007625	0.000159391
0.006	0.007625	2.64063E-06
0.006	0.007625	2.64063E-06
0.009	0.007625	1.89062E-06
0.002	0.007625	3.16406E-05
<b>Sum</b>		0.00051575
<b>Standardavvik Excel</b>		0.00586373
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.005677532

Overfart 5		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.006	0.007375	1.89062E-06
0.003	0.007375	1.91406E-05
0.009	0.007375	2.64063E-06
0.003	0.007375	1.91406E-05
0.008	0.007375	3.90625E-07
0.008	0.007375	3.90625E-07
0.006	0.007375	1.89062E-06
0.007	0.007375	1.40625E-07
0.002	0.007375	2.88906E-05
0.009	0.007375	2.64063E-06
0.007	0.007375	1.40625E-07
0.023	0.007375	0.000244141
0.005	0.007375	5.64063E-06
0.006	0.007375	1.89063E-06
0.007	0.007375	1.40625E-07
0.009	0.007375	2.64063E-06
<b>Sum</b>		0.00033175
<b>Standardavvik Excel</b>		0.004702836

<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.004553501
-------------------------------	--	-------------

Overfart 6		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.001	0.0038125	7.91016E-06
0.009	0.0038125	2.69102E-05
0.003	0.0038125	6.60156E-07
-0.001	0.0038125	2.31602E-05
0.007	0.0038125	1.01602E-05
0.003	0.0038125	6.60156E-07
0.001	0.0038125	7.91016E-06
0.006	0.0038125	4.78516E-06
0.008	0.0038125	1.75352E-05
0.008	0.0038125	1.75352E-05
0.005	0.0038125	1.41016E-06
0.003	0.0038125	6.60156E-07
0.005	0.0038125	1.41016E-06
0.002	0.0038125	3.28516E-06
0.002	0.0038125	3.28516E-06
-0.001	0.0038125	2.31602E-05
<b>Sum</b>		0.000150438
<b>Standardavvik Excel</b>		0.003166886
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.003066324

Overfart 7		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.003	0.0034375	1.91406E-07
-0.001	0.0034375	1.96914E-05
0.007	0.0034375	1.26914E-05
0.003	0.0034375	1.91406E-07
0.005	0.0034375	2.44141E-06
0.003	0.0034375	1.91406E-07
0.005	0.0034375	2.44141E-06
0.002	0.0034375	2.06641E-06
0.003	0.0034375	1.91406E-07
0.004	0.0034375	3.16406E-07
0.004	0.0034375	3.16406E-07
0.006	0.0034375	6.56641E-06
0.006	0.0034375	6.56641E-06
0.005	0.0034375	2.44141E-06
0.001	0.0034375	5.94141E-06
-0.001	0.0034375	1.96914E-05

<b>Sum</b>		8.19375E-05
<b>Standardavvik Excel</b>		0.002337199
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.002262983

Overfart 8		
<b>Setning [x]</b>	<b>Gjennomsnittsetning [x̄]</b>	<b>(x-x̄)<sup>2</sup></b>
0.002	0.005	9E-06
0.011	0.005	3.6E-05
0.004	0.005	1E-06
0.004	0.005	1E-06
0.005	0.005	2.0195E-28
0.003	0.005	4E-06
0.002	0.005	9E-06
0.01	0.005	2.5E-05
0.014	0.005	8.1E-05
0.004	0.005	1E-06
0.004	0.005	1E-06
0.002	0.005	9E-06
0.004	0.005	1E-06
0.004	0.005	1E-06
0.005	0.005	9.8955E-27
0.002	0.005	9E-06
<b>Sum</b>		0.000188
<b>Standardavvik Excel</b>		0.00354024
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.00342783

Overfart 9		
<b>Setning [x]</b>	<b>Gjennomsnittsetning [x̄]</b>	<b>(x-x̄)<sup>2</sup></b>
0.003	0.00325	6.25E-08
0.003	0.00325	6.25E-08
0.002	0.00325	1.5625E-06
0.005	0.00325	3.0625E-06
0.004	0.00325	5.625E-07
0.002	0.00325	1.5625E-06
0.005	0.00325	3.0625E-06
0.005	0.00325	3.0625E-06
-0.005	0.00325	6.8062E-05
0.002	0.00325	1.5625E-06
0.004	0.00325	5.625E-07
0.004	0.00325	5.625E-07
0.007	0.00325	1.4063E-05



0.002	0.00325	1.5625E-06
0.007	0.00325	1.4062E-05
0.002	0.00325	1.5625E-06
<b>Sum</b>		0.000115
<b>Standardavvik Excel</b>		0.00276887
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.00268095

Overfart 10		
<b>Setning [x]</b>	<b>Gjennomsnittsetning [x̄]</b>	<b>(x-x̄)<sup>2</sup></b>
0.003	0.003	1.26218E-27
0.003	0.003	1.26218E-27
0.004	0.003	1E-06
0.003	0.003	6.10894E-27
0.005	0.003	4E-06
0.006	0.003	9E-06
0.001	0.003	4E-06
0.006	0.003	9E-06
0.002	0.003	1E-06
0.004	0.003	1E-06
0.003	0.003	1.26218E-27
0.005	0.003	4E-06
0	0.003	9E-06
0.005	0.003	4E-06
-0.001	0.003	1.6E-05
-0.001	0.003	1.6E-05
<b>Sum</b>		7.8E-05
<b>Standardavvik Excel</b>		0.002280351
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.00220794

Flo nummer 2

Overfart 1		
<b>Setning [x]</b>	<b>Gjennomsnittsetning [x̄]</b>	<b>(x-x̄)<sup>2</sup></b>
0.002	0.01125	8.55625E-05
0.033	0.01125	0.000473062
-0.005	0.01125	0.000264063
-0.012	0.01125	0.000540562
0.005	0.01125	3.90625E-05
0.033	0.01125	0.000473062
0.013	0.01125	3.0625E-06

0	0.01125	0.000126563
0.036	0.01125	0.000612562
0.006	0.01125	2.75625E-05
0.006	0.01125	2.75625E-05
0.018	0.01125	4.55625E-05
<b>Sum</b>		0.00271825
<b>Standardavvik Excel</b>		0.015719848
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.015050609
<b>Overfart 2</b>		
<b>Setning [x]</b>	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
<b>0.014</b>	0.012083333	3.67361E-06
<b>0.012</b>	0.012083333	6.94444E-09
<b>0.014</b>	0.012083333	3.67361E-06
<b>0.01</b>	0.012083333	4.34028E-06
<b>0.017</b>	0.012083333	2.41736E-05
<b>0.014</b>	0.012083333	3.67361E-06
<b>0.008</b>	0.012083333	1.66736E-05
<b>0.009</b>	0.012083333	9.50694E-06
<b>0.018</b>	0.012083333	3.50069E-05
<b>0.008</b>	0.012083333	1.66736E-05
<b>0.006</b>	0.012083333	3.70069E-05
<b>0.015</b>	0.012083333	8.50694E-06
<b>Sum</b>		0.000162917
<b>Standardavvik Excel</b>		0.003848455
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.003684615

Overfart 3		
<b>Setning [x]</b>	<b>Gjennomsnittsetning [x̄]</b>	<b>(x-x̄)<sup>2</sup></b>
0.003	0.008083333	2.584E-05
0.009	0.008083333	8.4028E-07
0.006	0.008083333	4.3403E-06
0.007	0.008083333	1.1736E-06
0.014	0.008083333	3.5007E-05
0.01	0.008083333	3.6736E-06
0.011	0.008083333	8.5069E-06
0.008	0.008083333	6.9444E-09
0.008	0.008083333	6.9444E-09
0.008	0.008083333	6.9444E-09
0.005	0.008083333	9.5069E-06
0.008	0.008083333	6.9444E-09
<b>Sum</b>		8.8917E-05

<b>Standardavvik Excel</b>		0.00284312
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.00272208

Overfart 4		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.01	0.00775	5.0625E-06
0.005	0.00775	7.5625E-06
0.006	0.00775	3.0625E-06
0.009	0.00775	1.5625E-06
0.011	0.00775	1.0562E-05
0.007	0.00775	5.625E-07
0.009	0.00775	1.5625E-06
0.006	0.00775	3.0625E-06
0.01	0.00775	5.0625E-06
0.007	0.00775	5.625E-07
0.007	0.00775	5.625E-07
0.006	0.00775	3.0625E-06
<b>Sum</b>		4.225E-05
<b>Standardavvik Excel</b>		0.00195982
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.00187639

Overfart 5		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.005	0.005333333	1.1111E-07
0.006	0.005333333	4.4444E-07
0.002	0.005333333	1.1111E-05
0.005	0.005333333	1.1111E-07
0.004	0.005333333	1.7778E-06
0.006	0.005333333	4.4444E-07
0.005	0.005333333	1.1111E-07
0.006	0.005333333	4.4444E-07
0.007	0.005333333	2.7778E-06
0.006	0.005333333	4.4444E-07
0.007	0.005333333	2.7778E-06
0.005	0.005333333	1.1111E-07
<b>Sum</b>		2.0667E-05
<b>Standardavvik Excel</b>		0.00137069
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.00131233

Overfart 6		
------------	--	--

Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.005	0.005166667	2.77778E-08
0.004	0.005166667	1.36111E-06
0.009	0.005166667	1.46944E-05
0.007	0.005166667	3.36111E-06
0.008	0.005166667	8.02778E-06
0.004	0.005166667	1.36111E-06
0.005	0.005166667	2.77778E-08
0.006	0.005166667	6.94444E-07
0.005	0.005166667	2.77778E-08
0.003	0.005166667	4.69444E-06
0.002	0.005166667	1.00278E-05
0.004	0.005166667	1.36111E-06
<b>Sum</b>		4.56667E-05
<b>Standardavvik Excel</b>		0.002037527
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.001950783

Overfart 7		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.005	0.003916667	1.17361E-06
0.004	0.003916667	6.94444E-09
0.003	0.003916667	8.40278E-07
0.002	0.003916667	3.67361E-06
0.003	0.003916667	8.40278E-07
0.004	0.003916667	6.94444E-09
0.005	0.003916667	1.17361E-06
0.006	0.003916667	4.34028E-06
0.003	0.003916667	8.40278E-07
0.004	0.003916667	6.94444E-09
0.006	0.003916667	4.34028E-06
0.002	0.003916667	3.67361E-06
<b>Sum</b>		2.09167E-05
<b>Standardavvik Excel</b>		0.001378954
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.001320248

Overfart 8		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.006	0.004083333	3.6736E-06
0.004	0.004083333	6.9444E-09
0.003	0.004083333	1.1736E-06
0.003	0.004083333	1.1736E-06

0.004	0.004083333	6.9444E-09
0.005	0.004083333	8.4028E-07
0.005	0.004083333	8.4028E-07
0.003	0.004083333	1.1736E-06
0.006	0.004083333	3.6736E-06
0.005	0.004083333	8.4028E-07
0.002	0.004083333	4.3403E-06
0.003	0.004083333	1.1736E-06
<b>Sum</b>		1.8917E-05
<b>Standardavvik Excel</b>		0.00131137
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.00125554

Overfart 9		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.003	0.00325	6.25E-08
0.003	0.00325	6.25E-08
0.003	0.00325	6.25E-08
0.003	0.00325	6.25E-08
0.002	0.00325	1.5625E-06
0.003	0.00325	6.25E-08
0.003	0.00325	6.25E-08
0.004	0.00325	5.625E-07
0.003	0.00325	6.25E-08
0.003	0.00325	6.25E-08
0.005	0.00325	3.0625E-06
0.004	0.00325	5.625E-07
<b>Sum</b>		6.25E-06
<b>Standardavvik Excel</b>		0.00075378
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.00072169

Overfart 10		
Setning [x]	Gjennomsnittsetning [x̄]	(x-x̄) <sup>2</sup>
0.003	0.00425	1.5625E-06
0.005	0.00425	5.625E-07
0.004	0.00425	6.25E-08
0.007	0.00425	7.5625E-06
0.004	0.00425	6.25E-08
0.003	0.00425	1.5625E-06
0.005	0.00425	5.625E-07
0.005	0.00425	5.625E-07
0.005	0.00425	5.625E-07
0.004	0.00425	6.25E-08

0.003	0.00425	1.5625E-06
0.003	0.00425	1.5625E-06
<b>Sum</b>		1.625E-05
<b>Standardavvik Excel</b>		0.00121543
<b>Beregnet Standardavvik</b>		0.00116369

## 8 BILAG – FOLLSJØDAMMEN

Her presenteres data hentet utfra rapportene om follsjødammen. Det er kun tatt med utklipp av det som er brukt fra rapportene. Den første rapporten er utarbeidet av Norges Geotekniske Institutt og er datert 6.mars 1970. Den andre rapporten er utarbeidet Sweco Norge AS og er datert 12 september 2012.

3

### 4. Bruddstein i støttefyllingen

Bruddstein ble tatt fra bruddet ca. 2 km oppstrøms damstedet og fra overløpskanalene. Bruddstein ble til kote 417,0, lagt ut i lag fra 2 til 5 m og spylt. Spylingen må anses som tilfredsstillende.

Fra kote 417,0 ble støttefyllingen lagt ut i lag av 1,5 m og overrislet fra venstre anslutning til pel 320, overrislingen ble her avsluttet på grunn av frost.

Etter at morenen var ferdig lagt, ble det kjørt bruddstein som ble tippet lass i lass på toppen av dammen. Det gjenstår å fylle ca. 2000 m<sup>3</sup> bruddstein.

Figur 74: Utklipp fra rapport 1 om follsjø





## 9 BILAG – MØTE MED LEICA-GEOSYSTEMS

Her presenteres e-mail og møtereferat fra telefonsamtale med Fredrik Berentsen fra Leica-Geosystems.

### E-post mottatt 20 mai 2019

- Hvordan fungerer GPS systemet til valsen?  
Her henviser jeg til presentasjonen jeg legger ved.

• Hvorfor har valsen påmontert 2 GPS sendere?  
Den har to antenner fordi det sikrer at maskinen har kontroll på sin kjøretretning til enhver tid. Med en antenne vil den første bevegelsen i maskinen indikere retning (definert i software). Dvs hvis maskinfører rygger 5 cm før han kjører fremover så vil systemet snu alt av referansemodeller og det blir et galt resultat. Siden dette er valsing som blir permanent vil det gi alvorlige konsekvenser selv ved lite område med avvik. Vi kan ta mer om dette på tlf også.

• Hva er feilmarginen på GPS og er det RTK- GPS (real time kinematics)?  
Vi bruker utelukkende RTK-GPS med cm nøyaktighet. Dvs ved gode forhold vil man normalt ha avvik på 1-2 cm på målepunktet på maskinen.

• Hvilken type responsmåler er brukt, har den et navn?  
Vi bruker Völkel ASC 08 som responsmåler. Legger ved et datablad på denne.

• Vet du hvor ofte responsmåleren måler CMV, har den et tids intervall som 1 eller 5 sekunder?  
Den måler i sanntid, dvs kontinuerlig.

• Vet du hva valsen definerer som høy og lav amplitude? f.eks 30 Hz eller 20 Hz.  
Det er nok forskjellig fra vals til vals (leverandør til leverandør) Her anbefaler jeg å snakke direkte med importørene eller leverandørene av de forskjellige valsene. Amplitude måles normalt i mm, og frekvensen måles i Hz.  
Legger ved et utsnitt av datablad på en av de mer brukte valsene i anleggsbransjen i Norge, her ser du både amplitude og frekvens.

### Møtereferat fra telefonsamtale 21 mai 2019 (selvskrevet)

#### **Hvordan fungerer GPS systemet:**

##### GNSS

- *mottaker + antenner*

##### RTK

- *basestasjonsnettverk eller egen base som man setter opp*
- *Smartnett, CPOS*
- *God nøyaktighet (1-2cm)*
- *Veldig lite feil*

#### **Hvorfor har valsen påmontert 2 GPS sendere?**

- *For å måle korrekt om man starter med å rygge*
- *Ville i utgangspunktet (med 1 sender) snudd hele referansemodellen*

#### **Hvor ofte måles CMV?**

*CMV måles kontinuerlig under komprimeringen*

*CMV-sensor er plassert på ene siden av vibrasjonsmotoren*

#### *Nevnte punkter underveis:*

*Flere som bruker CMV i dambygging, men i forhold til andel entreprenører så er det svært få som bruker det*

- *Det er veikontraktene som har drevet forskningen fremover*
- *Valsing er også et lite og spesielt felt, ofte ansett som litt kjedelig arbeid*

#### *Generelt om valser:*

- *BomagVario er nok det beste på markedet for komprimering*

- *Hamm har også et eget datasystem men får ikke solgt det i Norge, så Leica bruker sitt system på mange Hamm valser.*

*For komprimering som arbeid er det dårlig å bruke Automatisk Frekvens Kontroll.*

*Valsene fra Hamm korrigerer ikke for dobbelthopp men sier ifra når det er fare for dobbelt hopp. Siden valsene har lengre måledybde enn laget som komprimeres kan det virke som valsen har ferdig komprimering i startet fordi den måler på laget under. I tillegg vil den gi utslag på dobbelthopp selv om dette ikke er tilfelle.*

- *En 26 tonns vals vil måle 1.2-1.3meter ned i underlaget*

*Betonmast Hæhre er de som er best på komprimering i Norge i dag, har laget egen faggruppe for komprimering.*

*Vanning er veldig bra for komprimering, selv for komprimering av steiner*

- *Man får et bedre resultat og en jevnere komprimering siden steiner får mindre friksjon ved å bruke vanning.*
- *Vi skulle hatt en sensor for å måle fuktinnhold under komprimering.*

*Merk at dette er meninger fra Fredrik Berentsen i Leica-Geosystems*



## 10 BILAG – E-POST KORRESPONDANSE

Her presenteres en rekke e-poster som er benyttet som kilde i oppgaven.

E-post mottatt fra valseprodusent Hamm, den 28.mai.2019.

**Fra:** Mari Leikvangen <[Mari-Leikvangen@hotmail.com](mailto:Mari-Leikvangen@hotmail.com)>  
**Sendt:** 28. mai 2019 14:45  
**Til:** WI Norway Post <[post.norway@wirtgen-group.com](mailto:post.norway@wirtgen-group.com)>  
**Emne:** Master 2019

Hei! Jeg skriver masteroppgave om komprimering av støttefylling for NTNU i Trondheim. I løpet av semesteret så har jeg utført valsetester med en Hamm H 16i Komprimator med glatt trommel og jeg lurte på hva som defineres som høy og lav frekvens for denne valsen? Er det dette som står i databladet som er høy og lav frekvens?

	Klatreevne med/uten vibrasjon	%	53/58
	<b>Vibrasjon</b>		
	Vibrasjonsfrekvens, foran, I/II	Hz	28/31
	Amplitude, foran, I/II	mm	2,13/1,37
	Sentrifugalkraft, foran, I/II	kN	328/259
	<b>Styring</b>		

Hei Mari!

Grunnen til at det står 28/31 Hz her, er pga forskjellig maksgrænse for frekvens basert på hvilken amplitude du har valgt. Ved stor amplitude (2,13mm slaglengde) er det maks 28 Hz man kan velge, det vil si, man kan justere vibrasjonsfrekvens mellom 20 -28 Hz.

Ved liten amplitude (1,37mm Slaglengde) Er maksgrænsen høyere, da vil man kunne justere mellom 20 – 31 Hz.

Så, kort fortalt, 20Hz er laveste frekvens og 28/31Hz er høyeste frekvens basert på valgt amplitude.

Håper dette var hjelpsomt og lykke til med masteroppgaven! 😊

Med vennlig hilsen / Best Regards

**John Håkon Wike**  
 Servicetekniker / Service Technician

**WIRTGEN NORWAY AS**  
 Postboks 64, NO-3071 Sande i Vestfold  
[www.wirtgen-group.com/norway](http://www.wirtgen-group.com/norway)

T: +47 33 78 66 00  
 F: +47 33 78 66 01  
 M: +47 47 91 06 74  
[john.wike@wirtgen-group.com](mailto:john.wike@wirtgen-group.com)

E-post mottatt fra Andreas Fløystad, den 03.juni.2019.



Fløystad, Andreas <Andreas.Floystad@sweco.no>

ma. 03.06.2019 20:49

Du



Hei Mari!

Damsikkerhetsforskriften er over «alt», Norsk Standard trenger man ikke følge, men beskriver «preaksepterte» løsninger som kan følges.

Når det gjelder komprimering, som du viser til, henger det sammen omtrent sånn:

Damsikkerhetsforskriften er juridisk bindende for Agder Energi som dameier. For alle byggeprosjekter gjelder nesten alltid norske standarder, men det er opp til byggherren å benytte disse. Risas kontrakt med AE er basert på NS3420. Denne har en haug med normative referanser («skal»- referanser), blant annet NS3458.

En forskrift har typisk bestemmelser som «byggherren skal sørge for at entreprenøren har tilstrekkelig egenkontroll av alle arbeider». Dette er jo ganske generelt, byggherren kan løse dette generelle kravet ved å holde seg til Norsk standard. Litt flåsete forklart, men, skjønner?

Andreas

## 11 BILAG – GPS SYSTEM

Beskrivelse av GPS systemet brukt på valsen. Her vises komponentene i GNSS systemet, og samvirket mellom komponentene.

### Dual GNSS system



General cable routing information

You can change the displayed cable routing if the below rules are followed:

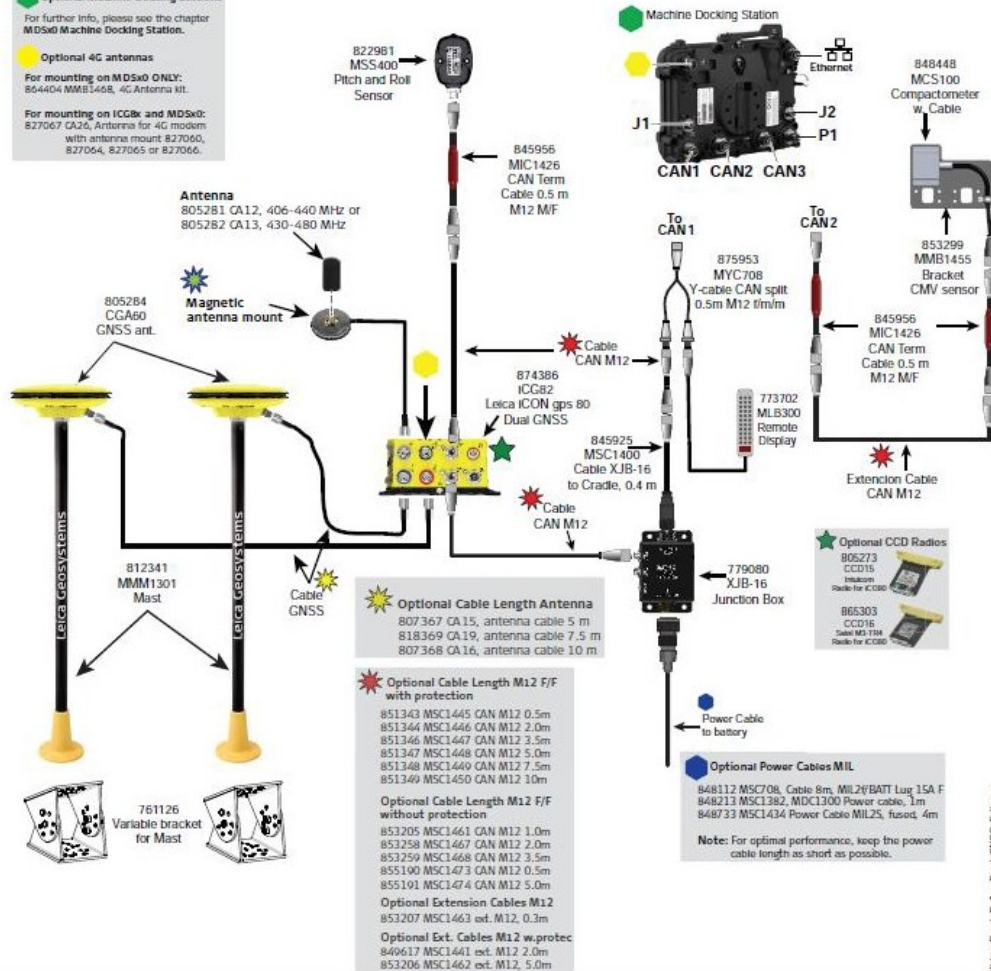
- Route CAN as one continuous line, avoiding stubs whenever possible.
- For ideal CAN performance, keep all cable lengths as short as possible.
- Main CAN line total length <40m and side stubs as short as possible <3m.

Optional Machine Docking Stations

For further info, please see the chapter MDSx0 Machine Docking Station.

Optional 4G antennas

For mounting on MDSx0 ONLY:  
864404 MMB1468, 4G Antenna kit.  
For mounting on ICGx and MDSx0:  
827067 CA26, Antenna for 4G modem with antenna mount 827065, 827064, 827065 or 827066.



Metoden med å overføre data kan beskrives ved hjelp av diagrammet presentert overfor. Man har en GPS eller GNSS boks (Leica iCON gps 80, dual GNSS) der mottakere og antenne er koblet sammen. Denne drives av et batteri. Man har også en CMV sensor og et akselerometer (kompaktometer). Disse tre delene kobles sammen til et kontrollpanel som viser alle ønskede valsedata kontinuerlig. Samtidig blir kontrollpanelet koblet sammen med en datamaskin via internett og overfører alle data kontinuerlig under valsing, med 30 sekunder mellomrom slik at ikke data går tapt underveis. Samtidig kan også data lagres i kontrollpanelet uten at det overføres men man må da senere koble kontrollpanelet til en datamaskin for å få ut dataene.

## 12 BILAG – DENSITETSMÅLINGER

Her presenteres alle beregningene i forhold til densitet fra Microsoft Excel. Formelen presenteres også.

Her vises antall bøtter og liter brukt for de ulike prøvehullene

<b>Prøve 1</b>	<b>Liter</b>	<b>Antall bøtter</b>	<b>Totalt [liter]</b>
	10	16	160
	11	6	66
	10	18	180
			406
<b>Prøve 2</b>	10	30	300
	11	8	88
	9	5	45
	9.5	3	28.5
	8	1	8
	7	1	7
	7.5	1	7.5
	5	1	5
	16.5	1	16.5
	16	2	32
	15	2	30
			567.5
<b>Prøve 3</b>	10	1	10
	12	1	12
	17.5	2	35
	16	5	80
	17	7	119
	14	2	28
	14.5	1	14.5
	19	1	19
	15	5	75
	18	4	72
	16.5	2	33
	12.5	1	12.5
			510

Her vises utregning av densitet for de tre prøvehullene

<b>Prøve nr</b>	<b>Volum [liter]</b>	<b>Volum [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Masse [kg]</b>	<b>Densitet [kg/m]</b>	<b>Vekt viser 30 kg feil [kg]</b>	<b>Ny densitet [kg/m]</b>
1	406	0.406	1191.5	2934.729064	1161.5	2860.837438
2	567.5	0.5675	1310.5	2309.251101	1280.5	2256.387665
3	510	0.51	1180	2313.725490	1150	2254.901961

$$\text{Densitet} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volum}}$$

Her vises densitet for de ulike steimprøvene. Man kan se at gjennomsnitt densitet for steinene er på 2659 kg/m<sup>3</sup>

<b>Stein nummer</b> Stk	<b>Vekt, tørr</b> [kg]	<b>Volum</b> [liter]	<b>Volum</b> [m <sup>3</sup> ]	<b>Densitet</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	<b>Gjennomsnitt densitet</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
1.000	2.028	0.700	0.001	2897.143	2659.112
2.000	1.397	0.500	0.001	2794.000	2659.112
3.000	1.751	0.900	0.001	1945.556	2659.112
4.000	0.911	0.300	0.000	3036.667	2659.112
5.000	3.781	1.400	0.001	2700.714	2659.112
6.000	1.357	0.600	0.001	2261.667	2659.112
7.000	2.206	1.000	0.001	2206.000	2659.112
8.000	6.850	2.300	0.002	2978.261	2659.112
9.000	1.556	0.500	0.001	3112.000	2659.112

<b>Prøve nr</b>	<b>Ny densitet</b> [kg/m]	<b>Densitet av steintypen</b> [kg/m]	<b>Sammenlikning av densitet</b> [%]
1	2860.84	2659.11	108 %
2	2256.39	2659.11	85 %
3	2254.90	2659.11	85 %



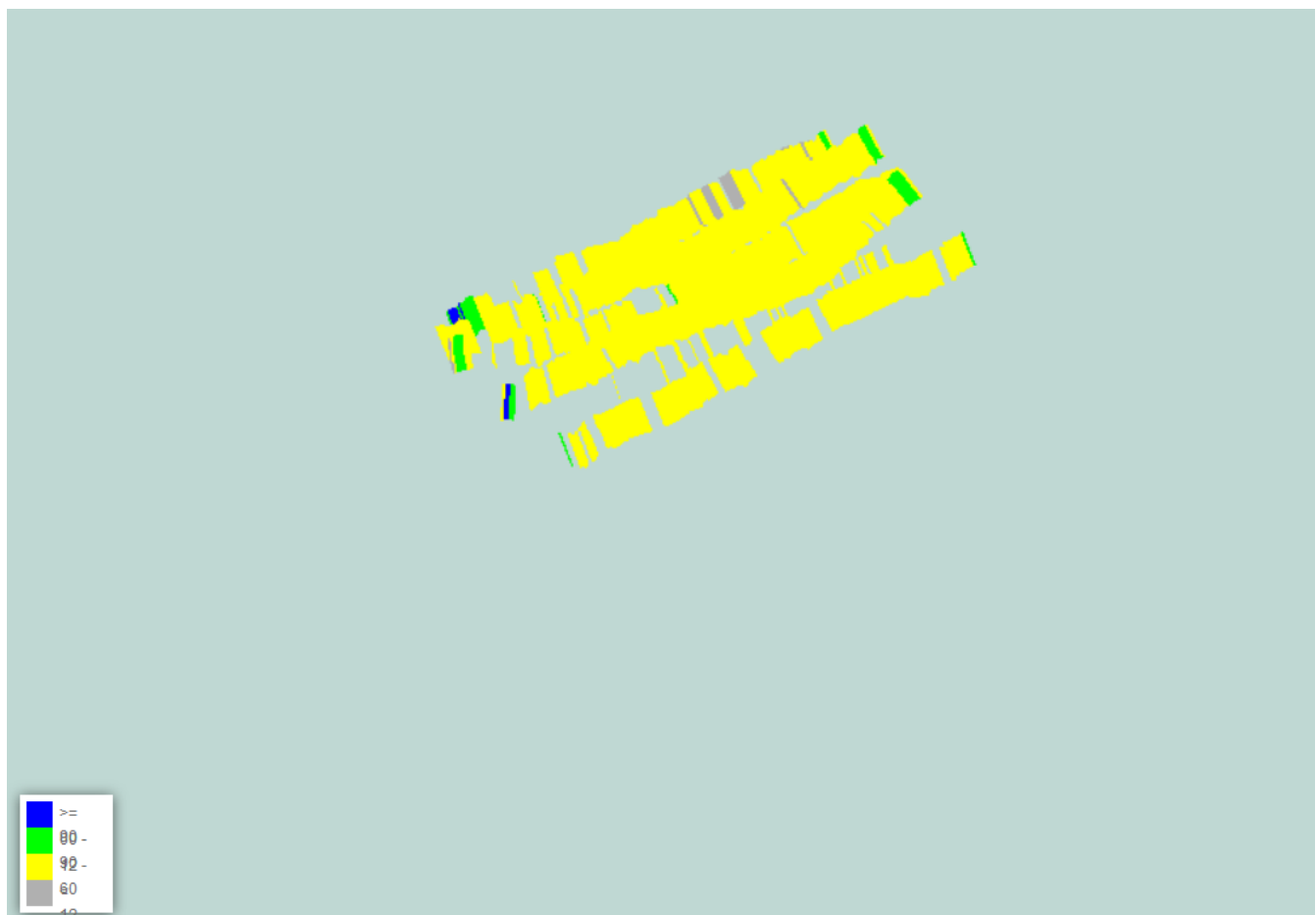
## 13 BILAG – DATA FRA CONX

Her presenteres alle data hentet ut fra ConX og brukt i oppgaven. Først presenteres lag 1-10 for flo 1 også 1-10 for flo 2. Flo nummer 2 er kalt runde 2 i ConX. Først vises CMV, deretter frekvens og amplitude og tilslutt hastighet.

## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 1	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405499.53,6520212.30 P2: 405868.15,6520332.46 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-04-01 22:00:00 - 2019-04-09 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

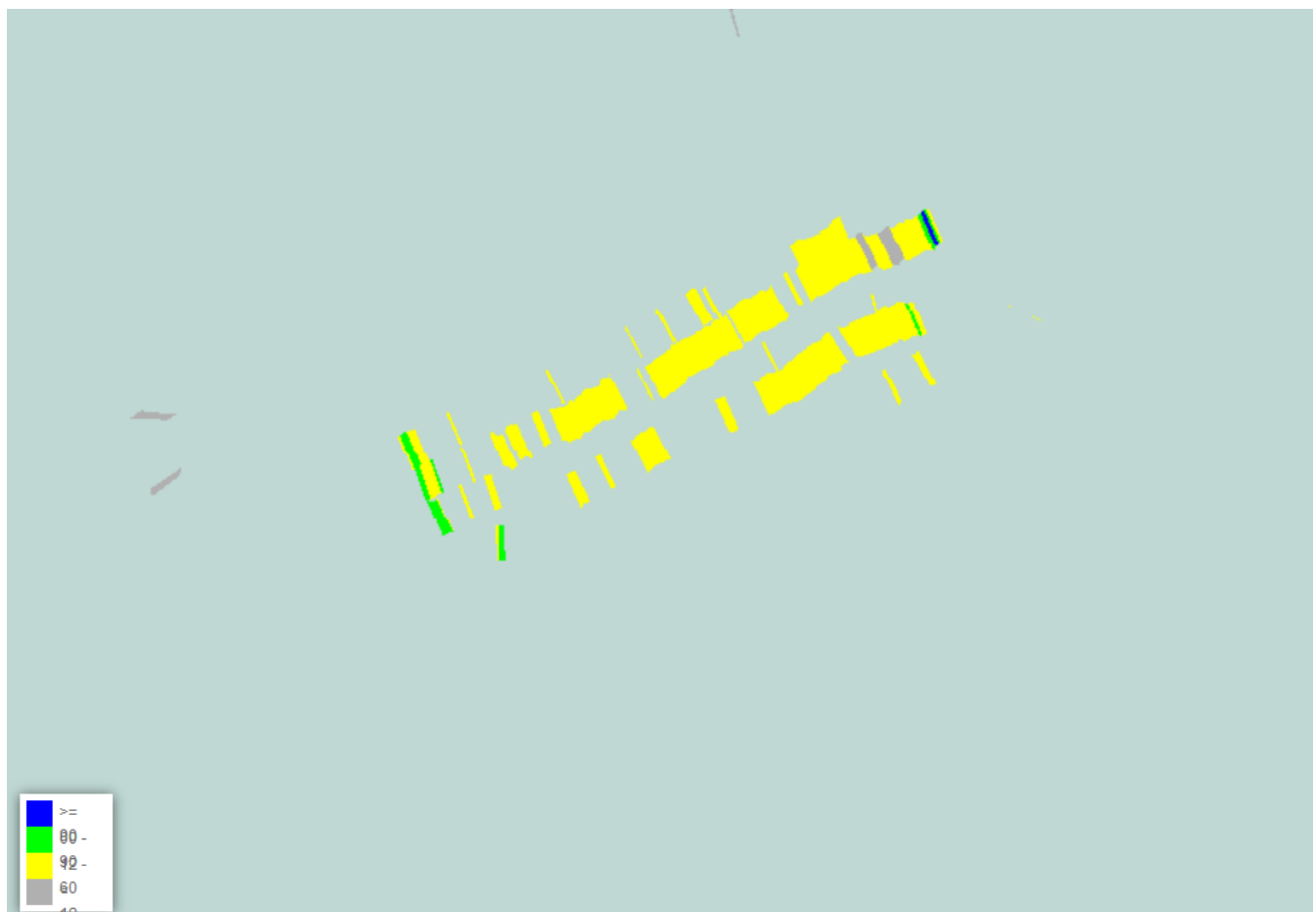
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag1	Average	32.34	< 12.0	4.1 m <sup>2</sup>
Offset	0	Std. Dev.	13.27		2%
Thickness	1.25	Min.	0.0	12.0 - 60	218 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	113.2		94%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	60 - 90.0	8.2 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	231.9		4%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	8.2	>= 90.0	1.2 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	3.5		1%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405826.71,6520323.22 P2: 405867.76,6520340.97 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-04-01 22:00:00 - 2019-04-09 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

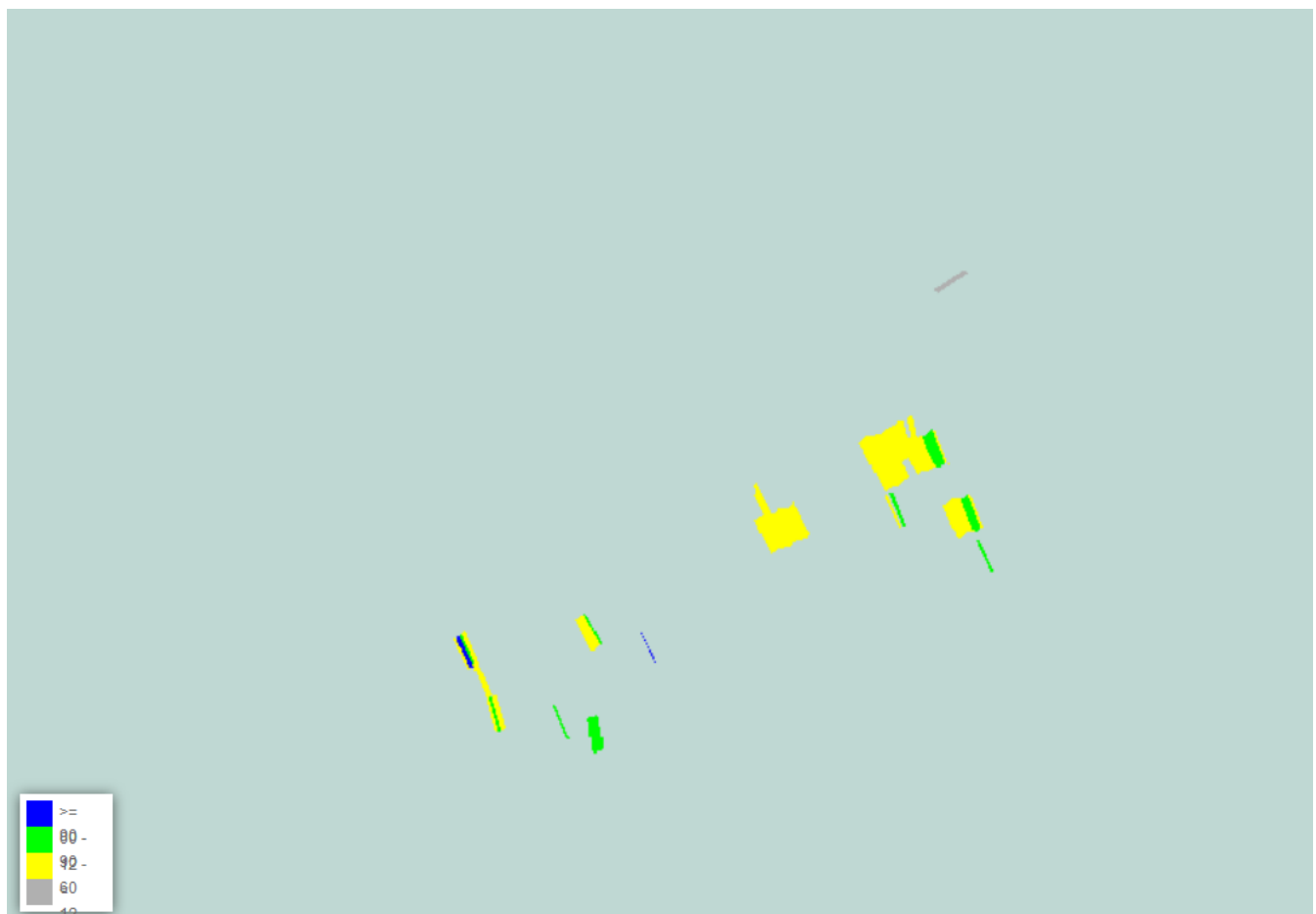
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag2	Average	35.71	< 12.0	4.7 m <sup>2</sup>
Offset	-2.5	Std. Dev.	14.98		5%
Thickness	1.65	Min.	0.0	12.0 - 60	89.8 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	107.1	60 - 90.0	90%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	>= 90.0	5.1 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	100.2		5%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	5.1		0.5 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	5.1		0%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 3	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405828.07,6520324.18 P2: 405868.31,6520342.32 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-04-01 22:00:00 - 2019-04-09 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

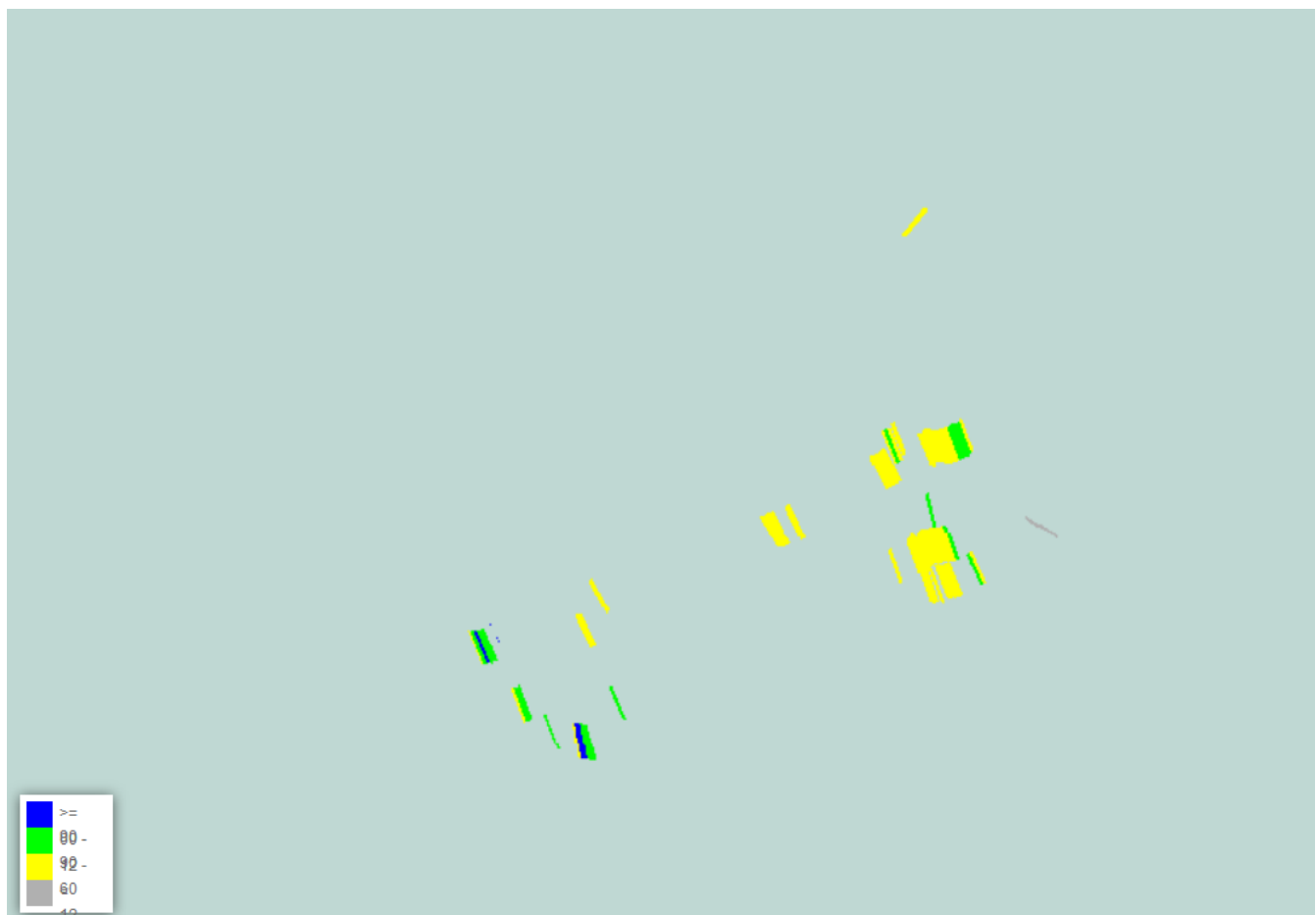
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag3	Average	45.46	< 12.0	0.6 m <sup>2</sup>
Offset	-3.3	Std. Dev.	20.27		2%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	23.8 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	131.0	60 - 90.0	77%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	90.0 - 120.0	5.9 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	30.9	120.0 - 150.0	19%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	5.9	>= 150.0	0.6 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	19.0		2%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	lag 4	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405822.10,6520332.80 P2: 405869.11,6520340.13 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-04-01 22:00:00 - 2019-04-09 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

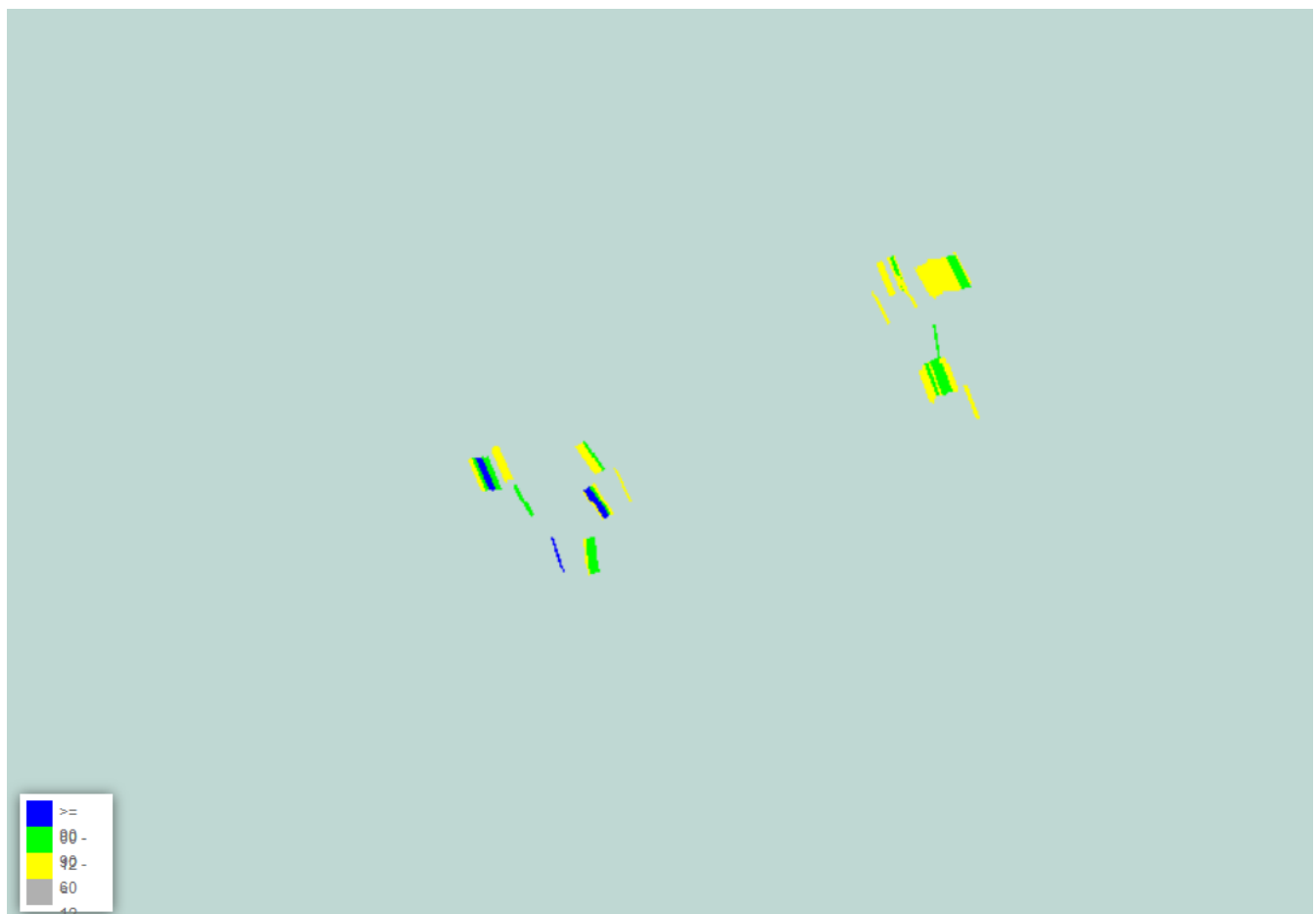
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag4	Average	49.05	< 12.0	0.4 m <sup>2</sup>
Offset	-4.1	Std. Dev.	19.78		1%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	22.8 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	102.9	60 - 90.0	72%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	>= 90.0	7.5 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	31.7		24%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	7.5		1.1 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	23.5		3%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 5	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405824.38,6520317.59 P2: 405863.87,6520338.66 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

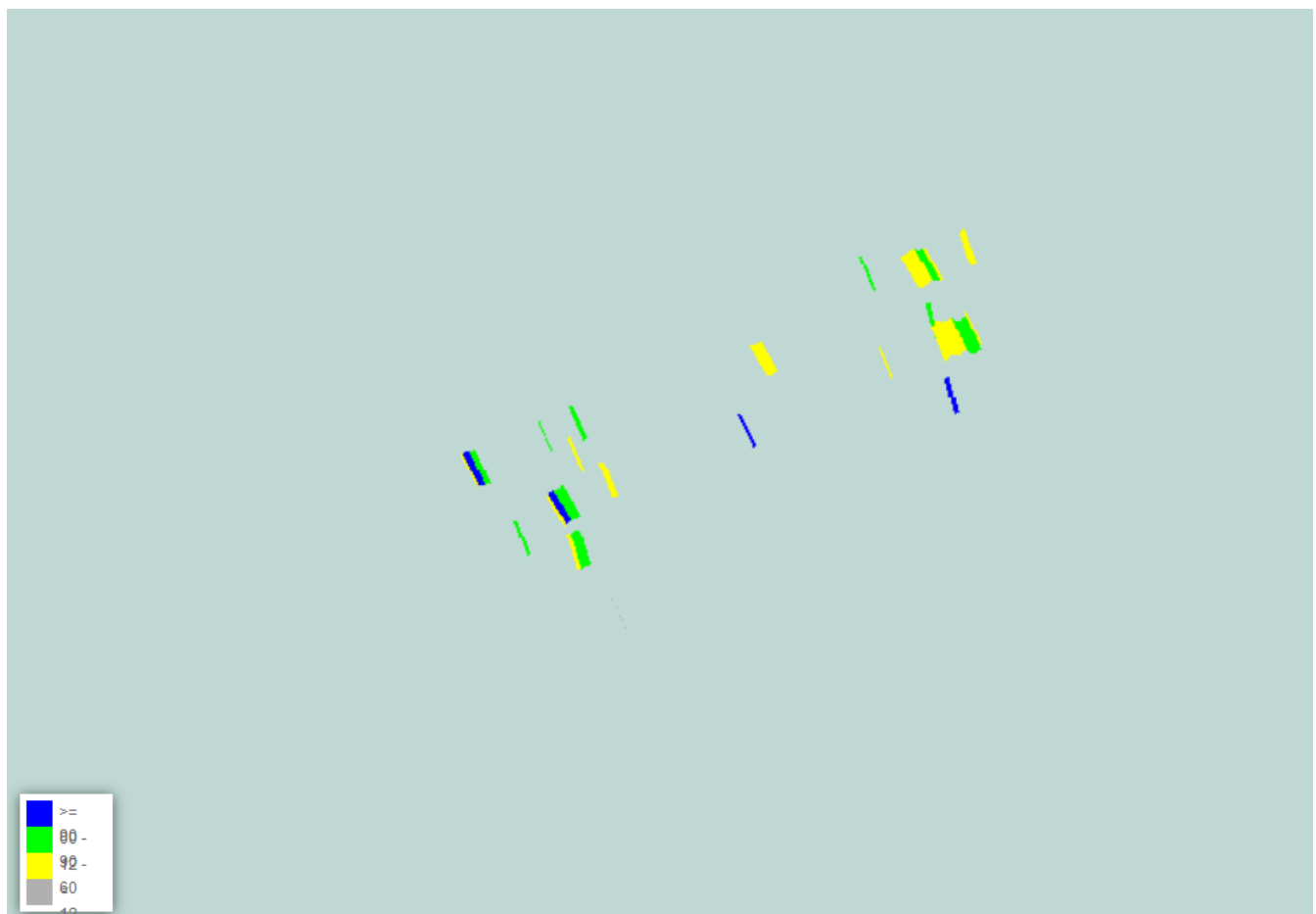
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag5	Average	59.85	< 12.0	0.0 m <sup>2</sup>
Offset	-4.9	Std. Dev.	23.68		0%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	12.9 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	122.2	60 - 90.0	59%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	>= 90.0	7.0 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	21.8		32%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	7.0		1.9 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	32.1		9%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 6	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405828.29,6520314.02 P2: 405869.10,6520333.58 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

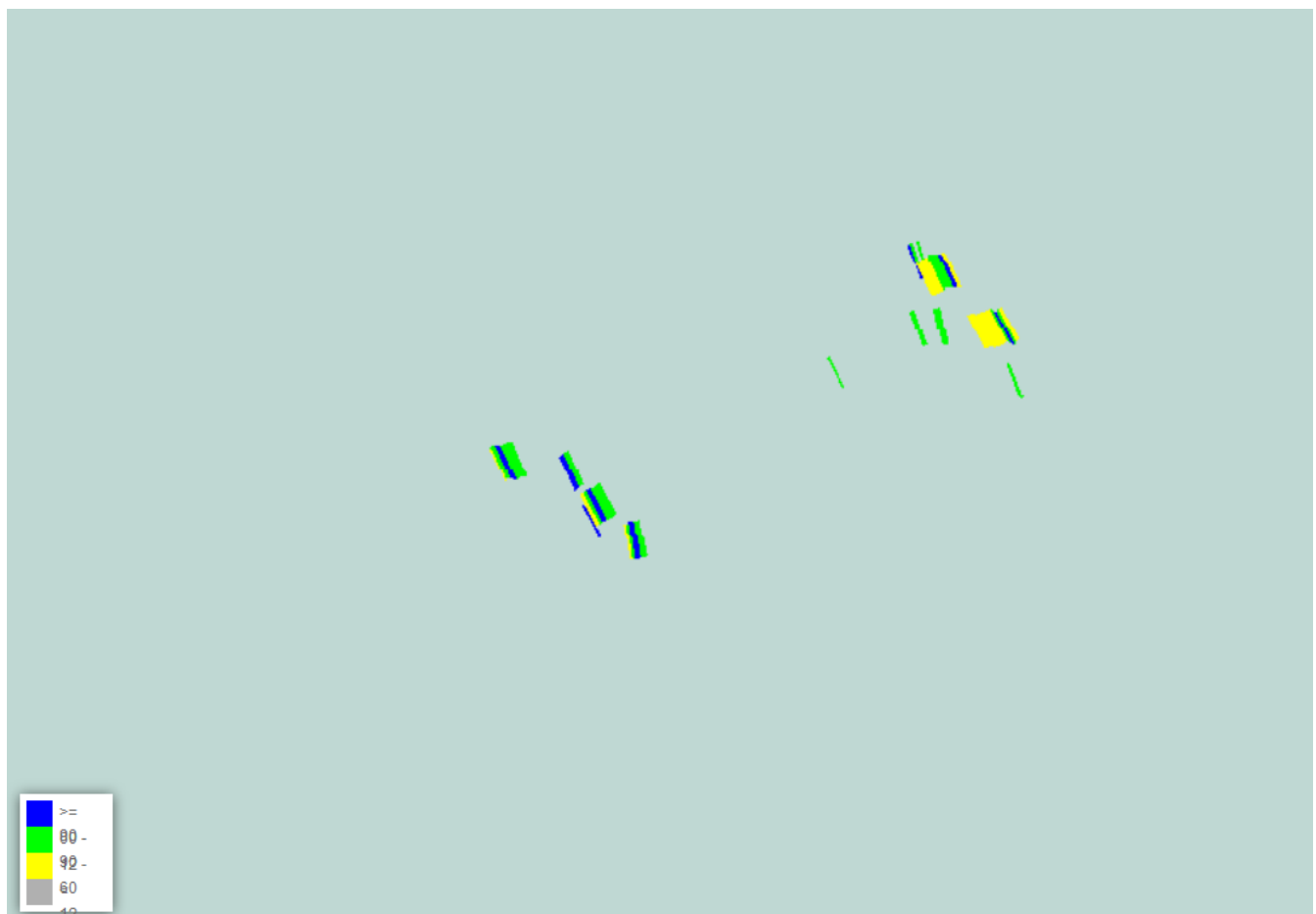
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag6	Average	61.58	< 12.0	0.1 m <sup>2</sup>
Offset	-5.7	Std. Dev.	24.39		0%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	10.7 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	109.9	60 - 90.0	50%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	>= 90.0	7.9 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	21.3		37%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	7.9		2.7 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	37.0		12%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	lag 7	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405823.93,6520316.95 P2: 405867.44,6520332.75 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag7	Average	68.00	< 12.0	0.0 m <sup>2</sup>
Offset	-6.5	Std. Dev.	23.38		0%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	6.7 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	111.2	60 - 90.0	32%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	90.0 - 120.0	10.3 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	21.2	>= 120.0	49%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	10.3		4.1 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	48.7		19%

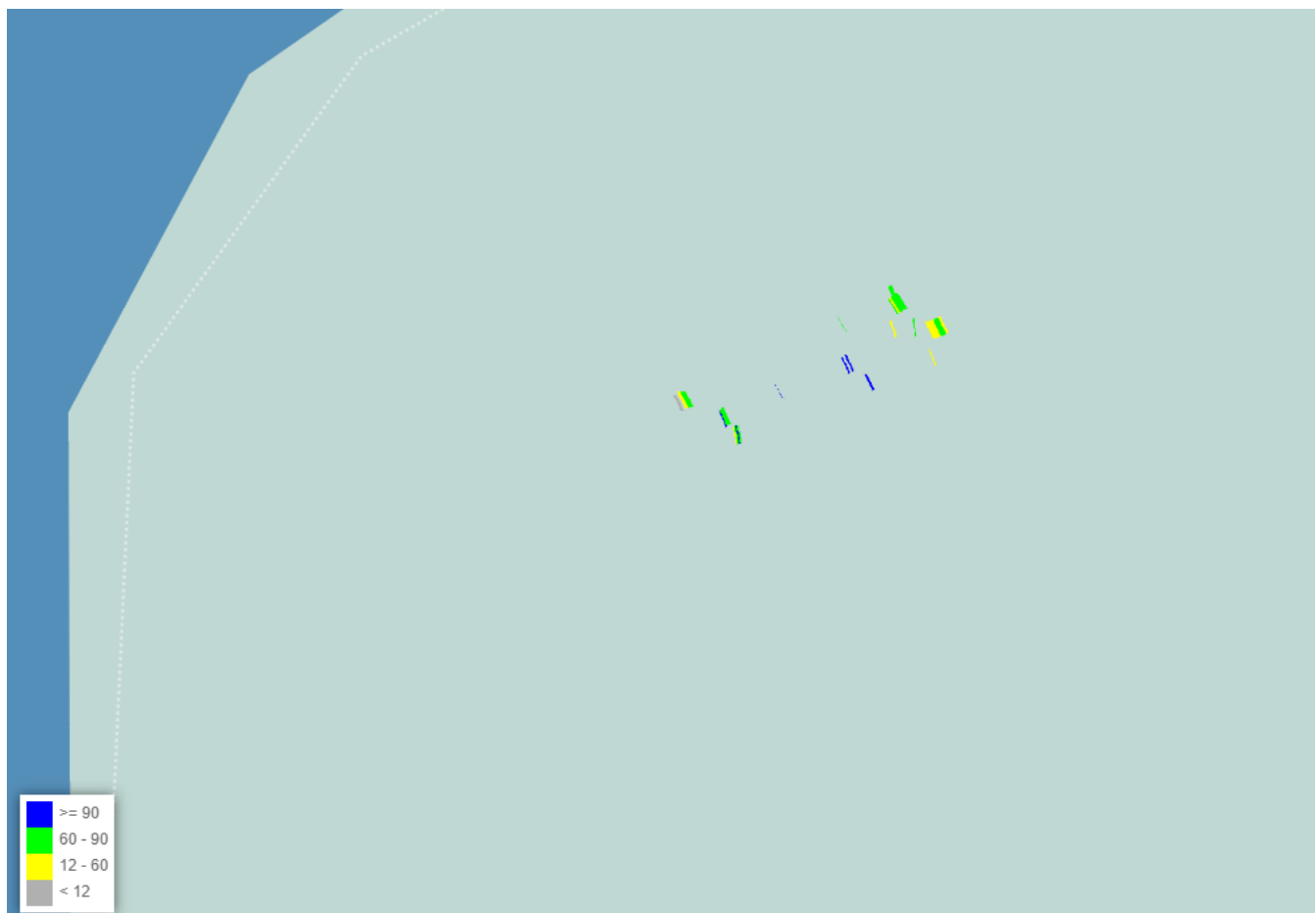




## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 8	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405822.88,6520318.07 P2: 405864.63,6520339.79 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

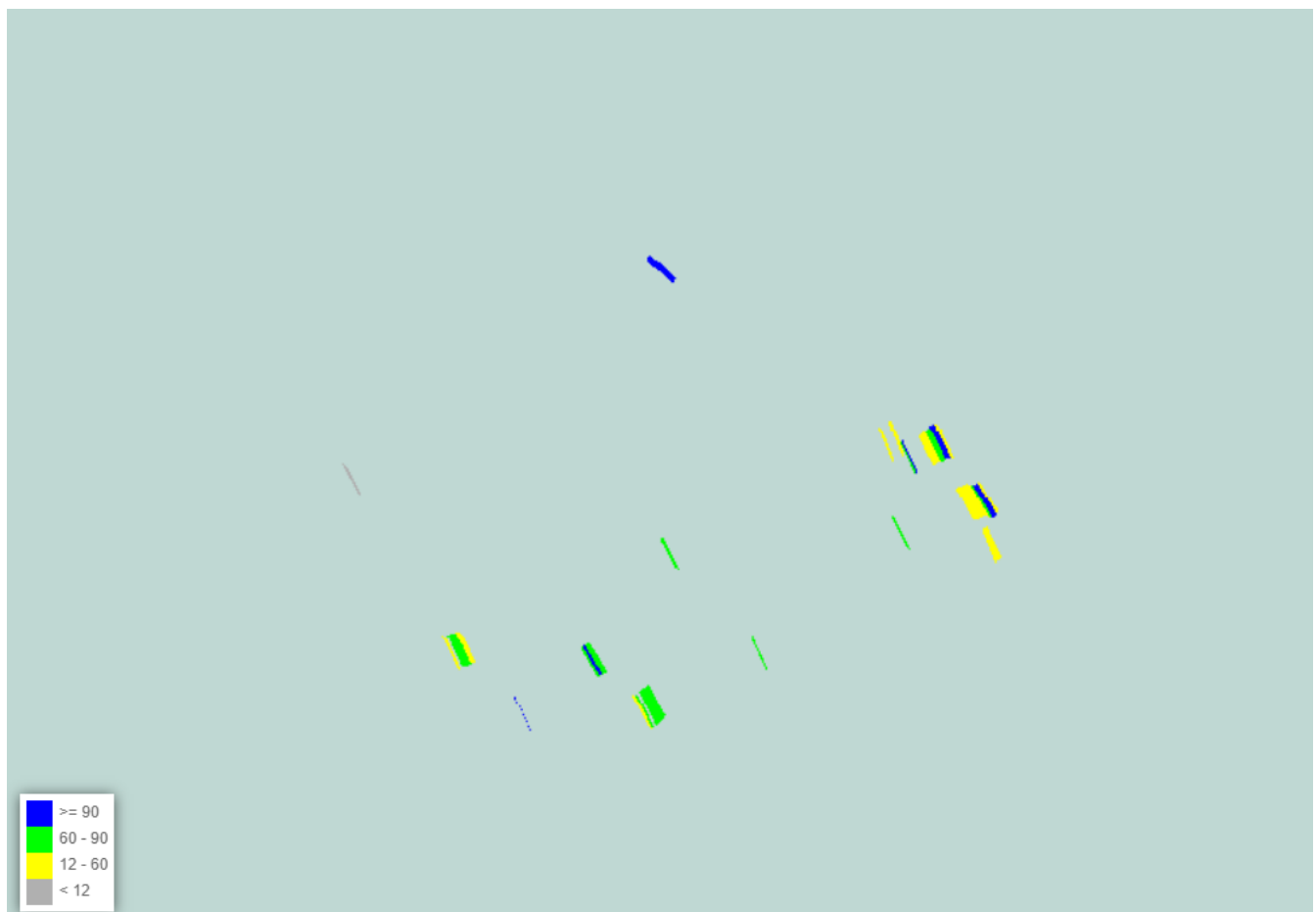
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag8	Average	62.64	< 12.0	0.7 m <sup>2</sup>
Offset	-7.3	Std. Dev.	26.89		4%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	5.2 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	126.8	60 - 90.0	32%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	60 - 90.0	8.0 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	16.1	>= 90.0	50%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	8.0	>= 90.0	2.2 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	49.9		13%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 9	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405826.80,6520323.27 P2: 405865.38,6520346.56 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

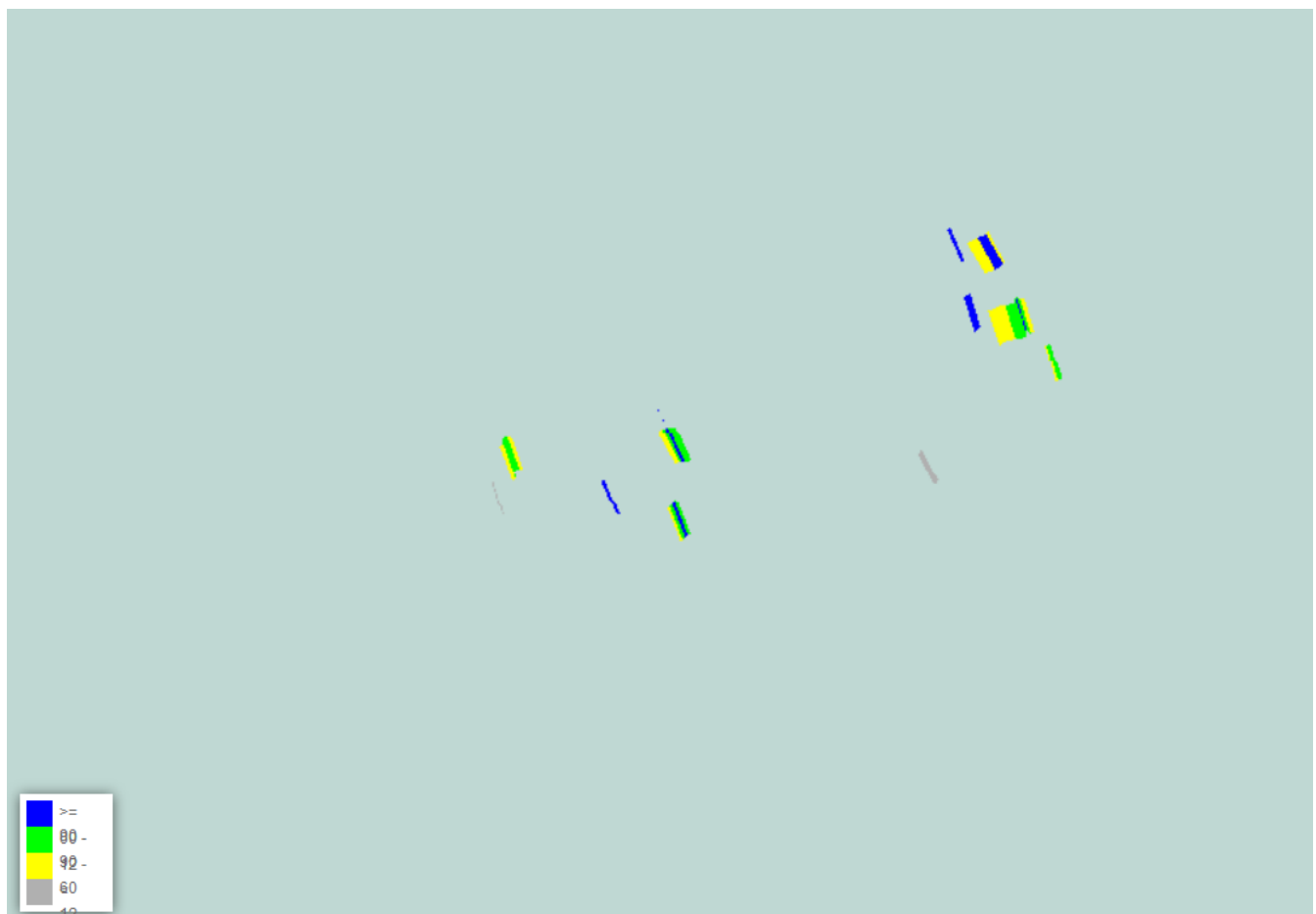
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag9	Average	67.66	< 12.0	0.3 m <sup>2</sup>
Offset	-8.1	Std. Dev.	26.97		2%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	6.6 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	140.1	60 - 90.0	42%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	60 - 90.0	6.0 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	15.6	>= 90.0	38%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	6.0	>= 90.0	2.8 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	38.5	>= 90.0	18%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 10	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405812.59,6520321.97 P2: 405868.10,6520332.27 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

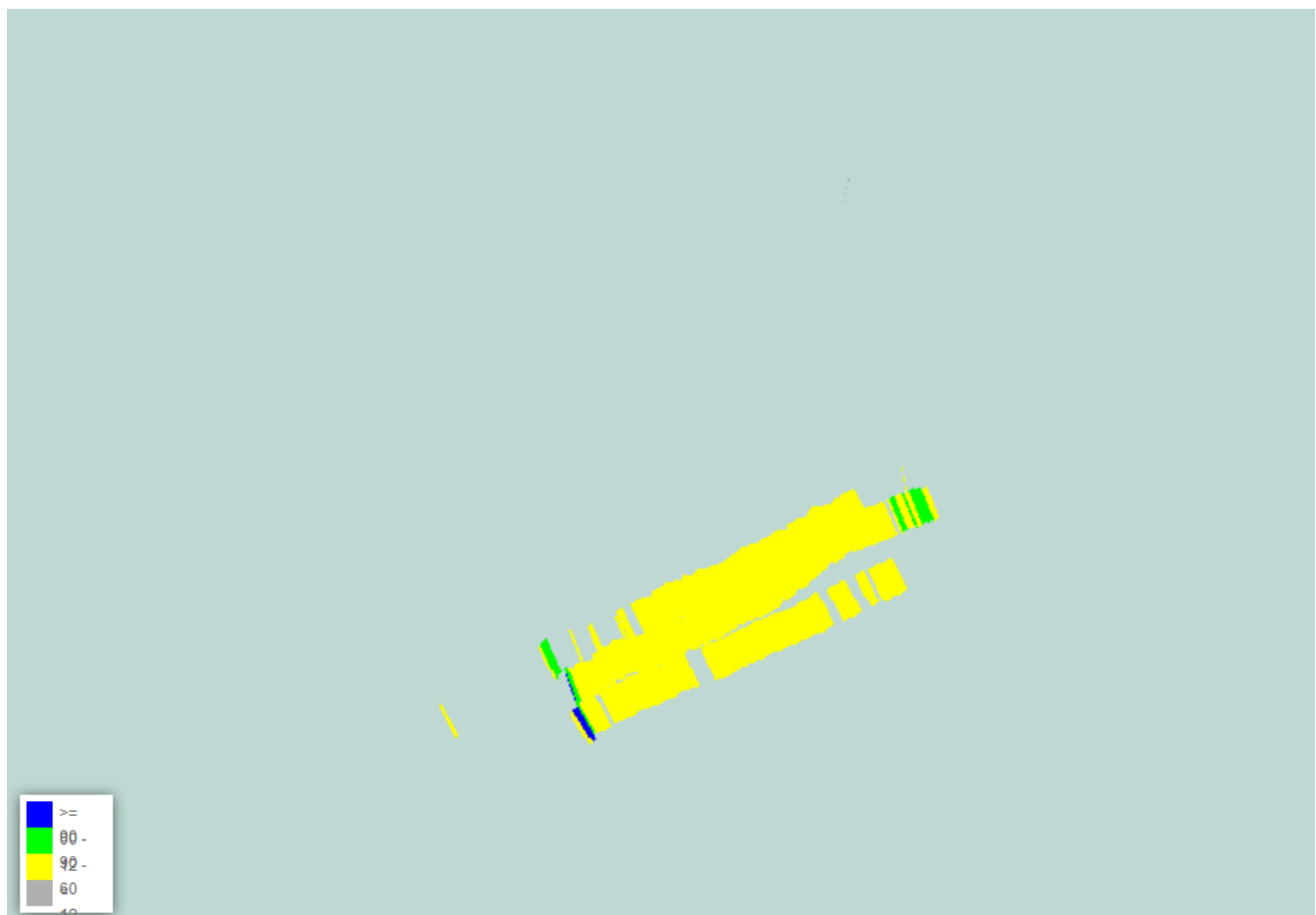
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag10	Average	67.42	< 12.0	0.8 m <sup>2</sup>
Offset	-8.9	Std. Dev.	31.61		5%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	6.7 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	137.9	60 - 90.0	40%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	90.0 - 120.0	5.3 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	16.7	120.0 - 150.0	32%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	5.3	>= 150.0	3.9 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	31.6		23%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 1 runde 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405832.51,6520321.99 P2: 405858.15,6520354.76 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

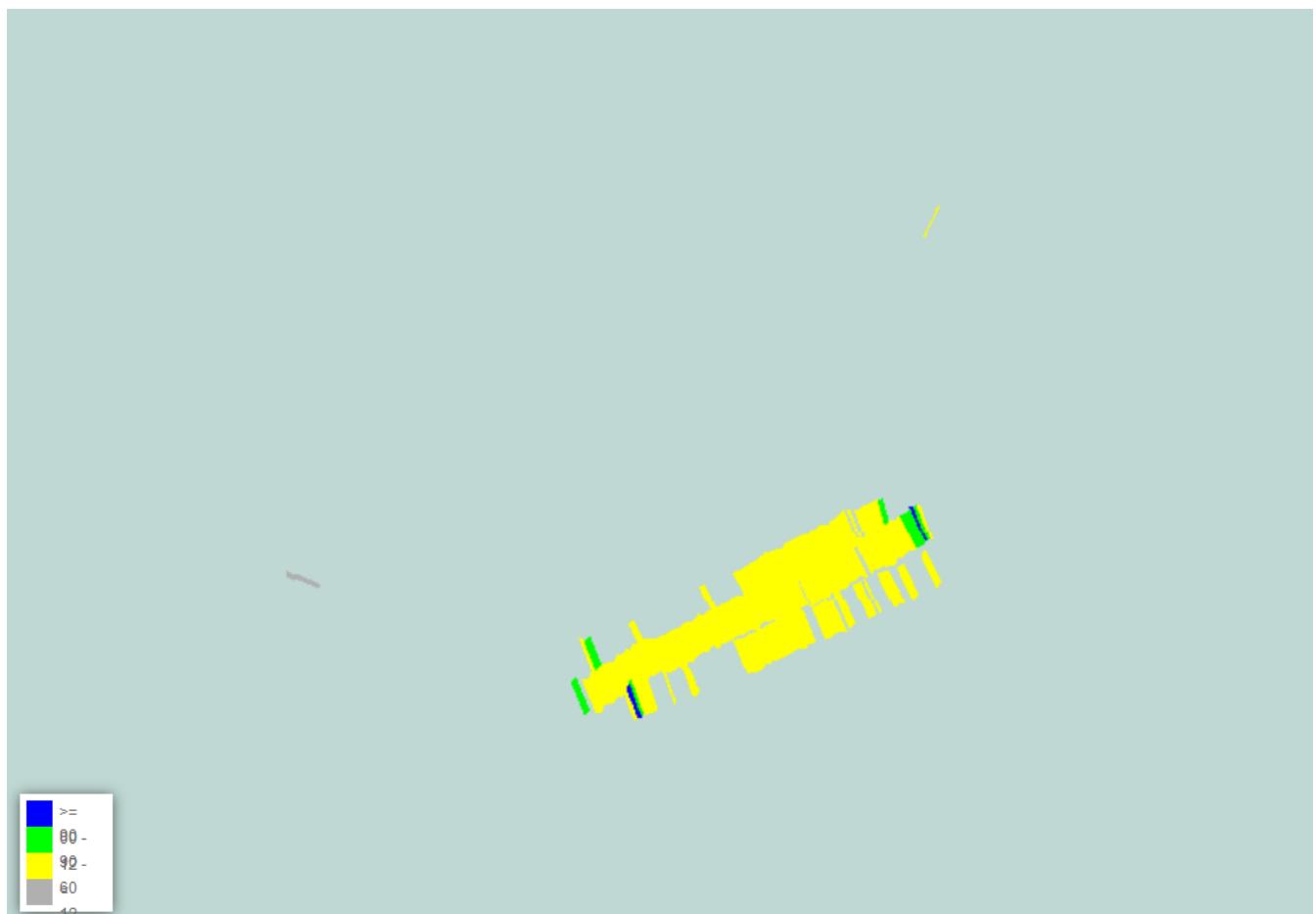
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag12	Average	31.27	< 12.0	0.1 m <sup>2</sup>
Offset	-10.5	Std. Dev.	13.44		0%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	114 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	140.8	60 - 90.0	95%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	90.0 - 120.0	4.6 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	119.2	>= 120.0	4%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	4.6		0.9 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	3.8		1%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 2 runde 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405828.68,6520323.04 P2: 405866.09,6520346.60 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

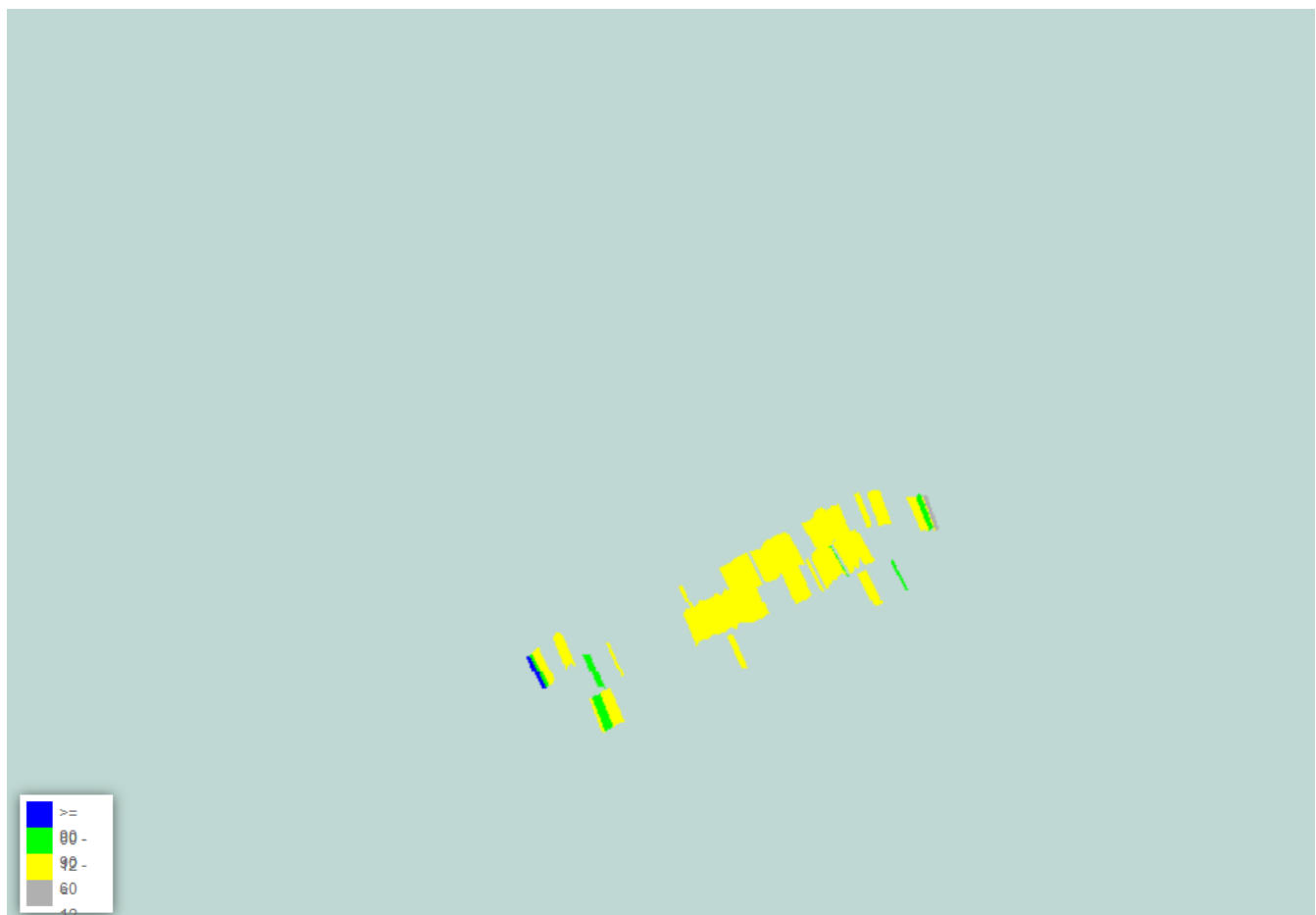
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag13	Average	37.21	< 12.0	0.6 m <sup>2</sup>
Offset	-11.3	Std. Dev.	13.22		1%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	84.3 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	104.4		93%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	60 - 90.0	4.5 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	90.4		5%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	4.5	>= 90.0	0.9 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	5.0		1%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 3 runde 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405831.62,6520323.18 P2: 405853.17,6520353.20 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

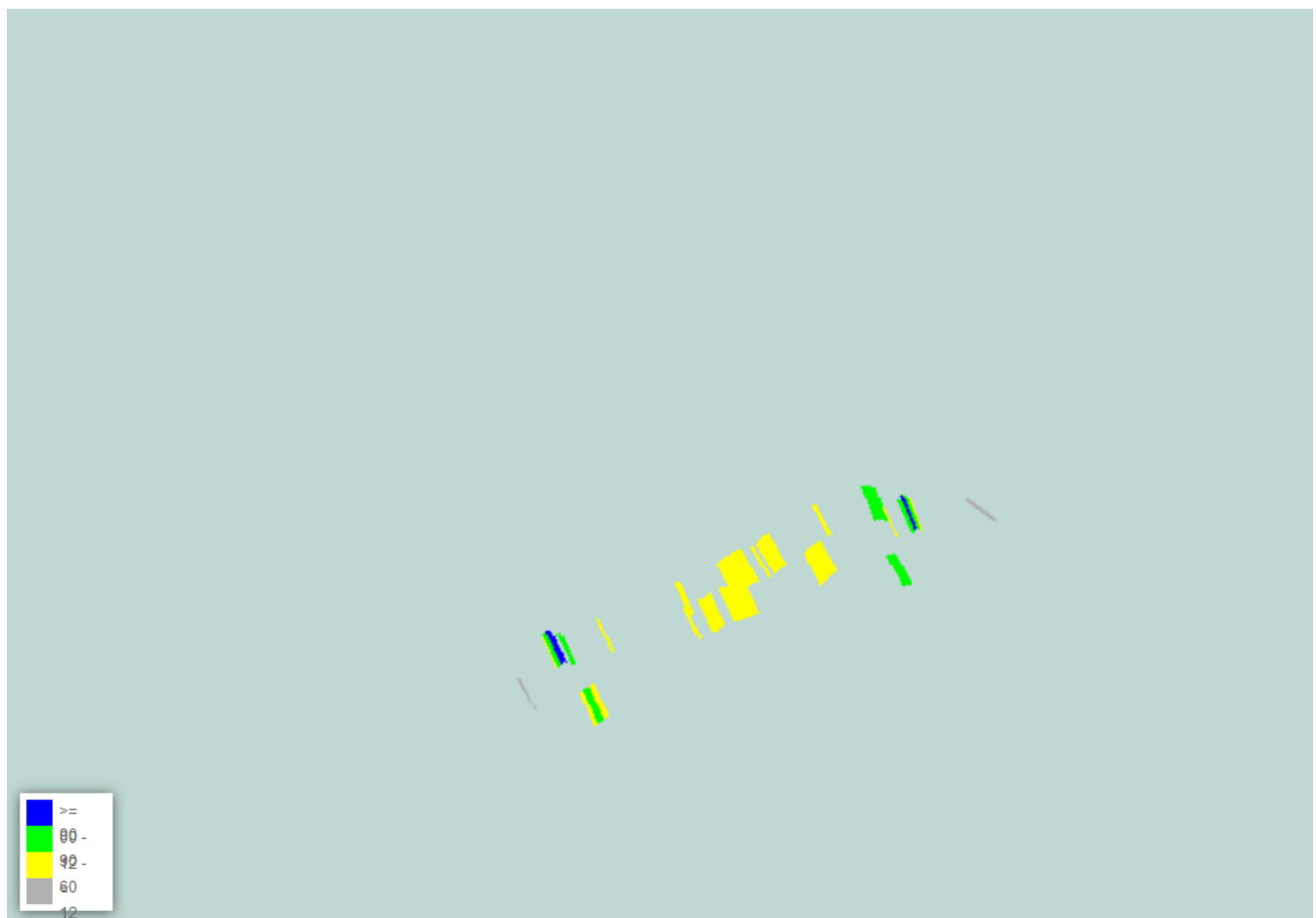
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag14	Average	41.69	< 12.0	0.5 m <sup>2</sup>
Offset	-12.1	Std. Dev.	13.63		1%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	42.1 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	99.7	60 - 90.0	90%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	>= 90.0	3.5 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	46.6		7%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	3.5		0.5 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	7.5		1%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 4 runde 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405824.39,6520327.73 P2: 405861.97,6520351.35 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag15	Average	51.70	< 12.0	0.8 m <sup>2</sup>
Offset	-12.9	Std. Dev.	22.50		3%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	17.6 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	150.1	60 - 90.0	69%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	60 - 90.0	5.9 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	25.3	>= 90.0	23%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	5.9	>= 90.0	1.1 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	23.1	>= 90.0	4%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 5 runde 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405827.11,6520336.24 P2: 405867.04,6520343.39 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag16	Average	54.17	< 12.0	0.0 m <sup>2</sup>
Offset	-13.7	Std. Dev.	16.70		0%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	15.8 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	113.7	60 - 90.0	76%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	>= 90.0	4.0 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	20.8		19%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	4.0		0.9 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	19.5		4%

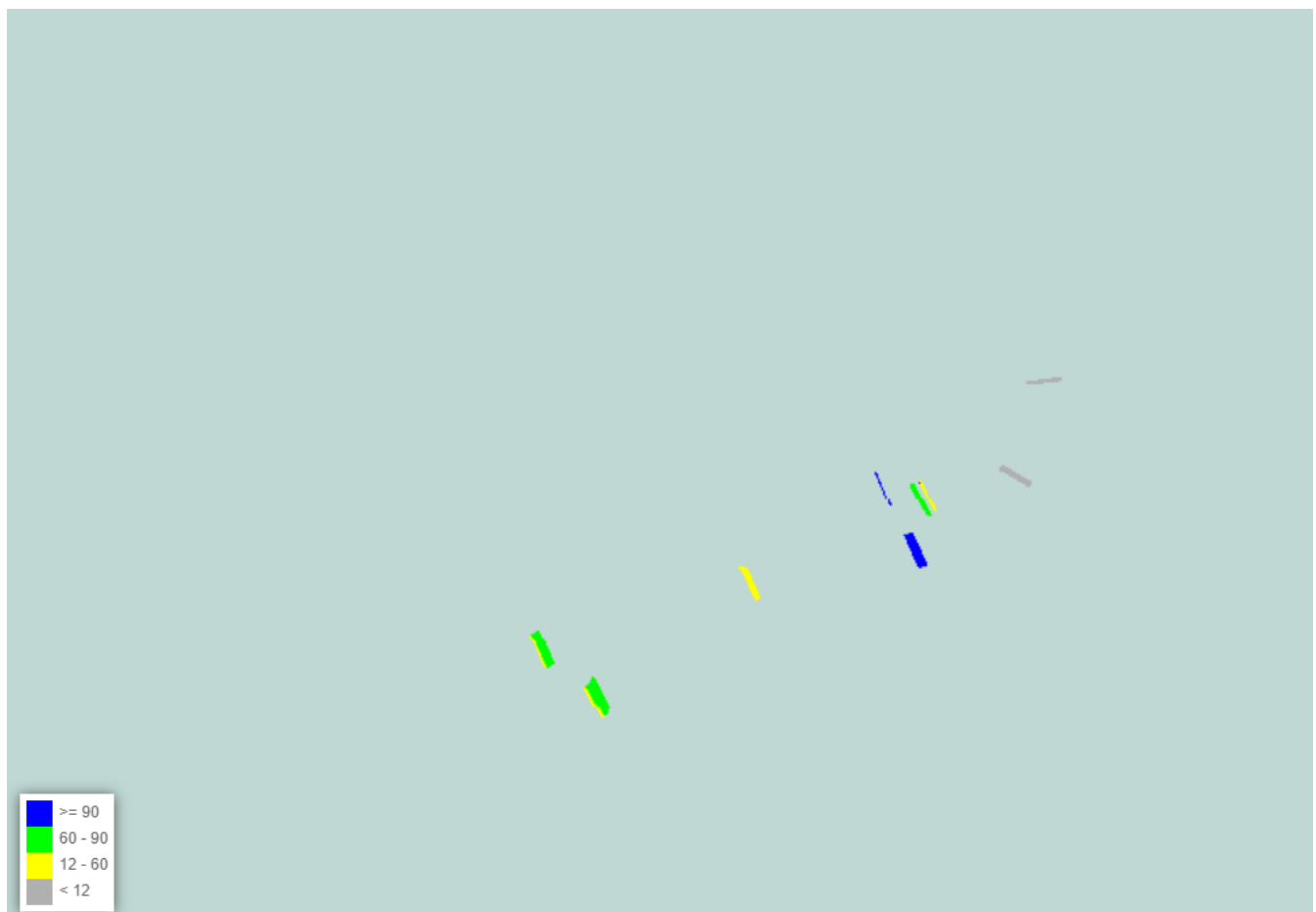




## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 6 runde 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405822.83,6520331.25 P2: 405868.38,6520341.23 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

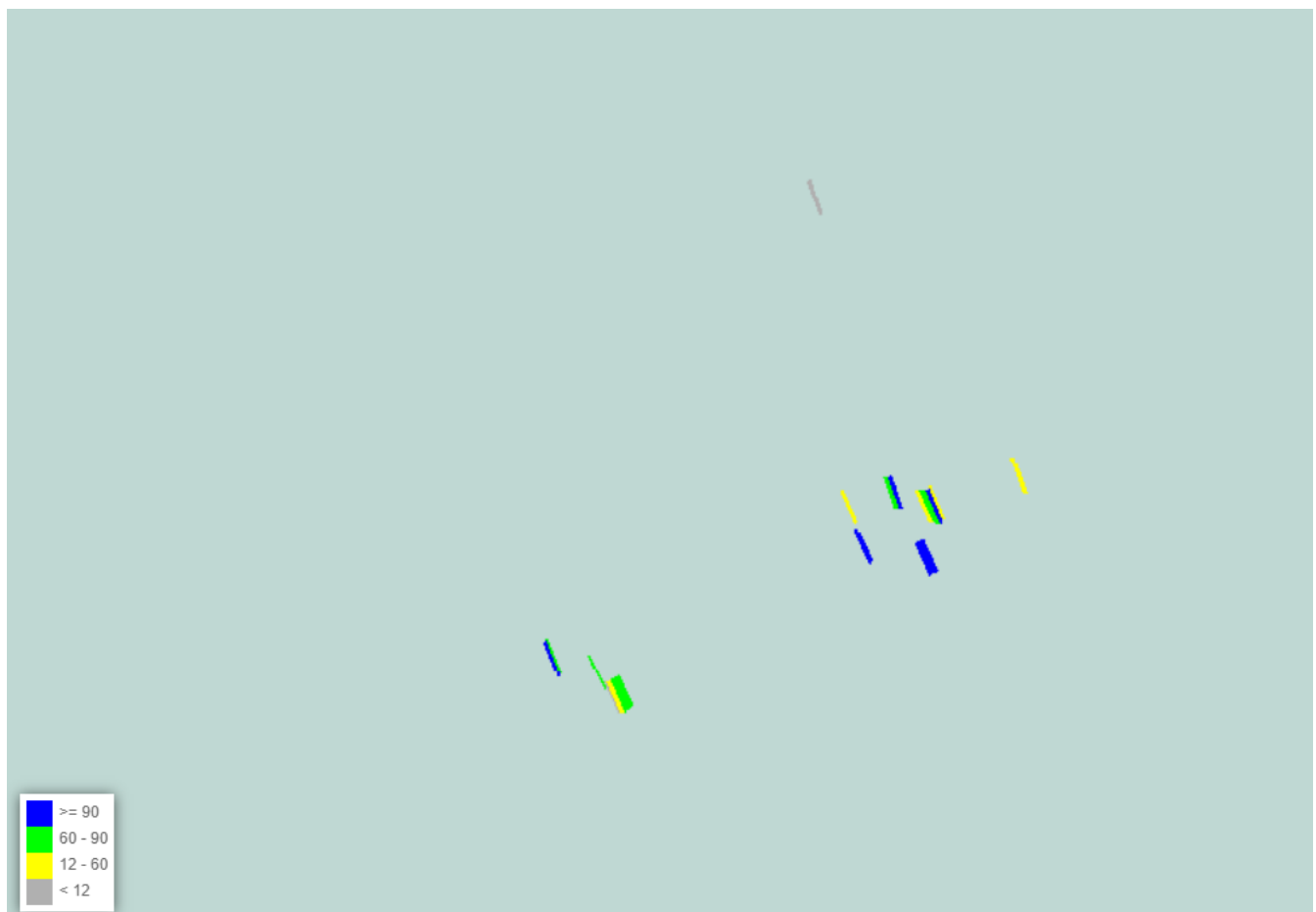
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag17	Average	60.47	< 12.0	1.3 m <sup>2</sup>
Offset	-14.5	Std. Dev.	31.60		16%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	1.8 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	103.6		23%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	60 - 90.0	3.2 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	7.8		41%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	3.2	>= 90.0	1.5 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	41.5		19%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 7 runde 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405831.64,6520324.22 P2: 405862.11,6520351.78 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

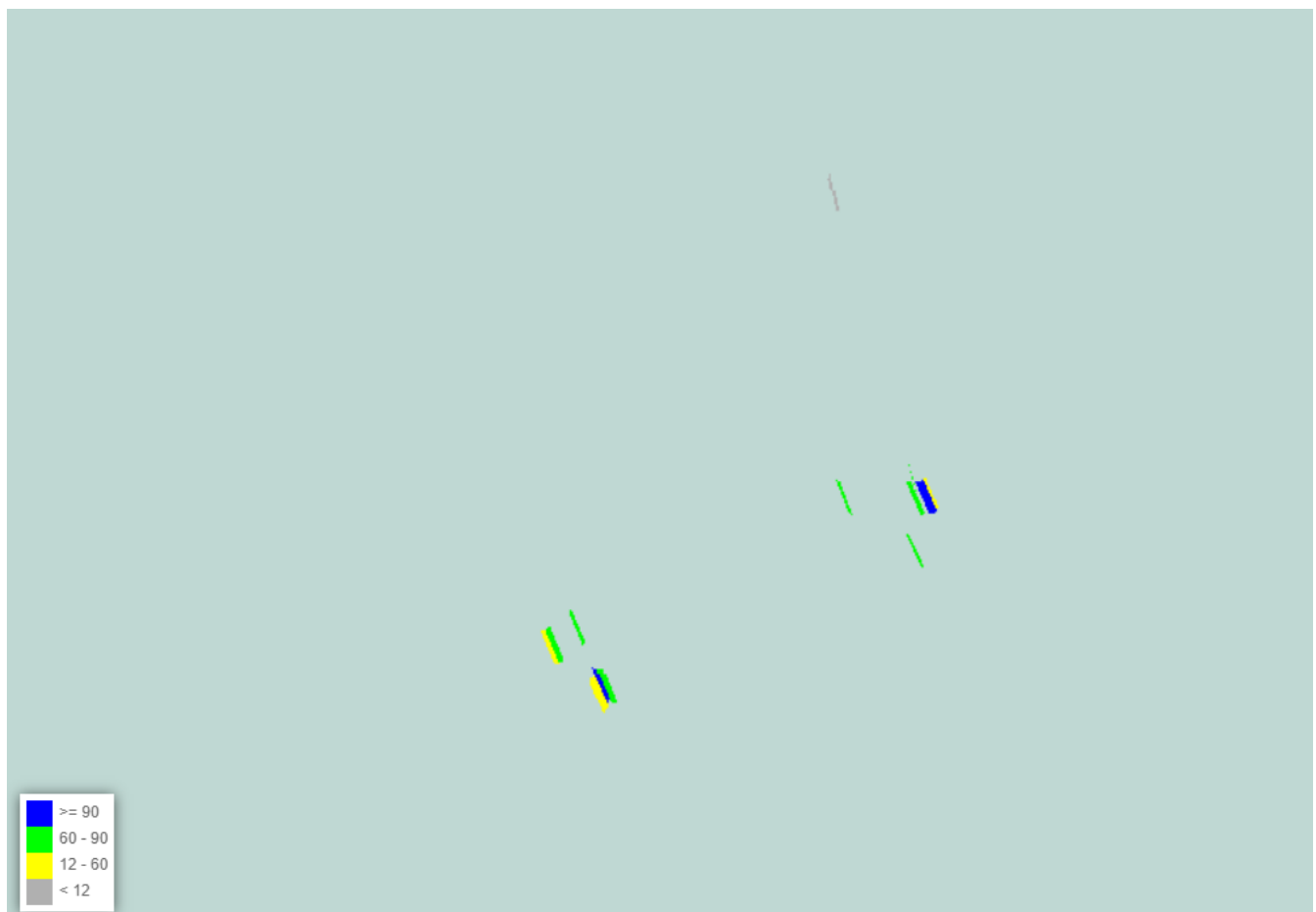
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag18	Average	73.23	< 12.0	0.8 m <sup>2</sup>
Offset	-15.3	Std. Dev.	34.89		8%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	2.6 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	127.1		26%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	60 - 90.0	3.2 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	10.0		32%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	3.2	>= 90.0	3.5 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	32.2		35%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 8 runde 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405823.32,6520333.75 P2: 405868.18,6520340.14 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag19	Average	70.02	< 12.0	0.4 m <sup>2</sup>
Offset	-16.1	Std. Dev.	27.19		5%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	1.9 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	109.7	60 - 90.0	27%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	60 - 90.0	3.3 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	7.1		46%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	3.3	>= 90.0	1.5 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	46.3		22%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 9 runde 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405831.42,6520320.26 P2: 405859.74,6520352.88 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

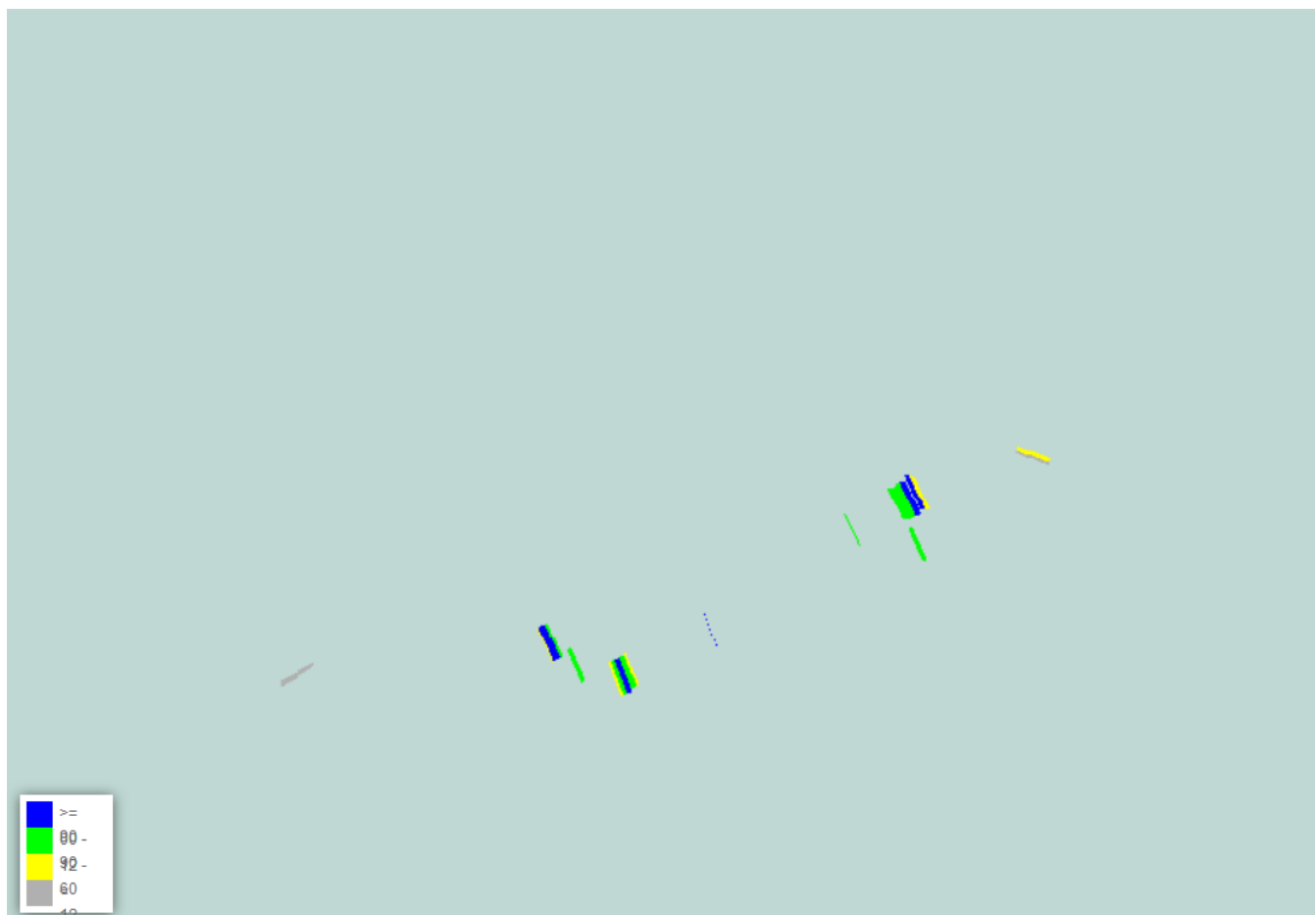
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag20	Average	79.92	< 12.0	0.5 m <sup>2</sup>
Offset	-16.9	Std. Dev.	27.34		6%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	0.6 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	127.1	60 - 90.0	8%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	60 - 90.0	4.2 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	7.6		55%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	4.2	>= 90.0	2.3 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	55.4		30%



## Risa as

ROLLER REPORT			
Report Name	Lag 10 runde 2	Soil Fraction	0-400
Report Type	CMV	Soil Condition	Wet
Note	CMV	Underlay Soil	
Project	Valsetest_0-400.xml	Vibrated Areas only	-
Transformation		Elevation Range	
Location	P1: 405831.07,6520320.99 P2: 405863.92,6520350.47 Stationing: 0.00 - 385.87		
Time Interval	2019-03-29 23:00:00 - 2019-04-28 21:59:59		
Machines	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

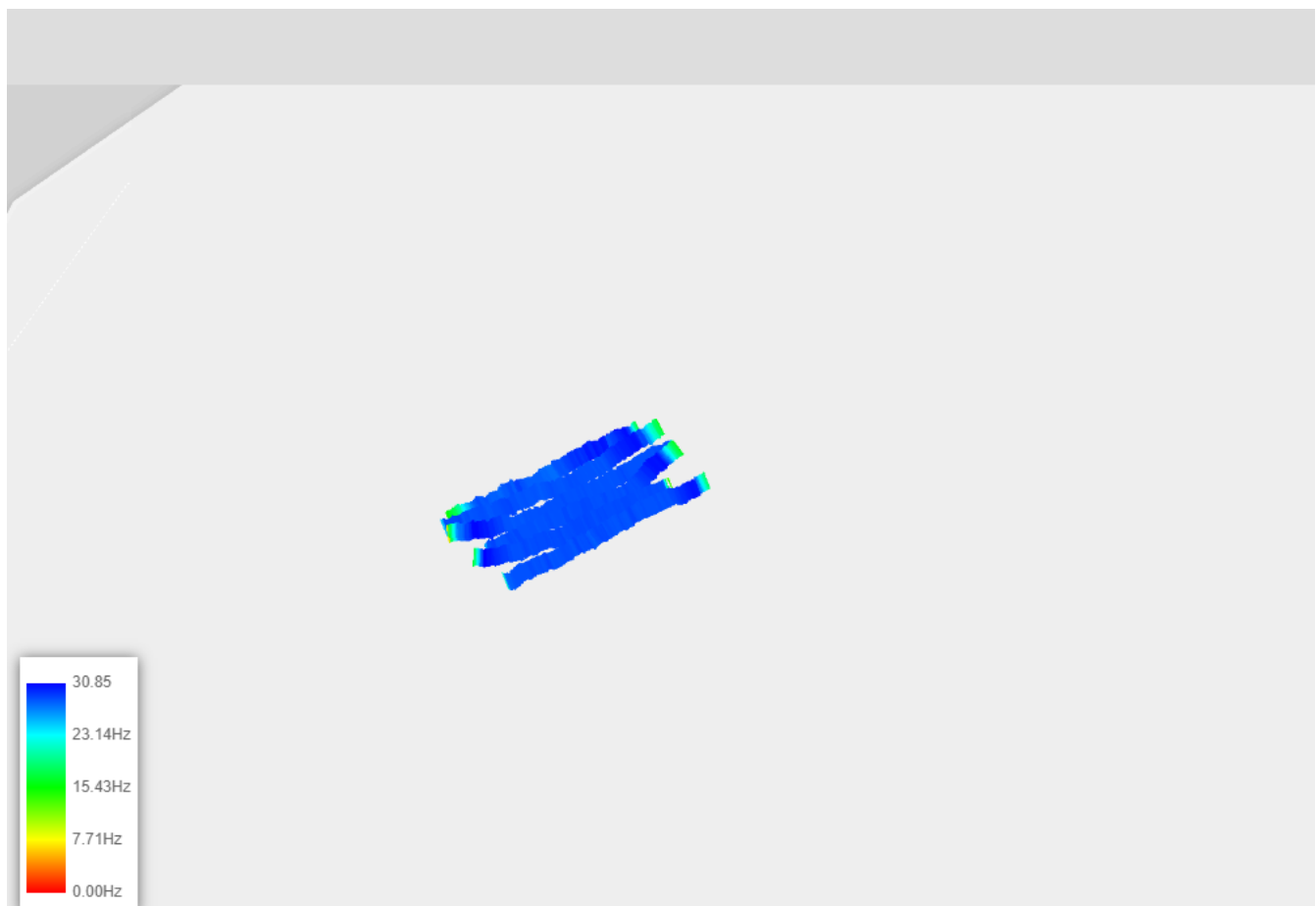
Layer Information		Statistical Data		CMV	
Name	lag21	Average	68.03	< 12.0	0.9 m <sup>2</sup>
Offset	-17.7	Std. Dev.	31.39		9%
Thickness	0.80	Min.	0.0	12.0 - 60	2.0 m <sup>2</sup>
Passcount Target	1	Max.	105.6	60 - 90.0	19%
Passcount Max Extra	2	Cell Size [m]	0.1	90.0 - 120.0	4.5 m <sup>2</sup>
Speed Target [km/h]	2	Area covered [m <sup>2</sup> ]	10.5	120.0 - 150.0	43%
Speed Max Diff	2	Within Range [m <sup>2</sup> ]	4.5	>= 150.0	3.1 m <sup>2</sup>
CMV Target	60	Within Range [%]	43.3		29%



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 1	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405499.53,6520212.30 P2: 405868.15,6520332.46 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

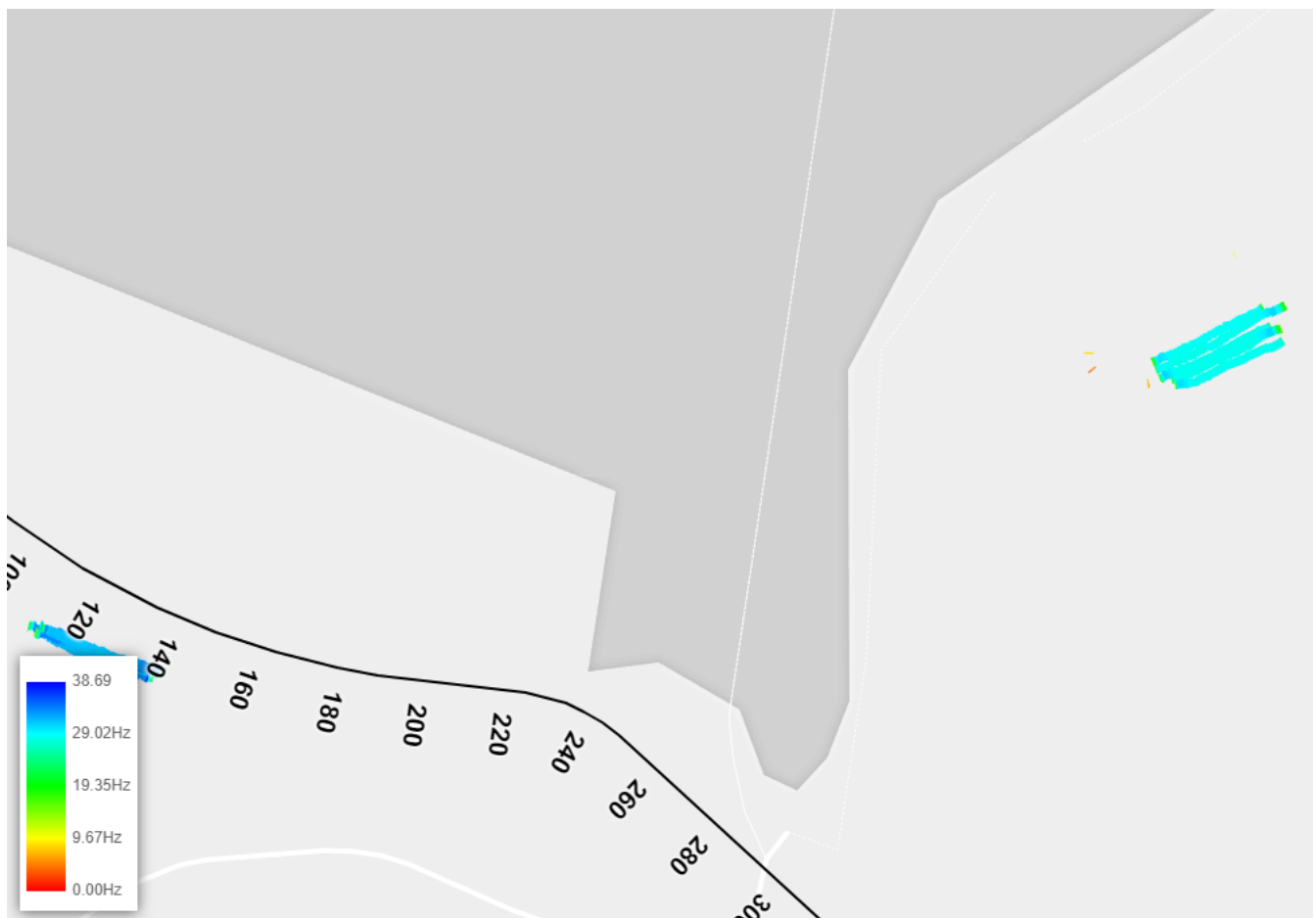
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag1	Gjennomsnitt	0.00
Offset	0	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	1.25	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.9
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	799.2
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405563.59,6520272.06 P2: 405867.76,6520340.97 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag2	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-2.5	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	1.65	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	38.7
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	495.1
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 3	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.07,6520324.18 P2: 405868.31,6520342.32 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag3	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-3.3	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.8
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	381.7
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0

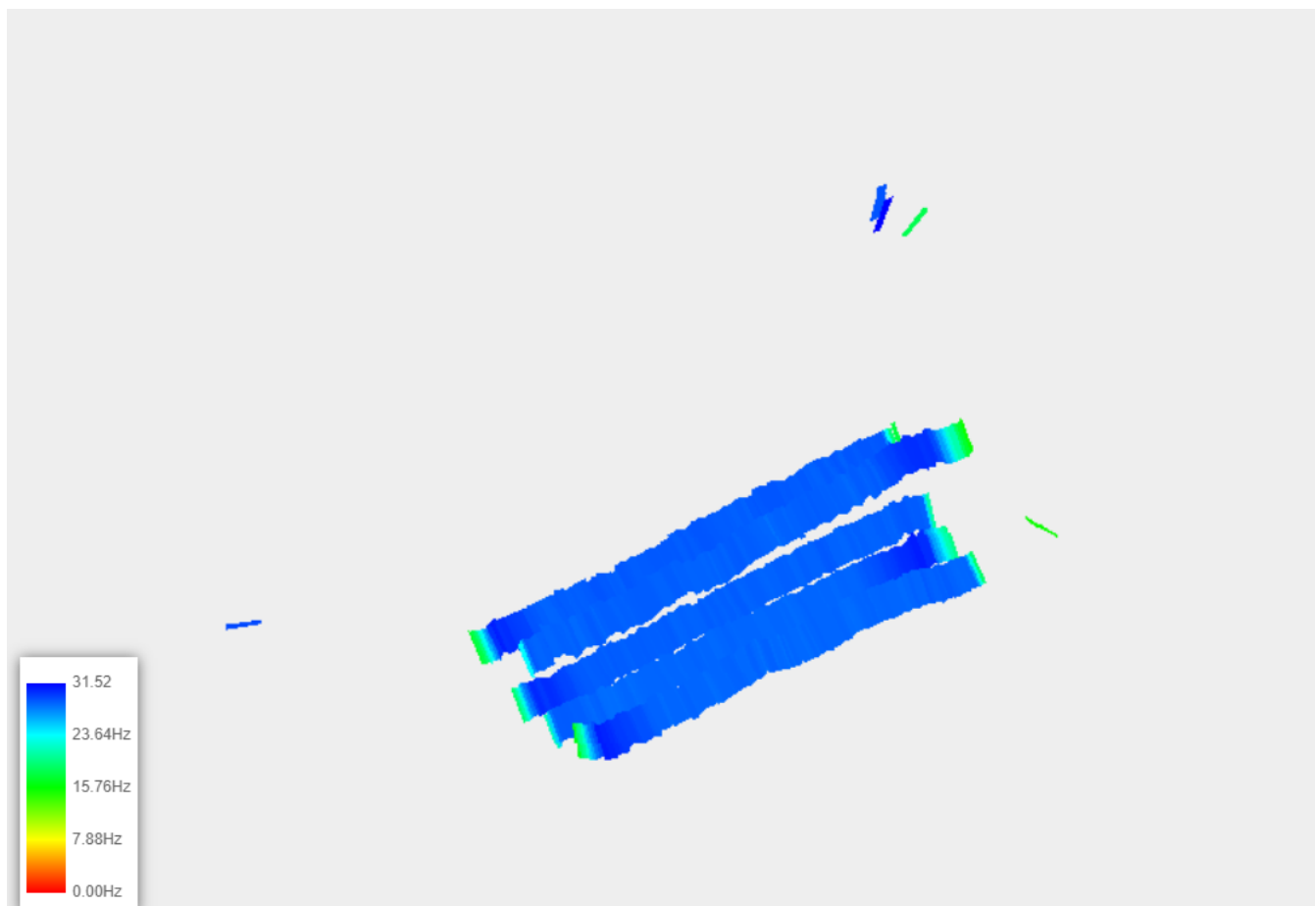




## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 4	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405822.10,6520332.80 P2: 405869.11,6520340.13 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

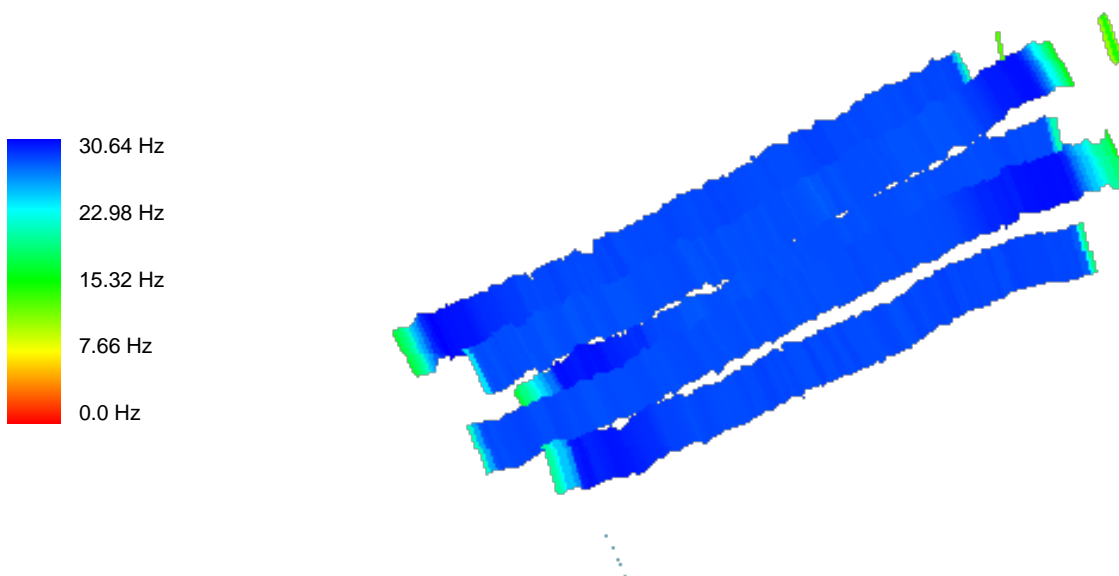
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag4	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-4.1	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	31.5
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	386.1
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 5	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.29,6520314.02 P2: 405869.10,6520333.58 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

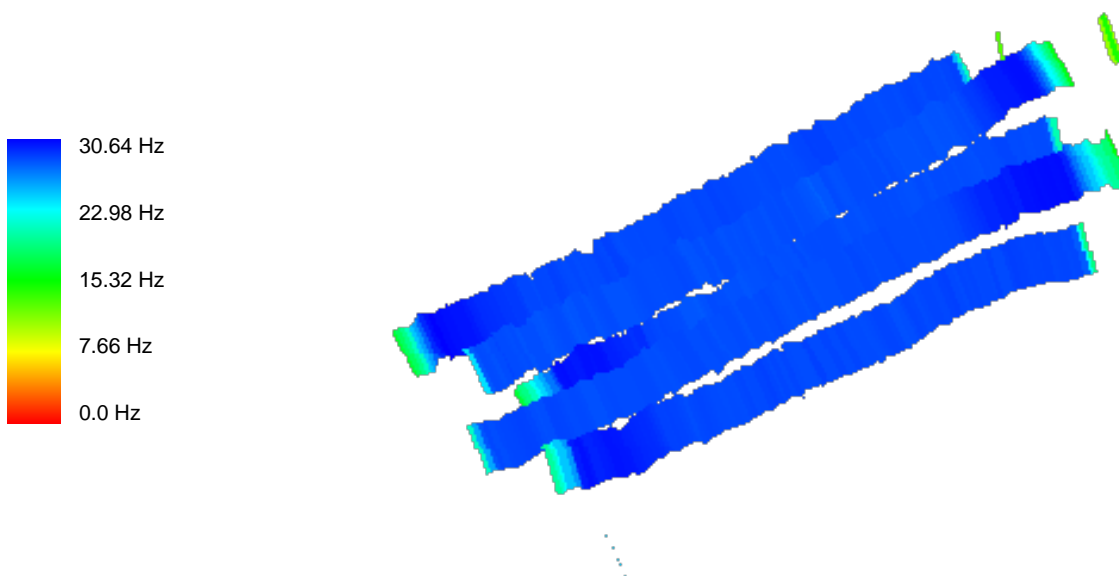
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag6	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-5.7	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.6
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	356.4
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 6	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.29,6520314.02 P2: 405869.10,6520333.58 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

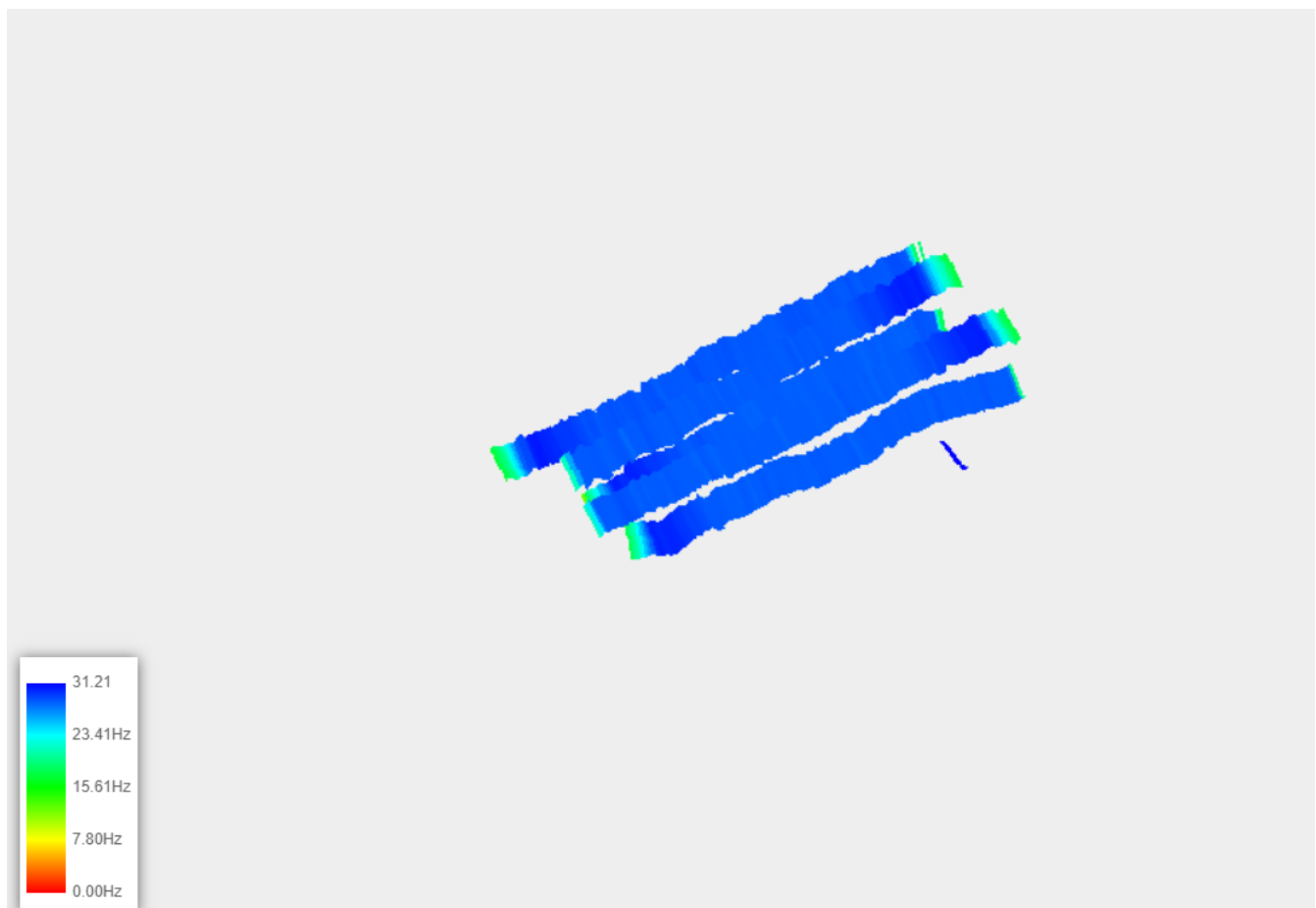
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag6	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-5.7	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.6
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	356.4
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 7	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405823.93,6520316.95 P2: 405867.44,6520332.75 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag7	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-6.5	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	31.2
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	340.5
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 8	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405822.88,6520318.07 P2: 405864.63,6520339.79 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

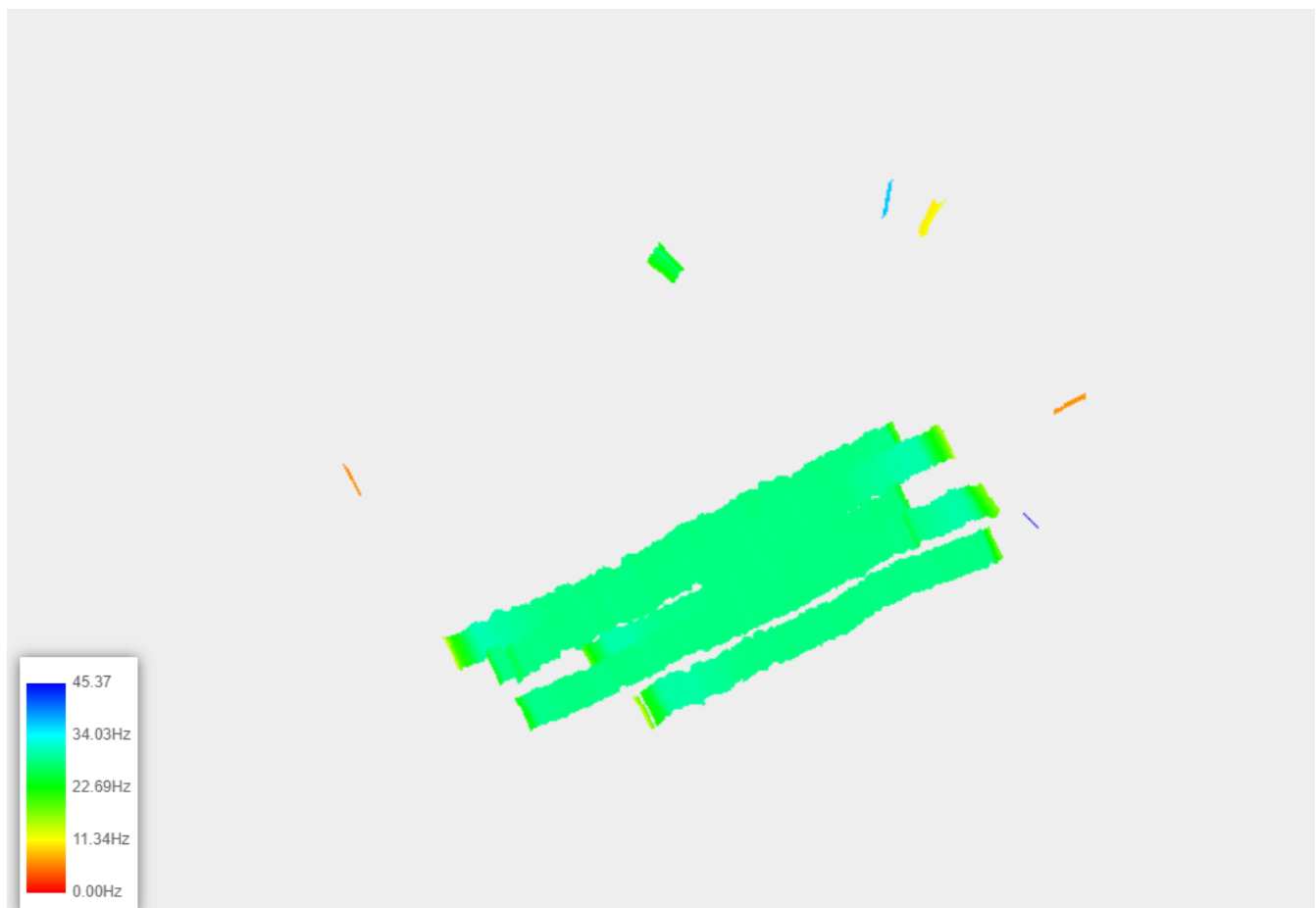
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag8	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-7.3	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.8
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	318.5
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Vals rapport			
Rapportnavn	Lag 9	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405826.80,6520323.27 P2: 405865.38,6520346.56 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

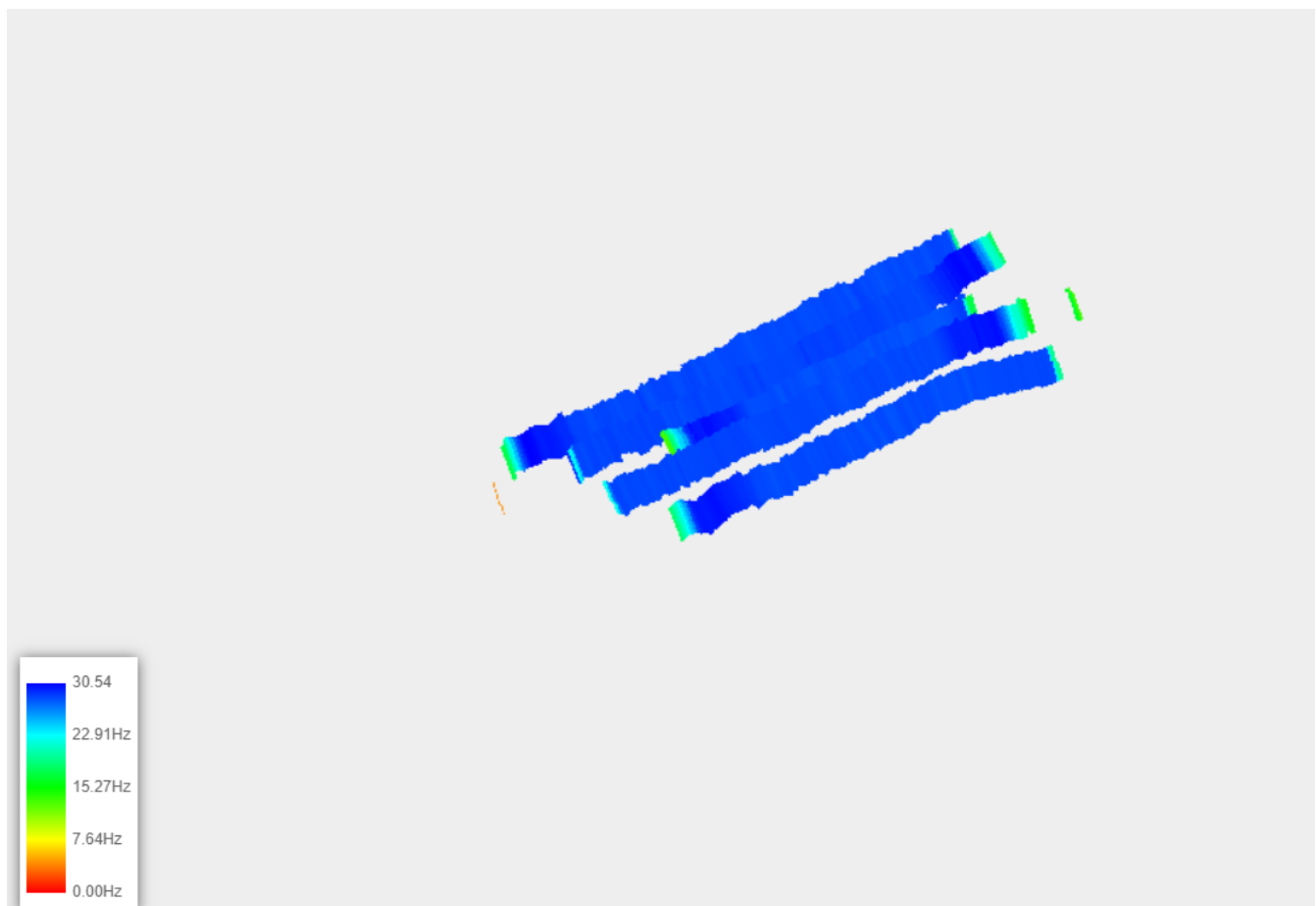
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag9	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-8.1	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	45.4
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	369.7
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 10	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405812.59,6520321.97 P2: 405868.10,6520332.27 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

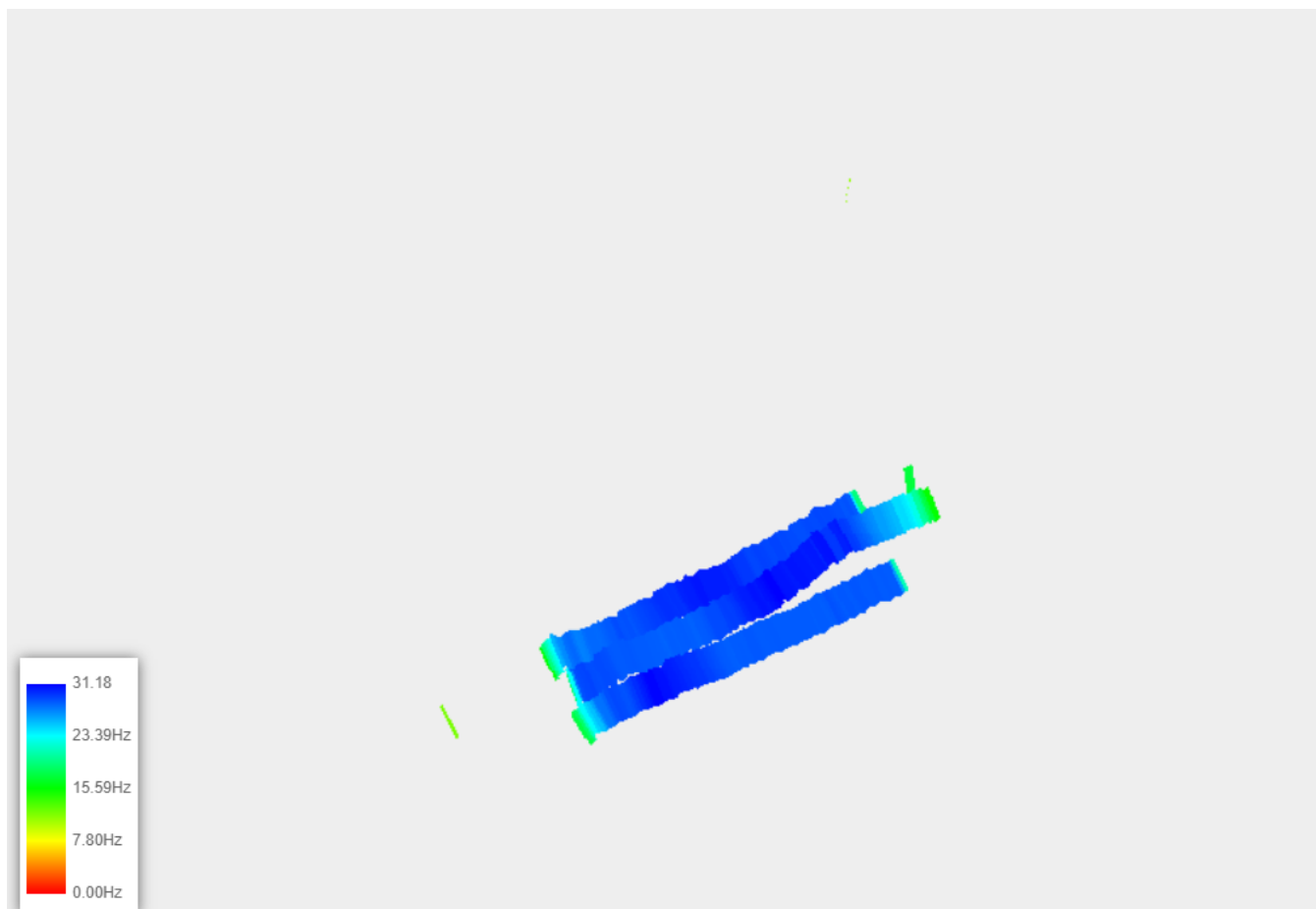
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag10	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-8.9	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.5
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	348.2
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 1,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405832.51,6520321.99 P2: 405858.15,6520354.76 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag12	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-10.5	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	31.2
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	250.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0

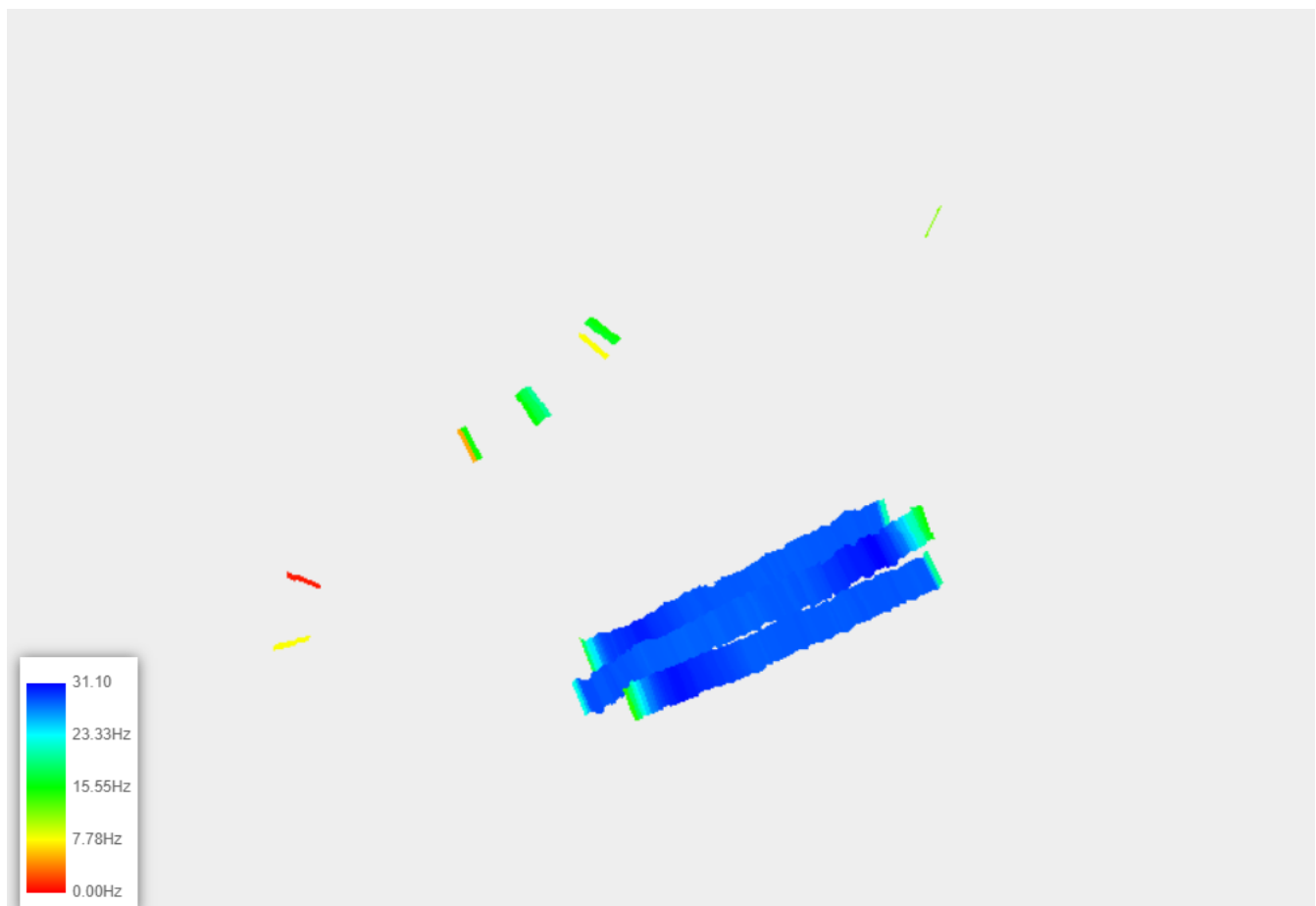




## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 2,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Dry
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.68,6520323.04 P2: 405866.09,6520346.60 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

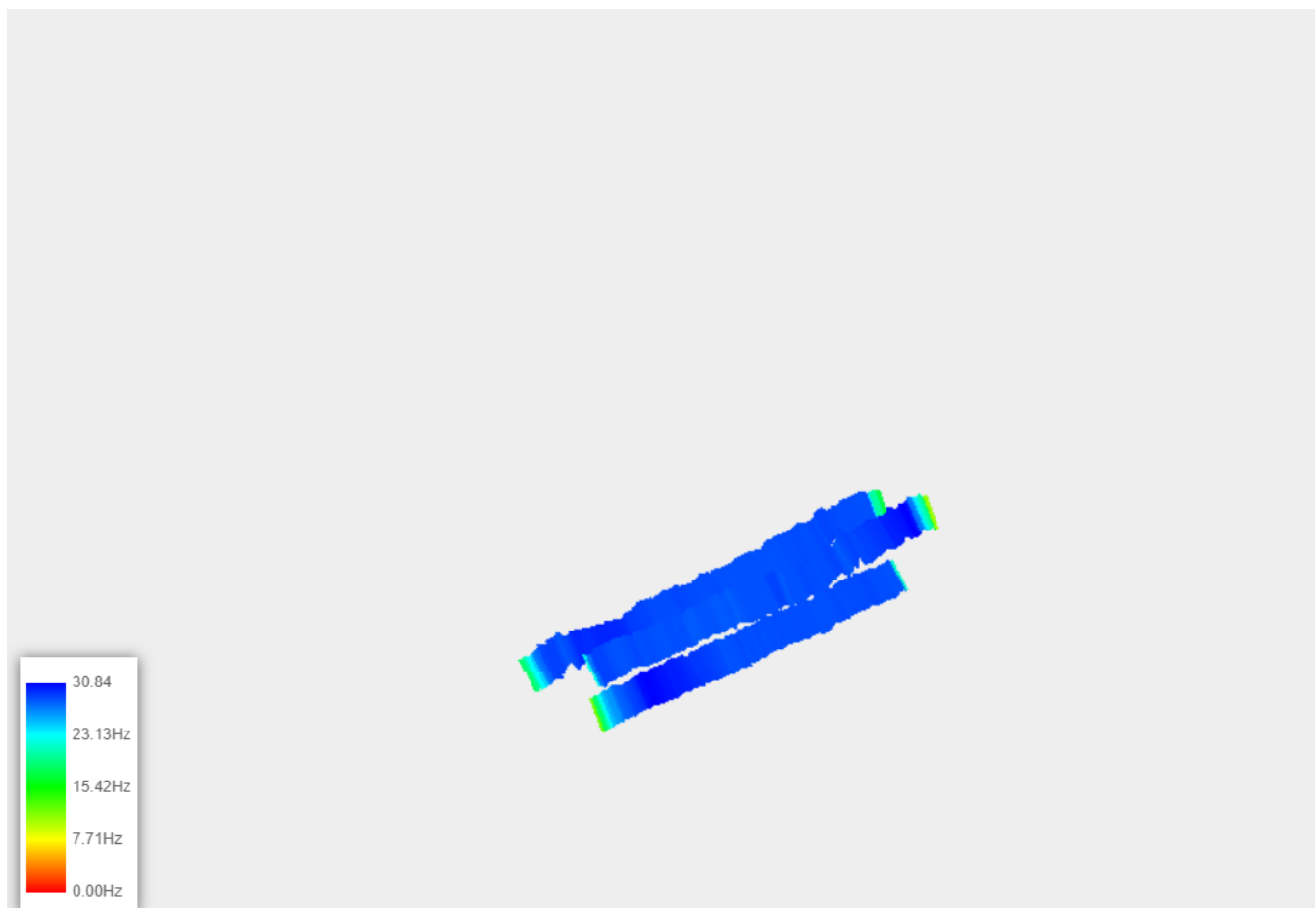
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag13	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-11.3	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	31.1
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	234.5
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 3,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.62,6520323.18 P2: 405853.17,6520353.20 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

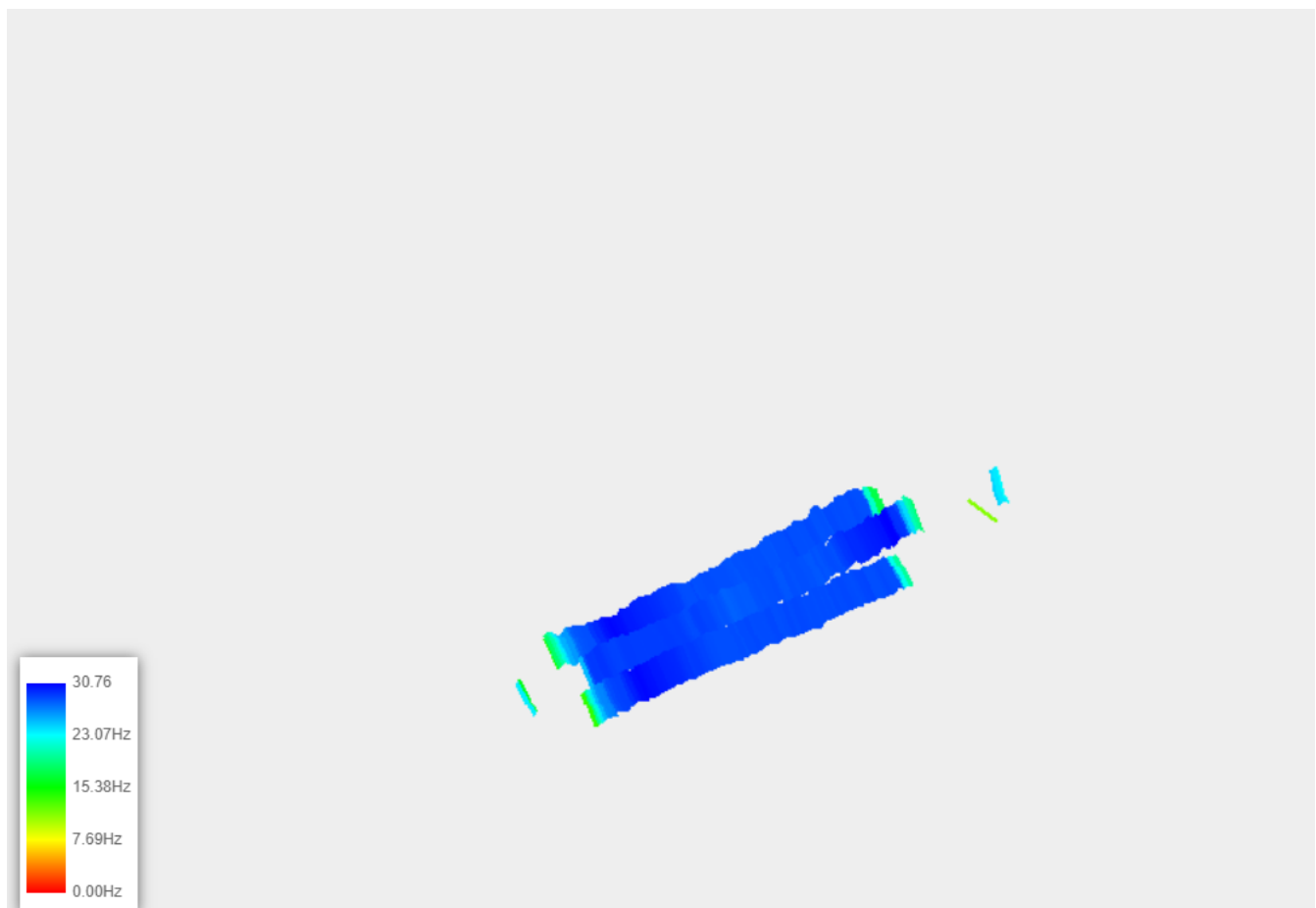
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag14	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-12.1	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.8
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	245.4
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 4,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405824.39,6520327.73 P2: 405861.97,6520351.35 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

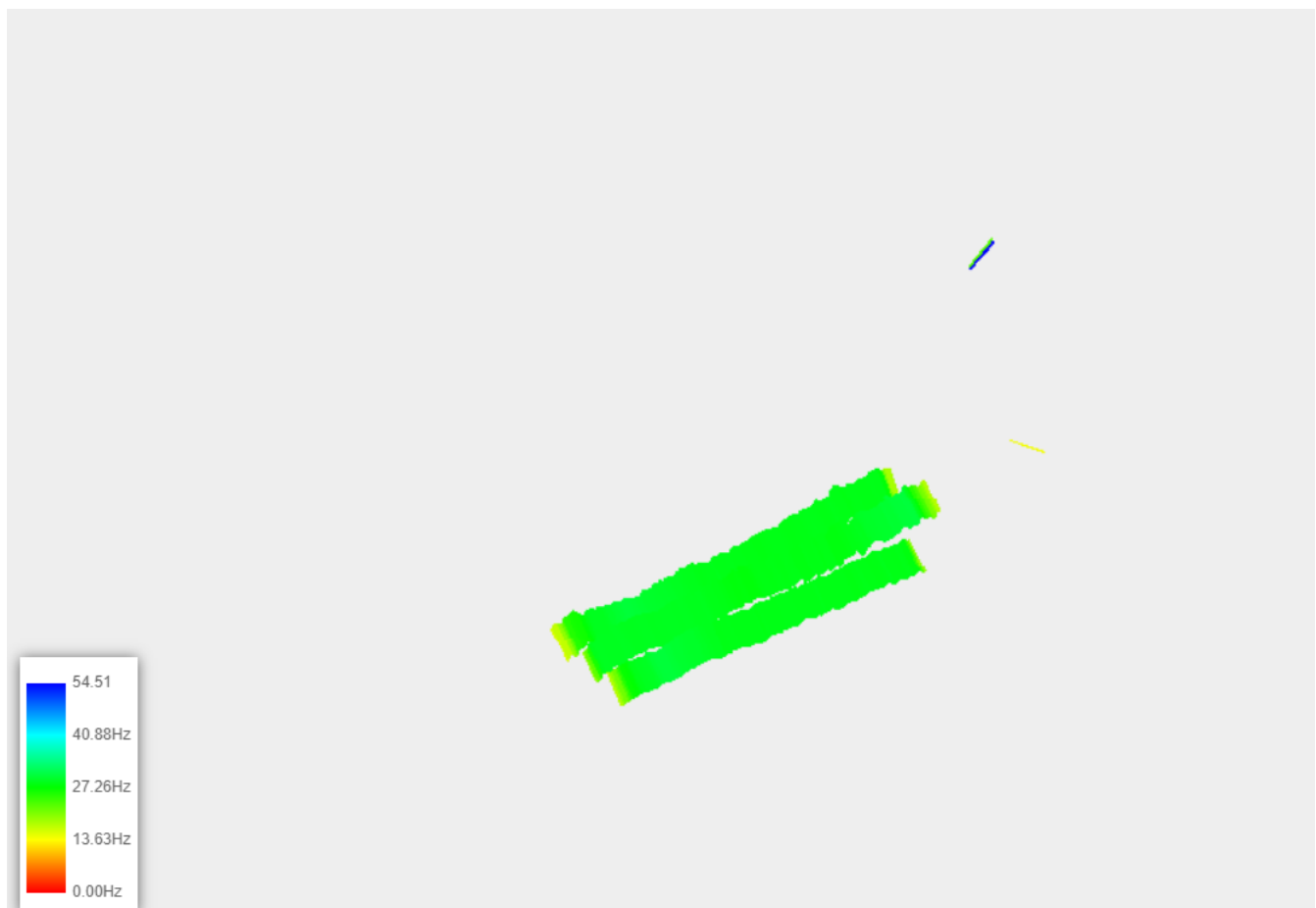
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag15	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-12.9	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.8
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	242.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 5,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405827.11,6520336.24 P2: 405867.04,6520343.39 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

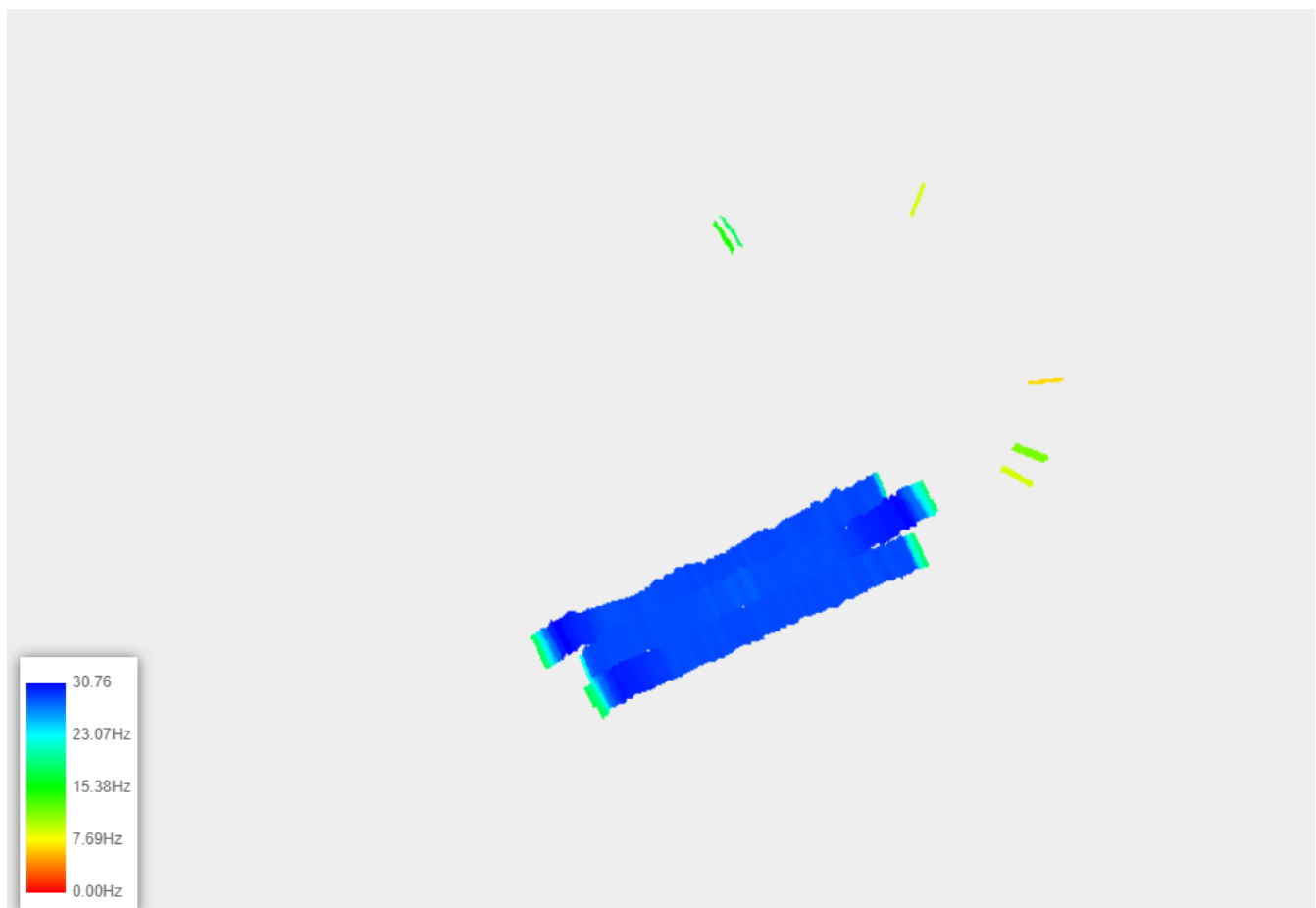
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag16	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-13.7	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	54.5
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	245.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 6,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405822.83,6520331.25 P2: 405868.38,6520341.23 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

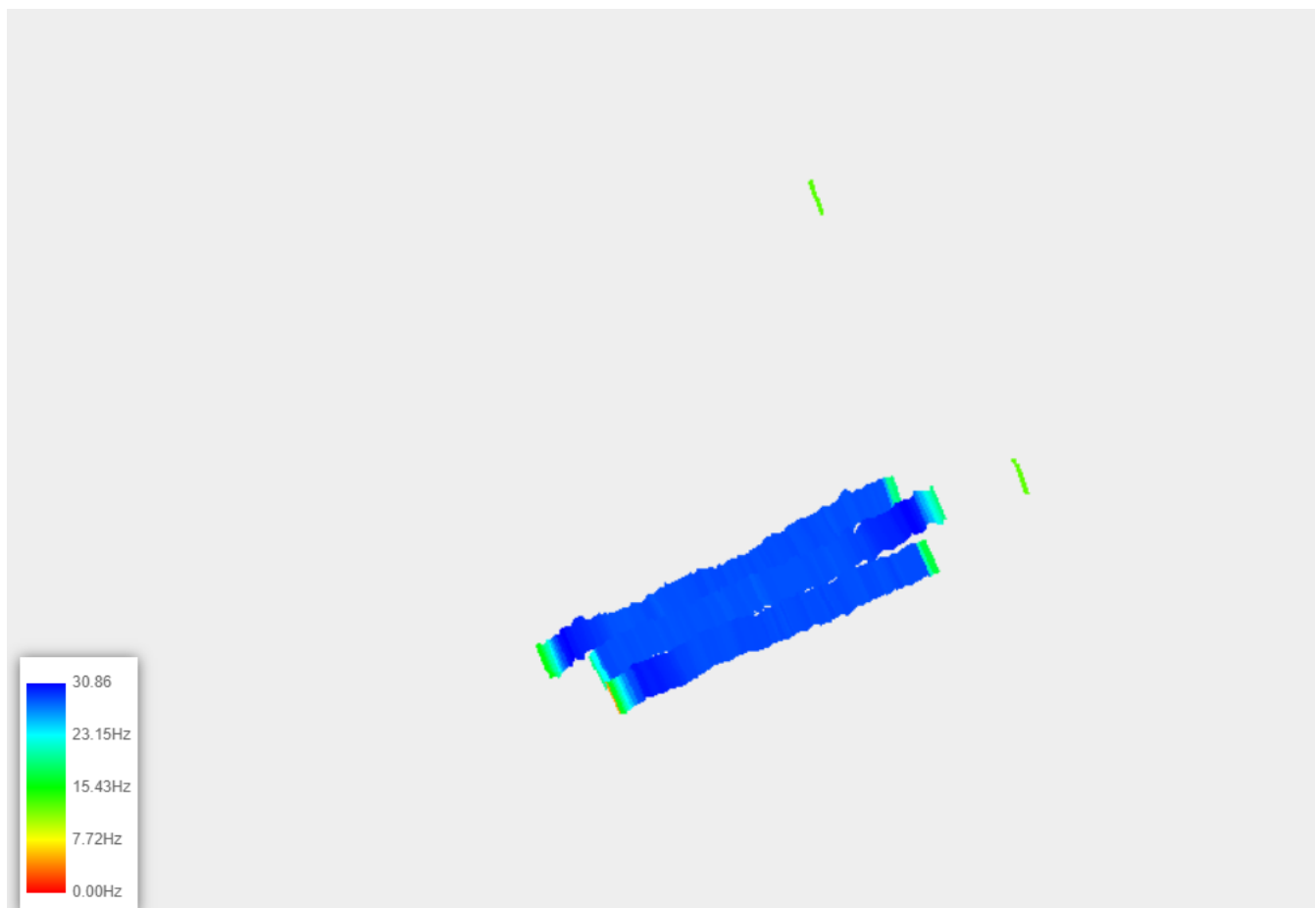
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag17	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-14.5	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.8
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	254.9
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 7,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.64,6520324.22 P2: 405862.11,6520351.78 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

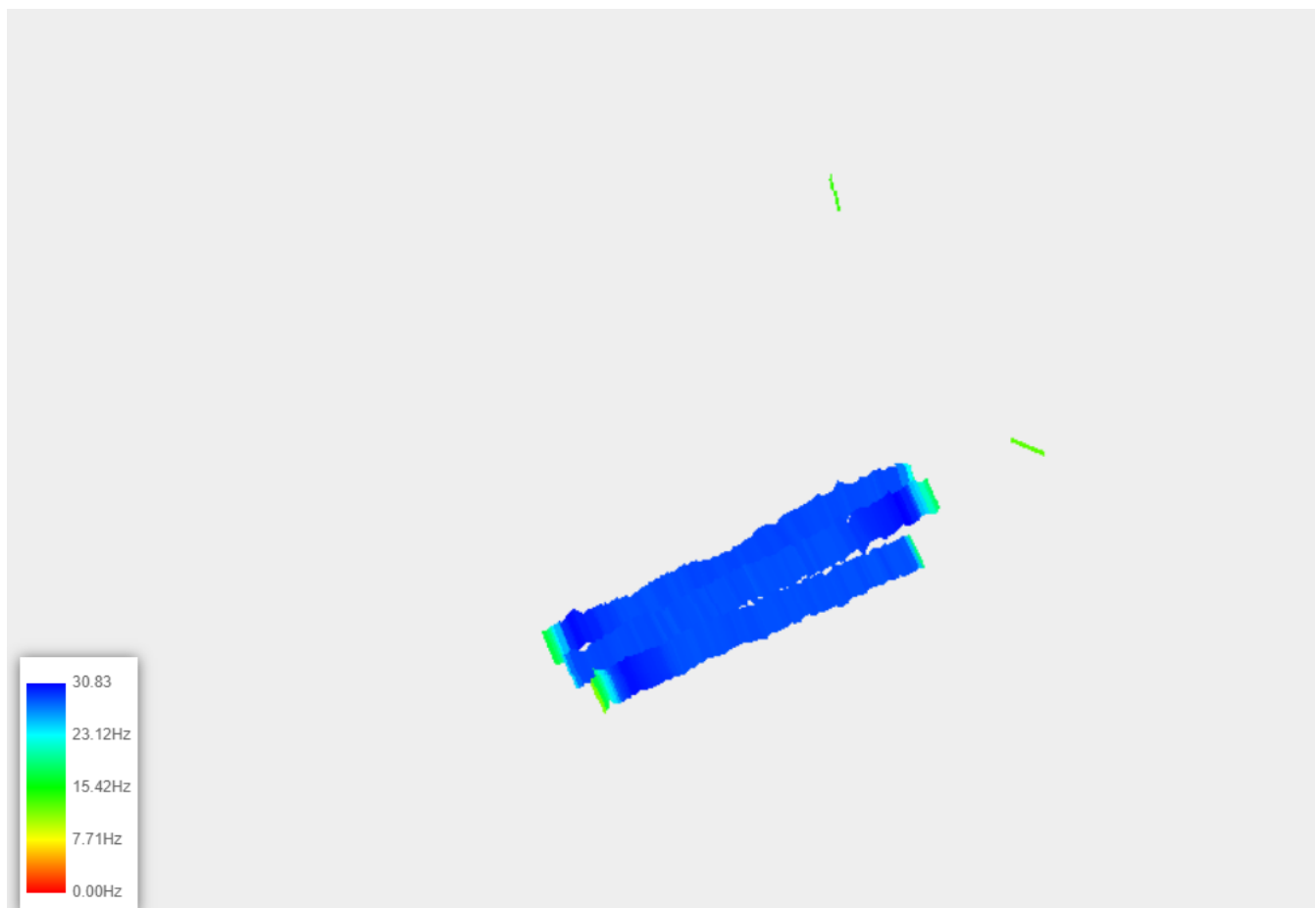
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag18	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-15.3	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.9
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	248.4
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 8,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405823.32,6520333.75 P2: 405868.18,6520340.14 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

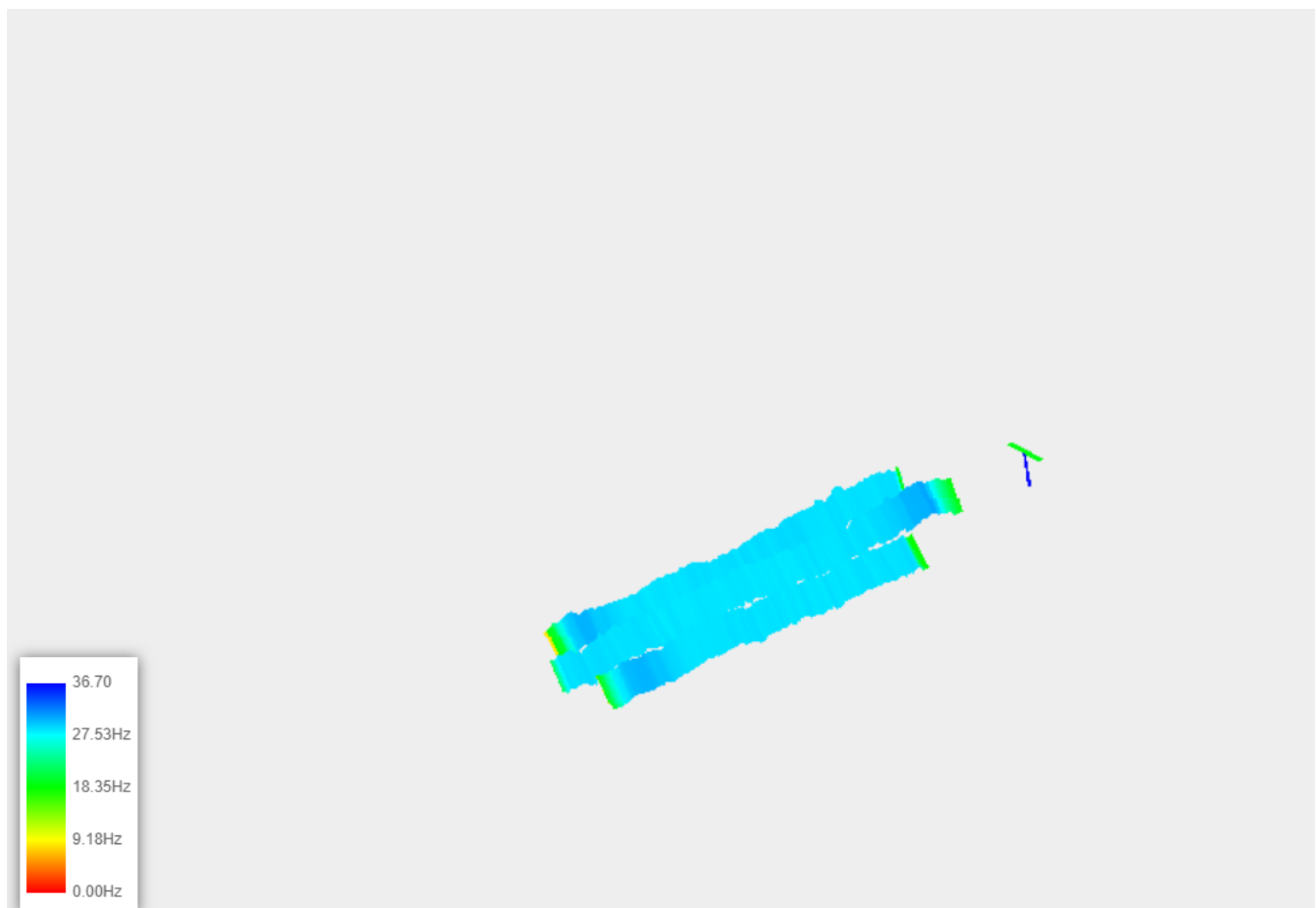
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag19	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-16.1	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.8
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	246.7
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 9.2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.42,6520320.26 P2: 405859.74,6520352.88 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag20	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-16.9	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	36.7
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	253.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0

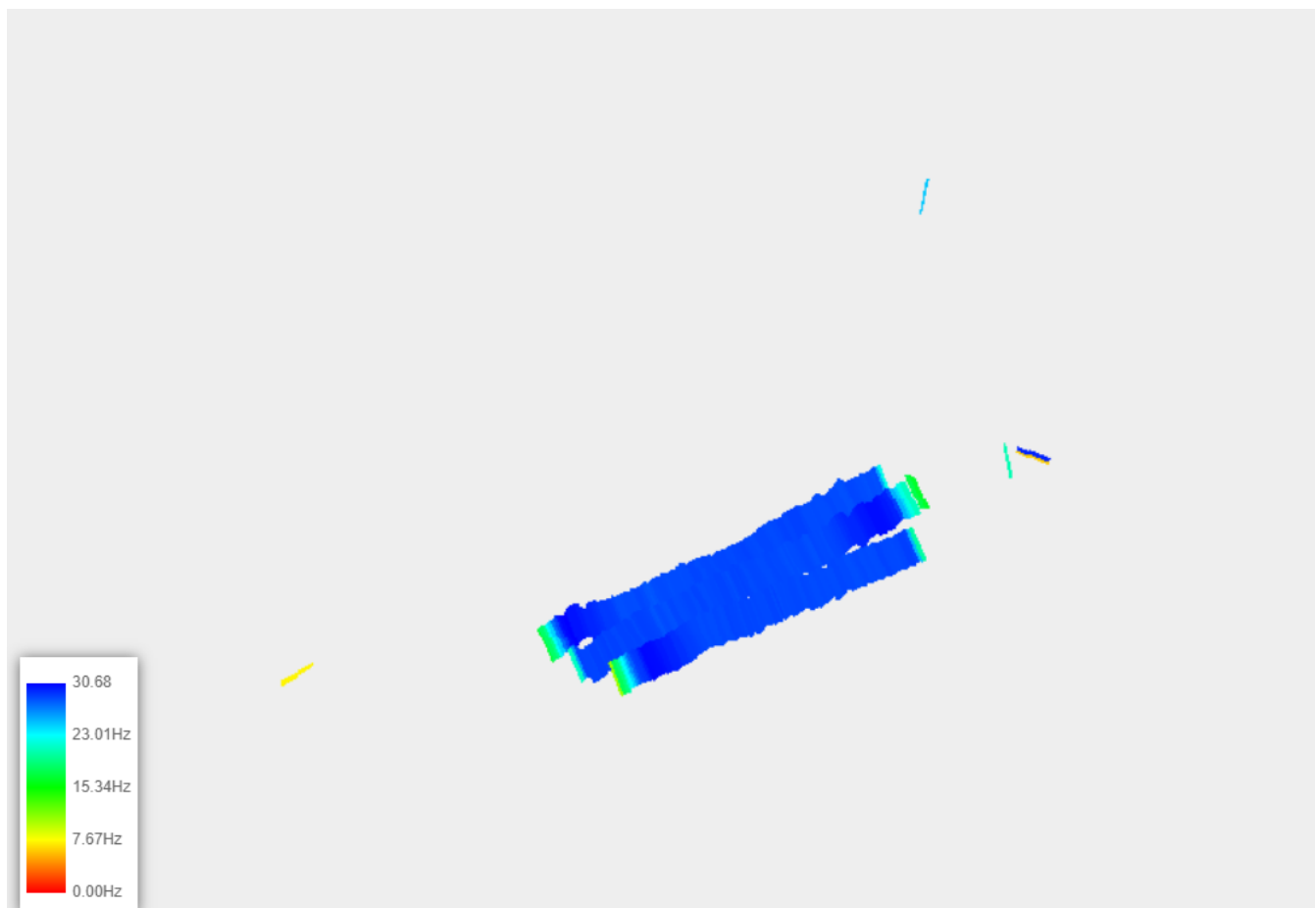




## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 10,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Frequency	Massens tilstand	Wet
Notat	Frekvens	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.07,6520320.99 P2: 405863.92,6520350.47 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-06 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

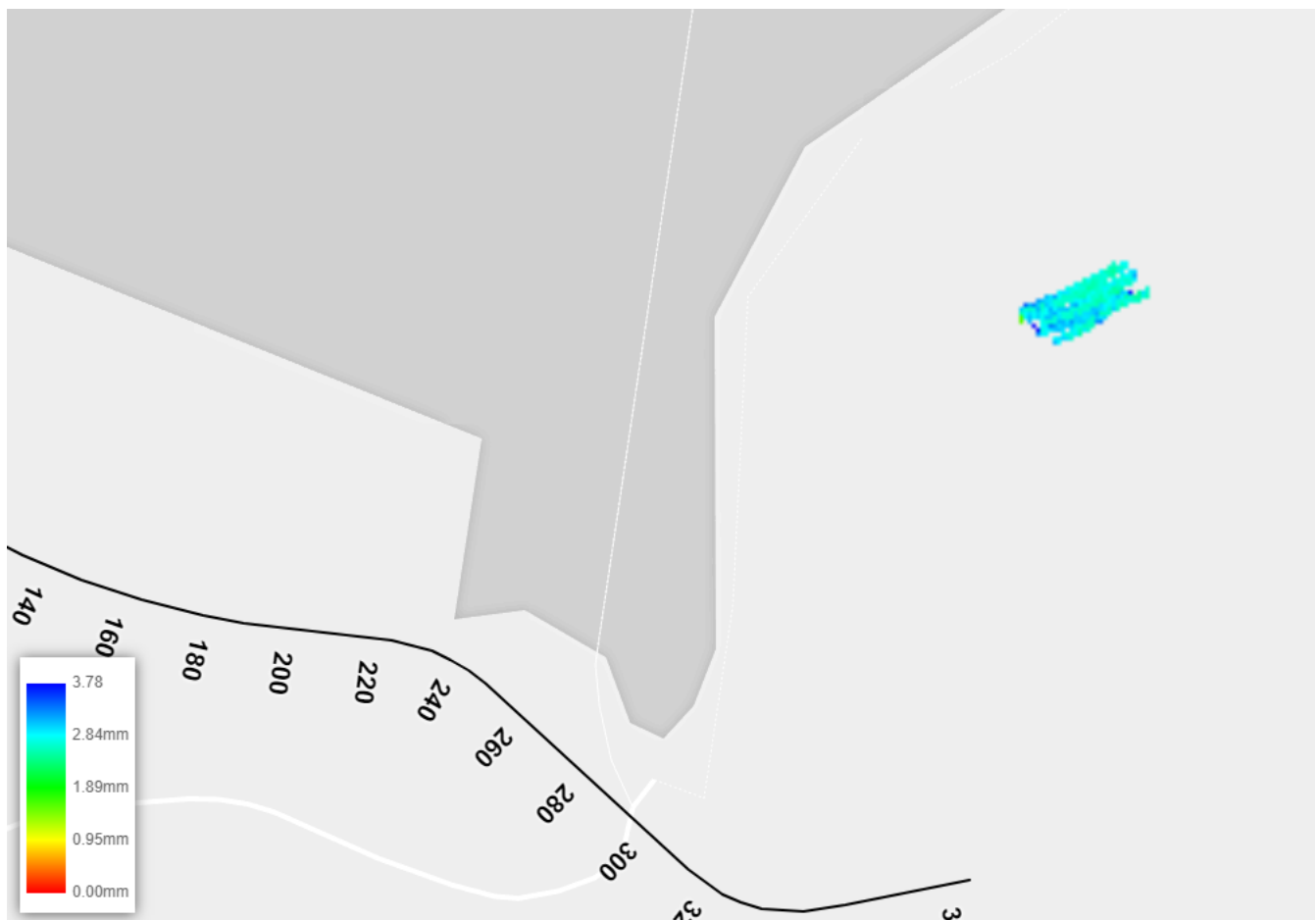
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag21	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-17.7	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	30.7
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	244.3
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 1	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405499.53,6520212.30 P2: 405868.15,6520332.46 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

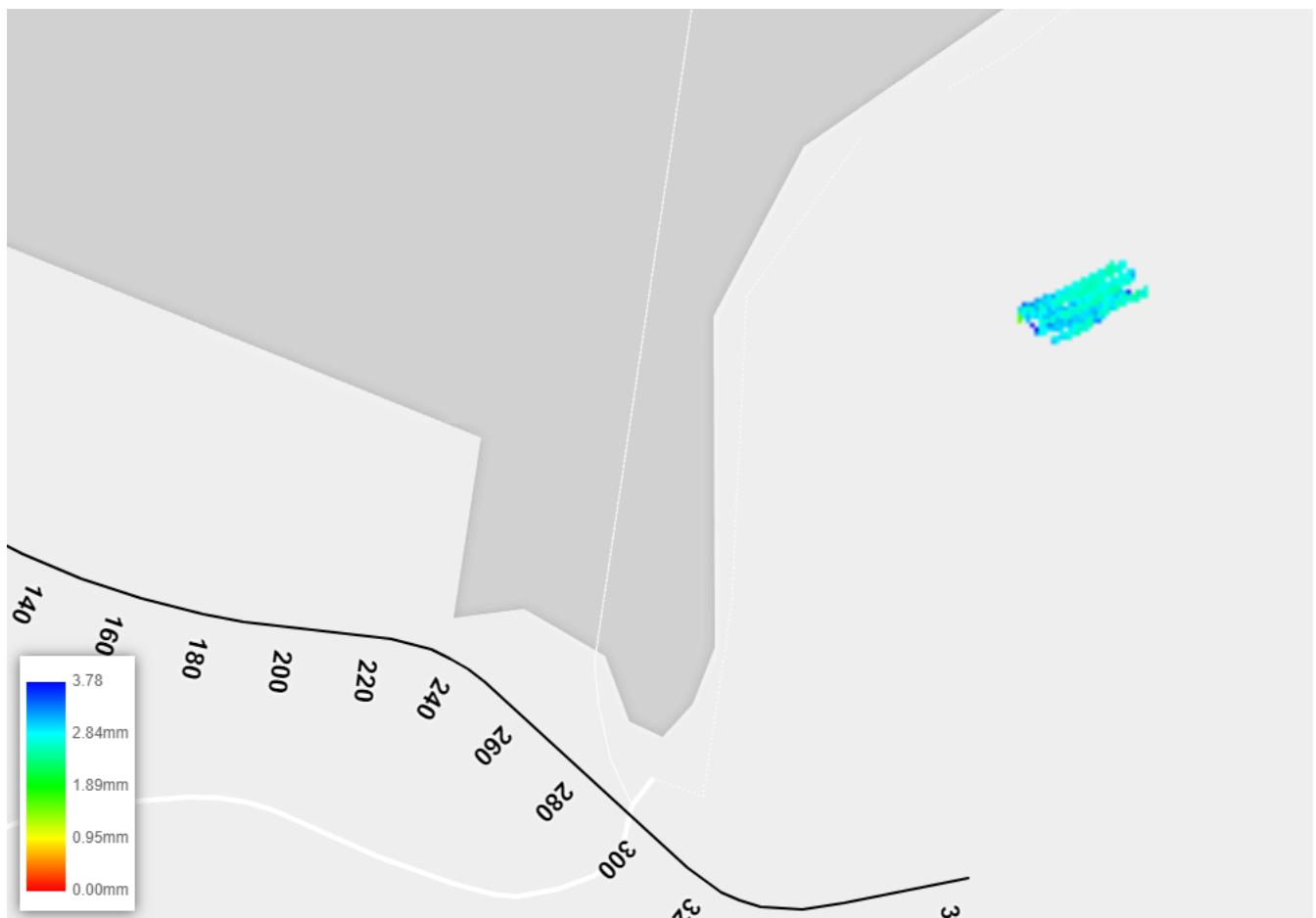
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag1	Gjennomsnitt	0.00
Offset	0	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	1.25	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	3.8
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	1.0
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	704.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405826.71,6520323.22 P2: 405867.76,6520340.97 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

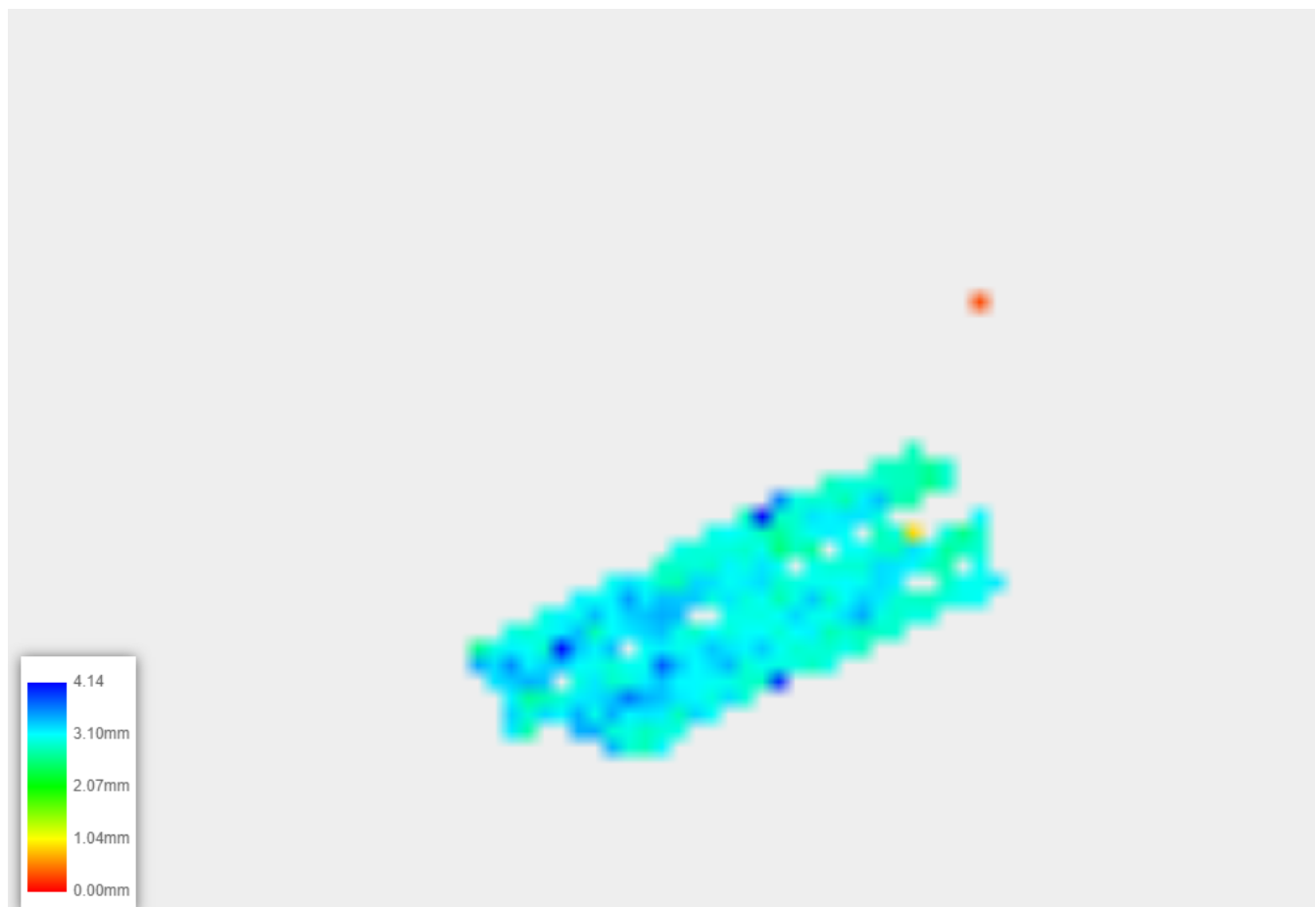
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag2	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-2.5	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	1.65	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	3.9
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	1.0
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	407.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 3	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.07,6520324.18 P2: 405868.31,6520342.32 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag3	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-3.3	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.1
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	1.0
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	383.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 4	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405822.10,6520332.80 P2: 405869.11,6520340.13 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag4	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-4.1	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	3.9
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	1.0
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	393.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 5	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405824.38,6520317.59 P2: 405863.87,6520338.66 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag5	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-4.9	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.2
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	1.0
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	346.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 6	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.29,6520314.02 P2: 405869.10,6520333.58 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag6	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-5.7	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.1
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	1.0
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	354.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 7	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405822.88,6520318.07 P2: 405864.63,6520339.79 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag8	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-7.3	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.1
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	1.0
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	322.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0

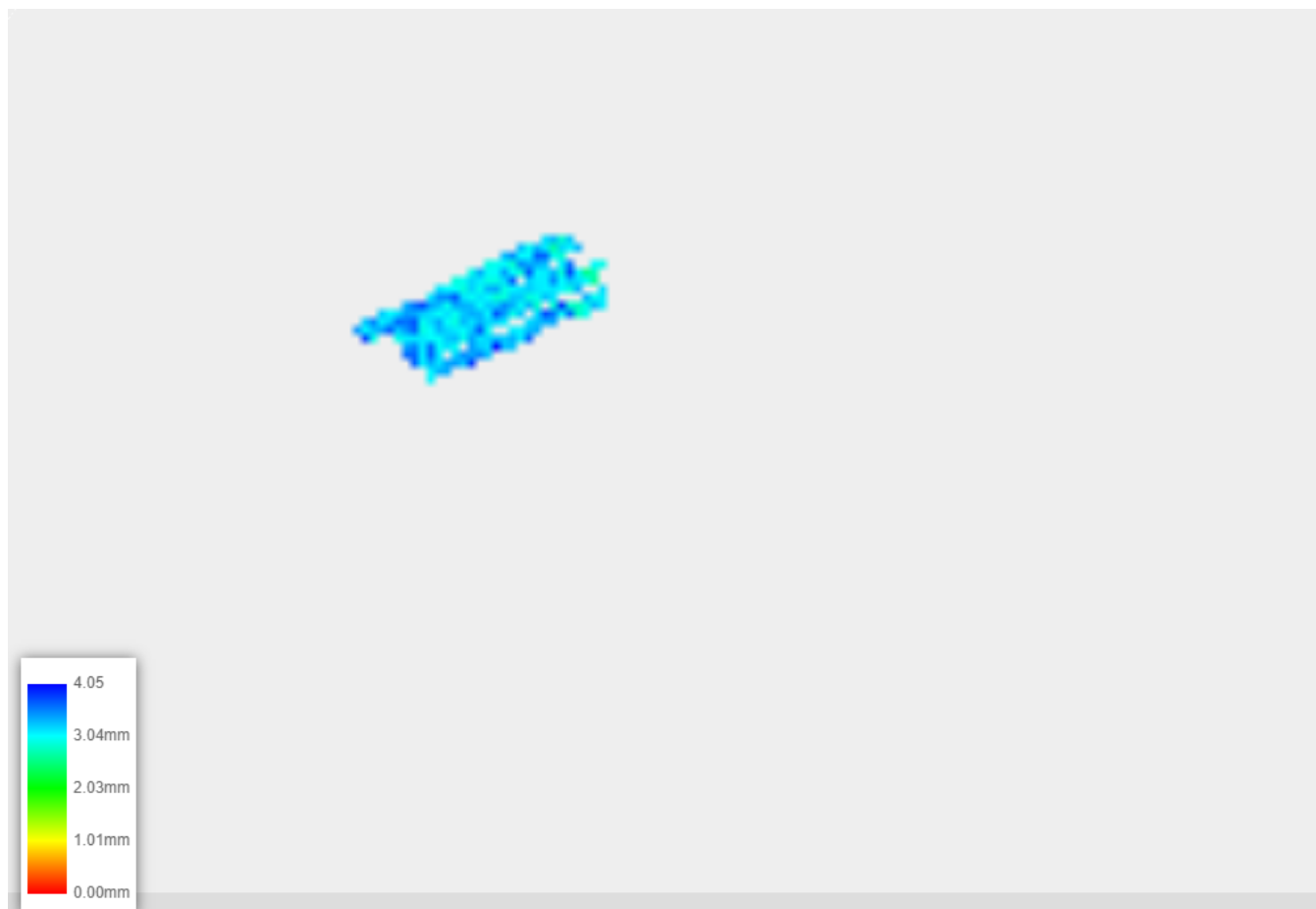




## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 8	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405822.88,6520318.07 P2: 405864.63,6520339.79 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

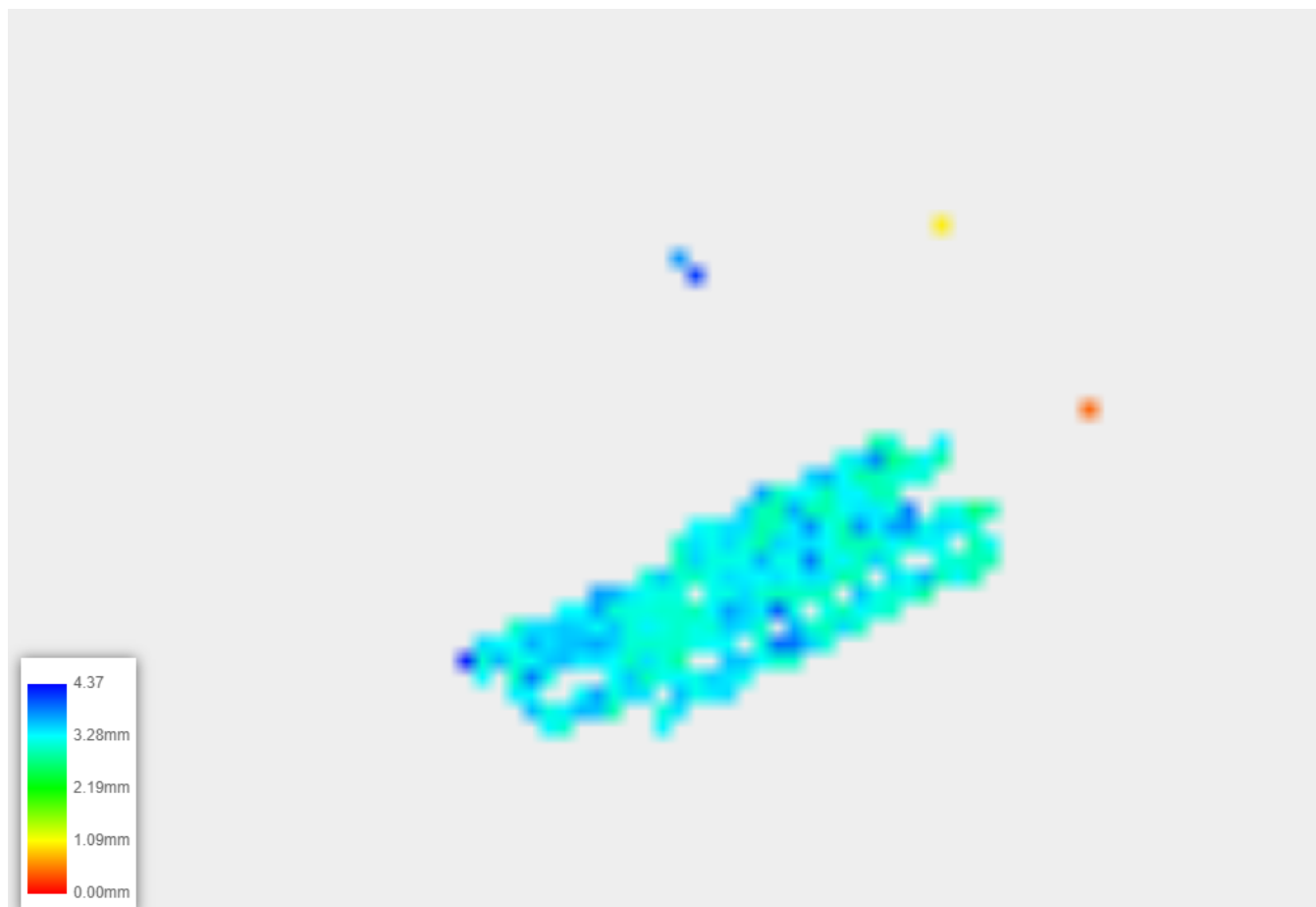
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag8	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-7.3	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.1
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	1.0
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	322.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 9	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405826.80,6520323.27 P2: 405865.38,6520346.56 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

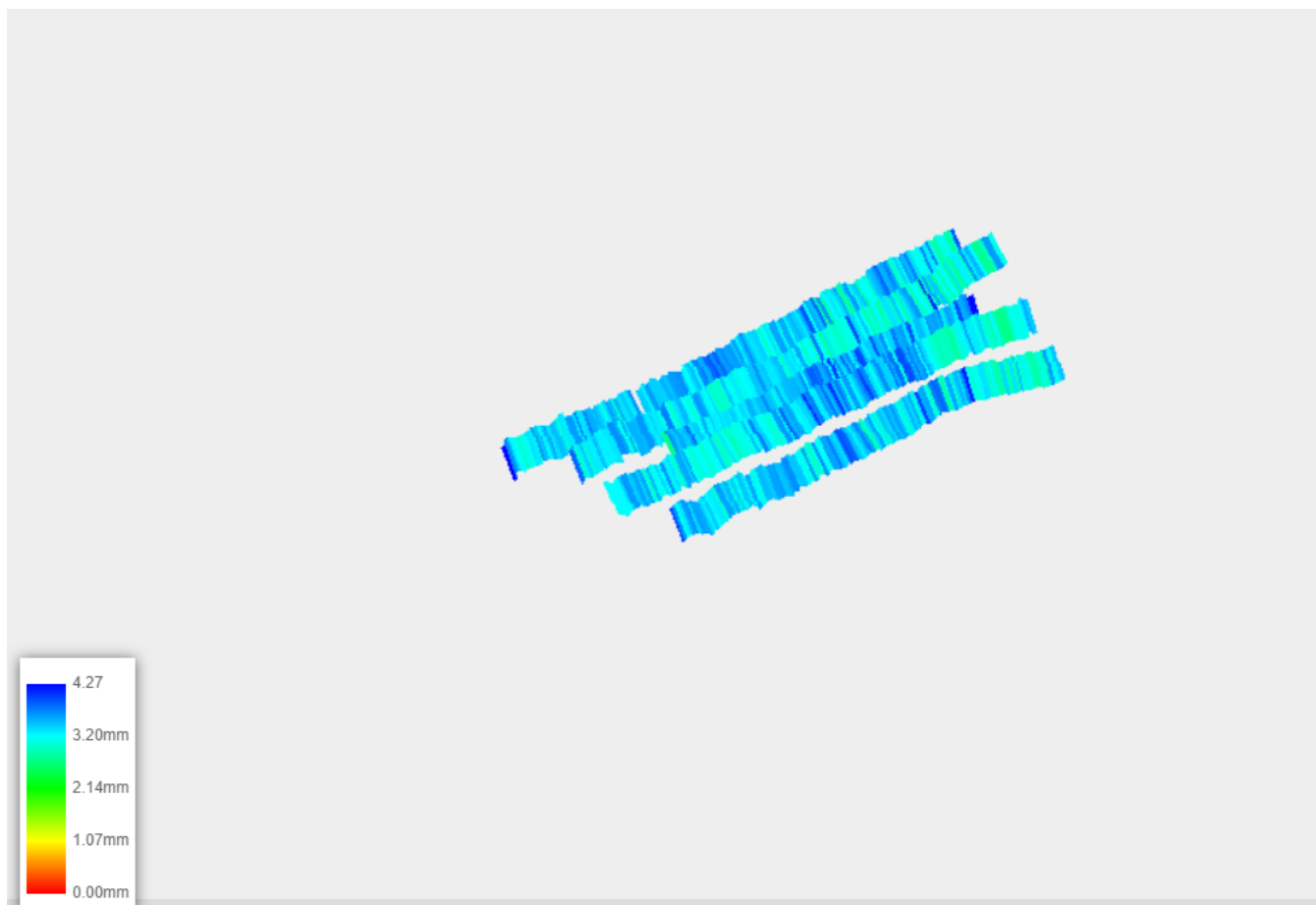
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag9	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-8.1	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.4
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	1.0
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	370.0
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 10	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405832.51,6520321.99 P2: 405858.15,6520354.76 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

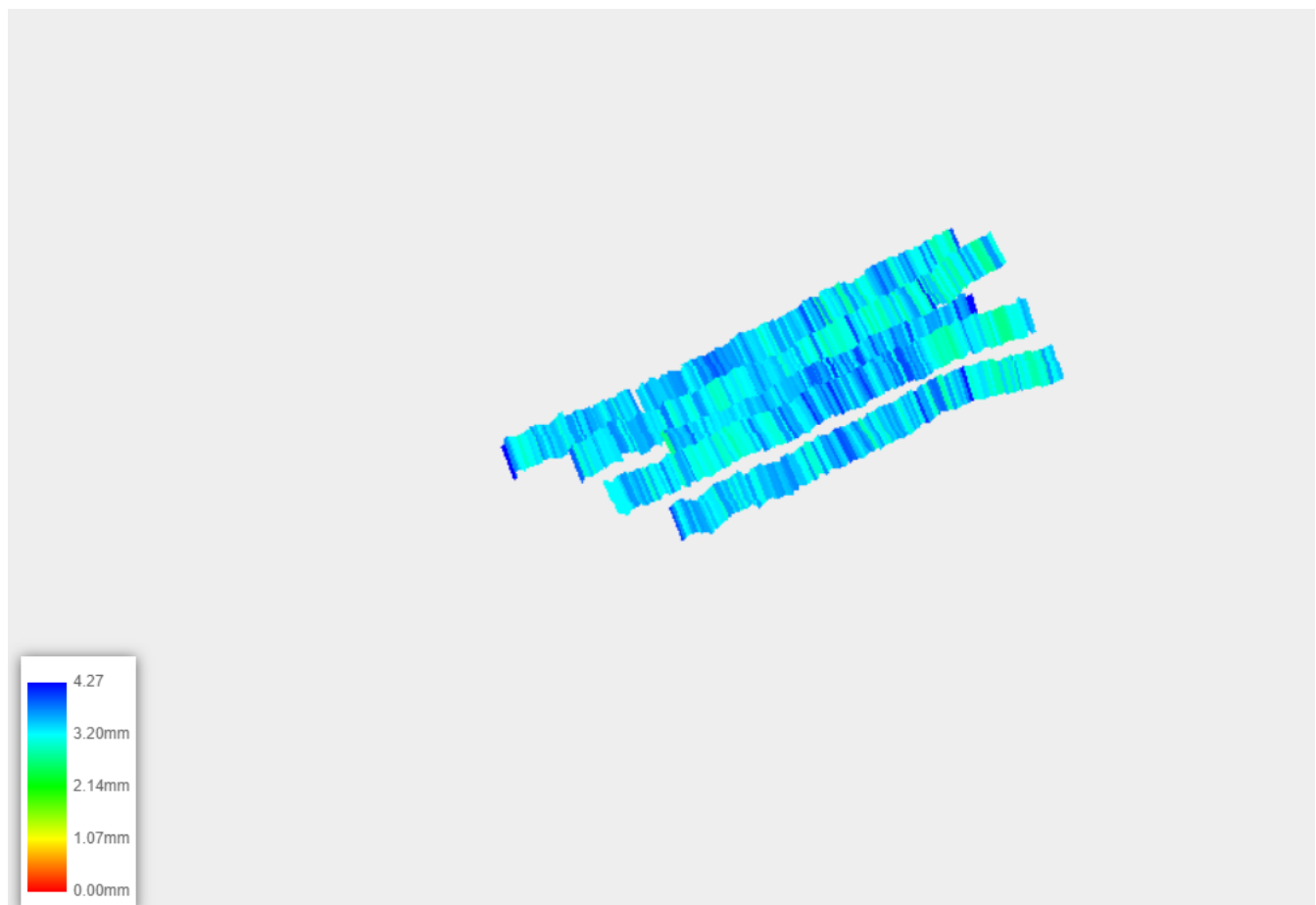
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag12	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-10.5	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	3.8
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	249.6
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 1,2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.68,6520323.04 P2: 405866.09,6520346.60 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

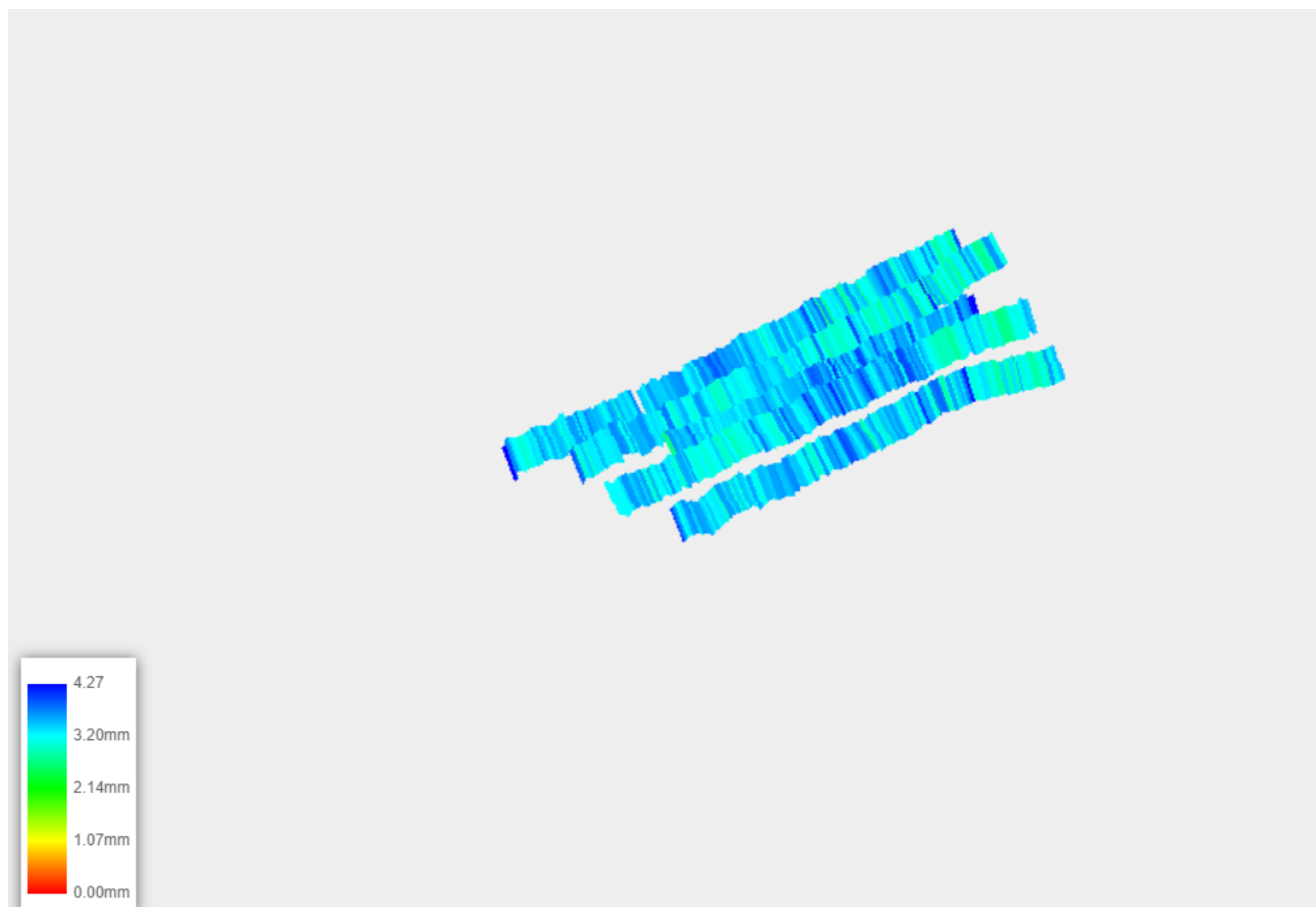
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag13	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-11.3	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	3.8
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	233.6
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 2,2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.68,6520323.04 P2: 405866.09,6520346.60 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

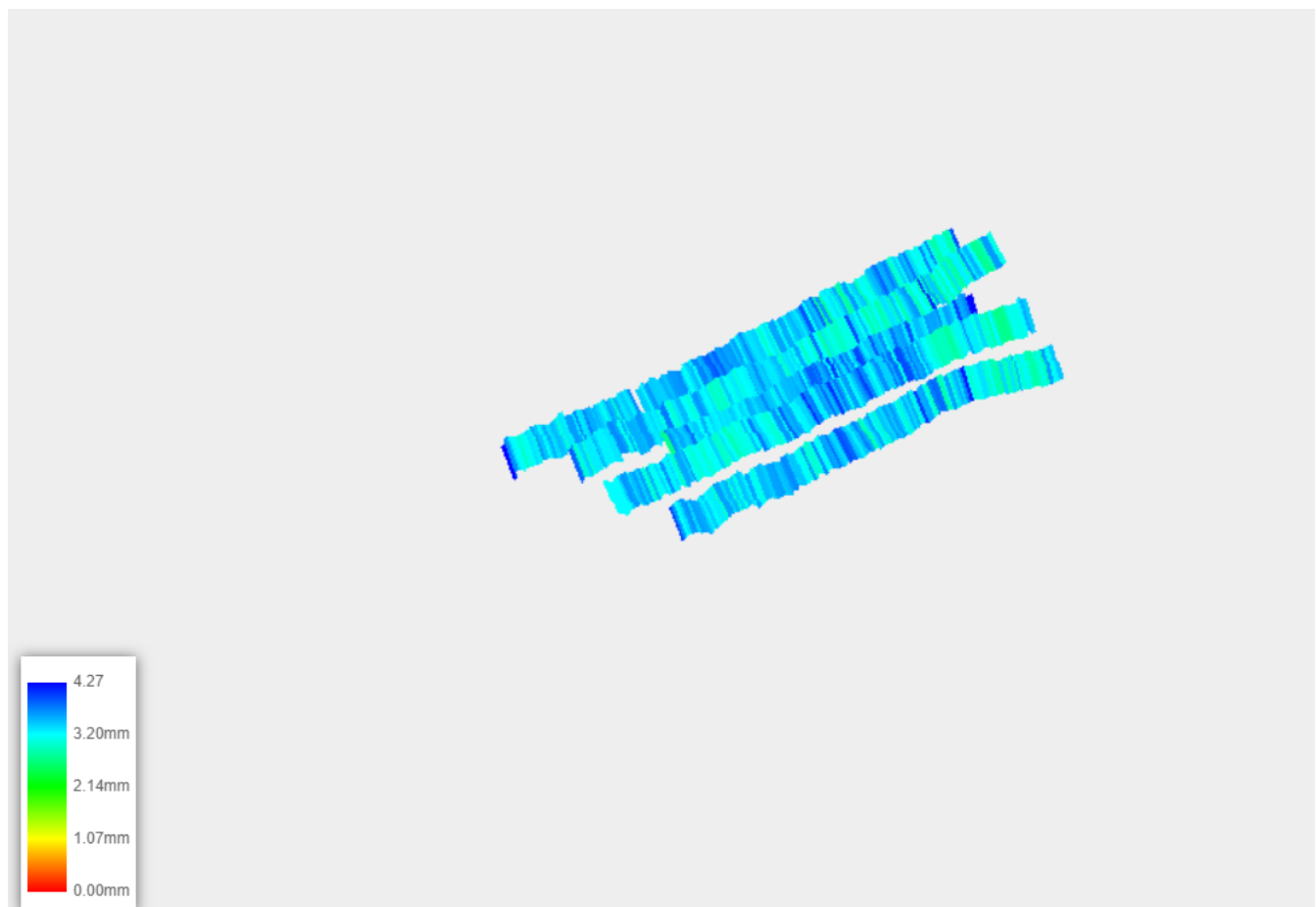
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag13	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-11.3	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	3.8
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	233.6
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 2,2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.62,6520323.18 P2: 405853.17,6520353.20 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

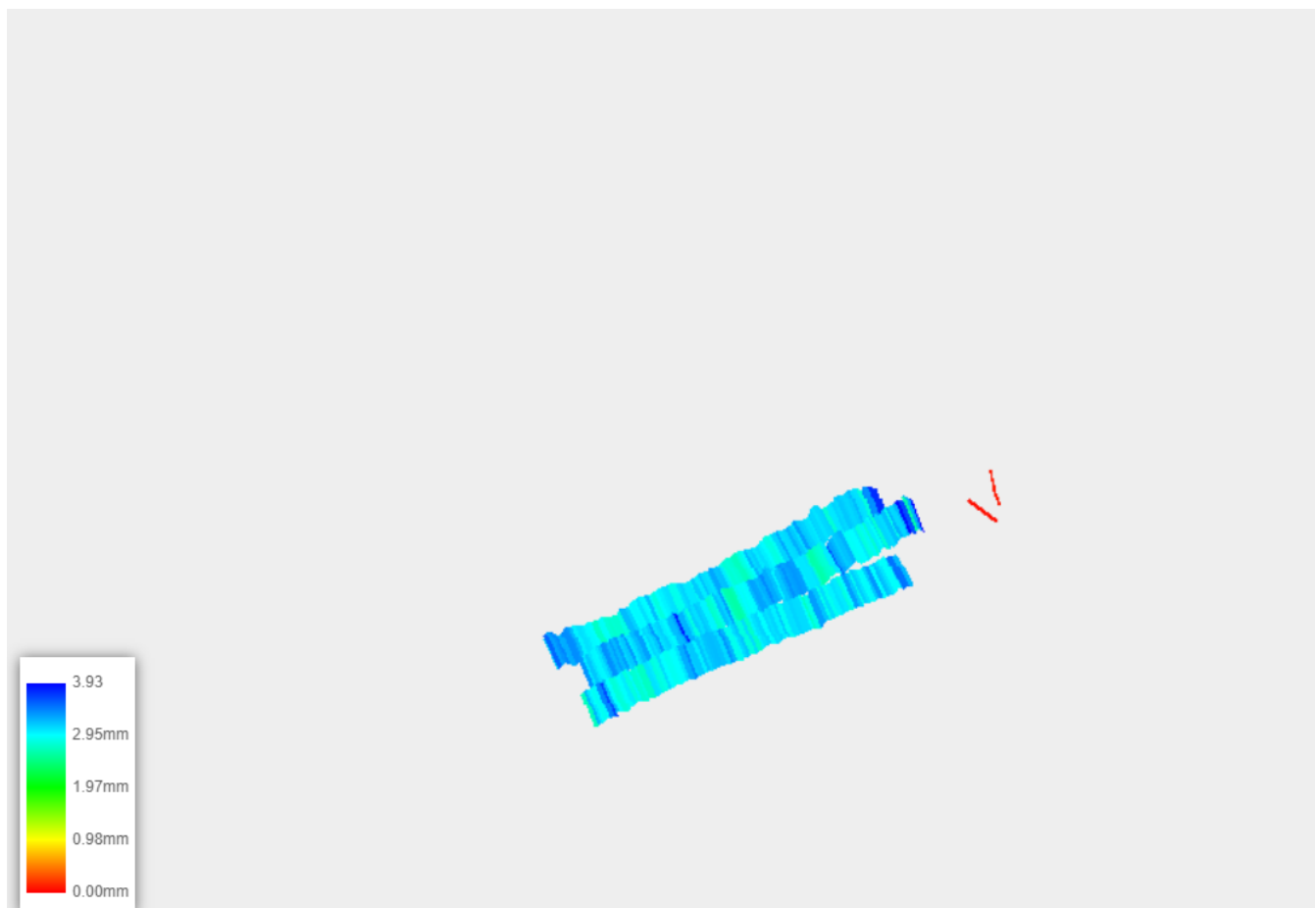
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag14	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-12.1	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.4
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	245.3
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 4,2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405824.39,6520327.73 P2: 405861.97,6520351.35 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

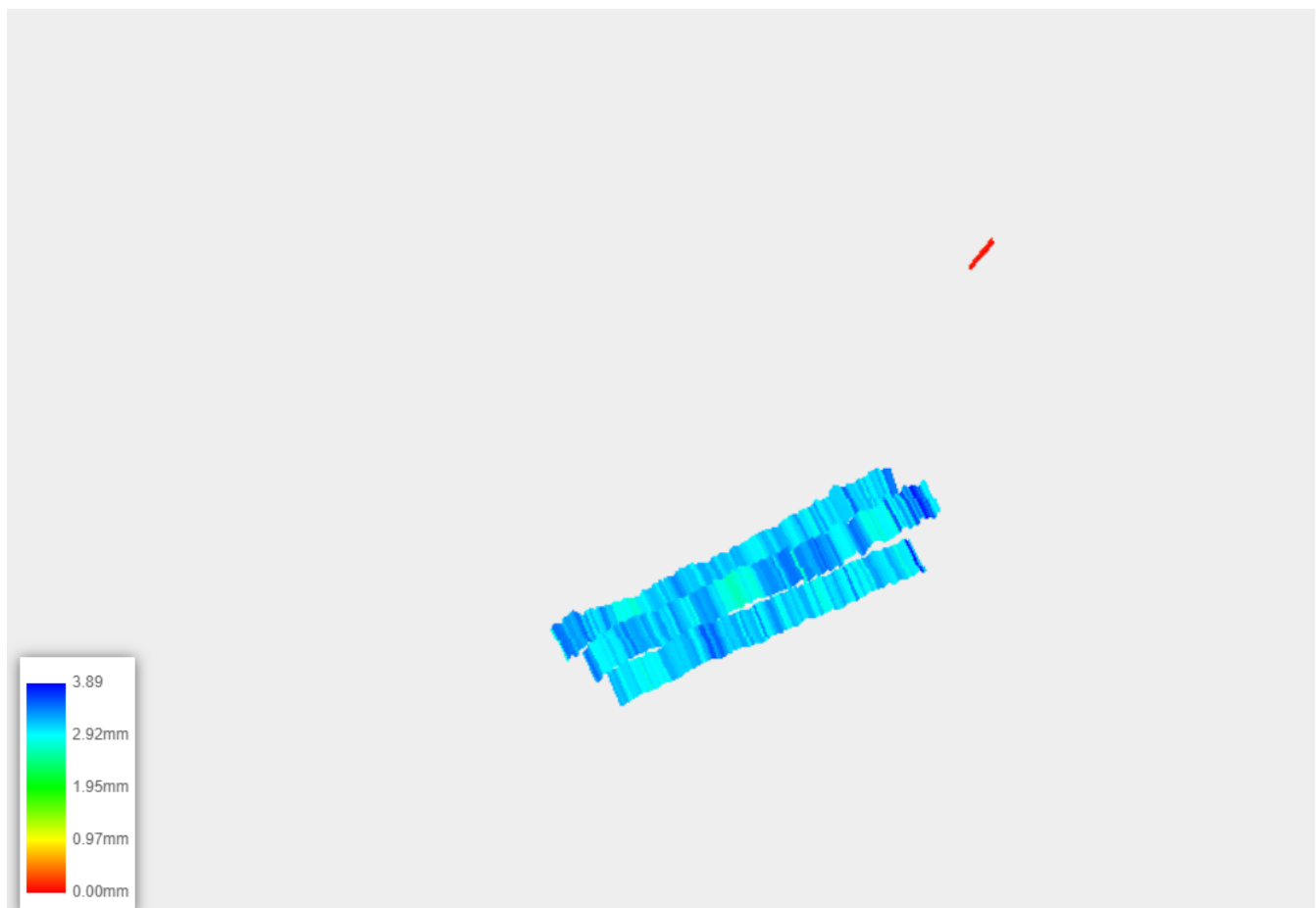
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag15	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-12.9	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	3.9
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	241.7
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	lag 5,2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405827.11,6520336.24 P2: 405867.04,6520343.39 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag16	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-13.7	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	3.9
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	244.9
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0

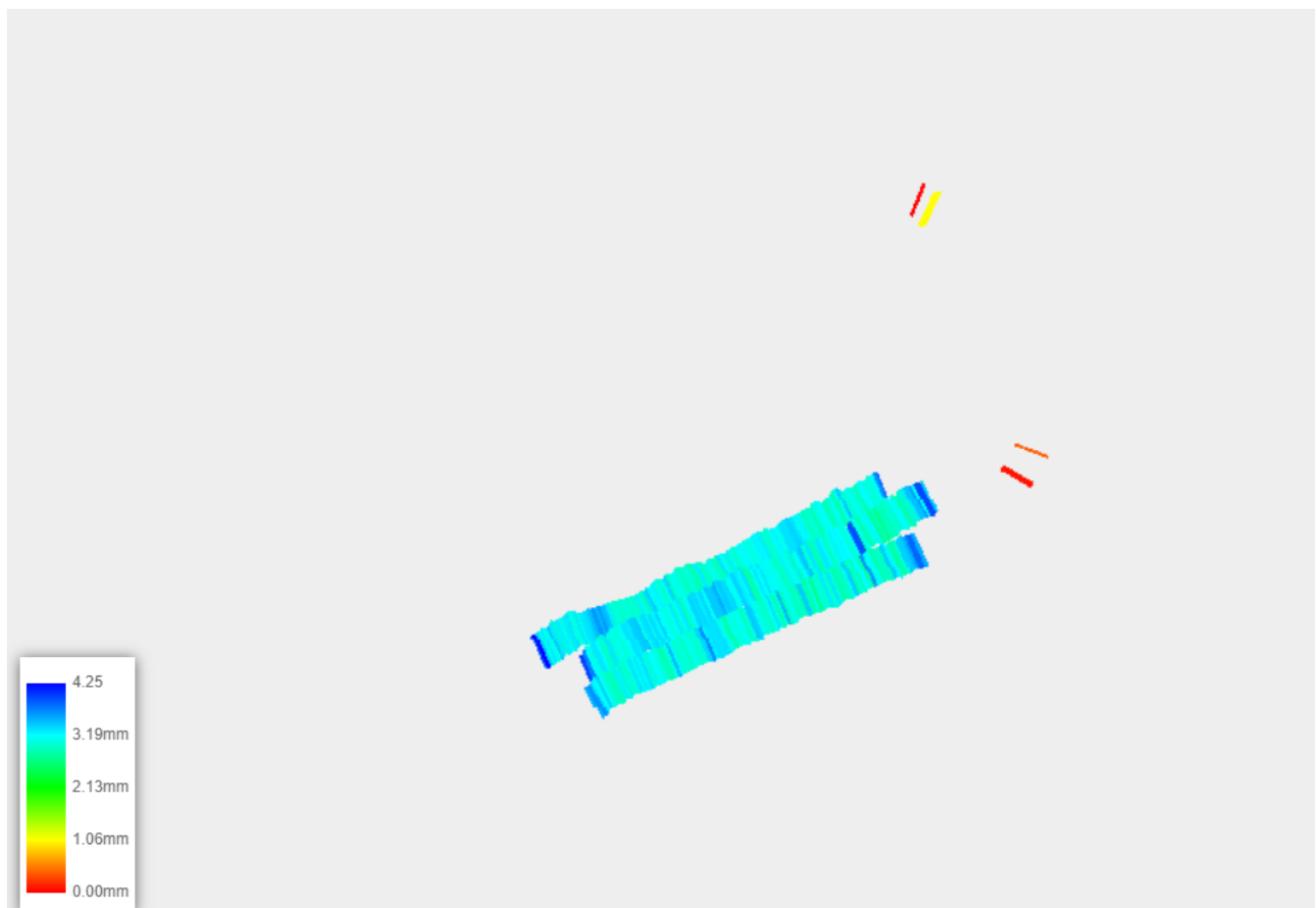




## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 6,2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405822.83,6520331.25 P2: 405868.38,6520341.23 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

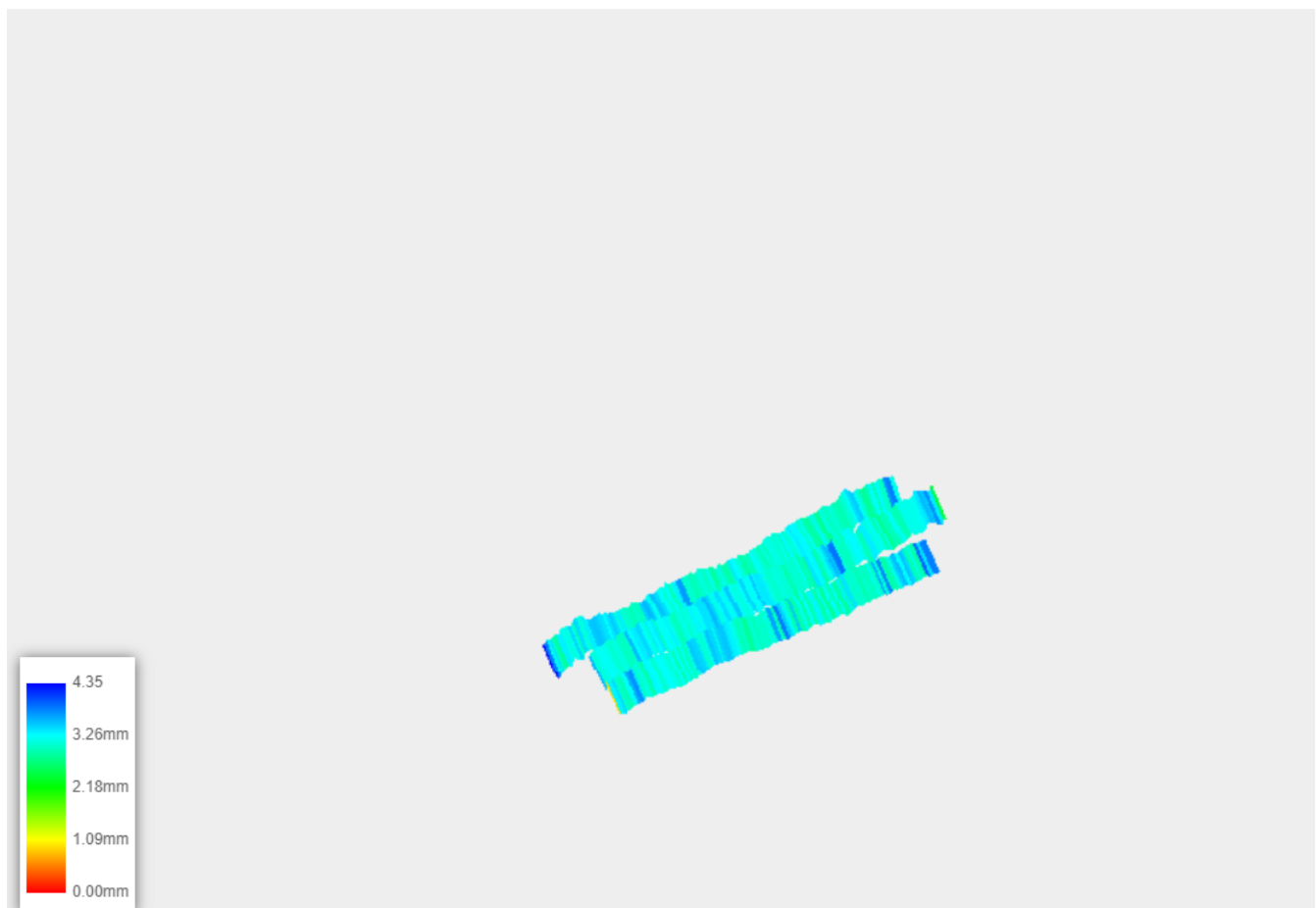
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag17	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-14.5	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.2
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	254.6
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 7,2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405823.32,6520333.75 P2: 405868.18,6520340.14 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

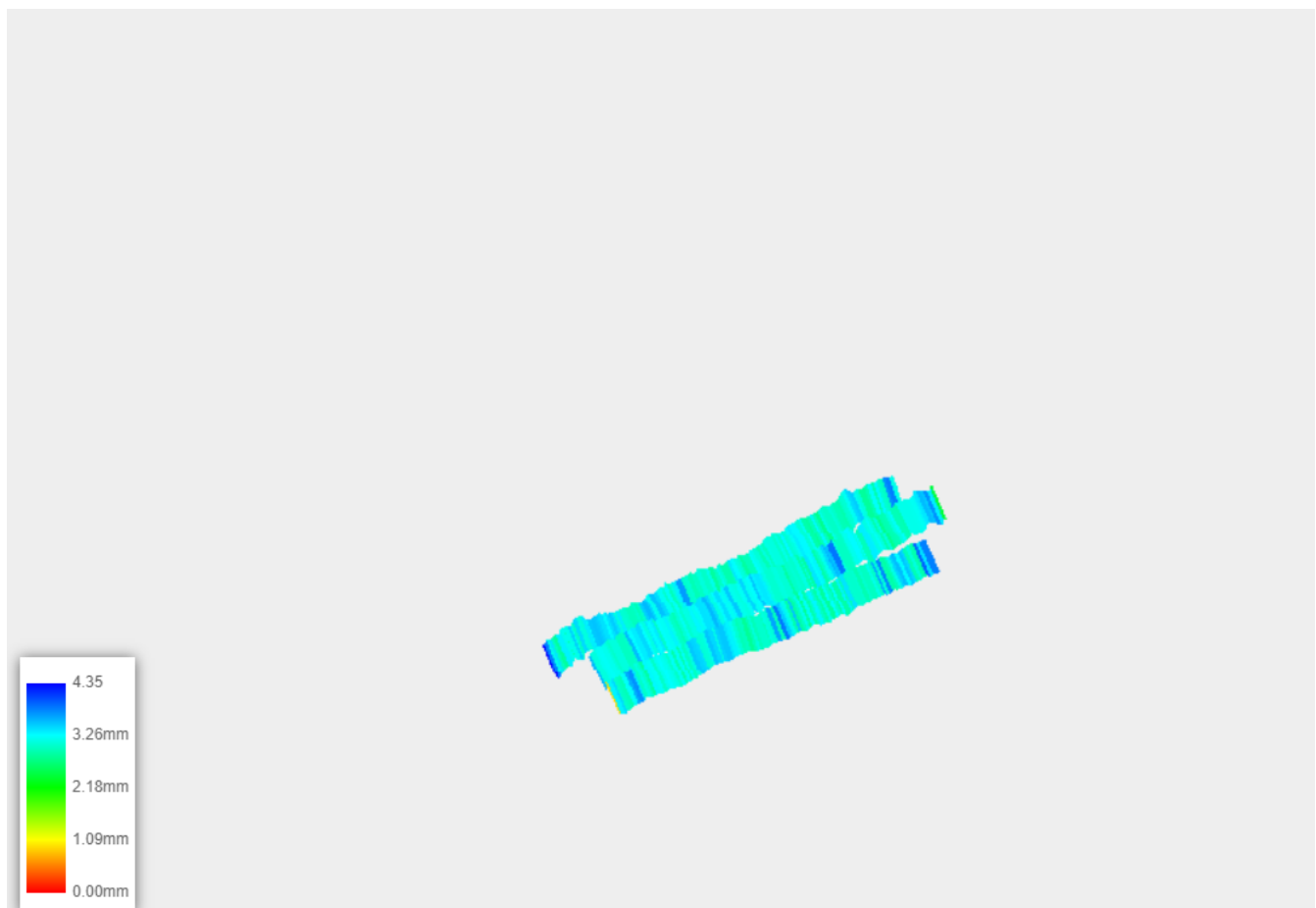
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag19	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-16.1	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.2
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	246.6
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 8,2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405823.32,6520333.75 P2: 405868.18,6520340.14 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

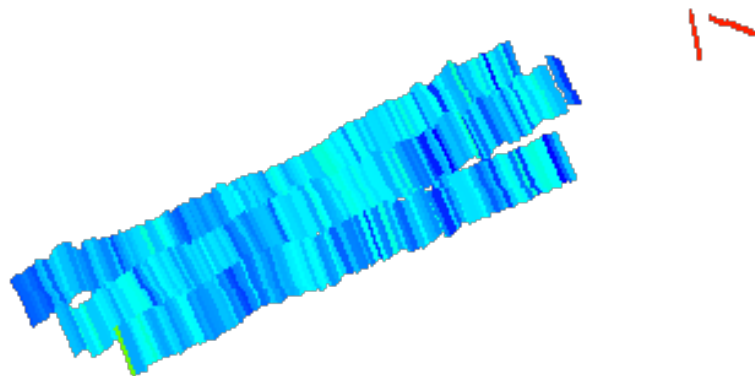
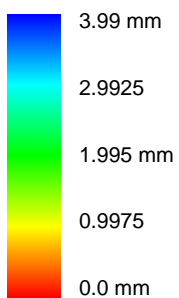
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag19	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-16.1	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.2
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	246.6
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 9,2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.07,6520320.99 P2: 405863.92,6520350.47 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-30 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

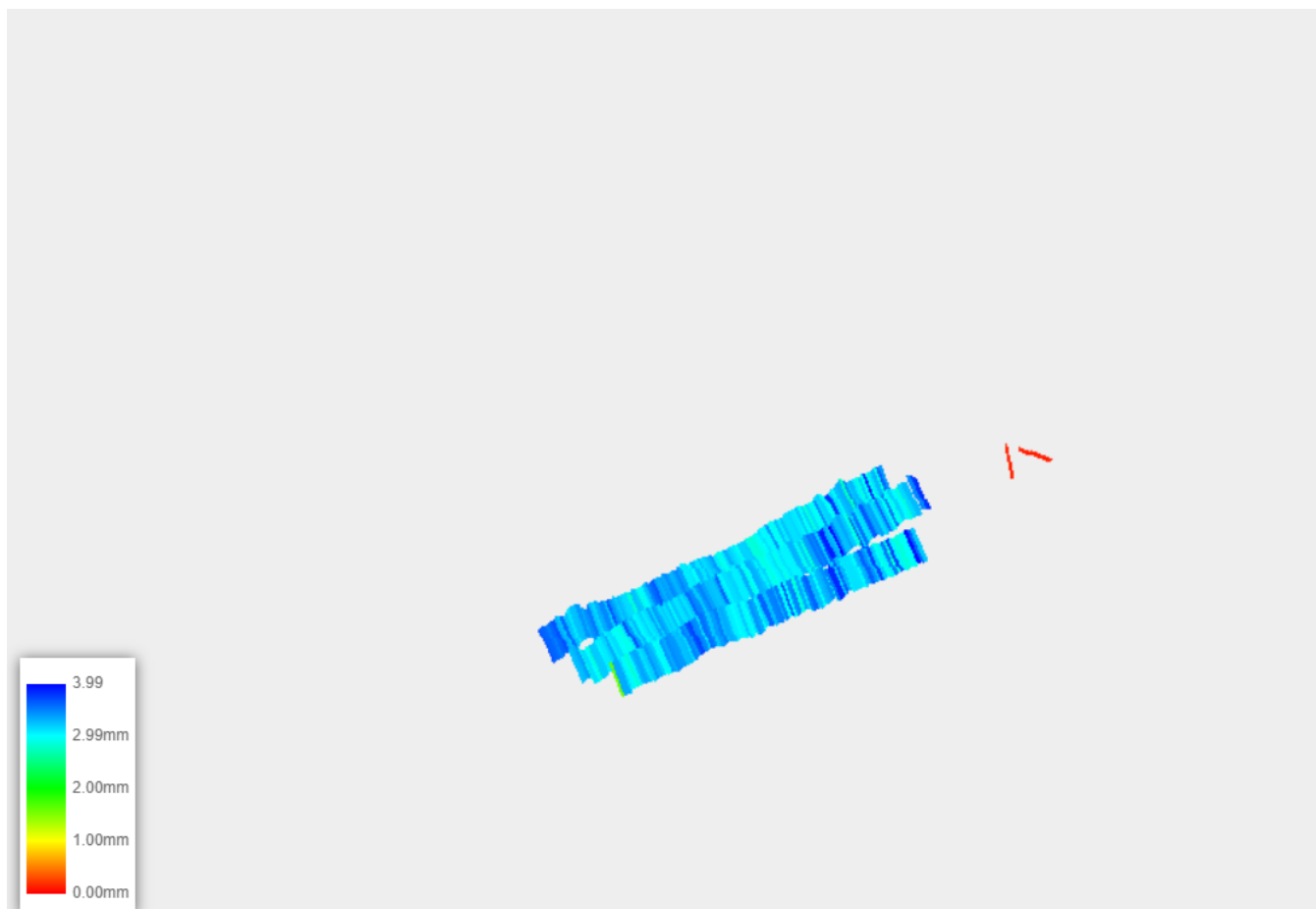
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag21	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-17.7	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.0
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	244.2
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 10,2	Massefraksjon	
Rapport type	Amplitude	Massens tilstand	Dry
Notat		Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.07,6520320.99 P2: 405863.92,6520350.47 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-04-09 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

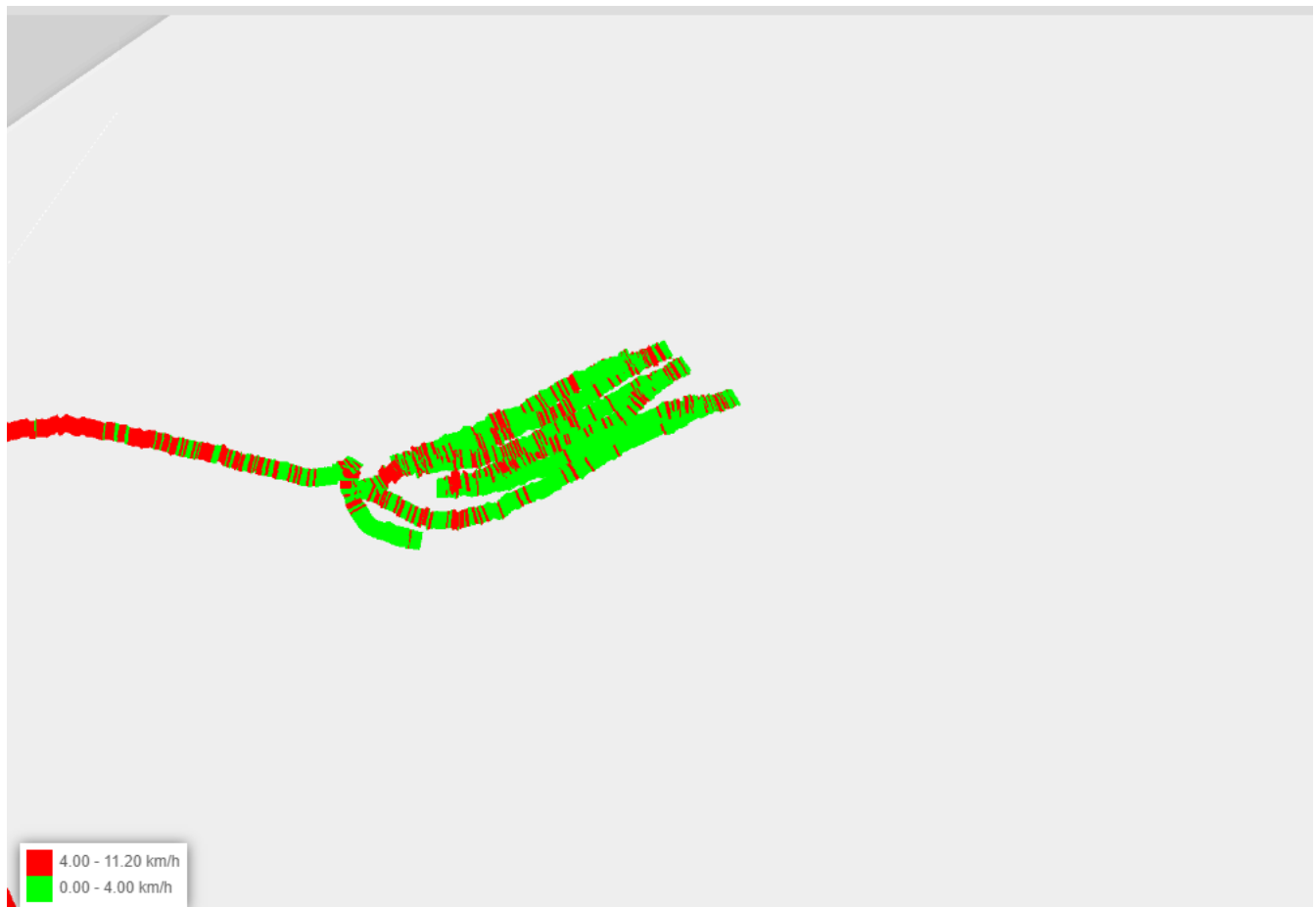
Lagsinformasjon		Statistisk data	
Navn	lag21	Gjennomsnitt	0.00
Offset	-17.7	Sta. Avik	0.00
Tykkelse	0.80	Min.	0.0
Overfart Mål	1	Maks.	4.0
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	244.2
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	0.0
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	0.0



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 1	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405499.53,6520212.30 P2: 405868.15,6520332.46 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag1	Gjennomsnitt	5.08	4.00 - 11.20	1113 m <sup>2</sup>
Offset	0	Sta. Avik	1.84		71%
Tykkelse	1.25	Min.	0.0	0.00 - 4.00	457 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	11.2		29%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	1570.1		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	457.4		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	29.1		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405563.59,6520272.06 P2: 405867.76,6520340.97 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

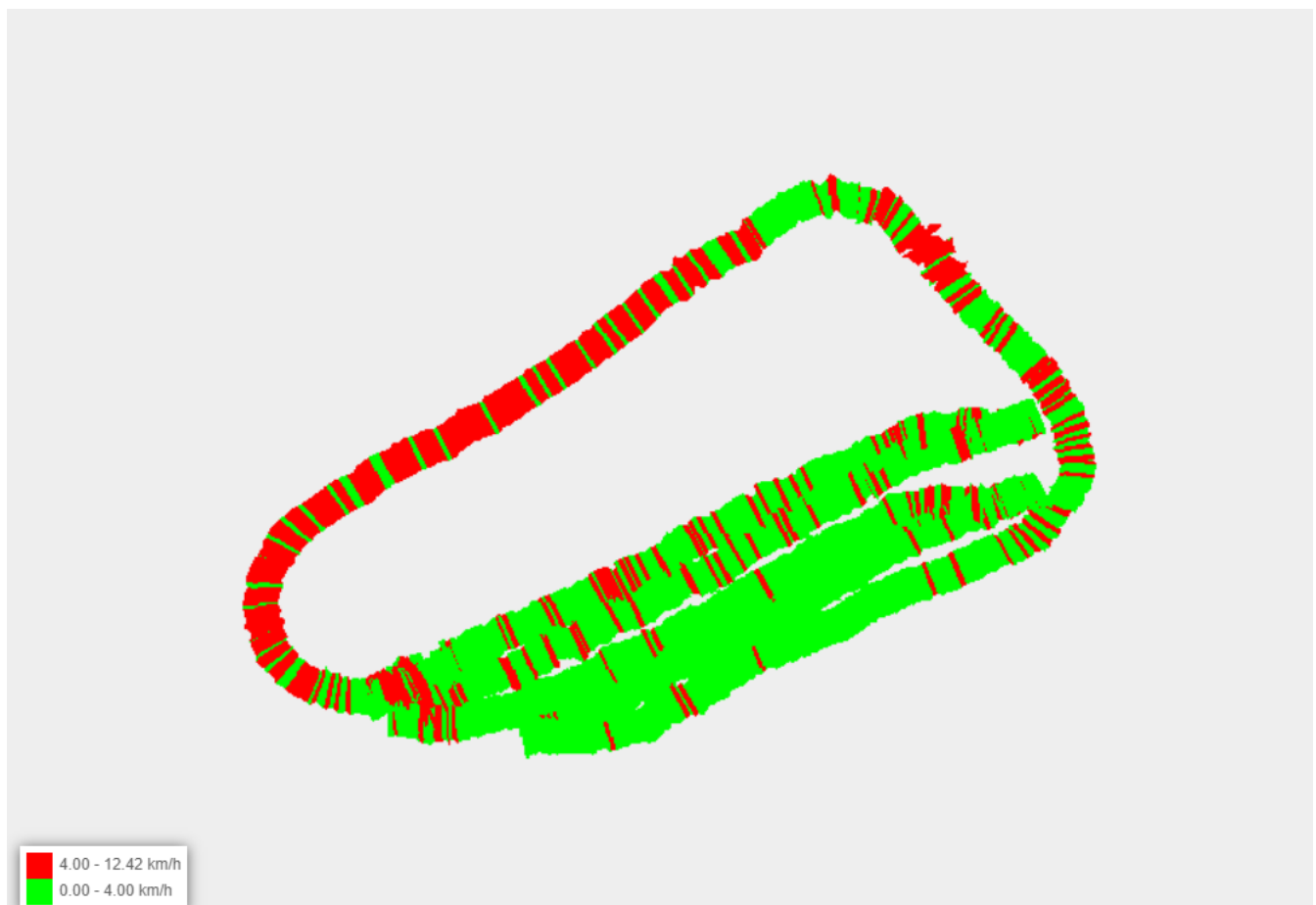
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag2	Gjennomsnitt	3.37	4.00 - 12.02	209 m <sup>2</sup>
Offset	-2.5	Sta. Avik	1.62		30%
Tykkelse	1.65	Min.	0.0	0.00 - 4.00	484 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	12.0		70%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	692.9		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	484.3		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	69.9		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 3	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.07,6520324.18 P2: 405868.31,6520342.32 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag3	Gjennomsnitt	3.36	4.00 - 12.42	156 m <sup>2</sup>
Offset	-3.3	Sta. Avik	1.57		30%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	369 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	12.2		70%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	525.2		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	368.8		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	70.2		





## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 4	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405822.10,6520332.80 P2: 405869.11,6520340.13 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

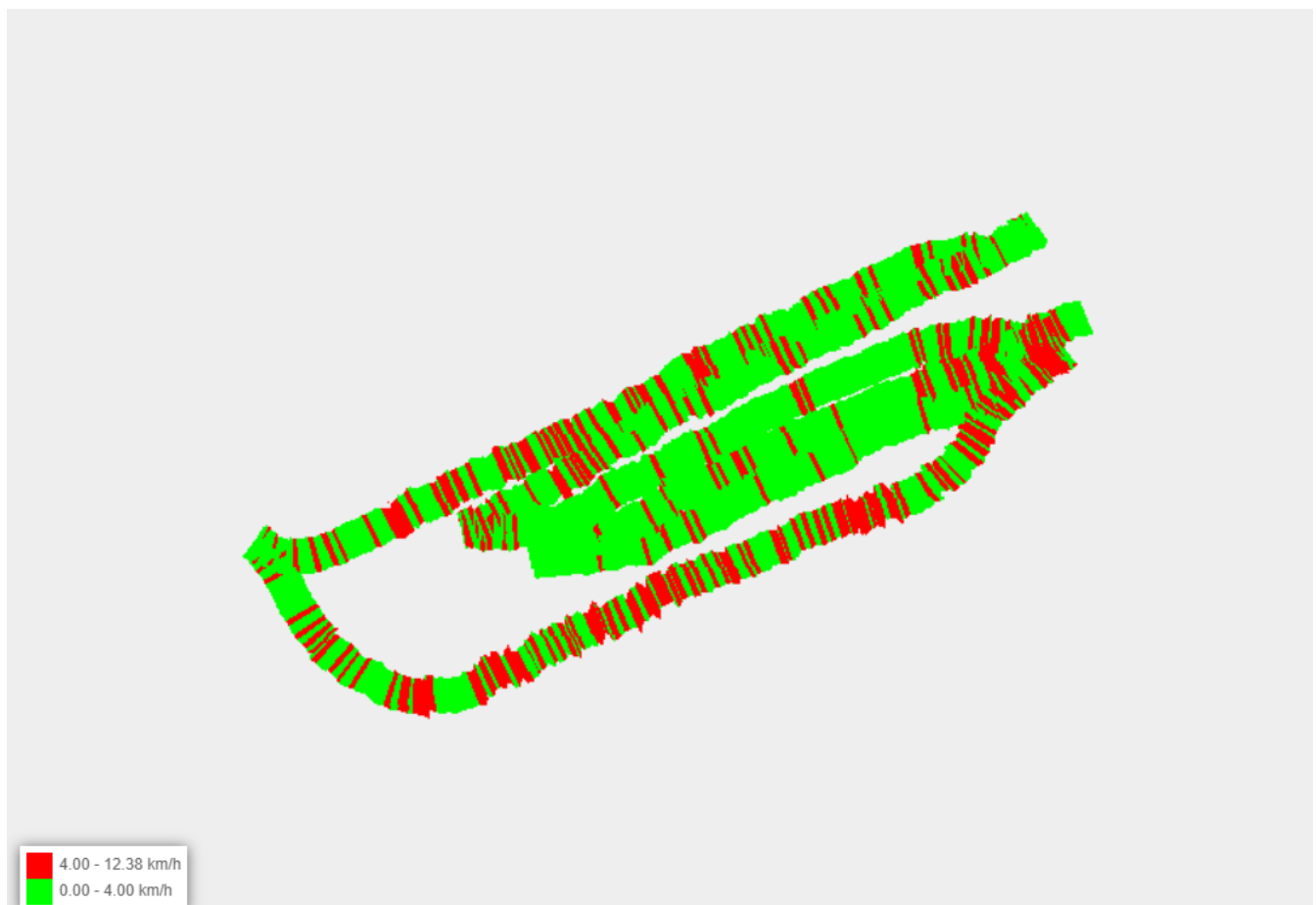
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag4	Gjennomsnitt	3.60	4.00 - 11.45	173 m <sup>2</sup>
Offset	-4.1	Sta. Avik	1.67		32%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	364 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	11.4		68%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	537.2		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	364.3		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	67.8		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 5	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405824.38,6520317.59 P2: 405863.87,6520338.66 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

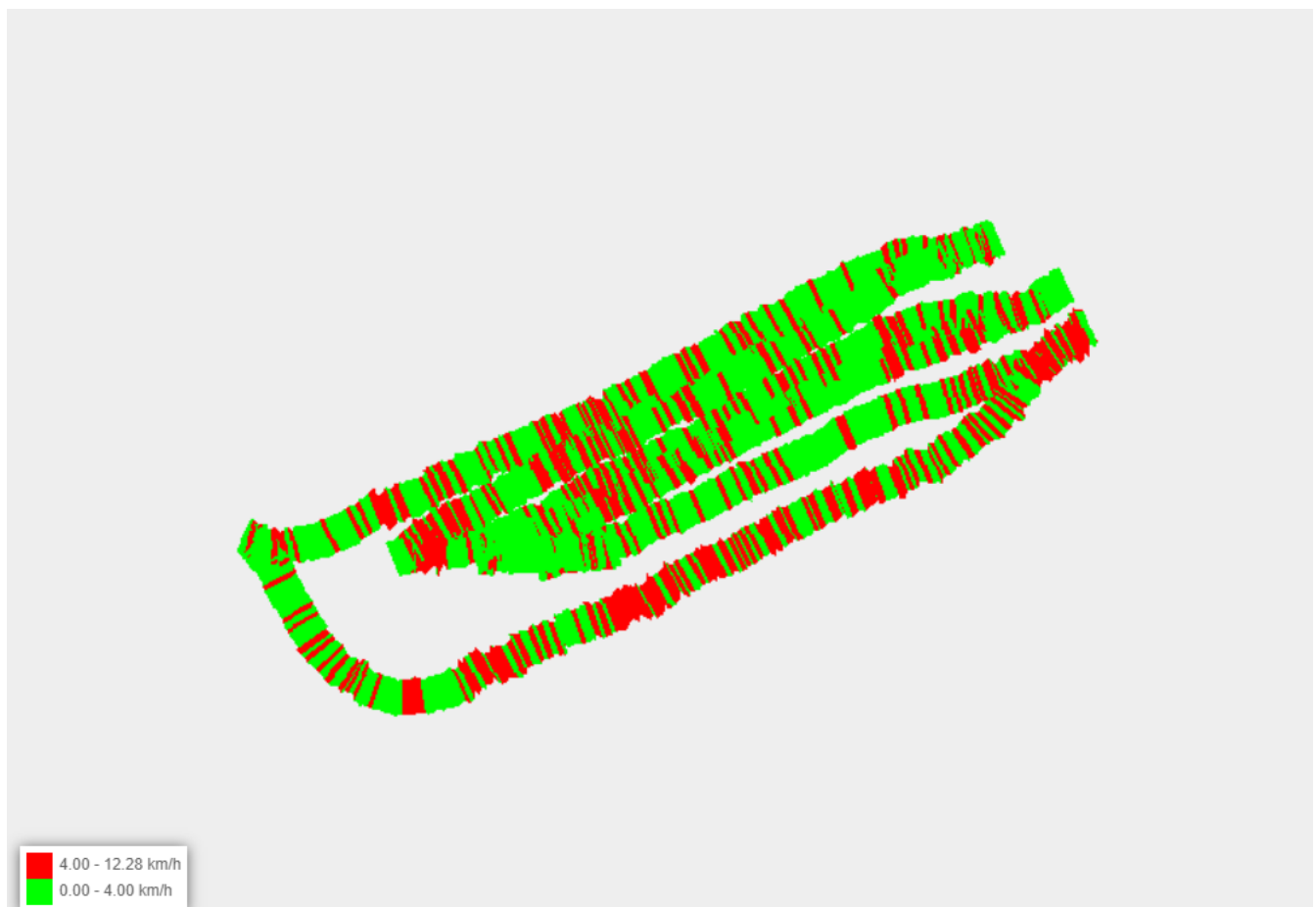
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag5	Gjennomsnitt	3.43	4.00 - 12.38	134 m <sup>2</sup>
Offset	-4.9	Sta. Avik	1.42		29%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	333 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	12.4		71%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	466.9		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	333.2		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	71.4		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 6	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.29,6520314.02 P2: 405869.10,6520333.58 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

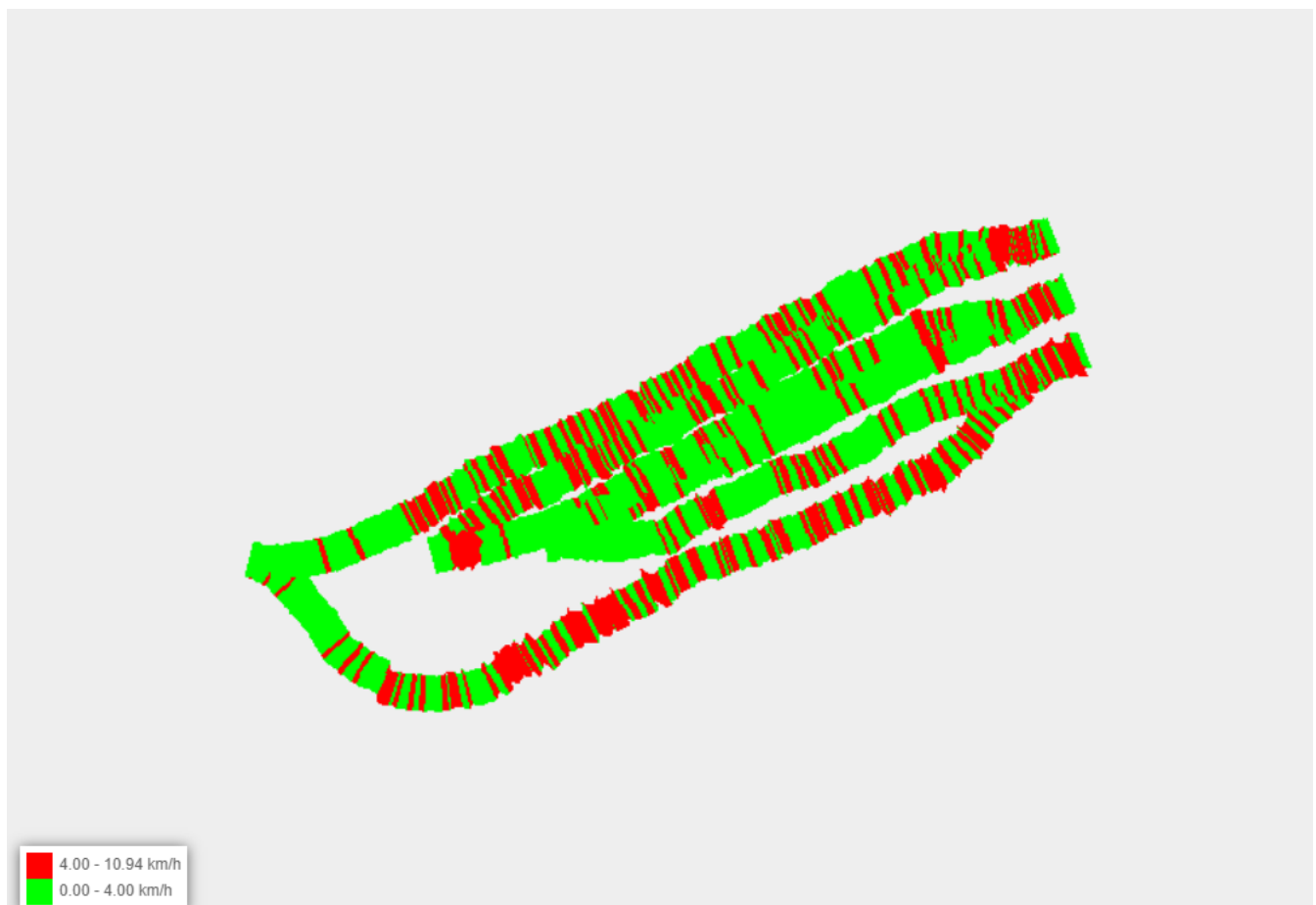
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag6	Gjennomsnitt	3.72	4.00 - 12.28	174 m <sup>2</sup>
Offset	-5.7	Sta. Avik	1.42		36%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	314 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	12.3		64%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	487.6		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	313.6		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	64.3		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 7	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405823.93,6520316.95 P2: 405867.44,6520332.75 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

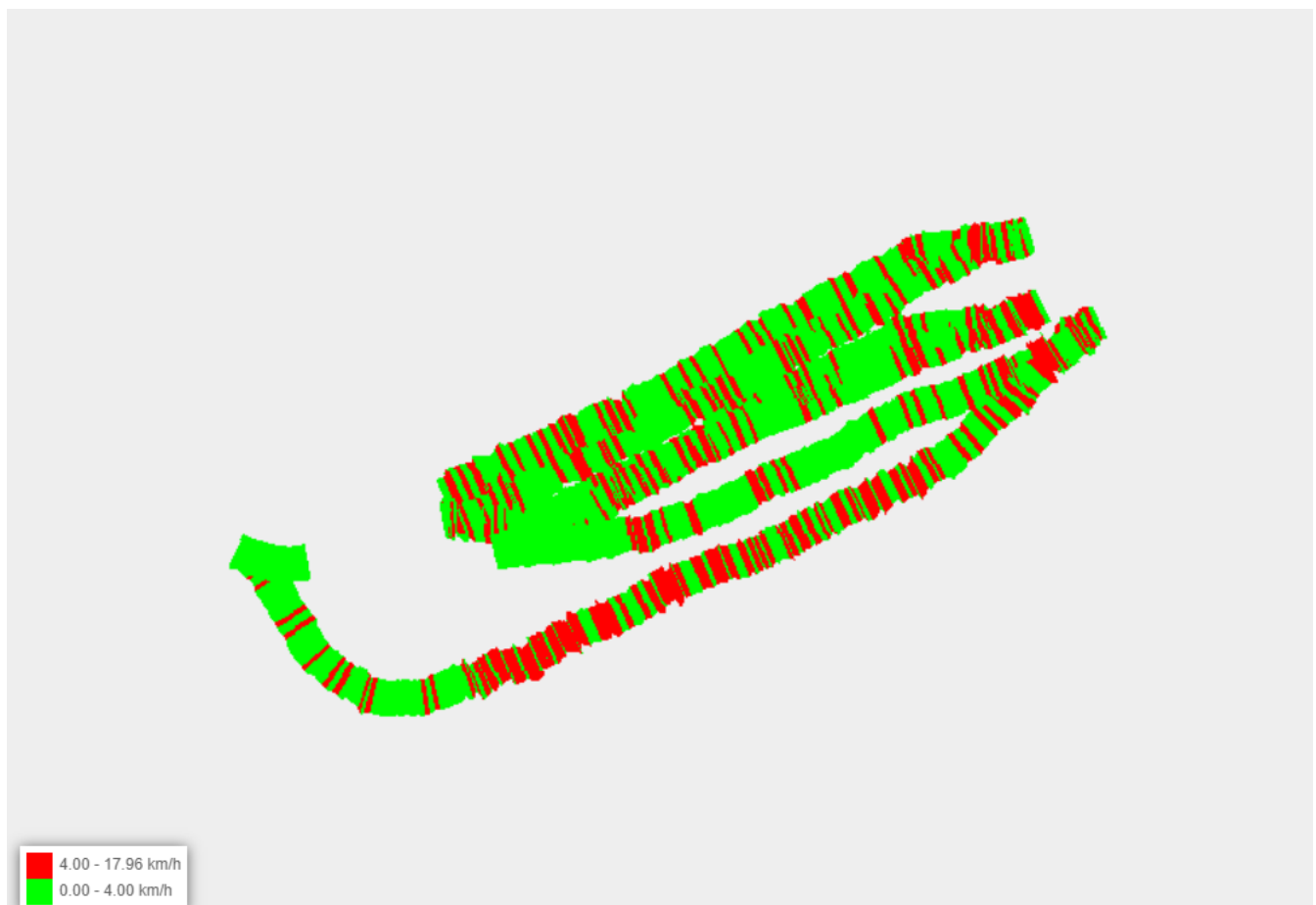
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag7	Gjennomsnitt	3.66	4.00 - 10.94	158 m <sup>2</sup>
Offset	-6.5	Sta. Avik	1.42		34%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	313 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	10.9		66%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	471.0		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	312.5		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	66.4		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 8	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405822.88,6520318.07 P2: 405864.63,6520339.79 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag8	Gjennomsnitt	3.59	4.00 - 17.96	141 m <sup>2</sup>
Offset	-7.3	Sta. Avik	1.38		32%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	296 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	18.0		68%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	436.8		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	296.2		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	67.8		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 9	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405826.80,6520323.27 P2: 405865.38,6520346.56 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

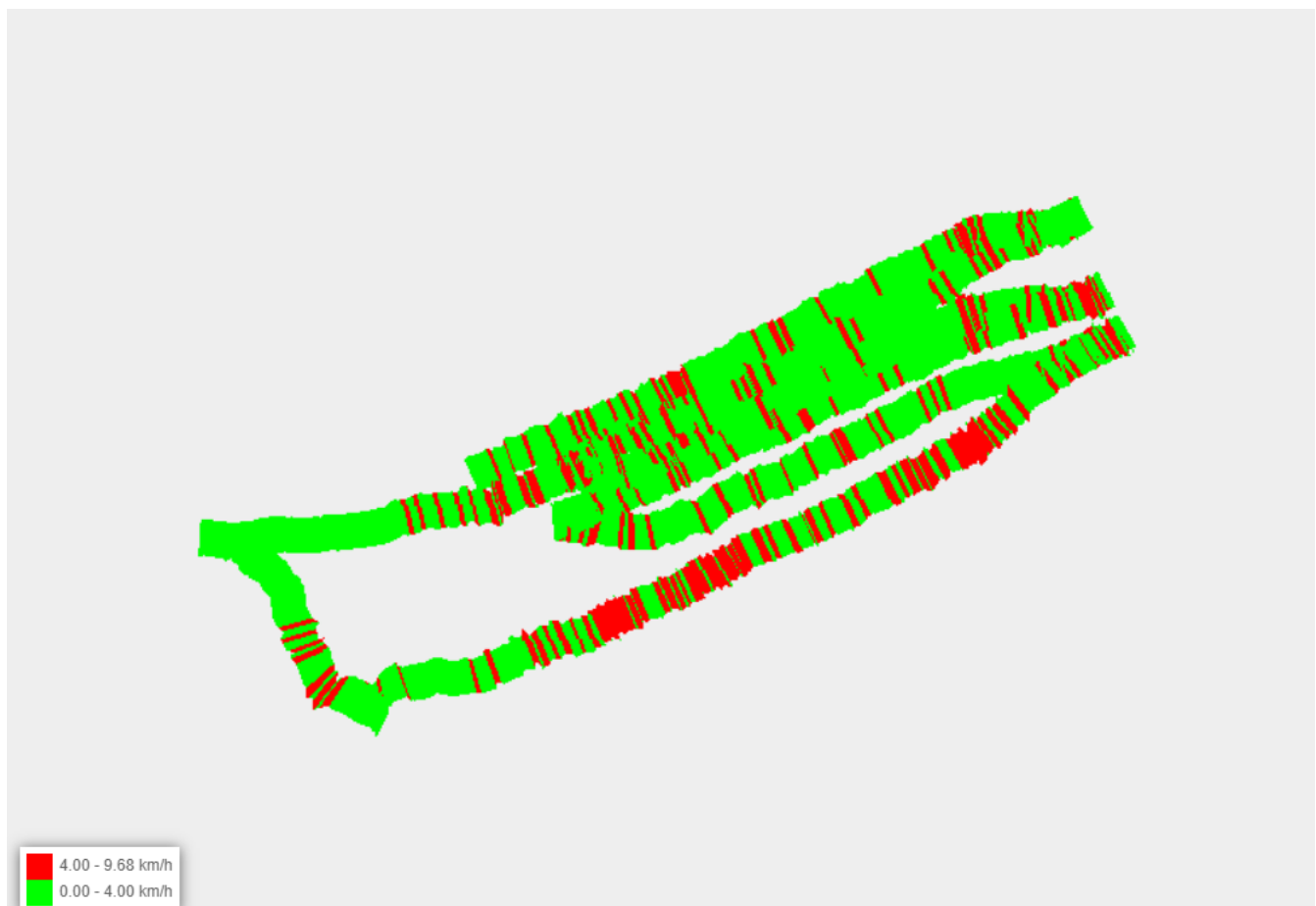
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag9	Gjennomsnitt	3.92	4.00 - 10.30	234 m <sup>2</sup>
Offset	-8.1	Sta. Avik	1.41		44%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	291 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	10.3		56%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	525.0		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	291.4		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	55.5		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 10	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405812.59,6520321.97 P2: 405868.10,6520332.27 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

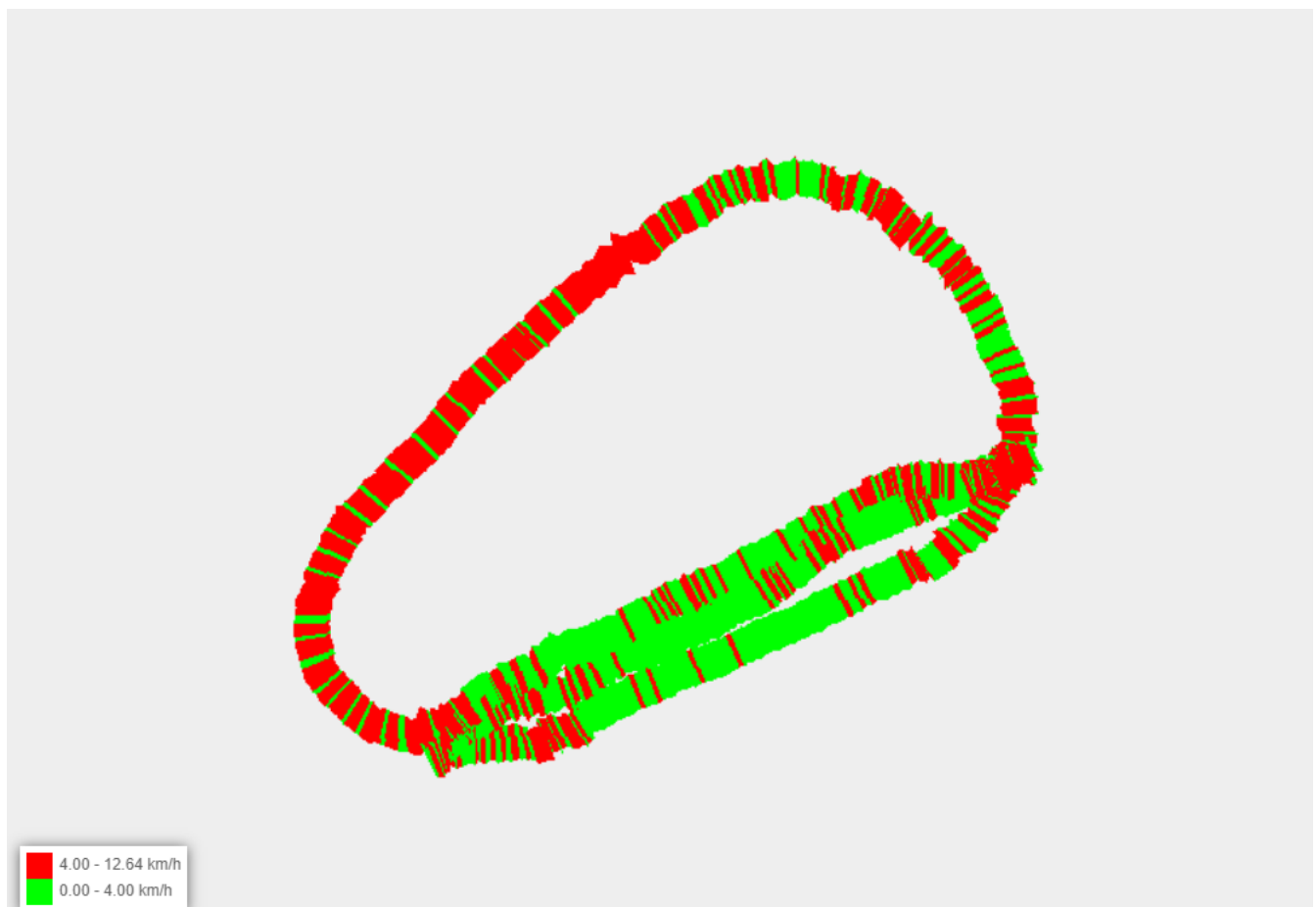
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag10	Gjennomsnitt	3.31	4.00 - 9.68	114 m <sup>2</sup>
Offset	-8.9	Sta. Avik	1.37		24%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	367 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	9.7		76%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	481.2		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	367.4		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	76.4		



## Risa as

Vals rapport			
Rapportnavn	Lag 1,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405832.51,6520321.99 P2: 405858.15,6520354.76 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag12	Gjennomsnitt	4.13	4.00 - 12.64	186 m <sup>2</sup>
Offset	-10.5	Sta. Avik	1.71		50%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	188 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	12.6		50%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	373.7		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	187.7		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	50.2		





## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 2.2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405828.68,6520323.04 P2: 405866.09,6520346.60 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag13	Gjennomsnitt	4.06	4.00 - 9.50	164 m <sup>2</sup>
Offset	-11.3	Sta. Avik	1.54		47%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	188 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	9.5		53%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	352.8		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	188.4		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	53.4		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 3,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.62,6520323.18 P2: 405853.17,6520353.20 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag14	Gjennomsnitt	3.65	4.00 - 10.12	116 m <sup>2</sup>
Offset	-12.1	Sta. Avik	1.34		32%
Tykkelse	0.80	Min.	0.4	0.00 - 4.00	248 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	10.1		68%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	364.4		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	248.1		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	68.1		



## Risa as

Valse rapport			
Rapportnavn	Lag 4,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405824.39,6520327.73 P2: 405861.97,6520351.35 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

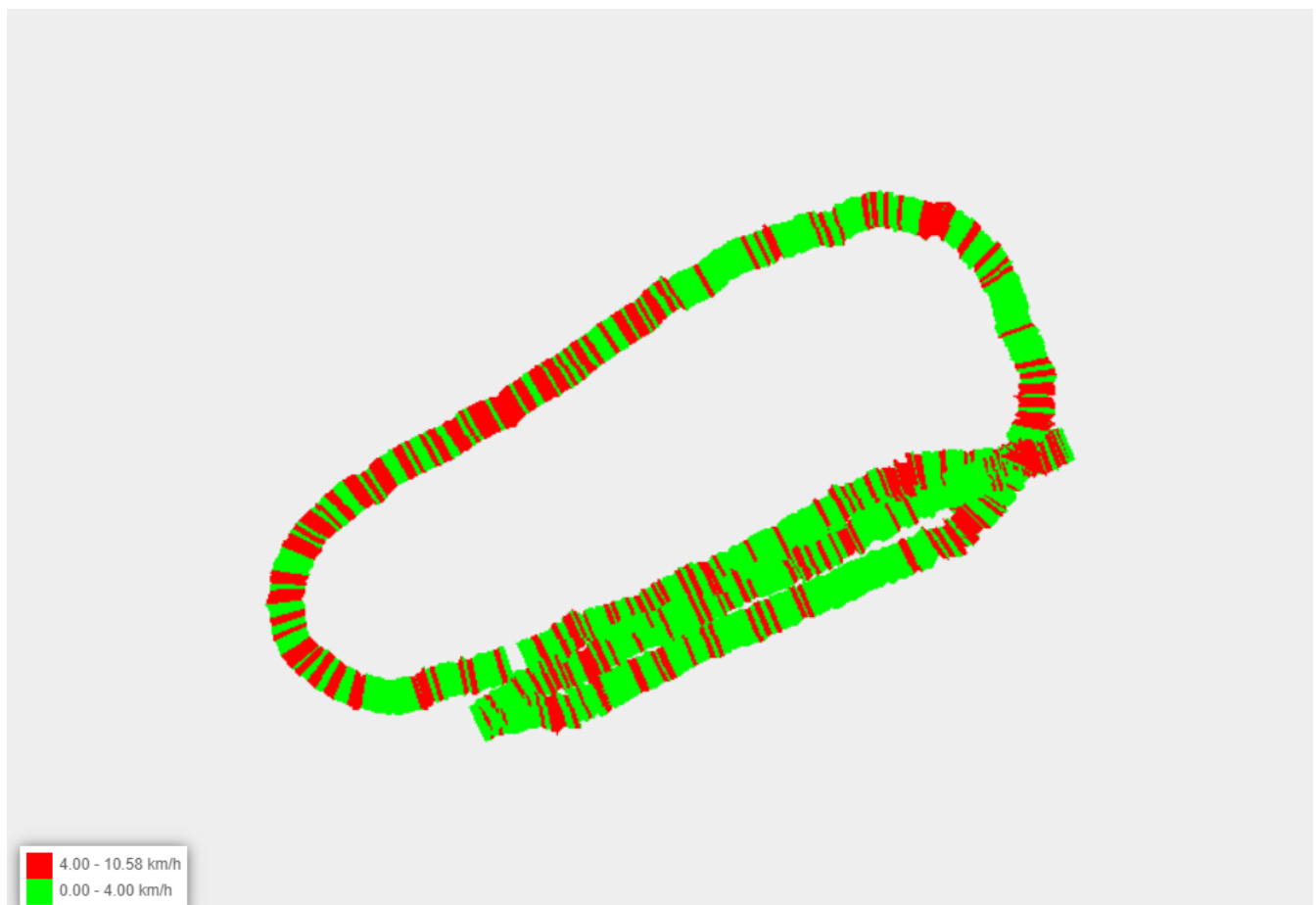
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag15	Gjennomsnitt	3.64	4.00 - 11.27	110 m <sup>2</sup>
Offset	-12.9	Sta. Avik	1.43		30%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	251 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	10.0		70%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	360.8		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	250.9		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	69.6		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 5.2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405827.11,6520336.24 P2: 405867.04,6520343.39 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

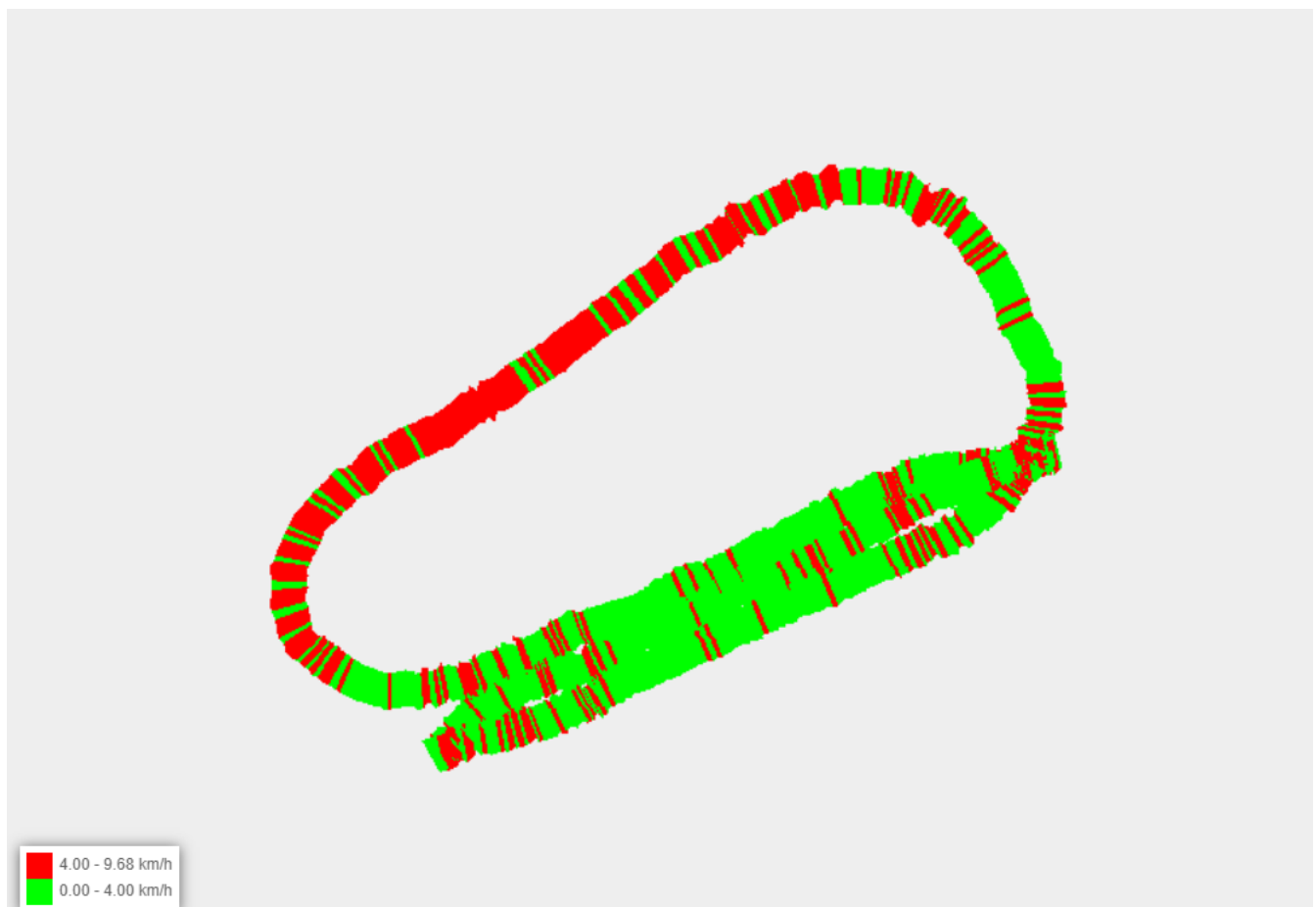
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag16	Gjennomsnitt	3.65	4.00 - 10.58	132 m <sup>2</sup>
Offset	-13.7	Sta. Avik	1.29		36%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	232 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	10.6		64%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	364.5		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	232.2		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	63.7		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 6,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405822.83,6520331.25 P2: 405868.38,6520341.23 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

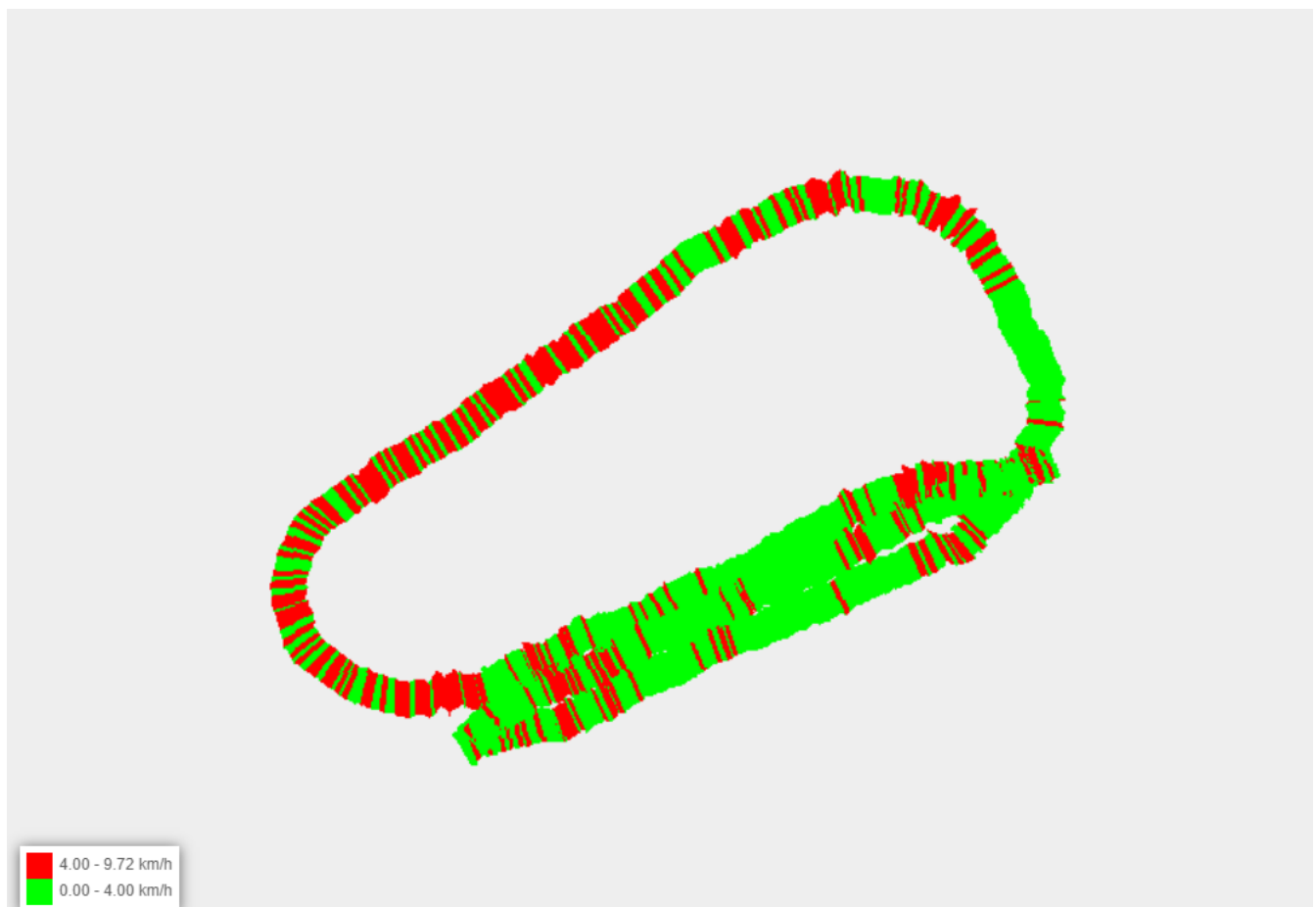
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag17	Gjennomsnitt	3.72	4.00 - 9.68	146 m <sup>2</sup>
Offset	-14.5	Sta. Avik	1.42		38%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	235 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	9.7		62%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	380.5		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	234.9		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	61.7		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 7,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.64,6520324.22 P2: 405862.11,6520351.78 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

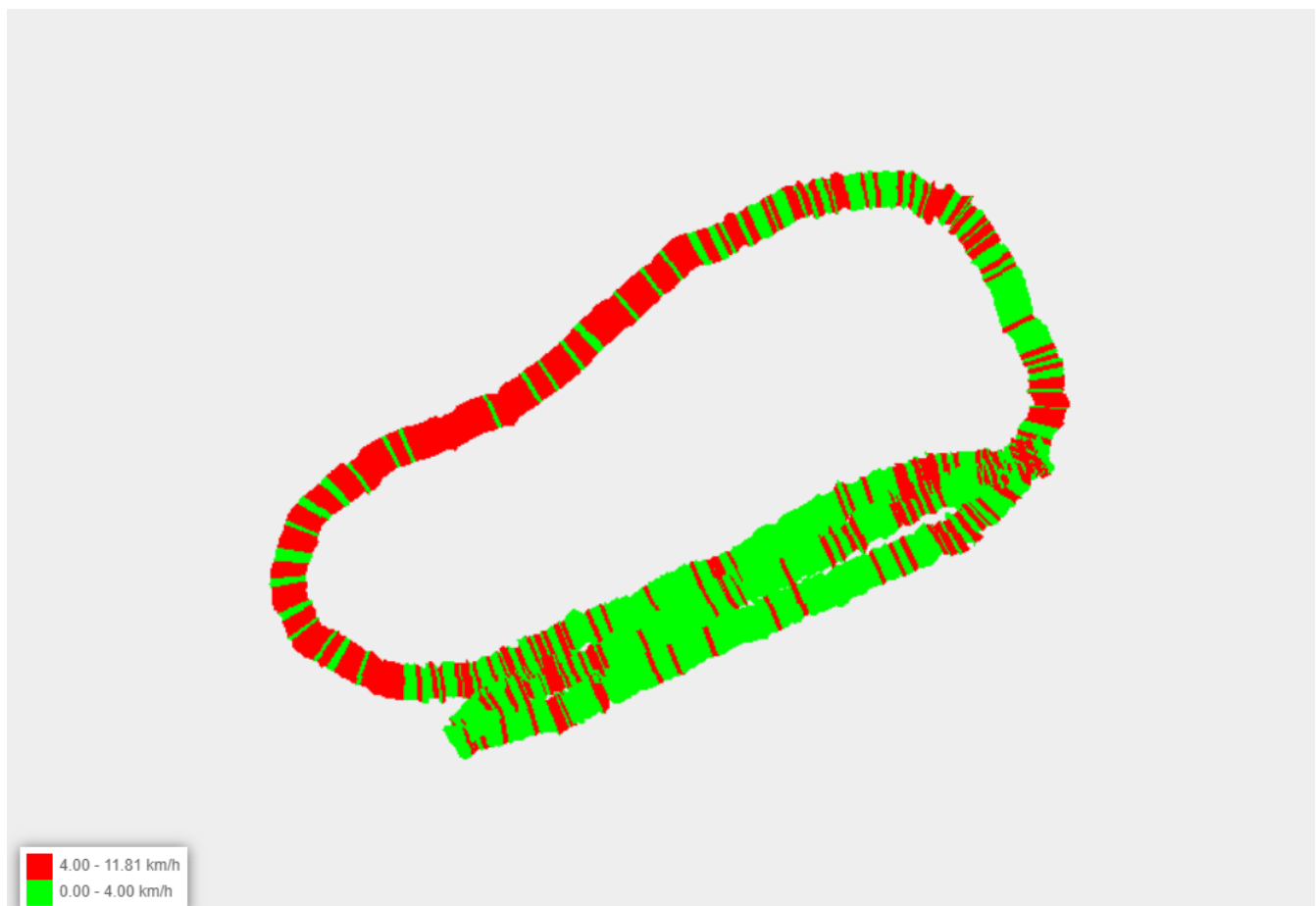
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag18	Gjennomsnitt	3.59	4.00 - 9.72	132 m <sup>2</sup>
Offset	-15.3	Sta. Avik	1.32		36%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	239 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	9.7		64%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	370.8		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	238.7		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	64.4		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 8,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405823.32,6520333.75 P2: 405868.18,6520340.14 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

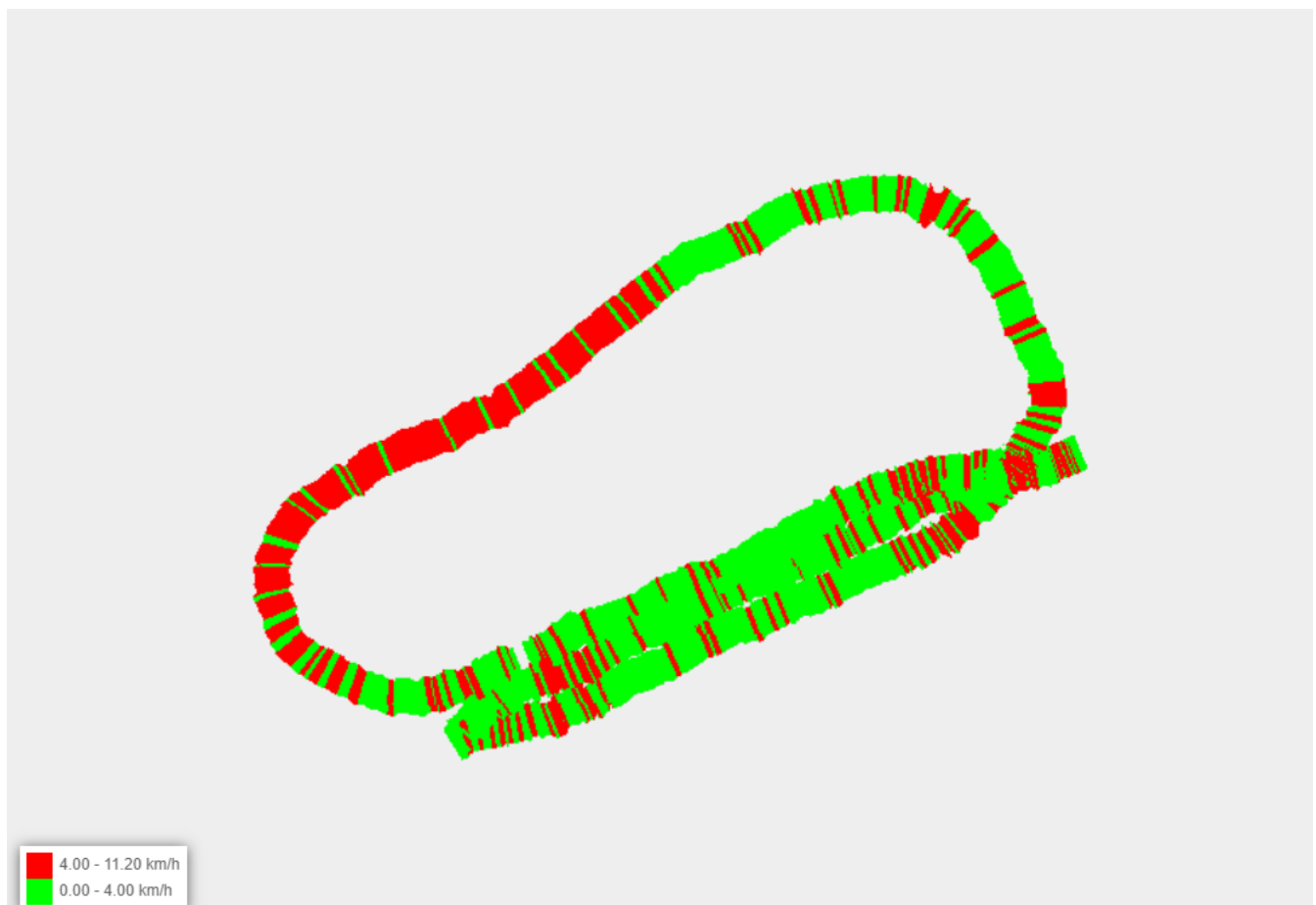
Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag19	Gjennomsnitt	3.80	4.00 - 11.81	158 m <sup>2</sup>
Offset	-16.1	Sta. Avik	1.52		43%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	212 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	11.8		57%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	370.3		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	211.9		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	57.2		



## Risa as

Valserapport			
Rapportnavn	Lag 9,2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.42,6520320.26 P2: 405859.74,6520352.88 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag20	Gjennomsnitt	3.76	4.00 - 11.20	142 m <sup>2</sup>
Offset	-16.9	Sta. Avik	1.53		38%
Tykkelse	0.80	Min.	0.2	0.00 - 4.00	235 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	11.2		62%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	377.1		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	235.4		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	62.4		





## Risa as

Vals rapport			
Rapportnavn	Lag 10.2	Massefraksjon	0-400
Rapport type	Speed	Massens tilstand	Wet
Notat	Fart	Underliggende	
Prosjekt	Valsetest_0-400.xml	Vis kun vibrerte	-
Koordinatsystem		Høyde område	
Lokasjon	P1: 405831.07,6520320.99 P2: 405863.92,6520350.47 Stationing: 0.00 - 385.87		
Tidsintervall	2019-04-08 22:00:00 - 2019-06-05 21:59:59		
Maskiner	VALS NABOEN CMV, VALS NABOEN CMV H16i		

Lagsinformasjon		Statistisk data		Speed [km/h]	
Navn	lag21	Gjennomsnitt	3.97	4.00 - 11.16	165 m <sup>2</sup>
Offset	-17.7	Sta. Avik	1.62		45%
Tykkelse	0.80	Min.	0.0	0.00 - 4.00	200 m <sup>2</sup>
Overfart Mål	1	Maks.	11.2		55%
Maks Ekstra	2	Celle str. [m]	0.1		
Hastighetsmål	2	Omr. dekket [m <sup>2</sup> ]	365.3		
Maks.diff Hastighet	2	Innenfor krav [m <sup>2</sup> ]	199.8		
CMV Mål	60	Innenfor krav [%]	54.7		



