

Evaluering av Machine Drive Power som valsemontert responsmåleverktøy

Eirik Torpe

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2017

Hovedveileder: Amund Bruland, IBM

Medveileder: Njål Hagen, Maskingrossternes Forening
Thomas Norland, Entreprenørforeningen Bygg og Anlegg

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Oppgavens tittel: Evaluering av Machine Drive Power som valsemontert responsmåleverktøy	Dato: 16.06.2017		
	Antall sider (inkl. bilag): 117		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Eirik Torpe			
Faglærer/veileder: Amund Bruland			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Njål Hagen Thomas Norland			

Ekstrakt:

Kvaliteten på komprimeringsarbeider har stor innvirkning på kvaliteten på vegen og dens levetid. Det er derfor i nyere tid vært et økt fokus på kvalitetssikring av komprimeringsarbeider gjennom kontinuerlig komprimeringskontroll. Kontinuerlig komprimeringskontroll er et samlebegrep for metoder hvor komprimeringsarbeidet kontrolleres og dokumenteres for hele arbeidet og hvor kontroll skjer samtidig som komprimeringsarbeidet utføres. Valsemonterte responsmålinger blir stadig vanligere som verktøy for kontinuerlig komprimeringskontroll og i denne oppgaven evalueres et verktøy for responsmålinger kalt Machine Drive Power (MDP) opp mot de krav som stilles til responsmålinger i Statens vegvesen Håndbok N200 Vegbygging. MDP vurderer komprimeringsgrad ved å kalkulere differansen mellom kraft som brukes på fremdrift og den reelle fremdriften valsen har. Avviket mellom de to gir rullemotstanden valsen opplever, som er en indikasjon på hvor godt komprimert massen er.

For å evaluere MDP opp mot de krav som stilles i N200 er det gjennomført en litteraturstudie der internasjonal forskning om MDP og kravene som stilles i Håndbok N200 presenteres, samt å besøke anlegg som benytter valser som er utstyrt med responsmåleverktøyet MDP og vurdere metodene som brukes og analysere dataen verktøyet lagrer fra komprimeringsarbeidet.

Det er gjennom litteraturstudien etablert at MDP leverer data som kan benyttes til å gi en troverdig vurdering av komprimerte masser og at bruksområdet til MDP kan gi mer presise vurderinger på finkornede masser enn responsmåleverktøy som baserer seg på rekylens valsetrommel mottar fra grunnen ved vibrasjon. Rekylbaserte responsmålere kan derimot gi mer utfyllende informasjon om massen som er komprimert enn MDP, da disse registrerer data fra dypere masser enn MDP. I fremtidige utgaver Håndbok N200 kan man dra nytte av å komme med anbefalinger til hvilke responsmåleverktøy som er hensiktsmessig å benytte på ulike masser og med ulik dybde.

Gjennom feltarbeid er det illustrert hvordan MDP kan benyttes til å oppnå en jevn og tilstrekkelig god komprimering, viktigheten av at verktøyet brukes riktig og hvordan dette kan gjøres.

Stikkord:

1. Machine Drive Power
2. Kontinuerlig komprimeringskontroll
3. Håndbok N200
4. Anleggsvals


Eirik Torpe, NTNU

Forord

Masteroppgaven er skrevet våren 2017 i forbindelse med faget TBA4935 Anlegsteknikk ved Institutt for bygg, anlegg og transport (BAT) ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Masteroppgaven er det avsluttende arbeidet ved sivilingeniørstudiet i Bygg- og miljøteknikk og har et omfang tilsvarende 30 studiepoeng.

Masteroppgavens problemstilling er:

*Tilfredsstiller machine drive power de krav som stilles til valsemonterte
responsmåleverktøy i Håndbok N200?*

Målet med denne masteroppgaven er å kartlegge i hvilken grad verktøyet Machine Drive Power tilfredsstiller de kravene som stilles til responsmålinger i Statens vegvesens Håndbok N200. Videre kan masteroppgaven belyse forbedringer som kan gjøres i N200 Vegbygging basert på muligheter ved bruk av *machine drive power* til å måle komprimering.

Jeg ønsker å takke hovedveileder Amund Bruland, NTNU og medveiledere Njål Hagen, Maskingrossisternes Forening og Thomas Norland, Entreprenørforeningen – Bygg og Anlegg for deres innsats på vegne av denne oppgaven. Videre må en stor takk rettes til Glenn Thorén, Pon Equipment, for å ha delt av sin kunnskap om valser og responsmålinger samt organisering av besøk på anlegg. En stor takk til Norsk Asfaltfresing AS og Strabag AS og spesielt Erling Sønnerheim og hans valseførere hos sistnevnte som stilte sine anlegg og utstyr til disposisjon.

Trondheim, juni 2017



Eirik Torpe

Sammendrag

Kvaliteten på komprimeringsarbeider har stor innvirkning på kvaliteten på vegen og dens levetid. Det er derfor i nyere tid vært et økt fokus på kvalitetssikring av komprimeringsarbeider gjennom kontinuerlig komprimeringskontroll. Kontinuerlig komprimeringskontroll er et samlebegrep for metoder hvor komprimeringsarbeidet kontrolleres og dokumenteres for hele arbeidet og hvor kontroll skjer samtidig som komprimeringsarbeidet utføres. Valsemonterte responsmålinger blir stadig vanligere som verktøy for kontinuerlig komprimeringskontroll og i denne oppgaven evalueres et verktøy for responsmålinger kalt Machine Drive Power (MDP) opp mot de krav som stilles til responsmålinger i Statens vegvesen Håndbok N200 Vegbygging. MDP vurderer komprimeringsgrad ved å kalkulere differansen mellom kraft som brukes på fremdrift og den reelle fremdriften valsen har. Avviket mellom de to gir rullemotstanden valsen opplever, som er en indikasjon på hvor godt komprimert massen er.

For å evaluere MDP opp mot de krav som stilles i N200 er det gjennomført en litteraturstudie der internasjonal forskning om MDP og kravene som stilles i Håndbok N200 presenteres, samt å besøke anlegg som benytter valser som er utstyrt med responsmåleverktøyet MDP og vurdere metodene som brukes og analysere dataen verktøyet lagrer fra komprimeringsarbeidet.

Det er gjennom litteraturstudien etablert at MDP leverer data som kan benyttes til å gi en troverdig vurdering av komprimerte masser og at bruksområdet til MDP kan gi mer presise vurderinger på finkornede masser enn responsmåleverktøyet som baserer seg på rekylens valsetrommel mottar fra grunnen ved vibrasjon. Rekylbaserte responsmålere kan derimot gi mer utfyllende informasjon om massen som er komprimert enn MDP, da disse registrerer data fra dypere masser enn MDP. I fremtidige utgaver Håndbok N200 kan man dra nytte av å komme med anbefalinger til hvilke responsmåleverktøy som er hensiktsmessig å benytte på ulike masser og med ulik dybde.

Gjennom feltarbeid er det illustrert hvordan MDP kan benyttes til å oppnå en jevn og tilstrekkelig god komprimering, viktigheten av at verktøyet brukes riktig og hvordan dette kan gjøres.

Abstract

The quality of the compaction of underlying soil has a great impact on the quality and life span of a road. Because of this, we have in recent times seen an improved effort to develop methods of quality assurance through continuous compaction control. Continuous compaction control is a collective term referring to methods where compaction is controlled and monitored for the entirety of the project and quality control is done in real-time. Roller-integrated compaction monitoring tools are a more and more common way of generating continuous compaction control and this paper evaluates one such tool called Machine Drive Power against the demands for roller-integrated measurements set by Håndbok N200, by Statens vegvesen. MDP evaluates the degree of compaction in the soil by calculating the difference between net power required to propel the compactor through and uncompacted layer of fill and the gross power needed to move the machine. This difference shows the resistance the compactor gets from the ground and indicates how compact the soil is.

To evaluate MDP against the demands in N200 an assessment of international studies done on MDP is conducted, the demands set by N200 is investigated and different projects using compactors equipped with MDP is visited to evaluate the way it is used on sight and later analyze the data received from the compactor.

It is through the assessment of international studies established that MDP delivers data that reliably give information about the level of compaction in the soil and that MDP on certain soils, such as fine-grained soils, can be more precise than roller-integrated tools that rely on recoil the soil sends to the drum during vibration to estimate the level of compaction. Toller-integrated tools that uses the recoil can on the other hand give more detailed information of the ground as it measures at a greater depth than MDP. In future issues of N200 could take advantage of recommending what type of roller-integrated measurement tool to use on different types of soils and at different depths.

This paper illustrates through experiences from field work how MDP can be used to achieve an even and sufficient level of compaction, the importance of using the tool correctly and how this is done.

Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT	V
INNHOLDSFORTEGNELSE	VII
1 INTRODUKSJON	2
1.1 BAKGRUNN FOR MASTEROPPGAVEN	2
1.2 PROBLEMSTILLING	3
1.3 MÅL	3
2 TILNÆRMING	4
2.1 FELTARBEID	4
2.2 LITTERATURSTUDIE	5
2.3 VALG TATT UNDERVEIS	6
3 TEORETISK RAMMEVERK	8
3.1 BEGREPER	8
3.2 DEFINISJONER	9
3.3 MÅLEMETODER FOR UTARBEIDELSE AV VALSEPROGRAM	15
3.4 HÅNDBOK N200	18
3.5 PLANLEGGING OG UTFØRELSE AV KOMPRIMERINGSARBEID	25
3.6 INTERNASJONALE RETNINGSLINJER FOR CCC	26
3.7 FORSØK MED MDP SOM MÅLEINSTRUMENT	29
4 RESULTATER	32
4.1 BAKGRUNN FOR RESULTATENE	32
4.2 EIDSVOLL	32
4.3 ØYE – EIDSBRU	39
4.4 KOMPRIMERINGSPLAN ØYE – EIDSBRU	52
5 DISKUSJON	54
5.1 KRAV TIL VALSEMONTERTE RESPONSMÅLEVERKTØY I HÅNDBOK N200	54
5.2 RAVINE 1050 ØYE – EIDSBRU	55
5.3 MACHINE DRIVE POWER PÅ VALSER FRA CAT	56
5.4 MACHINE DRIVE POWER SOM RESPONSMÅLEVERKTØY	56
6 KONKLUSJON	58
6.1 EVALUERING AV TILNÆRMING	58
6.2 OPPSUMMERING	58
6.3 VIDERE ARBEID	59
7 REFERANSER	60

Figurer

FIGUR 3.1 EKSENTERVEKTER PÅ VALSER FRA CAT (CAT, 2016A, s. 4)	11
FIGUR 3.2 EKSENTERVEKTER I VALSETROMMEL (CAT, 2016B, s. 11).....	11
FIGUR 3.3 SLETT TROMMEL FIGUR 3.4 PADFOOT-TROMMEL	12
FIGUR 4.1 DYPSTABILISERING TYKKELSE	33
FIGUR 4.2 MDP SAMMENDRAG EIDSVOLL (MDP-MÅL 122).....	35
FIGUR 4.3 FARGEKODER MDP SAMMENDRAG	35
FIGUR 4.4 MDP SAMMENDRAG EIDSVOLL (MDP-MÅL 130).....	35
FIGUR 4.5 UTSNITT KART EIDSVOLL, SAMMENDRAG MDP	36
FIGUR 4.6 KUTTER FRA UTSNITT SAMMENDRAG MDP, EIDSVOLL	36
FIGUR 4.7 KUTTER FRA UTSNITT SAMMENDRAG MDP UNDERKOMPAKTERT MDP-VERDI, EIDSVOLL	37
FIGUR 4.8 KUTTER FRA UTSNITT SAMMENDRAG MDP OVERKOMPAKTERT MDP-VERDI, EIDSVOLL	37
FIGUR 4.9 CMV SAMMENDRAG, EIDSVOLL.....	38
FIGUR 4.10 FARGEKODER CMV SAMMENDRAG.....	38
FIGUR 4.11 CMV PROSENTVIS ENDRING, EIDSVOLL.....	38
FIGUR 4.12 FARGEKODER CMV PROSENTVIS ENDRING, EIDSVOLL	39
FIGUR 4.13 ILLUSTRASJON TRASÉ E16 ØYE (GOOGLE EARTH)	40
FIGUR 4.14 DEKNING KOMPRIMERINGSARBEIDER ØYE – EIDSBRU (VISIONLINK)	41
FIGUR 4.15 SAMMENDRAG MDP ØYE - EIDSBRU	42
FIGUR 4.16 RAVINE 1050 OVERSIKTSBILDE FOTO: E. TORPE	43
FIGUR 4.17 SAMMENDRAG CMV RAVINE 1050.....	44
FIGUR 4.18 OVERSIKT KOMPRIMERING BASERT PÅ CMV NIVÅ 2 RAVINE 1050 FIGUR 4.19 FARGEKODER CMV	44
FIGUR 4.20 KUTTER NIVÅ 2 RAVINE 1050.....	44
FIGUR 4.21 SAMMENDRAG CMV-ENDRING NIVÅ 2 RAVINE 1050	45
FIGUR 4.22 OVERSIKT CMV-ENDRING NIVÅ 2 RAVINE 1050	45
FIGUR 4.23 OVERFARTER MED VALS NIVÅ 6 RAVINE 1050.....	46
FIGUR 4.24 ENDRING I RESPONS, FØRSTE OVERFART KALIBRERINGSSTREKNING FOTO: E. TORPE.....	46
FIGUR 4.25 ENDRING I RESPONS, FEMTE OVERFART FOTO: E. TORPE	47
FIGUR 4.26 ENDRING I CMV KONTINUERLIG ILLUSTRERT FOTO: E. TORPE.....	47
FIGUR 4.27 KOMPRIMERINGSMASSE NIVÅ 6 RAVINE 1050 FOTO E.TORPE.....	48
FIGUR 4.28 CMV-ENDRING ETTER FORSØKT KALIBRERING NIVÅ 6 RAVINE 1050 FOTO: E.TORPE	49
FIGUR 4.29 FELTRAPPORT CMV NIVÅ 6 RAVINE 1050 FOTO: E. TORPE.....	49
FIGUR 4.30 FARGEKODER ENDRING MDP.....	50
FIGUR 4.31 OVERSIKT MDP FRA VALSEFØRERS PERSPEKTIV FOTO: E. TORPE.....	51
FIGUR 4.32 SAMMENDRAG MDP NIVÅ 6 RAVINE 1050	51
FIGUR 4.33 OVERSIKT KOMPRIMERING BASERT PÅ MDP-MÅL 141 NIVÅ 6 RAVINE 1050	52

Tabeller

TABELL 2.1 UTVALGTE SØKEORD	5
TABELL 3.1 FIGUR 520.7 MÅLEMETODER FOR UTARBEIDELSE AV VALSEPROGRAM (STATENS VEGVESEN, 2014B, S. 255)	16
TABELL 3.2 FIGUR 520.10 KRAV TIL DOKUMENTASJON AV KOMPRIMERINGSARBEID FOR MEKANISK STABILISERTE MATERIALET I OVERBYGNINGEN (STATENS VEGVESEN, 2011, S. 254)	22
TABELL 3.3 FIGUR 520.10 KRAV TIL SLUTTDOKUMENTASJON AV KOMPRIMERINGSARBEID FOR MEKANISK STABILISERTE MATERIALET I OVERBYGNINGEN (STATENS VEGVESEN, 2014B, S. 256)	22
TABELL 3.4 FIGUR 520.6 KOMPRIMERING AV UNDERBYGNING (STATENS VEGVESEN, 2014B, S. 253)	24
TABELL 3.5 FIGUR 256.3 KOMPRIMERING AV UNDERBYGNING (FYLLING) (STATENS VEGVESEN, 2014B, S. 98)	25
TABELL 3.6 TABLE 7.1 SUMMARY OF SPECIFICATION OPTIONS (MOONEY, ET AL., 2010, S. 156, EGEN OVERSETTELSE).....	28
TABELL 4.1 SPESIFIKASJONER CS78B (CAT, 2017B).....	34
TABELL 4.2 SPESIFIKASJONER CS74B (CAT, 2017A).....	40

Formler

FORMEL 3.1 STATISK LINJELAST	10
FORMEL 3.3 UTREGNING AV CMV	13
FORMEL 3.4 UTREGNING AV MDP	14

1 Introduksjon

I dette kapittelet presenteres bakgrunnen for masteroppgaven og hvordan arbeidet utviklet seg fra prosjektoppgavens problemstilling til en problemstilling for masteroppgaven. Denne problemstillingen med delspørsmål presenteres, samt hvilke mål som er satt for masteroppgaven.

1.1 Bakgrunn for masteroppgaven

Bakgrunnen for masteroppgaven er at Maskingrossisternes Forening (MGF) og Entreprenørforeningen Bygg og Anlegg (EBA) uttrykte et ønske overfor NTNU om å utarbeide en oppgave som tar for seg maskinstyringssystemer og dets påvirkning på drivstofforbruk/avgassutslipp, dokumentasjon, helse miljø og sikkerhet, tidsbruk og generell effektivitet for samfunnet. Denne generelle tilnærmingen var utgangspunktet for prosjektoppgaven «Bruk av maskinstyringssystemer» som ble skrevet høsten 2016 av Eirik Torpe.

Gjennom arbeidet med prosjektoppgaven ble maskinstyringssystemer som benyttes i dag og forskning som er gjort på potensialet i disse undersøkt. I denne prosessen ble en idédugnad i regi av Nye Veier besøkt den 16.10.2016 der temaet var hvordan man kan bygge veger smartere. Der ble det blant annet kommunisert fra entreprenør at det grunnet gammeldags rapportering blir produsert unødvendig dokumentasjon som fører til informasjonstap i leveransen (Juvland, 2016) og en introduksjon av *Machine Drive Power* (MDP) som responsmåleverktøy ble presentert (Thorén, 2016).

Fokuset på kvaliteten og levetiden til vegene som bygges har den siste tiden økt bevisstheten på komprimeringsarbeider som gjennomføres. Statens vegvesen gjennomførte i perioden 2011 – 2015 FoU-programmet Varige veger som illustrerte at det er etterslep på vedlikeholdsarbeider på riks- og fylkesveger på over 28 milliarder norske kroner (Statens vegvesen, 2016a). I tillegg står det i Nasjonal transportplan 2018-2030 at utslippene fra bygging av infrastruktur skal reduseres med 40 prosent og utslippene fra drift og vedlikehold reduseres med 50 prosent innen 2030 (Transportetatene, 2015). Dette medfører at bransjen står foran krav om en betydelig reduksjon av utslipp i årene som kommer. Dette har blant annet resulterte i et økt fokus på hvordan kvaliteten på komprimeringsarbeider kan forbedres gjennom kontinuerlig komprimeringskontroll.

Statens vegvesen reviderte i 2014 sin Håndbok 018 Vegbygging, og endret med det navnet til N200 Vegbygging, som en del av sin oppdatering av håndbokserien. Dermed er det av interesse å kartlegge i hvilken grad responsmålingsverktøyet som ble presentert på idédugnaden, Machine Drive Power tilfredsstiller de nye kravene som stilles til komprimeringsarbeider fra Håndbok N200.

1.2 Problemstilling

Hovedproblemstillingen er å undersøke om *Machine Drive Power* som responsmålingsverktøy tilfredsstiller de krav som stilles i Statens vegvesens Håndbok N200. Problemstillingen blir med det formulert slik:

Tilfredsstiller Machine Drive Power de krav som stilles til valsemonterte responsmåleverktøy i Håndbok N200?

Oppgaven har til hensikt å svare på følgende delspørsmål:

Kan MDP som responsmåleverktøy bidra til å forbedre kravene som stilles N200?

Samt å:

Illustrere hvordan machine drive power kan brukes av valsefører og for oppfølging av kvalitet.

1.3 Mål

Håndbok N200 Vegbygging har gjennomgått en revisjon etter et økt fokus på valsemonterte responsmålingsverktøy den siste tiden. Målet med masteroppgaven er å kartlegge i hvilken grad *machine drive power* som verktøy tilfredsstiller de nye kravene og eventuelt nye som tilføres i den foreslåtte utgaven som kommer ved årsskiftet 2017/18. Videre kan masteroppgaven belyse forbedringer som kan gjøres i N200 Vegbygging basert på muligheter ved bruk av *Machine Drive Power* til å måle komprimering.

2 Tilnærming

I dette kapitlet presenteres tilnærmingen til oppgaven, valg som er gjort ved innsamling av litteratur, utføring av feltforsøk og valg som er tatt på bakgrunn av prosjektoppgaven.

Oppgaven er utført ved å gjennomføre et litteraturstudium som går i dybden på machine drive power (MDP) som valsemontert responsmåleverktøy og feltforsøk der denne teknologien er benyttet for å kartlegge komprimeringsarbeidene som gjennomføres. Det er lagt stor vekt på kravene som stilles til komprimering fra Statens vegvesens Håndbok N200 og i hvilken grad bruk av MDP tilfredsstiller disse. En revidert utgave av Håndbok N200 er ute på høring i skrivende stund og de foreslåtte endringene i den reviderte utgaven vurderes med bakgrunn i kunnskapen tilegnet om MDP fra både litteraturstudie og feltarbeidene.

2.1 Feltarbeid

Ettersom det er valsene fra Caterpillar som er utstyrt med MDP-sensorer er disse benyttet i oppgaven. Denne oppgaven vurderer MDP som responsmåleverktøy, og det er naturlig at det i den sammenheng tar utgangspunkt i den mer etablerte metoden CMV. Valsene fra Caterpillar er utstyrt med både MDP-sensorer og CMV-sensorer, disse introduseres i kapittel 3.2.3 *Responsmåling*, og det er derfor ønskelig å diskutere variasjoner i måleresultatene mellom disse.

Det var i utgangspunktet ønskelig å undersøke variasjon i respons fra ulike materialer. Dette måtte gjøres ved å analysere responsmåleverdier fra anlegg der man bygget veg på ulike grunnforhold og hvor det ble benyttet MDP som responsmåleverktøy. Grunnet tidsbegrensninger ble dette ikke gjennomført.

Det ble også vurdert å gjennomføre laboratorieundersøkelser av masser som skulle komprimeres og målt med MDP, dette er en tidkrevende prosess med fremstilling og vurdering av resultater som ble vurdert bort til fordel for å følge komprimeringsarbeider som benytter MDP og på den måten få en best mulig forståelse av MDP som responsmålingsverktøy og valseførerens opplevelse av nytteverdi av verktøyet.

For å vurdere MDP som responsmålingsverktøy er komprimeringsarbeider hvor dette er benyttet fulgt på anleggsplassen, i tillegg til at resultatene er vurdert via VisionLink, Sitechs program for prosjektovervåking.

2.2 Litteraturstudie

Som en del av fordypningsoppgaven, høsten 2016, er det gjennomført en litteraturstudie. Litteraturstudien som er gjort i fagene TBA4151 Anleggsteknikk VK og TBA4128 Prosjektledelse VK utgjør grunnlaget for den teorien som ble brukt i fordypningsoppgaven og som la grunnlaget for valg av problemstilling for denne masteroppgaven. Ved oppstart av prosjektoppgaven var oppgavedefinisjonen fortsatt veldig løs, som gjorde at søket etter litteratur ble gjort bredt for å få en bred forståelse av feltet maskinstyring. Dette gjorde at en ny litteraturstudie måtte gjennomføres når problemstillingen for masteroppgaven var klar med mer presise søkeord for å gi mer relevante treff. Gjennom den første litteraturstudien ble søkemeter utarbeidet og det ble tilegnet kjennskap til søkemotorer. I Tabell 2.1 er utviklingen av søket etter litteratur fra den første til den andre studien illustrert.

Søkeord	
Prosjektoppgave	Masteroppgave
Earthmoving & machinery & 3D	Machine drive power
Maskinstyring / Machine control	Compact meter value
Masseflytting / Earthwork	Kontinuerlig komprimeringskontroll / Continuous compaction control
Automatisering & anlegg / Automation & construction	Komprimering / Soil compaction
Anleggsdrift & anleggsmaskiner / construction machinery	

Tabell 2.1 Utvalgte søkeord

2.2.1 Kriterier for evaluering av kilder

I evalueringen av kildene ble VIKOs anbefaling om å vurdere *troverdighet*, *objektivitet*, *nøyaktighet* og *egnethet* fulgt (NTNU, 2016).

Troverdighet

Vurderer forfatterens bakgrunn og kvalifikasjoner, utgiverens anerkjennelse samt om eksterne har kvalitetssikret innholdet. Ved å søke via BIBSYS Oria, Scopus eller andre anerkjente akademiske søkemotorer vil sjansen for at kilden er kvalitetssikret øke.

Objektivitet

Vurderer om innholdet er objektivt, balansert og om publikasjonen har faglig tyngde. Finnes det intensjoner fra forfatter eller utgiver som ikke oppgis.

Nøyaktighet

Vurderer om kilden er oppdatert på det siste innen fagfeltet. Publiseringsdato og revideringsdato er indikasjoner på dette. I tillegg må det vurderes i hvilken grad kilden dokumenterer sine funn. Er det meninger eller har informasjonen støtte i faglitteratur.

Egnethet

Vurderer om teksten er relevant for problemstillingen, om det er en akademisk tekst og hva nytteverdien av teksten er.

2.3 Valg tatt underveis

Valg av problemstilling ble tatt på bakgrunn intervjuer gjort med personer i bransjen i tilknytning gjort i prosjektoppgaven, og funn gjort i denne. Prosjektoppgaven var rettet mer generelt mot maskinstyringssystemer som benyttes i anleggsbransjen og gjennom arbeidene med denne kom det frem informasjon som tilsa at det kunne være et potensiale i å undersøke MDP og hvordan den teknologien står sammenlignet med kravene som stilles til komprimering.

3 Teoretisk rammeverk

I dette kapittelet gis det en kort innføring i begreper og definisjoner som omfatter komprimering. Videre presenteres verktøy som benyttes til å lagre data fra komprimeringsarbeider, krav som stilles ved bruk av disse og forskning som er gjort på bruk av disse verktøyene.

3.1 Begreper

Verktøyene og metodene som beskrives i faglitteraturen og i denne oppgaven omtales som en del av de overordnede målene om kontinuerlig komprimeringskontroll (CCC fra *continuous compaction control*) og intelligent komprimering (IC fra *intelligent compaction*). Disse to begrepene samt en oversikt over begreper tilknyttet valsens innstillinger og egenskaper og varianter av responsmåling presenteres her.

3.1.1 Kontinuerlig komprimeringskontroll

Kontinuerlig komprimeringskontroll er en fellesbetegnelse for systemer installert på valser som i sann tid samler data om gjennomføring av komprimering og prestasjonen til valsen. Bakgrunnen for idéen om kontinuerlig komprimeringskontroll er et ønske om å ha kontroll på hele den komprimerte overflaten i kontrast til kun punkttesting av overflaten. Dette har vært gjort ved bruk av manuelle metoder, men etter at valsene ble utstyrt med GNSS er det blitt mulig å overvåke valsens bevegelser og med det stedfeste data fra komprimeringsarbeidet.

3.1.2 Intelligent komprimering

Intelligent komprimering er et mål om at data fra CCC skal tolkes og brukes i sann tid av valsen til å tilpasse valsens innstillinger og utførelse for å optimalisere komprimeringsarbeidet og oppnå en så lik tetthet i den komprimerte massen som mulig. Dette innebærer at valsen selv tilpasser innstillingene etter den massen som skal komprimeres slik at de nederste lagene komprimeres godt, og at valsen deretter selv justerer amplituden for å komprimere de øverste lagene til samme stivhet, uten at det medfører nedknusing av steinmaterialer.

Et eksempel på hvordan intelligent komprimering kan videreutvikles fra å kun gjelde valsens tolkning av dataene fra komprimeringsarbeidet til å gjelde hele verdikjeden ved utlegging og komprimering av asfalt er presenter i forskningsprosjektet *SmartSite: Intelligent and autonomous environments, machinery, and processes to realize smart road construction projects* (Küenzel, *et al.*, 2016). I denne rapporten kommenterer forfatterne at de eksisterende

verktøyene som er beskrevet tidligere i denne rapporten bidrar til å redusere muligheten til feilvurderinger fra valseførerene, men at disse verktøyene først og fremst er utviklet for å bidra med data til dokumentering av komprimeringsprosessen, og ikke i like stor grad som verktøy for å støtte valseførerene i arbeidet de gjør. Videre anser forfatterne dagens verktøy som isolerte løsninger for den enkelte vals som ikke kommuniserer med resten av maskinparken på anlegget eller de andre prosessene som produksjon av asfalten, transport og miljø.

3.2 Definisjoner

Kvaliteten på komprimeringsarbeidet er et resultat av hvordan valsen brukes, dens egenskaper og hvordan innstillingene på den er benyttet. I den følgende delen defineres begreper som omhandler komprimering, responsmålinger og vals.

3.2.1 Statisk og dynamisk komprimering

Statisk komprimering er den komprimeringseffekten som er et resultat av vekten til valsen. Det er trykket som genereres på et areal ved at tyngdekraften drar valsen ned mot jorden. Ved statisk komprimering er *statisk linjelast* definerende for komprimeringsevne.

Dynamisk komprimering er komprimering ved bruk av vibrasjon av valsetrommelen slik at denne jobber som en hammer på massen som skal komprimeres. Ved dynamisk komprimering sendes det vibrasjoner ned i massen som gjør at partiklene løftes og faller inn i tettere pakkede strukturer med høyere bæreevne. Det er viktig å merke seg at komprimering med vibrasjon skjer nedenifra og opp i massen, altså at ved en dyp masse skal det nederste laget komprimeres først og så det øverste. Dette gjøres ved å justere *amplituden*. I tillegg har antall slag valsetrommelen gjør mot grunnen per meter stor påvirkning på kvaliteten. Dette kontrolleres ved å justere vibrasjonens *frekvens* og valsens *kjørehastighet*.

3.2.2 Valsens egenskaper

Som beskrevet over er kvaliteten på komprimeringsarbeidet et resultat av hvilken vals en benytter til komprimeringsmassen, hvordan de forskjellige innstillingene på denne brukes og antall passeringer man gjør. Noen parametere er allerede nevnt og disse vil gås igjennom nå.

Statisk linjelast

Ved statisk komprimering er det tyngden på valsen som har størst påvirkning på komprimeringsarbeidet. Det må tas hensyn til hvor stort område valsen fordeler sin vekt over og for å kunne sammenligne valser med forskjellig vekt og bredde på valsetrommelen beregnes statisk linjelast slik:

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

Formel 3.1 Statisk linjelast

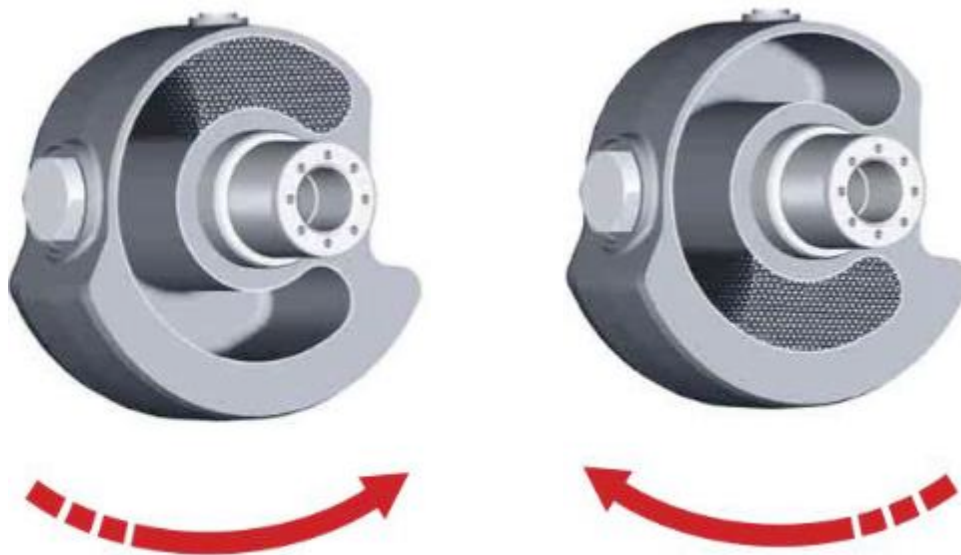
Frekvens, amplitude og hastighet

Ved alle typer komprimering vil valg av hastigheten valsen kjører med påvirke effekten av komprimeringsarbeidet. Når en benytter dynamisk komprimering vil frekvens og amplitude på vibrasjonen påvirke komprimeringen.

Frekvensen til vibrasjonen er hvor mange slag den påfører grunnen per sekund. Dette er et resultat av antall komplette runder vibroakselen gjør i sekundet. Frekvensen til vibrasjonen oppgis vanligvis i Hertz (Hz), som betyr svingninger per sekund. Antall slag valsetrommelen gjør per meter er derfor et produkt av både frekvens og hastigheten valsen kjører med. Kjørehastighet ved komprimering skal være mellom 3 og 5 km/t (Statens vegvesen, 2014b).

Vibrasjonens amplitude forteller hvor kraftig hvert slag er mot grunnen. Når valsen beveger seg fremover og valsetrommelen beveger seg opp og ned vil valsetrommelens senterpunkt bevege seg som en bølge bortover. Amplituden, som defineres som avstanden fra likevektstilstanden til bølgens topp- eller bunnpunkt, er den loddrette avstanden trommelen beveger seg fra senterlinjen. Amplituden er med dette halve den vertikale bevegelsen valsetrommelen gjør fra topp til den slår ned mot massen i bunn.

På valser fra CAT, som benyttes i denne oppgaven, blir vibrasjonen skapt av en aksel inne i trommelen som fungerer slik at den utgjør en eksentrisk vekt. Denne akselen inneholder stålkuler som beveger seg fritt. Når akselen roterer endres trommelens tyngdepunkt og trommelen settes i bevegelse. Avhengig av hvilken vei akselen roterer legger stålkulene seg i den tunge eller lette delen av akselen. Når stålkulene legger seg i den tunge delen av akselen økes eksentrisiteten og man får høy amplitude, og når stålkulene legger seg i den lette delen av akselen motvirker disse effekten fra akselen og reduserer amplituden.



a) Lav amplitude

b) Høy amplitude

Figur 3.1 Eksenterveker på valser fra CAT (CAT, 2016a, s. 4)



Figur 3.2 Eksenterveker i valsetrommel (CAT, 2016b, s. 11)

Generelt vil en bruke høy amplitude på masser med stor lagtykkelse da denne komprimerer dypere ned i grunnen og lav frekvens på de første passeringene. Deretter bør en benytte lav amplitude og høy frekvens for å komprimere de øverste lagene på de siste passeringene, dette også for å unngå nedknusing av materialet som kan forekomme ved overdreven bruk av høy amplitude (White, Thompson og Vennapusa, 2007).

Valsetrommel

Valser kan være utstyrt med to forskjellige tromler, slett trommel eller padfoot-trommel (trommel med knaster). Slett trommel brukes på granulære materialer som sand, grus, pukk og knust stein. Padfoot-trommelen brukes på sammenhengende materiale som silt og leire.

Vibrasjon kan benyttes på begge typer tromler.



Figur 3.3 Slett trommel



Figur 3.4 Padfoot-trommel

3.2.3 Responsmåling

Responsmålinger er en samlebetegnelse for data om komprimeringsarbeidet som i sann tid innhentes fra valsemonterte verktøy. Disse dataene kombineres med sanntidsposisjonering av valsen ved bruk GNSS for å skape et bilde av komprimeringsgraden på hele det komprimerte området. Det er i hovedsak to måter å hente inn data om komprimeringen på, målinger gjort basert på respons fra vibrasjonen til valsetrommelen og målinger av den motstanden mot fremdrift valsen får fra grunnen. Disse to måtene å innhente data på vil beskrives i de påfølgende avsnittene, men måling av rullemotstand vil omtales i særskilt grad da denne er hovedtema for oppgaven.

Responsmåling basert på vibrasjon

Når valsetrommelen vibrerer som beskrevet tidligere vil hvert slag den gjør mot bakken overføre energi fra valsetrommelen til bakken som fordeler seg nedover i lagene i massen. Noe av energien som overføres tas opp av massene som komprimeres, og noe vil respondere tilbake fra grunnen. Etterhvert som massen komprimeres blir den stivere og absorberer mindre og mindre energi fra hvert slag, energien som returneres vil da øke.

En slik type responsmåler er *Compact Meter Value* (CMV), som benyttes på valsene fra CAT og som benyttes når responsmålinger basert på vibrasjon omtales videre i denne oppgaven. CMV tar utgangspunkt i valsetrommelens teoretiske vibrasjon, altså den bevegelsen valsetrommelen ville gjort om den ikke møtte motstand fra grunnen og registrerer den forstyrrelsen denne motstanden gjør på bevegelsen til trommelen. Dette gjøres ved at responsmåleren som benyttes ved CMV måler trommelens vertikale akselerasjon og sammenligner denne med den akselerasjonen trommelen ville hatt om den ikke møtte motstand (Fladvad, 2012). Ved store avvik fra den teoretiske akselerasjonen vil en få høy CMV-verdi, dette skjer når massen som komprimeres er hard. CMV måler ned til 1,2 meters dybde og er derfor egnet til å måle dypt. Når massen komprimeres vil CMV-verdien gå ned, og det er denne reduksjonen som gjør målemetoden tilpasset de krav som beskrives fra Håndbok N200 i delkapittel 3.4 *Håndbok N200*. Formelen for utregning av CMV er publisert i *A Comparison of Simultaneously Recorded Machine Drive Power and Compactometer Measurements* (Meehan og Tehrani, 2011) og er:

$$CMV = C \times \frac{\hat{a}(2\omega_0)}{\hat{a}(\omega_0)}$$

Formel 3.2 Utregning av CMV

Der:

C Er en empirisk konstant som benyttes for å skalere CMV-verdien i området 0-100, ofte brukt verdi for C er 300.

$\hat{a}(2\omega_0)$ Amplituden til den første bølgen fra responsmålingen.

$\hat{a}(\omega_0)$ Amplituden til grunnfrekvensen.

CMV er en dimensjonsløs verdi som representerer et forhold, det er derfor ikke en optimal CMV-verdi man ønsker å oppnå, men man ser etter en prosentvis endring i CMV-verdi fra en passering til den neste. En mer omfattende beskrivelse av responsmåleverktøyet CMV kan finnes i *Kontinuerlig komprimeringskontroll* (Fladvad, 2012).

Responsmålinger basert på rulle motstand

I denne oppgaven ser vi på responsmålinger som tar utgangspunkt i den rulle motstanden valsen opplever. I starten av utviklingen av verktøy for responsmålinger oppdaget man at verktøy som gjorde målinger basert på vibrasjon hadde svakheter når det kom til målinger gjort på jordarter med liten kornstørrelse som silt og leire (Meehan og Tehrani, 2011). Som et

alternativ har CAT utviklet et system som benytter seg av *Machine Drive Power* (MDP) for å måle rullemotstanden valse opplever og basert på det, måle komprimeringsgraden i massen. MDP er derfor ikke avhengig av at man bruker vibrasjon på valsetrommelen for å måle respons fra massen som komprimeres i sann tid, men kan også brukes med vibrasjon.

MDP regnes ut basert på følgende formel, publisert i *Power-Based Compaction Monitoring Using Vibratory Padfoot Roller* (White, Morris og Thompson, 2006):

$$MDP = P_n = P_g - WV(\sin \alpha + \frac{a}{g}) - (mV + b)$$

Formel 3.3 Utregning av MDP

Der:

P_n	Netto kraft som kreves for å kjøre valse gjennom en ukomprimert masse	[kJ/s]
P_g	Brutto kraft som kreves for at valse skal ha fremdrift	[kJ/s]
W	Vekt av valse	[kN]
V	Valsens hastighet	[m/s]
a	Valsens akselerasjon	[m/s ²]
g	Tyngdeakselerasjonen	[m/s ²]
α	Helningsvinkel	
m	Koeffisient for tap av kraft for den enkelte maskin	[kJ/m]
b	Koeffisient for tap av kraft for den enkelte maskin	[kJ/s]

I litteraturen presenteres MDP som en relativ verdi som refererer til egenskapene til den massen utstyret kalibreres på. Dette gjøres i litteraturen som diskuteres i tilknytning til denne oppgaven gjerne på en hard og komprimert masse og den målte verdien settes $MDP = 0$ kJ/s som utgangspunkt. Dette gjøres ved å kalibrere måleinstrumentene med hensyn til vinkelen α , og koeffisientene m , og b . Først registreres vinkelen valse står i når den står i ro på området som skal komprimeres, dette gjøres med valse plassert i begge kjøreretninger.

Gjennomsnittet av disse to målingene benyttes som grunnlag for å måle variasjon i helning med hensyn til denne. Koeffisientene m og b identifiseres deretter ved å kjøre valse på en relativt uniform kalibreringsmasse. Når valse kjøres registreres brutto kraft som brukes på fremdrift (P_g) og effekt fra vinkelen det kjøres i. Dette gjøres mens valse kjører fremover og i revers i de hastighetene det forventes at valse vil kjøre i. For hver hastighet registreres

differansen mellombrutto kraft som brukes på fremdrift (P_g) og effekten på bruk av kraft fra vinkelen det kjøres i. Basert på denne differansen regner man ut m og b (White og Thompson, 2008).

I litteraturen vil positiv MDP-verdi når man komprimerer indikere at den massen man komprimerer er mindre kompakt enn massen brukt til kalibrering, og negativ MDP-verdi indikerer at massen er mer kompakt enn massen brukt til kalibrering. Dette kommer av at valsetrommelen vil synke mindre i massen ved passering enn den gjorde ved kalibrering når massen er mer kompakt.

På valsene benyttet i denne oppgaven er MDP regnet ut på samme måte, men verdien fra kalibreringen settes ikke til 0 kJ/s. I stede benyttes den målte MDP-verdien fra kalibreringstrekningen slik den er, den praktiske betydningen av denne endringen er minimal, da vurderingen av målte resultater fra valsen når en komprimerer videre fortsatt vurderes opp mot MDP-verdien fra kalibreringsstrekket. De målte MDP-verdiene vurderes som prosent av den kalibrerte MDP-verdien slik at om underlaget gir mer motstand mot fremdrift vil resultatene fra målingene være lavere og dette oppgis i hvor mange prosent MDP måloppnåelse overfarten gir sammenlignet med den ønskelige MDP-verdien man oppnådde på kalibreringsstrekket. Videre settes det krav hvor nærme de kontinuerlig målte MDP-verdiene skal være den kalibrerte verdien. Dette illustreres i kapittel 4 *Resultater*.

3.3 Målemetoder for utarbeidelse av valseprogram

Valseprogrammet utarbeides ved at en strekning komprimeres i flere omganger, og det gjennomføres målinger på flere komprimeringsnivåer. Basert på målingene får man et minstekrav til antall overfarter med valsen. Metodene som håndboken oppgir for å lage et valseprogram med bruksområde og omfang er oppgitt i tabellen under.

Ytterligere krav til valseprogram fra håndbok N200 blir presentert i neste kapittel.

Målemetode	Bruksområde	Måleomfang
Platebelastning	Maksimal kornstørrelse ($D_{\max} \leq 150$ mm)	Minimum tre målinger ved minimum tre komprimeringsnivåer
Modifisert Proctor	Øvre siktstørrelse ($D \leq 32$ mm)	Minimum tre målinger ved minimum tre komprimeringsnivåer
Responsmålinger	Alle materialer	Kontinuerlig over minimum 50 m
Nivellement	Alle materialer	10 punkter i hver tverrprofil, minimum 5 profiler per homogen seksjon

Tabell 3.1 Figur 520.7 Målemetoder for utarbeidelse av valseprogram (Statens vegvesen, 2014b, s. 255)

Av disse fire metodene kan målinger ved bruk av platebelastning og nivellement og responsmålinger gjøres i felt, men å finne maksimal densitet ved en Modifisert Proctortest må gjøres i laboratorium.

3.3.1 Laboratorieundersøkelser

Proctor test

Modifisert Proctor er den laboratorieundersøkelsen som benyttes når det stilles krav og oppgis toleranser for komprimering i Håndbok N200.

«Generelle krav omfatter tradisjonelle krav til det ferdige vegdekket, som f.eks. krav til komprimeringen uttrykt i prosent av Modifisert Proctor for grusdekker og uttrykt ved krav til hulrom i asfaltdekker.» (Statens vegvesen, 2014b, s. 311)

Modifisert Proctor beskrives i N210 Laborrietesting slik:

«Ved denne metode bestemmes forholdet mellom vanninnhold og tetthet (tørr densitet ρ_d) for jordarter som komprimeres i en standardisert størrelse med en 4,8 kg stamper som har fri fallhøyde på 450 mm. Det optimale vanninnholdet er det vanninnhold som ved innstamping gir høyeste tørr densitet (ρ_d), og denne betegnes som 100 % Modifisert Proctor.» (Statens vegvesen, 2014a).

Det tas ut en prøvemengde på henholdsvis 3,5-4,0 kilogram for jordarter med maksimal kornstørrelse under 8 millimeter og 5,0-5,5 kilogram for jordarter med maksimal kornstørrelse under 19 millimeter. Prøven tilsettes så vann slik at det blir 4 % under det optimale vanninnholdet beregnet på tørt materiale. Deretter stemples materialet i en veid sylinder før sylinder med innhold veies og våt densitet (ρ_{wet}) regnes ut. Deretter tas en prøve på cirka 500 gram ut av den våte prøven, denne tørkes og benyttes til å regne ut tørr densitet (ρ_d) og vanninnholdet i massen. Deretter gjentar man det hele med en 1-2 % økning av vanninnholdet fra forrige forsøk helt til en ser at tørr densitet (ρ_d) stabiliserer seg eller reduseres av det økte vanninnholdet. Det vanninnholdet som gir optimal tørr densitet (ρ_d) kalles optimalt vanninnhold.

3.3.2 Feltundersøkelser

Feltundersøkelser som oppgis i Håndbok N200 Vegbygging for komprimeringskontroll er platebelastning, responsmålinger og nivellement. Beskrivelse av metodene platebelastning og nivellement følger av R211 Feltundersøkelser (Statens vegvesen, 2014c).

Platebelastning

Platebelastning brukes for kontroll av komprimering på utlagte materialer med maksimal kornstørrelse mindre enn ca. 150 mm. Platebelastning kan også brukes for å måle bæreevne og stabilitet. Prinsippet for metoden er at komprimeringen uttrykkes som endring i elastisitetsmodul ved gjentatt pålastning.

Overflaten av platen settes inn med et tynt gipslag, maks 2-3 centimeter på undersiden før den belastes i fem trinn og man leser av nedbøyingen for hvert trinn. Dette gjøres to ganger. For hver belastning beregnes en stivhetsmodul E_1 og E_2 der E_1 er stivheten øverst i materialet og E_2 er stivheten nederst i materialet. Forholdet E_2/E_1 gir et bilde på potensialet for komprimering av massen og endring i E_1 og E_2 fra første til andre runde med belastning sier hvor mye massen har komprimert som et resultat av den påførte belastningen.

Responsmålinger

«Responsmålinger kan brukes på alle materialer ved at en prøvestrekning på 50 meter komprimeres, og gjennomsnittlig 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 %.» (Statens vegvesen, 2014b, s. 255)

Nivellement

«Høyden på det aktuelle laget måles både før komprimering og etter hver passering av komprimeringsutstyret. Laget ansees tilfredsstillende komprimert når siste passering gir en setning som er mindre enn 10 % av totalsetningen.» (Statens vegvesen, 2014c, 15.327)

Det første målepunktet settes opp minst 1 meter fra kanten av planeringen, deretter merkes hver 25. centimeter til man dekker 3 meter i bredden. Det måles i tre tverrprofiler med en avstand på 10-15 meter. Det gjøres en høydemåling av området, før det komprimeres med en valsepassering for så og måles igjen. Setningen for hver passering regnes ut som gjennomsnitt for de tre profilene. Komprimeringen ansees for tilstrekkelig når setning etter siste passering blir $\leq 10\%$ av total setning.

3.4 Håndbok N200

Om håndbokserien

Statens vegvesens håndbokserie er inndelt i to nivåer, nivå 1: Normaler og retningslinjer og nivå 2: Veiledninger. Normaler og retningslinjer er kravdokumenter og veiledninger er hjelpedokumenter som understøtter normalene og retningslinjene. Normaler har hjemmel i lovverket og gjelder all offentlig veg. Retningslinjer gjelder kun riksveg og har hjemmel i lovverk eller i instruks fra Vegdirektøren (Statens vegvesen, 2015).

Håndbok N200

Håndbok N200 Vegbygging er en normal som setter krav til vegens oppbygging inkludert vegutstyr og miljøtiltak. Som kravdokument legger N200 Vegbygging føringer for hvordan vegbygging utføres og hvilke krav som stilles til blant annet HMS og dokumentasjon samt kvalitets- og funksjonskrav ved bygging av veger. Dette gjør at Håndbok N200 legger føring for hvilke krav som stilles til komprimering ved vegbygging.

Håndbok N200 ble i 2014 revidert som en del av Statens vegvesens oppdatering av håndbokserien, fra Håndbok 018 (Statens vegvesen, 2011) til Håndbok N200 (Statens vegvesen, 2014b), som medførte en omfattende revisjon av kapittelet *520.4 Komprimering*. I det følgende kapittelet vil en oversikt over nye retningslinjer for komprimering i håndboken presenteres. Vegdirektoratet har utarbeidet en revidert utgave av Håndbok N200 som er ute på høring frem til sommeren 2017 (Statens vegvesen, 2017) hvor delkapittel 52. *Materialer og utførelse* skilles ut til et eget kapittel 6 som inkluderer eksisterende *Kapittel 6 – Vegdekker*, til et mer helhetlig og oversiktlig kapittel som omhandler komprimering. Endringer som er lagt til i høringsforslaget vil kommenteres, men leseren bes merke at dette dokumentet ikke enda er vedtatt og endringer må derfor leses som hvordan Vegdirektoratet ser for seg at Håndboken skal se ut i fremtiden. Den nye normalen planlegges å utgis ved årsskiftet 2017/2018 (Statens vegvesen, 2017).

Funksjonskrav

Om funksjonskrav er det i håndboken skrevet at kvalitet og lagtykkelse i overdekningen oppnås ved å følge kravene som oppgis i denne.

«Materialene i overbygningen skal ha en slik kvalitet og lagtykkelse at det ikke oppstår uakseptable deformasjoner, sprekker eller andre skader i vegdekket i løpet av vegens dimensjoneringsperiode. Denne kvaliteten vil normalt oppnås om kravene i denne normalen overholdes.» (Statens vegvesen, 2014b, s. 249)

Fra å selv påta seg ansvar for at kvalitet sikres gjennom kravene i håndboken blir det i den foreslått reviderte utgaven formulert at ansvaret flyttes over til at kontroll av kvalitet skal dokumenteres tilstrekkelig av entreprenøren, uten at dette automatisk skjer ved å følge håndboken.

«Materialene i overbygningen skal ha en slik kvalitet og lagtykkelse at det ikke oppstår uakseptable deformasjoner, sprekker eller andre skader i vegdekket i løpet av vegens dimensjoneringsperiode. Entreprenørens kontrollomfang skal være så stort at kvaliteten blir dokumentert på en tilfredsstillende måte.» (Statens vegvesen, 2017, s. 177)

Stedfesting

Kravene til stedfesting av komprimeringsarbeid har i stor grad endret seg fra Håndbok 018 til Håndbok N200. I Håndbok 018 stod det at bruk av valsemontert utstyr var valgfritt, men at GPS var et egnet verktøy for å stedfeste arbeidet som var gjort.

«Dersom resultater fra valsemontert utstyr skal inngå i dokumentasjon av utført komprimering, skal det benyttes papirutskrift eller elektroniske datafiler med filformat avtalt med byggherren, og resultatene være stedfestet ved hjelp av GPS eller annen egnet metode. Stedfesting ved hjelp av GPS skal ha en nøyaktighet bedre enn $\pm 1,0$ m.» (Statens vegvesen, 2011, s. 253)

I Håndbok N200 er bruk av GNSS, som for eksempel GPS, innført som standard med tilhørende krav til lagring av resultater og økt krav til nøyaktighet.

«Komprimeringsarbeidets utstrekning og omfang stedfestes i horisontalplanet ved hjelp av GNSS. Kravet om stedfesting gjelder også i tunnel og andre områder med manglende satellittdekning, men da kan annet utstyr som gir tilfredsstillende nøyaktighet brukes. Utstyret skal lagre resultatene, og stedfestingen skal ha nøyaktighet $\pm 0,2$ m eller bedre.» (Statens vegvesen, 2014b, s. 254)

I den foreslåtte reviderte utgaven er dette spisset enda noe ved å åpne for andre verktøy enn GNSS, krav for å overføre resultatene til en sentral database samt at ved bruk av flere valser skal disse kommunisere med hverandre, tilleggene er merket i kursiv.

Komprimeringsarbeidets utstrekning og omfang *skal* stedfestes i horisontalplanet ved hjelp av GNSS *eller andre former for dynamisk stedfesting med tilfredsstillende nøyaktighet*. (...) Utstyret skal lagre *og ha et system for overføring av resultatene til en sentral database*. Stedfestingen skal ha nøyaktighet $\pm 0,2$ m eller bedre. *Dersom komprimeringen utføres av flere valser, skal det være kommunikasjon mellom registreringsystemene i valsene slik at den enkelte valsefører lett kan ha oversikt over komprimeringen utført av egen valse og andres.* (Statens vegvesen, 2017, s. 180)

Komprimeringsplan

For vegarbeider som omfatter 5000 m² eller mer vegareal skal komprimeringsplanen inneholde et valseprogram. Dette utarbeides ved å undersøke hvor mange overfarter som er

nødvendig for å oppnå tilfredsstillende komprimering ved å komprimere en strekning i flere omganger og gjøre målinger på flere komprimeringsnivåer. Dette kan gjøres ved å benytte en av de fire målemetodene introdusert i forrige kapittel: Platebelastning, Modifisert Proctor, nivellement eller responsmålinger.

Målemetodene for platebelastning, Modifisert Proctor og nivellement er uendret fra Håndbok 018 til Håndbok N200, men der Håndbok 018 kun åpner for bruk av responsmålinger dersom de kalibreres mot tradisjonelle målemetoder er dette endret til Håndbok N200.

«Dersom kontroll med valsemontert utstyr (responsmålinger) skal inngå i dokumentasjonen av utført komprimering, skal utarbeidelsen av valseprogrammet kombineres med en kalibrering av responsmålingene i forhold til de krav som er satt.» (Statens vegvesen, 2011, s. 250)

I håndbok N200 introduseres responsmålinger, som vist i Tabell 3.1, som fullverdig målemetode på alle områder. Responsmålinger er gyldig som måleverktøy så lenge kravet om responsmåleverdi mindre enn 10 % fra forrige overfart og det benyttes samme vals, eller vals med lik statisk linjelast.

«En prøvestrekning på minimum 50 meter komprimeres, og gjennomsnittlig responsmåleverdi beregnes etter hver overfart. Nødvendig antall overfarer bestemmes ved at økningen av den gjennomsnittlige responsmåleverdien mellom de to siste overfartene skal være mindre enn 10 %.» (Statens vegvesen, 2014b, s. 255)

Dokumentering av oppnådd komprimering

I Håndbok 018 ble det gjort et skille mellom full dokumentasjon og redusert dokumentasjon der redusert dokumentasjon er en dokumentasjon av at antall valsepasseringer er i tråd med det som ble utarbeidet i komprimeringsplanen og full dokumentasjon er dokumentasjon basert på målinger, det vil si densitetsmålinger, platebelastning eller nivellement. Ved full dokumentasjon var kravene til målinger redusert ved bruk av responsmålinger som kontinuerlig dokumentasjon som vist i tabellen under. Hvordan en skal dokumentere antall overfarer sa håndboken ikke noe om.

	Lengde av kontrollstrekning	
	uten kontinuerlig dokumentasjon	med kontinuerlig dokumentasjon
Densitetskontroll, 5 målinger	100 meter tofelts veg	250 meter tofelts veg
Platebelastning, 1 måling	100 meter tofelts veg	250 meter tofelts veg ¹⁾
Nivellement, 1 profil av 3 punkter	100 meter tofelts veg	250 meter tofelts veg

1) Måling utføres i dokumentert svake punkter. Antall målinger må vurderes.

Tabell 3.2 Figur 520.10 Krav til dokumentasjon av komprimeringsarbeid for mekanisk stabiliserte materialet i overbygningen (Statens vegvesen, 2011, s. 254)

I Håndbok N200 er dette nå endret til at antall overfarter skal dokumenteres for alle lag og denne skal leveres i form av en kartfremstilling av resultatene, samt gjennom en sluttdokumentasjon med platebelastning på øverste mekanisk stabiliserte lag.

Kontrollomfanget med og uten kontinuerlig responsmåling er uendret.

	Lengde av kontrollstrekning	
	uten kontinuerlig responsmålinger	med kontinuerlig responsmålinger ¹⁾
Platebelastning	100 meter tofelts veg	250 meter tofelts veg

1) Måling utføres i dokumentert svake punkter.

Tabell 3.3 Figur 520.10 Krav til sluttdokumentasjon av komprimeringsarbeid for mekanisk stabiliserte materialet i overbygningen (Statens vegvesen, 2014b, s. 256)

Generelt om utførelse av komprimering

Håndbok N200 kommer med generelle krav til komprimeringsarbeidet som at steinmaterialet skal være fuktig ved komprimering, at en skal forvise seg om at materialet ikke knuses unødvendig ved visuell inspeksjon samt anbefalt kjørehastighet.

«Steinmaterialet skal være fuktig ved komprimering, dette vil i de fleste tilfeller kreve vanning før og under komprimeringsarbeidet. Dette gjelder også grove

materialer.» (Statens vegvesen, 2014b, s. 254)

«Ved komprimering av pukk og kult skal man underveis i komprimeringsarbeidet forvise seg om at materialet ikke knuses unødvendig ned (visuell inspeksjon), før man fortsetter komprimeringen.» (Statens vegvesen, 2014b, s. 253)

«Steinmaterialet komprimeres jevnt, og det skal være overlapp mellom valesporene for å sikre jevn stivhet på arealer som er bredere enn valsebredden. Anbefalt kjørehastighet er 3-5 km/t.» (Statens vegvesen, 2014b, s. 253)

Videre gir håndbok N200 en veiledning til valg av valseutstyr, lagtykkelser og antall overfarter for ulike massetyper. Håndboken gir ingen ytterligere føringer for når denne skal eller kan følges, men må oppfattes som en veiledning for komprimeringsarbeider som omfatter mindre enn 5000 m². Dette spesifiseres i den foreslått reviderte utgaven:

«Tabell 602.3 er en veiledning til valg av valseutstyr, lagtykkelser og antall overfarter for ulike materialtyper dersom valseprogram ikke er utarbeidet (se pkt 602.22).» (Statens vegvesen, 2017, s.179)

I den reviderte utgaven er som nevnt kapitlene omorganisert, derav endring i navn, men for ordens skyld er tabell 602.3 i den reviderte utgaven tilsvarende figur 520.6 i Håndbok N200 slik den er nå, her *Tabell 3.4*. Punkt 602.22 som det refereres til er punktet om utarbeidelse av valseprogram og skillet mellom komprimeringsarbeid som omfatter mer eller mindre enn 5000 m².

Komprimeringsutstyr			Uknuste materialer Sand, grus		Knuste materialer Grus, pukk, kult, gjenbruksbetong	
Valsetype	Statisk lineær vekt [kg/cm] 1)	Total vekt [tonn]	Lagtykk. [mm]	Min. antall passeringer 2)	Lagtykk. [mm]	Min. antall passeringer 2)
Vals med én trommel (anleggsvals)	15 - 25	6 - 8	≤ 400	8	≤ 200	5
				-	200 – 400	7
	25 – 35	8 - 10	≤ 400	7	≤ 200	4
			500	8	200 – 400	7
			-	-	400 – 500	8
	35 – 45	10 – 13	≤ 400	5	≤ 200	4
500			6	200 – 400	5	
-			-	400 – 500	6	
> 45	> 13	≤ 400	3	≤ 400	3	
		500	4	400 - 500	4	
Vals med to tromler ³⁾ (tandemvals)	(15 – 25)	2 – 4	200	6	200	6
	(15 – 25)	4 – 8	300	5	400	6
	(25 – 35)	8-13	400	5	400	5

1) Vekt på valseenheten regnet per cm valsebredde per valsetrommel

2) Frem og tilbake i samme spor = 2 passeringer

3) Vals med to tromler er ikke egnet til komprimering av forsterkningslag

Tabell 3.4 Figur 520.6 Komprimering av underbygning (Statens vegvesen, 2014b, s. 253)

Videre ser vi i Tabell 3.5 det Håndbok N200 vurderer som nødvendig antall passeringer, avhengig av materialtyper, komprimeringsutstyr og lagtykkelser for fyllinger. Dersom det baseres på måleresultater fra resposmålinger eller tradisjonelle målemetoder, kan det settes andre krav enn det som oppgis i Tabell 3.5, i tråd med kravene tidligere omtalt i kapittelet.

Underbygnings- materiale	Konsi- stens	Komprimerings- utstyr	Statisk linjelast [kN/m]	Masse [tonn]	Lagtykkelse etter komprimering [mm]	Antall passe- ringer
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	Vibrerende vals	> 30		200 – 300	6 – 8
Finsand, silt	Bløt	Beltmaskin		10 - 20	200	2 - 4
	Tørr	Vibrerende vals	> 30		200	4 - 6
		Dumper/ hjullaster			25 – 75	200
Leire, siltig leire	Bløt	Beltmaskin (lavt marktrykk)		10 – 20	200	2 – 4
	Tørr	Dumper/ Hjullaster		40	200	2 – 4

Tabell 3.5 Figur 256.3 Komprimering av underbygning (fylling) (Statens vegvesen, 2014b, s. 98)

3.5 Planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid

I tilknytning til Statens vegvesens FoU-program *Varige veger* (2011 – 2015) ble rapporten *Planlegging og utførelse av komprimeringsarbeider* (Fladvad og Aksnes, 2014) formulert. Hensikten med programmet var å øke dekkelevetid og redusere årskostnader for vegkonstruksjonen på det norske vegnettet (Statens vegvesen, 2016b). Rapporten har til hensikt å være en veileder ved planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid.

Rapporten inneholder beskrivelser av metoder for å gjennomføre komprimering slik at denne er i tråd med kravene som stilles i N200 Vegbygging, samt blant annet informasjon om viktigheten av komprimering, variasjon i effekt ved komprimering på varierende grunnforhold og praktisk gjennomføring av komprimeringsarbeider.

Om komprimering av materialer som ligger på leire sier rapporten følgende:

«Man skal være forsiktig med vibrerende komprimering av materialer som ligger på leire. Vibrasjoner kan forplante seg i grunnen, noe som gir risiko for skader på nærliggende konstruksjoner. I tillegg vil effekten av komprimeringsarbeidet gå tapt om vibrasjonene går ned i leira og den får en fjærende effekt. Uten responsmåler kan det være vanskelig å oppdage at komprimeringen ikke har noen effekt, men det vil resultere i store setninger når materialet blir utsatt for trafikkbelastninger. Man skal være spesielt forsiktig ved bruk av vibrerende komprimering på undergrunn av kvikkleire, fordi det kan få store konsekvenser for omgivelsene om komprimeringen gjør kvikkleira ustabil.» (Fladvad og Aksnes, 2014, s. 20)

Videre sier rapporten at kontinuerlig komprimeringskontroll ved bruk av responsmålinger kun kan benyttes når valsen kjører med vibrasjon.

«Responsmålingene fungerer bare når valsen kjører med vibrasjon. Det er fordi man bruker vibrasjonsbevegelsen til valsetrommelen til å tolke stivheten til underlaget» (Fladvad og Aksnes, 2014, s. 25).

3.6 Internasjonale retningslinjer for CCC

I sin prosjektrapport *Intelligent Soil Compaction Systems* (Mooney, *et al.*, 2010) undersøker forfatterne intelligent komprimering og kontinuerlig komprimeringskontroll i for å utvikle retningslinjer for bruk av intelligent komprimering i kvalitetssikring i den amerikanske bransjen. Rapporten tar for seg eksisterende retningslinjer utviklet i Østerrike, Tyskland og Sverige, hvor kvalitetssikring for CCC ble introdusert tidlig på 1990-tallet, og har i tillegg gjennomført en rekke feltundersøkelser med valser og valsemonterte responsmålingsverktøy fra forskjellige leverandører.

De europeiske retningslinjene kan inndeles i to metoder hvor den første går ut på å kalibrere responsmålinger over en viss strekning, 100 meter i Østerrike og tre ganger 20 meter i Tyskland, fra valsene mot resultater fra platebelastning. De skiller seg fra hverandre der man i den tyske varianten har til hensikt å identifisere en måleverdi fra responsmålingene som tilsvarer ønsket tetthet i materialet. For å oppnå kravet må 90 % av måleresultatene overstige

den ønskede målte verdien. I den østerrikske varianten kalibrerer man til økningen i målt verdi for en overfart er mindre enn 5 %.

Den andre metoden er å benytte CCC i komprimeringsarbeidet. I retningslinjene medfører det å lage en grafisk fremstilling av måleresultatene etter å ha komprimert til de målte verdiene ikke lenger øker med mer enn 5 %. Basert på denne identifiseres de svakeste punktene som testes med platebelastning eller densitetsmålinger (Proctor Test). Dersom disse testene ikke er akseptable må området komprimeres til målene nås.

Retningslinjene rapporten til slutt foreslår implementert i den amerikanske bransjen baserer seg på de europeiske retningslinjene samt en rekke egne undersøkelser gjort på respsmålinger for prosjektet. Det blir presentert seks kvalitetssikringsmetoder som skal imøtekomme variasjoner i anleggsplasser og forhold. Disse presenteres i tabellen under.

Valsemontert kvalitetssikringsmetode	Ønsket respsmåleverdi	Akseptkriteria
Mulighet 1: Stikkprøver av svake områder identifisert med valsemålinger	Ikke nødvendig	Stikkprøver gjort i de identifiserte svakeste områdene skal tilfredsstillende kontraktfestede mål.
Mulighet 2a: Overvåkning av prosentvis endring i gjennomsnittlig målte verdi	Ikke nødvendig	Oppnå $\leq 5\%$ endring i gjennomsnittlig målte verdi fra forrige passering
Mulighet 2B: Overvåkning av prosentvis endring av måleresultater per område	Ikke nødvendig	Oppnå en forutbestemt endring i % fra forrige passering for en bestemt seksjon.
Mulighet 3a: Empirisk relatere målte verdier til resultater fra stikkprøver	Basert på sammenhengen mellom respsmålinger og stikkprøver: Målte respsmålinger skal være lik de målverdier som	Oppnå respsmåleverdier som beskrevet i en gitt prosentandel av den evaluerte strekningen.

	korresponderer med resultater fra tradisjonelle feltundersøkelser som tilfredsstiller krav til komprimering.	
Mulighet 3b: Komprimeringskurve basert på responsmåleverdier.	Ønsket responsmåleverdi er lik den gjennomsnittlige responsmåleverdi man får når økningen er $\leq 5\%$ fra forrige passering.	
Mulighet 3c: Empirisk relatere responsmåleverdier til resultater fra laboratorieundersøkelser.	Basert på sammenhenger mellom responsmålinger og resultater fra laboratorieundersøkelser: Ønsket responsmåleverdi er lik responsmåleverdi som tilsvarer resultat for komprimering fra for eksempel Proctor test.	

Tabell 3.6 Table 7.1 Summary of specification options (Mooney, et al., 2010, s. 156, egen oversettelse)

De seks alternativene i tabellen er inndelt i tre kategorier. I mulighet 1 brukes CCC til å assistere i kvalitetssikringen, men akseptkriteriene er basert på stikkprøver. I alternativ 2a og 2b er akseptkriteriene basert på responsmålinger uten krav til å kalibrere disse mot resultater fra feltundersøkelser. Akseptkriterier for mulighet 3a, 3b og 3c baserer seg på å nå en ønsket responsmåleverdi basert på kalibrering mot feltundersøkelser eller laboratorieundersøkelser.

Fra Håndbok 018 som forutsatte bruk av responsmålinger måtte en legge til grunn en kalibrering av responsmålingene i forhold til de krav som var satt til måleresultater fra platebelastning, nivellement eller Proctor Test kan det leses at disse kravene også her beskrives som gyldige alternativer, og at de metodene som er lagt til i Håndbok 200 er i tråd med anbefalingene fra denne rapporten.

3.7 Forsøk med MDP som måleinstrument

Bakgrunnen for utviklingen av MDP som responsmålesystem for valser er at eksisterende verktøy som baserer seg på rekyl fra grunnen fra vibroen på valse er mindre effektive på finkornede masser som silt og leire (White, *et al.*, 2005). Grunnen til at bruk av MDP som responsmåleverktøy på finere masser er fordelaktig er at MDP ikke er avhengig av bruk av vibroen for å evaluere komprimeringsgraden og at variasjoner i hardhet i komprimeringsmassene vil gi store utslag på CMV-målingene.

Sammenheng mellom responsmåling og tradisjonelle måleresultater på granulær jord

For å evaluere CMV og MDP som responsmåleverktøy ble det gjennomført en feltundersøkelse der resultatene fra CMV- og MDP-målinger fra fem strekninger på 30 meter bestående av forskjellige granulære masser ble testet opp mot komprimeringsmålinger gjort av strekningene på stedet (White og Thompson, 2008). Fra undersøkelsen trekker forfatterne frem at CMV viste seg å være mindre variabel enn MDP, men at når en ser på gjennomsnittsmålingene over hele strekningen reduseres variasjonen mellom MDP- og CMV-målinger. Det er en korrelasjon mellom de tradisjonelle målingene gjort på stedet og MDP- og CMV-målingene. Forholdet mellom CMV-målinger og punkttestene beskrives som lineær. Påvirkning på resultatene fra væskeinnholdet i jorden ble ikke avklart.

Estimat av komprimeringsgrad av kohesjonsjord

En feltundersøkelse ble gjennomført for å evaluere målinger gjort med MDPs evne til å estimere komprimeringsgrad og vurdere hvordan forskjellige parametere påvirket denne (Thompson og White, 2008). Dette som et forsøk på å utvide bruksområdet til MDP, etter at det, som beskrevet over ble verifisert at MDP kunne indikere komprimeringsgrad for granulære masser (White og Thompson, 2008). Feltundersøkelsen ble gjennomført ved å lage 15 teststriper, med tre forskjellige kohesjonsjordarter som igjen ble fordelt med tre forskjellige vanninnhold og to lagtykkelser. Det ble brukt en Caterpillar CP-533 valse med statisk padfoot-trommel og integrert MDP. Dataene fra MDP-målingene ble så sammenlignet med tradisjonelle målemetoder gjort mellom hver passering. Testene ble gjennomført innendørs som tillot posisjonering av MDP-målingene ved bruk av laser.

Feltundersøkelsen viste at variasjon i målinger gjort med MDP fulgte variasjonen i komprimeringsgraden og endringer i egenskapene til den komprimerte massen. Variasjonen i

målingene gjort med MDP, samt målingene gjort med tradisjonelle målemetoder var større for kohesjonsjordmassene enn for den for de granulære massene (White og Thompson, 2008).

Påvirkning på responsmålinger med MDP fra underliggende lag

I et forsøk på å kartlegge hvordan variasjon i de underliggende lagene påvirker responsmålinger gjort med MDP på granulær jord ble det gjennomført en feltstudie der granulær jord ble lagt på en strekning som var inndelt i to, der den ene delen hadde en våt og myk base under den granulære massen og på den andre halvdel ble det lagt betong under den granulære massen (Vennapusa, White og Gieselman, 2009). Den granulære massen var lik for hele strekningen, og ble lagt ut i syv lag som. Strekningen ble komprimert med en 12 tonn tung Caterpillar CP563 vals med vibro og padfoot-trommel som registrerte MDP for hvert lag som ble lagt ut. Tradisjonelle målinger ble gjort mellom hver passering. Både de tradisjonelle målemetodene og verdiene fra MDP ble beviselig påvirket av det våte og løse underliggende laget, men variasjonen kom ved antall lag med granulær masse som kunne legges på før denne påvirkningen stoppet. Målinger fra MDP viste at den registrerte den løse massen opp til det femte laget var lagt ut, som tilsvarte en høyde på 1,26 m. Dette er vesentlig dypere enn Caterpillar selv presenterer at måledybden til MDP er, som oppgir 0,3 – 0,6 meter (CAT, 2014). Det tradisjonelle målemetodene ga kun utslag frem til det tredje laget var lagt på.

Sammenligning av målte verdier ved bruk av CMV og MDP

Et prosjekt ble gjennomført for å sammenligne datasettene man får fra MDP og CMV for å kartlegge sammenhenger og oppførsel med forskjellige valser og forskjellige innstillinger på valsene (Meehan og Tehrani, 2011). I prosjektet ble en Caterpillar CS56 med vibro og glatt trommel utstyrt med både responsmålere av typen CMV og MDP som tillot samtidig vurdering av komprimeringsgrad basert på data fra de to systemene. Fra datasettene ser forfatterne noen trender som er viktige å forstå for at den praktiske bruken av CMV og MDP skal gi god effekt på komprimeringsarbeidet. Ettersom CMV registrerer endringene rekylene bakken gir på den teoretiske svingningen til trommelen vil harde masser gi høy CMV-verdi, og den stiger når massen komprimeres. For MDP-sensoren fra komprimeringen av den samme massen vil verdiene synke når massen komprimeres da verdiene registrerer rullemotstand for valsen.

Resultatene fra MDP viste en tydelig og direkte trend i at rullemotstanden gikk ned for hver passering med valsen, dette var ikke like presist for målingene gjort med CMV. Det skyldes i følge forfatterne at dataene fra CMV i større grad påvirkes av underliggende lag i den komprimerte massen. Dette gjør at responsmålinger gjort med CMV kan oppleves vanskeligere å tolke, men at de samtidig gir mer informasjon om den komprimerte massen enn målinger gjort med MDP gjør. Dette gjør i følge forfatterne at CMV-målinger mer presist kan beskrive den komprimerte massens kvalitet på lengre sikt, som gjør MDP sårbart i tilfeller der entreprenøren selv ikke har lagt fundamentet som komprimeres.

Videre viser prosjektet at det ikke er noen sammenheng mellom en direkte sammenligning mellom målingene fra CMV og MDP punkt for punkt, men om en ser på gjennomsnittene av de målte verdiene gir det en lineær sammenheng.

Bruk av MDP til å estimere tørr vekt av jordart

Som beskrevet tidligere har CCC tradisjonelt krevd at responsmålingene kalibreres mot tradisjonelle målemetoder som platebelastning eller Proctor test. Et prosjekt er gjennomført for å prøve å estimere tørr enhetsvekt for en kohesjonsmasse basert på målte verdier fra MDP (Thompson og Schmitt, 2013). I studien defineres komprimerende arbeid som den energien som må til for å oppnå målbar fortetting av massen. Videre ble måleresultatene sammenlignet med en Proctor test for å vise sammenheng mellom vanninnhold og optimal tørr densitet.

Fordi MDP-målinger baserer seg på den rullemotstanden og den kraften som kreves for å overgå denne er verdiene den gir et resultat av forholdene i massen som komprimeres og egenskapene til valsen som vekt, amplitude, frekvens, hastighet ved komprimering. Dette gjør at MDP-målinger ikke direkte kan relateres til den komprimerte massens egenskaper, fordi en må ta hensyn til valsens egenskaper og innstillinger i tillegg.

Feltforsøk ble deretter gjennomført med tre forskjellige valser, med og uten vibro, med slett trommel og padfoot-trommel der gjennomsnittlige MDP-målinger sammenlignes med Proctortester for å kartlegge sammenhenger mellom MDP-målingene og vanninnholdet i den komprimerte massen. Gjennom prosjektet klarte forfatterne å formulere en prognose på optimal tørr densitet basert på MDP-målinger sammenlignet med resultatene fra Proctortester, som de mener gjør at prognoser på hvor godt komprimert massen kan bli før komprimeringen ferdigstilles basert på modellen de utviklet fra MDP-målinger.

4 Resultater

I dette kapittelet presenteres data fra komprimeringsarbeidene som er observert i tilknytning til masteroppgaven. Responsmålingene som er gjort med valsene observert registreres i programmet VisionLink, som forfatteren har fått tilgang til, beskrivelsene og resultatene i dette kapittelet er hentet derfra.

4.1 Bakgrunn for resultatene

Feltundersøkelsene som er gjort i forbindelse med denne oppgaven er gjort med den hensikt å:

Undersøke om machine drive power tilfredsstiller de krav som stiller til valsemonterte responsmåleverktøy i Håndbok N200.

Undersøke om bruk av machine drive power eventuelt kan bidra til å forbedre kravene som stilles i Håndbok N200.

Beskrive den praktiske bruken av machine drive power som responsmåleverktøy.

Videre vil det gjennom å undersøke datasettene fra de forskjellige komprimeringsarbeidene som i dette kapittelet presenteres identifisere variasjoner i den praktiske bruken av verktøyet.

4.2 Eidsvoll

Den 31.05. ble det gjennomført et besøk til Strandsvegen ved Eidsvoll der Norsk Asfaltfresing AS utførte dypstabilisering av et vegdekke. Dette innebærer gjenbruk av materialet i det eksisterende vegdekket når ny veg legges ved at vegdekket freses sammen med deler av bærelaget og danner en ensartet granulær masse som så komprimeres.



Figur 4.1 Dypstabilisering tykkelse

Jobben utgjorde i overkant av 53.000 ha eller 530 km² og ble gjort av to stykk Caterpillar CS78B valser utstyrt med både MDP og CMV responsmålingsystemer.

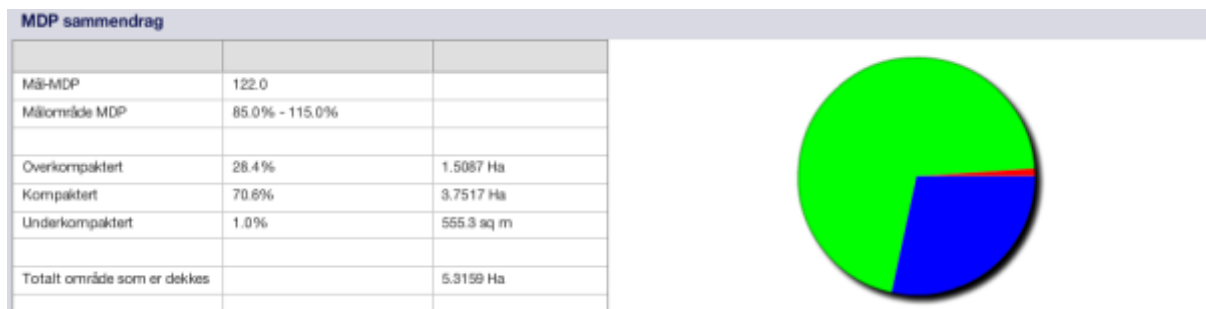
Caterpillar CS78B	
Vekt	18.700 kg
Statisk linjelast	63 kg/cm
Bredde trommel	2134 mm
Høy amplitude	2,1 mm
Lav amplitude	0,98 mm
Frekvensområde	23,3 – 28 Hz (1400 – 1680 vpm)
Komprimeringsdybde	160 cm

Tabell 4.1 Spesifikasjoner CS78B (CAT, 2017b)

Før vi ankom var en kalibreringsstrekning komprimert til man oppnådde prosentvis MDP- endring mellom passeringer mindre enn 10 %. Basert på komprimeringen av denne kalibreringsstrekningen ble målverdien for MDP-målinger vurdert til 122. Dette betyr i praksis at responsmålingene fra MDP hadde verdi 122 når man på kalibreringsstrekningen observerte at den prosentvise endringen i MDP fra en overfart til den neste var mindre enn 10 %. Vegstrekningen ble deretter komprimert med MDP-mål lik 122. Resultatene fra dette komprimeringsarbeidet presenteres under.

I Figur 4.2 presenteres et sammendrag av MDP-målingene de to valsene gjorde under komprimeringsarbeidet. I figuren kommer det frem at mål-MDP er 122, som beskrevet over. Basert på responsmålingene som er gjort kontinuerlig under komprimeringsarbeidet deles området inn i tre kategorier: *overkompakt*, *kompakt* og *underkompakt*. Videre er målområde MDP satt til 85 % - 115 %, dette betyr at grensen for at et område karakteriseres som *kompakt* er MDP lik 122 ± 15 %, altså vil områder med MDP-målinger mellom 103,7 og 140,3 i dette tilfellet karakteriseres som *kompakt*.

Komprimeringsarbeidene ble gjort av valseførere som fra før ikke var kjent med MDP som responsmåleverktøy og ble derfor benyttet som opplæring for disse av en representant fra leverandøren Pon Equipment som var tilstede.



Figur 4.2 MDP Sammendrag Eidsvoll (MDP-mål 122)



Figur 4.3 Fargekoder MDP Sammendrag

Fra Figur 4.2 ser vi at 28,4 % av det komprimerte området karakteriseres som *overkompaktet* basert på MDP-målingene og mål-MDP lik 122. Det kom frem at den ene valse ikke kommuniserte data til VisionLink, og heller ikke til den andre valse. Dette gjorde at disse dataene i ettertid måtte hentes inn i VisionLink og en ny mål-MDP måtte kalkuleres. Det nye målet for MDP-verdi ble kalibrert til 130, som vist i Figur 4.4. Ellers var målområdet det samme som tidligere, $\pm 15\%$.

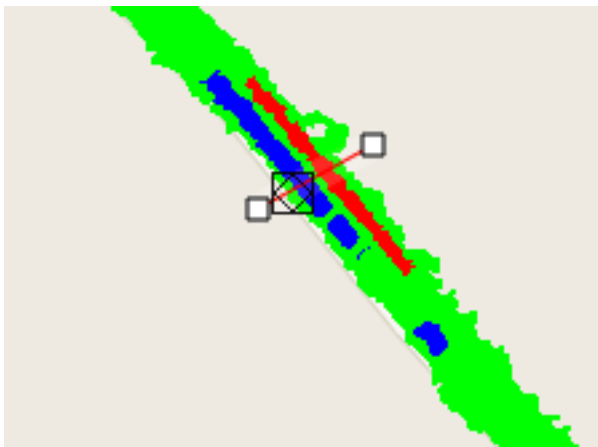


Figur 4.4 MDP Sammendrag Eidsvoll (MDP-mål 130)

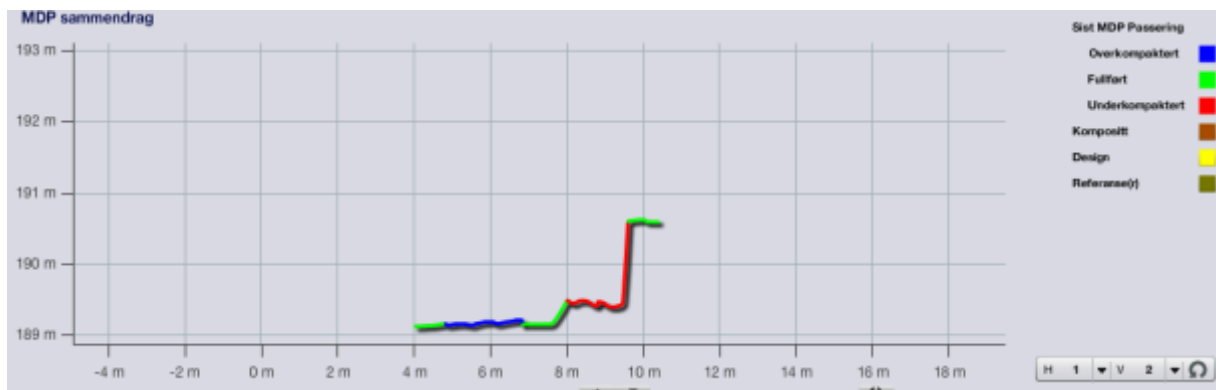
Det er den samme massen som presenteres i Figur 4.2 og Figur 4.4, det er kun hvilke MDP-verdier som aksepteres som er endret. Fra å ha en masse hvor 28,4 % karakteriseres som *overkompaktet*, 1,0 % som *underkompakter*, og 70,6 % som *kompaktet* er dette blitt justert til at 6,2 % karakteriseres som *overkompaktet*, 4,6 % som *underkompakter*, og 89,2 % som *kompaktet* kun ved å justere mål-MDP. Det er fra Figur 4.2 til Figur 4.4 altså ingen endring i

komprimeringsgrad, eller opplevd rullemotstand for valsen, kun hvilken rullemotstand som aksepteres.

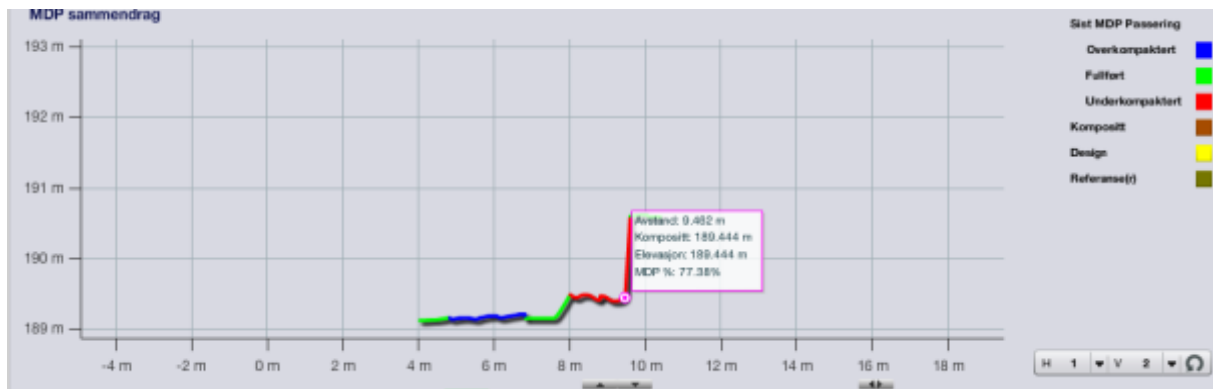
Ved ferdig komprimert område basert på ny mål-MDP kan responsmålingene gjort på strekningen vurderes. I Figur 4.5 er det tatt et utsnitt av strekningen der det er registrert både *overkompaktering* og *underkompaktering*. Fra dette utsnittet er det gjort et kutt som viser høyden og bredden på området som er komprimert og som gir mulighet til å undersøke utstrekningen av *overkompaktering* og *underkompaktering*. Figur 4.6, 4.7 og 4,8 er alle av det samme kuttet og viser prosentvis oppnåelse av mål-MDP.



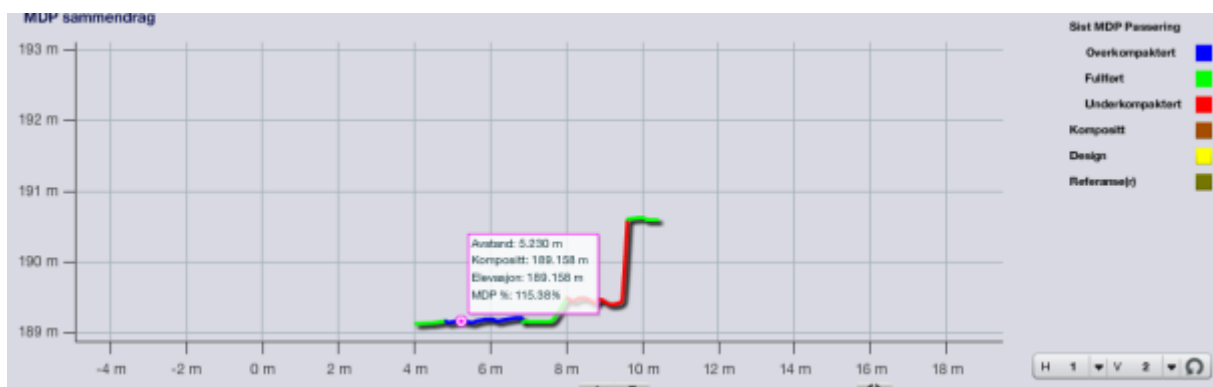
Figur 4.5 Utsnitt kart Eidsvoll, sammendrag MDP



Figur 4.6 Kutter fra utsnitt sammendrag MDP, Eidsvoll



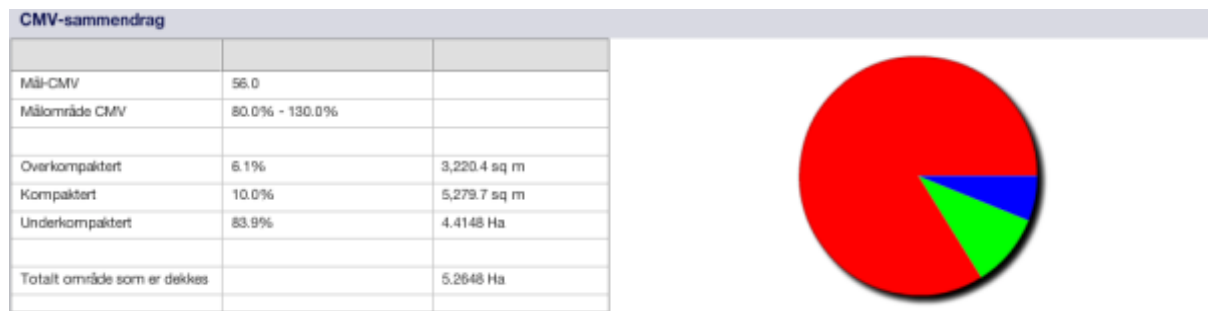
Figur 4.7 Kutter fra utsnitt sammendrag MDP underkompaktert MDP-verdi, Eidsvoll



Figur 4.8 Kutter fra utsnitt sammendrag MDP overkompaktert MDP-verdi, Eidsvoll

I Figur 4.7 ser vi at det *underkompakterte* området har en verdi på 77,38 % av mål-MDP, som gir en målt MDP til 100,6. Det store hoppet i grafen skyldes at valsens posisjoneringssystem har registrert forskjellige høyder. I Figur 4.8 ser vi at det *overkompakterte* området har en verdi på 115,38 % av mål-MDP, som gir en målt MDP til 150,0. Ettersom MDP måles relativt til den oppnådde verdien fra kalibreringsstrekningen er det den prosentvise oppnåelsen mot mål-MDP som er av interesse og ikke nødvendigvis selve MDP-verdien.

Ettersom valsene som ble brukt er utstyrt med både MDP og CMV er det også registrert responsmåliger fra CMV fra komprimeringsarbeidene. Resultatene fra disse responsmålingene presenteres i de følgende figurene.

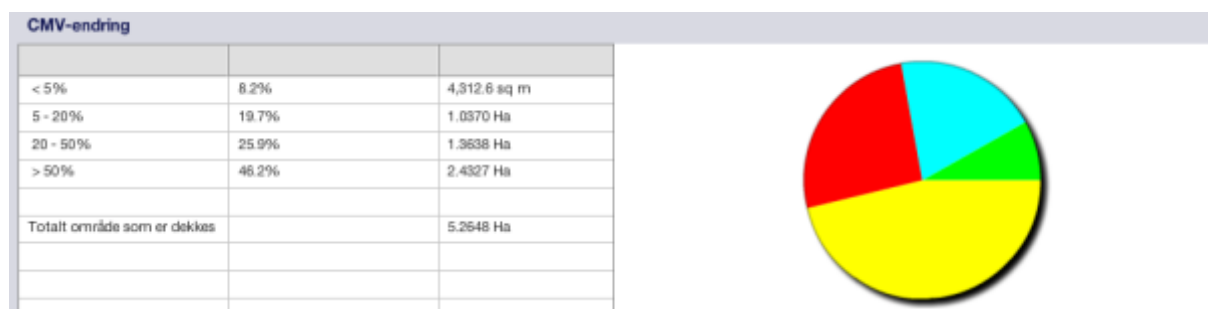


Figur 4.9 CMV Sammendrag, Eidsvoll

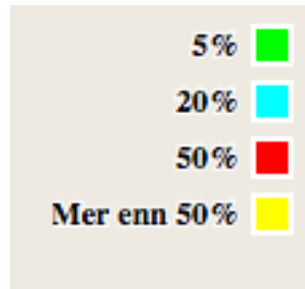


Figur 4.10 Fargekoder CMV Sammendrag

Den samme massen som ved bruk av MDP som responsmåleverktøy ble vurdert som 89,2 % *kompaktert*, blir vurdert helt annerledes når vi ser på responsmålingene gjort med CMV. Mål-CMV er her den CMV-verdien man fikk når man kalibrerte mål-MDP. Dette er altså ikke gjort med tanke på CMV, men den registreres også. Fordi det på dette prosjektet kun er snakk om komprimering av omtrent 25 cm masse vil CMV motta rekyl fra masser mye lenger ned enn den aktuelle massen da den måler 1,2 meter ned. Det er derfor hensiktsmessig å benytte MDP som responsmåleverktøy.



Figur 4.11 CMV prosentvis endring, Eidsvoll



Figur 4.12 Fargekoder CMV prosentvis endring, Eidsvoll

I VisionLink kan en kontinuerlig følge med på prosentvis endring i responsmålinger fra CMV, en mulighet som per i dag ikke finnes for MDP. På den komprimerte strekningen er det registrert prosentvis endring i CMV som vist i Figur 4.11. Vi ser at 46,2 % av strekningen hadde en endring i CMV-verdi på over 50 % fra nest siste til siste overfart, altså til den overfarten da MDP-verdien ble vurdert som godkjent på 89,2 % av området.

4.3 Øye – Eidsbru

I forbindelse med omleggingen av E16 rundt Øye sentrum, som vist i figur 4.13, gjennomfører Strabag AS, som bygger veien, komprimeringsarbeider der den nye traséen skal gå. Prosjektet er fortsatt i byggefasen, men gjennomførte og pågående komprimeringsarbeider vil beskrives her. Selve arbeidet ble besøkt 13.06.2017, derfor vil kun datasettene fra arbeider gjort før dette beskrives basert på data tilgjengelig fra VisionLink. I tilknytning til besøket som ble gjort på anlegget ble det også gjennomført opplæring av valseførere på anlegget i bruk av responsmålingssystemene valsene var utstyrt med. Denne opplæringen ble gitt av en representant fra Pon Equipment, og ble fulgt av undertegnede. En vurdering av arbeidene før og etter denne opplæring blir en del av dette delkapittelet. Det er benyttet en CAT CS74B vals utstyrt med både CMV og MDP, med spesifikasjoner som beskrevet i Tabell 4.2, og arbeidet omfatter i skrivende stund omtrent 8600 m²,

Caterpillar CS74B	
Vekt	16.000 kg
Statisk linjelast	49,7 kg/cm
Bredde trommel	2134 mm
Høy amplitude	2,1 mm
Lav amplitude	0,98 mm
Frekvensområde	23,3 – 28 Hz (1400 – 1680 vpm)
Komprimeringsdybde	130 cm

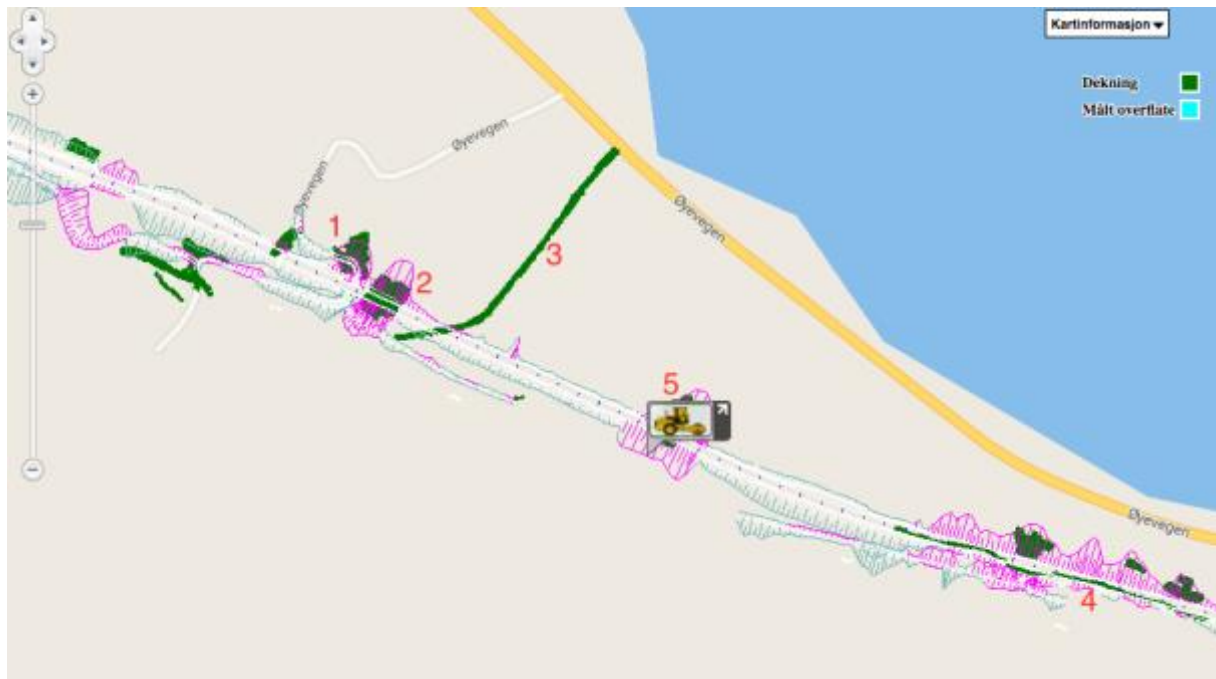
Tabell 4.2 Spesifikasjoner CS74B (CAT, 2017a)



Figur 4.13 Illustrasjon trasé E16 Øye (Google Earth)

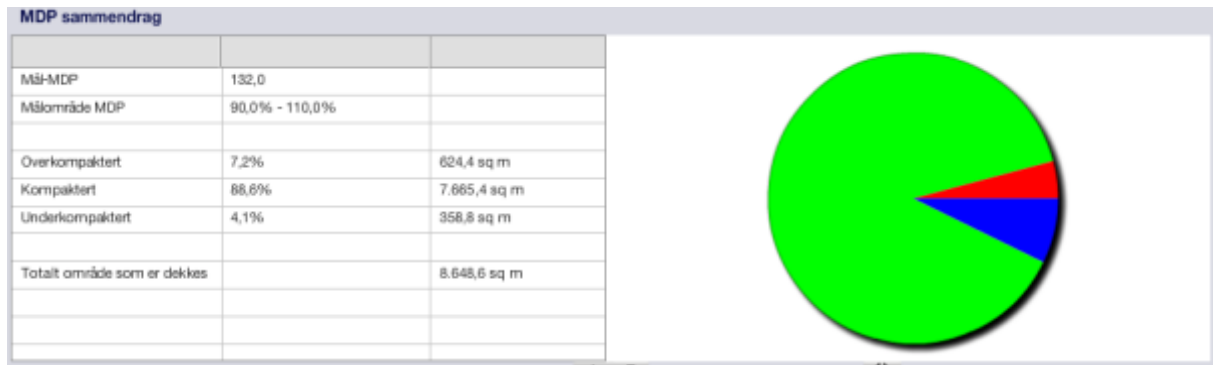
I Figur 4.14 er det vist et utsnitt over dekningsarbeidene gjort som illustrerer hvordan arbeidene utføres. I punktene 1 og 2 i figuren ser vi to eksempler på raviner som fylles lagvis og komprimeres for hvert lag. Noen av disse forklares ytterligere senere, da det er disse som er komprimert med tanke på den fremtidige vegtraséen. Punkt 3 illustrerer en adkomstveg til området og stripen over punkt fire viser en stripe valse har kjørt langs anleggsveien. Det er lagret data om responsmålinger fra alle områder som er dekket på kartet. Dette betyr at den totale oversikten over responsmålinger inkluderer data fra overfarten i punkt fire, der valseføreren kun har transportert valse fra et sted til et annet, men gjort dette med responsmålinger aktivert. Det er derfor viktig også å vurdere områdene separat for å få et

enkeltstående bilde på komprimeringsarbeidene. I punkt fem ligger Ravine 1050, som er benyttet i vurderingen av MDP fra dette prosjektet.



Figur 4.14 Dekning komprimeringsarbeider Øye – Eidsbru (VisionLink)

Et sammendrag av responsmålingene gjort med MDP fra komprimeringsarbeidene gjort før en ny opplæring ble gjennomført presenteres i Figur 4.14. Mål-MDP for dette prosjektet var satt til å være 132, og til forskjell fra arbeidene ved Eidsvoll er målområdet for MDP her vurdert til 90 – 110 %. Dette øker kravene til hvilke MDP-målinger som vurderes som godkjente. MDP-målinger med et avvik større enn 10 % den ene eller andre vegen vil markeres som avvik, enten *overkompaktert* eller *underkompaktert*. Dette er en oversikt over hele området som inkluderer blant annet adkomstvegen i punkt 3 og transportetappen i punkt 4 i figur 4.14.



Figur 4.15 Sammendrag MDP Øye - Eidsbru

Ravine 1050

For å se nærmere på bruken av MDP og CMV på dette prosjektet må vi derfor se på data samlet inn fra responsmålinger for raviner separert fra resten av prosjektet og samtidig se på ravinene lagvis. Da anlegget ble besøkt ble lag 6 på Ravine 1050 kalibrert og komprimert så dataene fra komprimering av tidligere lag vil nå bli sammenlignet med dataene fra dette laget. I lagene 2, 3, 4 og 5 i Ravine 1050 som det er tilgjengelig datasett fra har man ikke kalibrert frem en mål-MDP som grunnlag for resten av komprimeringsarbeidene, det er i stedet benyttet mål-CMV lik 30 som utgangspunkt da dette ble oppfattet som korrekt etter kalibrering av lag 2. Mål-MDP er satt til 132, men ikke på bakgrunn av kalibrering. På bakgrunn av kalibrering av lag 2 og Figur 256.3 i N200 (her Tabell 4.3) ble 5 overfarter med vibrerende vals vurdert som nødvendig. Lagene ble lagt ut med dybde på to meter og området økte fra omtrent 650 m² på nivå 2 til omtrent 900 m² på nivå 6. Denne økningen skyldes skråningenes helning rundt ravinen som tillot at fyllingen økte i utbredelse i østlig retning, og generelt gjorde at arealet økte.

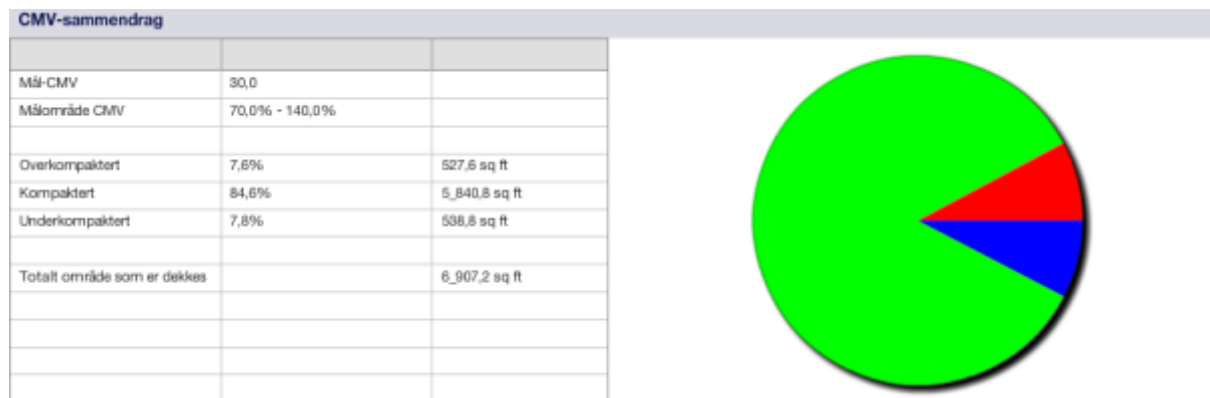


Figur 4.16 Ravine 1050 oversiktsbilde

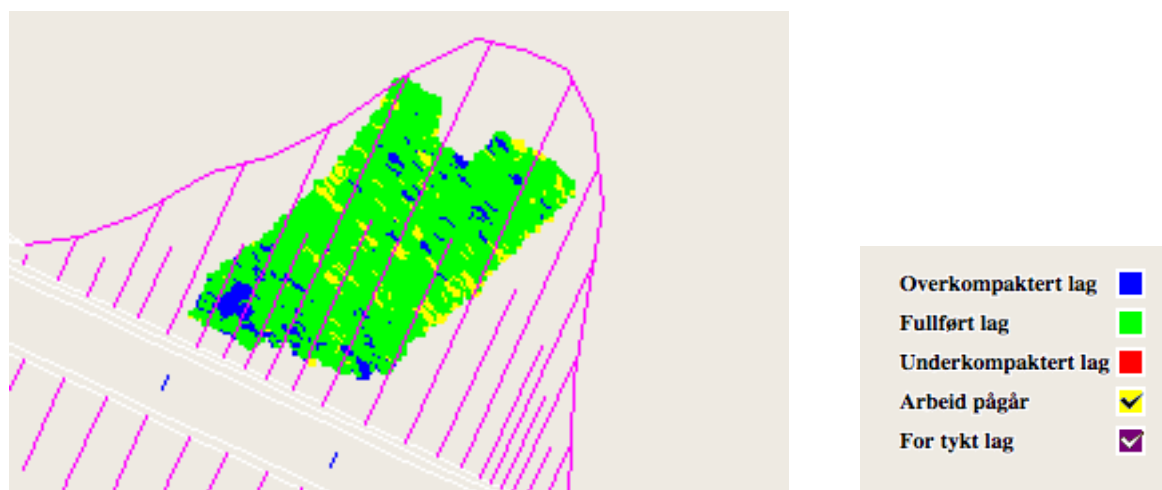
Foto: E. Torpe

Nivå 2

Lag 2 ble komprimert på bakgrunn av kravene i N200 og med CMV som responsmåleverkøy. I Figur 4.17 presenteres hvordan de komprimerte massene i nivå 2 kategoriseres basert på mål-CMV lik 30. Basert på oversikten over oppnåelse av CMV-mål i Figur 4.18 kan en se hvor det kategoriseres som henholdsvis *overkompaktert*, *underkompakter* og *kompaktert*. I figuren ser det ut til at en del av området kategoriseres som *Arbeid pågår*, men når vi ser på et kutt av disse områdene som ser ut til å være under arbeid i Figur 4.20 kommer det frem at disse områdene er *underkompaktert*. Hvorfor det kommer frem som *Arbeid pågår* skyldes trolig en feil i VisionLink. I Figur 4.18 ser vi at det ikke er utbedret i punkter som valsen har registrert som *underkompakterte* underveis, hvordan dette kan gjøres vises når nivå 6 gjennomgås. Komprimeringsdataene fra nivå 3 og 5 viser de samme tendensene som de i nivå 2 og presenteres derfor ikke her, men kan undersøkes ytterligere i Vedlegg 3. Dataene registrert som nivå 4 av Ravine 1050 tilhører er samlet inn på et annet område enn Ravine 1050, som trolig må skyldes at valsefører har brukt feil innstillinger i valsen så disse er ikke inkludert.

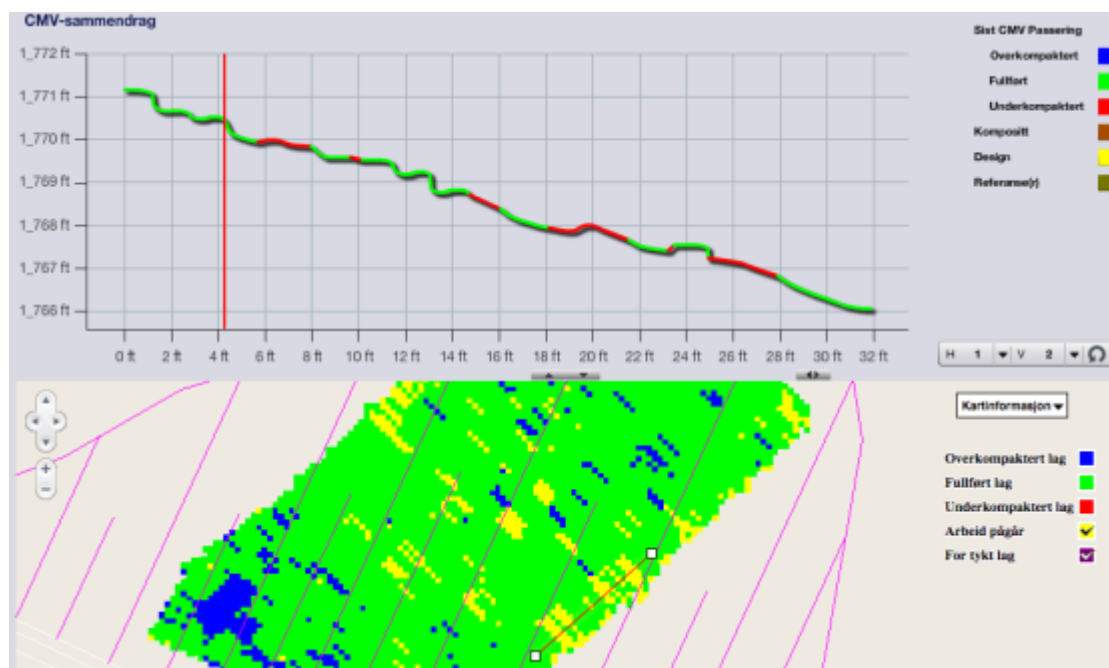


Figur 4.17 Sammendrag CMV Ravine 1050

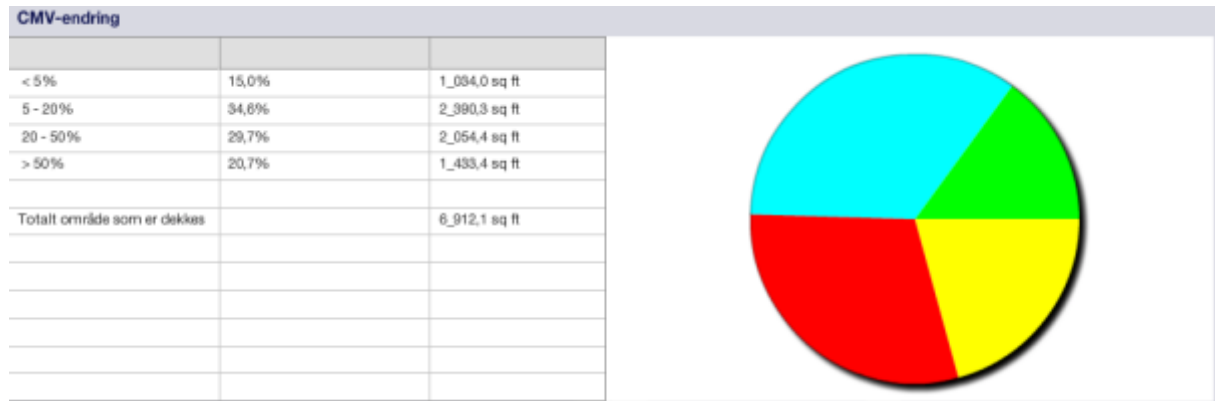


Figur 4.18 Oversikt komprimering basert på CMV Nivå 2 Ravine 1050

Figur 4.19 Fargekoder CMV



Figur 4.20 Kutter nivå 2 Ravine 1050



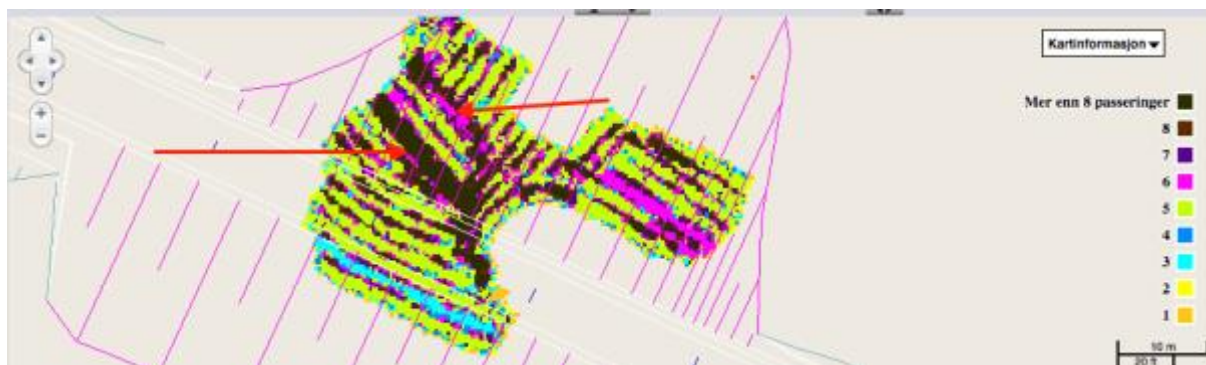
Figur 4.21 Sammendrag CMV-endring nivå 2 Ravine 1050



Figur 4.22 Oversikt CMV-endring nivå 2 Ravine 1050

Nivå 6

Før komprimering av nivå 6 ble det gjennomført en kalibrering av mål-MDP og mål-CMV for å gjennomføre en sammenligning av de to responsmåleverktøyene på den massen som skulle komprimeres. Dette ble gjort på to parallelle striper tvers over området der henholdsvis endring i MDP og endring i CMV ble registrert for hver overfart. De to kalibreringsstripene er markert ut i i Figur 4.23. Dessverre ble ikke dataene fra kalibreringsstrekningene lagret som et eget filter så overfarter som har skjedd på samme område er i ettetid registrert, som forklarer hvorfor antallet passeringer på disse to områdene er høyere enn resten.



Figur 4.23 Overfarter med vals nivå 6 Ravine 1050

Endring i CMV for hver overfart ble registrert på det første kalibreringsstrekket og endring i MDP på den andre. Dette kan valsefører, som illustrert i Figur 4.24, se både for CMV og MDP om ønskelig. Ved første overfart registreres begge til 100 %, da det ikke er noe sammenligningsgrunnlag. Årsaken til at *Kjøringer ønsket* er oppgitt til 5 er at dette lå inne fra tidligere, og ble under kalibreringen sett bort i fra. Fargekodingen displayet gir er basert på ønsket kjøring og derfor i dette tilfellet ikke viktig.



Figur 4.24 Endring i respons, første overfart kalibreringsstrekning Foto: E. Torpe

Etterhvert som valseen kjører og gjør nye målinger vises det kontinuerlig i displayet endring i respons sammenlignet med forrige overfart. Den endringen i respons som vises er lokal for det punktet valsetrommelen nettopp passerte og derfor får valseføreren hele tiden nye verdier å forholde seg til. Figur 4.25 er et stillbilde av dette og i neste sekund vil resultatene være noe annet. For å få en grafisk fremstilling som var lettere for valseføreren å forholde seg til fant vi

frem til at instrumentet kunne vise endring i henholdsvis CMV og MDP som fargekoder, se Figur 4.26.



Figur 4.25 Endring i respons, femte overfart Foto: E. Torpe



Figur 4.26 Endring i CMV kontinuerlig illustrert Foto: E. Torpe

Under kalibreringen kom det frem at responsmålingen fra CMV og MDP ga et forskjellig bilde på hvor jevn respons valse fikk fra underlaget, og før vi ser ytterligere på det må massetypen legges frem. Massene som ble brukt i fyllingen kommer fra andre deler av

anlegget der den sprenges og graves ut. Det er derfor ikke en uniform masse, men som vi ser i Figur 4.27 en blanding av større steiner, grus og jord. Dette gjør at responsen CMV registrerer i form av rekyl varierer veldig avhengig av om slaget valsetrommelen gjør treffer et område med hard stein eller grus og jord. Kalibreringen ble gjennomført med tre overfarer med høy amplitude, for deretter å kjøre med lav amplitude på valsetrommelen til endringen i respsnsmåleverdi ble lavere enn 10 %. Resultatet fra CMV-kalibreringen ble derfor så utydelig at det ikke kunne slås fast noe gitt antall overfarer som ville gi en prosentvis endring lavere enn 10 %, se Figur 4.28. Når vi så gikk over feltrappen i valse sa denne at den gjennomsnittlige CMV-verdien for området var 196.4 se Figur 4.29. Denne verdien er erfaringsmessig altfor høy. Sitech ble derfor kontaktet for å få en vurdering på verdiene. De kommenterte at de så uregelmessigheter med CMV-målingene fra denne valse. Dette gjorde at vi ikke kunne stole på resultatene fra disse målingene.



a)



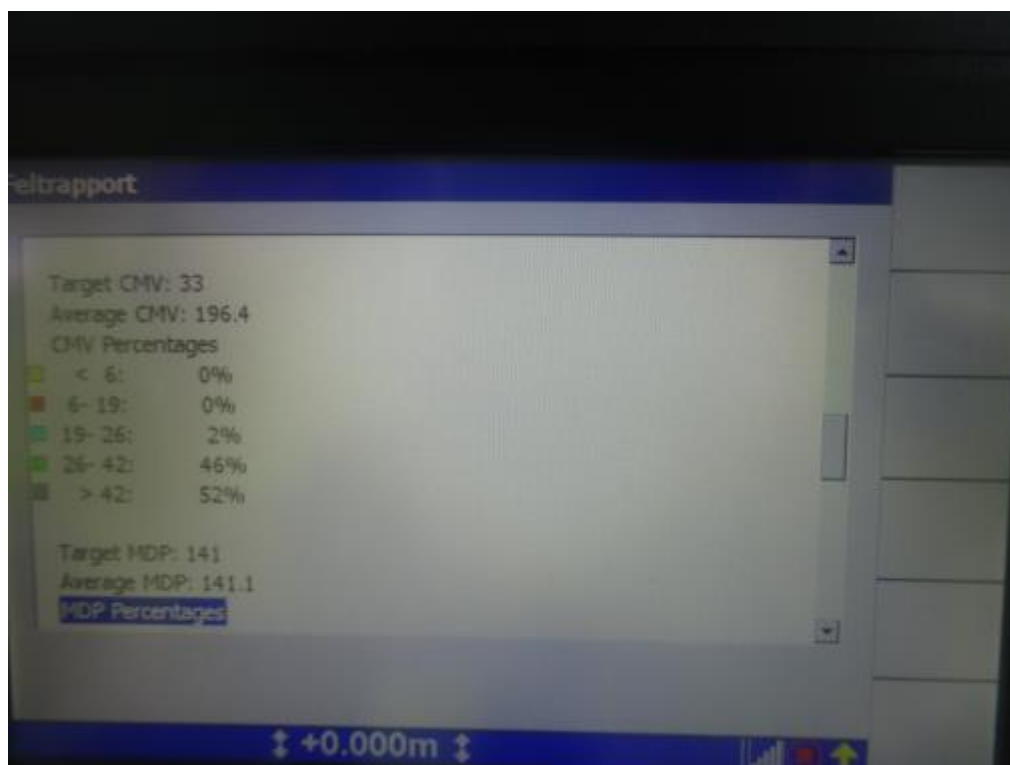
b)

Figur 4.27 Komprimeringsmasse nivå 6 Ravine 1050 Foto E.Torpe



Figur 4.28 CMV-endring etter forsøkt kalibrering nivå 6 Ravine 1050

Foto: E.Torpe

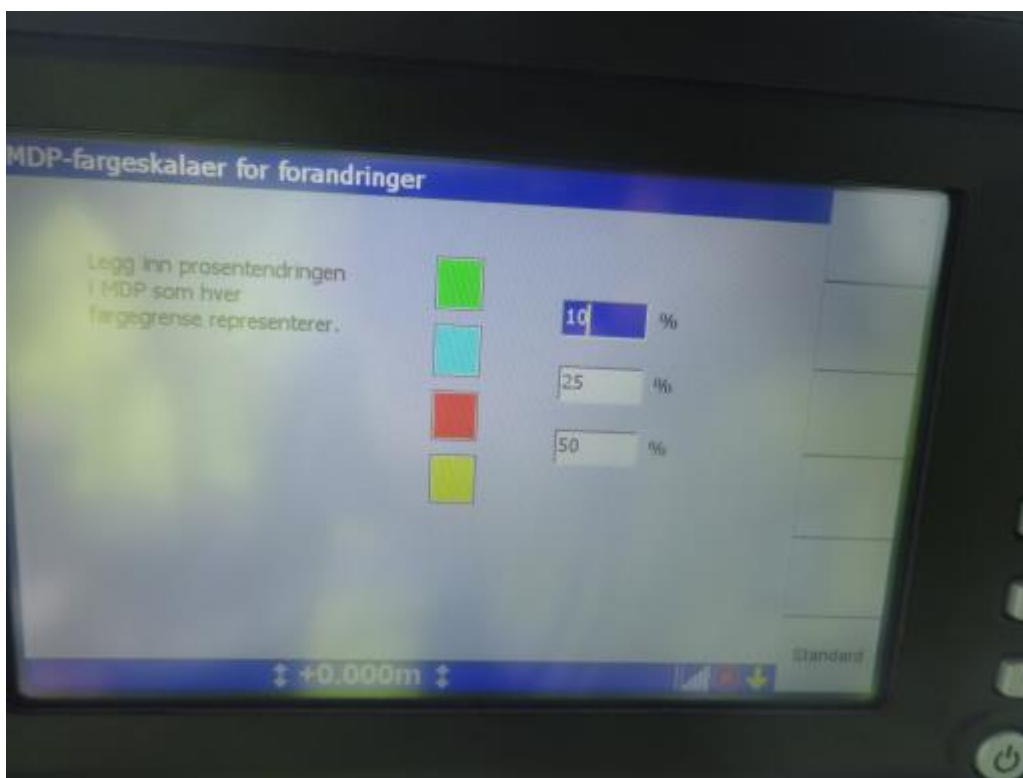


Figur 4.29 Feltrapport CMV nivå 6 Ravine 1050

Foto: E. Torpe

Massen ble da kalibrert på nytt med hensyn på MDP som responsmåleverktøy. Metoden var den samme som tidligere, å kjøre tre overfarter med høy amplitude for så å kjøre med lav amplitude til MDP-verdiene økte med mindre enn 10 %. Som beskrevet tidligere er det

tungvint for valsefører å følge med på den kontinuerlige endringen i responsverdi når den oppgis som punktvis endring i tallverdi i displayet. Derfor ble innstillingene endret til å farge kartet basert på den prosentvise endringen, og ikke antall overfarer eller registrert MDP-verdi som er vanlig brukt. Som illustrert i Figur 4.30 ble nå områder der endringen i MDP var 10 % eller lavere fra forrige overfart farget grønn, områder med endring mellom 10 og 25 % farget turkis, områder med endring mellom 25 og 50 % farget rød og de områdene med endring større enn 50 % farget gul. Valseføreren kjørte deretter til kalibreringsstrekningen ble helt grønn. Dette tok 3 overfarer med høy amplitude og 2 overfarer med lav amplitude. Den gjennomsnittlige MDP-målingen for området etter kalibreringen var 141.



Figur 4.30 Fargekoder endring MDP

Basert på ny mål-MDP lik 141 fra kalibreringsstrekningen komprimerte valseføreren deretter resten av nivå 6 på Ravine 1050 med tre overfarer med høy amplitude og 2 med lav.

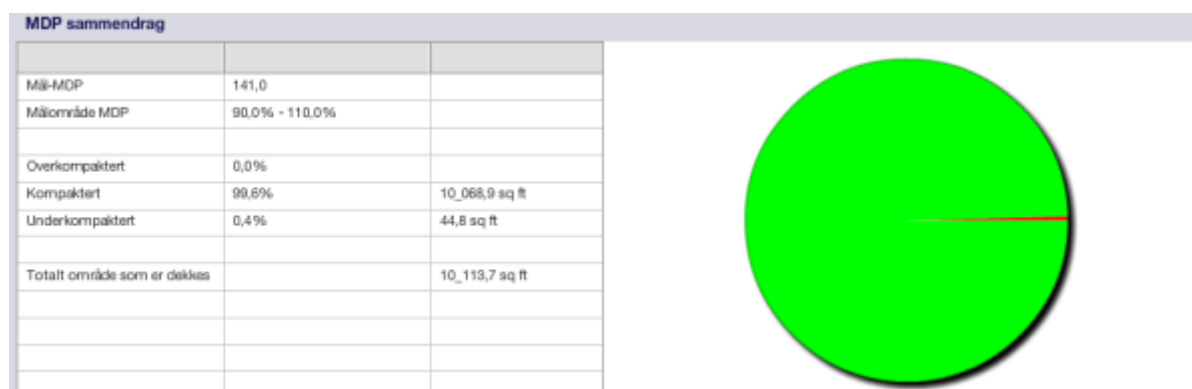
Underveis kunne han identifisere avvik i MDP som var større en 10 % som vist i Figur 4.31.

Der det ble registrert MDP lavere enn 127, med andre ord 10 % eller mer lavere enn mål-MDP kunne valseføreren kjøre en overfart til for å oppnå en grønn overflate.

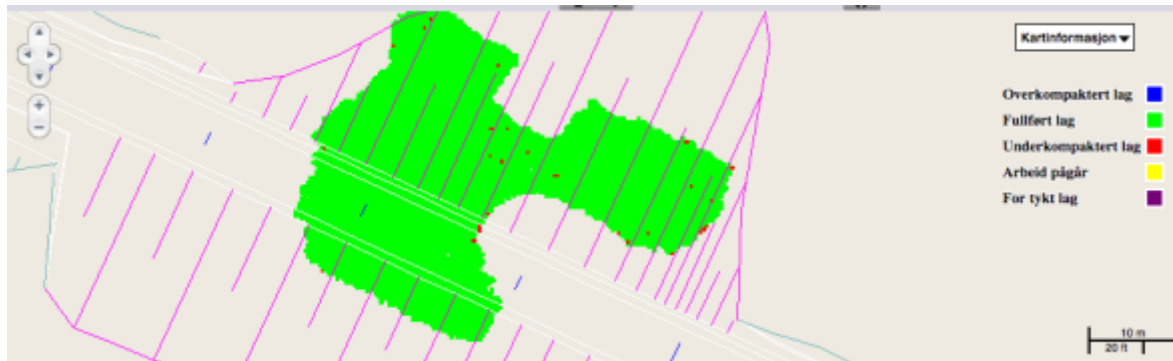


Figur 4.31 Oversikt MDP fra valseførers perspektiv Foto: E. Torpe

Under følger MDP-sammendrag fra komprimeringsarbeidene valseføreren gjorde på nivå 6 Ravine 1050 basert på MDP-mål fra kalibreringsstrekningen, med tre overfarter med høy amplitude og to overfarter med lav amplitude.



Figur 4.32 Sammendrag MDP nivå 6 Ravine 1050



Figur 4.33 Oversikt komprimering basert på MDP-mål 141 nivå 6 Ravine 1050

4.4 Komprimeringsplan Øye – Eidsbru

Strabag AS hadde i tråd med kravene fra Håndbok N200 utarbeidet en komprimeringsplan for komprimeringsarbeidene på traséen. Etter opplæringen de mottok i bruk av responsmålingsverktøyene de hadde tilgjengelig på sin vals ble denne revidert. Den originale utgaven og den reviderte utgaven er vedlagt i vedlegg 4, men endringene kommenteres her. Tilleggene i den reviderte utgaven er merket i kursiv. Det er i punktene 5 – Gjennomføring og 6 – Dokumentasjon Strabag AS har tilpasset komprimeringsplanen og basert denne på kalibrering med responsmålinger.

	Original utgave	Revidert utgave
5 Gjennomføring	<p>Materialtypene som komprimeres er av utsprengt fjell fra skjæring eller tunnel</p> <p>Lagtykkelser skal legges ut med maks 2,0m høyde, men med oppretting for de første lagene</p> <p>Vanning er ikke aktuelt for vinterarbeid, men skal vurderes i samråd med Byggherre</p> <p>Valsemønster, antall overfarer loggføres med GNSS og sjekkliste for komprimering fylles ut for hvert lag og skal være en del av sluttdokumentasjon</p>	<p>Materialtypene som komprimeres er av utsprengt fjell fra skjæring eller tunnel</p> <p>Lagtykkelser skal legges ut med maks 2,0m høyde, men med oppretting for de første lagene</p> <p>Vanning er ikke aktuelt for vinterarbeid, men skal vurderes i samråd med Byggherre</p> <p>Valsemønster, antall overfarer loggføres med GNSS og sjekkliste for komprimering fylles ut for hvert lag og skal være en del av</p>

	<p>Vibrasjon skal benyttes. 3-4 overfarter med full amplitude og resterende med lav amplitude</p> <p>Antall overfarter skal være min 5</p>	<p>sluttdokumentasjon</p> <p><i>Det skal kjøres kalibrering av vals for hver massetype og lag tykkelse for å finne nødvendig antall overfarter til en oppnår mindre en 10% endring mellom overfartene</i></p> <p>Vibrasjon skal benyttes. 3-4 overfarter med full amplitude og resterende med lav amplitude</p> <p><i>Det kjøres antall overfarter i henhold til kalibrering for masse type og lag tykkelse</i></p>
6 Dokumentasjon	<p>Sjekklistor / loggbok som inneholder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dato • Klokkeslett for oppstart • Hastighet målt i km/h • Valsemønster • GNSS registrering • Klokkeslett for stopp • Lagnummer og tykkelse • Temperatur 	<p>Sjekklistor / loggbok som inneholder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dato • Klokkeslett for oppstart • Hastighet målt i km/h • Valsemønster • GNSS registrering • Klokkeslett for stopp • Lagnummer og tykkelse • Temperatur • <i>Resonansrapport</i> • <i>Kalibreringsrapport</i>

5 Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres kravene som stilles i Håndbok N200 til responsmålinger med valsemonterte verktøy opp mot funnene som ble gjort gjennom litteraturstudien, feltarbeid og behandling av data fra VisionLink. I tillegg vil gjennomføringen av feltarbeidene diskuteres for å belyse forbedringer som kan gjøres i fremtidige studier.

5.1 Krav til valsemonterte responsmåleverktøy i Håndbok N200

Responsmålinger er, som vist i Tabell 3.1, i Håndbok N200 etablert som gyldig målemetode for utarbeidelse av valseprogram på alle materialer dersom det gjøres målinger kontinuerlig over minimum 50 meter. Håndboken skiller ikke på varianter av responsmålinger som rekylbaserte responsmålinger som CMV og responsmålinger basert på rullemotstand som kan få data om komprimeringen uten å bruke vibrasjon på valsetrommelen som MDP, hverken i krav eller i bruksområde. Krav til responsmålinger er i håndboken oppgitt felles for alle varianter. Dette kan skyldes at det på det tidspunktet håndboken ble formulert kun var aktuelt med rekylbaserte responsmålinger. I Statens vegvesens rapport *Planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid* kommenteres det at responsmålinger kun kan gjøres når valsen kjører med vibrasjon på (Fladvad og Aksnes, 2014). Det stilles i Håndbok N200 derimot krav til funksjonskrav for overbygningen skal ha en slik kvalitet og lagtykkelse at det ikke oppstår uakseptable deformasjoner eller skader på vegdekket i løpet av dimensjoneringsperioden. Dette skal kunne oppnås ved å følge kravene normalen stiller.

I Håndbok N200 gis det generelle krav til komprimeringsarbeid som vanning av materialene som skal komprimeres, inspeksjon for å forhindre nedknusing av materialene, overlapp mellom valsesporene og anbefalt kjørehastighet og veiledning til valg av utstyr, lagtykkelser og antall overfarter for ulike massetyper. Håndboken gir ingen føringer for hva slags valsetrommel som skal benyttes på ulike materialer.

Gjennom litteraturstudien er det funnet forskning som sier at rekylbaserte responsmålingsverktøy er mindre effektive på finkornede masser som silt og leire (White, *et al.*, 2005). Gjennom å evaluere data fra målinger gjort med MDP på kohesjonsjordarter og sammenligne disse med tradisjonelle kontrollmetoder er det funnet en lineær sammenheng mellom disse målingene (Thompson og White, 2008). Det samme er beskrevet for målinger både med CMV og MDP på granulær jord, der CMV ble funnet mindre variabel enn MDP, en

variasjon som reduseres når gjennomsnittet på dataene fra den komprimerte strekningen evalueres (White og Thompson, 2008). Det er også avdekket en klar sammenheng mellom at rullemotstanden går ned når en masse komprimeres og responsmålinger gjort med MDP gir et bilde på komprimeringsgrad, som er lettere å tolke enn responsmålinger gjort med CMV. Det er også argumentert for at dataene fra CMV gir et bedre bilde på massens kvalitet, fordi den mottar data fra dypere lag i massen (Meehan og Tehrani, 2011).

Ettersom det ikke stilles krav til hva slags type responsmålinger en skal bruke fra Håndbok N200 på ulike massetyper kan det stilles spørsmålsteget ved om kravene til bruk av responsmålinger for utarbeidelse av valseprogram kan forbedres slik at en med større sikkerhet kan oppnå de funksjonskrav normalen stiller til overbygningen. Rekylbaserte responsmålinger er mindre effektive på finkornede jordmasser, men det er ingenting i Håndbok N200 som sier at disse ikke skal benyttes på slike jordmasser. På Ravine 1050 på Strabag AS sitt anlegg var massene som skulle komprimeres en blanding av større steiner, grus og jord. Her blir det, slik Håndbok N200 er formulert i dag, opp til prosjektledelse og valsefører hva slags responsmåling som er hensiktsmessig å bruke. Et tydeligere krav overfor slike situasjoner kan gjøre valget lettere, og medføre at Statens vegvesen mottar lik dokumentasjon på like masser fra forskjellige prosjekter og forskjellige entreprenører.

Ved å sette krav til hvilken type responsmålinger som skal benyttes på ulike masser og masser med ulike dybder kan Statens vegvesen basert på responsmålingene på disse opparbeide seg en database med kalibrerte verdier for de ulike massene og dybdene som kan benyttes som en veiledning for valseførere ved kalibrering. Da kan valseføreren vurdere sin kalibrering opp mot tidligere kalibreringer av tilsvarende massetyper for å vurdere om den aktuelle responsmåleverdien fra kalibreringen er innenfor det som anbefales for den massen med det verktøyet.

5.2 Ravine 1050 Øye – Eidsbru

Hos Strabag AS var responsmåleverktøyene CMV og MDP, som deres vals var utstyrt med, relativt nytt for både anleggsleder og valseførere. Det var ikke ukjent at valse var utstyrt med disse, og at de kunne brukes til å kontrollere og dokumentere komprimeringen, men hvordan de skiller seg fra hverandre og hvordan en skal kalibrere responsmålingene på massen som skal komprimeres. Etter opplæring i bruk av verktøyene og en vurdering av kravene i N200

ble komprimeringsplanen på anlegget revidert. Kravene som stilles i N200 sier at det må kalibreres kontinuerlig over 50 meter, men ravinene Strabag AS komprimerte var vesentlig kortere enn dette. Kalibreringstrekkene utgjorde derimot en betydelig del av det arealet som skulle komprimeres og ettersom lagene som skulle komprimeres inneholdt varierende massetyper valgte Strabag AS å kalibrere for hver massetype og hvert lag for å få en presis kalibrering for den aktuelle massen.

5.3 Machine Drive Power på valser fra CAT

Gjennom besøkene hos Norsk Asfaltfresing AS og Strabag AS er det vist at Machine Drive Power som responsmåleverktøy kan levere data fra komprimeringsarbeidene i et format som tilfredsstillende kravet om maksimalt 10 % endring i respons sammenlignet med forrige overfart. Visse ting kan også fortsatt forbedres. Ved bruk av CMV får en kontinuerlig lagret data om prosentvis endring i respons fra forrige overfart i VisionLink, denne muligheten har man per i dag ikke for MDP. Dette er høyst aktuelt slik som kravene i Håndbok N200 er formulert og vil gjøre det lettere å dokumentere oppnådde resultater for hele det komprimerte området. Det ble avdekket at responsmåleverktøyet ikke ble benyttet til sitt fulle potensiale, som betyr at det ved anskaffelse av valser med responsmåleverktøy burde følges opp med et større fokus på opplæring slik at disse kan utnyttes til sitt fulle. Basert på utbyttet som ble illustrert hos Strabag AS etter opplæring i bruk av verktøyene bør det fra Statens vegvesen sin side vurderes krav til opplæring av valsefører ved bruk av responsmåleverktøy. Dersom dette skal inngå som en del av kvalitetssikring og dokumentasjon må det gjøres riktig for å oppnå den kvaliteten som kreves fra Håndbok N200, og da må valseførere vite hvordan verktøyet skal brukes. Selve displayet som valseføreren forholder seg til har mulighet til å gi forskjellig informasjon som CMV-verdi, MDP-verdi, endring i disse og antall overfarter. Denne informasjonen presenteres som fargekoder og valseføreren kan fortolke de feil da fargekodene er de samme. Hvilke data som skal benyttes til kalibrering og hvilke som skal brukes når det komprimeres basert på kalibreringen må valseføreren ha klart for seg for å unngå at det gjøres feil. Det gjør at det ved bruk av responsmåling ved komprimering settes nye krav til valseføreren som kravene i N200 også burde reflektere.

5.4 Machine Drive Power som responsmåleverktøy

Det er gjennom litteraturstudien presentert forskning som validerer MDP som responsmåleverktøy. I denne oppgaven er det presentert hvordan en kan bruke MDP som responsmåleverktøy basert på kravene som stilles i Håndbok N200. Det er derimot ikke gjort

tester av validiteten til responsmålingene gjort med MDP. Dette er noe som må forskes på, også på norske anlegg. En omfattende vurdering av responsmålinger fra MDP sammenlignet med responsmålinger fra rekylbaserte målesystemer samt tradisjonelle målemetoder på anlegg i Norge vil være av interesse for den videre utviklingen av kontinuerlig komprimeringskontroll.

6 Konklusjon

I dette kapittelet evalueres tilnærmingen til oppgaven. Deretter presenteres en oppsummering av funn i litteraturen og fra besøkene på anleggsplassene. Basert på disse presenteres svar på problemstillingen og forslag til videre arbeider.

6.1 Evaluering av tilnærming

Bakgrunnen for masteroppgaven var et ønske fra Maskingrossisternes Forening og Entreprenørforeningen Bygg og Anlegg om en oppgave som vurderte maskinstyringssystemer og hvordan disse påvirket prosjektresultat. Gjennom arbeidet med prosjektoppgaven høsten 2016 ble dette innsnevret til å bli en masteroppgave om det valsemonterte responsmåleverkøyet Machine Drive Power. Oppgaven var å evaluere Machine Drive Power som responsmåleverktøy opp mot de krav som stilles til responsmålinger i Statens vegvesens Håndbok N200.

For å besvare dette er det gjennomført en litteraturstudie over internasjonal forskning på Machine Drive Power som responsmåleverktøy samt hvilke krav som stilles i Håndbok N200. Videre er anlegg der MDP er benyttet i komprimeringsarbeider blitt besøkt for å dokumentere bruken av verktøyet og vurdere det opp mot kravene. I etterkant er data samlet inn fra responsmålingene behandlet gjennom programmet VisionLink. Tilnærmingen vurderes som god, men det erkjennes at en fullstendig evaluering av MDP kun kan gjøres ved å vurdere responsmålinger gjort med MDP opp mot responsmålinger gjort med rekyllbaserte verktøy som CMV og tradisjonelle målemetoder som platebelastning og nivellement. Da det var vanskelig å finne prosjekter som benyttet MDP og sa seg villige til at disse ble benyttet i en slik studie ble dette ikke gjort.

6.2 Oppsummering

Gjennom blant annet FoU-prosjektet Varige Veger har Statens vegvesen økt fokuset på kontinuerlig komprimeringskontroll og responsmålinger gjort med vals. Valser finnes på alle anlegg og det er vanlig at disse er utstyrt med responsmåleverkøy, utfordringen ligger i å bruke disse godt nok og å bruke riktig verktøy på riktig masse. Både CMV og MDP er etablert som responsmåleverktøy og validert gjennom internasjonal forskning, men bruksområdene må etableres i den norske bransjen. Ved å stille krav eller komme med anbefaling til valg av responsmåleverktøy i Håndbok N200 vil entreprenørene få noe håndfast å forholde seg til ved anskaffelse av vals til sitt prosjekt. Ved bruk av vals med

responsmåleverktøy kan det med hell stilles krav til dokumentert opplæring da feil eller utilstrekkelig bruk av responsmåleverktøy er observert i arbeidene med denne oppgaven.

Responsmåleverktøyet Machine Drive Power tilfredsstiller kravene som stilles til responsmålinger i Håndbok N200, og med et responsmålingsverktøy som baserer seg på rullestand og ikke rekyl har man i fremtidige revideringer av håndboken mulighet til å gi mer presise anbefalinger for bruk av responsmålinger til kvalitetssikring og dokumentasjon av komprimeringsarbeider. Der det skal komprimeres finkornede masser er rekylbaserte responsmålinger mindre effektive og burde unngås. Det samme gjelder når massene som skal komprimeres er så tynne at rekylbaserte responsmålinger registrerer påvirkning av de underliggende massene, og når det er stor variasjon i massen som skal komprimeres som observert hos Strabag AS.

Det er gjennom feltarbeidene illustrert hvordan man på anleggene kan benytte MDP til å kalibrere en mål-MDP for den massen som skal komprimeres, og hvordan denne kalibreringen skal brukes av valseføreren videre i komprimeringsarbeidet for å oppnå en jevnt komprimert masse med tilstrekkelig fasthet etter kravene fra Håndbok N200.

6.3 Videre arbeid

Det er i arbeidet med denne masteroppgaven ikke gjennomført en evaluering av responsmåleverdiene fra MDP basert på sammenligninger med responsmåleverdier fra rekylbaserte verktøy som CMV eller tradisjonelle målemetoder i felt som platebelastning og nivellement eller laboratorieundersøkelsen modifisert proctor test. En slik studie, eller slike studier burde gjennomføres for å validere verdiene fra målinger gjort med MDP.

I tillegg vil det være av interesse å opparbeide en database med både MDP- og CMV-verdier på ulike massetyper med ulik tykkelse for å gi valseførere en referanseramme når de kalibrerer en masse for komprimering.

Det er gjennom arbeidet med denne masteroppgaven illustrert hvordan opplæring i bruk av responsmåleverktøy som allerede er på valsen påvirker kvaliteten på komprimeringsarbeidet, men en større studie som vurderer kostnad og nytteverdi i opplæring av valseførere kan være nødvendig for at det skal komme krav til opplæring for bruk av responsmåleverktøy.

7 Referanser

- CAT (2014) *Machine Drive Power* (Hentet: 03.04 2017).
- CAT (2016a) CS56/CP56 CS64/CP64 CS74/ CP75 Valsetog, i Caterpillar Inc. (red.).
<http://docplayer.me/11556292-Cs56-cp56-cs64-cp64-cs74-cp74.html>.
- CAT (2016b) CAT Anleggsvaer, i Caterpillar Inc. (red.).
- CAT (2017a) *CS74B* (Hentet: 01.06 2017).
- CAT (2017b) *CS78B*.
- Fladvad, M. (2012) *Kontinuerlig komprimeringskontroll*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Fladvad, M. og Aksnes, J. (2014) *Planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid for ubundne materialer*. (Varige veger 2011-2014). Oslo.
- Juvland, H. (2016) *Smarte 3D-modeller* (Hentet: 29.11 2016).
- Küenzel, R., et al. (2016) SmartSite: Intelligent and autonomous environments, machinery, and processes to realize smart road construction projects, *Elsevier*, 71, s. 21-33.
- Meehan, C. L. og Tehrani, F. S. (2011) A Comparison of Simultaneously REcorded Machine Drive Power and Compactometer Measurements, *Geotechnical Testing Journal*, 34(3).
- Mooney, M. A., et al. (2010) *Intelligent Soil Compaction Systems*. National Cooperative Highway Research Program.
- NTNU (2016) *Kildekritikk* (Hentet: 25.09 2016).
- Statens vegvesen (2011) *Håndbok 018 Vegbygging*. Oslo.
- Statens vegvesen (2014a) *Håndbok N210 Laboratorieundersøkelser*.
- Statens vegvesen (2014b) *Håndbok N200 Vegbygging*. Oslo.
- Statens vegvesen (2014c) *Håndbok R211 Feltundersøkelser*.
- Statens vegvesen (2015) *Om håndbøkene* (Hentet: 20.11 2016).
- Statens vegvesen (2016a) *FoU-programmet Varige Veger* (01.05).
- Statens vegvesen (2016b) *Varige veger* (Hentet: 07.03 2017).
- Statens vegvesen (2017) Høring – Forslag til ny håndbok N200 Vegbygging.
http://www.vegvesen.no/attachment/1804422/binary/1175251?fast_title=H%C3%B8ringsbrev.pdf.
- Thompson, M. J. og White, D. J. (2008) Estimating Compaction of Cohesive Soils from Machine Drive Power, *JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 134(12), s. 7.
- Thompson, M. J. og Schmitt, R. L. (2013) Calibration of Roller-Integrated Machine Drive Power Measurements Using Soil Compaction Forecasting Model, *Geotechnical Testing Journal*, 36(5), s. 11. doi: 10.1520/GTJ20120196.
- Thorén, G. (2016) Maskinstyring og anleggsvaer.
- Transportetatene (2015) *Nasjonal transportplan 2018-2029*.
<http://www.ntp.dep.no/Nasjonale+transportplaner/2018-2029/Plangrunnlag/attachment/1215451/binary/1108802?ts=154a51c1a38>.
- Vennapusa, P. K. R., White, D. J. og Gieselman, H. (2009) *Influence of Support Conditions on Roller-Integrated Machine Drive Power Measurements from Gravel Base*. Upublisert paper presentert på International Foundation Congress and Equipment Expo. Orlando, Florida.
- White, D. J., et al. (2005) Real-Time Compaction Monitoring in Cohesive Soils from Machine Response, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1936, s. 8.

- White, D. J., Morris, M. og Thompson, M. J. (2006) *Power-Based Compaction Monitoring Using Vibratory Padfoot Roller*. Upublisert paper presentert på Geo-Congress 2006: Geotechnical Engineering in the Information Technology Age. Atlanta, GA.
- White, D. J., Thompson, M. J. og Vennapusa, P. (2007) *Field Validation of Intelligent Compaction Monitoring Technology for Unbound Materials*. Department of Civil, Construction and Environmental Engineering Iowa State University.
- White, D. J. og Thompson, M. J. (2008) Relationships between In Situ and Roller-Integrated Compaction Measurements for Granular Soils, *JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 134(12). doi: 10.1061/(asce)090-0241 (2008)134:12 (1763).

Vedlegg 1

MASTEROPPGAVE

(TBA4935 Anleggsteknikk, masteroppgave)

VÅREN 2017
for
Eirik Torpe

Evaluering av Machine Drive Power som valsemontert responsmåleverktøy

BAKGRUNN

Kvaliteten på komprimeringsarbeider har stor innvirkning på kvaliteten på vegen og dens levetid. Det er derfor i nyere tid vært et økt fokus på kvalitetssikring av komprimeringsarbeider gjennom kontinuerlig komprimeringskontroll. Valsemonterte responsmålinger blir stadig vanligere som verktøy for kontinuerlig komprimeringskontroll og i denne oppgaven evalueres et verktøy for responsmålinger kalt Machine Drive Power (MDP) opp mot de krav som stilles til responsmålinger i Statens vegvesen Håndbok N200 Vegbygging.

OPPGAVE

Beskrivelse av oppgaven

Denne oppgaven har som mål å evaluere et verktøy for responsmålinger kalt Machine Drive Power (MDP) opp mot de krav som stilles til responsmålinger i Statens vegvesen Håndbok N200 Vegbygging

Målsetting og hensikt

Håndbok N200 Vegbygging har gjennomgått en revisjon etter et økt fokus på valsemonterte responsmålingsverktøy den siste tiden. Målet med masteroppgaven er å kartlegge i hvilken grad *machine drive power* som verktøy tilfredsstiller de nye kravene og eventuelt nye som tilføres i den foreslåtte utgaven som kommer ved årsskiftet 2017/18. Videre kan masteroppgaven belyse forbedringer som kan gjøres i N200 Vegbygging basert på muligheter ved bruk av *machine drive power* til å måle komprimering.

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering.

Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskriving ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på <http://www.ntnu.no/bat/studier/oppgaver>.

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Masteroppgaven regnes ikke som ferdig levert før kandidaten har levert innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i Sentralbygg II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.

Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til sonja.hammer@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM.

Faglærer ved instituttet: NN**Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: MM**

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU
Dato: dd.mm.åååå, (evt revidert: dd.mm.åååå)

Underskrift

Faglærer

Vedlegg 2

MIDP sammendragsrapport

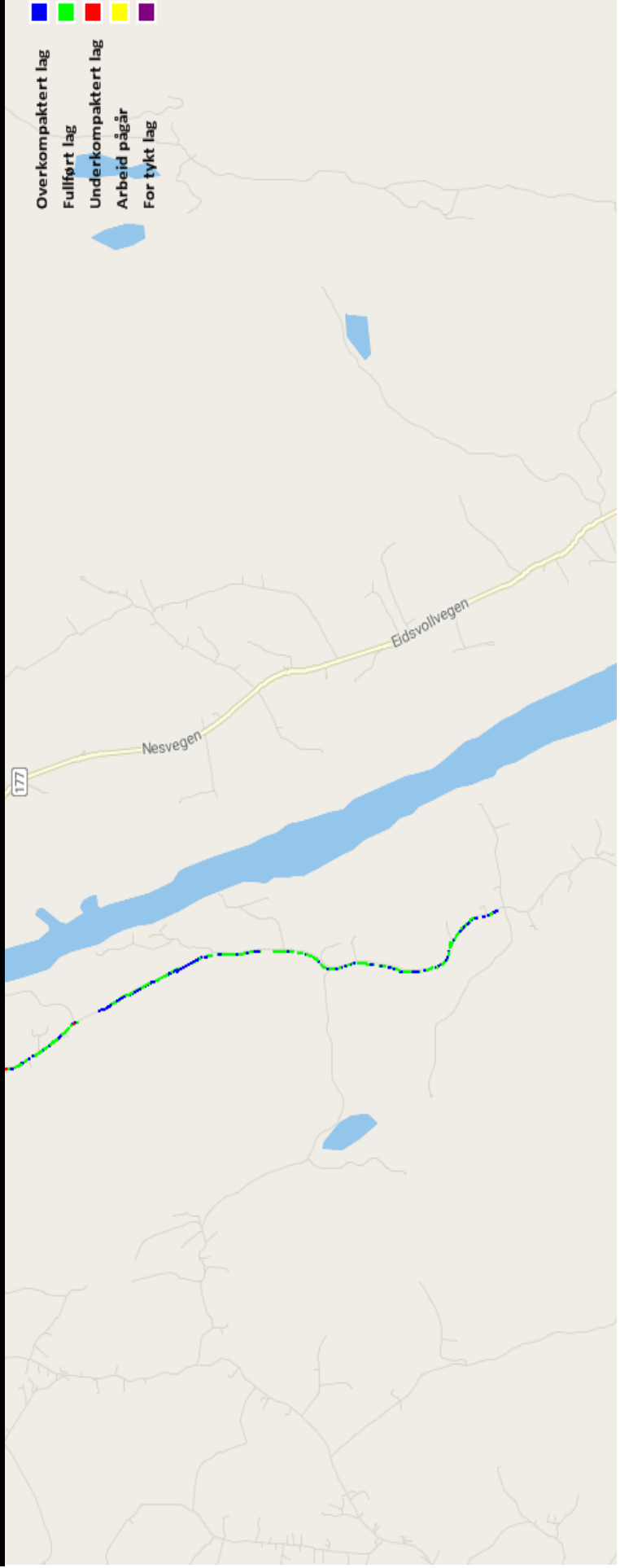
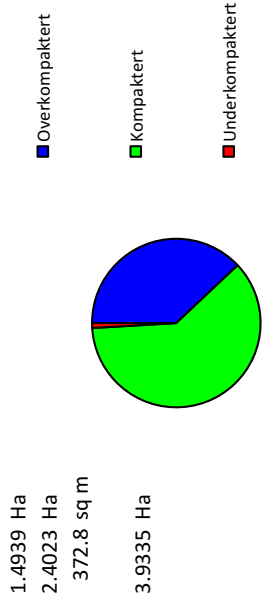
Prosjekt
Dypstab UTM32 2017

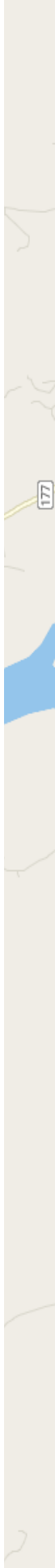
Rapportert dataområde
03/05/2017 - 31/05/2017

Konto
NORSK AFSALTFRESING AS

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>
Område: Brukerdefinert Polygon

Mål-MDP 122.0
Målområde MDP 85,0% - 115,0%
Overkompaktert 38,0%
Kompaktert 61,1%
Underkompaktert 0,9%
Totalt område som er dekk





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

Eiende-ID:ASPHALTINATOR, SN.:L8C00200-VL, Machine Name:GREVLING1 00200

Eiende-ID:, SN.:ASFALTFRESING-CS78B, Machine Name:GREVLING2 00186

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

MIDP sammendragsrapport

Prosjekt
Dypstab UTM32 2017

Rapportert dataområde
03/05/2017 - 31/05/2017

Konto
NORSK AFSALTRESING AS

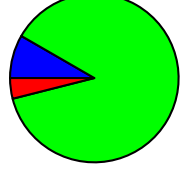
Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>

Område: Brukerdefinert Polygon

Mål-MDP 130.0
Målområde MDP 85,0% - 115,0%

Overkompaktert 8,3% 3,274.0 sq m
Kompaktert 87,7% 3.4506 Ha
Underkompaktert 4,0% 1,554.6 sq m

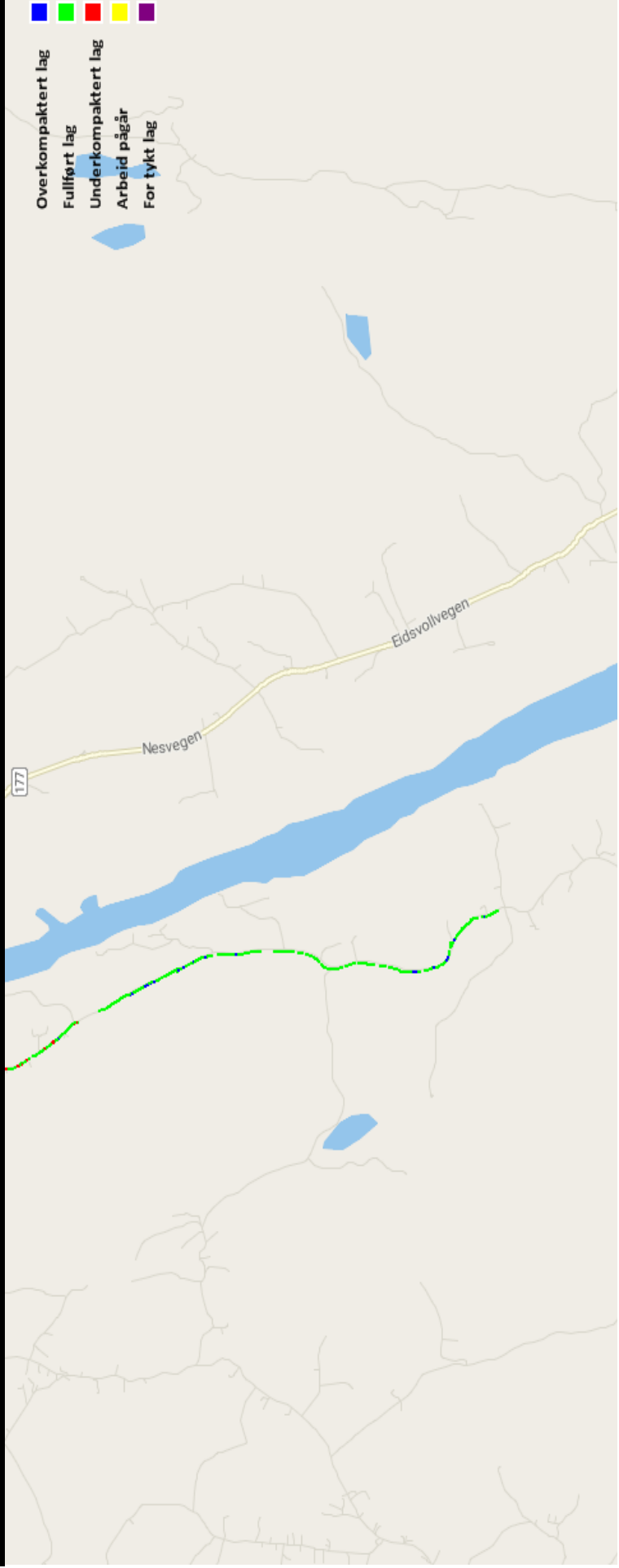
Totalt område som er dekk 3.9335 Ha

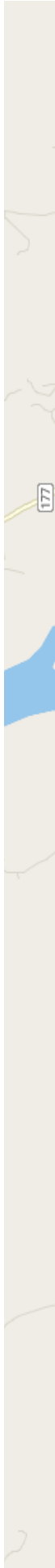


Overkompaktert

Kompaktert

Underkompaktert





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

Eiende-ID: ASPHALTINATOR, SN.: L8C00200-VL, Machine Name: GREVLING1 00200

Eiende-ID: , SN.: ASFALTFRESING-CS78B, Machine Name: GREVLING2 00186

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

MIDP sammendragsrapport

Prosjekt

Dypstab UTM32 2017

Rapportert dataområde

03/05/2017 - 31/05/2017

Konto

NORSK AFSALTFRESING AS

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>

Eiendel: ASPHALTINATOR

Område: Brukerdefinert Polygon

Mål-MDP 122.0

Målområde MDP 85,0% - 115,0%

Overkompaktert 44,2%

Kompaktert 55,7%

Underkompaktert 0,1%

Totalt område som er dekk

1.4927 Ha

1.8830 Ha

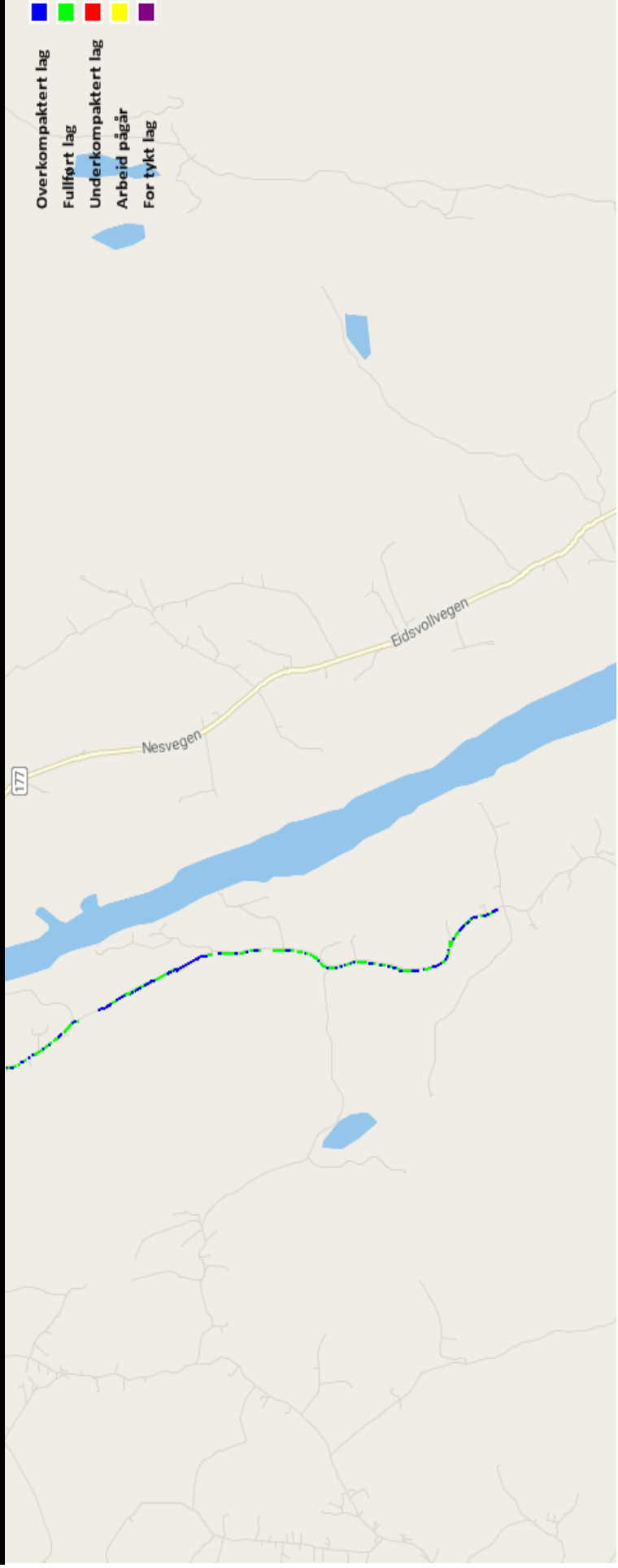
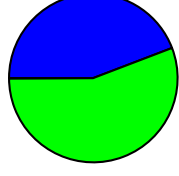
19.8 sq m

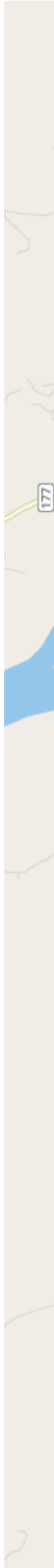
3.3777 Ha

Overkompaktert

Kompaktert

Underkompaktert





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

Eiende-ID: ASPHALTINATOR, SN.: L8C00200-VL

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

Eiende-ID: SN.: ASFALTFRESING-CS78B, Machine Name: GREVLING2 00186

MIDP sammendragsrapport

Prosjekt

Dypstab UTM32 2017

Rapportert dataområde

03/05/2017 - 31/05/2017

Konto

NORSK AFSALTFRESING AS

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>

Eiendel: -

Område: Brukerdefinert Polygon

Mål-MDP 122.0

Målområde MDP 85,0% - 115,0%

Overkompaktert 0,5%

Kompaktert 96,0%

Underkompaktert 3,5%

Totalt område som er dekk

123.5 sq m

2.4871 Ha

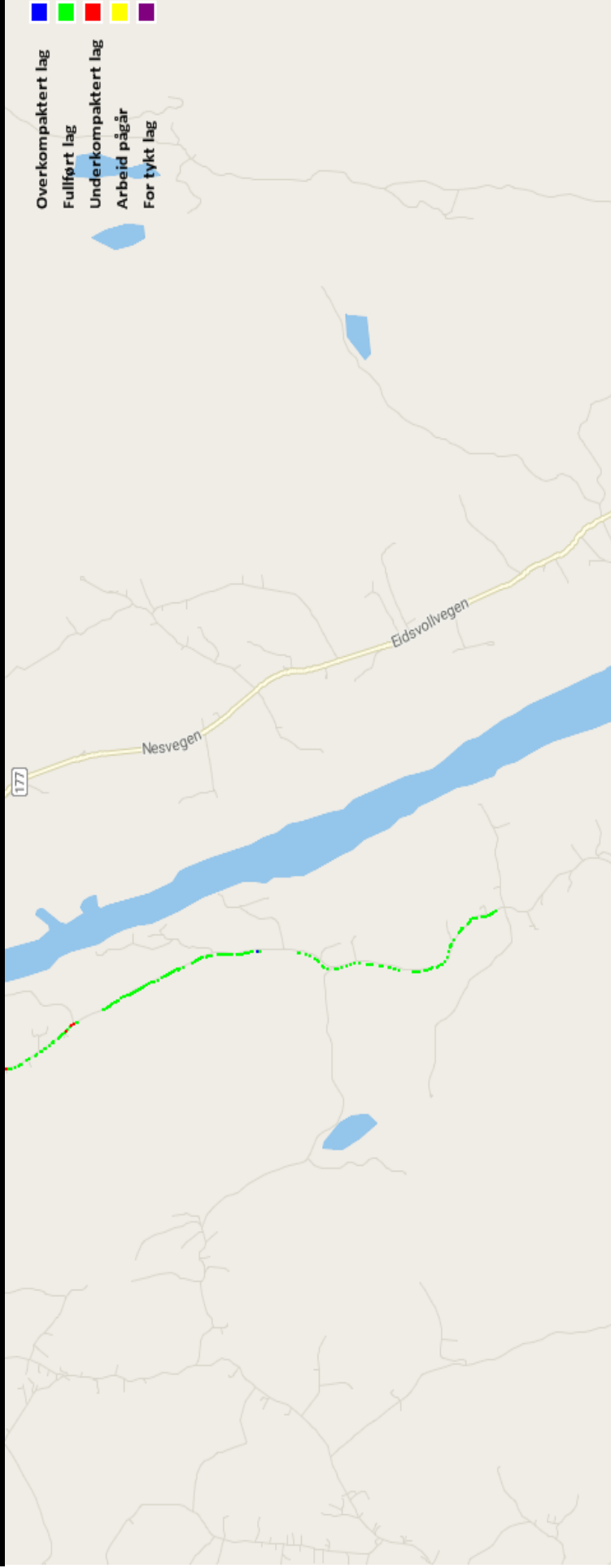
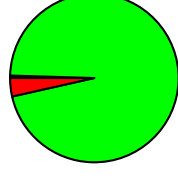
913.5 sq m

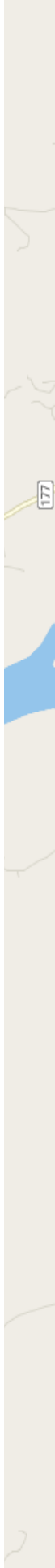
2.5909 Ha

Overkompaktert

Kompaktert

Underkompaktert





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

Eiende-ID: SN.:ASFALTFRESING-CS78B

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

Eiende-ID:ASPHALTINATOR, SN.:L8C00200-VL, Machine Name:GREVLING1 00200

Vedlegg 3

CMV-endringsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

Konto
STRABAG AG NORGE

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>

Design på maskin:

RAVINE1050 LAG 2

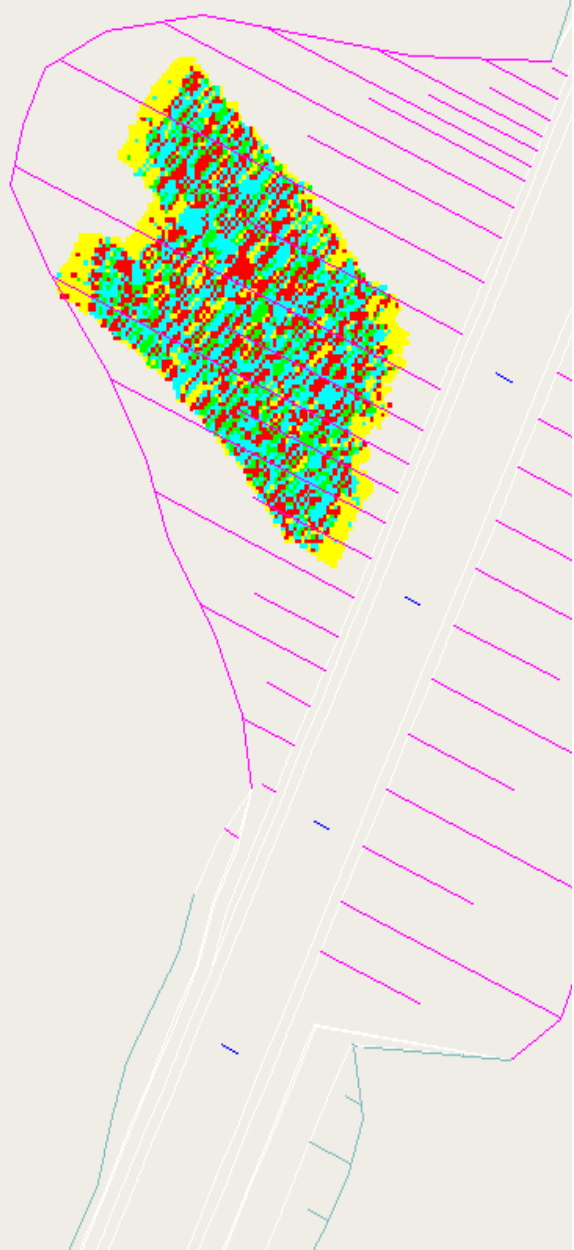
< 5%
5 - 20%
20 - 50%
> 50%


15%
35%
30%
21%

1_034,0 sq ft
2_390,3 sq ft
2_054,4 sq ft
1_433,4 sq ft

Totalt område som er dekk

6_912,1 sq ft





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

CMV sammendragsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

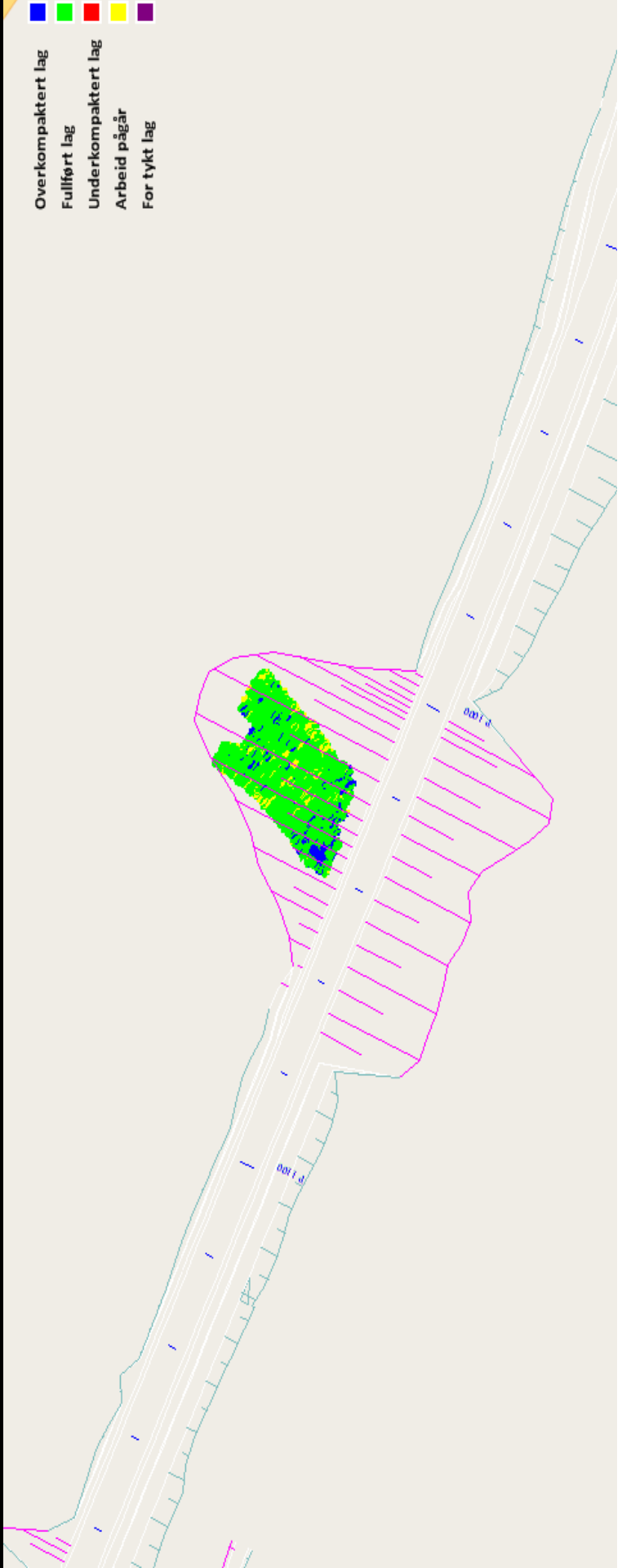
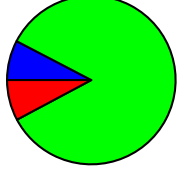
Konto
STRABAG AG NORGE

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>
Design på maskin: RAVINE1050 LAG 2

Mål-CMV 30,0
Målområde CMV 70,0% - 140,0%
Overkompaktert 08%
Kompaktert 85%
Underkompaktert 08%
Totalt område som er dekk 6_907,2 sq ft

527,6 sq ft
5_840,8 sq ft
538,8 sq ft

Overkompaktert
Kompaktert
Underkompaktert



Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:



MDP sammendragsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

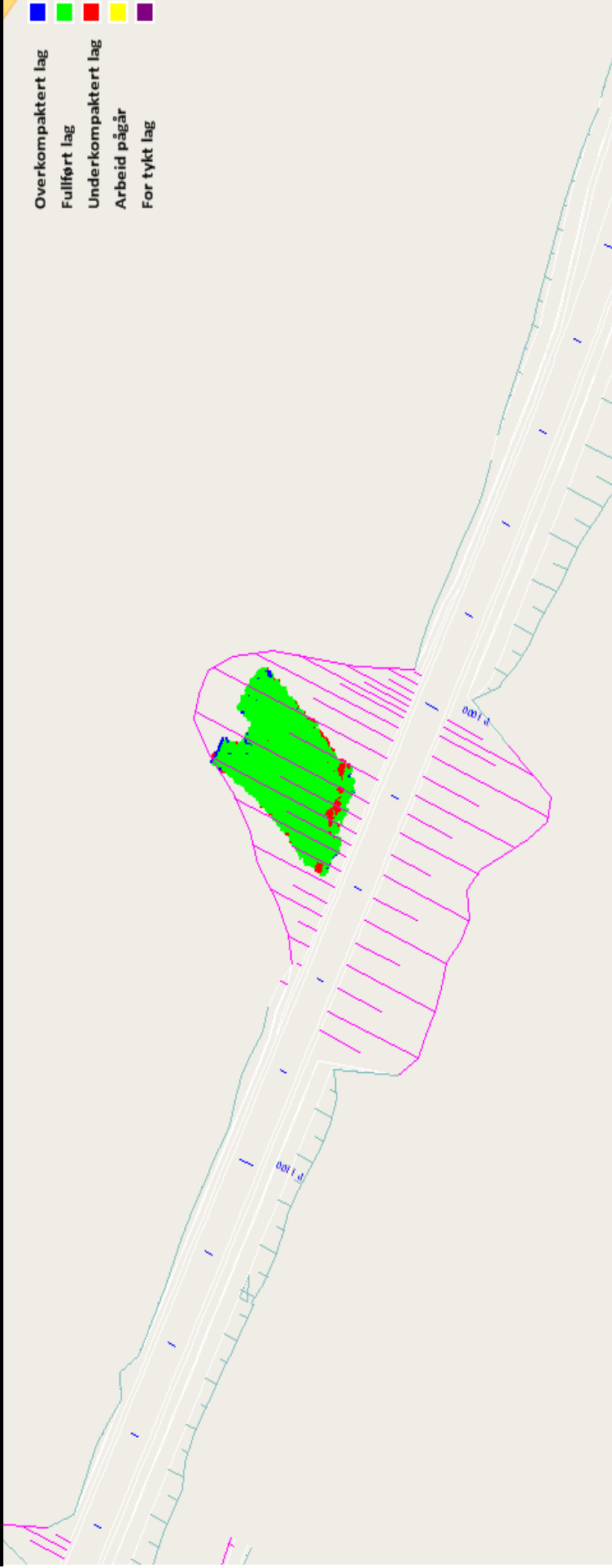
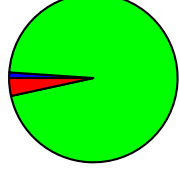
Konto
STRABAG AG NORGE

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>
Design på maskin: RAVINE1050 LAG 2

Mål-MDP 132,0
Målområde MDP 90,0% - 110,0%

Overkompaktert	01%	74,7 sq ft
Kompaktert	96%	6_649,6 sq ft
Underkompaktert	03%	237,7 sq ft
Totalt område som er dekk		6_961,9 sq ft

■ Overkompaktert
■ Kompaktert
■ Underkompaktert



Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:



CMV-endringsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

Konto
STRABAG AG NORGE

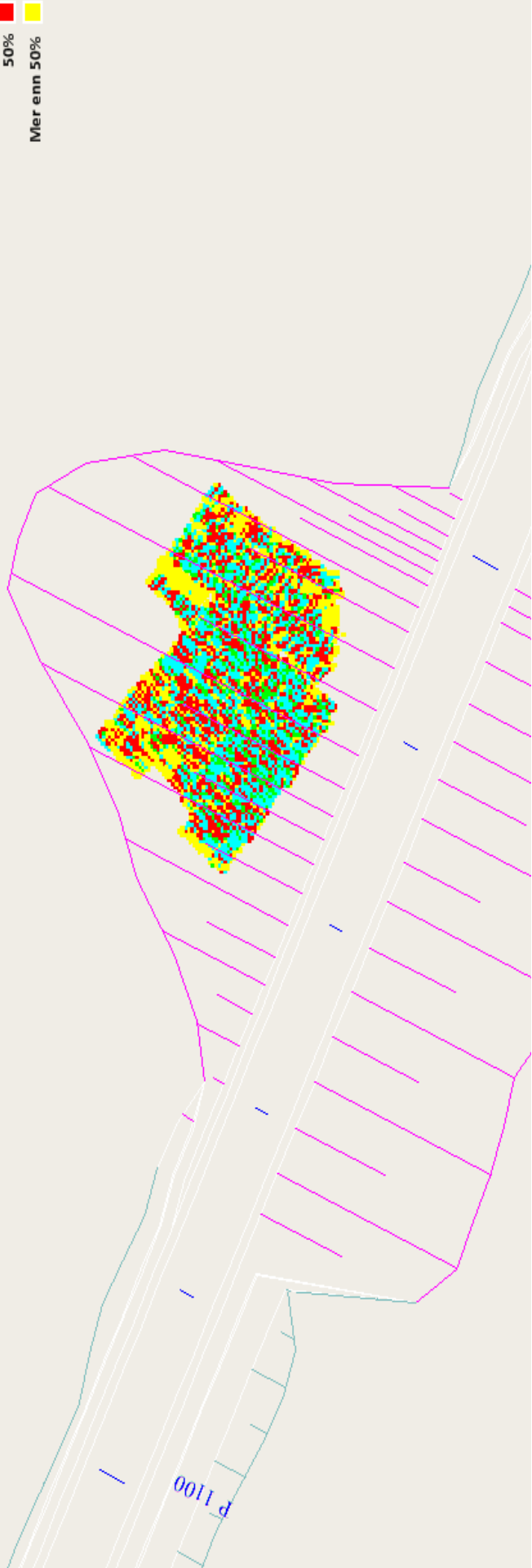
Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>

Design på maskin: RAVINE 1050 LAG 3

< 5%	11%	720,5 sq ft
5 - 20%	32%	2_009,6 sq ft
20 - 50%	32%	1_983,4 sq ft
> 50%	25%	1_564,1 sq ft

Totalt område som er dekk

6_277,5 sq ft





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

CMV sammendragsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

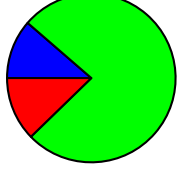
Konto
STRABAG AG NORGE

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>
Design på maskin: RAVINE 1050 LAG 3

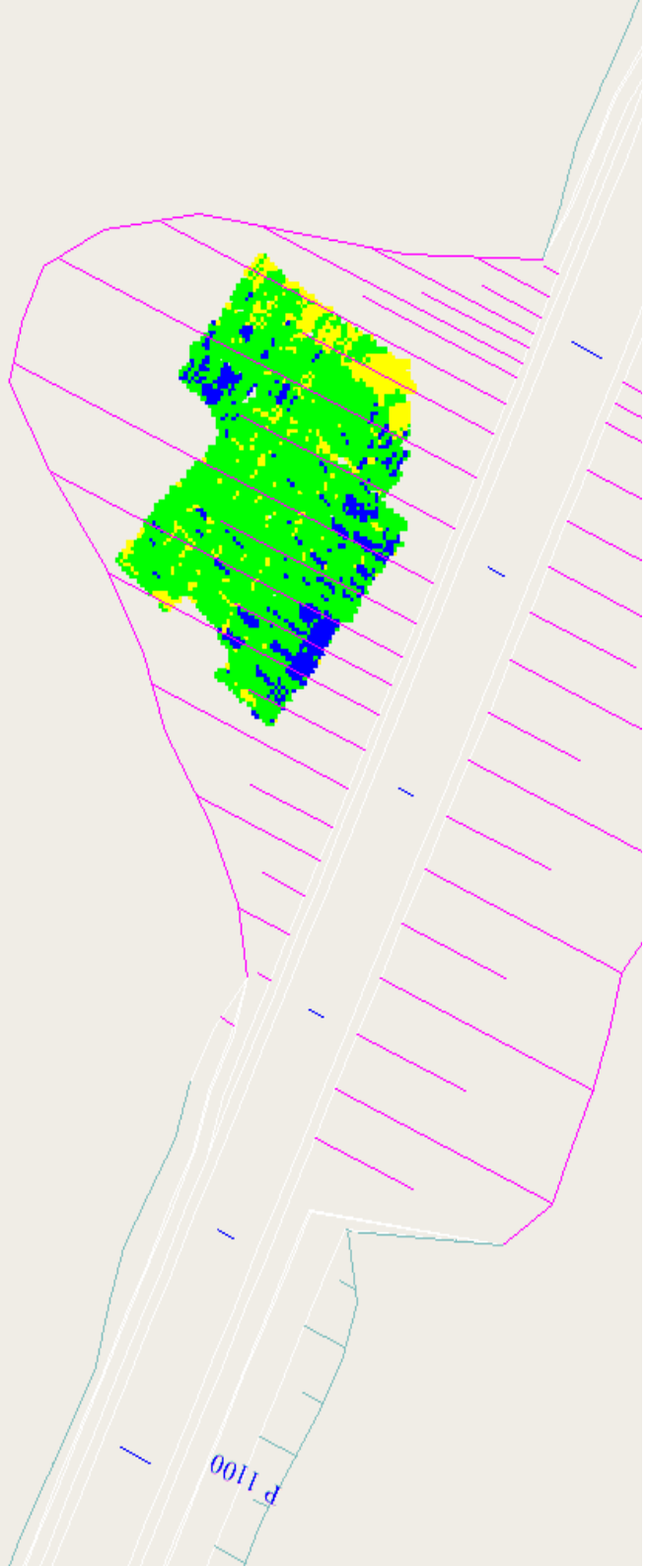
Mål-CMV 30,0
Målområde CMV 70,0% - 140,0%


Overkompaktert	11%	710,5 sq ft
Kompaktert	76%	4_778,1 sq ft
Underkompaktert	12%	767,7 sq ft
Totalt område som er dekk		6_256,4 sq ft

■ Overkompaktert
■ Kompaktert
■ Underkompaktert



■ Overkompaktert lag
■ Fullført lag
■ Underkompaktert lag
■ Arbeid pågår
■ For tykt lag





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

MIDP sammendragsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

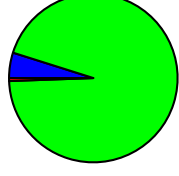
Konto
STRABAG AG NORGE

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>
Design på maskin: RAVINE 1050 LAG 3

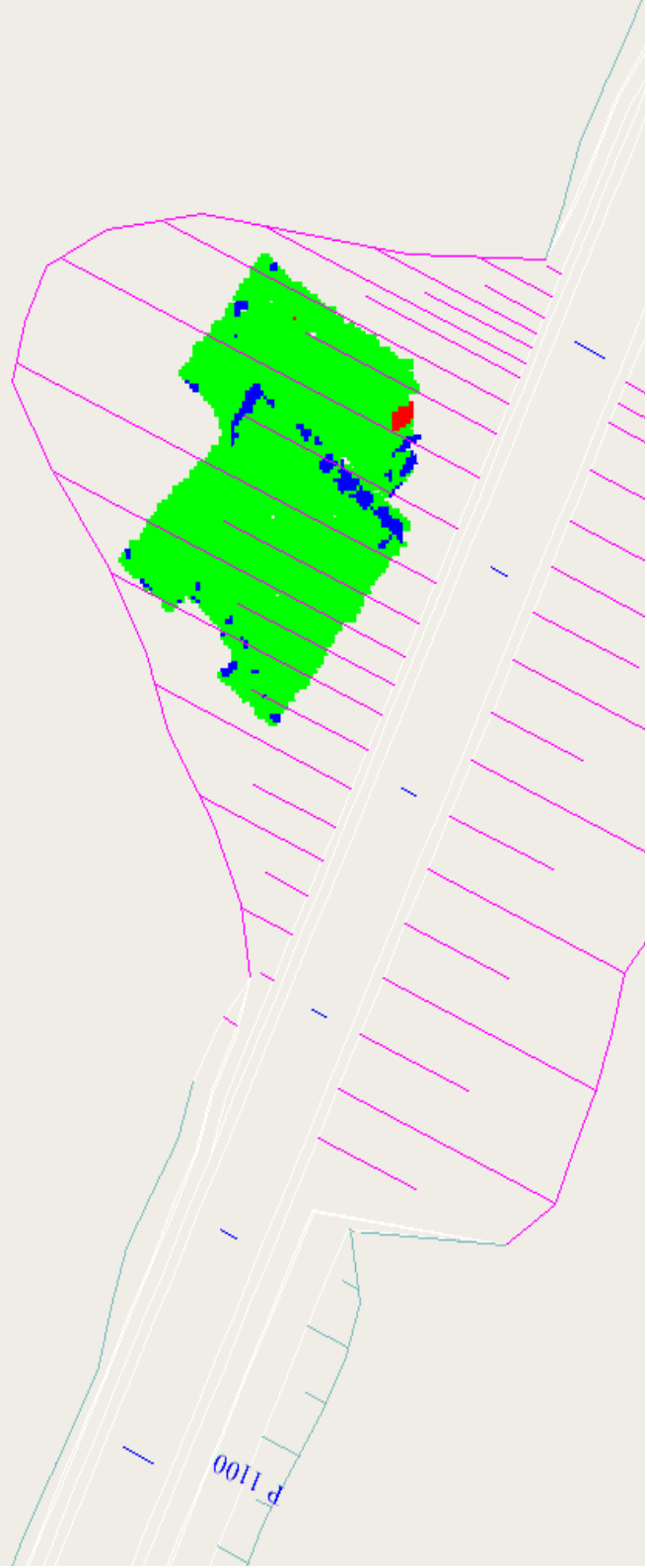
Mål-MDP 132,0
Målområde MDP 90,0% - 110,0%

Overkompaktert	05%	307,3 sq ft
Kompaktert	95%	5_970,2 sq ft
Underkompaktert	01%	36,1 sq ft
Totalt område som er dekk		
		6_313,6 sq ft

■ Overkompaktert
■ Kompaktert
■ Underkompaktert



■ Overkompaktert lag
■ Fullført lag
■ Underkompaktert lag
■ Arbeid pågår
■ For tykt lag





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

CMV-endringsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

Konto
STRABAG AG NORGE

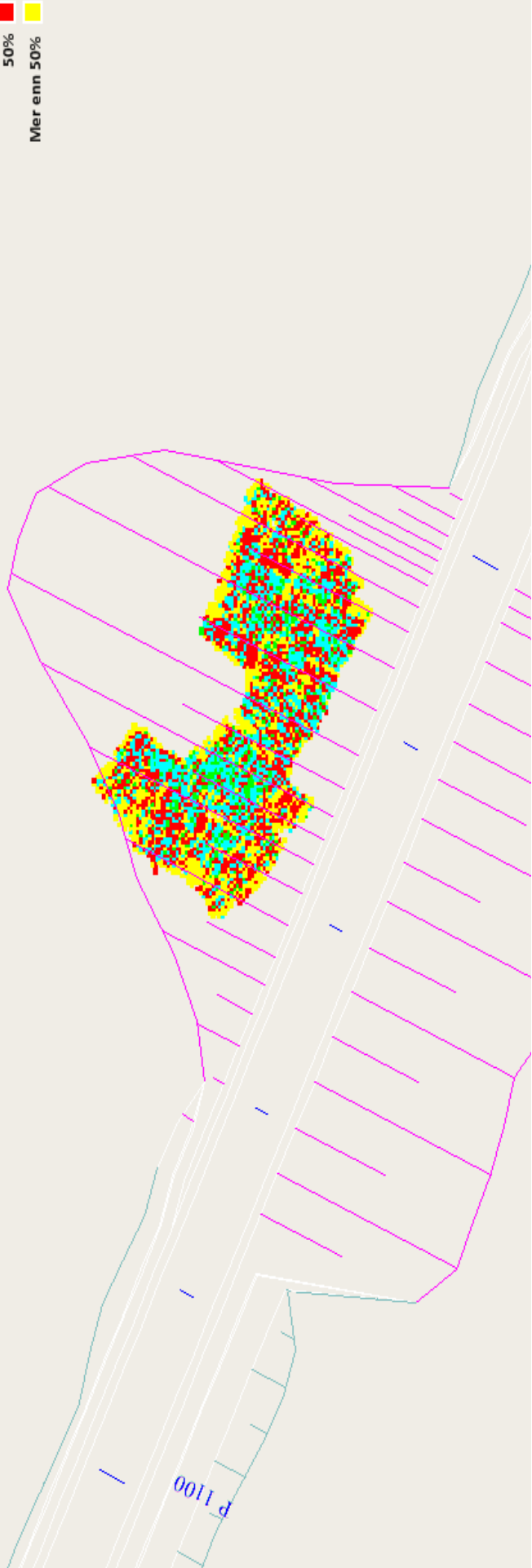
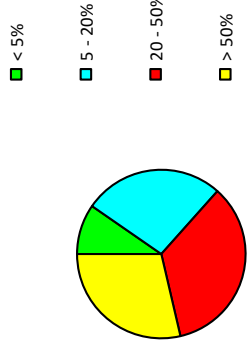
Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>


Design på maskin: 1050 LAG 5

< 5%	10%	606,0 sq ft
5 - 20%	27%	1_696,0 sq ft
20 - 50%	35%	2_186,2 sq ft
> 50%	29%	1_801,8 sq ft

Totalt område som er dekk

6_290,0 sq ft





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

CMV sammendragsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

Konto
STRABAG AG NORGE

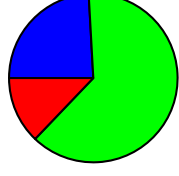
Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>

Design på maskin: 1050 LAG 5

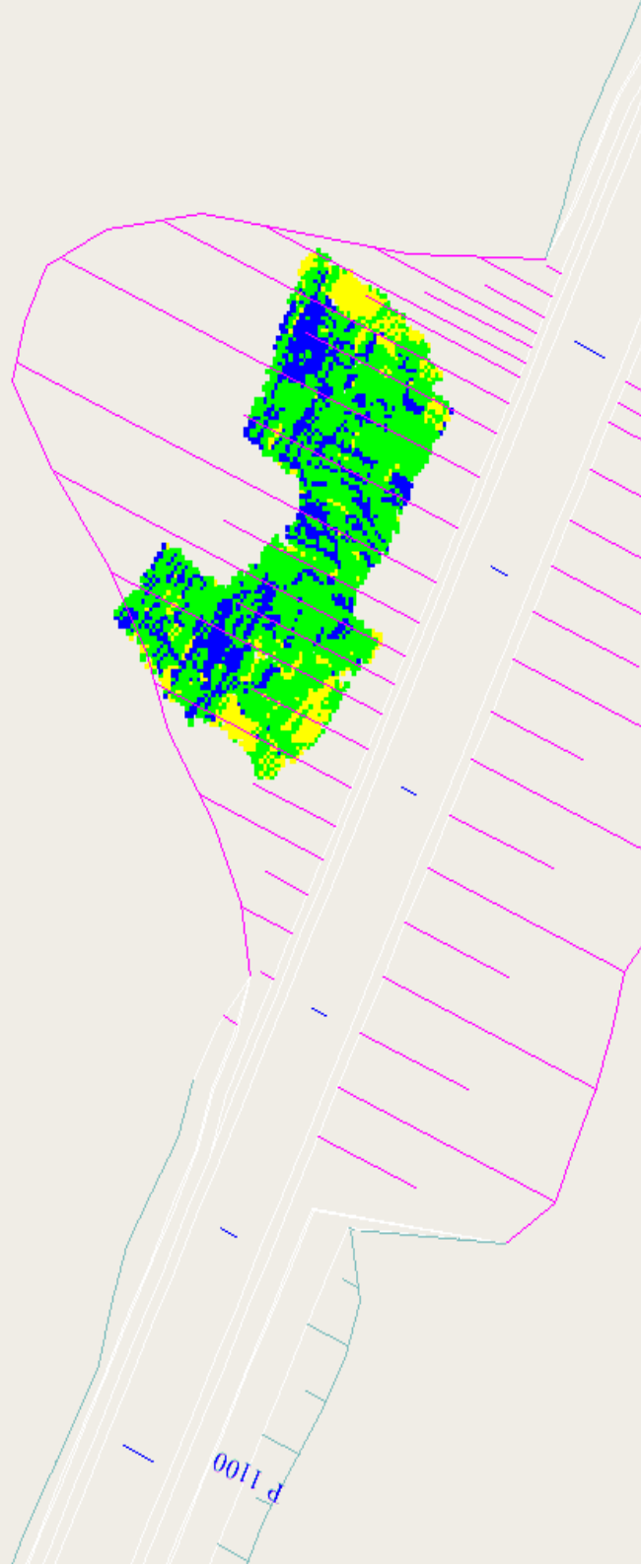
Mål-CMV 30,0
Målområde CMV 70,0% - 140,0%


Overkompaktert	24%	1_511,8 sq ft
Kompaktert	63%	3_949,4 sq ft
Underkompaktert	13%	806,3 sq ft
Totalt område som er dekk		6_267,6 sq ft

■ Overkompaktert
■ Kompaktert
■ Underkompaktert



■ Overkompaktert lag
■ Fullført lag
■ Underkompaktert lag
■ Arbeid pågår
■ For tykt lag





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

MIDP sammendragsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

Konto
STRABAG AG NORGE

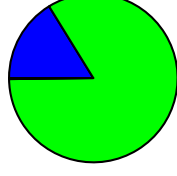
Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>

Design på maskin: 1050 LAG 5

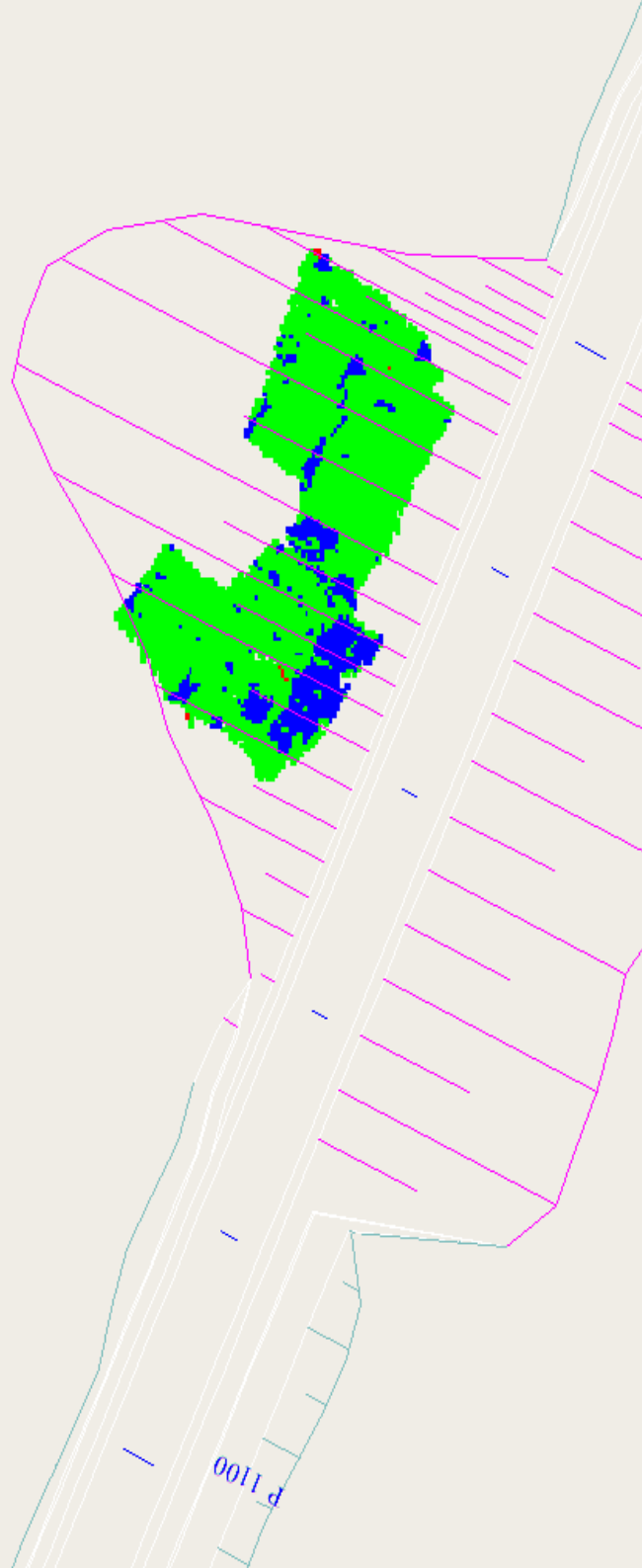
Mål-MDP 132,0
Målområde MDP 90,0% - 110,0%


Overkompaktert	16%	1_020,3 sq ft
Kompaktert	84%	5_265,9 sq ft
Underkompaktert	00%	12,4 sq ft
Totalt område som er dekk		
		6_298,7 sq ft

■ Overkompaktert
■ Kompaktert
■ Underkompaktert



■ Overkompaktert lag
■ Fullført lag
■ Underkompaktert lag
■ Arbeid pågår
■ For tykt lag





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

CMV-endringsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

Konto
STRABAG AG NORGE

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>

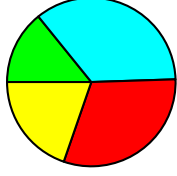
Design på maskin: RAVINE 1050 LAG 6

■ < 5%

■ 5 - 20%

■ 20 - 50%

■ > 50%




< 5%	14%	1_429,7 sq ft
5 - 20%	35%	3_561,2 sq ft
20 - 50%	31%	3_108,3 sq ft
> 50%	20%	1_985,9 sq ft

Totalt område som er dekk

10_085,1 sq ft

5%
20%
50%
Mer enn 50%





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

CMV sammendragsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

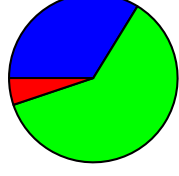
Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

Konto
STRABAG AG NORGE

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>
Design på maskin: RAVINE 1050 LAG 6

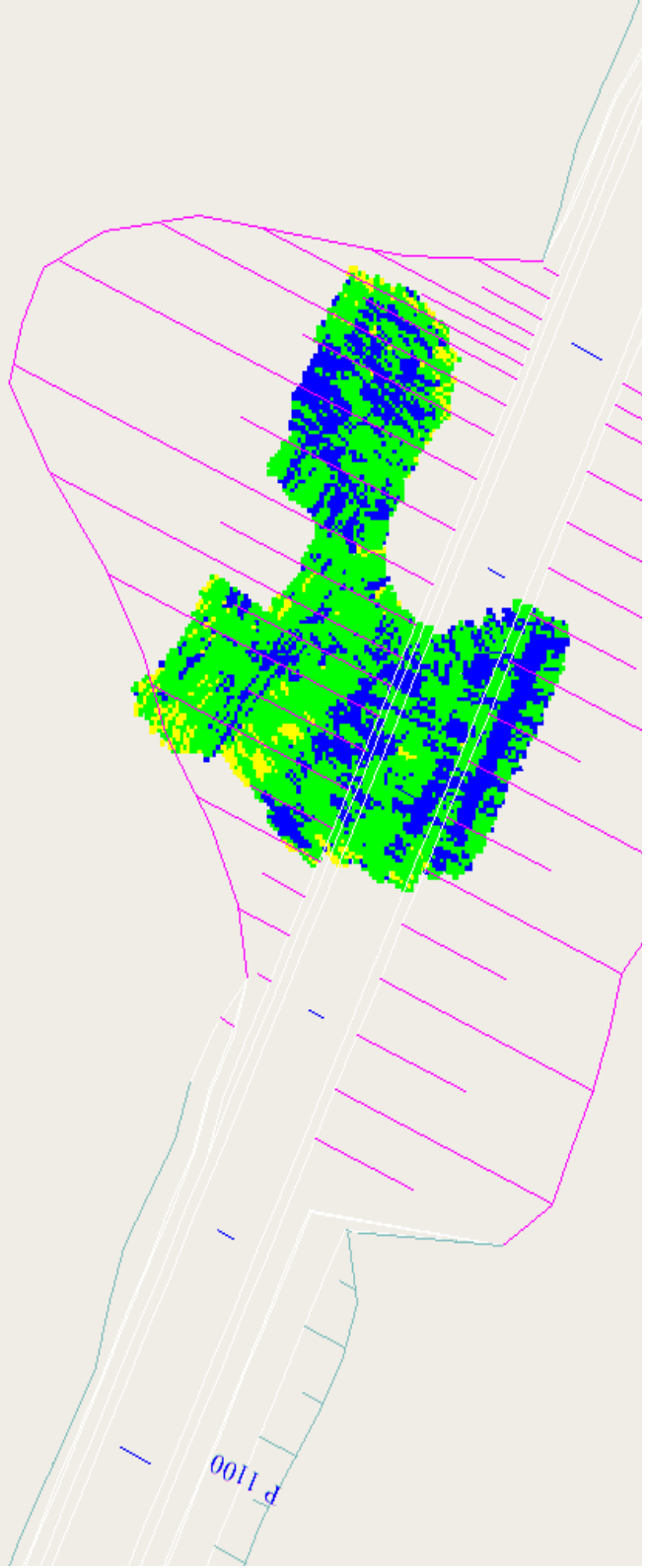
Mål-CMV 30,0
Målområde CMV 70,0% - 140,0%


Overkompaktert	34%	3_403,2 sq ft
Kompaktert	61%	6_151,9 sq ft
Underkompaktert	05%	518,9 sq ft
Totalt område som er dekk		10_073,9 sq ft



- Overkompaktert
- Kompaktert
- Underkompaktert

- Overkompaktert lag
- Fullført lag
- Underkompaktert lag
- Arbeid pågår
- For tykt lag





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

MIDP sammendragsrapport

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17

Konto
STRABAG AG NORGE

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>

Design på maskin: RAVINE 1050 LAG 6

Mål-MDP 141,0
Målområde MDP 90,0% - 110,0%

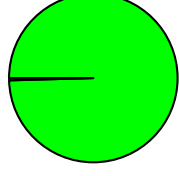
Overkompaktert 00%
Kompaktert 100%
Underkompaktert 00%

Totalt område som er dekk

Overkompaktert

Kompaktert

Underkompaktert

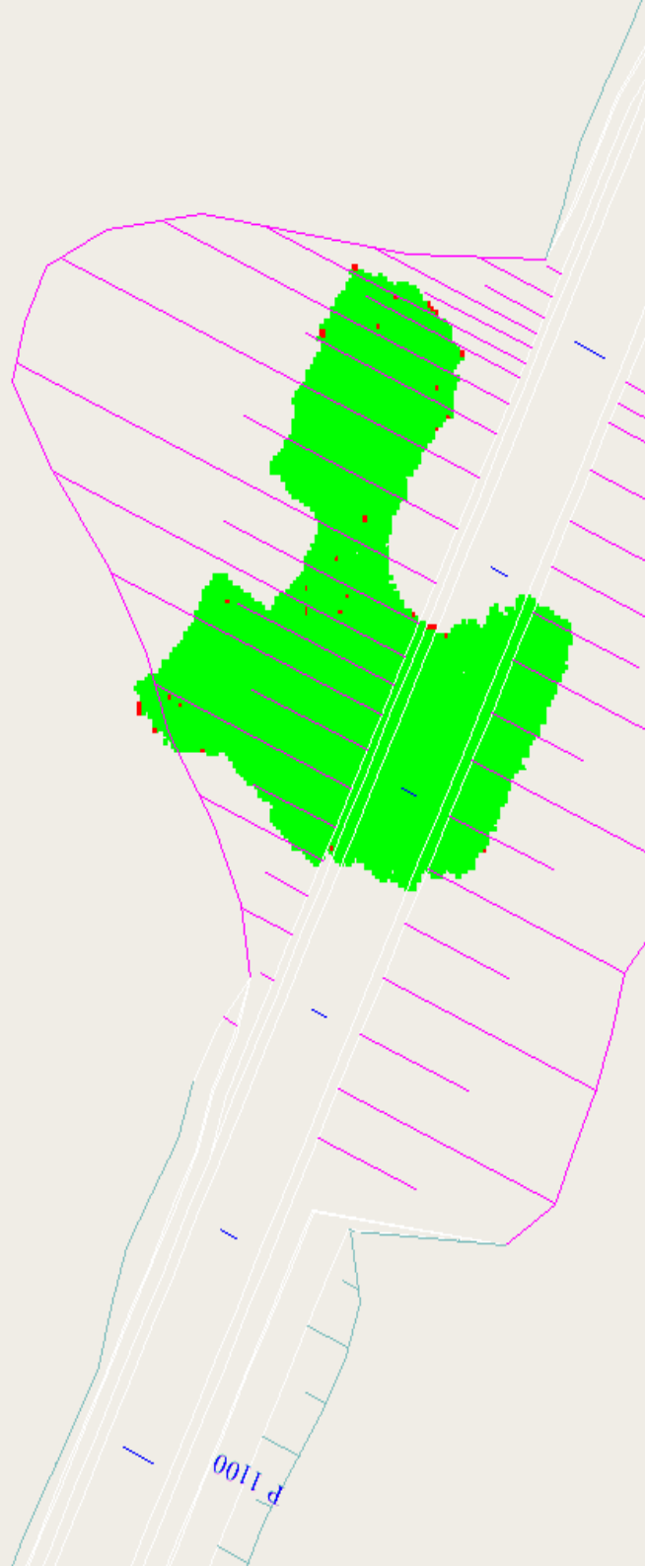


10_068,9 sq ft

44,8 sq ft

10_113,7 sq ft

- Overkompaktert lag
- Fullført lag
- Underkompaktert lag
- Arbeid pågår
- For tykt lag





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

Detaljert rapport om telling av passeringer

Prosjekt
Øye - Eidsbru E16

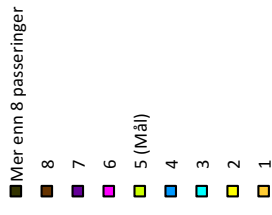
Rapportert dataområde
04/04/17 - 14/06/17


Konto
STRABAG AG NORGE

Anvendt filter: <Nåværende filterinnstillinger>

Design på maskin: RAVINE 1050 LAG 6

Mer enn 8 passeringer	Mer enn 8 passeringer
8	15%
7	07%
6	09%
5 (Mål)	13%
4	43%
3	04%
2	05%
1	02%
	02%





Følgende eiendeler har bidratt med data til denne rapporten:

EiendeID:CAT CS74B, SN.:CS74B STRABAG RENTAL, Machine Name:CS74B 49000111 RENTA

Følgende eiendeler har ikke bidratt med data til denne rapporten:

Vedlegg 4

Komprimeringsplan for pel: _____

Version:

Nr. 002

Dato:

12.06.2017

I de seks prosedyreområdene, formål, målgruppe, krav/referanser, risikoforhold, gjennomføring og dokumentasjon er det lagt inn en egen tekstrubrikk for prosjektspesifikke forhold. Dette for å fange opp særlige kontraktskrav, eller innspill fra egen organisasjon eller andre som er relatert til det enkelte prosjekt. Prosjektspesifikke forhold skal normalt godkjennes av prosjektleder som et supplement til den generelle godkjenningen.

1 Formål

- Sikre at arbeidet med komprimering av masser planlegges og gjennomføres slik at tekniske krav i de ulike håndbøker, gjeldende prosedyrer og kontrakt tilfredstilles.
- Medvirke til bevisstgjøring av arbeidet med dimensjonering av optimalt utstyr for å utføre jobben.
- Medvirke til bevisstgjøring rundt fortløpende kritisk vurdering av de stedlige forhold i den hensikt å unngå uønskede hendelser og riktig valg av arbeidsmetode.

Ansvar: Anleggsleder

Prosjektspesifikke forhold:

2 Målgruppe

Anleggsleder, geotekniker, formann, bas, maskinførere, geomatiker.

Prosjektspesifikke forhold:

3 Krav/Referanser

- Kontrakt (spesiell og generell beskrivelse, relevante og oppdaterte tegninger).
- Hb V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger
- Hb N200 Kap 520.4 Komprimering
- AML forskrift nr 701 Organisering, ledelse og medvirkning
- AML forskrift nr 702 Arbeidsplassforskriften
- AML forskrift nr 703 Forskrift om utførelse av arbeid
- Byggherrens KHMS plan
- Prosjektplan KHMS

Prosjektspesifikke forhold:

4 Risikoforhold

- Alle former for risiko i forbindelse med arbeid med bløte og ustabile masser. Dette kan f.eks være velt/ nedsynkning av maskiner med fare for sjåførere, ukontrollerte ras/ utglidninger med mer.
- Det er ulike farer for teknisk risiko, dvs at sluttprodukt ikke blir iht forutsetningene. Ansvarsforholdene mellom byggherren og Strabag bør fortløpende søkes klarlagt så godt som mulig.

Prosjektspesifikke forhold:

5 Gjennomføring

Prosedyren gjelder for prosessene i:

26.1 Sprengstein til underbygning

- Materialtypene som komprimeres er av utsprengt fjell fra skjæring eller tunnel
- Lagtykkelser skal legges ut med maks 2,0m høyde, men med oppretting for de første lagene
- Vanning er ikke aktuelt for vinterarbeid, men skal vurderes i samråd med Byggherre
- Valsemønster, antall overfarer loggføres med GNSS og sjekklister for komprimering fylles ut for hvert lag og skal være en del av sluttdokumentasjon
- Det skal kjøres kalibrering av vals for hver massetype og lag tykkelse for å finne nødvendig antall overfarer til en oppnår mindre en 10% endring mellom overfartene
- Vibrasjon skal benyttes. 3-4 overfarer med full amplitude og resterende med lav amplitude
- Det kjøres antall overfarer i henhold til kalibrering for masse type og lag tykkelse

Ansvar: Formann, geotekniker, maskinførere

Prosjektspesifikke forhold:

6 Dokumentasjon

- Sjekklister / loggbok som inneholder:
 - Dato
 - Klokkeslett for oppstart
 - Hastighet målt i km/h
 - Valsemønster
 - GNSS registrering
 - Klokkeslett for stopp
 - Lagnummer og tykkelse
 - Temperatur
 - Resonans rapport
 - Kalibrerings rapport

Ansvar: Maskinfører / Formann / geomatiker

Komprimeringsplan for pel: _____

Version:

Nr. 001

Dato:

31.01.2017

I de seks prosedyreområdene, formål, målgruppe, krav/referanser, risikoforhold, gjennomføring og dokumentasjon er det lagt inn en egen tekstrubrikk for prosjektspesifikke forhold. Dette for å fange opp særlige kontraktskrav, eller innspill fra egen organisasjon eller andre som er relatert til det enkelte prosjekt. Prosjektspesifikke forhold skal normalt godkjennes av prosjektleder som et supplement til den generelle godkjenningen.

1 Formål

- Sikre at arbeidet med komprimering av masser planlegges og gjennomføres slik at tekniske krav i de ulike håndbøker, gjeldende prosedyrer og kontrakt tilfredstilles.
- Medvirke til bevisstgjøring av arbeidet med dimensjonering av optimalt utstyr for å utføre jobben.
- Medvirke til bevisstgjøring rundt fortløpende kritisk vurdering av de stedlige forhold i den hensikt å unngå uønskede hendelser og riktig valg av arbeidsmetode.

Ansvar: Anleggsleder

Prosjektspesifikke forhold:

2 Målgruppe

Anleggsleder, geotekniker, formann, bas, maskinførere, geomatiker.

Prosjektspesifikke forhold:

3 Krav/Referanser

- Kontrakt (spesiell og generell beskrivelse, relevante og oppdaterte tegninger).
- Hb V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger
- Hb N200 Kap 520.4 Komprimering
- AML forskrift nr 701 Organisering, ledelse og medvirkning
- AML forskrift nr 702 Arbeidsplassforskriften
- AML forskrift nr 703 Forskrift om utførelse av arbeid
- Byggherrens KHMS plan
- Prosjektplan KHMS

Prosjektspesifikke forhold:

4 Risikoforhold

- Alle former for risiko i forbindelse med arbeid med bløte og ustabile masser. Dette kan f.eks være velt/ nedsynkning av maskiner med fare for sjåførere, ukontrollerte ras/ utglidninger med mer.
- Det er ulike farer for teknisk risiko, dvs at sluttprodukt ikke blir iht forutsetningene. Ansvarsforholdene mellom byggherren og Strabag bør fortløpende søkes klarlagt så godt som mulig.

Prosjektspesifikke forhold:

5 Gjennomføring

Prosedyren gjelder for prosessene i:

26.1 Sprengstein til underbygning

- Materialtypene som komprimeres er av utsprengt fjell fra skjæring eller tunnel
- Lagtykkelser skal legges ut med maks 2,0m høyde, men med oppretting for de første lagene
- Vanning er ikke aktuelt for vinterarbeid, men skal vurderes i samråd med Byggherre
- Valsemønster, antall overfarer loggføres med GNSS og sjekklister for komprimering fylles ut for hvert lag og skal være en del av sluttdokumentasjon
- Vibrasjon skal benyttes. 3-4 overfarer med full amplitude og resterende med lav amplitude
- Antall overfarer skal være min 5

Ansvar: Formann, geotekniker, maskinførere

Prosjektspesifikke forhold:

6 Dokumentasjon

- Sjekklister / loggbok som inneholder:
 - Dato
 - Klokkeslett for oppstart
 - Hastighet målt i km/h
 - Valsemønster
 - GNSS registrering
 - Klokkeslett for stopp
 - Lagnummer og tykkelse
 - Temperatur

Ansvar: Maskinfører / Formann / geomatiker

Kalibreringsrapport for vals

Dato: _____

Temp: _____

Sted: _____

Type vals: Cat CS 74B

Linjelast: 49,7 kg/cm

Type underlag: _____

Type masse som skal komprimeres: _____

Lagtykkelse: _____

Fart: _____ km/t

Antall overfarer full amplitude: _____

Antall overfarer halv amplitude: _____

Totalt antall overfarer: _____

CMV endring siste overfart: _____

MDP endring siste overfart : _____

Sign: _____