

Planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid

Varige veger 2011 - 2014

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 284



Foto: Marit Fladvad



VARIGE VEGER

Tittel

Planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid for ubundne materialer

Undertittel

Varige veger 2011 - 2014

Forfatter

Marit Fladvad
Jostein Aksnes

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og
teknologiavdelingen

Seksjon

Vegteknologi

Prosjektnummer

603102

Rapportnummer

Nr. 284

Prosjektleder

Leif Bakløkk

Godkjent av

Joralf Aurstad

Emneord

Komprimering, vegbygging,
ubundne materialer

Sammendrag

I denne rapporten omtales komprimering av granulære, mekanisk stabiliserte materialer til bruk i vegbygging. Rapporten legger særlig vekt på komprimering av materialer i frostsikringslag, forsterkningslag og granulære bærelag.

Ny teknologi for kontroll og dokumentasjon er et viktig tema i denne rapporten. Kontinuerlig komprimeringskontroll er et samlebegrep for metoder hvor komprimeringsarbeidet kontrolleres og dokumenteres over hele arealet som komprimeres, og hvor kontrollen skjer samtidig som komprimeringsarbeidet blir utført.

Rapporten er ment som en veiledning til planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid, og målgruppen er valseførere, anleggsledere, kontrollingeniører og byggeledere.

Title

Planning and execution of compaction for unbound materials

Subtitle

Durable roads 2011 - 2014

Author

Marit Fladvad
Jostein Aksnes

Department

Traffic Safety, Environment and
Technology Department

Section

Road Technology

Project number

603102

Report number

No. 284

Project manager

Leif Bakløkk

Approved by

Joralf Aurstad

Key words

Compaction, road construction, unbound materials

Summary

This report discusses compaction of granular, mechanically stabilised materials used in road construction. The report especially emphasizes compaction of unbound materials used in frost protection layer, subbase and base course in road constructions.

New technology for quality control and documentation is an important subject in this report. Continuous compaction control is a concept in which the control and documentation cover the whole compacted area, and where compaction work and quality control is executed simultaneously.

The report is meant to be a document that provides advice and guidance for planning and execution of compaction, and the target group is roller operators and other personnel associated with compaction work.

Forord

De siste åra har det bygd seg opp et stadig sterkere behov for et faglig løft innenfor vegteknologiområdet i Norge. Vi ser at det både er et behov og et potensial for å bedre kvaliteten og øke levetiden på asfaltdekkene. I Nasjonal Transportplan, i Statens vegvesens Handlingsprogram og i mange fylker legges det også opp til sterkere satsing på å ta vare på eksisterende vegnett.

Effekt målet til etatsprogrammet Varige veger er «**Økt dekkelevetid og reduserte årskostnader for hele vegkonstruksjonen på det norske vegnettet**».

Etatsprogrammet har fokus på følgende tre hovedtema som utgjør hver sin arbeidspakke:

- 1. Vegdekker**
- 2. Dimensjonering og forsterkning**
- 3. Kunnskapsformidling og implementering**

Programmets målsettinger skal nås gjennom tiltak på hele vegkonstruksjonen inkludert undergrunn/underbygning. I tillegg er det viktig at det fokuseres på å heve kompetansen både hos Statens vegvesen og andre byggherrer, entreprenører, konsulenter, undervisnings- og forskningsinstitusjoner.

I denne rapporten omtales komprimering av granulære, mekanisk stabiliserte materialer til bruk i vegbygging. Rapporten legger særlig vekt på komprimering av materialer i frostsikringslag, forsterkningslag og granulære bærelag. Også grøfter, fundamenter, fyllinger og andre elementer knyttet til vegbygging behøver komprimering, men er ikke vektlagt i denne rapporten. Komprimering av asfaltmaterialer omtales ikke.

Rapporten er ment som en veiledning til planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid, og målgruppen er valseførere, anleggsledere, kontrollingeniører og byggeledere.

Sammendrag

Komprimering er en viktig del av arbeidet med utlegging av materialer til vegbygging. For å oppnå den tilsiktede bæreevnen og levetiden til en veg er byggefasen avgjørende.

I forbindelse med vegbygging handler komprimering om å pakke sammen steinmaterialer. På denne måten ligger ikke steinkornene lenger løst lagret, men blir til et sammenhengende materiale med bedre deformasjonsmotstand og lastfordelende evne.

Komprimering av vegarealet gjøres vanligvis med en eller flere valser. Vi skiller ofte mellom tre typer valser:

- Valser med én trommel
- Tandemvalser
- Gummihjulsvalser

I denne rapporten forklares bruksområdene for ulike typer komprimeringsutstyr.

Effekten av komprimeringsarbeidet avhenger av en rekke ulike egenskaper hos steinmaterialet som skal komprimeres. Denne rapporten forklarer disse egenskapene, samt en rekke forhold som kan påvirke den praktiske utførelsen av komprimeringsarbeid.

Ny teknologi for kontroll og dokumentasjon er et viktig tema i denne rapporten. Kontinuerlig komprimeringskontroll er et samlebegrep for metoder hvor komprimeringsarbeidet kontrolleres og dokumenteres over hele arealet som komprimeres, og hvor kontrollen skjer samtidig som komprimeringsarbeidet blir utført.

Entreprenøren skal dokumentere at den planlagte kvaliteten er oppnådd. Entreprenørens dokumentasjon av komprimering skal vise omfanget av komprimeringsarbeidet i tillegg til at den skal vise at det er oppnådd tilstrekkelig stivhet på det ferdige vegfundamentet opp til og med øverste granulære lag.

Riktig komprimering er viktig for å oppnå god styrke og stivhet i de materialene som legges ut. Alt komprimeringsarbeid skal planlegges på forhånd, og det skal lages komprimeringsplan. Det er utarbeidet en mal for komprimeringsplan som kan brukes som støtte under planleggingen av komprimeringsarbeidet.

Innhold

Forord	5
Sammendrag	7
Innhold	8
Kapittel 1 Innledning	11
1.1. Omfang	11
1.2. Hvorfor er komprimering viktig?.....	12
Kapittel 2 Grunnteori	13
2.1. Komprimering med vibrasjon.....	13
2.2. Statisk komprimering	15
2.3. Komprimeringsenergi	16
Kapittel 3 Utstyr	17
3.1. Ulike typer valser	17
3.2. Bruksområder.....	17
3.3. Annet komprimeringsutstyr	18
Kapittel 4 Steinmaterialer og grunnforhold	19
4.1. Variasjoner i under- og overbygning.....	19
4.2. Steinmaterialer	19
4.3. Varierende grunnforhold	20
Kapittel 5 Praktisk utførelse	21
5.1. Lagtykkelser.....	21
5.2. Overhøyde	21
5.3. Vanning	22
5.4. Valsemønster	23
5.5. Komprimering av fyllinger	24

Kapittel 6	Kontinuerlig komprimeringskontroll	25
Kapittel 7	Stedfesting	27
7.1.	Stedfesting av arbeidet.....	27
7.2.	Stedfesting uten GNSS	28
Kapittel 8	Bruk av responsmålere	29
8.1.	Hva er responsmålinger	29
8.2.	Bruk av responsmålinger.....	29
8.3.	Intelligent komprimering.....	31
Kapittel 9	Kontroll og dokumentasjon	33
9.1.	Krav til dokumentasjon av teknisk kvalitet	33
9.2.	Manuelle målemetoder for komprimeringskontroll	34
9.3.	Automatisert komprimeringskontroll	35
Kapittel 10	Planlegging av komprimeringsarbeid	37
10.1.	Komprimeringsplan	37
10.2.	Valseprogram	37
10.2.1.	Valseprogram basert på platebelastning.....	38
10.2.2.	Valseprogram basert på nivellement.....	38
10.2.3.	Valseprogram basert på densitetsmålinger	38
10.2.4.	Valseprogram basert på responsmålinger fra vals.....	39
10.3.	Generelt for alle komprimeringsplaner	39
Referanseliste.....		43
Vedlegg 1	Alfabetisk ordforklaring.....	45
Vedlegg 2	Mal for komprimeringsplan.....	47

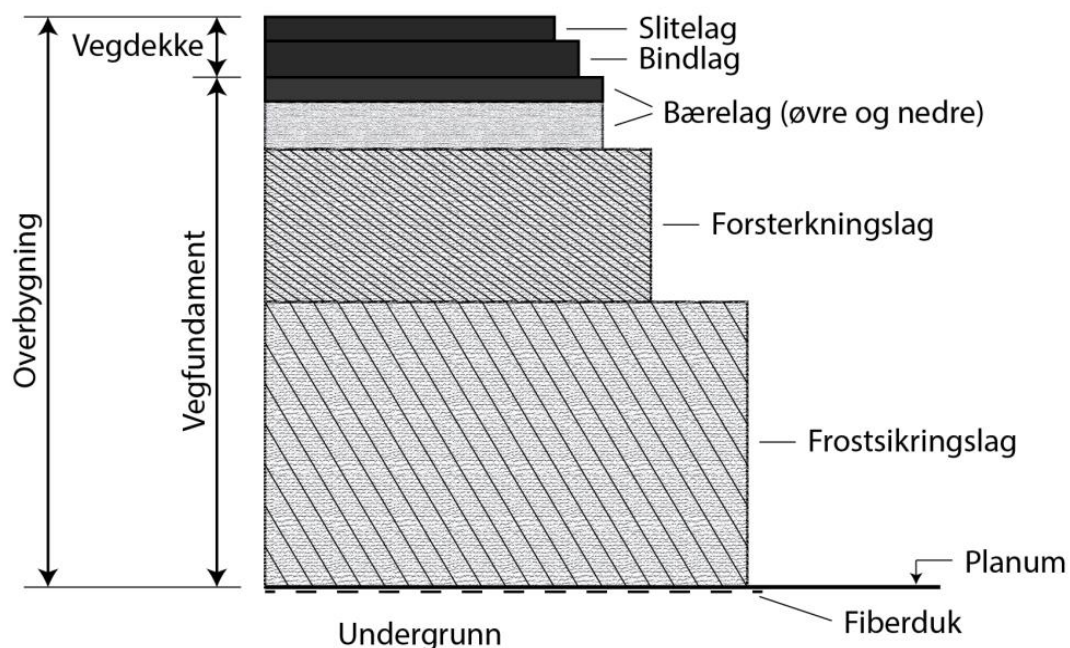
Kapittel 1 Innledning

Hva er komprimering?

Hvorfor skal materialene komprimeres?

1.1. Omfang

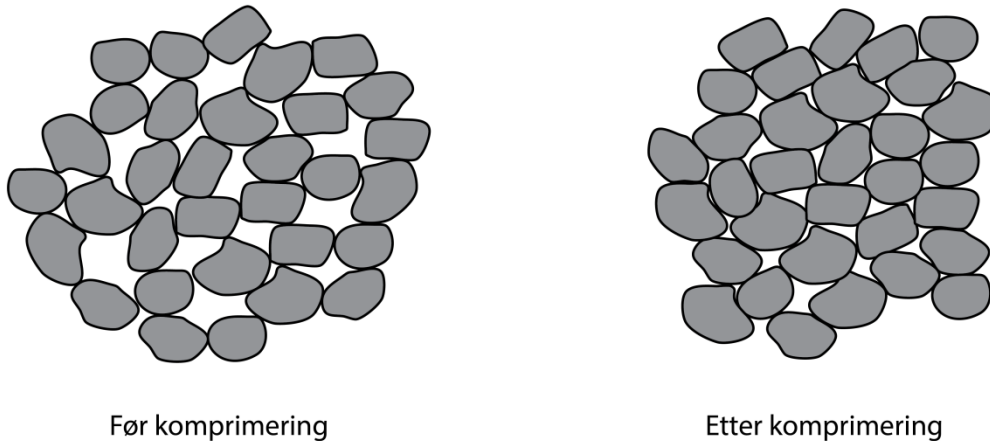
I denne rapporten omtales komprimering av granulære, mekanisk stabiliserte materialer til bruk i vegbygging. Rapporten legger særlig vekt på komprimering av materialer i frostsikringslag, forsterkningslag og granulære bærelag. Komprimeringen av disse arealene foregår vanligvis med selvgående valser med eller uten vibrasjon. Også grøfter, fundamenter, fyllinger og andre elementer knyttet til vegbygging behøver komprimering, men er ikke vektlagt i denne rapporten. Komprimering av asfaltmaterialer omtales ikke. Mye av stoffet kan likevel være relevant også for komprimering til andre formål.



Figur 1 Vegoverbygning

I forbindelse med vegbygging handler komprimering om å pakke sammen steinmaterialet. På denne måten ligger ikke steinkornene lenger løst lagret, men blir til et sammenhengende materiale med bedre deformasjonsmotstand og lastfordelende evne. Figur 2 illustrerer prinsippet ved komprimering av steinmaterialer.

En oversikt over uttrykk og begreper som er brukt i teksten finnes i Vedlegg 1.



Figur 2 Illustrasjon av steinmateriale før og etter komprimering

1.2. Hvorfor er komprimering viktig?

Komprimering er viktig for å sikre tilstrekkelig bæreevne for vegbyggingsmaterialene. Under dimensjoneringen av vegen regner man med at materialene i vegoverbygningen skal ha en viss lastfordelende evne. Materialene som legges ut må komprimeres for å oppnå denne. Dersom ikke dette arbeidet gjøres på riktig måte vil man ikke oppnå forutsetningene som er satt i dimensjoneringen, og det kan føre til at vegkonstruksjonen ikke tåler så store laster som det er stilt krav til og at belastningen på undergrunnen blir for stor.

Når et steinmateriale komprimeres pakkes steinene tettere sammen, og materialet blir sterkere. Det blir mindre luftrom mellom steinene, og kontaktflatene mellom steinene blir større. Den økte kontaktflaten gjør at friksjonskreftene mellom steinene øker, og de henger bedre sammen. Dette merker vi på overflaten for eksempel gjennom at det skal mer til før det dannes hjulspor.

Dersom man ikke komprimerer steinmaterialene som legges ut tilstrekkelig vil man få raskere skadeutvikling i form av deformasjoner og spor når trafikken begynner å kjøre på vegen. Dette kan skyldes både etterkomprimering av de granulære lagene og overbelastning av undergrunnen fordi vegoverbygningen ikke har fått bæreevne som forutsatt.

For dårlig komprimeringsarbeid vil dermed bidra til at vegen brytes fortere ned, og man får økte kostnader med vedlikehold av vegen. Tiltak som reasfaltering må gjøres oftere, og den totale levetiden til vegkonstruksjonen kan bli kortere.

Kapittel 2 Grunnteori

Hva er vibrasjon, frekvens og amplitude?

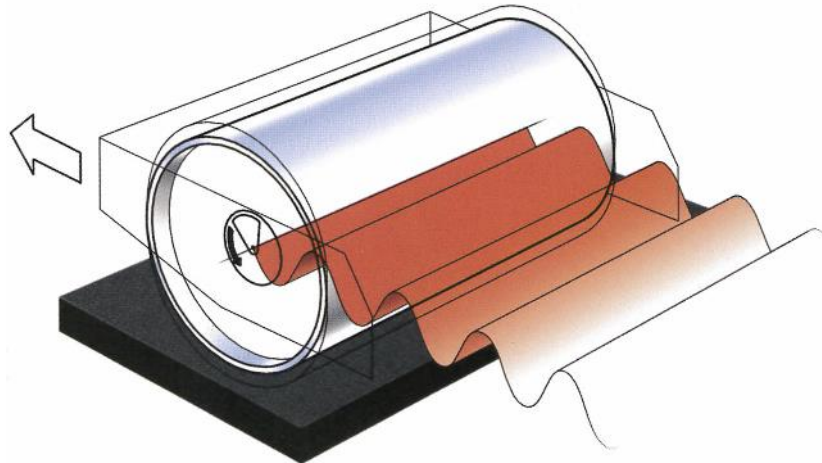
Hvordan overføres energi fra vals til underlag?

2.1. Komprimering med vibrasjon

Det er flere faktorer ved selve valsen som kan gjøre at effekten av komprimeringsarbeidet varierer. De tre viktigste innstillingene til valsen er

- hastighet
- amplitude
- frekvens

Hastigheten valsen kjøres med har innvirkning på effekten av alle typer komprimeringsarbeid. Amplitude og frekvens er i tillegg faktorer som styrer komprimeringen når det brukes vibrasjon.



Figur 3 Valsetrommel i vibrasjon [1]

Frekvensen angir hvor fort valsetrommelen vibrerer, altså hvor mange slag den slår ned på underlaget hvert sekund. Frekvensen angis normalt i hertz (Hz) som betyr svingninger per sekund. En frekvens på om lag 30 Hz er vanlig for en vibrerende valse.

Amplituden forteller hvor kraftig vibrasjonen er. Vi kan tenke oss at valsetrommelen beveger seg som en bølge, med utslag oppover og nedover samtidig som den beveger seg fremover. Dette er vist i Figur 3. For en bølge er amplitude det samme som bølgehøyde. Høy amplitude gir kraftige slag med valsetrommelen, og kraftige slag virker lenger ned i konstruksjonen enn svakere slag. Slagene har størst virkning øverst i konstruksjonen, før de gradvis blir dempet nedover i steinmassen. Normal dybdevirkning avhengig av hvilket materiale som komprimeres og statisk linjelast på valsen er vist i Figur 5.

Det finnes også valser som bruker oscillerende vibrasjon. Denne typen vibrasjon virker horisontalt, og gir en knaende effekt til toppen av laget som blir

komprimert. Slik vibrasjon brukes til komprimering av asfaltmasser, og har dårlig virkning på ubundne materialer.

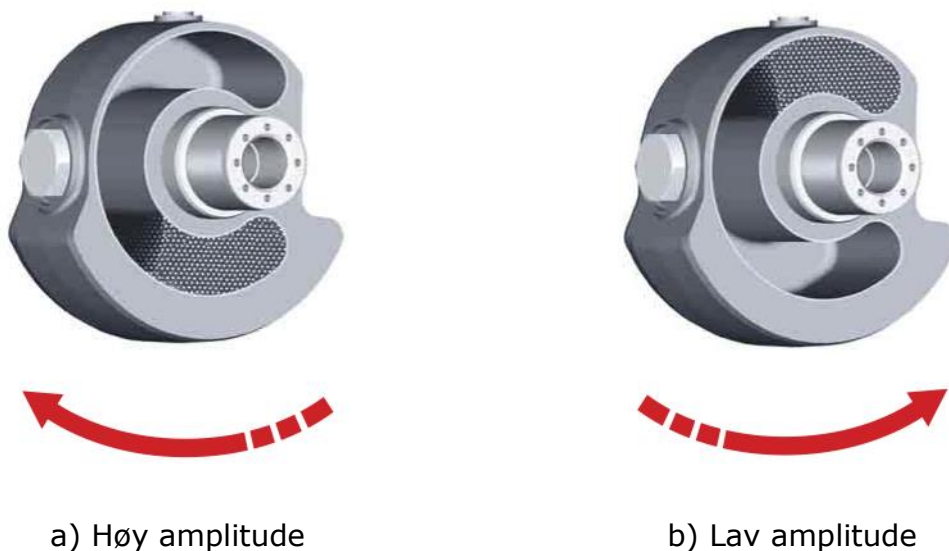
Amplituden kan justeres av valsefører. Enten som et valg mellom høy og lav, eller som en skala med flere inndelinger. Frekvensen endres ikke av den som kjører valsen, men den er knyttet til amplituden og justeres automatisk når amplituden endres.

Vibrasjonen blir skapt av eksentriske vekter festet til en aksel inne i valsetrommelen. Vektene er festet slik at trommelens tyngdepunkt er i endring når akselen roterer, og de er tunge nok til at selve valsetrommelen blir satt i bevegelse når vektene roterer. Vibrasjonsfrekvensen blir bestemt av hvilken rotasjons hastighet akselen er innstilt på.

Justering mellom høy og lav amplitude gjøres ved å endre rotasjonsretningen til akselen med de eksentriske vektene. Dette er mulig fordi en del av vekten står fast, mens resten er «løs» og flytter seg med rotasjonsretningen.

Når rotasjonsretningen er slik at faste og bevegelige vekter er plassert på samme side av akselen, får man den høyeste amplituden. Vektene jobber da sammen om å dra trommelen ut av likevekt. Når rotasjonsretningen endres glir de bevegelige vektene over på diametralt motsatt side av akselen og utligner eksenterkraften. Da får man vibrasjon med lav amplitude.

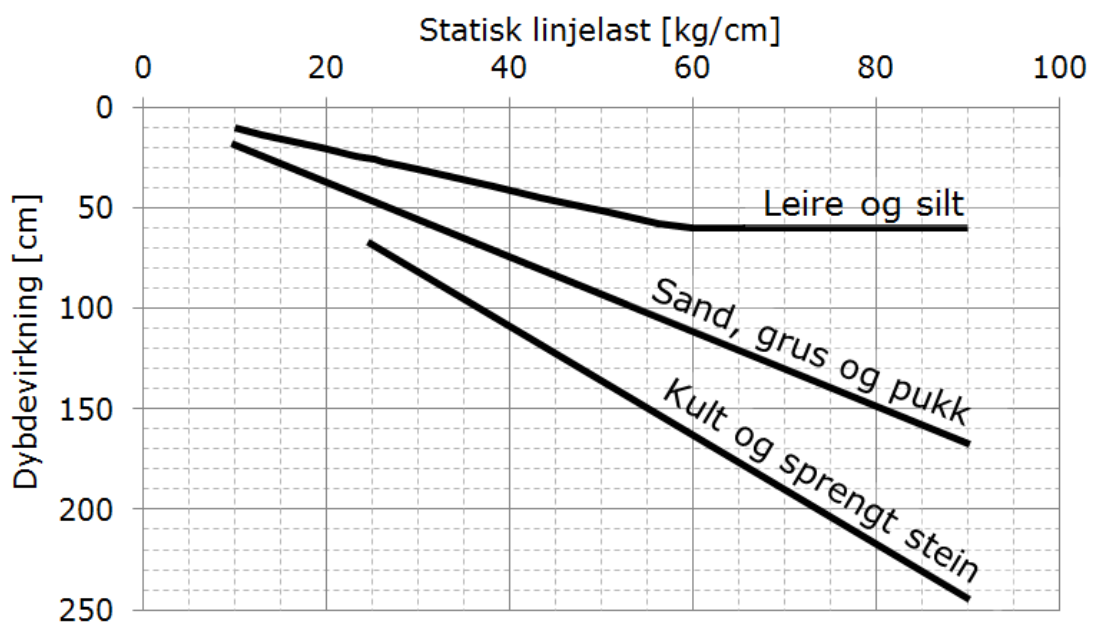
Fabrikanter av valsutstyr har forskjellige løsninger for å skape vibrasjon. Et eksempel er vist i Figur 4. Her er det stålkuler som kan bevege seg fritt inne i en del av den roterende akselen. Samtidig er akselen formet slik at den er en eksentrisk vekt i seg selv. Når akselen roterer i den ene retningen legger kulene seg i den tunge delen av akselen og man får vibrasjon med høy amplitude (Figur 4a). Når rotasjonsretningen snus glir kulene over til motsatt side og senker vibrasjonen til lav amplitude (Figur 4b).



Figur 4 Eksempel på varierende eksentervekter. [2]

Når det komprimeres med vibrasjon er det viktig at valsen holder jevn hastighet. Man anbefaler en kjørehastighet i området 3-5 km/t. Med en frekvens på 30 Hz vil en variasjon mellom 3 og 5 km/t tilsvare en variasjon mellom 36 og 22 slag med valsetrommelen per meter. Høyere hastighet gir lengre avstand mellom slagene fra valsetrommelen. Dette vil naturlig nok ha stor innvirkning på hvor god komprimeringseffekt man oppnår, og man forstår at det er viktig å holde jevn hastighet når det komprimeres med vibrasjon.

Figur 5 viser maksimal dybdevirkning for en valse, avhengig av hvor stor den statiske linjelasten er, og hvilket materiale som komprimeres. Merk at maksimal dybdevirkning for leire og silt ikke vil bli større enn ca. 60 cm, uavhengig av hvor tungt utstyr som brukes. For å oppnå den maksimale dybdevirkningen må valsen kjøres med vibrasjon og være innstilt på høy amplitude.



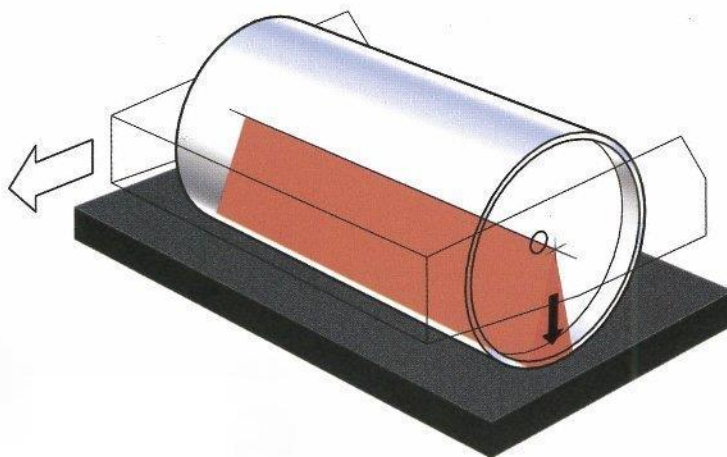
Figur 5 Dybdevirkning avhengig av statisk linjelast og materialtype

Når det komprimeres med vibrasjon kan man oppleve at valsen begynner å gjøre dobbelthopp. Dette skjer når underlaget har blitt så stivt at selve valsetrommelen begynner å vibrere/hoppe i utakt med de indre eksentervektene som skaper vibrasjonen. Dobbelt hopp er et klart tegn på at materialet ikke kan ta til seg mer komprimering fra valsen og vibrasjonen må slås av. På en del valser slås vibreringen automatisk av når dobbelthopp oppstår. Fortsetter man å komprimere med vibrasjon på et underlag som gir dobbelthopp vil dette innebære økt slitasje på selve valsen og medføre nedknusing av steinmaterialene i toppen av laget.

2.2. Statisk komprimering

Komprimering kan også gjøres uten vibrasjon. Dette kalles å komprimere statisk. Det finnes valser som bare komprimerer statisk, eller man kan slå av vibrasjonen på en vibrerende valse. Når man komprimerer uten vibrasjon er det tyngden på valsen som har størst påvirkning på komprimeringsarbeidet som blir gjort.

For å kunne sammenligne ulike valser med ulik bredde og vekt beregner vi statisk linjelast for valsetrommelen. Den statiske linjelasten er definert som vekten på valsetrommelen delt på bredden av valsetrommelen. Som vist i Figur 6 tenker man seg at det bare er en smal del av valsetrommelen som er i kontakt med bakken. Vekten som hviler på trommelen fordeles utover denne stripen, og vi regner derfor med en last i kg/cm.



Figur 6 Statisk linjelast [1]

2.3. Komprimeringsenergi

Når et område blir komprimert tilfører valsen energi til underlaget den kjører på. Denne energien går med til å flytte steinkornene i materialet slik at de blir pakket tett sammen.

Den totale komprimeringsenergien som tilføres er avhengig av vekten på valsen, vibrasjon (amplitude og frekvens), hastighet og antall overfarer. Gjennom å justere vibrasjonsegenskapene og antall overfarer, kan en stor og en liten valse til sammen tilføre like mye energi til et materiale. Hvor kraftige og tette slag vibrasjonen gir kan ha større innvirkning på komprimeringsenergien enn linjelasten når det komprimeres med vibrasjon.

Effekten av komprimeringsarbeidet dempes nedover i materialet som skal komprimeres. Komprimeringsenergien som tilføres må være stor nok til at også den nederste delen av materialet blir komprimert. Samtidig må ikke energien være så stor at materialet på toppen knuses ned. Dette er spesielt viktig når materialet nærmer seg ferdig komprimert. Da er friksjonskreftene mellom steinkornene store, og faren for nedknusning øker. For å unngå nedknusning samtidig som man skal være sikker på å få komprimert hele tykkelsen på laget som legges ut vil det ofte være aktuelt å redusere lagtykkelsen gjennom å legge ut flere lag med mindre tykkelse.

Kapittel 3 Utstyr

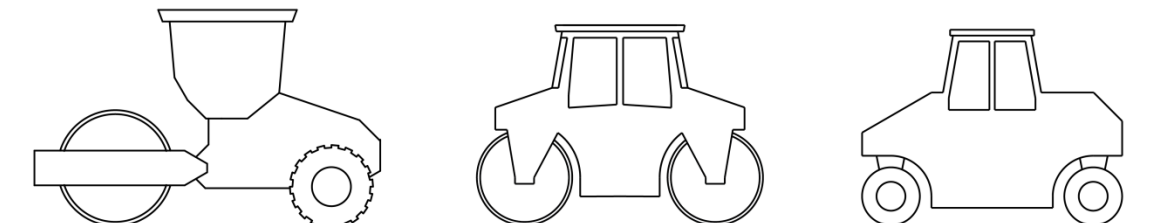
Hva slags komprimeringsutstyr finnes?

Hva er bruksområdene for de ulike utstyrtypene?

3.1. Ulike typer valser

Komprimering av store arealer slik som vegger gjøres vanligvis med en eller flere valser. Vi skiller ofte mellom tre typer valser:

- Valser med én trommel
- Tandemvalser
- Gummihjulsvalser



Figur 7 Illustrasjon valsetyper

Valser med én trommel kalles også valsetog. Disse har en ståltrommel med vibrasjon foran, mens den har vanlige maskinhjul bak. Det er hjulene som står for framdriften av valsen, mens trommelen ruller uten å ha egen framdrift. Slike valser kan kjøres med eller uten vibrasjon. Det finnes et vidt spekter av valser med én trommel. Totalvekten spenner mellom ca. 3 og 30 tonn.

Tandemvalser er valser som har to ståltromler som også står for framdriften til valsen. Slike valser brukes hovedsakelig til komprimering av asfalt, men kan også brukes til komprimering av andre materialer. Tandemvalser kan brukes med eller uten vibrasjon. Det leveres tandemvalser med totalvekt mellom ca. 1,5 og 20 tonn.

Gummihjulsvalser har tett plasserte gummi hjul foran og bak i stedet for ståltromler. Hjulene har glatt overflate, og er plasserte slik at hjulene foran og bak overlapper hverandres spor. Gummihjulsvalser har ikke vibrasjon, og brukes til overflatekomprimering eller komprimering av tynne lag. På en gummihjulsvals kan maskinvekten varieres med ulike ballastsystemer. Dette, kombinert med ulike maskinstørrelser gir totalvekter mellom ca. 3 og 30 tonn.

3.2. Bruksområder

De ulike valsetypene har ulike bruksområder. Til komprimering av tykke lag med ubundne materialer til frostsikringslag og forsterkningslag må vibrerende valser med én trommel brukes. Disse kan ha dybdevirkning ned mot 1,5-2 meter,

avhengig av størrelse, vibrasjonsinnstillinger og hvilket materiale som komprimeres.

På grunn av at tandemvalser har to glatte valsetromler kan disse ha dårligere framkommelighet enn en vals som drives med vanlige maskinhjul. Tandemvalser vil derfor ha mer begrensede bruksområder, både med hensyn til skrånende terreng og grove materialer. Tandemvalser har også vanligvis lavere totalvekt enn valser med én trommel. Dette gjør at de har mindre dybdevirkning og egner seg bedre til komprimering av tynnere lag.

Gummihjulsvalser kan ha stor totalvekt, men har likevel lav dybdevirkning fordi de ikke bruker vibrasjon. Gummihjulene har en knaende effekt på overflaten i tillegg til den statiske belastningen som kommer fra maskinvekten. Dette gjør slike valser spesielt godt egnet til knust asfalt og bitumenstabiliserte bærelagsmasser. Statisk komprimering med gummihjulsvals gir en tett og jevn overflate på materialet som komprimeres.

Den generelle anbefalingen er at valser med én trommel brukes til komprimering av de fleste granulære lag. Det er likevel viktig å ta hensyn til materialer og lagtykkelser når man velger komprimeringsutstyr. En vals som er godt egnet til å komprimere et metertykt frostsikringslag vil ikke nødvendigvis være egnet til å komprimere et 10 cm tykt nedre bærelag. Dersom valsen kjøres med samme vibrasjonsinnstillinger på disse to lagene vil man risikere at man får nedknusning i frostsikringslag eller forsterkningslag når bærelaget komprimeres. Dersom store valser skal brukes til å komprimere tynne lag må man bruke lavere amplitude eller kjøre helt uten vibrasjon. Den beste løsningen vil være å bruke to ulike valser til disse to formålene.

3.3. Annet komprimeringsutstyr

På et veganlegg trenger man flere typer komprimeringsutstyr. Valser brukes til å komprimere selve vegarealet, mens komprimering av grøfter krever annet komprimeringsutstyr. Til dette formålet finnes vibrerende plater og små grøftevalser.

Vibrerende plater, også kalt vibroplater eller hoppetusser, er mest vanlig brukt utstyr til komprimering av små arealer. Vibroplatene har vanligvis en arbeidsbredde omkring 0,5-1 meter, og veier fra 100 til 750 kg. Det finnes også vibrerende plater som kan monteres på gravemaskin, slik at gravemaskinene kan brukes til å komprimere grøfter og lignende.

Grøftevalser har vanligvis en arbeidsbredde omkring 0,5-1 meter og veier mellom ett og to tonn. Slike valser har to ståltromler med ujevn overflate, som gjør at de egner seg godt til komprimering av finkornige masser. Grøftevalser er ofte fjernstyrte.

Kapittel 4 Steinmaterialer og grunnforhold

Hvilken påvirkning har grunnforholdene på komprimeringsarbeidet?
Hvor stor innvirkning har variasjoner i steinmaterialet?

4.1. Variasjoner i under- og overbygning

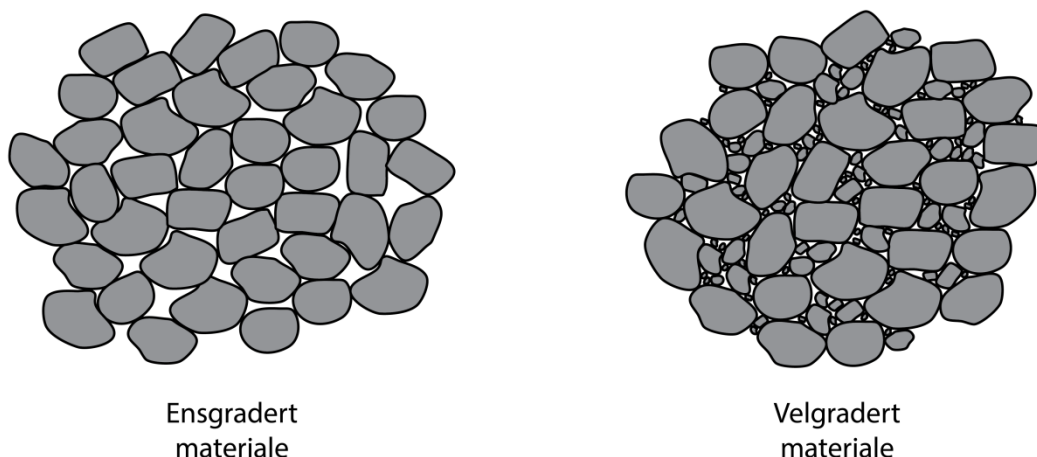
Effekten av komprimeringsarbeidet avhenger av en rekke ulike egenskaper hos steinmaterialet som skal komprimeres. Enkelte materialer lar seg lett pakke sammen, mens andre materialer trenger å bli tilført mer komprimeringsenergi for å oppnå samme stivhet. Forskjellige materialer kan også kreve ulikt utstyr for å oppnå god komprimering.

Grunnforholdene har også betydning for komprimeringsarbeidet. Responsen fra en svak leire er helt annerledes enn fra ei fjellskjæring, og grunnforholdene må derfor alltid tas hensyn til når komprimeringen planlegges.

4.2. Steinmaterialer

Steinstørrelse og korngradering har stor innvirkning på komprimeringsarbeidet. Man trenger større kraft for å flytte store steiner enn små sandkorn. Samtidig har ikke nødvendigvis de store steinene større styrke enn mindre steinkorn, og man må derfor passe på at ikke komprimeringen medfører for stor nedknusing.

Om et materiale er ensgradert eller velgradert vil også påvirke komprimeringen. Et velgradert materiale vil kunne oppnå høy densitet, siden små korn kan fylle opp hulrommet mellom større korn. Et åpent, ensgradert steinmateriale med samme største steinstørrelse vil ha lavere densitet fordi det vil være luft- eller vannfylte lommer mellom steinene.



Figur 8 Korngradering

Det er ikke nødvendigvis en sammenheng mellom densitet og stivhet. Et åpent materiale kan ha høy stivhet selv om densiteten ikke er like høy som et tett og velgradert materiale. Ensgraderte materialer kan være vanskelige å komprimere fordi kornene ruller mot hverandre, og det er vanskelig å holde materialet stabilt.

Kornform karakteriseres ved flisighetsindeksen som sier noe om forholdet mellom steinkornenes bredde og tykkelse. Et flisig materiale krever mer komprimeringsenergi enn et materiale bestående av mer kubiske korn.

Knusningsgraden til et materiale har også betydning for komprimeringen. Grusmaterialer med høy andel rundede korn er enklere å komprimere enn knust fjell. Høyest stivhet oppnår man imidlertid for materialer med høy andel knuste korn.

4.3. Varierende grunnforhold

Hvilke grunnforhold man bygger veg på har innvirkning på resultatet av komprimeringsarbeidet. Som regel er utfordringene størst når man har varierende grunnforhold, eks. variasjoner mellom fylling, jordskjæring og fjellskjæring. Det vil variere hvor stor fjæring som oppleves på ulike underbygninger. Derfor må undergrunnen tas hensyn til når komprimeringsarbeidet planlegges. I enkelte tilfeller vil det være slik at nederste lag i en veg i fjellskjæring vil kreve mindre komprimeringsarbeid fordi man får stabiliserende effekt av undergrunnen.

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.

For høyt vanninnhold i undergrunnen kan også skape vansker for komprimeringsarbeidet. Om man komprimerer på en fylling der slagene fra valsen virker ned til et finkornig undergrunnsmateriale som er mettet av vann, vil det være fare for at komprimeringen øker poretrykket i undergrunnsmateriale og dermed svekker bæreevnen til dette.

Vannmengden i undergrunnen vil variere over året, blant annet avhengig av værforhold og nedbørsmengder. På områder hvor høyt vanninnhold i undergrunnen vanskeliggjør komprimeringsarbeidet kan det være en løsning å planlegge arbeidet slik at komprimeringen her gjøres i tørre perioder.

Kapittel 5 Praktisk utførelse

Hvordan bør komprimeringsarbeidet gjøres?

Hvordan påvirker utførelsen av komprimeringsarbeidet resultatene som oppnås?

5.1. Lagtykkelser

Komprimeringens dybdevirkning er avhengig av tyngden på valseutstyret og hvilken amplitude valsen er innstilt på. En oversikt over oppnåelig dybdevirkning er vist i Figur 5. Det er viktig å legge ut materialene med riktig lagtykkelse, og tilpasse valsearbeidet etter hvor tykke lag som skal komprimeres.

I enkelte tilfeller vil en vals kunne ha kapasitet til å komprimere tykke lag med stein, men steinmaterialet tåler ikke de store kreftene som må brukes for å få komprimert hele laget. Dette vil føre til nedknusning særlig i toppen, og man kan få et topplag med mye finstoff. I slike tilfeller bør massen legges ut og komprimeres i flere lag, slik at det behøves lavere komprimeringsenergi for å få komprimert hvert lag. På denne måten oppnår man tilstrekkelig stivhet uten å ødelegge materialet som komprimeres.

Et alternativ er å legge ut materialet med ekstra stor overhøyde, for så å fjerne det øverste sjiktet av nedknuste materialer når komprimeringsarbeidet er ferdig. Dette er ikke gunstig med tanke på ressursutnyttelse, men kan være en løsning dersom det ikke er hensiktsmessig å legge ut materialet i flere lag eller man ikke har tilgang på en mindre vals.

Å komprimere tynne lag, f.eks. avrettingslag eller bærelag er en annen utfordring. Her må man passe på at ikke materialene under laget som skal komprimeres påvirkes for mye. Ofte vil det være nyttig å planlegge komprimeringsarbeidet slik at øverste del av et lag ikke skal oppnå den tilsktede stivheten før neste lag er komprimert. På denne måten får man også bedre forkiling og heft mellom de ulike materialene.

Nederst i en vegfylling vil dybdevirkningen ofte være større enn tykkelsen på materialene man har lagt ut. Det vil si at man også utfører komprimeringsarbeid på undergrunnen som vejen bygges på. I tilfeller hvor denne består av leire bør man være forsiktig med bruk av kraftig vibrasjon, fordi undergrunnen kan fungere som fjæring og gjøre at komprimeringen ikke får noen effekt. Vibrasjon som virker ned i leire kan også svekke styrken til leira ved at struktur og indre bindinger brytes. Tiltak i slike tilfeller vil være å bruke lav amplitude eller komprimere uten vibrasjon i starten.

5.2. Overhøyde

Siden et materiale endrer volum når det komprimeres må steinmaterialet legges ut med overhøyde. En veiledning til hvor stor volumendring noen materialer får ved komprimering er vist i Tabell 1. Tallene i tabellen er et anslag for hvor mye lagtykkelsen må økes ved utlegging for at man skal oppnå riktig lagtykkelse på det ferdig komprimerte laget.

Tabell 1 Nødvendig overhøyde før komprimering [1]

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

5.3. Vanning

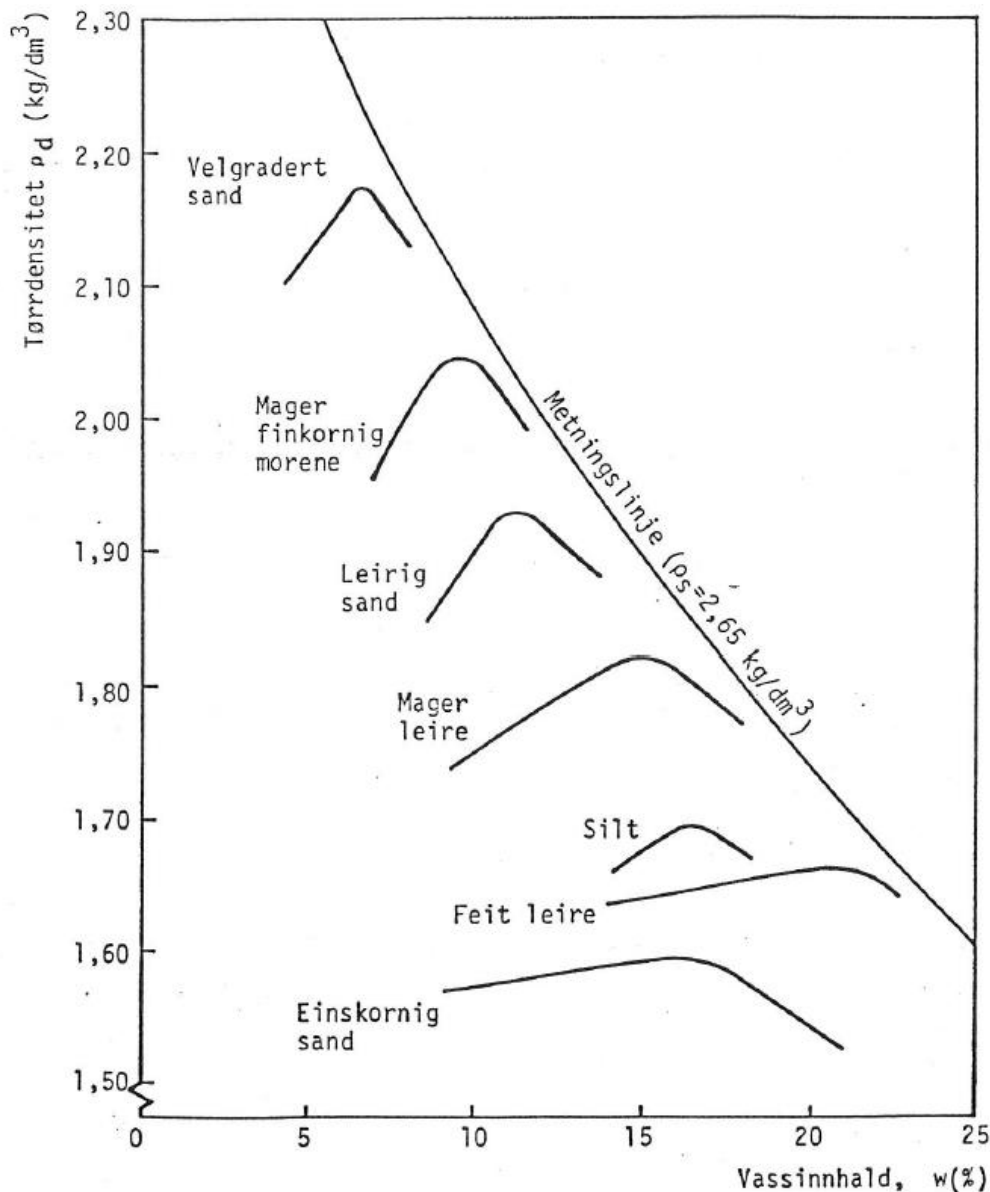
Friksjonskreftene som virker mellom steinkornene har betydning for hvor lett et materiale er å pakke sammen. Vanning er derfor et godt virkemiddel for å sikre at man får utført godt komprimeringsarbeid. Vannet vil fungere som et smøremiddel mellom steinkornene, og gjør motstanden mot komprimering mindre. På denne måten skal det mer til før steinmaterialet knuses under komprimering.

Vanning gir enklere komprimering av alle materialer. Ved komprimering av finkornige og velgraderte masser er det viktig at det verken er for mye eller for lite vann til stede. Slike materialer kan oppnå ulik tetthet (densitet) avhengig av hvor stort vanninnholdet er, og bør komprimeres ved det som kalles optimalt vanninnhold. Figur 9 viser hvordan ulike materialer har ulikt optimalt vanninnhold. Toppunktet på kurven for hvert materiale viser ved hvilket vanninnhold man har mulighet til å oppnå høyest densitet.

Ved komprimering av grovere og ensgraderte masser behøver man ikke å være redd for å få for høyt vanninnhold. Det samme gjelder ved komprimering av gjenbruksmaterialer. Disse tar til seg mye vann, og trenger grundig vanning før de komprimeres. Dette gjelder spesielt for knust betong, som er et porøst materiale. Grove og ensgraderte materiale er drenerende, det vil si at de ikke holder på vann. Slike materialer kan ikke bli vannmettet, men har likevel god nytte av vanning under komprimering, nettopp for å minske friksjonskreftene mellom steinene.

En av fordelene med å bruke knuste steinmaterialer i vegbygging er at de har kantete steinkorn og dermed høyere friksjon mellom kornene enn et tilsvarende materiale med rundede korn ville hatt. Dette gir et knust steinmateriale god styrke og stivhet når det er komprimert. En forutsetning for å kunne utnytte disse fordelene er imidlertid at materialet vannes godt under komprimering, slik at steinkornene ikke knuses ned og avrundes.

Siden steinmaterialene skal være fuktige ved komprimering bør ikke komprimeringsarbeid gjøres i minusgrader. Dersom dette likevel blir gjort må man være ekstra påpasselig med valg av komprimeringsutstyr, vibrasjonsinnstillinger og lagtykkelser. Det skal ikke finnes klumper av snø eller is i steinmaterialet ved utlegging og komprimering.



Figur 9 Forhold mellom tørrdensitet og vanninnhold for finkornige materialer [3]

5.4. Valsemønster

Valsingen skal starte på sidene og så gjøres inn mot midten av arealet som komprimeres. Valsesporene skal alltid ha overlapp for å sikre at hele arealet blir komprimert godt.

Komprimering med vibrasjon starter med høy amplitude, før man går over til lavere amplitude på de siste overfartene for å få komprimert både øvre og nedre del av materialet som er lagt ut. Ved små lagtykkelser kan det være tilstrekkelig å bruke lav amplitude på alle overfartene. På øverste ubundne lag under asfalt bør det til slutt kjøres to overfarter uten vibrasjon, slik at overflaten asfalten skal legges på blir slett og jevn.

Ved komprimering inn mot arealer som allerede er ferdig komprimert bør man passe på å slå av vibrasjon når man kjører inn på det ferdig komprimerte arealet. Slike overganger vil sjelden være en rett linje. For å unngå overkomprimering bør man være ekstra oppmerksom på tendenser til nedknusing.

5.5. Komprimering av fyllinger

Det stilles andre krav til fyllinger enn til vegoverbygning, både når det gjelder materialer og komprimering. Fyllinger kan bygges opp av friksjonsjordarter, leire eller steinmaterialer. Leire og friksjonsjord skal alltid legges ut lagvis, mens steinfylling kan legges ut fra endetipp dersom den ferdige fyllingshøyden ikke skal bli større enn 6 meter. Den øverste meteren av steinfyllingen skal uansett legges ut i lag på 0,5-1 m. Dersom fyllingen skal bli høyere enn 6 meter skal hele fyllingen legges ut i lag med 1-2 meter tykkelse. Alle lag i en fylling skal komprimeres, uavhengig av høydenivå i fyllingen.

Materialet som legges ut fra endetipp skal komprimeres før øverste meter legges ut. Fyllinger lagt ut på endetipp kan bli opp mot 5 m tykke før komprimering. Slike fyllinger får noe "gratis" komprimeringsarbeid underveis i utleggingen når massene tippes og skyves ut, og man regner med at dette kombinert med komprimering fra toppen vil gi tilstrekkelig komprimering av hele fyllingen.

Kapittel 6 Kontinuerlig komprimeringskontroll

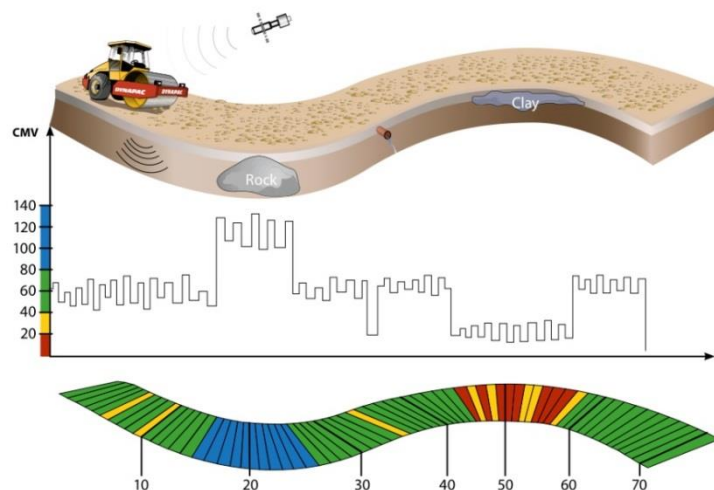
Hva ligger i begrepet kontinuerlig komprimeringskontroll?

Kontinuerlig komprimeringskontroll (forkortet CCC, Continuous Compaction Control) er et samlebegrep for metoder hvor komprimeringsarbeidet kontrolleres og dokumenteres over hele arealet som komprimeres, og hvor kontrollen skjer samtidig som komprimeringsarbeidet blir utført. Denne overflatedekkende kontrollen kan også være et godt utgangspunkt for senere kontrollmålinger med tradisjonelle målemetoder.

Den enkleste formen for kontinuerlig komprimeringskontroll er å bruke GNSS-stedfesting (satellittstedfesting) til å kontrollere at antall overfarer med valsen er i henhold til komprimeringsplanen (se Kapittel 10). I 2014-utgaven av Håndbok 018 Vegbygging settes det krav til at antall overfarer skal dokumenteres ved bruk av GNSS, eller annet utstyr med tilsvarende nøyaktighet. Dette gjelder for alle granulære lag i vegoverbygningen, og er nærmere forklart i Kapittel 7.

Etterkontroll tas på vanlig måte også når komprimeringsarbeidet er dokumentert ved bruk av GNSS. Når man gjennom slik dokumentasjon av antall overfarer vet at hele området er komprimert like mye, kan man være mer sikker på at stikkprøvene som tas er representative for hele området. Eventuelt kan man benytte rettet stikkprøvekontroll der man velger ut områder som er komprimert for lite, og tar kontrollmålinger i disse. Kontrollmetoden med stedfestingsutstyr på vals kan vi kalle forenklet CCC.

For å utnytte mulighetene i kontinuerlig komprimeringskontroll fullt ut, kan man bruke både GNSS og responsmålinger. Responsmålinger er også målinger som gjøres kontinuerlig mens valsen kjører, der man bruker responsen fra underlaget til å se på hvordan stivheten øker med antall overfarer. Responsmålingene fungerer bare når valsen kjører med vibrasjon. Det er fordi man bruker vibrasjonsbevegelsen til valsetrommelen til å tolke stivheten til underlaget. Responsmålinger er nærmere forklart i Kapittel 8.



Figur 10 Illustrasjon kontinuerlig komprimeringskontroll, Dynapac

Kapittel 7 Stedfesting

Dokumentasjon av omfanget av komprimeringsarbeidet
Bruk av GNSS på vals

7.1. Stedfesting av arbeidet

For å få jevnt komprimeringsarbeid er det viktig at hele området dekkes med likt antall overfarer. Dette kan være vanskelig å holde øye med underveis i kjøringen, men ved hjelp av stedfestingsutstyr montert på valsen kan man få god oversikt.

Det finnes flere systemer for stedfesting gjennom bruk av satellitter. Global Navigation Satellite System (GNSS) er en fellesbetegnelse for satellittbaserte systemer for navigasjon og posisjonering med global dekning. GPS er ett av flere GNSS-systemer.

Noen satellittmottagere har mulighet til å ta imot signaler fra ulike GNSS-systemer, mens andre er knyttet til ett system. Å kunne ta imot signaler fra flere systemer er en fordel fordi man da har tilgang til flere satellitter og dermed kan få mer presis stedfesting.

Overfarer og passeringer er to ord med lik betydning: Når valsen kjører fram og tilbake over en strekning er det to passeringer eller to overfarer.

I utgangspunktet skal det valsemonterte utstyret være en støtte for valsefører og entreprenør, og Statens vegvesen stiller krav om levering av dokumentasjon for å sikre at utstyret brukes. Dokumentasjonen brukes til å vise at vegen er komprimert slik det er planlagt. I tillegg vil dokumentasjonen gjøre at man har mulighet til å undersøke om komprimeringen ble utført skikkelig på eventuelle problemområder som kommer til syne etter at vegen er ferdig bygd.

For å kunne dokumentere komprimeringen av hvert lag på samme strekning må det skilles mellom hvilke overfarer som er kjørt på hvilket nivå i vegkonstruksjonen. Produsentene har ulike metoder for hvordan dette kan løses, avhengig av programvare. En enkel metode for inndeling er å bruke de registrerte tidspunktene for når komprimeringen er gjort, og levere dokumentasjon for tidslukene der de ulike lagene er komprimert.

Som nevnt i kapittel 5.4 skal komprimering med vals skje etter et bestemt mønster, og valsesporene skal ha overlapp. Det valsemonterte utstyret kan også brukes til å dokumentere at det er kjørt etter riktig mønster, selv om det ikke er det som er hensikten med kravene.

Stedfestede data for hvor valsen har kjørt skal ha feilmargin maks ± 20 cm i xy-planet. Målingene skal ikke brukes til høydebestemmelse, og det stilles derfor ikke krav til nøyaktighet for z-koordinaten. Det valsemonterte utstyret brukes ikke som etterkontroll, men måler kontinuerlig mens komprimeringsarbeidet

gjøres. Registreringene brukes til å bekrefte at hele området er komprimert jevnt og uten helligdager.

Hovedformålet med stedfestingen av komprimeringsarbeidet er å vise at det som er planlagt i komprimeringsplanen er utført. Dette gjelder enten man bruker responsmålinger eller ikke. Siden registreringene gjøres kontinuerlig som valsearbeidet gjøres, vil det ikke føre til at komprimeringsarbeidet vil ta lengre tid for valseføreren. Registreringen vil derimot være en støtte for valseføreren, fordi han får hjelp til å se hvor han har kjørt, samt telle antall overfarer.

Nøyaktigheten på utstyret skal være så god at overlapp mellom flere passeringer med valsen skal vises. Det stilles derfor krav til maksimalt 20 cm feilmargin for stedfestingsutstyret. På denne måten sikrer man at risikoen for feilvisning av «helligdager» blir liten.

7.2. Stedfesting uten GNSS

Som hovedregel skal stedfestingen gjøres ved hjelp av GNSS-registreringer. I tunneler og på noen andre begrensede områder vil dette være vanskelig, på grunn av begrenset kontakt med satellitter. I slike tilfeller kan annet utstyr brukes til stedfesting av komprimeringsarbeidet, men slikt utstyr må ha like god nøyaktighet som det som kreves for GNSS-utstyr. Resultatene skal lagres kontinuerlig og presenteres på vanlig måte ved hjelp av kartoversikter.

Tilknytning til vegmodell: Kravene om stedfesting er ikke knyttet til informasjon om hvilket område som skal komprimeres gjennom vegmodell e.l. Det kan være til god hjelp underveis i arbeidet om skjermen i valsen viser senterlinje og ytterkanter på den ferdige vegen, men hovedregelen er likevel at alt materiale som legges ut skal komprimeres.

Kapittel 8 Bruk av responsmålere

Hva er responsmålinger?
Hvordan kan målingene brukes?

8.1. Hva er responsmålinger

Responsmålingene bruker informasjon fra et måleinstrument plassert på selve valsetrommelen, som registrerer hvordan den faktiske vibrasjonsbevegelsen er. Denne er forskjellig fra den innstilte, fordi underlaget som valsen kjører på yter motstand mot vibrasjonen, trommelen får ikke bevege seg fritt ned i underlaget. Gjennom å sammenligne hvor mye den registrerte bevegelsen avviker fra den innstilte, forteller responsmåleren oss hvor stivt underlaget er.

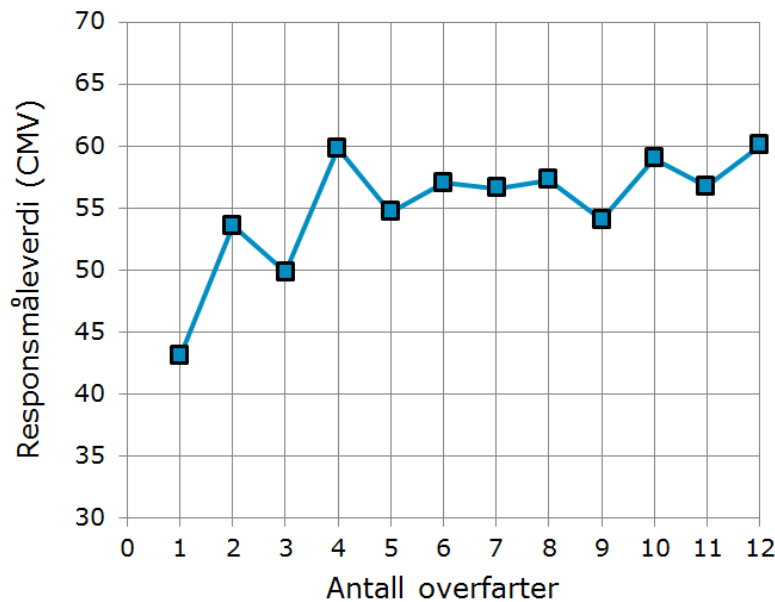
Håndbok 018 Vegbygging beskriver hvordan responsmålinger kan brukes i planleggingen av komprimeringsarbeidet. Gjennom å analysere resultatene fra responsmålinger på en prøvestrekning kan man bestemme hvor mange overfarter som er nødvendig for å få et godt komprimeringsresultat på resten av strekningen. En metode for å gjøre dette er å undersøke endringen i responsmåleverdi fra en overfart til den neste. For å kunne bruke målingene på denne måten er man helt avhengig av å ha nøyaktig stedfesting av resultatene.

Om endringen mellom to overfarter er stor viser det at underlaget som det kjøres på fortsatt kan ta imot mer komprimeringsarbeid, og man bør derfor komprimere mer. Når man ikke lenger har utvikling i responsmåleverdi mellom to overfarter har ikke komprimeringsarbeidet lenger noen effekt. Spesielt oppmerksom bør man være dersom responsmåleverdiene går ned mellom to overfarter. Dette er et klart tegn på overkomprimering. En av grunnene til at stivheten minker kan være at materialet som valsen kjører på begynner å knuses ned.

8.2. Bruk av responsmålinger

Bruk av responsmålinger underveis i valsearbeidet vil være en stor fordel for valsefører, selv om det ikke stilles krav til slike målinger. Gjennom å overvåke komprimeringen underveis i arbeidet kan man oppdage svake områder og sørge for at også disse blir komprimert tilstrekkelig.

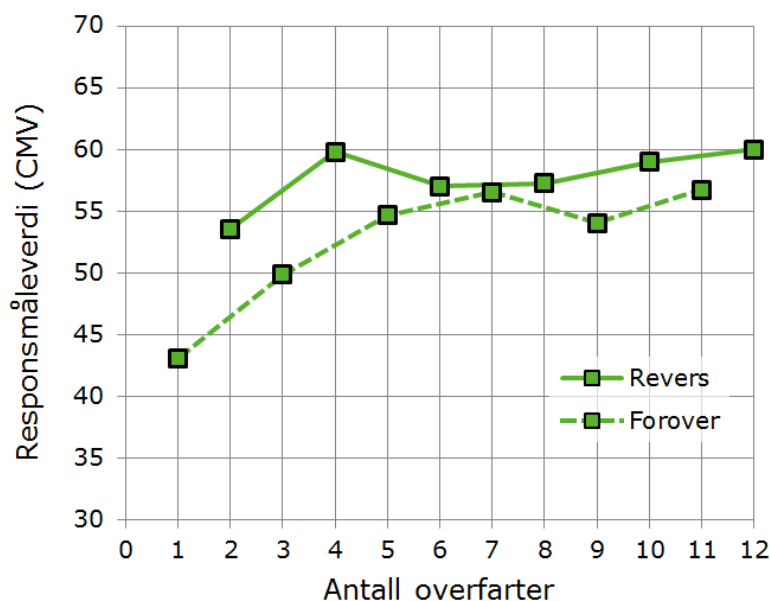
Når responsmålinger fra ulike overfarter sammenlignes bør man ta hensyn til hvilken kjøreretning valsen har hatt. Kjøreretningen har innvirkning på stivheten som registreres, og man bør derfor bare sammenligne resultater som er kjørt i samme retning. Vi har ingen grunn til å si at resultatene fra en av kjøreretningene er mer riktig enn den andre. Siden vi vil sammenligne hvordan måleverdiene forandrer seg har selve absoluttverdien av målingene mindre betydning. Så lenge man ser på verdiene fra kjøringen i de to retningene hver for seg vil resultatet med stor utvikling i starten som avtar etter hvert bli det samme.



Figur 11 Eksempel på responsmålinger fra en prøvestrekning

Figur 11 viser et eksempel på registreringer fra en prøvestrekning som ble komprimert med totalt 12 overfarter. Fra en slik framstilling er det vanskelig å tolke utviklingen av responsmåleverdien, fordi verdiene går opp og ned mellom hver overfart.

Figur 12 viser de samme registrerte verdiene, men her er overfarter kjørt forover og i revers tegnet opp hver for seg. Den stiplede linjen viser overfarter kjørt forover, mens den heltrukne linjen viser overfarter kjørt i revers. Denne framstillingen viser tydelig at stivheten på underlaget registreres ulikt avhengig av kjøreretningen til valse. Alle reversoverfarter har bedre måleverdi enn både forrige og neste overfart. Her får man derfor feil resultater om man sammenligner etterfølgende overfarter direkte. For å få gyldig sammenligning må bare overfarter kjørt i samme retning vurderes mot hverandre.



Figur 12 Eksempel på responsmålinger avhengig av kjøreretning

8.3. Intelligent komprimering

Intelligent komprimering (forkortet IC, Intelligent Compaction) bygger på at instrumenteringen på valsen skal være et intelligent system - altså et system som tenker selv. Dette vil være en valse som selv kan justere sine parametre for å tilpasse komprimeringsarbeidet til massene som skal komprimeres. En slik valse kan for eksempel analysere målingene som gjøres etter hvert som de registreres, og stoppe vibrasjonen dersom den måler for mange dobbelhopp slik at man kan unngå nedknusning. Et annet alternativ er at valsen kan justere ned amplituden etter hvert som stivheten øker for å sikre at også den øverste delen av laget som komprimeres oppnår samme stivhet som resten. IC er utviklet for å være et hjelpemiddel for valseføreren, og gjør at man utnytter målingene fra responsmåleren i større grad.

Kapittel 9 Kontroll og dokumentasjon

Hvordan skal komprimeringsarbeidet kontrolleres?
Hvilken dokumentasjon er nødvendig?

9.1. Krav til dokumentasjon av teknisk kvalitet

Entreprenøren skal dokumentere at den planlagte kvaliteten er oppnådd. Det kan både være dokumentasjon av mengden av arbeid som er utført, og dokumentasjon av kvaliteten som er oppnådd når denne mengden arbeid er utført. Håndbok 151 Styring av vegprosjekter beskriver noen av kravene som stilles til entreprenørens dokumentasjon av teknisk kvalitet:

- Entreprenørens kvalitetsdokumentasjon skal leveres byggherren.
- Entreprenøren skal dokumentere at foreskrevet teknisk kvalitet er oppnådd.
- Entreprenørens dokumentasjon skal (...) ha et omfang som er tilstrekkelig for å dokumentere at foreskrevet kvalitet er oppnådd.
- Entreprenørens kvalitetsdokumentasjon skal leveres byggherren fortløpende.

Byggherren har også selv et ansvar i arbeidet med kontroll og dokumentasjon av teknisk kvalitet. Håndbok 151 beskriver dette ansvaret nærmere:

- Byggherren mottar og gjennomgår dokumentasjon, og foretar egen stikkprøvekontroll for å verifisere entreprenørens egenkontroll og som ekstra sikkerhet.
- Byggherrens kontroll skal omfatte
 - Entreprenørens arbeidsprosedyrer
 - Entreprenørens kontrollplan
 - Entreprenørens dokumentasjon av utført arbeid og oppnådd kvalitet
 - Egne stikkprøver
- Egne stikkprøver skal (...) utføres i et slikt omfang at byggherren er trygg på at den samlede dokumentasjonen gir et representativt og korrekt bilde av oppnådd kvalitet.

Entreprenørens dokumentasjon av komprimering skal vise omfanget av komprimeringsarbeidet i tillegg til at den skal vise at det er oppnådd tilstrekkelig stivhet på det ferdige vegfundamentet opp til og med øverste granulære lag (Figur 1). Omfanget av komprimeringsarbeidet dokumenteres gjennom stedfesting av kjøringen med valsen. Kvaliteten på det ferdige vegfundamentet dokumenteres ved hjelp av målinger med en eller flere målemetoder. Noen av de samme målemetodene brukes til byggherrens stikkprøvekontroll.

Stikkprøvekontrollen som byggherren gjennomfører brukes til å sjekke at dokumentasjonen som entreprenøren har levert stemmer. Punktene hvor stikkprøvene tas kan bestemmes tilfeldig, eller man kan velge ut kontrollpunkter hvor det er mistanke om at det ikke er komprimert godt nok.

9.2. Manuelle målemetoder for komprimeringskontroll

Det finnes flere metoder for manuell måling av oppnådd komprimeringsresultat. Krav til hvilke resultater som skal oppnås med de forskjellige målemetodene er satt i Håndbok 018 Vegbygging. Målemetodene er også beskrevet i Håndbok 015 Feltundersøkelser.

Nivellement er en form for geometrisk kontroll der man undersøker hvor store setninger som oppstår etter hver passering med valsen. Man regner med at komprimeringsarbeidet kan avsluttes når det ikke lenger registreres store setninger mellom overfartene. Kravet er at det skal komprimeres til setningen mellom to overfarter er mindre enn 10 % av den totale setningen som er registrert siden komprimeringsarbeidet startet. For å kunne kontrollere komprimering med nivellement er man derfor avhengig av å måle høydenivået både før og underveis i komprimeringsarbeidet.

Densitetsmålinger er en form for komprimeringskontroll der man sammenligner den oppnådde densiteten etter komprimering med den maksimale densiteten målt på samme materiale i laboratorium. På grunn av begrensningene til laboratorietstyret kan denne målemetoden bare brukes på materialer som har øvre siktstørrelse 32 mm eller mindre. Siden man må ha en laboratorietest på forhånd for å kunne bruke densitetsmålinger til komprimeringskontroll er dette i praksis en tidkrevende kontrollmetode. Målemetoden tar heller ikke hensyn til at massene som ligger under det laget som sist er lagt ut også kan ta til seg komprimering når det øverste laget komprimeres.

Platebelastning er en metode for å måle stivheten til vegfundamentet. Målingene gjøres ved at man måler nedbøyning på vegoverflaten når en plate med diameter 300 mm settes under en last som skal tilsvare et tungt kjøretøy. Platebelastning kan brukes på steinmaterialer som har største steinstørrelse 150 mm eller mindre, og er den eneste av de nevnte målemetodene som kan brukes til etterkontroll uten at det må gjøres andre målinger før eller underveis i komprimeringsarbeidet. Platebelastning egner seg derfor godt til byggherrens stikkprøvekontroll på øverste ubundne lag, der steinstørrelsen er liten nok til at målemetoden kan brukes. Man regner med at resultatene av platebelastningsmålingene kan gjenspeile stivheten til materialer ned mot 1,5 meter ned i vegkonstruksjonen.



Figur 13 Platebelastningsutstyr

9.3. Automatisert komprimeringskontroll

En effektiv form for kontroll og dokumentasjon av komprimering er å bruke måleutstyr som er montert på selve valsen, og som gjør målinger samtidig som valsen kjører. Slikt utstyr er beskrevet i Kapittel 8.

De manuelle målemetodene kan brukes til å verifisere målingene fra det valsemonterte måleutstyret gjennom at man undersøker hvilken måleverdi fra det valsemonterte utstyret som tilsvarer godkjent komprimering med en av de tradisjonelle målemetodene. Dette kalles også kalibrering.

Dersom stedfestingsutstyr brukes uten utstyr for responsmålinger, bestemmes nødvendig antall overfarer gjennom målinger på en prøvestrekning. Dette er beskrevet i Kapittel 10. Uavhengig av hvilke hjelpemidler som er i bruk underveis i valsearbeidet skal stivheten til vegfundamentet kontrolleres med platebelastning på øverste ubundne lag. Antallet prøver med platebelastning kan imidlertid reduseres dersom valsemontert utstyr for responsmålinger har vært i bruk. Platebelastningsmålingene skal da gjøres i de punktene som måleutstyret viser er svakest.

Kapittel 10 Planlegging av komprimeringsarbeid

Hvordan skal komprimeringsarbeidet planlegges?

Hvilket forarbeid er nødvendig for komprimeringsarbeidet starter?

10.1. Komprimeringsplan

Riktig komprimering er viktig for å oppnå god styrke og stivhet i de materialene som legges ut. I enkelte tilfeller vil det være nødvendig å dele opp utleggingen i flere lag for å kunne oppnå tilstrekkelig komprimering. Det er derfor viktig at man tar hensyn til komprimering når utlegging av masser planlegges.

Alt komprimeringsarbeid skal planlegges på forhånd, og det skal lages komprimeringsplan. Dersom det er vesentlige variasjoner i materialene i under- eller overbygningen, må man dele vegenlegget inn i delstrekninger, og utarbeide komprimeringsplaner for hver av de typiske overbygningene.

Komprimeringsplanen skal ha en del for hvert ubundne lag i overbygningen. I planen skal det finnes informasjon om alt som påvirker komprimeringsarbeidet. Denne listen viser hvilken informasjon som skal være med i planen:

- Underliggende masser
- Materialtyper som skal komprimeres
- Lagtykkelser
- Vanning
- Valseutstyr
- Valsemønster
- Hastighet
- Vibrasjon
- Antall overfarer
- Kontroll- og dokumentasjonsmetoder
- Andre spesielle hensyn

Det er utarbeidet en mal for komprimeringsplan som kan brukes som støtte under planleggingen av komprimeringsarbeidet. Denne malen finnes i Vedlegg 2. Komprimeringsplanen er entreprenørens forberedelser til komprimeringsarbeidet. Byggherren kan kreve å få se planen før komprimeringen starter.

10.2. Valseprogram

Vegarbeider som omfatter 5000 m² vegareal eller mer regnes i Håndbok 018 Vegbygging som *store anlegg*. For disse kreves mer omfattende komprimeringsplaner. Komprimeringsplaner for store anlegg skal inneholde valseprogram utarbeidet på grunnlag av målinger. Med valseprogram menes detaljert plan for hvordan valsearbeidet skal gjennomføres, der man viser at det planlagte antall overfarer vil føre til at krav til komprimering blir oppfylt. Målingene som valseprogrammet baseres på kan være densitet, platebelastning eller nivellement, avhengig av steinstørrelsen i lagene som skal komprimeres.

Dersom valsen som brukes har utstyr for responsmålinger, kan valseprogrammet lages ut fra målinger med valsen. Da finner man nødvendig antall overfarer ved

å undersøke hvor mye komprimering som skal til før utviklingen i responsmåleverdi avtar. Responsmålinger er forklart i Kapittel 8.

Utarbeidelse av valseprogram basert på de ulike målemetodene er forklart nærmere i de neste avsnittene. Felles for alle målemetodene er at man er avhengig av like forhold for at resultatene skal være sammenlignbare. Dersom man har variasjoner i overbygningen må området deles inn i homogene strekninger, og det må lages flere valseprogrammer.

10.2.1. Valseprogram basert på platebelastning

Ved bruk av platebelastning skal en prøvestrekning komprimeres i minst tre deler med ulikt antall overfarter. På hver del tas det målinger, og man finner ut hvor mange overfarter som må til for å oppfylle kravet til stivhet målt med platebelastningsutstyr. Hele området som prøvestrekningen representerer komprimeres deretter med like mange overfarter. Stedfestingsutstyr på valsen brukes til å dokumentere at hele området er dekket med riktig antall overfarter.

Platebelastning kan brukes som målemetode for materialer som har største steinstørrelse mindre enn 150 mm.

10.2.2. Valseprogram basert på nivellement

Dersom nivellement skal brukes som målemetode må målingene gjøres underveis i komprimeringsarbeidet. Før komprimeringsarbeidet starter og etter hver overfart skal det gjøres målinger i minst 5 tverrprofiler med 10 målepunkter i hvert tverrprofil. Komprimeringsarbeidet er godkjent når setningen etter siste overfart utgjør mindre enn 10 % av den totale setningen fra komprimeringsarbeidet. Antallet overfarter som kreves på området finnes ut fra gjennomsnittet av resultatet i de fem tverrprofilene.

Nivellement kan brukes som målemetode for både grove og fine steinmaterialer, men er tid- og ressurskrevende fordi målingene må gjøres mellom hver enkelt overfart som er kjørt med valsen. Nivellement kan ikke brukes som etterkontroll, ettersom man er avhengig av å vite høydenivået før komprimeringen startet og etter hver overfart for å kunne vurdere resultatene.

10.2.3. Valseprogram basert på densitetsmålinger

Om densitetsmålinger skal brukes som kontrollmetode må man først gjennomføre laborietester for å finne maksimal tørr densitet for steinmaterialet. Dette gjøres ved hjelp av modifisert Proctor. For at materialene skal kunne prøves med modifisert Proctor må største steinstørrelse være mindre enn 32 mm. Om materialet som skal komprimeres er grovere, må man bruke en annen kontrollmetode enn densitetsmålinger.

Selve densitetsmålingen gjøres med isotopmåler, sand- eller vannvolummeter. Målingene forberedes på samme måte som for platebelastning, en prøvestrekning komprimeres til minimum tre ulike komprimeringsnivåer. Det gjøres densitetsmålinger på alle komprimeringsnivåene. Man regner oppnådd densitet som andel av maksimal tørr densitet fra Proctor-testen, og finner ut hvor mange overfarter som er nødvendig for å oppnå krav til densitet.

10.2.4. Valseprogram basert på responsmålinger fra vals

Ved komprimering med responsmålinger bruker man samme prinsipp som ved nivellement. Valsen gjør målinger underveis i arbeidet, og resultatet fra flere overfarter i samme punkt sammenlignes for å finne ut når komprimeringsarbeidet er godt nok. Man tar ikke utgangspunkt i en bestemt grenseverdi for responsmålingene, men setter en grense for når man mener at komprimeringsarbeidet ikke lenger har effekt. Vanligvis vil denne grensen settes ved 10 % endring i måleverdi mellom de siste to overfartene. Dersom man har mindre enn 10 % økning til siste overfart regner man med at videre komprimeringsarbeid ikke vil utgjøre noen stor forbedring av stivheten til steinmaterialet.

Et alternativ til denne metoden er å bruke kalibrering. Da brukes de tradisjonelle kontrollmetodene for å finne ut hvilken responsmåleverdi som tilsvarer godkjente krav. Dette er en tid- og ressurskrevende metode, og det anbefales at man heller kontrollerer utviklingen i responsmålingene som beskrevet over.

10.3. Generelt for alle komprimeringsplaner

Komprimeringsplaner skal lages for alt komprimeringsarbeid. I planen skal det blant annet være informasjon om hvilke materialtyper som skal komprimeres, og hvilken undergrunn det bygges på. Dette er med på å sikre at området som skal komprimeres blir delt inn i homogene strekninger.

Lagtykkelser må ses i sammenheng med hvilken vals som skal brukes i komprimeringsarbeidet. Dersom man legger ut steinmaterialer i tykke lag må man ha en svært kraftig vals for å kunne komprimere hele laget like godt. En vals har begrenset komprimeringsdyp (virkningsdyp), se Figur 5, og det vil i noen tilfeller være nødvendig å dele opp utleggingen av materialet i flere lag for å kunne komprimere det godt. Om en stor vals brukes med kraftig vibrasjon for å få komprimert et tykt steinlag vil man ha risiko for at materialene øverst i laget knuses ned på grunn av belastningene fra valsen. Nedknusning svekker steinmaterialet, og gir økt finstoffinnhold. Det er derfor viktig å planlegge komprimeringsarbeidet før massene legges ut, slik at lagtykkelsen eventuelt kan tilpasses valsekapasiteten. Se også kapittel 5.2 for beregning av hvilken tykkelse som er nødvendig ved utlegging for å oppnå riktig lagtykkelse etter komprimering.

Vanning skal også omtales i komprimeringsplanen. Vanning er viktig for å sikre at komprimeringsarbeidet får optimal effekt, og for å unngå nedknusning. Det er viktig å ha vanningsutstyr tilgjengelig på anlegget, slik at komprimeringsarbeidet ikke hindres på grunn av mangel på vanning. Se kapittel 5.3 for mer informasjon om vanning.

Valsen skal holde jevn hastighet under komprimeringsarbeidet. Dette er forklart i kapittel 2.1. Ved å ta hensyn til hastigheten når komprimeringsarbeidet planlegges får man også en viss oversikt over hvor lang tid komprimeringsarbeidet vil ta.

En stor del av komprimeringen vil foregå med vibrasjon. For å få komprimert hele steinlag like godt er det ofte nødvendig å kjøre overfarter med både høy og

lav amplitude. Andre materialer, som f.eks. knust asfalt skal bare komprimeres uten vibrasjon. Råd om valsing med og uten vibrasjon står i kapittel 3.2.

Andre spesielle hensyn som det er viktig å ta hensyn til kan være kabler og rør i grunnen, eller bygninger som ligger nær området som skal komprimeres. Det kan være nødvendig å justere komprimeringsarbeidet for å kunne komprimere hele området like godt, uten å skade omgivelser eller underliggende konstruksjoner. Dette er det viktig å tenke på under planleggingen av komprimeringsarbeidet, for å forhindre unødvendige skader og reparasjoner.

Hvilke metoder for kontroll og dokumentasjon som skal benyttes i komprimeringsarbeidet skal også noteres i komprimeringsplanen. De ulike kontrollmetodene har ulike begrensninger til hvilke materialer de kan brukes på. Avhengig av hvilken metode man velger kan det være nødvendig å gjøre målinger før arbeidet settes i gang, eller samtidig som komprimeringsarbeidet gjøres. Man bør derfor velge kontroll- og dokumentasjonsmetode før komprimeringsarbeidet settes i gang. De ulike kontrollmetodene er forklart i Kapittel 9.

Referanseliste

- [1] Dynapac: *Packning och utläggning - teori och praktik*, Sverige, 2001
- [2] CAT: *CS/CP56, CS/CP64 og CS/CP74 valsetog* (produktkatalog)
- [3] R. S. Nordal: *Kompaktering*, notat nr. 113, NTNU 1991.

Statens vegvesen: *Håndbok 015 Feltundersøkelser*. www.vegvesen.no

Statens vegvesen: *Håndbok 018 Vegbygging*. www.vegvesen.no

Vedlegg 1 Alfabetisk ordforklaring

Amplitude	Valsetrommelens maksimale vertikale bevegelse fra nullpunkt (mm). Se kapittel 2.1.
Frekvens	Antall slag fra trommelen mot underlaget pr. sekund (Hz). Se kapittel 2.1.
Friksjonsjordart	Grovkornede jordarter (sand og grovere) der størstedelen av jordartens skjærfasthet(stabilitet) skyldes friksjon mellom kornene.
Global Navigation Satellite System (GNSS)	Fellesbetegnelse for satellittbaserte systemer for stedfesting og navigering. Se kapittel 7.1.
Granulære materialer	Grovkornede jordarter og knust fjell som ikke er stabilisert med verken sement, bitumen eller andre bindemidler
Gummihjulsvals	Vals uten ståltromler, men med tett plasserte gummihjul. Brukes til overflatekomprimering eller komprimering av tynne lag. Se kapittel 3.1.
Intelligent komprimering	Komprimering ved hjelp av komprimeringsutstyr som automatisk justerer komprimeringsenergien basert på responsmålinger. Se kapittel 8.3.
Komprimeringsenergi	Det arbeid som utføres av valsen under komprimering for å få til omlagring av korn og pakking av materialet. Se kapittel 2.3.
Komprimeringsplan	Plan for hvordan komprimeringsarbeidet skal gjennomføres. Skal for store anlegg inneholde et valseprogram. Se Kapittel 10.
Kontinuerlig komprimeringskontroll	Automatisk registrering av komprimeringsarbeidet over hele arealet ved bruk av valsemontert utstyr. Se Kapittel 6.
Oscillerende vibrasjon	Valsetrommelen vibrerer horisontalt og knar materialet i toppen av laget. Gir liten dybdevirkning. Se kapittel 2.1.
Statisk linjelast	Valsetrommelens vekt delt på bredden av trommelen. Se kapittel 2.2.
Tandemvals	Vals med to ståltromler. Se kapittel 3.1.
Valseprogram	En del av komprimeringsplanen på store anlegg. Antall overfarer som skal kjøres bestemmes på grunnlag av målinger på en prøvestrekning. Se Kapittel 10.2.
Valsetog	Vals med én trommel. Kalles også anleggsvals eller vibrovals. Se kapittel 3.1.

Vedlegg 2 Mal for komprimeringsplan

Alt komprimeringsarbeid krever en komprimeringsplan. En mal for hvordan komprimeringsplaner kan utformes ligger vedlagt på de neste sidene.

Tabellen fylles ut en gang for hver kombinasjon av undergrunn og overbygning. Gjennom å gjøre dette før komprimeringsarbeidet skal settes i gang, får man tilpasset arbeidet med utlegging og komprimering slik at det blir både tidsmessig og kvalitetsmessig optimalt.

Komprimeringsplan for mekanisk stabiliserte materialer

Det skal utarbeides en komprimeringsplan for alt komprimeringsarbeid. Dersom det er vesentlige variasjoner i materialene i underbygningen eller i overbygningen, må veganlegget inndeles i delstrekninger, og det må utarbeides egne komprimeringsplaner for hver av de typiske vegoverbygningene. Tabellen under fylles ut for hver delstrekning, altså alle kombinasjoner av overbygning og undergrunn.

For anlegg med over 5000 m² vegareal skal det utarbeides valseprogram basert på målinger (densitet, nivålement, platebelastning eller responsmålinger). Valseprogrammet bestemmer hvor mange overfarer som er nødvendig for at resultatet av komprimeringsarbeidet skal tilfredsstille kravene i Håndbok 018.

Stedi:	Underliggende masser:		
	Frostsikringslag	Forsterkningslag	Bærelag
Materialtype			
Total lagtykkelse			
Valsestyr			
Antall lag			
Vanning			
Antall overfarer			
Hastighet			
Vibrasjon			
Antall overfarer med høy amplitude			
Antall overfarer med lav amplitude			
Antall overfarer uten vibrasjon			
Kontroll og dokumentasjon			
Kontrollmetode			
Type dokumentasjon til byggherren			

Hjelpetekst til tabellen:

- Valseutstyr:** Ved undergrunn av leire må man være forsiktig ved bruk av tungt vibrerende utstyr som kan "myke opp" sensitiv undergrunn og vanskeliggjøre komprimering av frostsikringslag eller forsterkningslag. Komprimeringsutstyret og antall passeringer skal tilpasses slik at Det kan være nødvendig å legge ut og komprimere materialet i flere enn ett lag. Utlegging i flere lag må vurderes ut fra total lagtykkelse og kapasitet (størrelse) på vals, se figur 5 i rapporten *Planlegging og utførelse av komprimering* og figur 520.6 i Håndbok 018.
- Antall lag:** Angi vanningsutstyr og mengde vanning. Materialet skal være fuktig ved komprimering. Vanninnholdet bør tilpasses slik at man oppnår et best mulig komprimeringsresultat.
- Vanning:** Frem og tilbake i samme spor utgjør to overfarter.
- Antall overfarter:** Angi om det skal brukes vibrasjon eller ikke, og hvor mange overfarter som skal kjøres med høy og lav amplitude.
- Vibrasjon:** Lav amplitude brukes ved lagtykkelser opp til 400 mm. Ved større lagtykkelser kjøres de første passeringene med høy amplitude, de siste passeringene kjøres med lav amplitude. Komprimering av øverste granulære lag avsluttes med to statiske passeringer (uten vibrasjon) for å oppnå en fast overflate. Knust asfalt skal ikke komprimeres med vibrasjon.
- Hastighet** Hastigheten skal holdes jevn. Valsehastigheten bør ikke overstige 5 km/t. Anbefalt kjørehastighet er 3-5 km/t.
- Dokumentasjon** Dokumentasjonen som leveres skal vise at det planlagte komprimeringsarbeidet er utført.

Generelt:

Ved bruk av tungt vibrasjonsutstyr må man være spesielt oppmerksom på ledninger og andre konstruksjoner i grunnen. Man må også ta hensyn til nystelseskader som kan oppstå på bygninger i nærheten. Dette kan forsterkes vesentlig ved spesielle grunnforhold.

Steinmaterialet skal være fuktig ved komprimering. Dette gjelder også grove materialer som sprengt stein etc. Enkelte materialer, eksempelvis knust asfalt (AK), krever mye vann ved komprimering (se Håndbok 018 pkt. 523.29).

Ved komprimering av pukk skal man etter to passeringer (tykkelser 75-100 mm), eventuelt tre passeringer (tykkelser >100 mm), forvise seg om at materialet ikke knuses unødvendig ned (visuell inspeksjon), før man eventuelt fortsetter komprimeringen.

Om valseprogram basert på målinger:

Antall overfarter skal bestemmes ved hjelp av målinger for alle anlegg med over 5000 m² vegareal. Målingene kan være enten densitetsmåling, platebelastning, nivellement eller responsmålinger. Valseprogrammet utarbeides med målinger på en representativ prøvestrekning, og vil gjelde for alle arealer med samme grunnforhold og overbygning. Under utarbeidelsen av valseprogrammet må det tas målinger etter hver annen overfart, og komprimeringen avsluttes når måleresultatene tilfredsstiller krav.



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen