



# NGF Temadag Grunnforsterkning

Dypkomprimering  
01.11.2023





# NGF Temadag Dypkomprimering



NORSK GEOTEKNISK FORENING

1234260

## Foredragsholder:

Jesper Bjerre

Seksjonsleder i Multiconsult  
Geoteknikk Energi & Industri  
Region Vest

## Grunnforsterkning

1. – 2. november 2012  
Rica Park Hotel Sandefjord

## Erfaring:

8 års erfaring med flere industrioppdrag  
hvor det er benyttet dynamisk  
dypkomprimering med fallodd

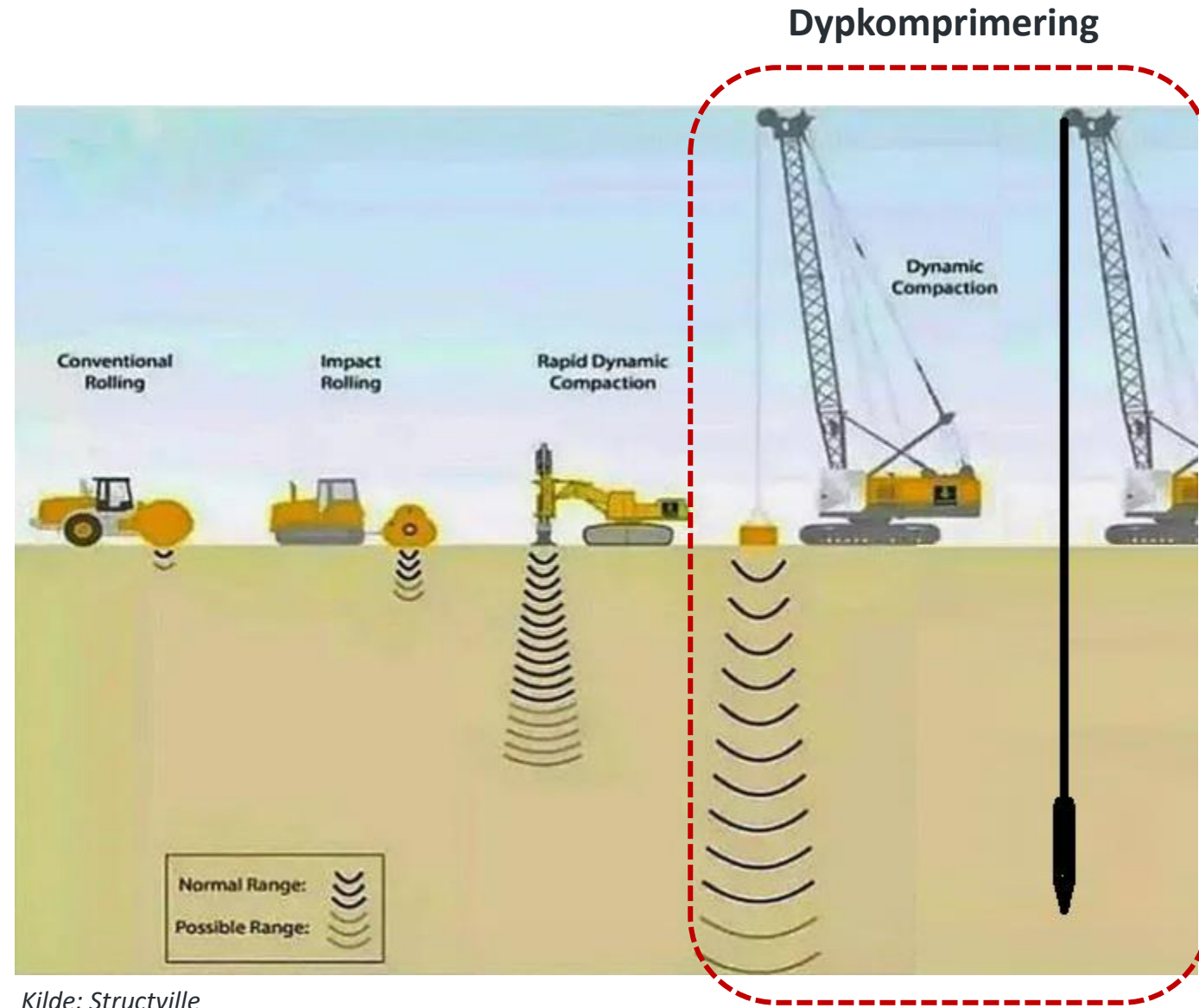
Dypkomprimering

(9)

Foreleser:  
Arne Stordal  
Multiconsult AS

# Hva er dypkomprimering?

- Dypkomprimering er en dynamisk jordforstrekningsmetode som benyttes for å komprimere dypere jordlag
- Conventional Rolling
- Impact Rolling
- Rapid Impact Compaction (RIC)
- **Deep Dynamic Compaction (DDC)**
- **Vibro Compaction (VC)**





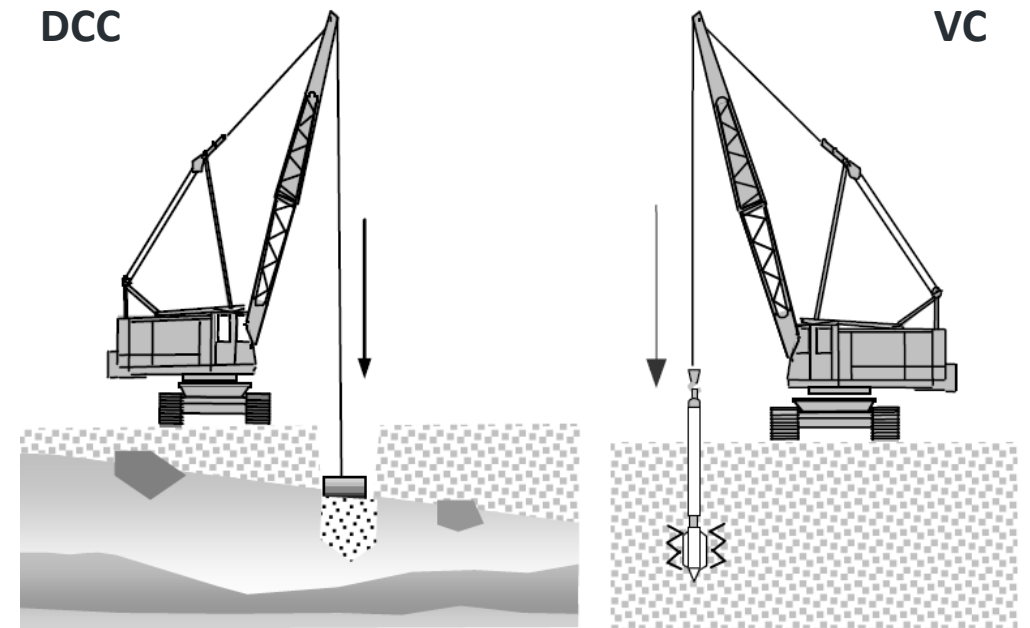
# Formål med dypkomprimering

- Redusere porøsitet til jorden:
  - Redusere setningspotensialet
  - Øke bæreevnen
  - Øke motstand mot liquefaction
  - Redusere permeabilitet



# Anvendelsesområder

- Dypkomprimering benyttes når det ikke er mulig eller økonomisk å bygge opp en komprimert fylling ved lagvis utlegging eller ved forbedring av eksisterende fyllinger eller avsetninger
- Typiske forhold i Norge
  - Fyllinger i sjø eller vann (DDC)
  - Mudringmasser / Cellespunt (VC)
  - Løst lagrede naturlige avsetninger (DDC og VC)
  - Eksisterende fyllinger av ukjent kvalitet (DDC)



Kilde: ISSMGE - TC 211 (Javelaud 2012)



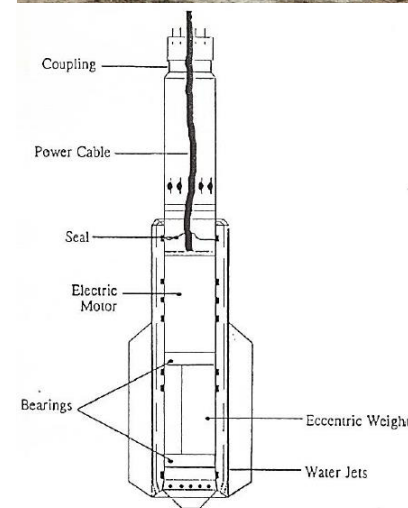
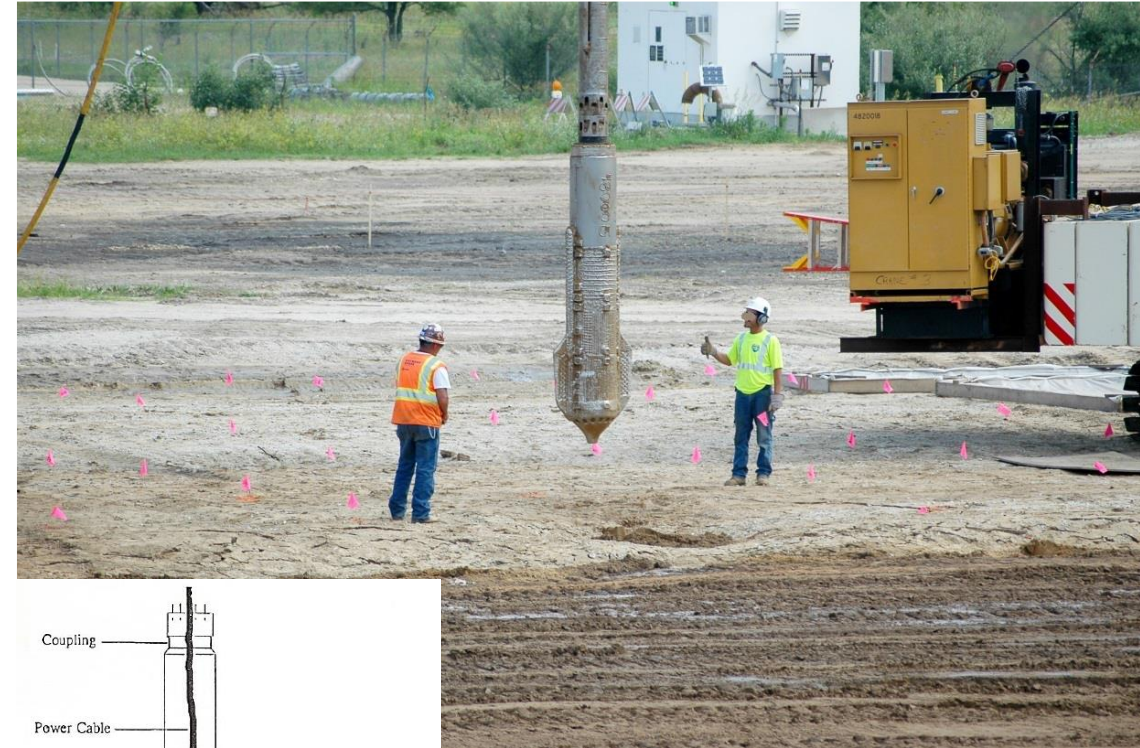
# Grunnforhold og egnethet

- DDC med fallodd anbefales å benyttes hovedsakelig i friksjonsmasser fra løs lagret sand til grov steinfylling
  - DDC kan benyttes på grunnforhold som har noe finstoff innhold, men deler av effekten kan komme en tid etter utført komprimering når poreovertrykket har dissipert
- VC anbefales og benyttes hovedsakelig i friksjonsmasser fra løs lagret sand til grus
  - Siltinnhold som er mindre enn 10-15 % og leire innhold mindre enn 2 %

Size range	Soil types	
	Sands	Gravels to cobbles
ASTM	> 0.074 mm < 4.75 mm	> 4.75 mm < 350 mm
British/European Standard	> 0.06 mm < 2.0 mm	> 2.0 mm < 200 mm
Ground improvement without admixtures in non-cohesive soils or fill materials	Dynamic compaction	
	Vibrocompaction	

# Dypkomprimering – Vibro Compaction

- Vibrosonde eller vibrostav som presses ned i løsmassene samtidig som det påføres vibrasjoner og eventuelt spyling
- Komprimering skjer under opptrekking med vibrasjoner
- Kan kreve fortløpende tilbakefylling av løsmasser for å sikre kontakt mellom sonde/stav og jorden
- Maksimum dybde 50 m (FHWA)





# Eksempel VC: Dypkomprimering i Granvin (cellespункtkonstruksjon for veg) Vibrolodd på kran



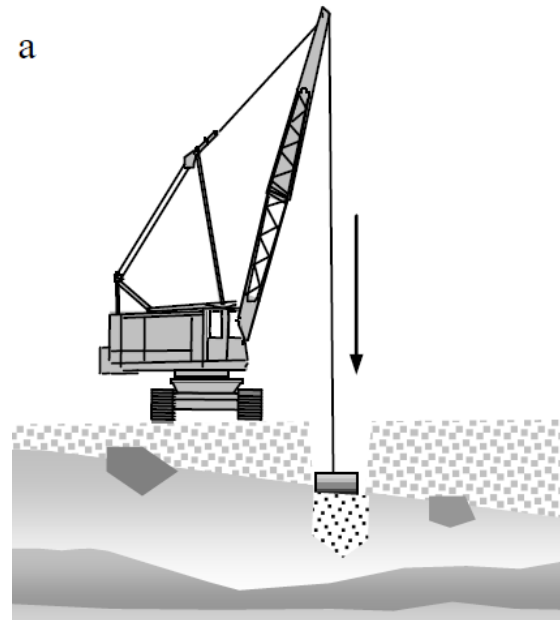


# Eksempel VC: Dypkomprimering mellom ny kulvert og fjellskjæring Vibrostav på gravemaskin



# Dypkomprimering - Fallodd

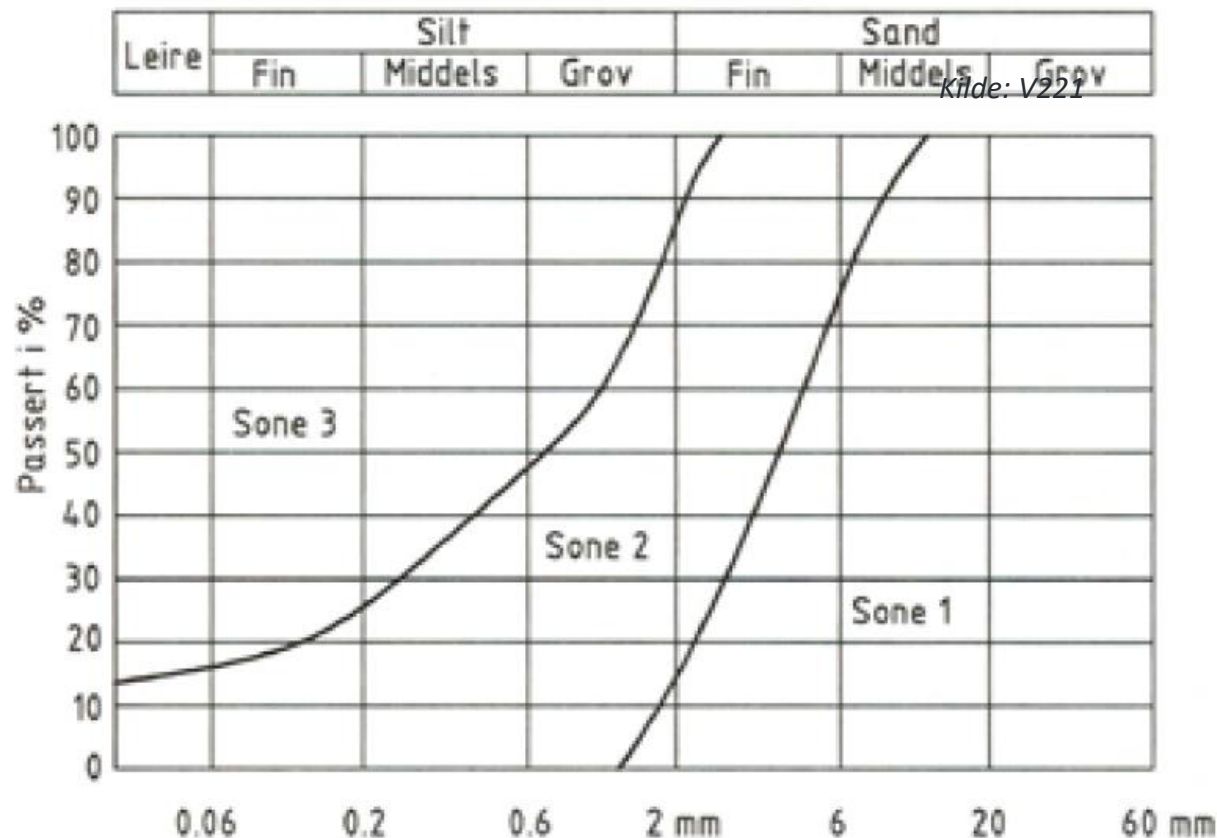
- Mest anvendte dypkomprimeringsmetode
  - Kan benyttes på varierende grunnforhold
- Lodd blir sluppet fra en viss høyde med x antall dropp
- Rutenettmønster med ulike overfarter
- Vanlige fallhøyder 10-15 m (opptil 40 m)
- Lodd av stål eller armert betong
- Forventet volumendring 5-15 %
- (opptil 25 % i meget løst lagrede masser)





# Komprimeringseffekten

- Falloddets tyngde
- Fallhøyde
- Antall dropp i hvert punkt
- Antall overfarter
- Avstand mellom hvert komprimeringspunkt
- Falloddets tverrsnitt
- Jordens egenskaper



Sone 1: God økonomisk utnyttelse

Sone 2: Grenseområdet for økonomisk utnyttelse

Sone 3: Dårlig økonomisk utnyttelse

# Dybdevirkning

- Dybdevirkning (halv empirisk):

$$d = k \cdot \sqrt{WH}$$

- Hamidi & Varksin (2012):

$$d = \delta \cdot \alpha \cdot \sqrt{WH}$$

$\delta$  = Empirisk faktor relatert til sammenstøt effektivitet

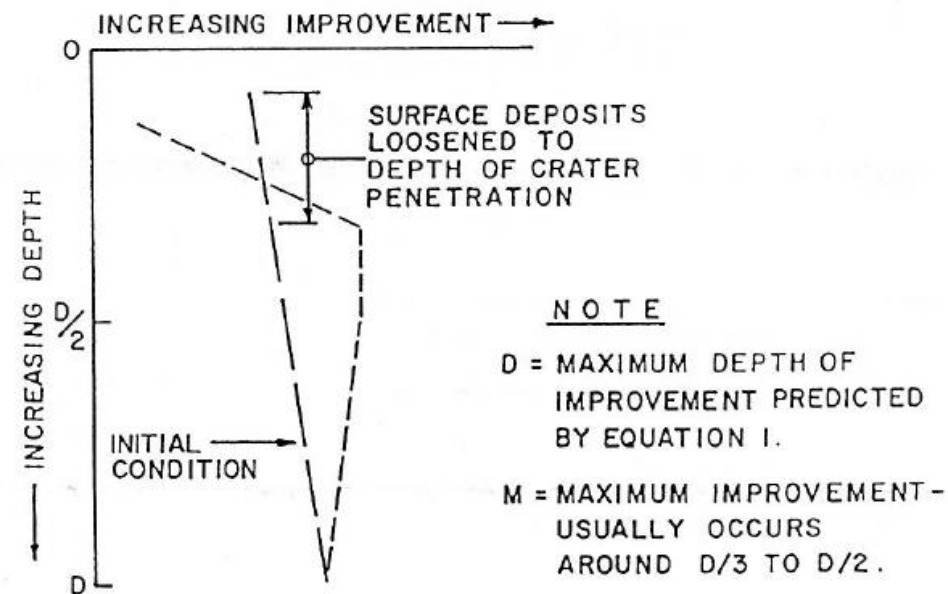
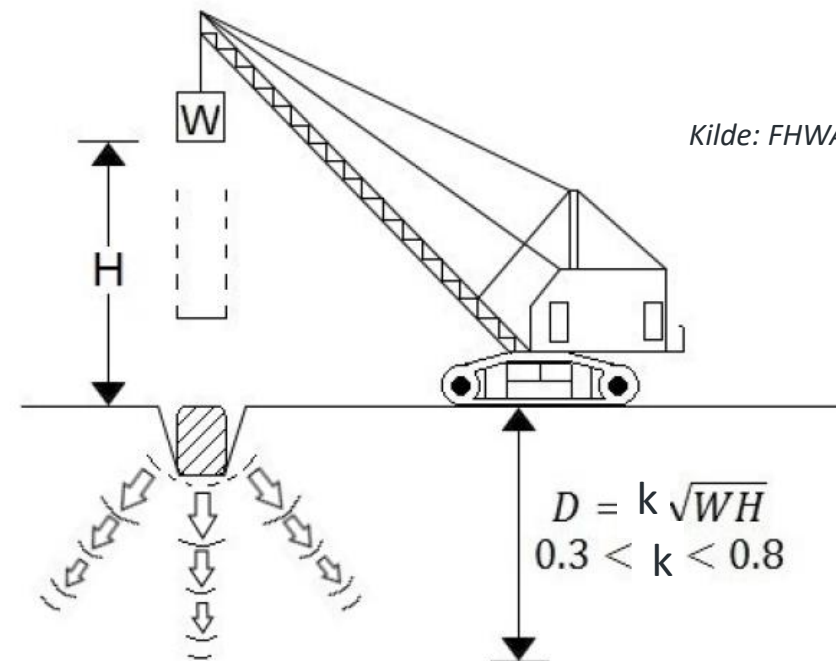
- 0.9 for wireslipp og 1,2 for fritt fall

$\alpha$  = Empirisk faktor relatert til jordegenskaper

- Typisk 0,8-0,9 for sprengstein og ned til 0,4 for siltig sand

$W$  = Vekt av fallodd i tonn

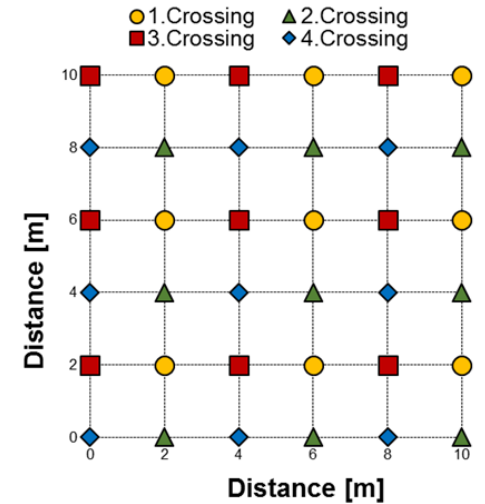
$H$  = Fallhøyde i meter



# Nødvendig energi & Rutenettmønster

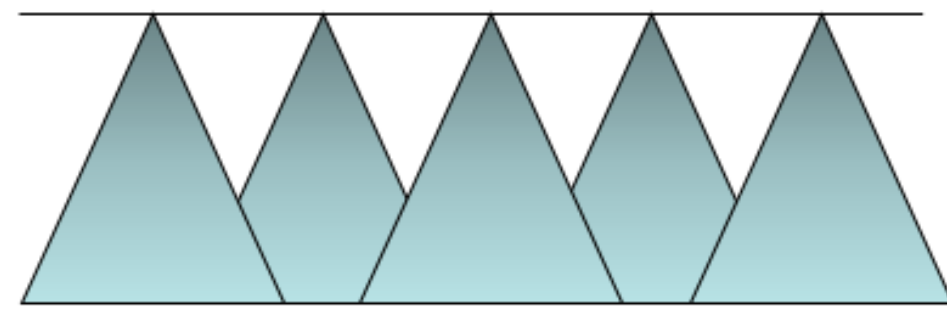
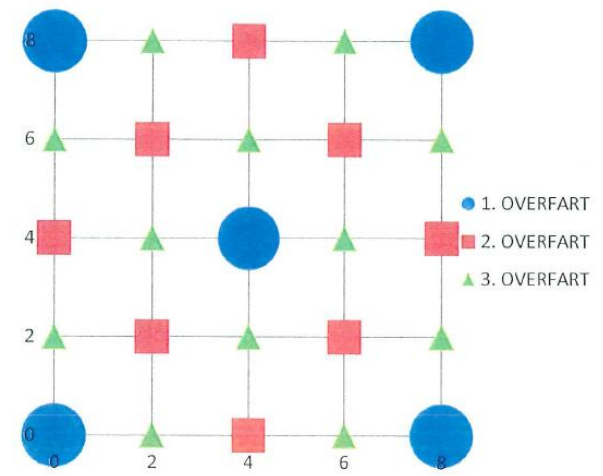
$$N = \frac{E(b \cdot k)^2}{d \cdot n}$$

- N = Antall overfarter
- E = Energi tilførsel pr. volumenhet
- b = Rutenett avstand
- k = dybdefaktor
- d = Effektiv dybde
- n = Antall dropp pr. krater



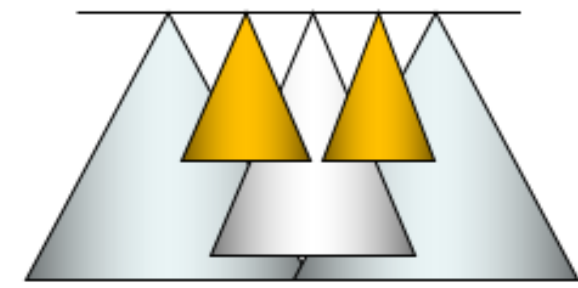


# Alternative rutenettmønster



Ensartet energi og rutenett

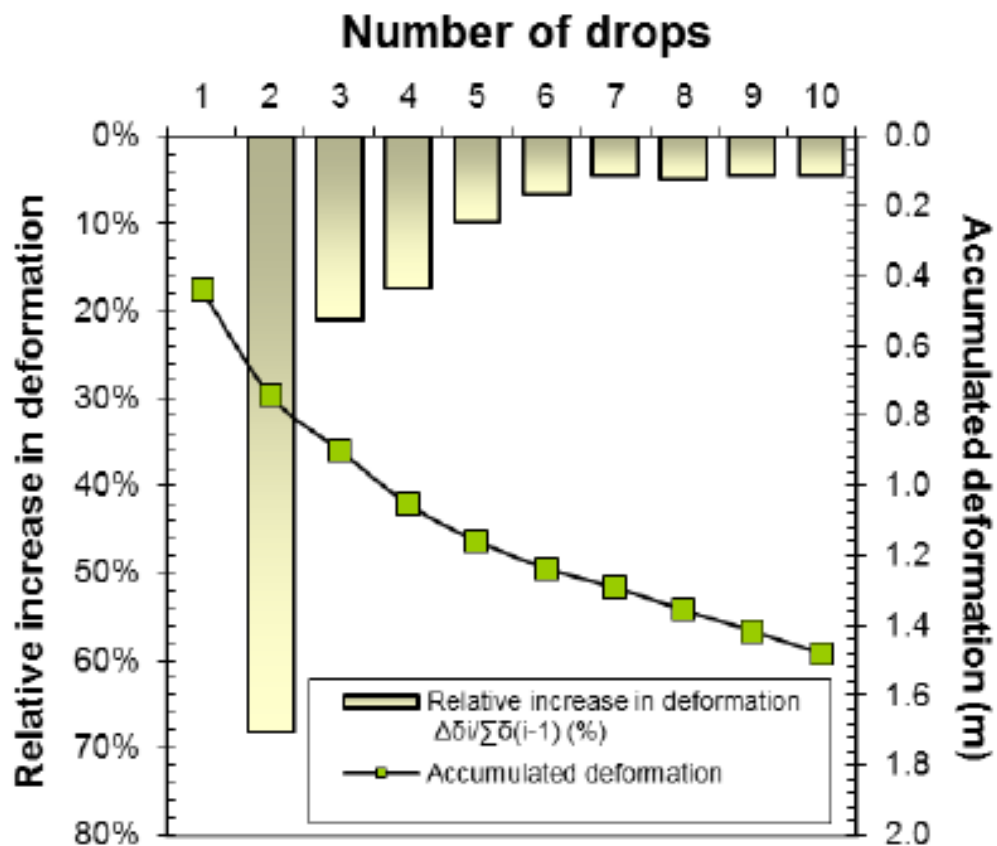
<p>1 phase: DYNIV          grid: 14 x 14 m          energy: 1050 t m</p>	<p>5 phase: DYNIV          grid: 3.5 x 3.5 m          energy: 500 bis 700 t m</p>



Variabel energi og rutenett

# Prøvekomprimering - “Design as you go”

Vanligvis 3-4 prøvekomprimeringer



# Oppfølging under utførelsen bør omfatte

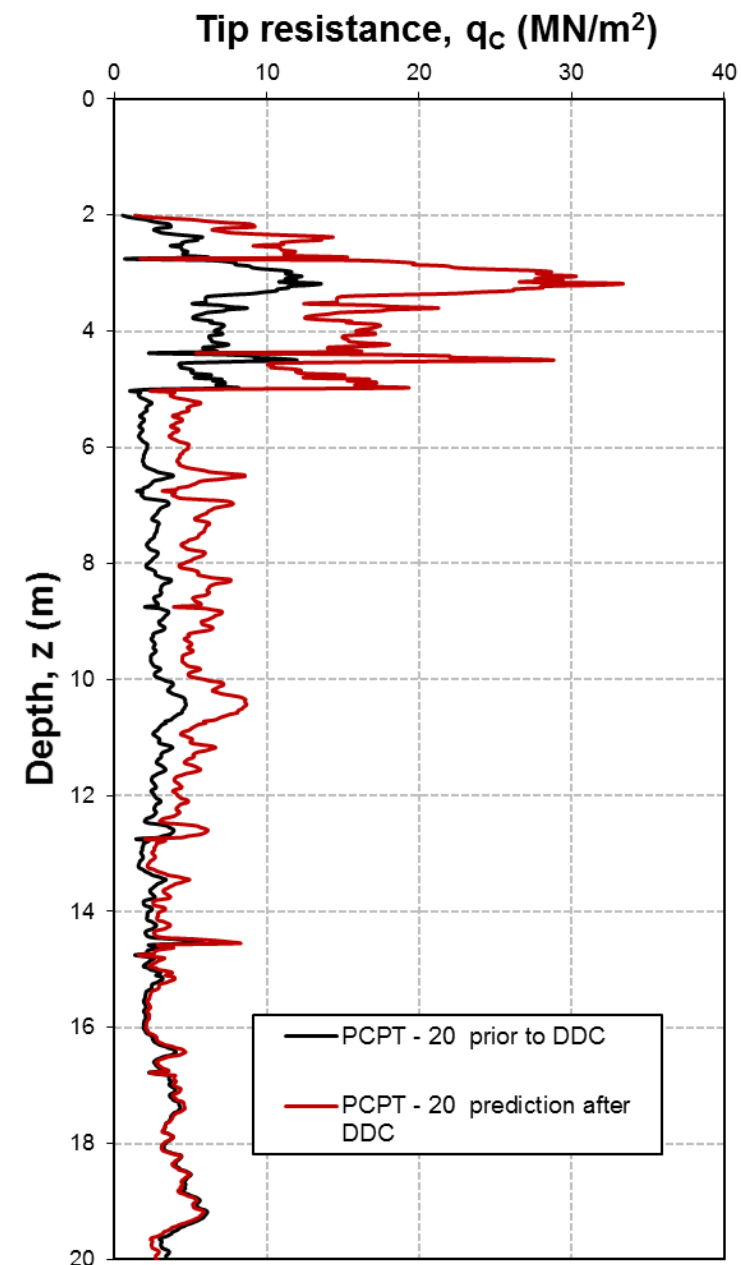
- Prøvekomprimering: Deformasjonskurve
- Produksjon: Protokoller (måledata, kraterdybde, overfart, fallenergi)
- Profilerings av område før og etter dypkomprimering, eventuelt også før og etter oppfylling/utjevning ved hver overfart
- Registrering av tilførte masser undervegs hvis relevant
- Kontrollveining av lodd (stor slitasje)
  - Fallodd bør veies før og etter DDC
  - Større jobb → vurder flere registreringer og evt. justere fallhøyden





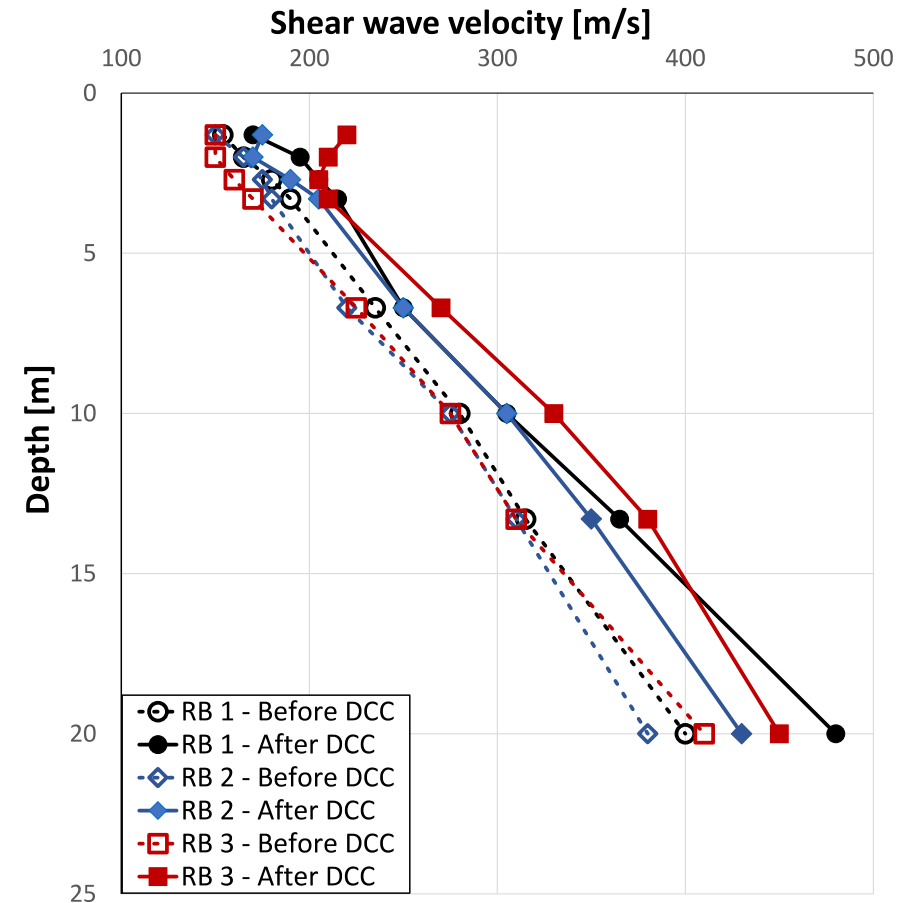
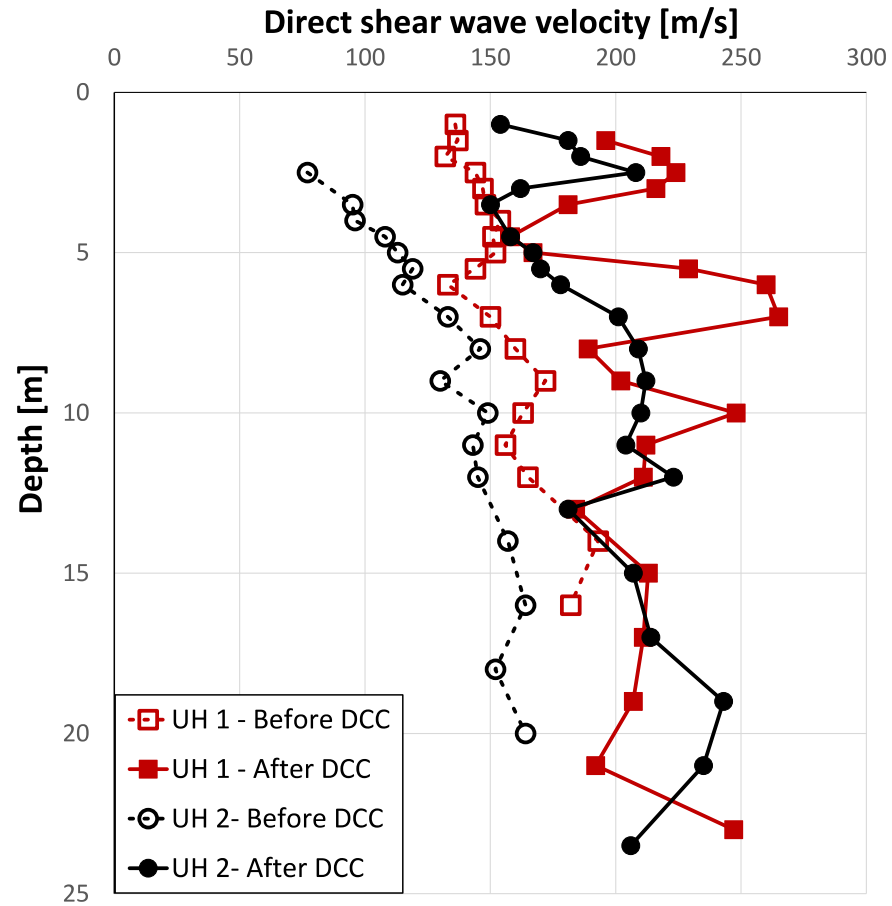
# Kontroll og dokumentasjon

- Før og etter DDC:
  - Seismiske:
    - Cross hole, down hole og up hole
    - Overflateseismikk
  - Stor skala platebelastning
  - Densitetsmålinger og korngradering
  - CPT, SPT, PMT, DMT
- Under utførelse
  - Akselerometer på lodd
  - Vibrasjonsmåler
  - Setningsmåler



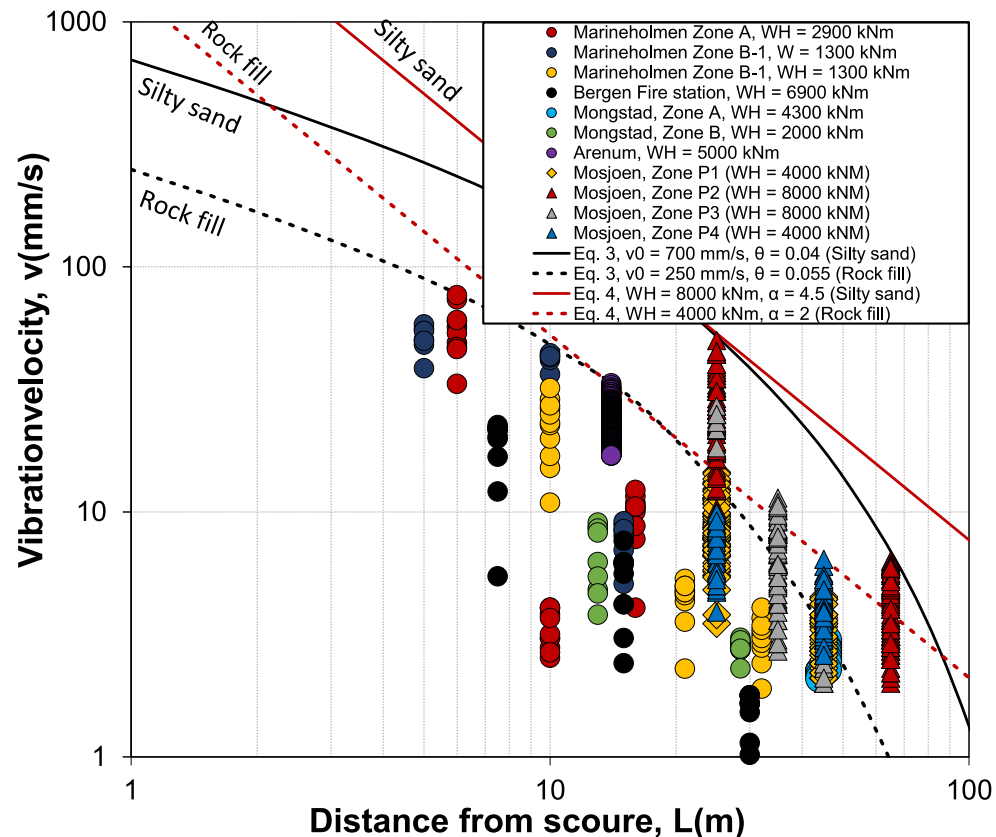


# Kontroll og dokumentasjon



# Naboforhold - Vibrasjoner

- Vibrasjoner fra DDC kan være problematisk i tettbygd strøk dersom det er kort avstand mellom dropp-punkt og bygninger eller installasjoner
- Støy: Typiske verdier 100-120 dB ved 12 m og mindre enn 80 dB 24 m (FHWA)



**Bornits, G. (1931)**

Geometrisk- og materialdemping:

$$v = v_0 \cdot \sqrt{\frac{r_0}{r}} \cdot e^{\theta(r-r_0)} \quad \theta = \frac{-2\pi \cdot f \cdot D}{C_R}$$

**Mayne (1984)**

Grenseverdi

Ren geometrisk utbredelse

$$v_i = 7 \cdot \left( \frac{\sqrt{WH}}{r_i} \right)^{1.4} \quad (\text{cm/s})$$



# HMS

- Store og tunge maskiner
  - Typisk sikkerhetszone er lik høyde på kran
  - Marktrykk?
- Fylling i sjø/vann
  - Risiko for vannspeil i dropp-punkt



# Andre anleggstekniske aspekter

- Fyllinger i sjø:
  - Typisk start kotenivå: kote +2,5 til +3,0 (Vestlandet)
  - Vurderes mot forventet tidevannsvariasjon og kraterdybde (2 m er ikke uvanlig)
- Overflate vann og grunnvann – HMS aspekt
  - Kranspor kan bli vannfylte
- Vinterarbeid – gjelder generelt komprimeringsarbeider
- Avstand fra skråning til dropp-punkt bør ikke vær mindre enn 5 m
  - Grensesnitt mott erosjonssikring
- Loddfasong
  - Grunnflate bør vær horisontal og mest mulig symmetrisk og må vurderes mot rutenett avstand





## “Vanlig” utstyr i Norge

- Potensiell energi                      opptil 8000 kNm (5000 kNm ?)
- Fallhøyde                                opptil 40 m
- Loddvekt                                 opptil 36 tonn
  - Typisk av stål 1,5x1,5m
- Rigging/nedrigging av stor mobilkran utgjør en stor del av kostnaden
- Energi koster (større kran/større lodd)



Multiconsult