



TBM-masse (borkaks)

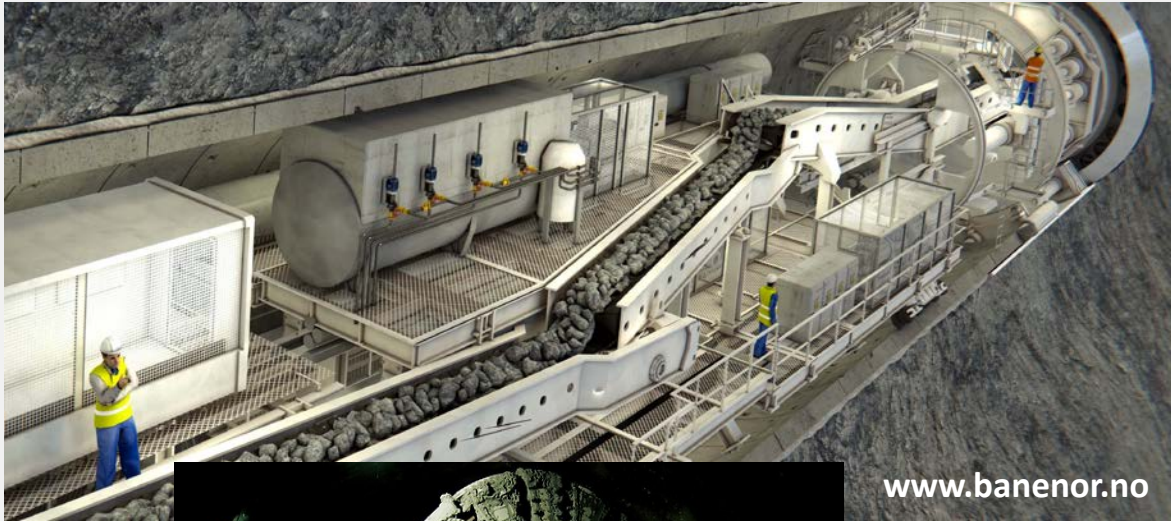
Karakterisering og mulig nyttiggjøring

Jenny Langford, Gunvor Baardvik, Christian Strømme-Ofstad, Tore Valstad

Marianne Dahl, Statens vegvesen

Avslutningsseminar GeoreCirc 29. november 2019

Tunnelboring med tunnelboremaskin (TBM)



- ↗ 70- og 80 tallet i Norge ved vannkraftutbygging
- ↗ Nå brukt for store tverrsnitt i jernbane-prosjekt Ulriken i Bergen og på Follobanen på Østlandet
- ↗ Noen fordeler:
 - Gir bl.a. færre tverrslag og redusert behov for masse-transport i tettbygde strøk
 - Elektrisk drift, massene går på transportbånd ut av tunnelen



Befaring Follobanen



Stor miljøgevinst ved nyttiggjøring

- Store volumer masse når TBM velges som drivemetode
- Muligheter for nyttiggjøring må vurderes i forhold til materialets tekniske egenskaper
- Det er essensielt med tidlig planlegging for bruk av overskuddsmassen
- Lokal bruk vil også redusere CO₂ avtrykk for massetransport vesentlig



Myter om tunnelboremasser

- Massene er forurenset
- Massene er ubrukelige



Eksempel på nyttiggjøring av TBM-masse

Åsland, Oslo

- Masser fra Follobanen (9 Mm³)
- Utfylling for bygningsplattform for ny bydel Gjersrud-Stensrud, Oslo kommune
- Masteroppgave

Puddefjorden, Bergen

- Masser fra Ulriken tunnelen (1,5 Mm³)
- Tildekking av forurensede sedimenter, Bergen kommune
- Inntil 45 cm tykt lag lagt ut, 350.000 tonn

Gjenbruk av TBM masse fra Follobanen

Foto: Marianne Dahl



Foto: Bane NOR

Masteroppgave 2018, NTNU, Marianne Dahl



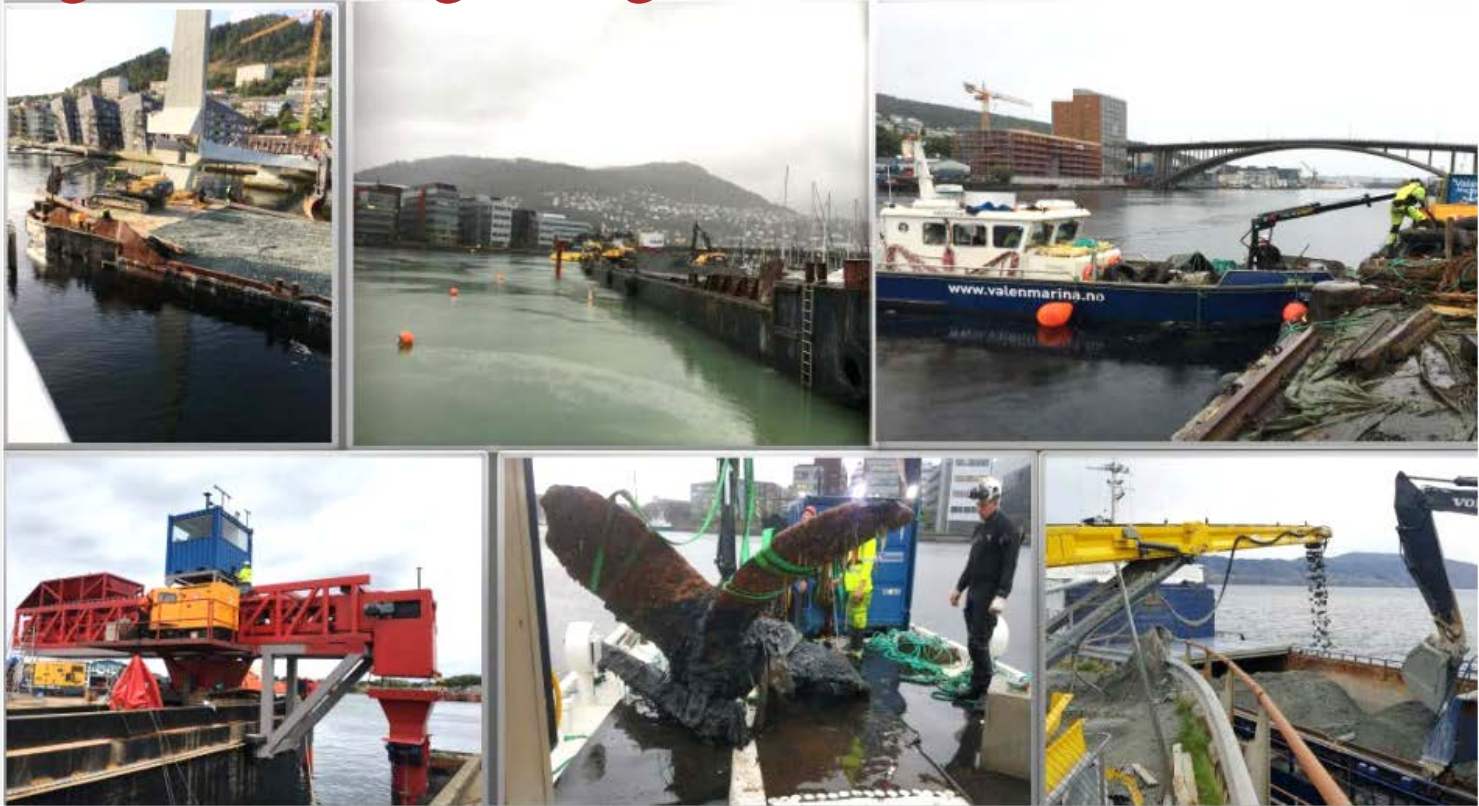
Investigation of Geotechnical properties of TBM spoil from the Follo line project

Bruke datagrunnlag fra Follobane-prosjektet, fokus på deformasjonsegenskaper.

Sammenstilt og systematisert stort datagrunnlag fra Follobanen:

- Standard Proctor forsøk
- Kornfordelingsanalyse
- Vanninnhold (Troxler)
- Platebelastningsforsøk
- Sjakteforsøk
- Kjempeødometer Anton ved NTNU

Tildekking med TBM-masser – Renere Puddefjord, Bergen – svært godt egnet masse



TBM-masse fra norsk berg er rene

↗ Mulige kilder til forurensning

- Slitasje på disker/kuttere
- Hydraulikk-olje som brukes på bevegelige deler i maskinen

↗ Prøvetaking

104 prøver med kjemiske analyser av massene fra Ulriken-tunnelen og Follobanen:

- 1 prøve inneholder olje over normverdi
- 9 prøver overskrider bakgrunnsverdier på metaller, men ikke ut over normal variasjon i lokale bergarter (Tilstandsklasse 2)

↗ Massene klassifiseres som rene

Datagrunnlag for karakterisering av TBM-masse

Tunnel	År	Fra tipp/stuff	Bergart	Tunneldiameter (m)	TBM fabrikk
Kleådalen	1977		Fyllitt	3,5	Robbins
Neverdalen	1981		Glimmerskifer	4,5	Robbins
Sørfjorden	1982		Hornblendskifer	3,5	Robbins
Fallingsjøen	1983		Glimmerskifer	4,5	Robbins
Glomfjord	1985	Tipp	Glimmerskifer	6,25	Robbins
Glomfjord	1985	Stuff	Granitt	3,25	Robbins
Kobbelv	1985	Stuff	Granitt	6,25	Robbins
Trondheim	1985	Stuff	Grønnstein	2,3	Demag
Bratset	1985	Tipp	Glimmerskifer	4,5	Robbins
Nyset-Steggje	1985	Stuff	Granodioritt	3,2	Jarva
Asker-Bærum	1985	Tipp	Kalkstein/Leirskifer	3,35	Wirth
Bergen	1985	Tipp	Granitt/Gneiss	7,8	Robbins
Aurland	1985	Tipp	Fyllitt	3,5	Robbins
Ulla-Førre	1985	Tipp	Granodioritt	3,5	Robbins
Follobanen	2018	Tipp	Granittisk gneis	10	Herrenknecht

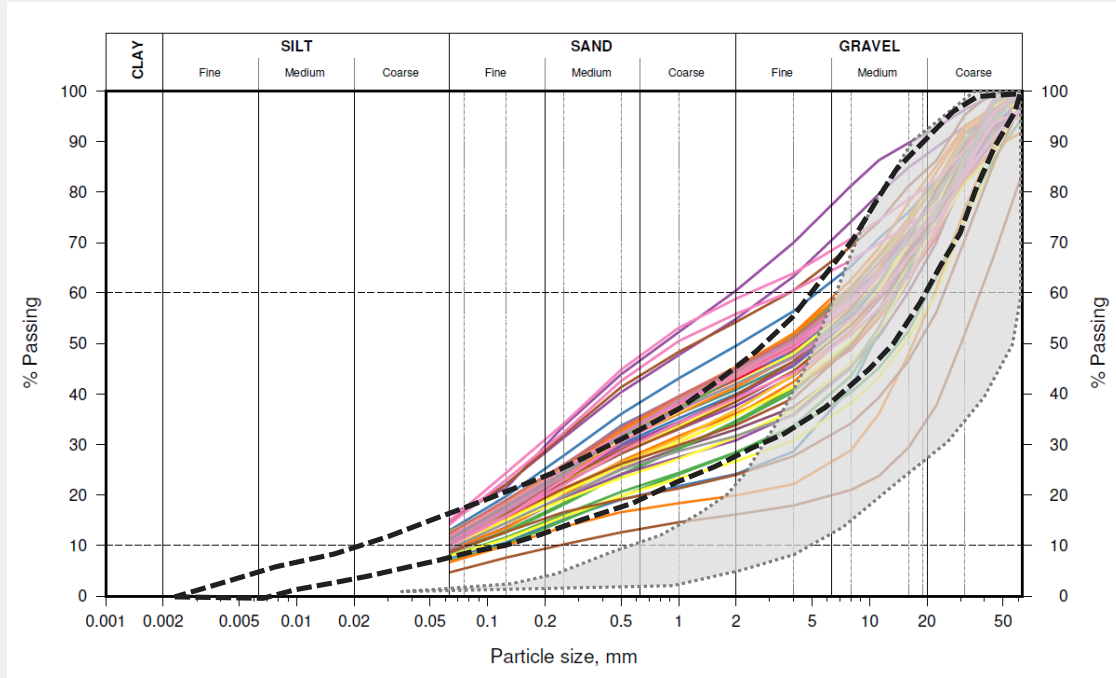
Siktet og vasket masse fra Follobanen



Kornfordeling

TBM-massen fra Follobanen er som en grus / sandig grus

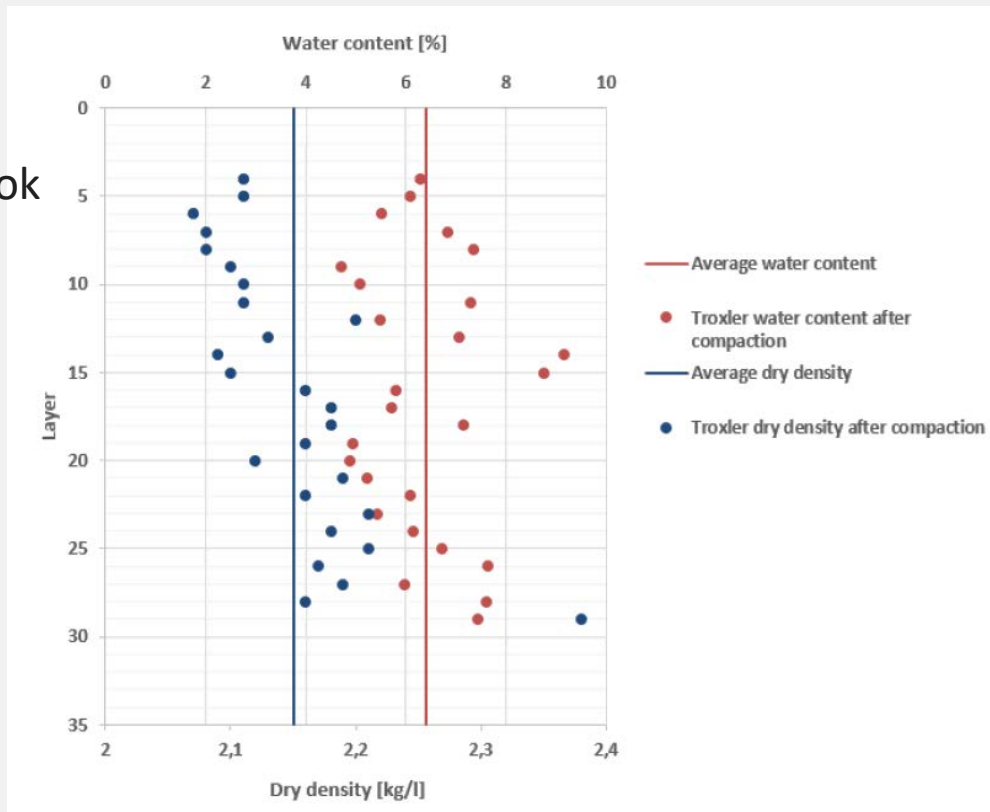
- 50-70% av materialet er grusfraksjon
- Finstoffinnhold ($<0,06$ mm) på 10-18%



Kurver i farger: Kornfordelingskurver fra TBM ved Follobanen
Stiplet sort linje som viser grensekurver fra andre TBM-prosjekter
Grå skravur viser kornfordeling for sprengstein ($< ca. 70$ mm)

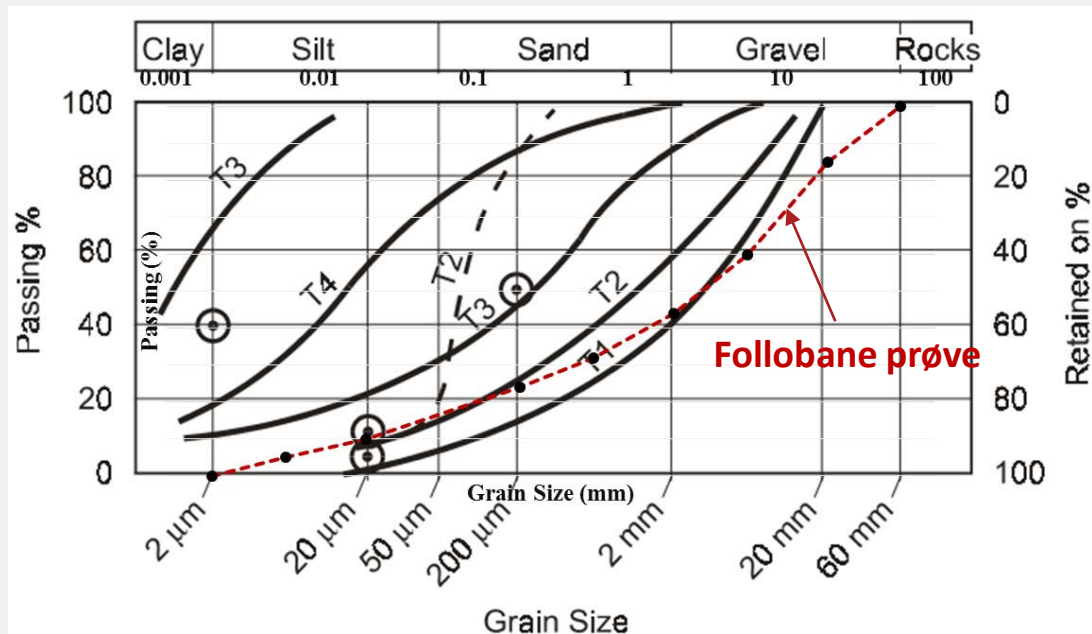
Vannømfintlighet

- Finstoffinnhold (<0,06 mm) på 10-18%
- Massen er litt vannømfintlig (SVV Håndbok N200)
- Hydraulisk konduktivitet i størrelsen 10^{-6} til 10^{-5} m/s (silt-sand), ikke helt selvdrenerende
- Follobanen:
 - Naturlig vanninnhold 5 - 9%
 - Optimal vanninnhold Standard Proctor 8-10 %



Telefarlighet

- Follobanens masse ligger i telefarlighetsklasse T2 (litt telefarlig)
- Det er også kjørt fryse-forsøk på massene fra Follobanen => ikke telefarlige (ikke kapillær sug nok til å danne is-linser)
- Må sjekkes lokalt, avhenger av geologi



Kornform og nedknusningsmotstand

Fallprøve (NTNU)

Los Angeles og Micro Deval (KSR-maskin)



Kornene har en flisig form



Fallprøve utført ved NTNU
Sikting og kubisering øker
bruksverdien

- Ugunstig form mht. mekaniske egenskaper og komprimering
- Ikke mulig å bruke i bære- eller forsterkningslag (krav til nedknusningsmotstand)
- Oppfyller ikke krav til mekaniske egenskaper på tilslagsmateriale i betong uten bearbeiding (knusing og sikting)

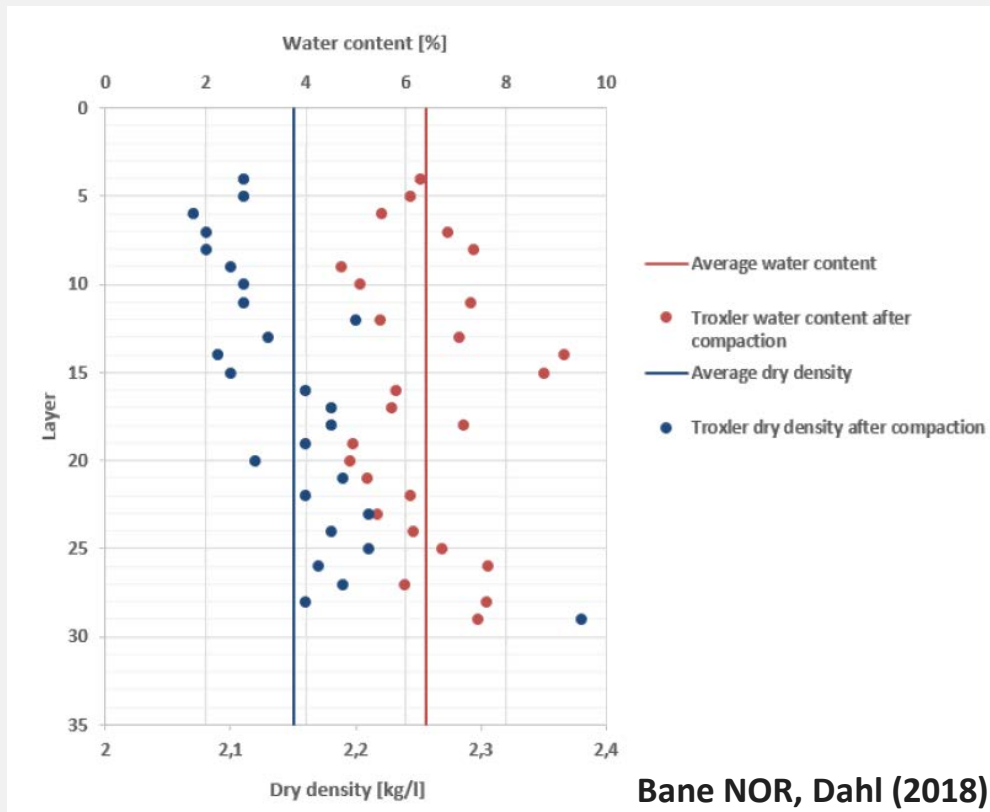
Styrke

- Den har vesentlig høyere friksjonsvinkel enn en naturgrus, dvs. massen kan ha brattere skråningsvinkel $\varphi \approx 44 - 50^\circ$ (treaks forsøk)
- Gode fundamenteringsforhold



Utlegging og komprimering

- Finstoffmengden liten nok til at det er kontakt mellom grove korn som lager et skjelett - Grovfraksjonen er styrende for pakningen/densiteten.
- Follobanen: Etter utlegging med 0,7 m lagtykkelse og normal komprimering er det målt tørrdensitet tilsvarende mer enn 95% av Standard Proctor.



Mulighet med utfylling i sjø?

Mulighet for planlagte tunnelprosjekter i Oslo-området?

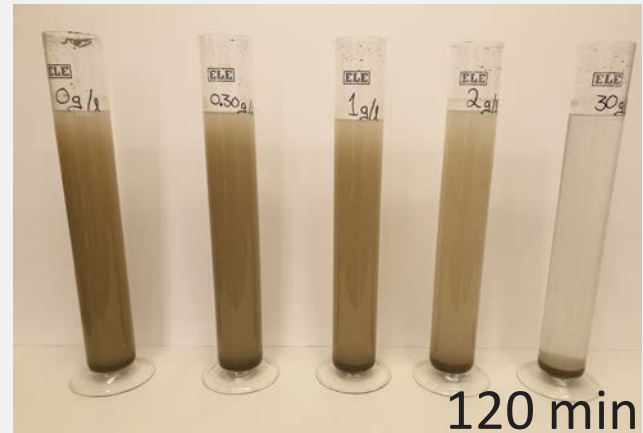
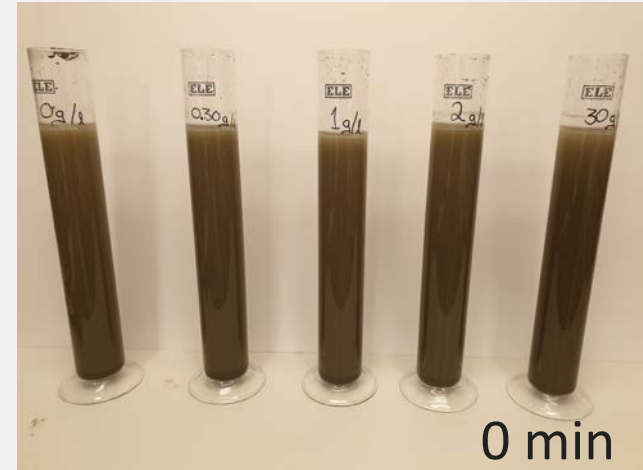
- Krever tidlig planlegging (regulering)
- Undersøkelser og dokumentasjon:
 - Miljøkrav ved utlegging i sjø (turbiditet)
 - Krav med hensyn til planlagt bruk (setninger)
 - Stabilitet av fylling (TBM har høy friksjonsvinkel, gunstig)



Pågående arbeider for VAV

Laboratorietester

- Vurdering av turbiditet ved utlegging i sjø
 - Kolonneforsøk variasjon i saltinnhold
- Densitet ved utlegging i sjø
 - Kolonneforsøk $D = 0,5$ m



Oppsummering

- ✓ Massene er rene!
- ✓ Sandig (siltig) grus
- ✓ Skjærfastheten er betydelig høyere enn for en naturgrus
- ✓ Egner seg godt til tildekking av forurensede sedimenter
- ✓ Egner seg godt som utfyllingsmateriale
 - Håndtering og lagring slik at det ikke tilføres vann før utlegging
 - Lagvis utlegging med normal komprimering gir høy densitet, god bæreevne og lavt setningspotensiale
- ✓ Store volumer – stort potensiale for nyttiggjøring!



Stort takk til:

- Marianne
- Bane NOR
- VAV

NGI

GEOReCIRC

Tunnelborkaks (TBM) – Karakterisering og nyttiggjøring

NGI rapport 20160794-08-R

GEOReCIRC — GEOressurser i en sirkulær økonomi

Gjenvinning

Byggeaktivitet/produksjon

Overskuddsmasser

Deponering

Muligheter for gjenvinning?

Testing og risikovurdering

Foto: BaneNOR

PÅ SIKKER GRUNN
NGI.NO