

Stedlige masser – uslåelig ut fra et miljøperspektiv!



Foto: Jørn Söderholm

Forfattere: Jan Vaslestad (GeoAnlegg/Multiconsult), Dan Sergei Sukuvara (Multiconsult)

Multiconsult

GeoAnlegg

VA-DAGENE BY PAM
2024

AGENDA

INTRODUKSJON TIL RØRTYPER, OMFYLLING OG BELASTNING

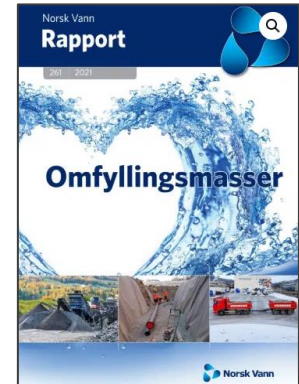
- Jordtrykk og deformasjon på ulike rørtyper
- Sammenheng mellom oppfølging i felt og nødvendig kvalitet i omfylling
- Referanseprosjekter

MATERIALKVALITET, STYRKE OG GJENBRUKSMASSER

- Omfylling med naturlig avsatte eller knuste masser?
- Styrke i ulike omfyllingsmasser, begreper og definisjoner
- Kompresjonsforsøk på ulike typer omfyllingsmaterialer

OPPSUMMERING OG VIDERE ARBEID

- Hovedpunkter
- Forslag til videre arbeid



INTRODUKSJON TIL RØRTYPER, OMFYLLING OG BELASTNING

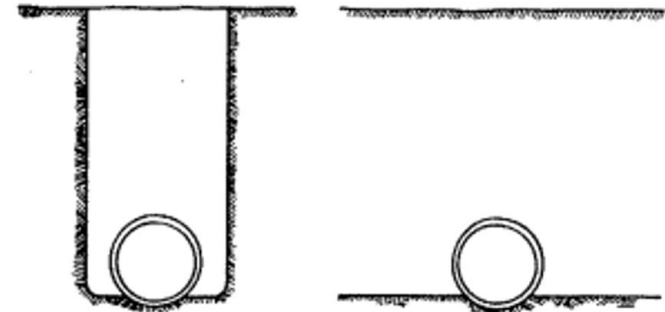


Lukkede rørgrøfter/nedgravde kulverter består av

1. Rør av et bestemt materiale og størrelse (**styrke**)
2. Omfyllingszone (**styrke**)
3. Belastning (**overlagringstrykk og trafikklast**)

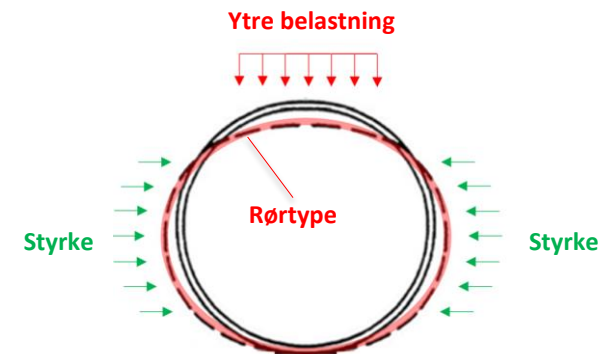


To hovedtyper omfylling



A) GRØFT

B) FYLING

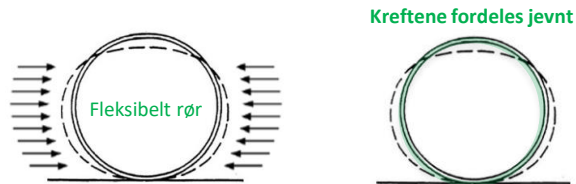


‘Bærekraft’ er balansen mellom rørtype og størrelse, nødvendig styrke i omfylling og ytre belastning (overlagringstrykk + trafikklast)!

Ulike type rør og størrelser, ulike behov for styrke i omfylling

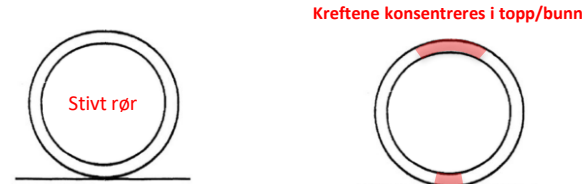
- Fleksible kulverter (stål/plast) **samvirker** med omfyllingsmassene
- Halvstive rør (støpejernsrør) **samvirker delvis** med omfyllingsmassene
- Stive kulverter (betong) **samvirker minimalt** med omfyllingsmassene

Deformeres horisontalt, vertikaltrykk \approx horisontaltrykk



- Kapasitet avhenger av styrke i omfylling (spesielt større rør)

Deformeres minimalt, vertikaltrykk $>$ horisontaltrykk



- Kapasitet mindre avhengig av omfylling



Kort summert

- Stive rør er vanligvis **mindre** avhengig av kvalitet i omfyllingsmassene
- Fleksible rør er vanligvis **helt** avhengig av god kvalitet i omfyllingsmassene

Stive rør

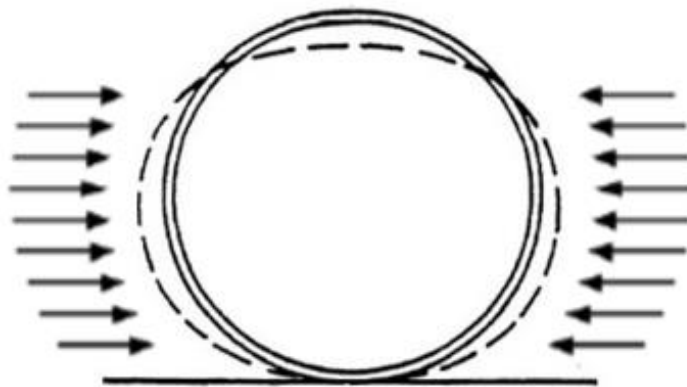
Halvstive rør

Fleksible rør



Behov for styrke i omfyllingsmasser

Styrke
(mothold)

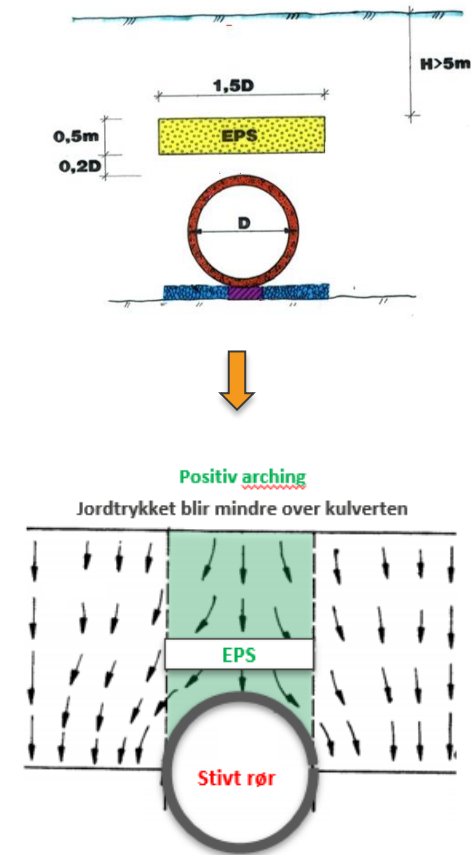
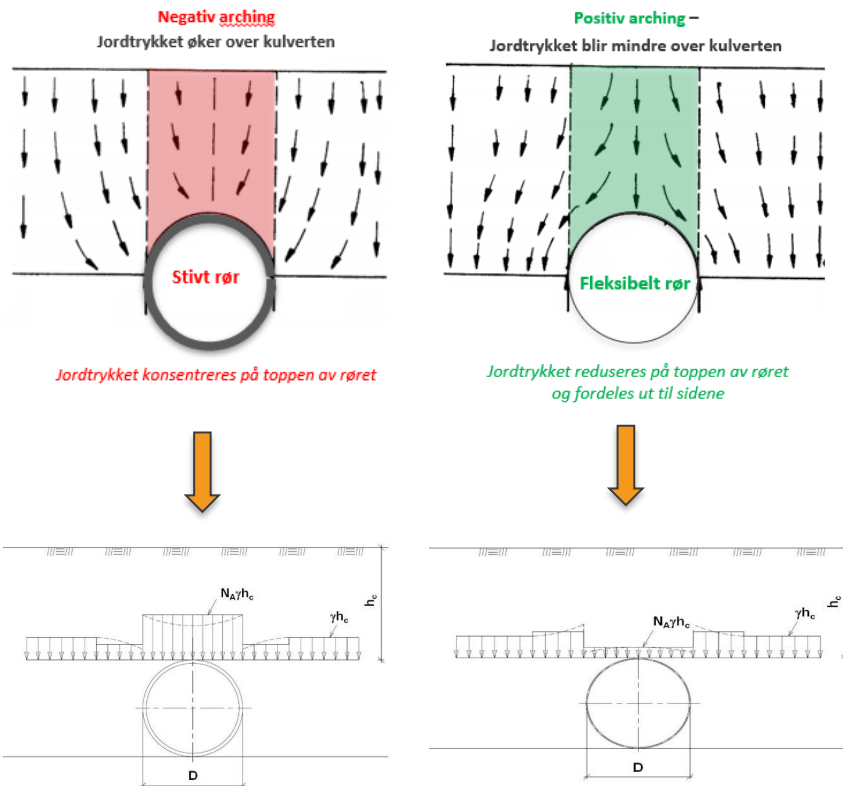


Styrke
(mothold)



Stivhet av rør påvirker også belastning

- Fleksible rør har positiv arching (hvelv-virkning) innebygd
- Positiv arching over stive rør oppnås ved å legge inn et mykt materiale (EPS) over røret



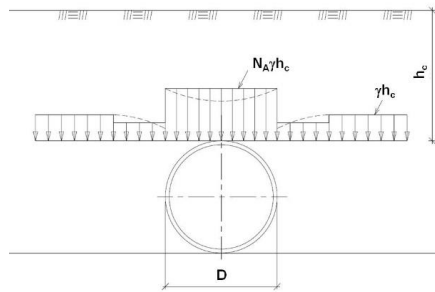
Statens Vegvesen (2023). Håndbok V220 "Geoteknikk I vegbygging". Veileder, versjon datert 18.08.2023.

Jan Vaslestad (1990). Soil Structure interaction of buried culverts. Doctoral thesis, Norges tekniske høgskole (NTH).

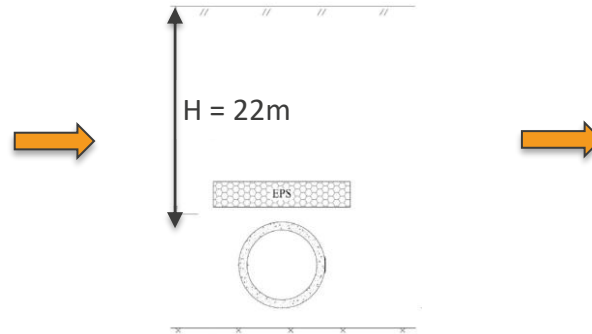
K. Terzaghi (1936). Stress distribution in dry and saturated sand above a yielding Trap-Door. Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. I, pp. 307-11.

Case: E6 Tømtebekken, betongrør med 22m overfylling

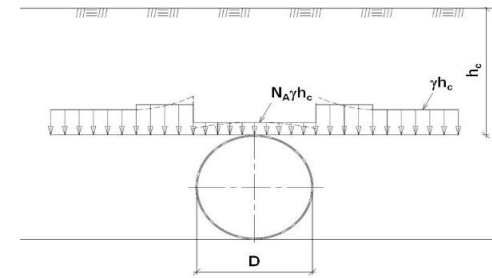
- Stivt betongrør med positiv arching, bygget år 1991
- EPS brukes for å oppnå positiv arching



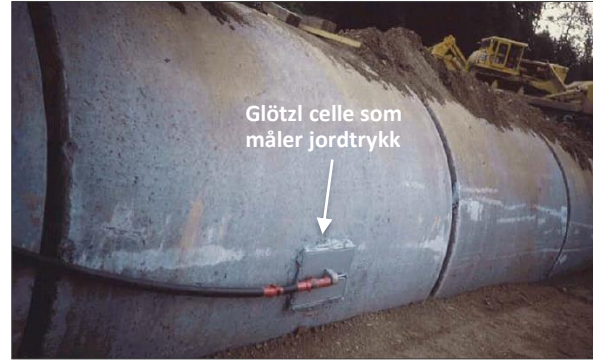
1) Uten EPS



2) Introduserer EPS



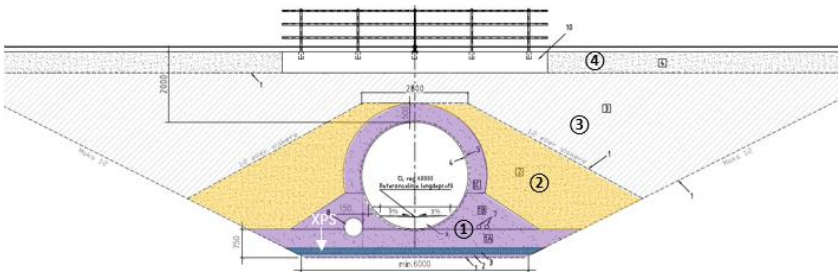
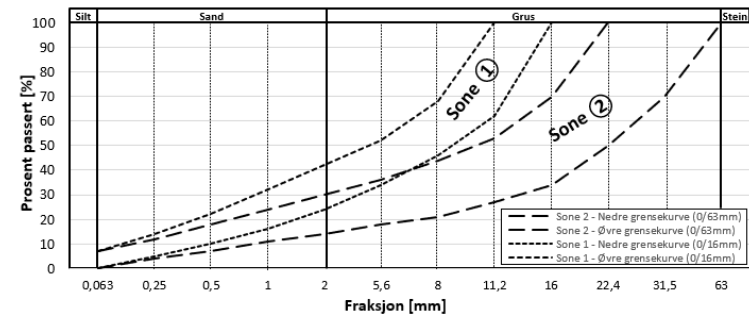
3) Redusert overlagingstrykk



Case: Bolna Jernbanekulvert, Nordlandsbanen

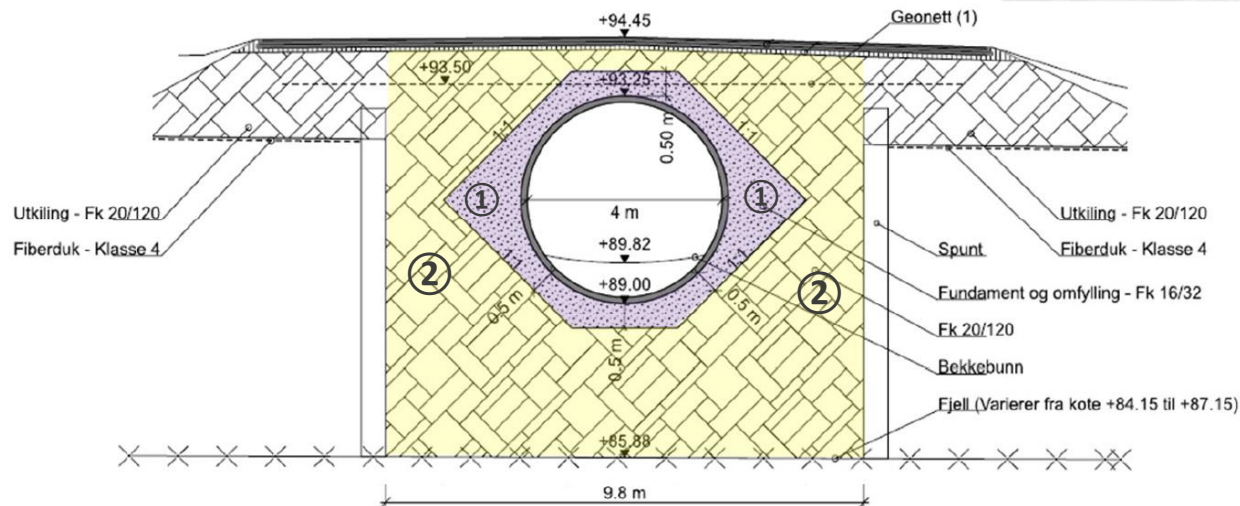
- TrenchCoat (korrugert stål), prosjektert av Multiconsult Fredrikstad
 - Nærsone ① med 0/16mm, finstoff < 7%
 - Yttersone ② med 0/63mm, finstoff < 7%
 - Toglaster på 22.5 tonn aksellast
- } Prosjektert omfylling

Kornkurver oversendt før oppstart!



Case: E18 Holstadkrysset

- Norges største plastrør (D = 4m)
- Prosjektert omfylling: Nærsonen ① av 16/32mm, yttersonen ② av 20/120mm



Bruk av lette masser og geonett på dårlig grunn

- Geonett øker bæreevnen på dårlig grunn
- Geonett øker styrken i massene, og kan øke bruken av stedlige masser
- Lette masser (lettklinker, skumglass og EPS) kan gi setningsfrie rør og kulverter



Case: Bruk av geonett, Whitehorse Creek, Canada

- Korrugert stålhvelv, lav kostnad og lavt karbonfotavtrykk
- Ekstrembelastning, ekstra strenge krav til gode masser
- Bruk av geonett/jordarmering gir stabile endeløsninger
- Bruk av geonett/jordarmering over toppen for økt kapasitet mot trafikklast



Innføring av bærekraft i regelverk?

- Bred enighet om store muligheter for mer bærekraftig bruk av omfyllingsmasser

Danske krav til afløbsledninger

- | | |
|---|---|
| <p>1. Alle rør skal være lavet af et langt hul omgivet af beton eller plast - præcist centreret om hullet.</p> <p>2. Alle rør skal have hul på hele rørlængden. - Husk, at hullets længde ikke bør være længere end rørlængden.</p> <p>3. Den indvendige rørdiameter må på ingen rør være større end den udvendige rørdiameter. - I modsat fald vil hullet blive på ydersiden.</p> <p>4. Alle rør skal være forsynet med ingenting i hullet, således at vand m.v. kan komme i røret senere.</p> <p>5. Alle rør over 150 m i længde skal i hver ende tydeligt have</p> | <p>påmalet ordene "langt rør" så entreprenøren kan se, at det er et langt rør.</p> <p>6. Alle rør over 150 mm i diameter skal have ordene "stort rør" påmalet, så entreprenøren ikke vil anvende det som et lille rør.</p> <p>7. Når der bestilles 90°, 45° og 30° bøjninger, skal det specificeres, om det skal være højre eller venstre bøjet. I modsat fald vil ledningen gå i den forkerte retning.</p> <p>8. Når der bestilles rør, skal det specificeres, om det skal være modstrøms eller medstrøms rør. I modsat fald vil vandet løbe den forkerte vej. ■</p> |
|---|---|

Mottatt fra dansk kollega etter et utmattende møte om felles Europeisk dimensjoneringsmetode for rør (CEN)..

Problemstilling? Mangler metoder som beskriver sammenheng mellom styrke/kvalitet

MATERIALKVALITET, STYRKE OG GJENBRUKSMASSER



Hva har vi lært om bærekraft i omfylling så langt?

- Balansen mellom rørtype og størrelse, nødvendig styrke i omfylling og ytre belastning
- Store rør og strengere kontroll fører ofte til mer balansert bruk av omfyllingsmasser
- Mindre kontroll fører ofte til mer sløsing av høyverdige omfyllingsmasser

Nevneverdig arbeid på bærekraft i omfyllingsmasser

- **COIN:** Kontrast mellom naturlig avsatte og maskinknust sand/grus
 - **Kortreist stein:** Gjenbruk av overskuddsmasser, forskningsprosjekt
 - **Inga Rise:** Lange transportavstander/ensgradert puk, klimaverstinger
 - **Norsk Vann:** Strengt krav ensgradert puk, overdimensjonerte grøfter
- ➔ *Enighet: Sløses mye i anleggsbransjen, bør være rom for bærekraft*



Problem: Hvordan defineres sammenheng styrke-kvalitet i masser?

«A Critical Review of Methods for Backfill Soil Modulus in Design of Flexible Culverts»

- Vår forskningsartikkel om massekvalitet og styrke, under publisering (2024)
- Presentert på Geoteknikkdagen 2023 (Norge) og TRB 2024 (USA)

Sukuvara, D.S, Vaslestad, J, Scibilia, E, Baardvik, G, Grimstad, G (2023). A Critical Review of Methods for Backfill Soil Modulus in Design of Flexible Culverts. Under publisering.

Norsk Vann (2021). Omfyllingsmasser, rapport nr. 261/2021.

Rise, I (2020). Miljøpåverknad frå omfyllingsmasser I røyrgøfter. Masteroppgave, NMBU.

SINTEF(2019). Oppnådde resultater I prosjektet Kortreist stein (2016-2019).

SINTEF (2009). Production and Utilisation of Manufactured Sand, State-of-the-art Report. COIN. Report 12-2009.

Tilbakeblikk: Omfylling med stedlige masser i gamledager

- Tidligere mye bruk av natursand og naturgrus i omfylling rundt store stålkulverter
- Elve- og glaciofluviale avsetninger med høy styrke. 'Høyverdige masser' i betongindustrien
- Stedlig, ikke alltid bærekraftig rundt rør: Deponier av natursand og naturgrus tømmes



Omfylling med lokal (stedlig) naturlig avsatt sand og grus. Dovre, Norge (1985).



Omfylling med lokal (stedlig) naturlig avsatt sand og grus. Kemess Creek, Canada (1997).



Omfylling med lokal (stedlige), naturlig avsatt sand og grus. Bystrzyca Dusznicza, Polen (2001).



Karakteristiske trekk

- Runde til semi-runde korn
- Mindre nedknusning
- Lavere rasvinkel (friksjon)
- Mer forutsigbar kvalitet

Dagens situasjon: Omfylling med knust stein

- Anleggsbransjen i Norge har erstattet over 80% med knust stein (singel, puk, kult)
- Knusing introduserer økt variasjon i kvalitet (bergart, knuseteknologi, sprøhet, kornform)
- Økt fokus på gjenbruk av steinmasser vil føre til mer variasjon i kvalitet

Omfylling i mindre VA-grøfter ofte mere høyverdige masser enn rundt store rør



To eksempler med omfylling i VA-grøfter med 8/16mm (ensgradert puk) i Norge.



Omfylling med knust stein. Tjernli bru, Norge (2019).



Omfylling med velgradert knust stein. Bolna jernbanekulvert, Norge (2022).



Karakteristiske trekk

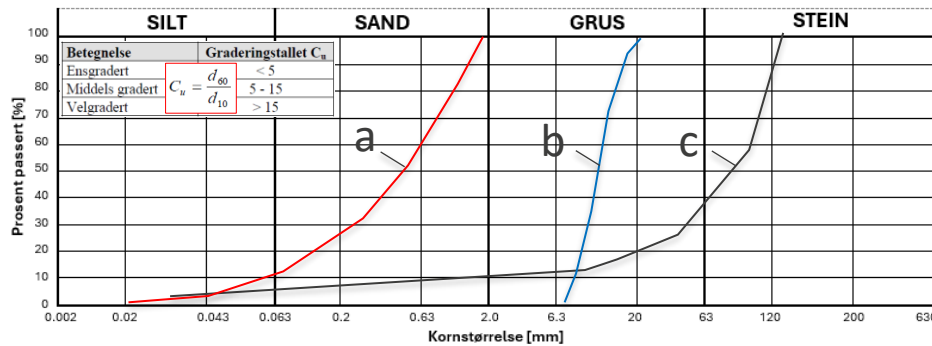
- Kantete til semi-kantete korn
- Mer nedknusning
- Høyere rasvinkel (friksjon)
- Risiko for mindre forutsigbar kvalitet

Anleggsbransjen i endring, definisjoner på etterslep

- Knuste materialer følger ikke ISO-definisjoner for silt, sand, grus og stein (forvirrende)

Forslag til ny innfallsvinkel i vår vurdering av kvalitet:

1. Ikke skille mellom naturlig avsatt og maskinprodusert silt, sand, grus og stein



Slik at....



«Steinmel» også er en sand eller silt



«8/11 mm Singel» også er en ensgradert grus med «kort fraksjon»



«20/120 mm pukk/kult» også er en middels gradert grusig stein

➔ **Nyttig for kontroll av kornfraksjon, vanntransport og telefarlighet**

2. Introduserer «kornform» (a: rundingsgrad, b: flakhet) og c: «sprøhet» som nye variabler



«Rund»



«Kantete»



«Kubisk»



«Flakete»



Sprøhet

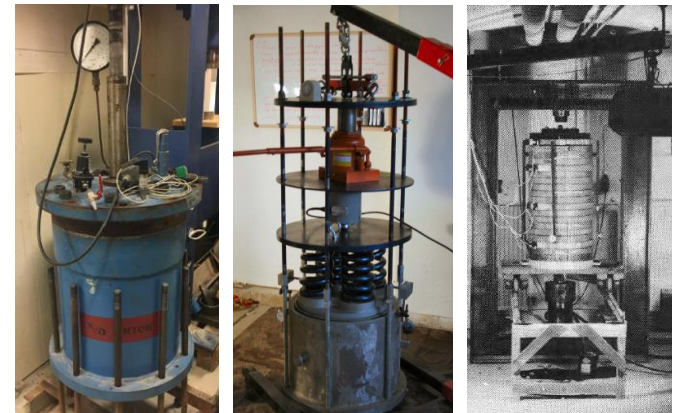
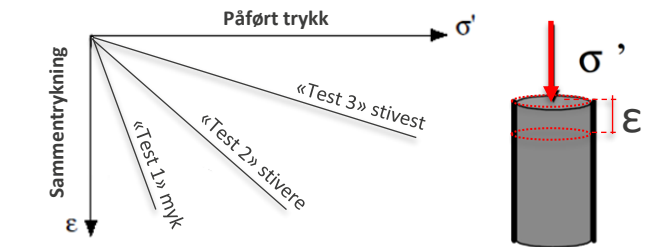
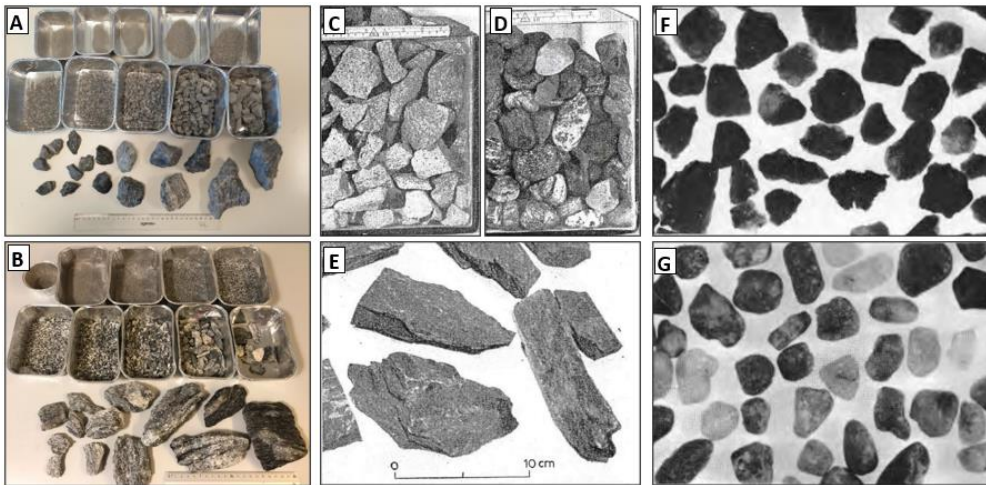
(c)

(a)

(b)

Sammenstilling av storskala trykkforsøk

- Storskala labforsøk for indikasjon på kompressibilitet (stivhet) «motholdet»
- «Motholdet» er forholdet mellom påført trykk og sammentrykning (σ vs ϵ)
- Utført på naturgrus, knust stein (pukk/singel) og avfalls/tunnelstein



- Prøveavvik, dvs. dette er indikasjon og ikke «fasit»
- Vær oppmerksom på flakete vs kubiske korn

Syversen I.L.G (2021). *Deformation properties of hard rock TBM spoil. Large scale oedometer tests on TBM spoil and crushed rock.*

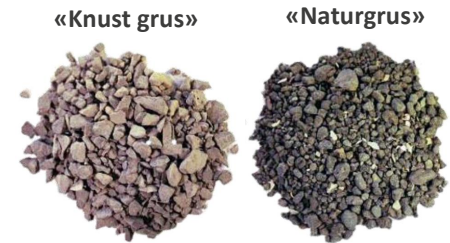
Gemperline M et.al (2010). *Large Scale Constrained Modulus tests.* Plastic Pipe Institute.

Andréasson. L (1973). *Compressibility of choesionless soil- A Laboratory investigation.*

Kjaernsli B, Sande A (1966). *Compressibility of some Coarse-Grained Soils.*

Styrke i steinmasser med runde og kantete korn

- Kantet puk, knuseverk: Knust sandstein, granitt, gneis, syenitt
- Rund naturgrus, naturlig avsatt: Elve- og glacifluviale avsetninger
- Under stort trykk er runde korn mindre kompressibel
- Under lavt trykk som rundt VA-rør er differansen liten
- Knusetrinn kan knuse steinene runde men er det nødvendig?



Knuseverk kan knuse steinkorn runde!



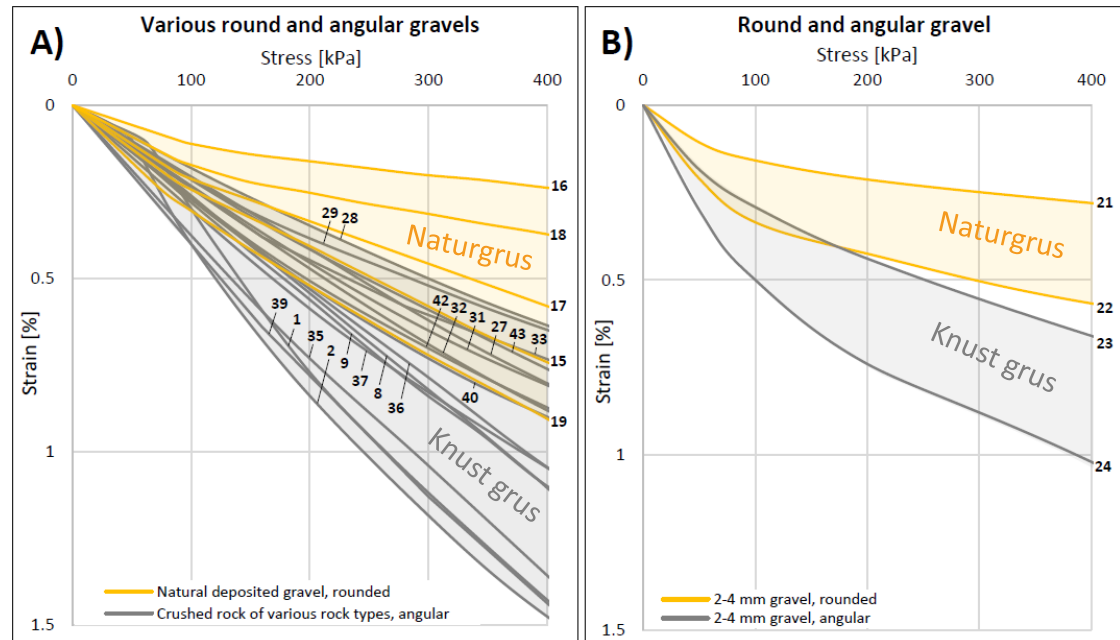
Naturlig avsatte
gruskorn, rund



Knuste gruskorn fra
pukkverk, rund

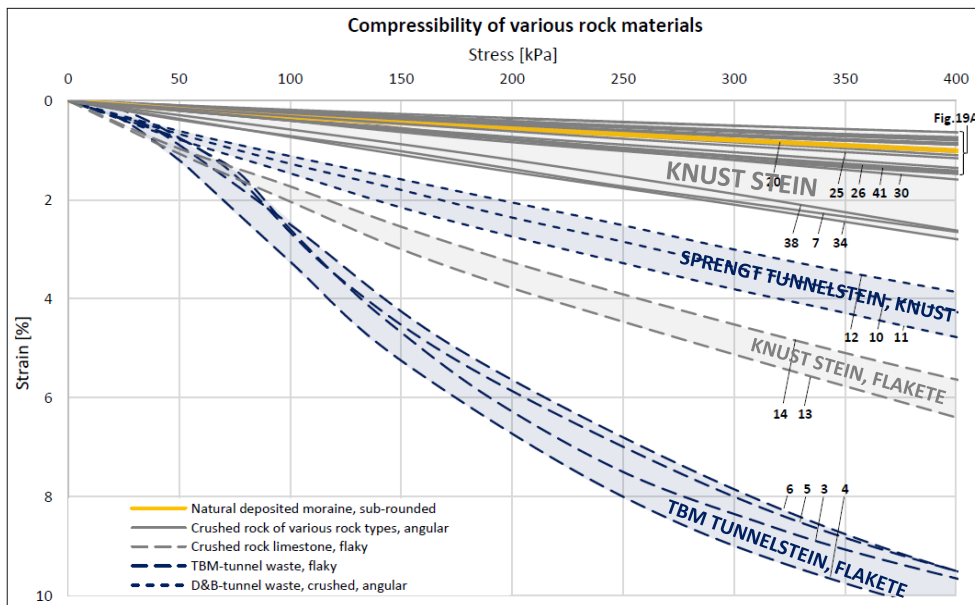
- Gjøres for tilslag til betong

➔ Hverken bærekraftig eller nødvendig rundt rør!



Hva med styrke i avfallsstein?

- Stein fra knuseverk med ulik geologi (sandstein, granitt, gneis, syenitt) og kornform
- Avfallsstein fra sprengt tunnel knust etterpå og TBM-masser (gneis/syenitt)



«Kubisk»



«Flakete»

- Samtlige forsøk på stein fra et vanlig pukkverk er stivere enn resten
- Stein med flakete korn (uavhengig av opprinnelse) er mest kompressibel
- Sprengstein fra tunnel knust etterpå mer kompressibel enn vanlig knust stein (sprøere)
- Kornfraksjon (lange vs korte fraksjoner) ikke premissgivende for «motholdet»

➔ Sprøhet og kornform er kanskje viktigere parametere for «motholdet»?

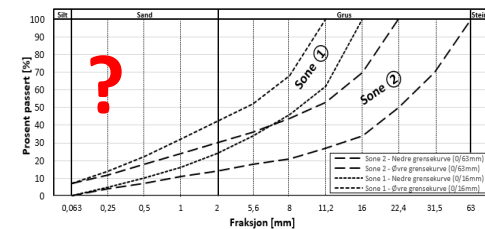
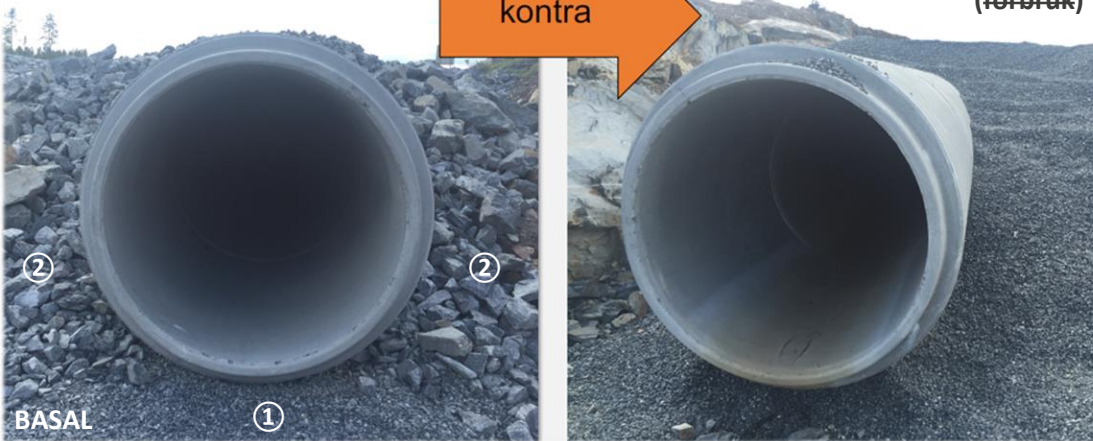
OPPSUMMERING OG VIDERE ARBEID



Oppsummering av hva vi har sett så langt

- Balansen mellom rørtype og størrelse, nødvendig styrke i omfylling og ytre belastning
- VA-grøfter er ofte overdimensjonert. Mye sløsing med ensgradert puk
- Stedlige masser kan oppnå høy styrke dersom utført riktig under omfylling

Balansert forbruk
(gjennbruk)



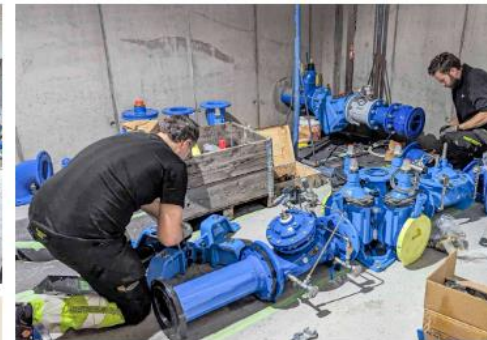
Bør derfor...

- ➔ Åpnes for bruk av velgradert omfyllingsmasser, forutsatt kontroll kornkurver/finstoff
- ➔ Skilles mellom omfyllingssonene (se ① og ②) slik som for store rør

Hvordan unngå et tilløp uten hopp?

1. Etablere et forskningsprosjekt som samler bransjen (både store og små rør)
2. Bli enige om en omforent begrepsbruk for kvalitet i masser
3. Forsøk på ulike typer pukk, stein og gjenbruksmasser rundt rør

Fullskalaforsøk på Vannsenderet i Ås?



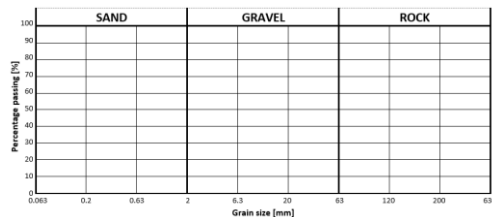
- Nytt nasjonalt senter for vanninfrastruktur

Hvordan unngå et tilløp uten hopp?

4. Definere innersone/fundament (høykvalitet) og ytterzone (lavere kvalitet)
5. Systematisere krav til styrke i omfylling for ulike type rør, størrelser og ytre belastning
6. Etablere en endelig klassifiseringsmetode for praktisk anvendelse i prosjekter

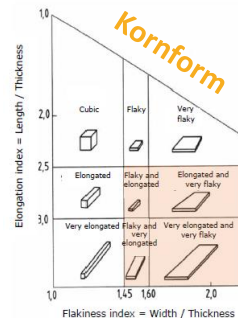
Basert på arbeidet vårt, foreslår vi...

- Beholde ISO-definisjoner på alle typer omfyllingsmasser
- Introdusere kornform og sprøhet som nye parametre for kvalitet



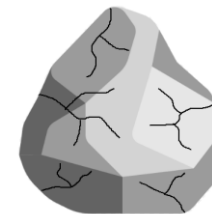
(sammensetning)

+



(Avlange/flakhet og rundingsgrad)

+



Sprøhet

(mikrosprekker, mineralogi etc)

TAKK FOR OPPMERKSOMHETEN!



Jan Vaslestad
(GeoAnlegg/Multiconsult)



Dan Sergei Sukuvara
(Multiconsult)

Dere finner kompetansen vår i Multiconsult Fredrikstad!

Jan Vaslestad: jan.vaslestad@gmail.com, Jan.Vaslestad@multiconsult.no

Dan Sergei Sukuvara: sergey1993@hotmail.com, dan.sukuvara@multiconsult.no