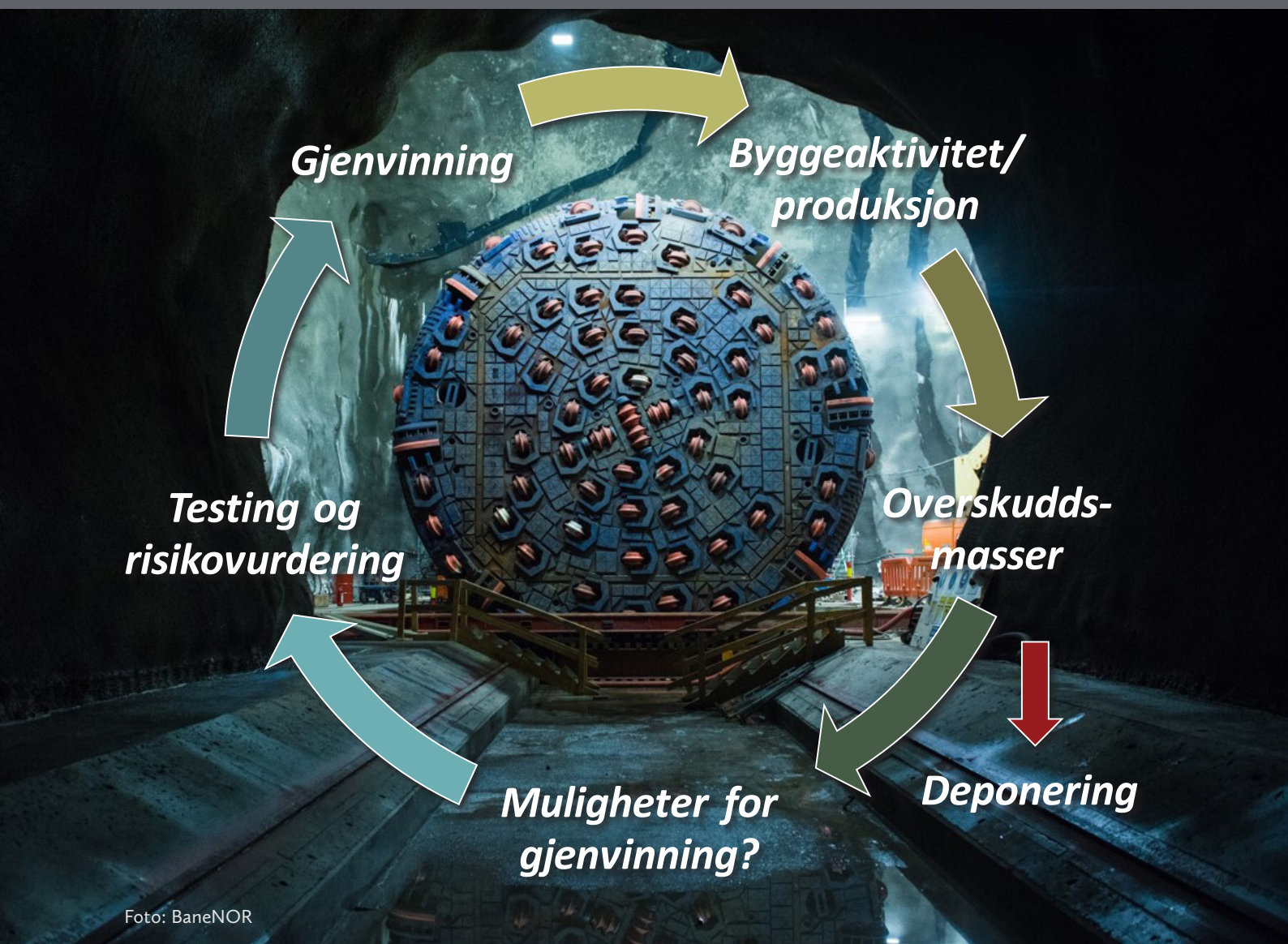


GEOreCIRC

Tunnelborkaks (TBM) – Karakterisering og nyttiggjøring

NGI rapport 20160794-08-R

GEOreCIRC — GEOressurser i en sirkulær økonomi



Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Prosjekt

Prosjektittel: GEPReCIRC
Dokumentittel: WP 2.6: Vurdering av nyttiggjøring av TBM-kaks
Dokumentnr.: 20160794-08-R
Dato: 2019-12-13
Rev.nr. / Rev.dato: 0 /

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: NGI
Kontaktperson: James M. Strout
Kontraktreferanse: SP10

for NGI

Prosjektleder: Gudny Okkenhaug
Utarbeidet av: Gunvor Baardvik, Jenny Langford
Kontrollert av: Arne Pettersen, Magnus Rømoen

Sammendrag

I Norge ble flertallet av tilløpstunneler for vannkraftanlegg drevet med tunnelbormaskin (TBM) på 80-tallet. I den senere tid er TBM benyttet i Norge på noen store infrastrukturprosjekt i tettbygde strøk, hvor metoden bl.a. gir færre tverrslag og redusert behov for massetransport i tettbebygde strøk.

Miljøgevinstene ved å gjenbruke masse fra TBM-driving vil være betydelige, ettersom tunnel-prosjektene vanligvis er store i omfang og derfor genererer enorme mengder overskuddsmasse. Muligheter for nyttiggjøring av TBM-masse må vurderes i forhold til materialets tekniske egenskaper.

Forskningsprosjektet GeoReCirc har hatt som målsetning om å tilrettelegge for gjenbruk av overskuddsmasser ved å se på materialets egenskaper og behov for tester.

Utfordring

En utfordring med TBM er at overskuddsmassen som genereres ved driving har en mindre gunstig kornfordeling og kornform sammenlignet med sprengsteinsmasse fra samme bergart. TBM-massen inneholder høyere andel finstoff, som blant annet medfører at massen kan være vannømfintlig og telesensitiv. Tradisjonelt sett har TBM-massen blitt kjørt til godkjente massetipper i tilknytning til prosjektene. Når TBM velges som drivemetode er det essensielt at det tidlig planlegges for hvordan overskuddsmassen skal brukes, sammen med behov for eventuell midlertidig lagring.

Forurensningsnivå

Det er sett på innhold av mulige forurensningskomponenter i massen. Resultater fra totalt 104 prøver fra Ulriken-tunnelen og Follobanetunnelen er innhentet og sammenstilt. De viser at innholdet av forurensning kun er knyttet til bergmassens mineralogiske sammensetning og er under grenseverdier for forurenset masse, massene er med andre ord klassifisert som rene (Tilstandsklasse 1, jf. SFT, 2009).

Geotekniske egenskaper

Geotekniske egenskaper er sammenstilt fra et flertall prosjekter, datert tilbake til 80-tallet (Statkraft, 1986). Størst datamengde kommer fra Follobanen som er drevet med fire TBM-maskiner gjennom granittisk gneis. Tunnelmassene er nyttiggjort som fylling for å lage byggegrunn for ny bydel Gjersrud-Stensrud for Oslo kommune. I prosjektet har det vært utført omfattende laboratorie- og feltundersøkelser for hvert lag, for å karakterisere massen og følge opp utfyllingen. I Georecirc-prosjektet er TBM-masse karakterisert med hensyn til geotekniske egenskaper, blant annet kornfordeling, kornform, sprøhet- og flisighetsindeks, densitet med og uten pakning, permeabilitet, og friksjonsvinkel. TBM-massen kan sammenlignes med en grus, men den har vesentlig høyere skjærfasthet enn en naturgrus.

Fra utførte tester og innhentede data er følgende egenskaper kartlagt (variasjoner forekommer avhengig av geologien og må vurderes for hvert enkelt prosjekt):

- ↗ Sandig (siltig) grus: 50-70% av materialet er grusfraksjon og finstoffinnhold (<0,06 mm) på 10-18%
- ↗ Friksjonsvinkel $\phi=45-50^\circ$
- ↗ Telefarlighetsklasse T2-T3
- ↗ Hydraulisk konduktivitet i størrelsen 10^{-6} til 10^{-5} m/s

Muligheter for bruk

Massen er en ressurs som vil kunne brukes. Massen er spesielt godt egnet til fyllinger. For å sikre at vanninnholdet ikke er for høyt ved komprimering bør massen håndteres og lagres slik at det ikke tilføres vann før utlegging og at masse med høyt vanninnhold har tid til å selvdrenere. Massen legges ut lagvis og normal komprimering gir høy densitet, god bæreevne og lavt setningspotensiale.

Follobanen er et godt eksempel på hvordan TBM-masse kan nyttiggjøres. I prosjektet har Bane NOR og Oslo kommune inngått en avtale om at overskuddsmassen på nesten 9 millioner tonn, fra driving med fire TBM-maskiner, fylles ut i et kupert området ved Åsland, for å etablere byggegrunn for ny bydelen Gjersrud-Stensrud. Massen ble lagt ut lagvis i 0,7 m tykke lag som ble komprimert med normal komprimering (NS 3458:2004). Når massen kan utnyttes så lokalt, reduseres også CO₂ avtrykket vesentlig i forhold til om massen måtte ha blitt transportert lang vei med lastebil.

Et annet godt eksempel på utnyttelse av TBM-masse er fra Ulriken tunnelen i Bergen. Masser driving av tunnelen ble benyttet som tildekking over forurenset sjøbunn i Puddefjorden, med svært godt resultat og lite tilslamming av vannet under utleggingen. Totalt ble det brukt ca. 350.000 tonn masse, som ble lagt ut fra lekter med nedføringsrør. Massene ble lagt ut med lagtykkelse på inntil 45 cm.

Grunnet materialets flisighet og stengslighet er det ikke mulig å bruke massene i bæreevne og forsterkningslag med krav til motstand mot nedknusning. I tillegg vil krav til telefarlighet normalt være strenge (T1) der massene ligger grunt og i kontakt med frost. TBM-masse vil ikke nødvendigvis oppfylle krav til mekaniske egenskaper på tilslagsmateriale i betong uten bearbeiding. Det vil som regel være behov for knusing og sikting for å forbedre kornformen og nedknusningsmotstanden. I tillegg må det utføres kjemiske tester for å vurdere blant annet svovelinnhold i bergarten.

Innhold

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Innledning | 7 |
| 2 | Driving med full-skala tunnelboremaskin | 7 |
| 3 | Karakterisering av TBM-masse | 9 |
| 3.1 | Kornfordeling | 10 |
| 3.2 | Telefarlighet og vannømfintlighet | 11 |
| 3.3 | Kornform | 11 |
| 3.4 | Motstand mot nedknusing | 12 |
| 3.5 | Hydraulisk konduktivitet | 12 |
| 3.6 | Friksjonsvinkel | 12 |
| 4 | Miljøtekniske undersøkelse av bergmassen | 13 |
| 4.1 | Kjemiske analyser på bormaterialet - faststoffanalyser | 14 |
| 4.2 | Utlekkingstester | 14 |
| 5 | Bruk av TBM-masser i fyllinger på land | 15 |
| 5.1 | Generelt | 15 |
| 5.2 | Erfaringer fra utfylling ved Follobanen | 17 |
| 6 | Bruk av TBM-masser ved utfylling i sjø | 18 |
| 6.1 | Generelt | 18 |
| 6.2 | Miljøtekniske tiltak | 20 |
| 6.3 | Erfaringer fra utfylling i sjø | 22 |
| 6.4 | Tildeckingsprosjektet Ren Puddefjord i Bergen | 25 |
| 7 | Andre mulige bruksområder | 25 |
| 7.1 | Vegbygging og jernbanebygging | 25 |
| 7.2 | Tilslagsmateriale i betong | 25 |
| 7.3 | Tildekking forurensede sedimenter | 26 |
| 7.4 | Andre bruksområder | 27 |
| 8 | Oppsummering | 27 |
| 9 | Referanser | 29 |

Vedlegg

Vedlegg A Resultater fra miljøprøver på TBM-masse fra Ulriken og Follobanen

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

I Norge ble flertallet av tilløpstunneler for vannkraftanlegg drevet med tunnelboremaskin (TBM) på 80-tallet. I den senere tid er TBM benyttet i Norge på noen store infrastrukturprosjekt i tettbygde strøk, hvor metoden bl.a. gir færre tverrslag og redusert behov for massetransport i tettbygde strøk.

Miljøgevinstene ved å gjenbruke masse fra TBM-driving vil være betydelige, ettersom tunnel-prosjektene vanligvis er store i omfang og derfor genererer enorme mengder overskuddsmasse. Muligheter for nyttiggjøring av TBM-masse må vurderes i forhold til materialets tekniske egenskaper.

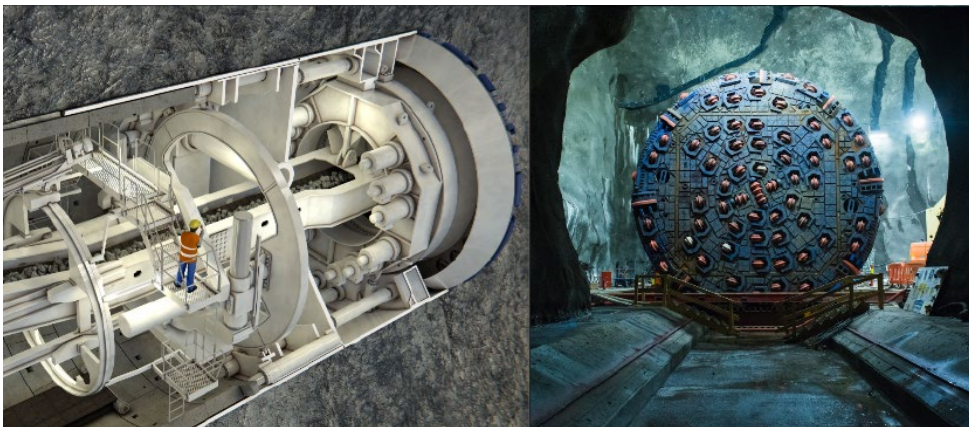
Forskningsprosjektet GEOReCIRC har hatt som målsetning om å tilrettelegge for gjenbruk av overskuddsmasser ved å se på materialets egenskaper og behov for tester.

Denne rapporten omfatter sammenstilling av geotekniske parametere for TBM-masse, samt erfaringer fra utførte prosjekter. Det er spesielt fokusert på bruk av massen som fyllingsmateriale på land og i sjø, inkludert behov for bearbeiding og krav til oppfølging.

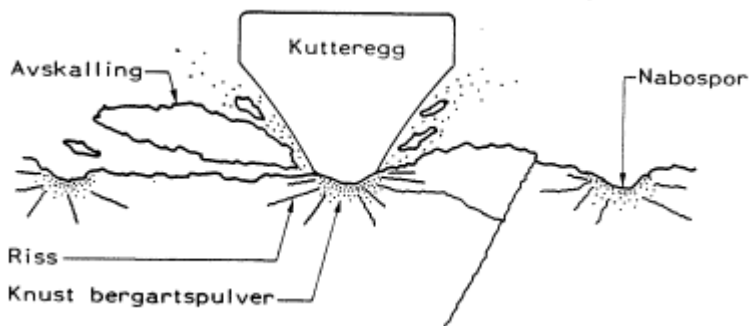
Gjenbruk og nyttiggjøring av masser generelt er underlagt Forurensningsloven og forurensningsforskriften. Utfylling i sjø er i tillegg underlagt Vanndirektivet og vannforskriften. For den generelle arealbruken vil Plan- og Bygningsloven, Naturmangfoldsloven og Kulturminneloven legges til grunn.

2 Driving med full-skala tunnelboremaskin

Med en tunnelboremaskin tas berg ut i hele tunnelprofilen ved roterende stålkuttere som er montert på borhodet på TBM-maskinen (figur 3.1). Borhodet roterer samtidig som TBM-maskinen trykkes fremover med et system som griper tak i tunnelveggene langs sidene på maskinen. Massene faller ned innvendig i borhodet og fraktes ut på et transportbånd. Prinsippet for hvordan borkakset brytes ut av kutterne er vist i figur 3.2.



Figur 3.1. TBM maskin for Follobanen (fra: www.banenor.no).



Figur 3.2. Prinsipp for bryting av borkaks med TBM /2/.

Tunnelboremassen har en annen kornsammensetning enn overskuddsmasse som genereres ved konvensjonell driving med boring og sprengning i samme bergart. TBM-massen vil fremfor alt ha et høyere finstoffinnhold.

Maksimal kornstørrelsen på massen som tas ut med TBM vil stort sett være begrenset til avstanden mellom kutterne (normalt 70-80 mm), men overstein kan forekomme. I tillegg vil drivingen resultere i en større andel finstoff enn ved driving med sprengning. Eksempel på TBM-masse er vist i figur 3.3.



Figur 3.3. Siktet TBM-masse fra Follobanen.

Det finnes flere typer TBM. I norske bergarter brukes det kun maskiner designet for hardt berg. Det finnes også TBM utviklet for løsmasse og mykere berg, disse er ikke egnet for norske forhold.

3 Karakterisering av TBM-masse

På 80-tallet sammenstilte NGI på oppdrag av Statkraft resultater av undersøkelser utført på TBM-masse fra norske bergarter, for å karakterisere massen. Rapporten er basert på prøver fra 11 prosjekter, fra tunneler boret i forbindelse med vannkraftutbygging /4/. I tillegg hadde NGI data fra 4 prosjekter drevet før 1985. Prøvene representerer ulike bergartstyper og det er boret med TBM-maskiner med ulike tverrsnittsstørrelse og fabrikat. I samtlige prosjekter var det brukt TBM-maskiner med disk-kuttere som operert med høyt drivetrykk.

I forbindelse med Bane NORs utbygging av Follobanen er det boret med fire TBM-maskiner. Massene er fylt opp ved riggområdet på Åsland, for å lage byggegrunn for ny bydel Gjersrud-Stensrud. I dette prosjektet er det utført omfattende laboratorie- og feltforsøk, som er dokumentert i en masteroppgave fra NTNU /5/.

En oversikt over hele det nevnte datagrunnlaget er listet i tabell 4-1. Prøvene er tatt ut fra enten stoffen eller tippene i de ulike prosjektene, dette er angitt i en egen kolonne i tabellen.

Tabell 4-1. Sammenstilling av prosjekter som inngår i NGIs datagrunnlag.

| Tunnel | År | Fra tipp/stuff | Bergart | Tunneldiameter (m) | TBM fabrikat |
|---------------|------|----------------|----------------------|--------------------|--------------|
| 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 |

På prøvene er det utført kornfordelingsanalyse, vurdering av kornform, testing av nedknusningsmotstand, permeabilitetsforsøk og treaksialforsøk for å bestemme friksjonsvinkel på materialet.

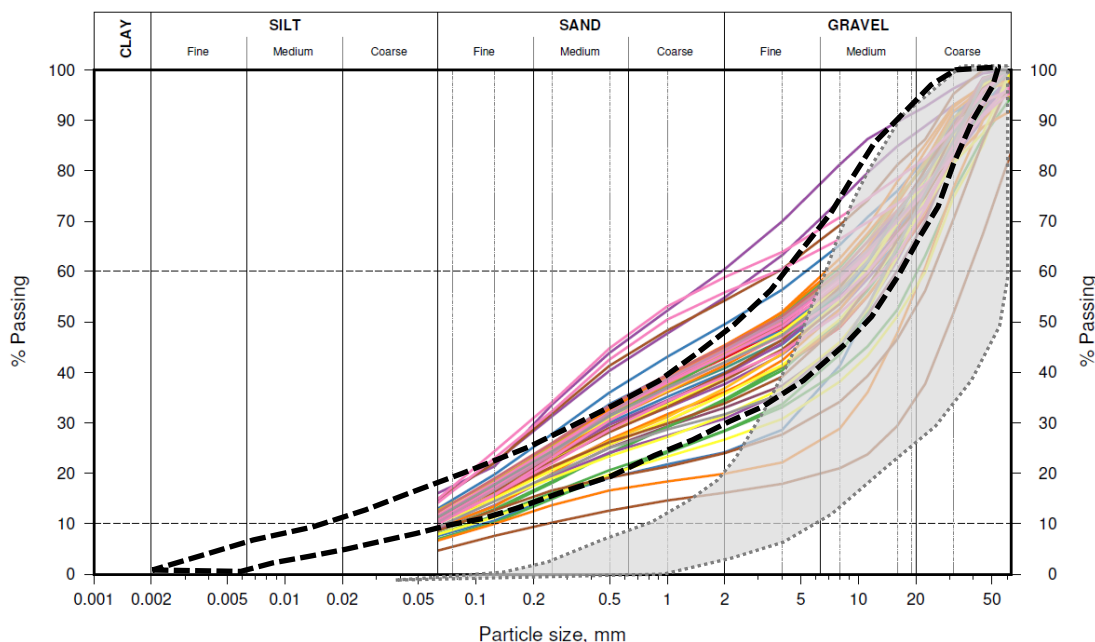
Ved Follobanen er også utfylling og pakning av fylling dokumentert med Troxler og feltforsøk. I tillegg er det utført Standard Proctorforsøk i laboratorium.

3.1 Kornfordeling

Kornfordelingsanalyser fra alle prosjektene er sammenstilt i figur 4.1. Fargede kurver er kornfordelingsanalyser gjennomført for masser fra Follobanen. Omriss med tykke, stiplede linjer viser grense på kornfordeling fra øvrige TBM-prosjekter /3/. For sammenligning er det vist typiske kornfordelingskurve-område for sprengstein fra dagbrudd med tynne, stiplede linjer /6/.

TBM-massene karakteriseres som sandig, (siltig) grus. Største kornstørrelse er begrenset til ca. 7-8 cm og bestemmes av avstanden mellom diskutterne på maskinen. Ca. 50-70% av materialet er av grusfraksjon. Målt finstoffinnhold (kornstørrelse < 0,06 mm) fra prøvene varierer mellom ca. 10-18%.

Graderingstallet $C_u = d_{60}/d_{10} > 15$ for samtlige prøver og massen er å anse som velgradert.



Figur 4.1. Kornfordelingskurver fra TBM ved Follobanen /5/ og stiplet sort linje som viser grensekurver fra andre TBM-prosjekter /4/. Grå skravur viser kornfordeling for sprengstein /6/.

I alt viser kornfordelingskurvene på TBM-masse begrenset med variasjon. Det kan antas at det vil være noe variasjon knyttet til bergart, men at kornfordelingen fremfor alt styres av selve drivemetoden.

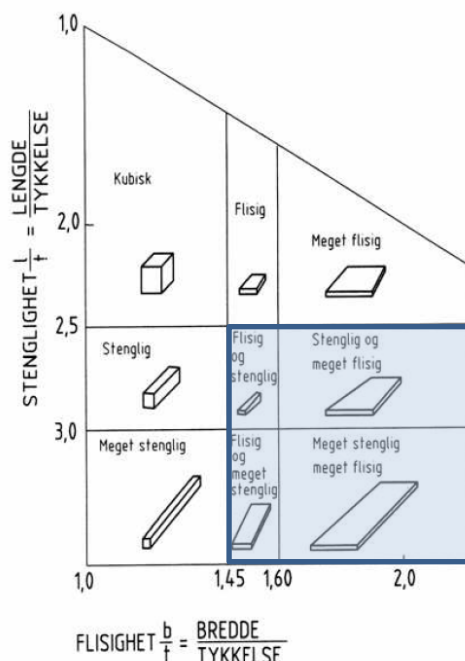
3.2 Telefarlighet og vannømfintlighet

I Statens vegvesens Håndbok N200 betegnes materiale som vannømfintlig hvis >7% av materiale som er < 22,4 mm passerer 0,063 mm-siktet. TBM-materiale er dermed i henhold til SVVs definisjon vannømfintlig. Dette tilsier at materialet ikke er fritt drenerende og vil holde på vann.

I henhold til SVVs håndbok N200 vil materialet klassifiseres i telefarlighetsklasse T2 til T3 (lite til middels telefarlig). For at materialet skal få telehiv forutsettes at det finnes tilgang til fritt vann som kan suges opp og danne islinser ved frysefronten.

3.3 Kornform

Kornformen på materiale baseres på målt bredde, lengde og tykkelse for enkeltkorn og klassifiseres i henhold til forholdene for stenglighet og flisighet i figur 4.2. De fleste prøver på TBM-materiale havner innenfor omriss markert i figuren, som følge av måten diskutterne bryter ut borkaks fra berget. Formen er ugunstig med hensyn til mekaniske egenskaper og komprimering.



Figur 4.2. Kornform basert på målt bredde, lengde og tykkelse.

3.4 Motstand mot nedknusing

I datagrunnlaget gitt i tabell 4-1 er motstand mot nedknusing bestemt med en utgått metode ved fallprøver i henhold til Statens vegvesens metode utført på kornfraksjon 8-11 mm. Nedknusingsmotstanden er et mål på steinmassens flisighet og sprøhet. Sprøhetstallet er et mål på steinmassens mekaniske motstand mot knusing. Sprøhetstallet er den prosentvis andel av korn som etter falloddsprøvning siktes gjennom 8 mm sikt.

Fallprøvene viser at TBM-massen havner i steinklasse 5 og ikke kan brukes i forsterknings- eller bærelag i høytrafikkert vei- eller jernbanekonstruksjon.

Gjeldende metoder for testing av henholdsvis slitasje og knusemotstand er Micro-Deval og Los Angeles test. Det er ikke kjent at noen av disse testene er utført på TBM-masse.

3.5 Hydraulisk konduktivitet

Ved utfyllingen på Follobanen ble hydrauliske konduktiviteten tilbakeregnet ut fra infiltrasjonsforsøk i fire prøvesjakter i den utlagte og komprimerte fyllingen. Konduktiviteten ble vurdert i størrelsen 10^{-6} til 10^{-5} m/s /5/, hvilket tilsvarer en korngradering for fraksjonen silt-sand.

Konduktiviteten er så høy at eventuell poretrykksoppbygging i en fylling vil utjevnes raskt, men materialet er ikke fritt drenerende.

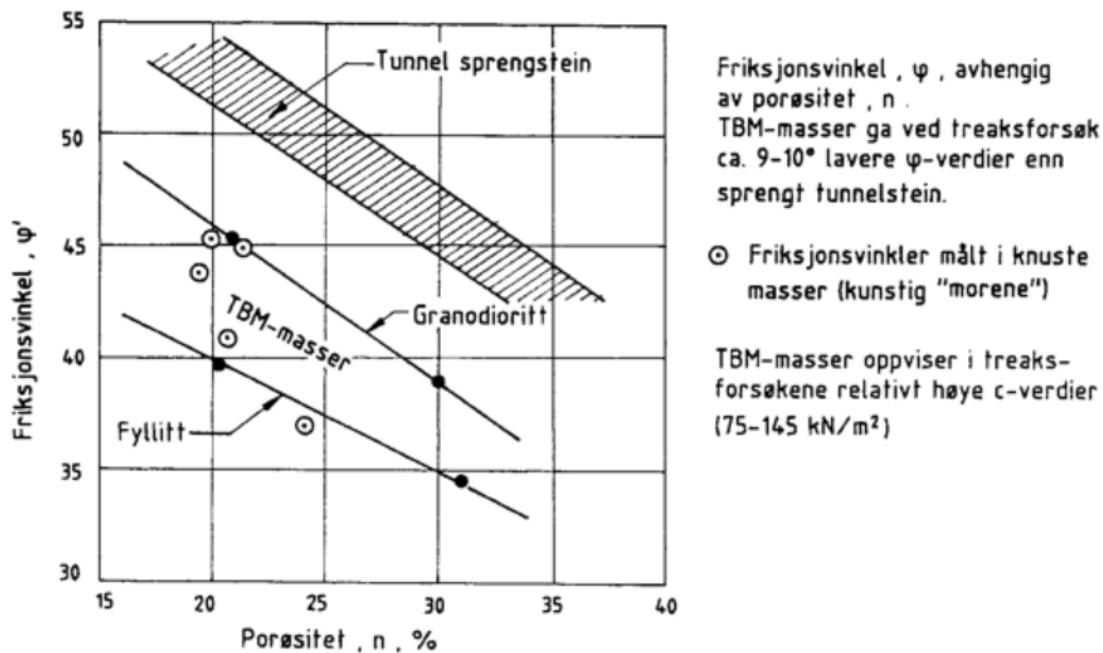
3.6 Friksjonsvinkel

Friksjonsvinkelen er bestemt i treaksialforsøk. Forsøkene viser at friksjonsvinkelen er lavere enn for sprengt tunnelstein. Friksjonsvinkelen er målt til mellom 40-50° og tilsvarer skjærfastheten for en middels fast steinfylling (Figur 4.3).

Figur 4.3 viser også at skjærfastheten korrelerer med porøsiteten (n) i fyllingsmaterialet. På Follobanen er det tilbakeberegnet en porøsitet etter komprimering tilsvarende 13 - 23% /3/. Dette samsvarer godt med utførte forsøk i figur 4.3, på porøsitet mellom 19 og 24%.

Ved utlegging i sjø må det forventes en større porøsitet i massene enn ved utlegging på land. NGI har ikke funnet måleresultater på porøsitet på tunnelboremasser lagt ut under vann.

Figur 4.3 indikerer ellers en nedre friksjonsvinkel mellom 35 og 38° for en porøsitet på 30%.



Figur 4.3. Frisjonsvinkel med tilhørende porøsitet fra treaksialforsøk på TBM-masser /4/.

4 Miljøtekniske undersøkelser av bergmassen

All masse som skal fraktes ut av et tiltaksområde, defineres i dag som næringsavfall og faller under kravene i avfallsforskriften /7/. Dette innebærer at materialet må analyseres og klassifiseres som et avfall. Generelt betyr det for jord og steinmaterialer at det bør tas prøver for å analysere på materialets totale innhold av tungmetaller og miljøgifter – faststoffanalyser. I tillegg skal materialets utlekkingssegenskaper eller kjemiske stabilitet kartlegges. Disse egenskapene er styrende for hvordan massene kan anvendes og nyttiggjøres.

Miljødirektoratet har utarbeidet veiledere og faktaark som også kan legges til grunn ved vurdering av fylling i sjø og tildekkingsarbeider i sjø. Fokuset i veilederne gjelder forurensede sedimenter, ikke utfylling av rene masser til landinnvinning, men de inneholder allmenngyldige tips og erfaringer. Det vil være myndighetene som fastsetter de endelige akseptkriteriene, basert på lokale forhold.

- M-608: Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota /8/
- M-411: Testprogram for tildekkingsmasser - Forurenset sjøbunn /9/
- TA-2624: Retningslinjer for sjødeponier. Denne gjelder for forurensede sedimenter /10/

4.1 Kjemiske analyser på bormaterialet - faststoffanalyser

Masser fra tunnelboring varierer kjemisk med bergartene det bores i. Norske bergarter er regnet som harde sett i forhold til andre steder hvor det er utført tunnelboring. Når det bores i faste løsmasser og myke bergarter, som det for eksempel for City-tunnelen i Malmö, er massene tilsatt AES-tensider for å svekke overflatebindinger i materialet. Moreneleire og svak, nedknust kalkstein, som er de aktuelle materialene i det prosjektet, kan bli svært klinete og gjørmepreget. Andre prosjekter i svake bergarter har behov for å tilsette kalkmel eller kjemiske skumprodukter som forbraker vann. Hensikten er å gi bløte masser en tørrere og mer håndterbar kvalitet.

I prosjektene som er utført i Norge har det ikke vært vanlig eller nødvendig å tilføre tilsetningsstoffer. Bormassen fra Ulriken-tunnelen og Follobanen er en grov, sandig grus og kleber ikke til utstyr, transportbelter og tilsvarende. Det kan oppstå overskudd av vann i massene, avhengig av hvor mye vann som lekker inn i tunnelen, men det er ikke kjent at man har fjernet overskuddsvann på annen måte enn at det har fått drenere av ved mellomlagring og utlegging av massene.

I sprengte tunneler kan man registrere nitrøse stoffer, olje og høy pH i sprengsteinen. Olje og nitrogenforbindelser kommer fra uomsatt sprengstoff, og høy pH skyldes bruk av sprøytebetong og injeksjonsmasser. Disse stoffene anrikes i massene som ligger i bunnen (sålen) av tunnelen. Det finnes også plastrester fra tennere og koblingsledninger i sprengsteinsmasser, samt at man i prosjekter hvor det er brukt plastarmert sprøytebetong som midlertidig sikring vil få plast fra dette i sprengsteinsmassene.

Både på Follobanen og på Ulriken-tunnelen er det utført kjemiske analyser av utboret bergmasse, og det er ikke påvist verdier over normale bakgrunnsverdier for noen stoff. Det ikke påvist olje eller nitrøse stoffer i TBM-massene som er analysert. Analyseverdier fra disse prosjektene er vist i vedlegg A.

De aktuelle bergartene som er vist i figur 2.2, indikerer at det er liten sannsynlighet for å få masser som vil overstige terskelverdiene, men det må i et hvert tilfelle analyseres og dokumenteres.

4.2 Utlekkingstester

Ferskt knust berg kan få en økt utlekkasje av metaller når de kommer i kontakt med vann, siden arealet av kontaktflaten til berget øker ved knusing, boring og sprengning. De nye flatene er også friske, i motsetning til den opprinnelige overflaten som har forvitret og er i likevekt med omgivelsene. Massenes kjemiske stabilitet (initielle utlekkingssegenskaper) undersøkes med en ristetest for kortidsegenskaper. Eventuelt kan det også vurderes utlekkingssegenskaper i et lengre tidsperspektiv med en kolonnetest. Utlekkingssegenskapene vurderes opp mot lokale grenseverdier gitt i en eventuell tillatelse.

De er viktig at de angitte grenseverdiene henger sammen med mot lokale bakgrunnsverdier.

5 Bruk av TBM-masser i fyllinger på land

TBM massen bør sees på som en ressurs som kan brukes ved utfylling. Borkakset inneholder en del finstoff, men ikke mer enn at det er kontakt mellom kornene, slik at det er et bærende skjelett. Derfor er de geotekniske egenskapene til borkakset vesentlig bestemt av grovfraksjonene.

Normalt vil steinkvaliteten ikke ha noen betydning for de fleste type fyllinger. Men, bergart som er sterkt forskifret, forvitret eller har høyt glimmerinnhold kan være mindre egent til fylling. Bergartene i planlagt trasé for ny råvannstunnel kan forventes å ha tilstrekkelig kvalitet for bruk i fyllinger.

Andelen finstoff medfører at massen er vannømfintlig. Vanninnholdet på massen vil avhenge av bergets naturlige vanninnhold og driveprosessen. I tillegg vil vanninnholdet bli påvirket av eventuell nedbør i forbindelse med mellomlagring og transport. Vanninnholdet vil påvirke hvordan massen responderer på komprimering og hvilken energi som må tilføres for å få en tilstrekkelig densitet ved komprimering.

Det oppnås bedre komprimering ved å komprimere på masser som ikke er for tørre og ikke for våte. Vann i små mengder fungerer som smøremiddel rundt kornene, og bidrar til en tettere pakning. Vann i store mengder fyller porene mellom kornene og hindrer en tettere pakning. Det er derfor en optimal mengde vann i porene som gir en maksimal komprimering i masser som ikke slipper ut vann ved komprimering.

Det oppnås også en høyere densitet når man komprimerer velgraderte masser enn enskornige masser. I de velgraderte massene fylles større andel av hulrommene med mindre korn og densiteten øker. Masser med lite hulrom er som regel stivere og har lavere setningspotensiale enn masser med mye hulrom.

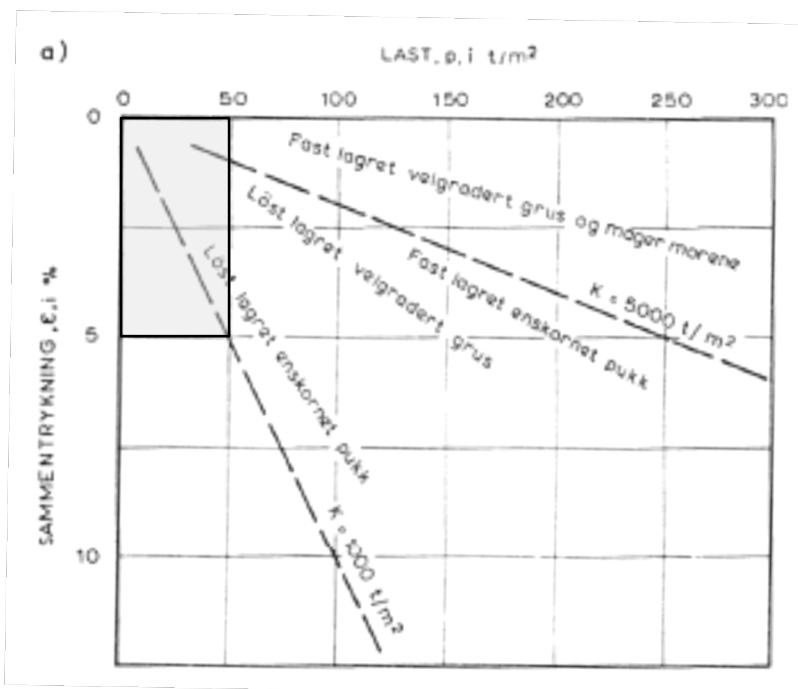
5.1 Generelt

Ved utlegging av fyllinger må stabiliteten til fyllingen og undergrunnen dokumenteres. I tillegg må setningspotensialet til massene og undergrunnen vurderes. Kravet til setninger avhenger av hvordan området skal brukes og type bebyggelse som er tenkt oppført. Hvis undergrunnen består av bløt leire vil det kunne kreves tiltak både for å sikre stabiliteten og for å begrense eller framskynde setninger.

Treaksialforsøk på TBM-materialet viser at friksjonsvinkelen er tilsvarende den for middels fast steinfylling. Likevel bør fyllingen ikke legges ut med brattere vinkel enn 1:2. I tillegg må faren for overflateerosjon og vegetasjonsetablering vurderes ut fra den konkrete massen man har til rådighet.

For å redusere setninger i fyllingen som følge av en fremtidig pålasting er det nødvendig å legge ut TBM-massen lagvis med begrenset lagtykkelse. Tynne lag sikrer gjennomkomprimering av hvert enkelt lag. Komprimeringen vil også redusere egensetninger i fyllingen, og også virke positivt på skjærstyrken (figur 4.3).

Det er ikke funnet noen undersøkelser av setningsegenskapene for av TBM-massen. Kjærnsli /11/ har utført ødometerforsøk på ulike materiale med varierende pakningsgrad (figur 6.1). Ut fra korngraderingen er det rimelig å anta at kompressibiliteten er i størrelse med løst lagret velgradert grus ved begrenset komprimering og fast lagret velgradert grus og mager morene ved godt utført komprimering.



Figur 6.1. Kompressibilitet av forskjellige materialer bestemt ved ødometerforsøk. Normalt belastningsområde for terreng- og fundamentlaster vil være innenfor grå firkant /11/.

Ved fylling på bløt undergrunn vil setningen i undergrunnen kunne bli vesentlig større enn egensetningene i fyllingen. Dette må derfor tas med i den totale setningsvurderingen, spesielt med tanke på bruken av arealet i etterkant. Fylling med forbelastning vil være et mulig tiltak for å redusere setninger både i fyllingen og undergrunnen. Bruk av vertikaldren i bløt undergrunn i kombinasjon med forbelastning vil redusere behovet for liggetid for forbelastningen og redusere krepsetninger på lang sikt.

TBM-massen er vann- og frostømfintlig. Det bør unngås utlegging ved mye nedbør og utlagt fylling bør dekkes. Ved frost må massen komprimeres før den fryser for å unngå innbygging av frossen masse.

I fylling med TBM-masse er det viktig å etablere drenering i skråningene for å forhindre utvasking av finstoff, erosjon og kanaldannelse som følge av overvannsstrømning.

5.2 Erfaringer fra utfylling ved Follobanen

Ved Follobanen er det tatt ut ni millioner tonn masse ved driving med fire TBM-maskiner i granittisk gneis. Etter avtale med Oslo kommune har Bane NOR fylt opp en tidligere ravinedal for å lage byggegrunn til nytt byområde Gjersrud-Steinsrud. Fyllingen under anleggsfasen er vist i figur 6.2, endelig fylling er inntil 27 m høy.

Massen er transportert fra de fire TBM-maskinene på et transportbånd til mellomlagring i et under tak for å unngå påvirkning fra nedbør og frost. Fra dette mellomlager transporteres massene ut til fyllingen hvor den tippes og doses ut lagvis.

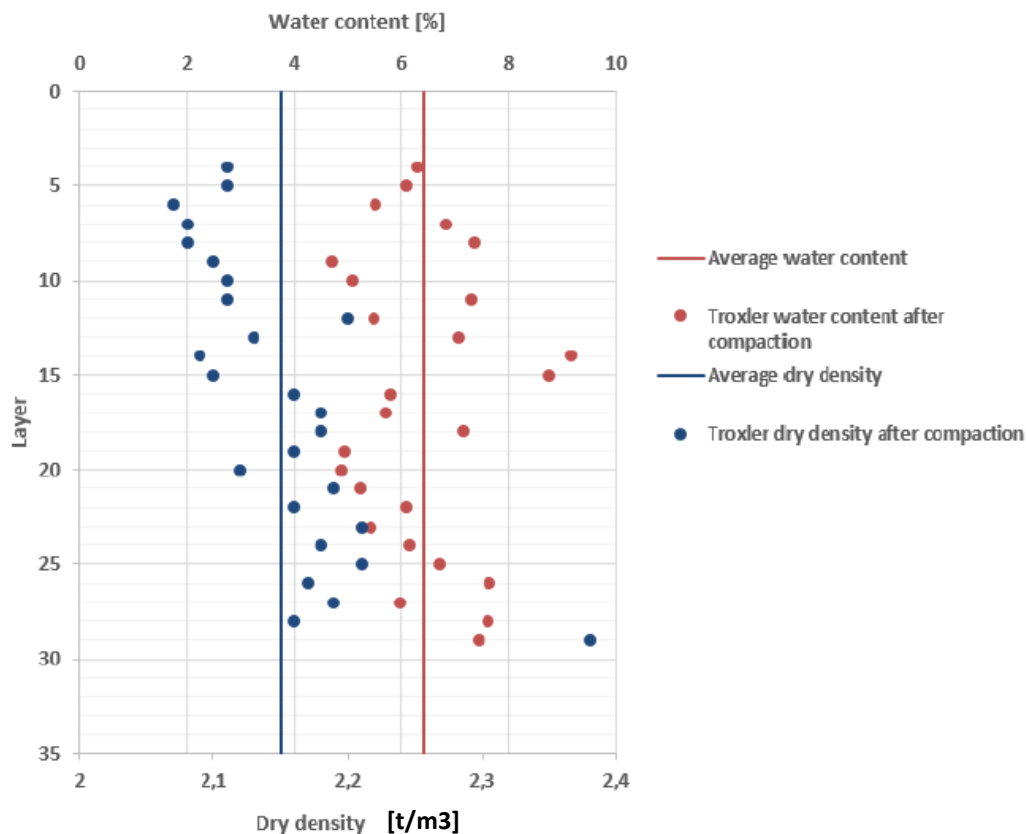


Figur 6.2. Oversiktsbilde av fylling ved Follobanen (bilde: Bane NOR).

Det er utført omfattende prøving for å dokumentere kvaliteten på etablert fylling. Fyllingen er lagt ut i 0,7 m tykke lag og komprimert med seks passeringer med vibrovals på hvert lag. Ved betydelig nedbør er det ikke lagt ut masse, dette for å unngå dårlig komprimering ved høyt vanninnhold.

Det er utført Standard Proctor-forsøk for å bestemme optimalt vanninnhold, og basert på dette satt et krav til komprimering på 95% av maksimal densitet fra Standard Proctor. For hvert lag er det tatt prøver for bestemmelse av vanninnhold, kornfordeling og Standard Proctor. Komprimering under oppfyllingen er kontrollert ved måling av vanninnhold og tørrdensitet ved Troxler. I tillegg er det utført platebelastningsforsøk og fyllingen densiteten er bestemt ved fire prøvesjakter. Data er sammenstilt i masteroppgave ved NTNU /5/.

Vanninnholdet i fyllingen er målt til 5-8% med Troxler (optimalt vanninnhold målt i Standard Proctor er ca. 8-10%). Dette tilsvarer en tørrdensitet i fyllingen på ca. 2,15 t/m³. Prøvesjaktene indikerer noe høyere tørrdensitet enn den som er målt med Troxler. Dokumentasjonen viser at komprimeringen av massen oppfyller krav til 95% av maksimal densitet i Standard Proctor.



Figur 6.3. Målt vanninnhold fra Troxler og tilbakeregnet tørrdensitet i ulike lag i fyllingen ved Follobanen /5/.

6 Bruk av TBM-masser ved utfylling i sjø

6.1 Generelt

NGI er ikke kjent med at det er utført utfylling med TBM-masser i sjø tidligere, unntatt ved tildekking av forurensede sedimenter på sjøbunn (se også avsnitt 7.3). For denne type bruk av masse vil det ikke være tilsvarende krav til stabilitet eller setninger som det vil være for en mer omfattende fylling.

De geotekniske problemstillingene ved etablering av fylling i sjø for å lage nytt landareal vil være de samme som ved fylling på land, ved at krav til stabilitet og setninger må

ivaretas. Men, ved fylling i sjø vil det kunne kreves etablering av omfattende motfyllinger, for å tilfredsstillere krav til sikkerhet mot utglidning. Behovet for motfyllinger vil øke med økt vanndybder og hellende sjøbunn. Det kan bli nødvendig med installasjon av vertikaldren for å påskynde setningsforløpet og økning av udrenert skjærstyrke i undergrunnen, for å tilse at stabiliteten er ivaretatt under alle utfyllingstrinn.

Setninger må vurderes både for undergrunnen og fyllingen. Setninger i bløt undergrunn vil pågå i lang tid etter hvert oppfyllingstrinn (titalls år uten tiltak ved stor mektighet). Setninger i TBM-boremassen vil komme raskt etter oppfylling og eventuell pålastning (måneder).

Fylling lagt ut i sjø vil ha naturlig lav pakningsgrad som følge av oppdriften i neddykket tilstand. Utfordring med å lage en kvalitetsfylling i sjø vil være at det er begrenset med muligheter for komprimering av fyllmassene. Når fyllingen når vannflaten, kan man komprimere med dypkomprimering, så sant de underliggende massene tåler denne påkjenningen. Dypkomprimering har god effekt og kan ha en dybdevirkning på flere meter under loddet. Ved store fyllingsmektheter vil likevel ikke hele fyllingsvolumet bli gjennomkomprimert. Effekten av dypkomprimering kan sees i figur 7.1.

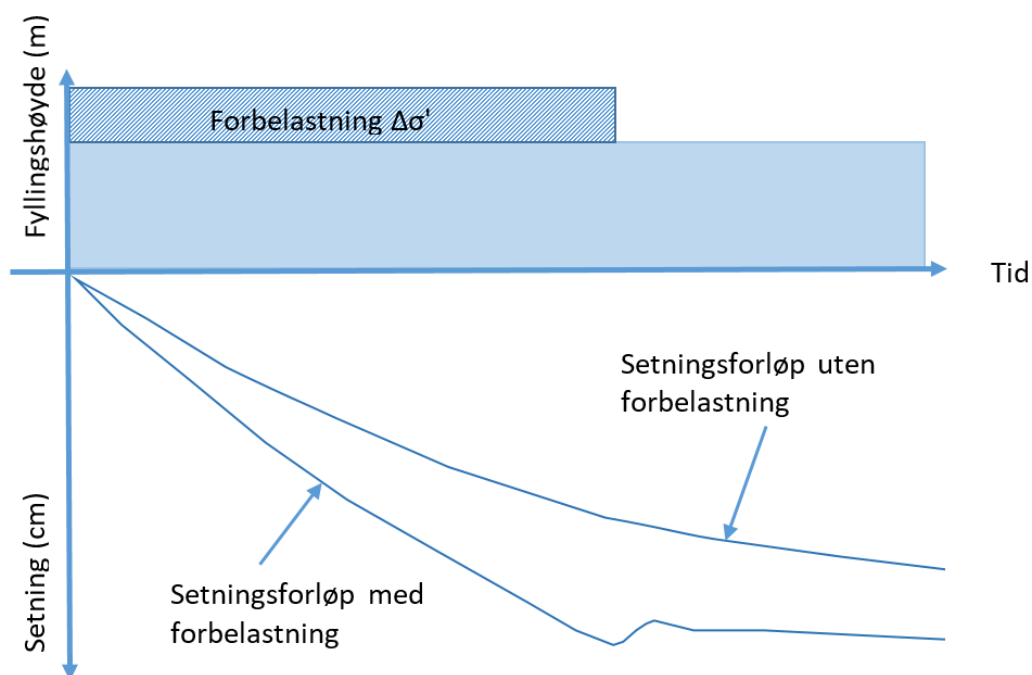


Figur 7.1 Effekten av dypkomprimering. Kilde: civildigital.com.

I utlandet er det utført vibrokomprimering og vacuum-komprimering under vann. I Norge finnes det lite eller ingen erfaring av dette.

Bruk av forbelastning vil begrense setninger i fyllingen, men krever en viss liggetid. For å ivareta stabiliteten ved fylling med forbelastning vil omfanget av motfylling også øke. Installasjon av vertikaldren i kombinasjon med forbelastning vil påskynde setningsforløpet og redusere setninger som gjenstår etter at overlasteren er fjernet. Behov for forbelastning og vertikaldren må vurderes utfra egenskapene til de underliggende løsmassene, krav til setninger og tidspunkt for når området er tenkt tatt i bruk. Ved en utfylling i flere trinn kan forbelastningen gjenbrukes som motfylling eller fylling i en

senere etappe. Prinsippet for forbelastning for å påskynde setningsforløpet er vist i Figur 7.2.



Figur 7.2. Prinsipp for forbelastning.

Ved bruk av TBM masse i motfyllinger må densiteten på motfyllingen dokumenteres. I tillegg må det legges en sikkerhetsfaktor på antatt densitet, alternativt øke høyden på motfyllingen, for å sikre at den har effekt som forutsatt.

6.2 Miljøtekniske tiltak

6.2.1 Miljøhensyn ved utfylling i sjø

I miljødirektoratets veileder/faktaark TA 2426 er det satt opp generelle krav til hva det må tas hensyn til ved deponering av forurensede masser i sjø. En rekke av disse vil være allmenngyldige og kan være veiledende også for utfyllinger i havner. I tillegg må det foreligge en tillatelse til deponeringen. Kravene i denne tillatelsen vil som regel være dekkende.

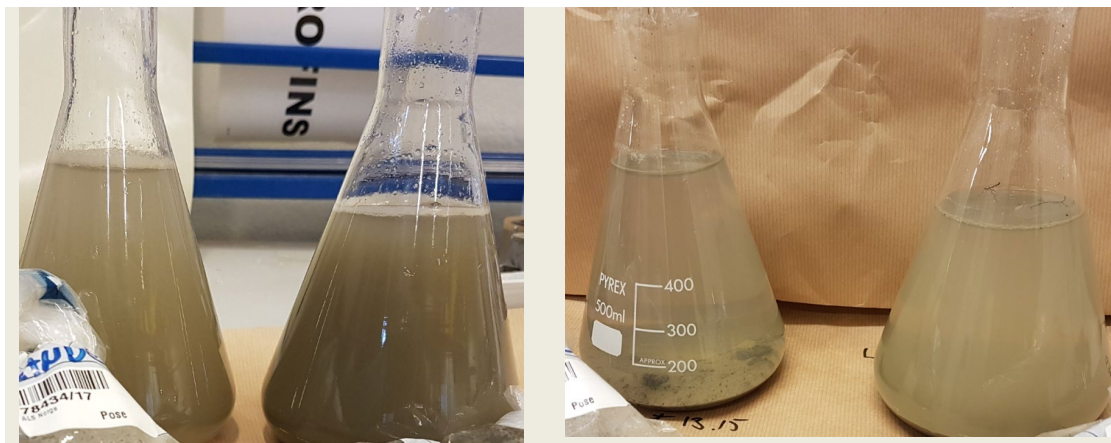
I tillatelsen er det vanligvis innarbeidet krav til grenseverdier for suspendert materiale og innhold av forurensning. Bestemmelser rundt tidspunkter som arbeidet kan utføres på er også tema i tillatelsen. Det er normalt å vurdere i hvert enkelt tilfelle om det er fare for forurensning og om det dermed er behov for en tillatelse etter forurensningsloven. I

tillatelsen vil det som regel være et krav at massene ikke kan inneholde svartskifer/alunskifer, rivningsavfall eller plast fra lunter og armering.

6.2.2 Spredning av partikler fra TBM-massene

Spredning av partikler avhenger av flere faktorer. Massens innhold av finstoff og kornfordeling er grunnlaget. Strømforholdene i vannet, strømmens styrke og retning, påvirkning fra båttrafikk, om vannet er ferskt eller salt og hvor sprangsjiktet ligger i forhold til hvor massene tippes er også faktorer man må ha kunnskap om for å kunne si noe om sedimenteringsegenskapene.

Det tar vesentlig lengre tid å sedimentere finstoff i ferskt vann enn i salt vann. Salt er et effektivt flokkuleringsmiddel på leirpartikler. Figur 7.3 viser at sedimentering av finstoff fra tunnelboremasse i ferskt vann kan gå svært sakte. Det er først og fremst partikler fra 0,02mm (mellomsilt) og mindre som lar seg transportere over større strekninger /13/.



Oppslemmet TBM-masse i ferskvann

Oppslemmet TBM-masse i ferskvann etter 1 døgn

Figur 7.3 Oppslemmet TBM-masse og sedimentering i ferskt vann.

Partikler i vannet har flere effekter på miljøet. TBM-masser har som vist i kap. 4.3 en skarpkantet og noe flisig kornform. Det er ugunstig for fisk, da det er sett en sammenheng mellom skarpkantete partikler og clogging eller sår på gjeller og slimhinner hos fisk /15/. Oppslemmet materiale som sedimenterer vil også kunne slamme ned bunnarealer som er levearealer for bunndyr og yngel.

Siden massene har høyt innhold av slike skarpkantete partikler, må det vurderes om det er behov for å ta hensyn til oppgang av laks og sjøørret.

6.2.3 Tiltak mot partikkelspredning

Den minste miljøbelastningen med tanke på spredning av partikler blir det dersom man kan etablere voller eller spunt som TBM-masene kan fylles innenfor. Voller vil i seg selv gi økt turbiditet mens de bygges, men det vil også avhenge av hvilke masser man

benytter i sjetéene. Ved å deponere innenfor et avgrenset område har man full kontroll på vann som skal ha utløp og det kan ledes via slamfeller før det slippes ut i sjøen. Det kan etableres lokale "porter" med siltgardin, slik at lektere kan komme inn i området og fylle masser.

Erfaringene fra Puddefjorden viser at det blir lav miljøpåvirkning ved å fylle ut massene via nedføringsrør /13/. Kornstørrelsen på TBM-masse er godt egnet til denne utfyllingsmetoden. Nedføringsrør er trolig best egnet ved utlegging i tynne lag, og kan bli lite effektivt (relatert til tilgangen på masser og behov for mellomlagring) ved utlegging av store volum.

Med utgangspunkt i andre utfyllingsprosjekter ser man at siltgardin er et tiltak som virker under gitte forutsetninger. Det må tas høyde for at ved sterk strøm og ved stor vanddybde er siltgardin vanskelig å etablere og vedlikeholde, for kreftene på fiberduken blir så store. Strøm drar også nedre del av gardinen til side og den dekker da et grunnere parti enn den gjør i stillestående vann. Videre kan vind og sjøgang medføre påkjenninger på siltgardinen som vil kreve en høyere innsats når det gjelder tilsyn og vedlikehold

6.3 Erfaringer fra utfylling i sjø

Det er funnet noen få prosjekter hvor det er fylt TBM-masser i sjø. Disse er oppsummert i det følgende.

6.3.1 Crossrail, London

Massene fra den store Crossrailutbyggingen gjennom London er fraktet på lekter ned Themsen og ut til et våtmarksområde (Wallasea Island Wild Coast project) i Essex, nord for munningen av Themsen. Her er massene lagt ut for å reetablere ny våtmark og fuglereservat i et område som er utsatt for økt vannstand. Massene fra Crossrail er både løsmasser og berg. Løsmassene består til stor del av London clay og bergmassen er kalkbergarter. Drivemetode for TBM er ikke identisk med den som må benyttes på harde, norske bergarter.

Utfyllingen er utført innenfor voller og sjetéer, som har sikret omgivelsene mot suspendert materiale. Utfyllingsformålet har lave krav til setninger, og det er ikke funnet materiale som viser at det er utført komprimering av noe slag med unntak av for voller og sjetéer. /12/



Figur 7.4. Wallasea Island Coast project (fra <https://learninglegacy.crossrail.co.uk>).

6.3.2 City-tunnelen i Malmö og Metro-utbyggingen i København

Det er gjennomført og er fortsatt under utførelse store baneprosjekter i Malmö og København. Det er flere fellestrekk i prosjektene og de omtales derfor sammen her.

Masser fra prosjektene benyttes til å utvide havneområdene Norra Hamnen i Malmö og Nordhavn i København. Utfyllingen utføres i regi av et felles havneselskap for Malmö og København, CMP Copenhagen Malmö port. Hovedprinsippet som er fulgt i begge havneområdene er at havnevirksomheten flyttes ut på de nyetablerte områdene, mens de gamle havneområdene transformeres til bolig- og kontorbebyggelse. Med tanke på setninger er dette en god løsning, da bolig- og kontorbebyggelse kan etableres på grunn som allerede har satt seg. Den nye virksomheten kan innrettes etter hvor setningene blir minst og størst, og man kan ta tiden til hjelp for å få setningene unnagjort.

Overskuddsmassene består av moreneleire og kalkbergarter. Massene er fylt ut innenfor sjetéer (voller) og spunt. Stedvis er det dobbel sikring med både voller og spunt, og det er også benyttet cellespunt/dobbel spunt med et vannvolum imellom. Figur 7.5 viser innledende utfylling av sjetéer. Figur 7.6 viser havneområdene slik de foreligger i dag.



Figur 7.5. Innledende utfylling av sjetéer rundt Norra Hamnen i Malmö i 2008-2009 (Kilde: Skanska).



Figur 7.6. Norra Hamnen i Malmö i dag (Kilde: Copenhangen Malmö Port).

I Norra Hamnen i Malmö er vannstanden senket innenfor spuntene ved at vannet er pumpet ut til en sedimenteringsdam og deretter videre pumpet ut i sjøen bak en siltgardin. I søket etter beskrivelser av de utførte arbeidene er det funnet anbudsdokumenter på dypkomprimering av deler av arealene for å oppnå tilstrekkelig bæreevne og forbedre fundamenteringsforholdene.

6.4 Tildekkingsprosjektet Ren Puddefjord i Bergen

I Bergen er det benyttet overskuddsmasser fra TBM-boring av Ulriken-tunnelen til tildekking av forurenset sjøbunn i Puddefjorden /13/. Tiltaksområdet omfatter de indre delene av Puddefjorden, og har et areal på totalt 500 000 m², ned til 20 m vanndyp. Det er fylt til sammen 350 000 tonn TBM-masse.

Massene er lagt ut fra lekter med nedføringsrør der det er dypt, og med gravemaskin fra lekter eller ferge der det er grunt. Massene er lagt ut i lag med tykkelse på inntil 45 cm.

Ved utlegging av TBM-masser er det utført kontinuerlig overvåking med turbiditetsmåler med alarm. Grenseverdiene for turbiditet ble satt til +10 NTU over bakgrunnsverdien. Målerne ble flyttet i takt med arbeidene. Det har ikke vært stopp i arbeidet som følge av utlegging av TBM-massen ifølge sluttrapporten fra PEAB /14/. Det bemerkes at dette området ikke har sterk strøm som kan bidra til økt spredning av partikler. Det er også tilsynelatende jevne forhold med tanke på salinitet. Loggen over avvik i turbiditetsmålingene indikerer at båttrafikk som ikke var en del av prosjektet også generer oppvirvling og utløste alarm fra turbiditetsmålerne.

7 Andre mulige bruksområder

7.1 Vegbygging og jernbanebygging

Krav til materialer er gitt i Statens vegvesen håndbok N200. Materialer brukt i bære-/forsterkningslag stiller krav til motstand mot nedknusing (Los Angeles test), slitestyrke (Micro-Deval test), kornform og korngradering. I tillegg skal alle materialer i bære- og forsterkningslag skal være ikke-telefarlige (T1-materialer). TBM-masse vil ikke oppfylle krav, men massene kan brukes til underbygning.

Krav til materialer i jernbanekonstruksjon er gitt i Bane NORs tekniske regelverk. De strengeste kravene stilles til ballasten. Det er også strenge krav til både frostsikrings- og forsterkningslaget, blant annet ved at massene skal være gode friksjonsmasser som er godt drenert og ikke telefarlige.

For bruk av TBM-stein i underbygning for både vei og jernbane må massenes mineralogiske sammensetning vurderes. Sterkt forskifrede, eller forvitrede bergarter, samt bergarter med et høyt glimmerinnhold er mindre egnet til bruk som fyllingsmaterialet. Eksempel på dette er fyllitt, leirskifer og alunskifer. Bruk av TBM-masse i underbygningen krever komprimering og kontroll i henhold til krav i regelverket.

7.2 Tilslagsmateriale i betong

Tilslag i betong er ofte sand og stein og utgjør 60 – 70 % av det totale volumet. Ettersom tilslagsmaterialene utgjør den dominerende fraksjonen i betong har de stor innvirkning

på betongens egenskaper. Krav til egenskaper er materialets kornfordeling, kornform (flisighet og stenglighet), korndensitet, vannabsorpsjonsevne og kjemiske egenskaper (innhold av svovel, organisk karbon, klorid og glimmer, samt alkalireaksjoner).

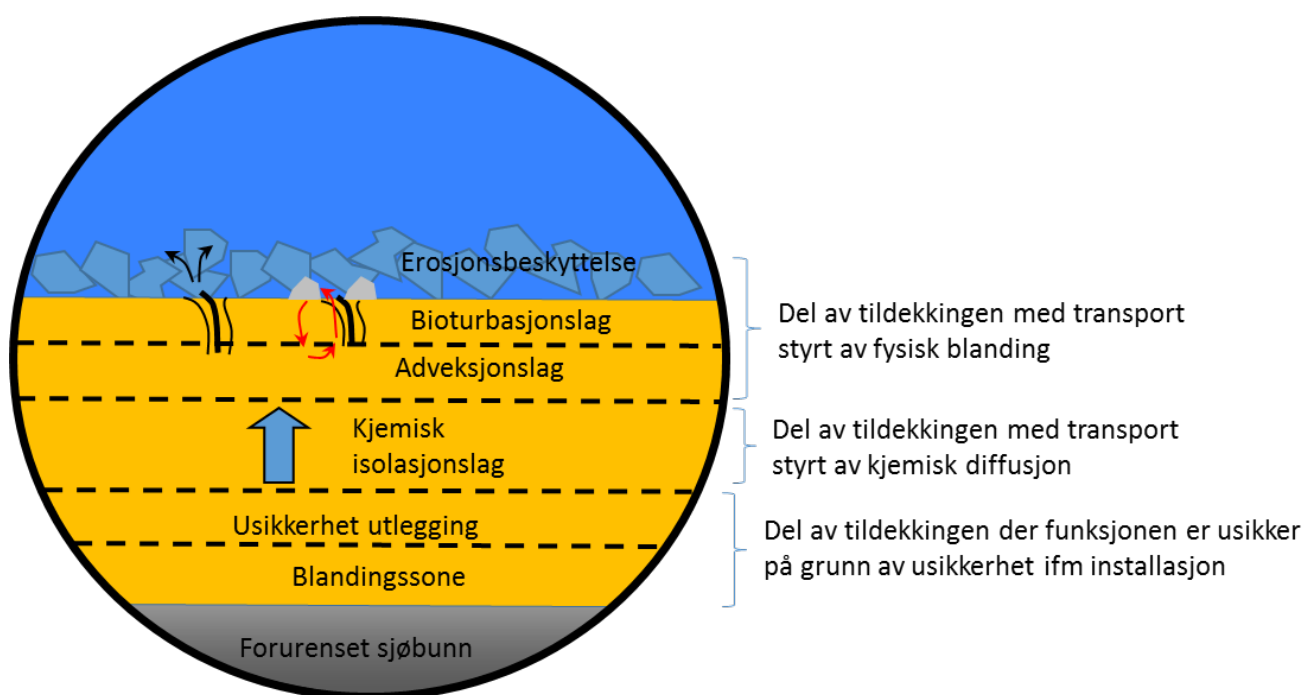
Massene vil ikke oppfylle krav til flisighet for bruk for betongtilslag, men kan bearbeides ved knusing og sikting for å forbedre egenskapene ved å lage materialet mer kubisk. Ved Follobanen var det opprinnelig planlagt å bruke TBM-masse som tilslag i betong ved produksjon av betongelementene til tunnelen. Men, bergmassen hadde stedvis høyere svovelinhold enn krav og ble derfor ikke brukt ettersom bestandigheten ikke kunne dokumenteres.

7.3 Tildekking forurensede sedimenter

TBM-massen er godt egnet for tildekking av forurensede sedimenter. TBM-masser fra Ulriken tunnelen er som tidligere beskrevet brukt ved tildekking av forurensede sedimenter ved Puddefjorden. Målet ved tildekking er å hindre at forurenset sjøbunn virvler opp og sprer forurensing til omkringliggende vann og til andre steder med lavere forurensning på sjøbunnen. Massene som benyttes til tildekking skal hindre at forurenset porevann lekker ut i vannvolumet over seg (kjemisk isolasjonslag).

I prosjekteringsgrunnlaget /16/ er det pekt spesielt på at masser med det aktuelle innhold av siltfraksjonen (5 – 10%) er svært godt egnet til tildekking av forurensede sedimenter, under forutsetning av at massene er rene.

Figur 9.1 illustrerer overordnet tildekkingsdesign over forurenset sjøbunn med de lagene som skal ivareta ulike funksjoner i denne tildekkingen.



Figur 9.1 Illustrasjon av designlag i tildekkingen av forurensingen av sjøbunn

7.4 Andre bruksområder

Andre mulige bruksområder hvor det ikke er spesifikke krav til bæreevne og setninger er fylling for terrengarrondring, motfylling er til veg og jernbane, støyvoller.

Massen vil også kunne bearbeides ved frasikting av finstoff, knusning og sikting for å forbedre kornform og kornfordeling.

8 Oppsummering

Geotekniske egenskaper er sammenstilt fra et flertall prosjekter, datert tilbake til 80-tallet (Statkraft, 1986). Størst datamengde kommer fra Follobanen som er drevet med fire TBM-maskiner gjennom granittisk gneis.

Det er sett på innhold av mulige forurensningskomponenter i massen. Resultater fra totalt 104 prøver fra Ulriken-tunnelen og Follobanetunnelen er innhentet og sammenstilt. De viser at innholdet av forurensning kun er knyttet til bergmassens mineralogiske sammensetning og er under grenseverdier for forurenset masse, massene er med andre ord klassifisert som ikke forurensete (Tilstandsklasse 1, jf. SFT, 2009).

I Georecirc-prosjektet er TBM-masse karakterisert med hensyn til geotekniske egenskaper, blant annet kornfordeling, kornform, sprøhet- og flisighetsindeks, densitet

med og uten pakning, permeabilitet, og friksjonsvinkel. TBM-massen kan sammenlignes med en grus, men den har vesentlig høyere skjærfasthet enn en naturgrus.

Fra utførte tester og innhentede data er følgende egenskaper kartlagt (variasjoner forekommer avhengig av geologien og må vurderes for hvert enkelt prosjekt):

- ↗ Sandig (siltig) grus: 50-70% av materialet er grusfraksjon og finstoffinnhold (<0,06 mm) på 10-18%
- ↗ Friksjonsvinkel $\phi=45-50^\circ$
- ↗ Telefarlighetsklasse T2-T3
- ↗ Hydraulisk konduktivitet i størrelsen 10^{-6} til 10^{-5} m/s
- ↗ Partikkelformen er flisig og stenglig til meget flisig og meget stenglig

Massen er en ressurs som vil kunne brukes. Massen er spesielt godt egnet til fyllinger. For å sikre at vanninnholdet ikke er for høyt ved komprimering bør massen håndteres og lagres slik at det ikke tilføres vann før utlegging og at masse med høyt vanninnhold har tid til å selvdrenere. Massen legges ut lagvis og normal komprimering gir høy densitet, god bæreevne og lavt setningspotensiale.

Follobanen er et godt eksempel på hvordan TBM-masse kan nyttiggjøres. I prosjektet har Bane NOR og Oslo kommune inngått en avtale om at overskuddsmassen på nesten 9 millioner tonn, fra driving med fire TBM-maskiner, fylles ut i et kupert området ved Åsland, for å etablere byggegrunn for ny bydelen Gjersrud-Stensrud. Massen ble lagt ut lagvis i 0,7 m tykke lag som ble komprimert med normal komprimering (NS 3458:2004). Når massen kan utnyttes så lokalt, reduseres også CO₂ avtrykket vesentlig i forhold til om massen måtte ha blitt transportert lang vei med lastebil.

Et annet godt eksempel på utnyttelse av TBM-masse er fra Ulriken tunnelen i Bergen. Masser driving av tunnelen ble benyttet som tildekking over forurenset sjøbunn i Puddefjorden, med svært godt resultat og lite tilslamming av vannet under utleggingen. Totalt ble det brukt ca. 350.000 tonn masse, som ble lagt ut fra lekter med nedføringsrør. Massene ble lagt ut med lagtykkelse på inntil 45 cm.

Grunnet materialets flisighet og stengslighet er det ikke mulig å bruke massene i bæree- og forsterkningslag med krav til motstand mot nedknusning. I tillegg vil krav til telefarlighet normalt være strenge (T1) der massene ligger grunt og i kontakt med frost.

TBM-masse vil ikke nødvendigvis oppfylle krav til mekaniske egenskaper på tilslagsmateriale i betong uten bearbeiding. Det vil som regel være behov for knusing og sikting for å forbedre kornformen og nedknusningsmotstanden. I tillegg må det utføres kjemiske tester for å vurdere blant annet svovelinnhold i bergarten.

9 Referanser

- /1/ TBM-konseptstudie. Tunnelbygging med tunnelboremaskiner. Teknologivurdering og kostnadsestimat. 112/2013 Rådgivergruppe til planlegging og prosjektering av tiltak i ny vannforsyning. Dokumentnr. A046772-04-GEN-RAP-0001 rev 01 datert 2015-03-02.
- /2/ Fullprofilmasser. Materialeegenskaper og anvendelse. Prosjektrapport 16:91. NVE/NTNU.
- /3/ Presentasjon fra Amund Bruland, NTNU.
- /4/ Statkraft. Prosjekt fullprofilmasser materialeegenskaper. NGI rapport 85607-1. Datert 30. mai 1986.
- /5/ Dahl, Marianne. Investigation of geotechnical properties of TBM spoil from the Follo line project. Master degree thesis. 2018.
- /6/ Handling, treatment and disposal of tunnel spoil materials. Working groups 14 and 15 Underground construction and the Environment and Mechanized tunnelling. ITA report no. 21, April 2019.
- /7/ Miljødirektoratet. Faktaark M-1243/2018. Mellomlagring og slutt disponering av jord- og steinmasser som ikke er forurenset. Datert 2018.
- /8/ Miljødirektoratet. Veileder M-608/2016: Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Datert 2016.
- /9/ Miljødirektoratet. Veileder M-411 (TA-2143) Testprogram for tildekkingsmasser - Forurenset sjøbunn (oppdatert pr. august 2017). Datert 2015
- /10/ Klima og forurensningsdirektoratet (KLIF) TA-2624/2010: Retningslinjer for sjødeponier. Datert 2010
- /11/ Kjærnsli, B. (1968). Fundamentering på grus- og steinfyllinger. NGI Publikasjon nr. 73.
- /12/ <https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/excavated-materials-story/>
- /13/ Renere Puddefjord. Sanering av forurenset sjøbunn. Sluttrapport. Bergen kommune. Peab rapport 617391-RIGm-RAP-01. Datert 29. november 2018.
- /14/ Design av tildekking i Puddefjorden, Bergen Kommune. NGI rapport 20150775-01-TN. Datert 2016-02-24
- /15/ NIVA Rapport 4420-2001. Tunnel på Rv. 13 mellom Ivarsflaten og Djupevik. Konsekvenser av utfylling med sprengstein langs Suldalsvannet. Datert 31. august. 2001.
- /16/ Utfylling ved Kadettangen. Bærum kommune. NGI-prosjekt 20081162.

| | | |
|--|------------------------------------|--|
| Dokumentinformasjon/Document information | | |
| Dokumenttittel/Document title Vurdering av nyttiggjøring av TBM-kaks | | Dokumentnr./Document no. 20160794-08-R |
| Dokumenttype/Type of document Rapport / Report | Oppdragsgiver/Client NFR | Dato/Date 2019-12-13 |
| Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract NGI | | Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 0 / |
| Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees | | |
| Emneord/Keywords TBM-kaks | | |

| | |
|--|---|
| Stedfesting/Geographical information | |
| Land, fylke/Country | Havområde/Offshore area |
| Kommune/Municipality | Feltnavn/Field name |
| Sted/Location | Sted/Location |
| Kartblad/Map | Felt, blokknr./Field, Block No. |
| UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: Øst: Nord: | Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: Øst: Nord: |

| Dokumentkontroll/Document control | | | | | |
|--|--|---|--|--|---|
| Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001 | | | | | |
| Rev/Rev. | Revisjonsgrunnlag/Reason for revision | Egenkontroll av/ Self review by: | Sidemanns-kontroll av/ Colleague review by: | Uavhengig kontroll av/ Independent review by: | Tverrfaglig kontroll av/ Inter-disciplinary review by: |
| 0 | Originaldokument | 2019-07-05 Jenny Langford / Gunvor Baardvik | 2019-07-09 Arne Pettersen / 2019-08-14 Magnus Rømoe | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | |
|--|---------------------------------------|---|
| Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release | Dato/Date 13. desember 2019 | Prosjektleder/Project Manager Gudny Okkenhaug |
|--|---------------------------------------|---|

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

