

Olve Skjerdal Lysne

Tunnelstein som ressurs

Eit arbeid for auka utnytting av ein ikkje-fornybar ressurs

Masteroppgåve i Anleggs- og produksjonsteknikk

Veileder: Amund Bruland

Juni 2020

Olve Skjerdal Lysne

Tunnelstein som ressurs

Eit arbeid for auka utnytting av ein ikkje-fornybar
ressurs

Masteroppgåve i Anleggs- og produksjonsteknikk
Veileder: Amund Bruland
Juni 2020

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



NTNU

Kunnskap for ei betre verd

Samandrag

I Noreg vert det kvart år teke ut om lag 19 millionar tonn stein frå driving av tunnelar. Samtidig minkar norske grus- og sandførekomstar, og transportavstandar for byggeråstoff aukar. Mengda tunnelstein frå norske tunnelprosjekt tilsvarear om lag ein tredjedel av Noregs behov for mineralske byggeråstoff, men vert i dag som regel dumpa i sjø eller deponert på land. Ei auka utnytting av tunnelstein vil derfor vere eit viktig steg mot ei meir berekraftig ressursforvaltning av stein som ein ikkje-fornybar ressurs. Som følgje av dette er det i denne masteroppgåva gjort eit arbeid med hovudproblemstillinga “*korleis utnytte tunnelstein betre som ressurs?*”.

Denne masteroppgåva søkjer å svare på spørsmål om dagens situasjon, utfordringar ved utnytting, viktige føresetnadar for god utnytting, vurdering av eignaheit for tunnelstein og potensiale til tunnelstein som ressurs. Dette er gjort ved litteraturstudie, e-postkorrespondanse, kvalitative intervju og analyse av data frå Measure While Drilling (MWD).

I samband med denne masteroppgåva er det mellom anna gjort eit innsamlingsarbeid av data for utnytting av tunnelstein ved tidlegare gjennomførte prosjekt. Dette har ført til funn som tilseier at det er eit stort uutnytta verdipotensiale i tunnelstein som ei optimalisert utnytting vil kunne gi tilgang til. Dei mest sentrale utfordringane på vegen mot ei optimalisert utnytting av tunnelstein som er funne i dette masterarbeidet er forureining i massane, innstrammingar i intern og ekstern disponering, usikkerheit ved geologiske forhold, store arealbehov for bearbeiding og lagring, samt stor finstoffproduksjon ved bearbeiding av tunnelstein til vidare bruk.

For å handtere desse utfordringane og oppnå god utnytting av tunnelstein er det mellom anna funne at det er viktig med kartlegging av kvalitet, både i tidlegfasen og i driveperioden. Vidare er det viktig å fokusere på massehandtering allereie i planleggingsfasen for å tidleg vurdere bruksformål og avsetjing av areal til bearbeiding og lagring. Regional planlegging vil vere eit viktig hjelpemiddel for å legge til rette for arealbruk og samkøyrde massehandteringsplanar på tvers av prosjekt. I tillegg er det viktig at kontrakta legg til rette for utnytting av tunnelstein gjennom felles målsetjingar og motivasjon for å arbeide mot god utnytting av tunnelstein.

Oppgåva har undersøkt kva eigenskapar som er viktige for tunnelstein ved utnytting og kva testmetodar som er eigna til å vurdere desse. Særleg er det undersøkt kor eigna MWD-data er som ein kvalitetsindikator for å sortere steinen i ulike kvalitetar, salve for salve, rett frå tunnelen. Det vart ikkje funne noko klar korrelasjon mellom MWD-data og LA-verdi, men det er likevel funne teikn på at MWD-data kan fungere som ein indikator på tunnelstein sin kvalitet og vere eit bidrag mot auka utnytting av tunnelstein.

Til slutt er det undersøkt moglege bruksformål for tunnelstein samt moglege gevinstar for prosjekta og for samfunnet ved ei auka utnytting av tunnelstein. Dei mest sentrale gevinstane ved auka utnytting av tunnelstein er auka utnytting av naturressursar, reduserte naturinngrep, reduserte klimagassutslepp, reduserte innkjøps- og transportkostnadar, reduserte trafikkulemper og moglegheit for å framskande gjennomføring av nærliggande tiltak kring tunnelprosjekt. Dette er gevinstar som bør vere tilstrekkeleg for å motivere den norske bygge- og anleggsnæringa til å arbeide mot ei auka utnytting av ressursen tunnelstein.

Abstract

Approximately 19 million tons of stone are being extracted from tunneling in Norway every year. At the same time, Norwegian gravel and sand deposits are decreasing, and transport distances for aggregates increase. The amount of stone from Norwegian tunnel projects corresponds to about one third of Norway's need for mineral building materials but are today usually dumped in the sea or landfilled. An increased utilization of tunnel muck will therefore be an important step towards a more sustainable resource management of stone material as a non-renewable resource. Therefore, this master's thesis will try to respond to the main question *"how to utilize tunnel muck better as a resource?"*

This master's thesis seeks to answer questions about the current situation, challenges in utilization, important preconditions for good utilization, assessment of stone property and the potential of tunnel muck as a resource. This is done through literature study, e-mail correspondence, qualitative interviews, and analysis of data from Measure While Drilling (MWD).

In connection with this master's thesis, a collection of data of the utilization of tunnel muck in earlier completed projects has been made. This has led to findings that indicate that there is a large unutilized value potential in tunnel muck that an optimized utilization will be able to access. The most central challenges on the way to an optimized utilization of tunnel muck found in this master's thesis are: pollution in the masses, tightening of internal and external disposal, uncertainty in geological conditions, large area needs for processing and storage, as well as large fines production in the processing of tunnel muck for further use.

In order to handle these challenges and achieve a good utilization of tunnel muck, it has been found, among other things, that it is important to identify quality in both the early phase and the construction period. Furthermore, it is important to focus on mass disposal already in the planning phase in order to assess types of usage for the excavated material, and disposal of land for processing and storage at an early stage. Regional planning will be an important tool to facilitate land use and coordinated mass management plans across projects. In addition, it is important that contracts facilitate the utilization of tunnel muck through common goals and motivation to work towards a good utilization.

This master's thesis has studied which properties that are important for tunnel muck during exploitation and which test methods that are suitable to assess these. In particular, it has been studied how suitable the MWD data is as a quality indicator for sorting the stone into different grades, straight from the tunnel. No clear correlation was found between MWD data and LA value, but there are nonetheless found signs that the MWD data can act as an indicator of tunnel quality and contribute towards increased utilization of tunnel muck.

Finally, possible uses of tunnel muck have been studied as well as possible gains for projects and for society through increased utilization of tunnel muck. The most important benefits of increased utilization of tunnel muck are: increased utilization of natural resources, reduced nature interventions, reduced greenhouse gas emissions, reduced purchasing and transport costs, reduced traffic congestion, and the possibility of accelerating the implementation of measures in proximity of tunnel projects. These are gains that should be sufficient to motivate the Norwegian construction industry to work towards an increased utilization of the tunnel muck resource.

Forord

Denne masteroppgåva er skriva av Olve Skjerdal Lysne våren 2020 for Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Noregs teknisk- naturvitskaplege universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgåva er ein avsluttande del av eit toårig masterstudie innan bygg- og miljøteknikk med anleggs- og produksjonsteknikk som hovudprofil, og utgjer 30 studiepoeng. I tillegg vart det hausten 2019 utarbeida ei prosjektoppgåve innan same tema som eit forberedande arbeid til denne masteroppgåva.

Tema vart vald i samråd med rettleiar Amund Bruland, då dette var eit tema både eg meinte var interessant og som var av interesse for Norsk Forening for Fjellsprengeingsteknikk.

Eg ynskjer å rette ein spesiell takk til hovudrettleiar frå NTNU, Amund Bruland, for god rettleiing og hjelp med nettverksbygging for oppgåva. Også Norsk Forening for Fjellsprengeingsteknikk fortener ein stor takk for å bidra med fleire gode samtalepartnarar og interesse for oppgåva.

Vidare vil eg takke Thorvald Wetlesen Sr frå Bever Control AS for å ta kontakt med idear om nye vinklingar då andre metodar fall vekk som følgje av covid-19. Bever Control AS og dei ansatte har bidrege med både gratislisensar for deira system og god oppfylgning ved spørsmål. I tillegg fortener Merete Landsgård og Svein Tore Drevsjø ein takk for å stille til intervju, samt alle informantane frå e-postkorrespondanse og prosjekta som har vist stor velvilje ved å dele sine data med meg.

Heilt til slutt vil eg gi ein takk til kjærast, familie og romkameratar for deira bidrag til motivasjon, rettskriving og eit godt arbeidsmiljø på heimekontoret.

Lærdal, 25.06.2020
Olve Skjerdal Lysne

Olve S. Lysne

Innhald

| | |
|---|------------|
| Samandrag | i |
| Abstract | ii |
| Forord | iii |
| Innhaldsliste | vi |
| Tabelliste | vii |
| Figurliste | 1 |
| 1 Introduksjon | 1 |
| 1.1 Bakgrunn | 1 |
| 1.2 Problemstilling | 2 |
| 1.2.1 F1: Korleis er ressursen tunnelstein utnytta i dag? | 2 |
| 1.2.2 F2: Kva utfordringar er det ved utnytting av tunnelstein? | 2 |
| 1.2.3 F3: Kva føresetnadar bør ligge til grunn for å oppnå god utnytting? | 2 |
| 1.2.4 F4: Korleis vurdere tunnelstein si eignaheit? | 2 |
| 1.2.5 F5: Kva potensiale har tunnelstein som ressurs? | 3 |
| 1.3 Avgrensing | 3 |
| 1.4 Oppbygging av oppgåva | 3 |
| 2 Litteraturstudie | 4 |
| 2.1 Avgjerande eigenskapar for stein som byggemateriale | 4 |
| 2.1.1 Korngradering | 4 |
| 2.1.2 Kornform | 6 |
| 2.1.3 Mekanisk styrke | 6 |
| 2.1.4 Petrografi og forureining | 8 |
| 2.2 Tunnelstein sine eigenskapar | 8 |
| 2.2.1 Korngradering | 8 |
| 2.2.2 Kornform | 9 |
| 2.2.3 Mekanisk styrke | 9 |
| 2.2.4 Forureining | 9 |
| 2.3 Kartlegging av eigenskapar | 10 |
| 2.3.1 Vanlege testmetodar | 11 |
| 2.3.2 Rettleiar: Forundersøkingar og bruk av kortreist stein | 12 |
| 2.3.3 MWD-data | 14 |
| 2.3.4 Pålitelegheit ved undersøkingar av materialkvalitetar | 16 |
| 2.4 Potensiale innan gjenbruk | 19 |
| 2.4.1 Bruksområde for tunnelstein | 19 |
| 2.4.2 Verdi av utnytting | 20 |
| 2.4.3 Norske bergartar sine potensiale | 22 |
| 2.5 Kortreist stein: Erfaringar frå E39 | 25 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.5.1 | Informasjon om prosjektet | 25 |
| 2.5.2 | Erfaringar | 26 |
| 2.6 | Kortreist stein: Sentrale funn | 27 |
| 2.6.1 | Planlegging | 27 |
| 2.6.2 | Kontrakt | 28 |
| 2.6.3 | Kvalitet på lokale massar | 28 |
| 2.6.4 | Miljøaspektet | 28 |
| 2.7 | Prosjekteksempel | 29 |
| 2.7.1 | Gotthard Base Tunnel | 29 |
| 2.7.2 | Frøsvatn dam | 29 |
| 2.7.3 | Follobanen | 29 |
| 2.7.4 | Fellesprosjektet, E6/Dovrebanen | 30 |
| 2.7.5 | Gevingåsen tunnel | 31 |
| 2.7.6 | Strindheimtunnelen | 31 |
| 2.7.7 | Lærdalstunnelen | 31 |
| 2.7.8 | Internasjonale prosjektdata | 32 |
| 3 | Metode | 33 |
| 3.1 | Litteraturstudie | 33 |
| 3.1.1 | Innleiande litteraturstudie | 33 |
| 3.1.2 | Avsluttande litteraturstudie | 34 |
| 3.1.3 | Kjeldekritikk | 34 |
| 3.2 | E-post til bransjekontaktar | 34 |
| 3.2.1 | Undersøkte prosjekt | 34 |
| 3.2.2 | Innhentinga | 35 |
| 3.2.3 | Svakheiter ved metoden | 35 |
| 3.3 | Kvalitative intervju | 35 |
| 3.3.1 | Val av informantar | 36 |
| 3.3.2 | Intervjumetode | 36 |
| 3.3.3 | Pålitelegheit og gyldigheit | 37 |
| 3.4 | Analyse av MWD-data | 38 |
| 3.4.1 | Undersøkte prosjekt | 38 |
| 3.4.2 | Innhenta data | 38 |
| 3.4.3 | Framgangsmåte | 39 |
| 3.4.4 | Svakheiter ved metoden | 39 |
| 4 | Resultat | 40 |
| 4.1 | Prosjektdata: Tidlegare utnytting | 40 |
| 4.1.1 | Prosjektdata frå bransjekontaktar | 40 |
| 4.1.2 | Prosjektdata frå litteratur | 42 |
| 4.2 | Intervju: Sentrale funn | 43 |
| 4.2.1 | F1: Utnytting av tunnelstein i dag | 43 |
| 4.2.2 | F2: Utfordringar ved utnytting av tunnelstein | 44 |
| 4.2.3 | F3: Føresetnadar for betra utnytting av tunnelstein | 45 |
| 4.2.4 | F5: Tunnelstein sitt potensiale som ressurs | 46 |
| 4.3 | Analyse av MWD-data | 47 |
| 4.3.1 | Ryfast: Ryfylketunnelen | 47 |
| 4.3.2 | Drammen-Kobbervikdalen: Skogertunnelen | 51 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5 | Diskusjon | 54 |
| 5.1 | F1: Utnytting av tunnelstein i dag | 55 |
| 5.1.1 | Utnytting i ulike former | 55 |
| 5.1.2 | Utnyttingsgrad ved norske tunnelprosjekt | 56 |
| 5.1.3 | Utnytting internasjonalt | 58 |
| 5.1.4 | Dagens situasjon i Noreg | 59 |
| 5.2 | F2: Utfordringar ved utnytting av tunnelstein | 59 |
| 5.2.1 | Tunnelstein som næringsavfall | 59 |
| 5.2.2 | Forureining i tunnelstein | 60 |
| 5.2.3 | Usikkerheit ved geologiske forhold | 61 |
| 5.2.4 | Utfordringar ved bearbeiding | 62 |
| 5.2.5 | Utfordringar oppsummert | 63 |
| 5.3 | F3: Føresetnadar for betra utnytting av tunnelstein | 64 |
| 5.3.1 | Kartlegging av kvalitet | 64 |
| 5.3.2 | Planleggingsfase med fokus på massehandtering | 64 |
| 5.3.3 | Regional planlegging | 66 |
| 5.3.4 | Kontrakt | 66 |
| 5.3.5 | Oppsummering av føresetnadar | 67 |
| 5.4 | F4: Vurdering av kvalitet | 68 |
| 5.4.1 | Viktige eigenskapar | 68 |
| 5.4.2 | Eigna testmetodar | 70 |
| 5.4.3 | Bruk av MWD-data til kartlegging av kvalitet | 71 |
| 5.4.4 | Vurdering av tunnelstein | 73 |
| 5.5 | F5: Potensialet til tunnelstein som ressurs | 74 |
| 5.5.1 | Bruksformål for tunnelstein | 74 |
| 5.5.2 | Gevinstar ved auka utnytting | 75 |
| 6 | Konklusjon | 77 |
| 7 | Vidare arbeid | 79 |
| | Bibliografi | 79 |
| | Vedlegg: | 83 |
| A | Intervju 1 - Tunnelstein som ressurs | 84 |
| A.1 | Intervjuopplysingar | 84 |
| A.2 | Innhald i intervjuet | 84 |
| A.3 | Verifisering av innhaldet | 87 |
| B | Intervju 2 - Tunnelstein som ressurs | 88 |
| B.1 | Intervjuopplysingar | 88 |
| B.2 | Innhald i intervjuet | 88 |
| B.3 | Verifisering av innhaldet | 90 |
| C | Kjeldekritikk: TONE | 91 |

Tabellar

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Densitet og typisk styrke for skandinaviske bergartar (Rohde mfl., 2019). | 10 |
| 2.2 | Testar og standardar nytta for kvalitetssikring ved Bodio, Gotthard Base Tunnel (Oggeri og Ronco, 2010). | 12 |
| 2.3 | Oversikt over testmetodar for massar til ulike bruksformål (Aasly mfl., 2019). . | 13 |
| 2.4 | Planlagd bruk/deponering av tunnelmassar frå Follobanen (Aarstad mfl., 2019). | 30 |
| 2.5 | Oversikt over innrapporterte prosjekt med andel tunnelstein nytta til andre formål enn deponering (Rohde mfl., 2019). | 32 |
| 4.1 | Resultat frå e-post-undersøkinga av utnytting av tunnelstein ved norske tunnelprosjekt. Kjelder oppgir organisasjonen til kontaktpersonen som har kommunisert dataa. | 41 |
| 4.2 | Prosjektoversikt med data om utnytting av tunnelstein henta frå Aarstad mfl., 2019. | 42 |
| 4.3 | Resultat frå Los Angeles-testar utført av Statens vegvesen sitt analyselaboratorie i Stavanger på tunnelstein frå Ryfylketunnelen ved Ryfast. | 47 |
| 4.4 | Beskriving av visualisert tolka hardheit saman med LA-verdiar for dei aktuelle prøveområda. | 50 |
| 5.1 | Gjenbruksklassar frå figur 2.10 og 2.9 (Erben og Galler, 2014; Rise, Alnæs og Rambæk, 2019) | 56 |
| 5.2 | Data for utnytting av tunnelstein ved norske prosjekt med fordeling på bruksklassar. | 57 |
| 5.3 | Viktige eigenskapar for tunnelstein og innverknad på bruksegenskapar | 70 |
| 5.4 | Moglege bruksformål for tunnelstein med eit utval viktige eigenskapar for massane ved dei ulike formåla. | 75 |

Figurar

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Samanlikning av korngraderingskurver for tunnelstein frå TBM-drift (1) og konvensjonell drift med boring og sprenging (2) (Rohde mfl., 2019) | 5 |
| 2.2 | Krav til korngradering for fraksjon 0/63 til bruk i forsterkingslag ferdig utlagt på veg frå håndbok N200 (Statens vegvesen, 2018a) | 5 |
| 2.3 | Kornformbeteikningar som definert i Statens vegvesen si håndbok R210 (Statens vegvesen, 2014). | 7 |
| 2.4 | Form (Shape), angularitet (Angularity) og overflatetekstur (Texture) på ulike nivå (Little mfl., 2003). | 7 |
| 2.5 | Illustrasjon av prosessen til borparametertolkning. Basert på dokumentasjon frå Bever Control (Wetlesen, 2011, 2013). | 14 |
| 2.6 | Visualisering av rådata henta ut av Bever Control sitt datasett for Skogertunnelen på prosjektet UDK01. | 15 |
| 2.7 | Visualisering av BPT av tilsvarende tunnelsparsell som i figur 2.6. Henta ut av Bever Control sitt system for borparametertolkning. | 15 |
| 2.8 | Samanheng mellom mekanisk styrke og mengda produsert finstoff ved Los Angeles-analyse. Henta frå Nålsund, 2019. | 17 |
| 2.9 | Rangering av gjenbruksdestinasjonar (Erben og Galler, 2014). | 20 |
| 2.10 | Rangering av gjenbruksdestinasjonar for optimal gjenbruk (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019). | 21 |
| 2.11 | Ulike bergartar sin eignaheit til bærelag og toppdekke i veg, ut frå gjennomsnittleg ÅDT. Tal i parantes representerer tal på prøvar resultatata er basert på (Aasly mfl., 2019). | 23 |
| 2.12 | Ulike bergartar sin eignaheit til vegfundament. Tal i parantes representerer tal på prøvar resultatata er basert på (Aasly mfl., 2019). | 24 |
| 2.13 | Geologisk oversiktskart med veg- og tunneltrasé teikna inn i svart. Kartgrunnlaget er frå geologisk kartlegging, og fargane representerer ulike bergartssoner. Bilete er henta frå Rise og Steinsland (2019) og modifisert. | 25 |
| 4.1 | Definert fargespekter for tolka hardheit på Ryfast. Gulfarge viser det prosjektet har definert som “normalt fjell”, blå farge viser hardare fjell og raudt/svart viser mjukare fjell. | 48 |
| 4.2 | Tolka hardheit frå MWD-data for salve 1 og 2. | 48 |
| 4.3 | Tolka hardheit frå MWD-data for salve 3. | 49 |
| 4.4 | Tolka hardheit frå MWD-data for salve 4 og 5. | 49 |
| 4.5 | Område 1: Diabasgang ved Drammen-Kobbervikdalen. Tolka hardheit øverst og geologisk kartlegging i tunnel nederst. | 51 |
| 4.6 | Område 2: Diabasgang ved Drammen-Kobbervikdalen. Tolka hardheit øverst og geologisk kartlegging i tunnel nederst. | 52 |
| 4.7 | Område 3: Diabasgang ved Drammen-Kobbervikdalen. Tolka hardheit øverst og geologisk kartlegging i tunnel nederst. | 52 |
| 4.8 | Definert fargespekter for tolka hardheit på Drammen-Kobbervikdalen. Gulfarge viser det prosjektet har definert som “normalt fjell”, blå farge viser hardare fjell og raudt/svart viser mjukare fjell. | 53 |

Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Stein er ein av verdas mest brukte naturressursar og vert rekna som ein føresetnad for dei aller fleste byggeprosjekt. Samtidig som norske sand- og grusførekomstar minkar og fører til auka transportavstandar av steinmassar, vert det kvart år teke ut om lag 19 millionar tonn stein frå tunnel som i hovudsak vert dumpa (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019). Til samanlikning utgjer dette nesten ein tredjedel av Noregs årlege behov for byggeråstoff (Erichsen, 2018).

Tunnelstein kan dermed seiast å vere ein lite utnyttta ressurs. I tillegg opplevast tunnelstein ofte som ei kjelde til utfordringar for utbyggarar og entreprenørar i anleggsbransjen. Dagens prosjekt endar ofte opp med å måtte handtere all tunnelstein som avfall på grunn av utfordringa med å finne passende bruksområde for massane (Rohde mfl., 2019). Med dagens store tal planlagde tunnelprosjekt vil denne “sløsinga” av ressursar utgjere ein stor post i det økonomiske reknskapet, så vel som i miljøreknskapet for tunnelprosjekt. Norsk Forening for Fjellsprenge-ningsteknikk (NFF) har i den samanheng sett i gang eit arbeid med å skaffe ei oversikt over moglegheiter og avgrensingar ved utnytting av tunnelstein. Denne masteroppgåva vert gjennomført på bakgrunn NFF sitt ynske om auka fokus på området.

Vidare er det også sett i gang andre prosjekt som tek føre seg tema kring utnytting av tunnelstein både i Noreg og i andre land. Dette viser at utnytting av tunnelstein er ei utfordring både nasjonalt og internasjonalt. Eit av desse prosjekta er prosjektet “Kortreist stein”, eigd av Veidekke Entreprenør AS og leia av SINTEF Byggeforsk. Kortreist stein-prosjektet har fokus på overskotsmassar, deriblant tunnelstein, for ein energieffektiv materialproduksjon og optimal bruk av ikkje-fornybare bergressursar (SINTEF, 2017). I tillegg kan det nemnast at International Tunneling and Underground Space Assosiation (ITA) har gjort eit arbeid innan utnytting av tunnelstein med grunnlag i den potensielle gevinsten for tunnelprosjekt med tanke på kostnadsreduksjon, mogleg inntekt og miljøeffektar (Rohde mfl., 2019).

ITA beskriv at potensielle moglegheiter for utnytting av tunnelstein blant anna er relatert til kvaliteten til tunnelsteinen, drivemetode, handtering og transport (Rohde mfl., 2019). Dette gjer utnytting av tunnelstein til ein kompleks praksis med omsyn til klassifisering, lagring og bearbeiding. Det er i dag manglande kunnskap om eigna bruksområder og effektiv praksis for vidare bruk av denne typen massar. Tunnelstein vert derfor i mange land automatisk rekna som avfall og dermed behandla som avfall. Ved å auke kunnskapen om moglegheiter og utfordringar knytt til utnytting av tunnelstein, og korleis slike massar kan brukast vidare i og utanfor prosjektets rammer, kan ein stimulere til utnytting av tunnelstein som den ressursen det er.

1.2 Problemstilling

Dette arbeidet vil derfor adressere problemet med tunnelstein som ein uutnytta ressurs. Arbeidet vil handle om å auke forståinga for kva som kjenneteiknar tunnelstein, korleis ressursen vert utnytta, kva utfordringar og potensiale som ligg i utnytting av tunnelstein og kva som må til for å oppnå ei auka utnytting. Arbeidet vil ha eit overordna perspektiv og forsøke å samle trådar frå eksisterande arbeid, samt tilføre noko ny data for forskingsfeltet.

Hovudproblemstillinga for arbeidet er satt til:

“Korleis utnytte tunnelstein betre som ressurs?”

For å besvare dette, er det utarbeida fem forskingsspørsmål som er rekna som viktige for problemstillinga. Desse er nummerert F1 til F5 og vert presentert i det følgjande.

1.2.1 F1: Korleis er ressursen tunnelstein utnytta i dag?

For å kunne vurdere tunnelstein sitt potensiale som ressurs, er det viktig å få eit bilete på situasjonen slik den er i dag. Det er derfor gjort eit arbeid for å kartlegge korleis tunnelstein er utnytta ved tidlegare prosjekt, både gjennom litteratur, e-post korrespondanse og kvalitative intervju. I samband med dette er det også sett på korleis ein bør bedømme utnyttingsgrad med omsyn til optimal ressursutnytting.

1.2.2 F2: Kva utfordringar er det ved utnytting av tunnelstein?

Før ein kan seie noko om korleis tunnelstein kan nyttast eller om den i det heile teke bør nyttast, er det viktig å få oversikt over utfordringane denne typen massar fører med seg. Det er derfor undersøkt kva som er dei sentrale utfordringane ved utnytting av tunnelstein. Dette er gjort gjennom litteraturstudie og kvalitative intervju.

1.2.3 F3: Kva føresetnadar bør ligge til grunn for å oppnå god utnytting?

I forskingsspørsmål 3 vert det undersøkt kva føresetnadar som er viktige for at eit prosjekt skal kunne oppnå god utnytting. Kva rolle utgjer til dømes bergarten, og korleis kan planleggingsprosessen påverke utnyttinga av tunnelstein? Dette er nokre av spørsmåla som vert stilt her. Dette forskingsspørsmålet tek også opp strategiar eller metodar, utanfor prosjektorganisasjonen, som kan stimulere til auka utnytting av tunnelstein. Undersøkinga er utført ved litteraturstudie og kvalitative intervju.

1.2.4 F4: Korleis vurdere tunnelstein si eignaheit?

For å vite kva den aktuelle steinmassen kan nyttast til, er kunnskap om kva som gjer tunnelstein eigna eller ueigna, og korleis teste dette, essensielt. Det fjerde forskingsspørsmålet tek derfor føre seg viktige eigenskapar ved tunnelstein for utnytting, og korleis desse eigenskapane kan testast og vurderast. Det var her eigentleg planlagt eit felt- og laboratoriearbeid for å sjølv kartlegge nokre eigenskapar ved ubehandla tunnelstein, men dette vart ikkje mogleg grunna covid-19. Det er derfor vald å sjå nærare på ein metode for tidleg bedømming av tunnelstein sin kvalitet ved hjelp av bordata frå Measure While Drilling (MWD). Denne metoden er lite

utprøvd, men er interessant for dette arbeidet då den potensielt kan bidra til auka utnytting av tunnelstein.

1.2.5 F5: Kva potensiale har tunnelstein som ressurs?

Til slutt vert det diskutert kva potensiale tunnelstein har som ressurs, med bakgrunn frå dei tidlegare forskingsspørsmåla. Dette omfattar kva bruksområde tunnelstein kan vere eigna til, samt kva gevinstar ein kan få for prosjekta og samfunnet ved ei auka utnytting. Dette er eit viktig spørsmål for hovudproblemstillinga i den form av at ei auka bevisstheit av potensiale for tunnelstein som ressurs, vil kunne motivere til auka innsats for utnytting av ressursen.

1.3 Avgrensing

Dette arbeidet famnar over eit stort tema, med mange forhold som kan vere av betydning. Det er derfor valt å avgrense arbeidet litt ved å sette hovudfokuset på stein frå norske tunnelprosjekt som har nytta konvensjonell driving med boring og sprenging. Dette er også hovudfokuset til NFF, som har vore ein viktig bidragsytar for arbeidet.

Vidare har covid-19 hatt litt å seie for dette arbeidet, ved at planlagd felt- og laboratoriearbeid fall vekk berre ei veke før planlagd gjennomføring. I tillegg har ein merka belastinga av utbrotet ved at informantar er meir travle og mindre tilgjengelege for intervju.

1.4 Oppbygging av oppgåva

Oppgåva er i stor grad bygd opp etter IMRoD-modellen (SEKOM, udatert), men med nokre unntak.

Etter introduksjon i Kapittel 1 vert litteraturstudie presentert som eit sjølvstendig kapittel i Kapittel 2. Dette er eit vanleg oppsett for mange typar rapportar, men medfører at metoden for litteraturstudiet ikkje vert nemnt før resultatane av metoden vert presentert. Det er likevel vald å halde på ein struktur som vil vere kjent for mange lesarar, for å gjere det lettare å navigere i oppgåva. Dersom det er ønskeleg å få eit innblikk i metode for litteraturstudiet før innhenta litteratur vert presentert, er metoden for dette å finne i kapittel 3.1. Litteraturstudiet bygger på ei prosjektoppgåve innan same tema, som vart gjennomført hausten 2019 av samme forfattar som eit forberedande arbeid til denne masteroppgåva. Nokre av delane til litteraturstudiet er derfor like som den nemnte prosjektoppgåva.

Vidare presenterer Kapittel 3 dei tre nytta metodane, med tilhøyrande svakheiter. Deretter kjem de resterande resultatane i Kapittel 4, med resultat frå e-postkorrespondanse, kvalitative intervju og MWD-analyse.

Kapittel 5 presenterer så diskusjon av resultatane frå alle metodane. Diskusjonen er delt opp etter dei fem forskingsspørsmåla beskrive over, og fører til ein konklusjon i kapittel 6. Til slutt vert anbefalingar til vidare arbeid presentert i kapittel 7.

Litteraturstudie

Dette kapitlet presenterer innhald frå kjeldene funne i litteraturstudiet. Innhaldet som vert presentert er det som er sett på som relevant for å kunne svare på forskingsspørsmåla.

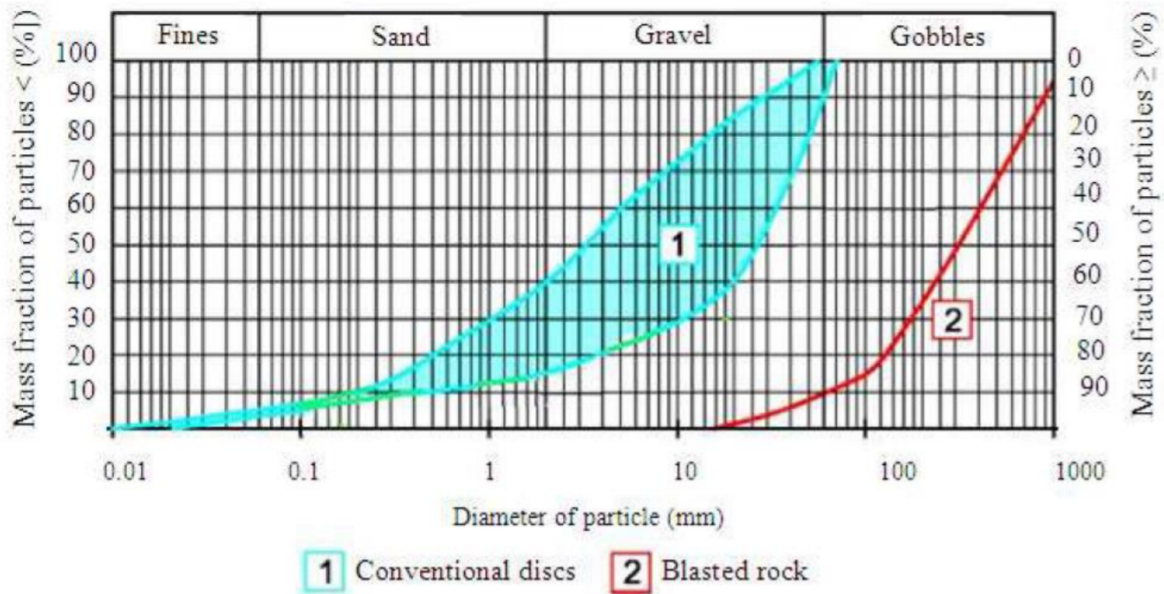
2.1 Avgjerande eigenskapar for stein som byggemateriale

For å kunne seie noko om kva formål ulike massar eignar seg til, er det ei rekkje eigenskapar og parametarar som vert avgjerande. Ifølgje rettleiaren “Forundersøkingar og bruk av kortreist stein” av SINTEF og NGU (Aasly mfl., 2019) er steinmaterialet si eignaheit avhengig av materialet si kornform, steinstorleik, mekaniske eigenskapar og bestanddelar. Her vert slike parametarar og eigenskapar til massar presentert.

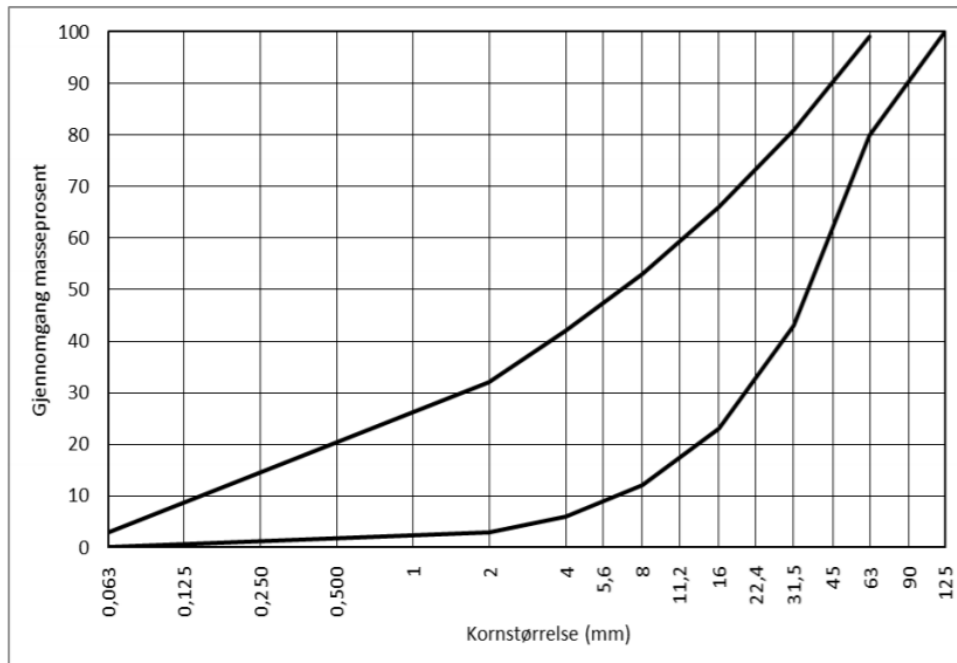
2.1.1 Korngradering

Korngradering av eit materiale er definert av Statens vegvesen som “*Masseandel i prosent av standardiserte kornstørrelser i en masseprøve*” (Statens vegvesen, 2014). Korngraderinga vert nytta til å beskrive og klassifisere massetypar innan spekteret av kornstorleik frå leire til blokker. Ofte framstiller ein fordelinga med mengd korn som ein funksjon av kornstørrelse som plottast inn som ei kumulativ korngraderingskurve, slik det er vist i figur 2.1.

Massar si korngradering er svært avgjerande for kor godt eigna dei er til ulike formål og dei fleste bruksområder for granulært materiale set krav til ei viss korngradering. Til dømes set Statens vegvesen krav til at materiale som skal nyttast som 0/63-fraksjon i forsterkingslag i veg, skal ha ei korngraderingskurve innafor dei to heiltrukne linjene i figur 2.2. Ei slik korngradering skal sikre god drenering, stabilitet, lastfordelende eigenskapar og frosteigenskapar. Korngraderinga er altså viktig for ei rekke av eigenskapane til massane. Til dømes vil eit høgt finstoffinnhald gi dårleg drenering, potensielt høgt poretrykk og dermed dårlegare stabilitet (Statens vegvesen, 2018a). Eit anna døme er at ei einsarta korngradering vil føre til dårlege eigenskapar med omsyn til stabilitet og lastfordeling.



Figur 2.1: Samanlikning av korngraderingskurver for tunnelstein frå TBM-drift (1) og konvensjonell drift med boring og sprenging (2) (Rohde mfl., 2019)



Figur 2.2: Krav til korngradering for fraksjon 0/63 til bruk i forsterkingslag ferdig utlagt på veg frå håndbok N200 (Statens vegvesen, 2018a)

2.1.2 Kornform

Fleire kjelder peikar på ei rekke geometriske eigenskapar til steinkorn som viktige faktorar for kor godt massen vil eigne seg til ulike formål (Janoo, 1998; Rohde mfl., 2019; AASHTO, 2013). Desse geometriske eigenskapane vert ofte beskrive med kornform, angularitet og overflatetekstur som beskriv korna si utforming på ulike nivå. Kornform er etter Statens vegvesen sin definisjon, ei betegnning på forholdet mellom flisigheit (bredde/tjukkeleik) og stenglegheit (bredde/lengd) (Statens vegvesen, 2014). Tjukkeleiken er då den minste maskevidda i stavsiktet kornet kan passere, medan bredda er den minste maskevidda i det maskesiktet som kornet kan passere. Kornets lengd vert målt direkte mellom dei to kantane med størst avstand. Figur 2.3 illustrerer kornformbeteikninga som er forklart her.

Angularitet beskriv skarpheiten av kantane til kornet (AASHTO, 2013). I Noreg vert dette ofte angitt med betegnningar som meget kanta, kanta, kantavrunda, avrunda eller meget avrunda (Statens vegvesen, 2014). Overflateteksturen er formbeteikninga på det minste skalerte nivået og vert oftast beteikna med ru eller glatt overflate (Bæverfjord mfl., 2011; Statens vegvesen, 2014). Figur 2.4 syner samanhengen mellom dei tre nivåa av korn sine formeigenskapar.

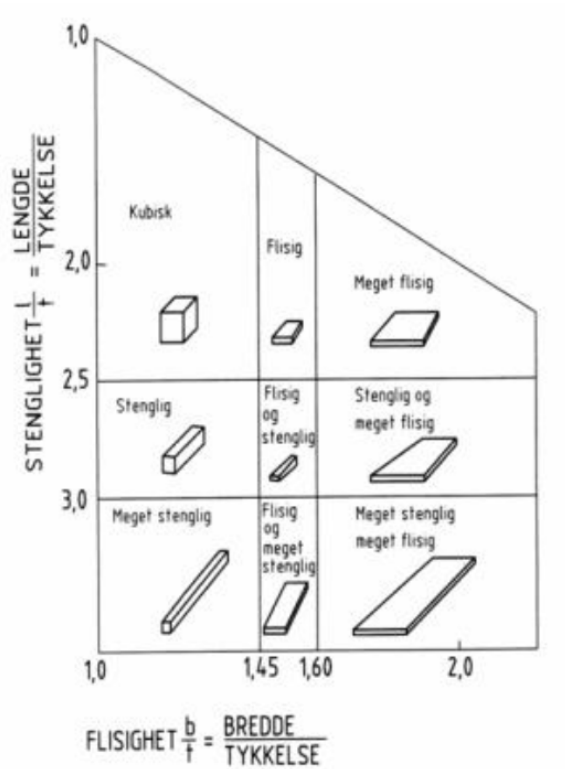
Desse geometriske eigenskapane vil ha stor innverknad på massane sitt potensiale innan dei fleste bruksområde. Til dømes trekkjer ITA (Rohde mfl., 2019) fram at den elongerte forma, vanleg for TBM-massar, vil vere lite gunstig til bruk som tilslag i betong. Dette er på grunn av at det dannar parallelle plan i kornstrukturen som fangar meir vatn og fører til svakheiter i betongens struktur. Bellopede og Marini (2011) beskriv at også overflatestrukturen og angulariteten er avgjerande. Ei ru overflate og skarpe hjørne vil gjere bindinga mellom sement og aggregat betre, men på same tid redusere støypeligheiten, noko som fører til at det trengs meir vatn og sement, som igjen fører til auka kostnader (Bellopede og Marini, 2011).

Der massar skal nyttast som granulært materiale i til dømes vegbygging, vert også dei geometriske eigenskapane avgjerande for til dømes stabiliteten og motstandsemna mot nedknusing. Også her vil elongerte eller flisige korn vere ugunstige grunna dårlege stabilitetsegenskapar. Avrunda korn med glatt overflatestruktur er heller ikkje heldig då lite friksjon mellom korna gjev dårleg stabilitet (Statens vegvesen, 2018a).

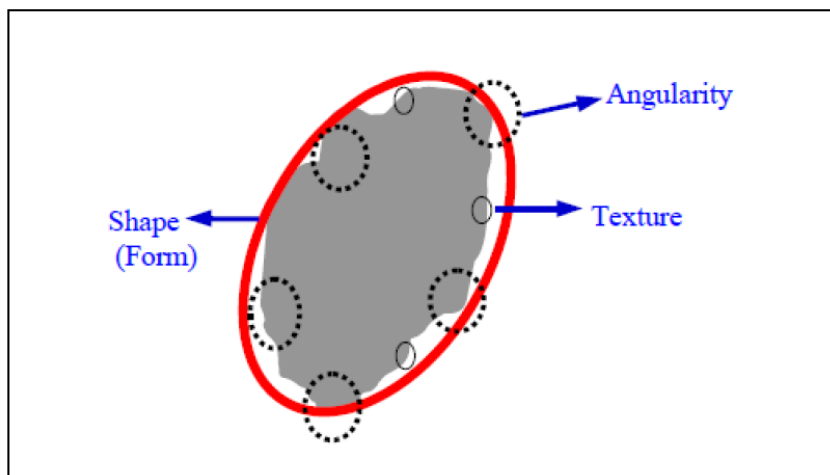
2.1.3 Mekanisk styrke

Ifølgje ITA (Rohde mfl., 2019) er massar sitt potensial for bruk avhengig av variasjonar i geologien, blant anna grunna den mekaniske styrken. Frå hard, krystallinsk eller metamorfe bergartar til mjuke eller sedimentære bergartar vil brukspotensialet variere frå stort til ingen.

Steinmassar sin mekaniske styrke er altså i hovudsak avhengig av geologiske parametarar, som bergart og mineralsamansetning. Noko av det som gjer den mekaniske styrken avgjerande for massar sitt potensiale for vidare bruk, er steinmassane si evne til å motså nedknusing og slitasje (Statens vegvesen, 2018a). Dårlig motstand mot nedknusing og slitasje vil kunne føre til auka finstoffinnhald, som kan gjere massane sensitive for vatn og utvasking. Dette gjeld særleg formål innan vegbygging, der den mekaniske styrken som regel vert vurdert ved testar som Los Angeles- og Micro-Deval-test.



Figur 2.3: Kornformbeteikningar som definert i Statens vegvesen si håndbok R210 (Statens vegvesen, 2014).



Figur 2.4: Form (Shape), angularitet (Angularity) og overflatetekstur (Texture) på ulike nivå (Little mfl., 2003).

2.1.4 Petrografi og forureining

Petrografi er beskrivelse og klassifisering av bergartar. Dette kjem ofte fram ved å undersøke mineralsamansetning og struktur i steinprøvar (Statens vegvesen, 2014). Som nemnt, vil mineralsamansetninga påverke steinmateriale sin mekaniske styrke, men den petrografiske undersøkinga er også nyttig av andre grunnar. Særleg er det nyttig i samband med ingeniørgeologiske rapportar for tunnelarbeid då det kan avgjere bergarten sin respons på sprengingsarbeid. Til dømes kan ein avdekke om sprengingsarbeidet kan føre til finknusing av massane eller om utsprengt masse kan innehalde skadelege mineral. Det er såleis viktig for å kunne vurdere steinmateriala sin kvalitet og om den vil kunne avgi sur avrenning eller anna forureining.

Petrografien vil også kunne fortelje om kor helseskadeleg massane vil vere å arbeide med, både under driving og handtering av massane (Oggeri, Fenoglio og Vinai, 2017). Særleg vil tilstadeverelse av fibrar (asbest), kvarts og radioaktive mineral kunne gjere drivinga og handteringa av massane utfordrande med omsyn til helse og miljø.

Nokre mineralsamansetningar kan også gi massane auka gjenbrukspotensiale som råmateriale i industri. Bellopede og Marini (2011) trekkjer til dømes fram at granitt inneheld mineral som kvarts og feltspat som kan nyttast til å framstille glas og keramiske material. Det er likevel sjeldan at tunnelstein vert nytta som råmateriale i industri (Bellopede og Marini, 2011).

2.2 Tunnelstein sine eigenskapar

Med tunnelstein meinast her den steinen som vert generert frå driving av tunnel i fjell. Mengda generert tunnelstein frå driving av tunnel er avhengig av tunnelens tverrsnitt, lengd og andre strukturelle element som luftesjakter, rømmingsvegar og tekniske rom. Som regel utgjør dette enorme mengder masse. For å best mogleg kunne seie noko om kva potensiale slike massar har innan gjenbruk, må ein fyrst ha kunnskap om kva som kjenneteiknar denne typen massar. Vidare vil typiske trekk for tunnelstein presenterast, med bakgrunn i litteraturen. Det er særleg lagt vekt på tunnelstein frå boring og sprenging.

2.2.1 Korngradering

Tunnelmassar si korngradering er svært varierende og er avhengig av mange variablar. Blant anna er den avhengig av geologi i tunnelsona og drivemetode (Rohde mfl., 2019). Geologien i området er, ifølgje fleire kjelder, noko av det mest styrande for korngraderinga til tunnelmassane (Oggeri og Ronco, 2010; Riviera mfl., 2014; Rohde mfl., 2019). Til dømes trekkjer ITA fram dei store forskjellane mellom hard krystallinsk stein, mjuk sedimentær stein og lausmassar. Vidare vil drivemetodar som fullprofilboring med TBM, boring og sprenging eller utgraving i lausmassar gi store forskjellar i korngradering. Variasjon i korngradering mellom boring og sprenging mot TBM-drift er illustrert i figur 2.1. Som ein kan sjå frå denne, vil tunnelmassar frå TBM-drift ofte vere meir velgraderte med meir finstoff enn ved konvensjonell drift. Ved TBM-drift vil korngraderinga i stor grad verte påverka av tekniske maskinparametrar, som kuttaravstand og matekraft i tillegg til geologiske faktorar og tverrsnitt (Rohde mfl., 2019). Grunna knuseprosessen ved TBM-drift vil desse massane ikkje innehalde dei større blokkene ein ofte finn ved boring og sprenging.

Konvensjonell drift skjer, ifølgje Oggeri og Ronco (2010), oftast i fjell og gir ei vid fordeling av kornstørrelsar med både finstoff og blokker. Korngraderinga vert i stor grad påverka av den naturlege strukturen til sprekkesystem i fjellet (Oggeri og Ronco, 2010). ITA skriv i sin rapport (Rohde mfl., 2019) at korngraderinga til tunnelstein frå boring og sprenging også er avhengig av tunnelverrsnitt, boreholsdiameter, boremønster samt spesifikk ladning (kg sprengstoff pr. kubikk fjell). Vidare kjem det fram at hovudparten av massane ofte vil vere i form av grus og blokker, og at det generelt vil vere liten andel i fraksjonane sand og siltige massar (Rohde mfl., 2019).

2.2.2 Kornform

ITA (Rohde mfl., 2019) trekk fram at tunnelstein frå TBM-drift vil ha meir elongert og flisige kornformer enn den steinen som kjem av boring og sprenging. Tunnelstein frå boring og sprenging er følgeleg meir kubiske. Sjølv om massane sine geometriske eigenskapar i stor grad er avhengig av bergart og den naturlege strukturen til sprekkesystemet i fjellet (Oggeri og Ronco, 2010), vil det høge energinivået ved sprenging generelt bidra til ei kantete utforming med høg friksjon. Vidare vil sprengingsenergien kunne føre til at tunnelsteinen vert oppsprukken. Dette, saman med skarpe kantar, gjer at tunnelsteinen er utsett for nedknusing ved handtering, transport og kompaktering (Rohde mfl., 2019).

2.2.3 Mekanisk styrke

Den mekaniske styrken er i hovudsak avhengig av geologiske parametarar som bergart og mineralsamansetning. Tunnelstein som kjem frå boring og sprenging vil i dei aller fleste høve vere frå hardt til svakt berg. Nokre typiske verdiar for einaksial trykkstyrke til ulike skandinaviske bergartar er presentert i tabell 2.1. Betong er lagt inn til samanlikning.

Tunnelstein frå boring og sprenging vil som nemnt verte påverka av sprengingsenergien og sprekkar kan oppstå (Rohde mfl., 2019). Dette vil påverke steinen sin mekaniske styrke. Akkurat kor stor verknad dette har på trykkstyrken er likevel vanskeleg å seie, då det vil variere med steintype og lademengd.

2.2.4 Forureining

Som nemnt kan geologi og mineralsamansetjingar føre til at tunnelsteinen fører med seg utfordringar knytt til forureining ved avrenning eller helseskadeleg arbeidsmiljø. I dei tilfella tunnelar vert drive i fjellområde med mineral og kjemiske samansetjingar som reknast som skadeleg for miljøet, vert massane klassifisert som avfall og dermed behandla deretter (Rohde mfl., 2019).

I tillegg til utfordringar knytt til naturlege mineral og kjemiske samansetjinar, vil også drive-metode føre med seg nye element av forureining. Ved konvensjonell driving er denne delen av forureininga særleg representert av sprengstoffrestar og søl frå sprøytebetong (Rohde mfl., 2019). Sprengstoffrestar inneheld mellom anna kjemiske komponentar som ammonium og nitrat som vil kunne gjere avrenningsvatnet skadeleg for miljøet. Søl frå sprøytebetong vil påverke avrenningsvatnet ved å gjere det meir basisk. I tillegg vil sprengingsarbeid føre til plastikkavfall i røysa frå innpakning og leidningar av plast. Vidare vil injeksjonsmasse som vert nytta til forinjeksjon kunne gjere at tunnelmassane vert kontaminerte av blant anna polymerar og tilsetningsstoff. Dette er noko som også kan vere tilfellet for driving med TBM (Rohde mfl., 2019).

Tabell 2.1: Densitet og typisk styrke for skandinaviske bergartar (Rohde mfl., 2019).

| Bergart | Densitet | Einaksial trykkstyrke |
|---------------------|------------|-----------------------|
| | $[g/cm^3]$ | $[MPa]$ |
| Gabbro | 3,15 | 180 - 300 |
| Amfibolitt | 3,15 | 100 - 250 |
| Basalt | 3,10 | 190 - 400 |
| Diabas | 3,10 | 160 - 260 |
| Grønnstein | 2,85 | 170 - 280 |
| Glimmerskifer | 2,80 | 20 - 80 |
| Dolomitt | 2,80 | 60 - 300 |
| Fyllitt | 2,75 | 20 - 80 |
| Kalkstein og marmor | 2,75 | 50 - 180 |
| Granitt og Syenitt | 2,75 | 100 - 250 |
| Gneiss (mørk) | 2,75 | 80 - 200 |
| Gneiss (lys) | 2,70 | 80 - 200 |
| Kvartsitt | 2,65 | 130 - 250 |
| Sandstein | 2,60 | 75 - 160 |
| Betong | 2,40 | 30 - 60 |

2.3 Kartlegging av eigenskapar

Potensialet til tunnelstein for gjenbruk er altså avhengig av ei rekke faktorar, som geologi, mineralsamansetjing, tekstur, kornform, hardheit og styrke, samt kjemisk samansetjing (Rohde mfl., 2019). For optimalisert utnytting av tunnelstein som ressurs, må slike eigenskapar kartleggast for dei aktuelle massane. Grunna store variasjonar frå prosjekt til prosjekt, samt innad i prosjekt frå salve til salve, er det naudsynt med prøvetaking og omfattande testing av massane for å kunne finne det beste formålet for gjenbruk. Her vert det presentert testprosedyrar med bakgrunn i tilgjengeleg litteratur.

ITA har i sin rapport omtala prosedyrar for testing og evaluering i ulike prosjektfasar (Rohde mfl., 2019). I planleggingsstadiet av eit prosjekt vil det vere naudsynt å gjennomføre geologisk kartlegging, undersøkingar, prøvetaking og testing. Formålet med dette er å klassifisere og evaluere potensialet for gjenbruk og kva tunnelstein frå området vil kunne nyttast til.

Vidare bør det gjennomførast ei evaluering av risiko og moglegheiter, med omsyn til miljø, for å identifisere potensielle problem og moglegheiter med tanke på handtering og bruk av massane (Rohde mfl., 2019). Dette dannar grunnlaget for å utarbeide ein miljøplan samt overvåkingsplan relatert til handtering og bruk. I utføringsfasen legg desse planane føringar for byggherre og entreprenør om korleis massar skal overvåkast, testast og handterast vidare for å best mogleg utnytte ressursen på ein sikker måte.

2.3.1 Vanlege testmetodar

ITA nemner ei rekkje vanlege testmetodar som vert nytta for å evaluere massane sine eigenskapar og kartlegge eventuelle problem og moglegheiter med tanke på vidare bruk. Nokre av desse er lista opp under.

- Einaksial trykktest
- Elastisitetsmodul
- Punktlasttest
- Poisson Ratio
- Hardheit
- Korngraderingsanalyse
- Finstoffinnhald
- Standard Proctor
- Flisigheitstest
- Formindeks
- Los Angeles-test
- Mikro-Deval-test
- Overflatetekstur
- DRI - Drilling rate index
- Borsynk (DRI)
- Densitetsmåling
- Absorpsjon av vatn
- Fryse- og tinetestar
- Alkalireaktivitet
- Kjemisk analyse
- Petrografisk analyse
- Porøsitet og permeabilitet

Særleg trekkjer ITA fram behovet for kjemisk analyse i linja som viktig for å oppdage eventuelle skadlege komponentar i massane. For byggeformål vert det også viktig å undersøke tilstadeverelsen av alkalireaktive mineral, då dette vil vere lite gunstig i bruk som betongtilslag (Rohde mfl., 2019).

Oggeri og Ronco (2010) dreg også fram viktigheita av å gjennomgå ei omfattande planlegging av massehandteringa for underjordiske prosjekt. Planlegginga bør ifølgje dei omfatte miljømessige saker, bruk av landområde, sparing av naturressursar og ta føre seg effekten alle desse elementa kan ha på den økonomiske balansen til prosjektet. Dei argumenterer for å tenkje miljøvennleg ved å peike på at den reduserte innverknaden på dei kringliggande områda vil kunne skape større aksept for den underjordiske konstruksjonen.

Vidare beskriv Oggeri og Ronco at undersøkingar av tunnelsona vert utført både før og under utføringsfasen. Målet av forundersøkingar er i hovudsak å skissere geologiske formasjonar, geomekanisk karakterisering av grunn, hydrologiske forhold og fastsette drivemetode. Dei meiner at gjenbruk og handteringa av tunnelsteinen sjeldan vil kunne sjåast på som bindande i bestemmelsesprosessen til tunnelprosjekt. Likevel beskriv dei at dette elementet vil ha ein så stor innverknad på logistikken, samt det miljømessige og økonomiske aspektet av utførsla, at planlegging av kvalitet og kvantitet for framtidig tunnelstein vert ein av designfaktorane.

Som oftast bidreg boring frå overflata, boring langs tunnelaksen, geofysiske undersøkingar, geostrukturelle undersøkingar og hydrogeologiske undersøkingar med eit fullverdig sett av informasjon for å definere mogleg gjenbruk (Oggeri og Ronco, 2010). Då eignaheita av massane til ulike formål er avhengig av dei faktiske eigenskapane og homogenitet under drivinga, vil

det vere naudsynt med jamnleg inspeksjon av massane. Den daglege inspeksjonen består gjerne av visuell inspeksjon og ei forenkla geologisk klassifisering. Dette støttast så av jamnleg prøvetaking og laboratorietesting.

Etter klassifiseringa av massane direkte frå stoff er det vanleg at massane vert bearbeida ved t.d. knusing, vasking og sikting. Dette gjer at massane igjen må testast for å garantere at kvaliteten svarer til det formålet massane er tiltenkt iht. gjeldande standardar (Oggeri og Ronco, 2010). I tabell 2.2 er det vist kva testar med tilhøyrande standardar som vart nytta til denne kvalitetssikringa ved Bodio behandlingsanlegg i Gotthard-prosjektet.

Tabell 2.2: Testar og standardar nytta for kvalitetssikring ved Bodio, Gotthard Base Tunnel (Oggeri og Ronco, 2010).

| Testmetode | Standard |
|----------------------------|---------------------------|
| Fragmenteringsindeks | Modifisert AFNOR s.18-579 |
| Punktlastindeks | ISRM |
| Los Angeles-test | EN 1097-2 |
| Petrografisk analyse | SIA |
| Korngraderingsanalyse sand | SIA 162.311 |
| Korngraderingsanalyse grus | SIA 162.311 |
| Geometriske eigenskapar | EN 933-6 |
| Alkalireaktivitet | AFNOR s.18-588 |
| Einingsvekt | EN 1097-6 |
| Vassinnhald | EN 1097-6 |

Bellopede og Marini (2011) har gjort eit arbeid for å undersøkje eignaheita av tunnelstein til gjenbruksformål, både med og utan bearbeiding. Gjennom fem case-studiar har dei teke ut prøvar frå ulike prosjekt før behandling, etter behandling ved eit fast behandlingsanlegg og etter behandling ved eit mobilt behandlingsanlegg. Med grunnlag i ei analyse av EN-standardar om aktuelle testmetodar for dei ulike bruksområda, valde dei å utføre følgjande testar for å karakterisere tunnelsteinen:

- Petrografisk analyse
- Korngraderingsanalyse
- Flisigheit og formindeks
- Motstand mot nedknusing ved LA-test

2.3.2 Rettleiar: Forundersøkingar og bruk av kortreist stein

I desember 2019 publiserte SINTEF i samarbeid med NGU rettleiaren “*Forundersøkingar og bruk av kortreist stein*” (Aasly mfl., 2019) i samband med Kortreist stein-prosjektet. Formålet med rettleiaren er å støtte planleggjarar av infrastrukturprosjekt til å utnytte overskotsmassar betre. Rettleiaren beskriv kva geologiske og materialtekniske forundersøkingar og vurderingar som bør gjerast i dei ulike planfasane og er meint som eit supplement til eksisterande handbøker og rettleiarar om prosjektering av veg- og baneprosjekt. Behovet for eit slikt supplement er grunngeve med at gjeldande rettleiarar og handbøker frå Statens vegvesen og Bane NOR om

forundersøkingar primært er laga med omsyn til ingeniørgeologiske, drivetekniske og økonomiske forhold. Handbøkene og rettleiarane har dermed innehalde få krav og anbefalingar til geologiske og materialtekniske undersøkingar retta mot ressursutnytting.

Å skaffe tilstrekkeleg geologisk og materialteknisk informasjon tidleg nok vert trekt fram som det viktigaste suksesskriteriet for god ressursutnytting. Av den grunn vert det anbefalt at ein allereie i tidlegfasen av prosjekt bør gjere ei geologisk kartlegging og bruksfokuseret karakterisering av materiala. I tillegg anbefalar rettleiaren å lage ein plan for arealdisponering som gjer det mogleg med selektiv mellomlagring av ulike brukskvalitetar. Vidare vert det anbefalt at undersøkingar og kartlegging som allereie vert gjort med omsyn til stabilitet og driving, i større grad burde kombinerast med ei kartlegging av bergmassens tekniske kvalitet og vurderingar av eignaheit til ulike bruksformål. Ved eit slikt tidleg fokus og kartlegging av overskotsmassar si eignaheit til bruk vil ein få moglegheit til å legge ein god plan for massehandtering og få større forutsigbarheit i utføringsfasen (Aasly mfl., 2019).

I rettleiaren vert det også peika på at kva eigenskapar som må vurderast og testast for er avhengig av kva bruksområde som er aktuelle. For lågkvalitetsmassar i til dømes frostsikringslag, filterlag, drensmasse og fyllmasse, vert det sjeldan stilt krav til massen sin mekaniske styrke. Likevel må den vere høg nok for å unngå nedknusing for å tilfredsstille krav til kornfordeling og kornform. For kvalitetsmassar i til dømes veg og bane vert det i tillegg ofte stilt krav til motstand mot nedknusing og slitasje. Bestanddelane i steinmaterialet vert også trekt fram som viktig kunnskap for å vurdere eignaheita til ulike bruksformål, særleg til bruk som betongtilslag. Det er også utarbeida ei oversikt over kva testmetodar som kan vere relevante for massar med ulike bruksformål. Denne er gjengitt i tabell 2.3 og nyttar inndelinga av massetypar frå Kortreist stein-prosjektet omtala i kapittel 2.4.2.

Tabell 2.3: Oversikt over testmetodar for massar til ulike bruksformål (Aasly mfl., 2019).

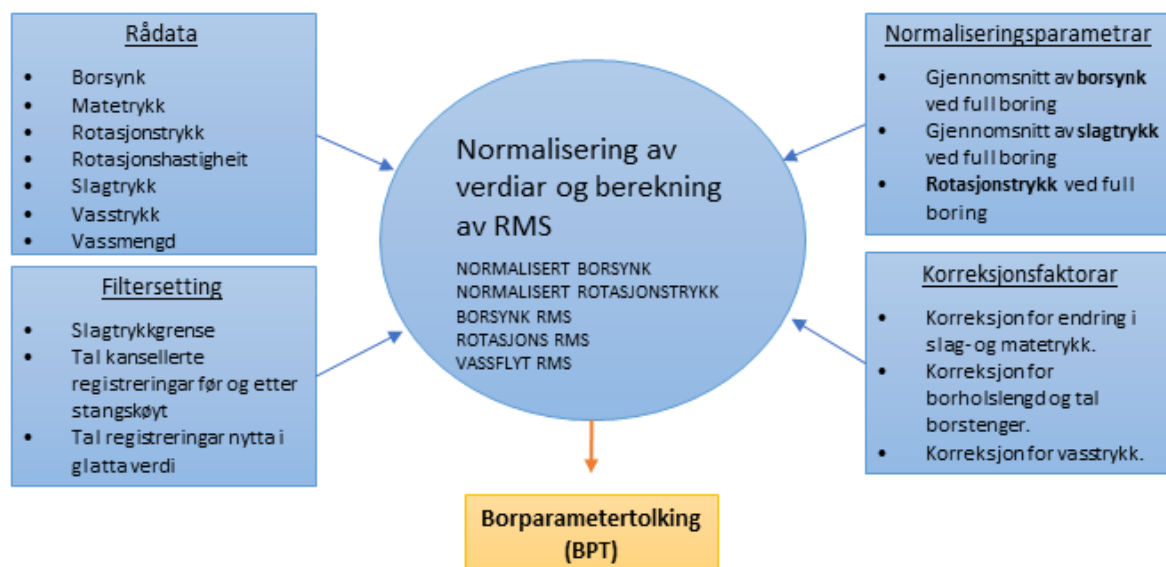
| Bruksformål | | Flisigheits- indeks (FI) | Los Angeles- verdi (LA) | Micro- Deval- koeffisient | Kule- mølle- verdi (An) | Totalt svovel- innhald | Petro- grafisk analyse |
|-------------|---|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| M1 | Egna til betongformål | X | X | | | X | X |
| M2 | Egna til asfalt toppdekke | X | X | | X | X | X |
| M3 | Egna til ballastpukk | X | X | X | X | | X |
| M4 | Egna til bærelag veg og forsterkingslag veg/bane | X | X | X | X | | X |
| M5 | Egna til andre formål (t.d. frostsikringslag, grøftefyll, fyll- og dreneringsmasse) | | X | | | | X |
| M0 | Ikkje egna som byggeråstoff eller forureina fyllmateriale | | | | | | |

2.3.3 MWD-data

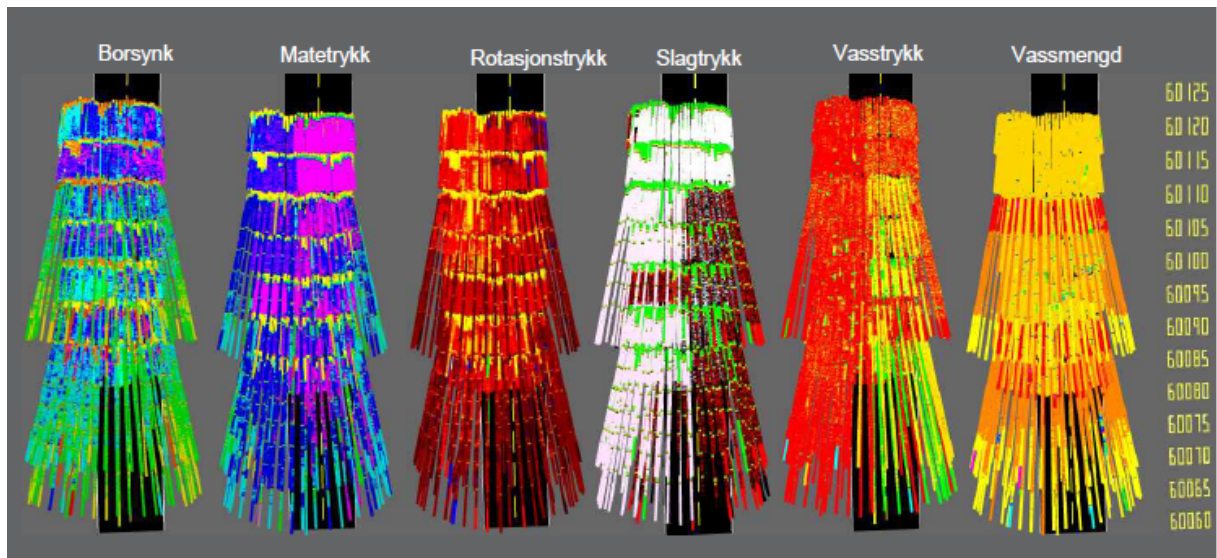
Bordata, også kalla Measure While Drilling (MWD), har vore nytta i tunneldrift mange år og er dermed ikkje ein ny teknologi innan anleggsnæringa (Jakobsen og van Oosterhout, 2018). Ein tanke som derimot er relativt ny er å nytte MWD-data til å vurdere potensialet til tunnelsteinen før salva er skoten og nytte denne informasjonen til å sortere steinen, salve for salve. Dette vart gjort ved E39-utbygginga ved Sveгатjørn-Rådal, ifølgje erfaringsrapporten publisert i forbindelse med Kortreist stein-prosjektet (Rise og Steinsland, 2019).

MWD baserer seg på målingar av ulike parametrar ved boring som vert logga mot posisjonen til borkrona. Parametrane som utgjer rådataen er: Borsynk, matetrykk, rotasjonstrykk, rotasjonshastigheit, slagtrykk, vassmengd og spyletrykk (Jakobsen og van Oosterhout, 2018; Wetlesen, 2011). Figur 2.6 visualiserer rådata frå dei ulike målte parametrane. Denne rådataen vert så sendt frå borrigg til eit system for borparametertolking (BPT). Ut frå borparametertolkinga får ein moglegheita til å visualisere geologiske parametrar som hardheit, oppsprekking og vassforhold i berget ved hjelp av førehandsbestemte fargekodar. Ei slik visualisering er vist i figur 2.7 der tolka hardheit er visualisert med gul farge for normalt berg, blå farge for hardt berg og raud farge for mjukare berg. Det finst fleire leverandørar av slike system, som til dømes Rockma, Sandvik og Bever Control (Jakobsen og van Oosterhout, 2018). I denne masteroppgåva vert Bever Control sitt system nytta og informasjon om borparametertolking kan variere frå andre leverandørar.

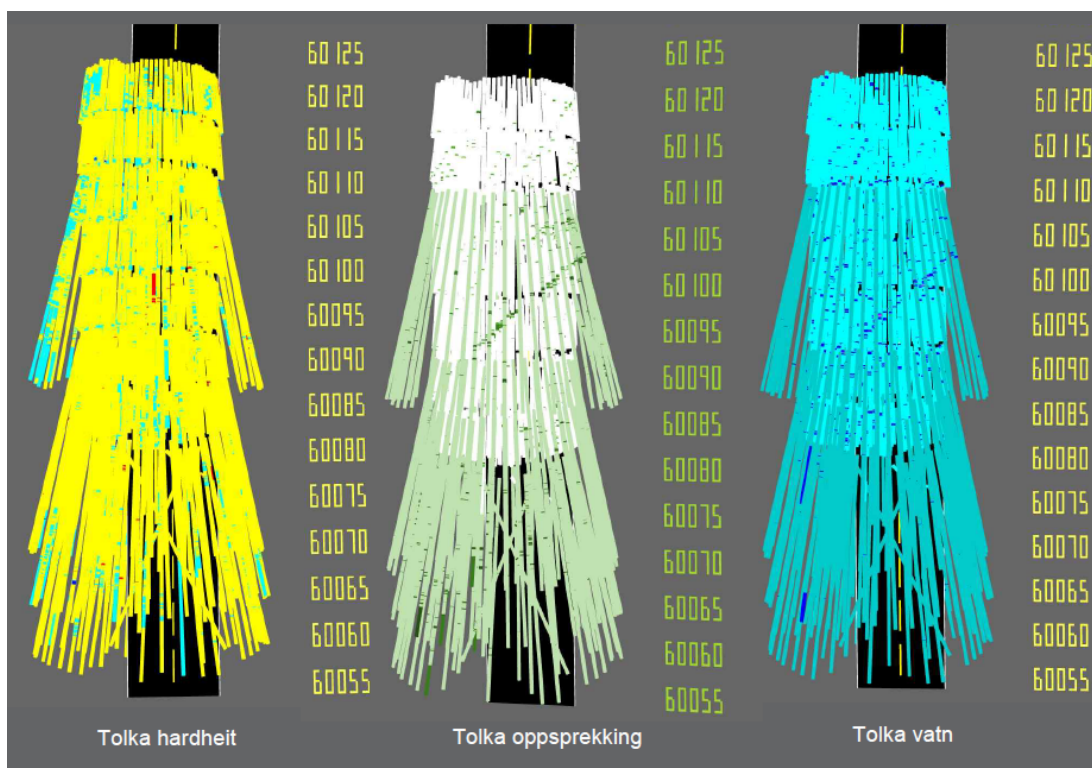
Borparametertolkinga kjem blant anna fram ved å normalisere verdiane frå rådataen samt finne varians/RMS ved ei glidande berekning av standardavvik for dei normaliserte verdiane. Verdiane som skal inngå i tolkinga vert også filtrert for å unngå at til dømes stangskifte skal ha innverknad på tolkinga. Dei vert også korrigerert mot ulike faktorar som har innverknad på tolkinga, som til dømes korreksjon for borholsslengd og omstilling av slagtrykk (Wetlesen, 2011, 2013). I figur 2.5 er det vist noko av det som inngår i borparametertolkinga.



Figur 2.5: Illustrasjon av prosessen til borparametertolking. Basert på dokumentasjon frå Bever Control (Wetlesen, 2011, 2013).



Figur 2.6: Visualisering av rådata henta ut av Bever Control sitt datasett for Skogertunnelen på prosjektet UDK01.



Figur 2.7: Visualisering av BPT av tilsvarende tunnelsparsell som i figur 2.6. Henta ut av Bever Control sitt system for borparametertolkning.

Visualisering av BPT, som vist i figur 2.6 og 2.7, vert blant anna nytta av både byggherre og entreprenør til å forutsjå bergforholda framfor stuff med omsyn til stabilitet og sikringsomfang. Ved å tolke sonderborhol kan ein blant anna få indikasjonar på endringar i bergmassen, framtidige svakheitssoner og vassforhold så langt framfor stuff som borstrengen går (Jakobsen og van Oosterhout, 2018). Det vert derfor ofte sett som eit krav at alle borrhingar skal ha utstyr for MWD. Hovudgrunnen til dette er at dette gjev betre grunnlag for vurdering av bergforhold og dermed bore- og injeksjonsopplegget i tunnelen samt behov for tyngre bergsikring (Rise og Steinsland, 2019).

På E39-prosjektet Sveгатjørn-Rådal er MWD-data også nytta til å forutsjå kvaliteten til tunnelsteinen før utlating. Det vert beskrive at det der er funne god korrelasjon mellom MWD-data og mekaniske testar (Rise, Hovland og Steinsland, 2019). Dei har dermed hatt moglegheita til å sortere steinen salve for salve i gode og dårlege tippar. Til denne sorteringa er det særleg tolka hardheit som har vore nytta.

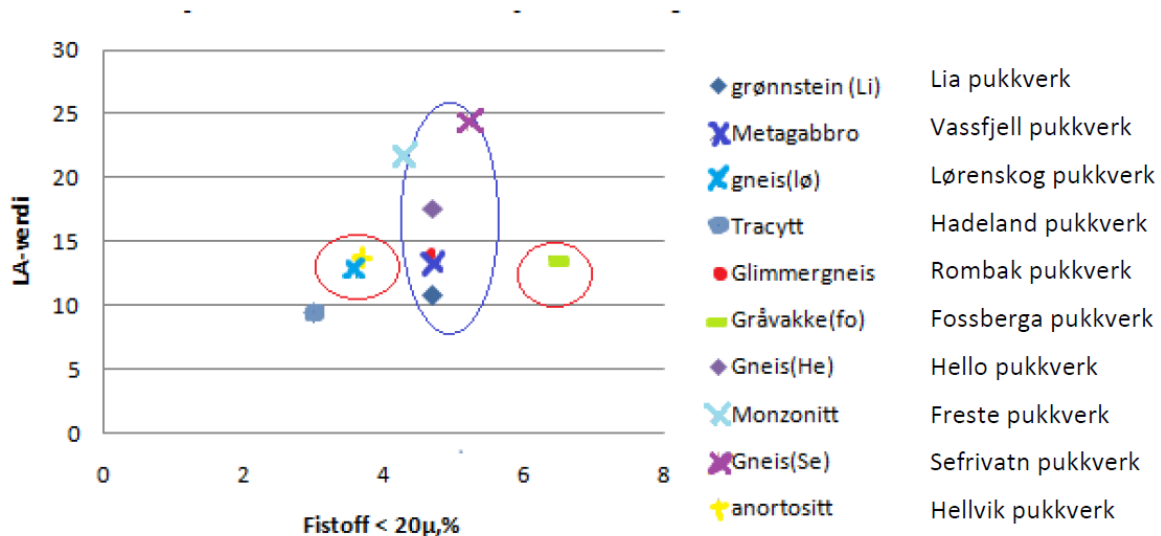
Tolka hardheit er mest basert på normalisert borsynk då ein som regel vil ha låg inndrift i hardt berg og høgare inndrift i mjukt berg. Det er likevel beskrive i dokumentasjon for MWD-systemet frå Bever Control (Bever Control, 2013) at borsynkindeksen også kan vere høg for bergmasse med høg hardheit. I 2010 undersøkte Jouni Valli korleis resultat frå MWD korrelerte med mekaniske testar som schmidt-hammer, einaksial trykktest og punktlasttest (Valli, 2010). Det vart då ikkje funne noko tilfredsstillande korrelasjon mellom MWD-data for tolka hardheit og resultatata av dei mekaniske testane. Det vart likevel funne at MWD kunne nyttast til å skille mellom den homogene bergmassen og ein gangbergart. I NFF sin tekniske rapport nr. 18 (Jakobsen og van Oosterhout, 2018) vert det beskrive at det er funne god samanheng mellom borparametertolka hardheit og kartlagt bergartstype i Lørentunnelen i Oslo. I tillegg vert det også beskrive at ein fann god samanheng mellom tolkinga av MWD og kartlagt/observert geologi på eit tunnelprosjekt i Sørkjosen i Troms. Særleg var borparametertolkinga nyttig til å kvantifisere hardheita på berget og syne mektigheita på større svakheitssoner og skyvesoner. Slepper med fyllmateriale som leire kom også godt fram av tolkinga, medan mindre sprekkar og slepper ikkje kom like godt fram.

2.3.4 Pålitelegheit ved undersøkingar av materialkvalitetar

I forbindelse med Kortreist stein-prosjektet er notatet *“Hvordan oppnå en mer pålitelig bedømming av bergarters mekaniske styrke ved vurdering av overskuddsmasser fra tunnelanlegg”* (Nålsund, 2019) publisert. I notatet vert det diskutert kva for undersøkingar som bør gjennomførast med tanke på bruk av overskotsmassar og kva usikkerheiter og moglegheiter som ligg i både testmetodar og -resultat.

Måling av bergartar sin mekaniske styrke ved Los Angeles-metoden vert spesielt omtala i det nemnte notatet. Fyrste funn er at Los Angeles-verdien er avhengig av steinstorleik og skifrigheit. Det vert beskrive at ikkje-skifrige bergartar vil få ein reduksjon i knusing og dermed auke i LA-verdi ved auka steinstorleik. På andre sida vil skifrige bergartar vise ei auke i knusing og lågare LA-verdi ved auka steinstorleik. Medan Bane NOR nyttar fraksjonen 31,5/50 til LA-test av materiale til ballastpukk, nyttar Statens vegvesen konsekvent fraksjonen 10/14 grunna praktiske årsaker. Ein slik testfraksjon på 10/14mm meiner såleis Nålsund at på ingen måte er representativ for sorteringar med største steinstorleik større enn 32mm.

Det andre funnet knytt til Los Angeles-metoden er at eit steinmateriale sitt potensiale for finstoffproduksjon ikkje har samanheng med LA-verdien for det aktuelle materialet. Dette kjem fram av testar der både LA-verdien og mengd produsert finstoff etter Los Angeles-analyse er målt. Ein kunne då mellom anna sjå at testar med lik LA-verdi kunne variere med nesten 100% mellom minste og største finstoffproduksjon (sjå figur 2.8). Dette skriv Nålsund at heng saman med at knusingsproduktet er av både grus, sand, silt og finstoff, og at den relative fordelinga mellom desse fraksjonane sannsynlegvis avhenger av mineralfordeling og mineralkornstorleik saman med mekanisk styrke. Steinmateriale sitt potensiale for finstoffproduksjon vil vere viktig å kunne vurdere då finstoff har mykje større innverknad på eit steinlags plastiske eigenskapar samt fare for telehiv.



Figur 2.8: Samanheng mellom mekanisk styrke og mengda produsert finstoff ved Los Angeles-analyse. Henta frå Nålsund, 2019.

Det tredje funnet til Nålsund kring Los Angeles-metoden er at bergartar sin mekaniske styrke og dermed LA-verdien vert påverka av vassinnhaldet i bergarten. Ved testing av totalt 19 ulike material til ballastpukk frå ulike pukkerk har Nålsund sjølv undersøkt denne samanhengen. Det vart funne at bergartar med granittisk samansetting og lyse mineral kan få ei auke i styrke når dei syg opp vatn, medan bergartar med høgt innhald av mørke mineral (amfibol) kan få ein betydeleg reduksjon i styrken når dei syg opp vatn. Dei fleste tilfella syner ein reduksjon i styrke ved auka vassinnhald, noko som har vore ein kjent eigenskap i nærmare 80 år. Likevel finnes det ingen variant av Los Angeles-metoden som testar bergarten i våt tilstand, når den potensielt er svakast.

Nålsund trekkjer også fram dagfjellsona sin innverknad på prøvematerialet sin mekaniske styrke. Dagfjellsona er ein del av bergmassen som viser vesentleg større sprekketettheit og permeabilitet enn underliggande fjell. Den breiar seg frå overflateberget og ned til ei varierende djupn. Nålsund beskriv at den kan strekke seg til over 50m under terrengoverflata som ei sone med både synleg og ikkje-synleg forvitring av bergmassen. Dette gjer at bergmassen i dagfjellsona har redusert mekanisk styrke i forhold til underliggande bergmasse. Dette medfører at undersøkingar av bergkvalitet basert på overflateprøvar og prøvar i dagfjellsona kan undervurdere kvaliteten av massane tekne ut under dagsona. Sjølv har Nålsund dokumentert eit par eksempel på fenomenet og har funne at repetert knusing av det same prøvematerialet frå dagfjellsona fører til

at materialet vert sterkare for kvar knusing (Nålsund, 2014). For å få indikasjonar om ein har med materiale frå dagfjellsona eller ikkje, trekkjer Nålsund fram fallhammermetoden som eit gløymt, men godt hjelpemiddel. Då kan ein enkelt måle styrken (sprøheitstalet) av ei prøve, før og etter knusing, og ut frå om endringa er signifikant eller ikkje få ein indikasjon på om prøven kjem frå dagfjellsona eller ikkje.

Eit siste funn som vert presentert i notatet (Nålsund, 2019) er ein observasjon som vart gjort ved blanding av sterke og svake steinmaterial. Tidlegare erfaring tilseier at dersom ein blandar eit svakt materiale med høg LA-verdi med eit sterkt materiale med låg LA-verdi vil ein kunne få eit nytt produkt med ein LA-verdi mellom dei to opprinnelege. Slik skal ein kunne gi svake steinmaterial nytt liv med høgare potensiale for utnytting. Observasjonen til Nålsund gikk derimot andre vegen. Då ein prøve av gabbro med LA-verdi 24,2 og densitet 3,11 vart tilført 10% kvartsitt med LA-verdi 17,3 og densitet 2,63, auka LA-verdien for det nye produktet til 30,1 - heilt i strid med tidlegare erfaringar. Årsaka til dette er ikkje funne, men Nålsund peiker på ulikskapen i densitet og E-modul som ein mogleg faktor.

Med bakgrunn i funna presentert i notatet, kjem Nålsund med fem tilrådingar:

- LA-verdi bør testast på fraksjonar som er lik steinstorleiken i tiltenkt bruksområde.
- Måling av LA-verdi på våte prøvar gjev eit meir realistisk bilete av bergartens styrke enn tørr testing.
- Steinmaterialet sitt potensiale for finstoffproduksjon bør kontrollerast.
- Prøvetaking bør skje under dagfjellsona.
- Det kan ligge utfordringar i blanding av svake og sterke bergartar med forskjellar i densitet og E-modul.

I rapporten "*Produksjon og bruk av overskuddsmasser*" (Alnæs mfl., 2019), frå Kortreist steinprosjektet, vert ulikskapar i produksjonsknust og laboratorieknust materiale omtala. Det vert peika på at fleire studiar viser at testing av styrkeegenskapar for steinmateriale, ved til dømes Los Angeles-test, gjev forskjellige resultat etter om prøven er produksjonsknust eller laboratorieknust. Dei trekkjer særleg fram det pågåande PhD-arbeidet til Marit Fladved som mellom anna har gjort erfaringar med at måten bergmassen vert knust etter utsprenging påverkar kvaliteten til steinmaterialet på ein måte som tradisjonelle testmetodar ikkje fangar opp.

I artikkelen "*Performance-based re-use of tunnel muck as granular material for subgrade and sub-base formation in road construction*" (Riviera mfl., 2014) vert bruken av ytingsbaserte parametrar i staden for tradisjonelle, empiri-baserte parametrar diskutert. Typisk vert materialkrav bestemt ut av normative spesifikasjonar der nøkkelparparametrar, sett etter empirisk korrelasjon med fundamentale eigenskapar, vert vurdert. Denne typen materialkrav er best eigna for tradisjonelle materiale då det er desse som er representert i dei empiriske modellane.

Ytingsbaserte spesifikasjonar baserer seg på parametrar som meir direkte beskriv fundamentale eigenskapar. Materiala vert dermed karakterisert etter parametrar som til dømes elastisitetmodul og eigenskapar knytt til permanent deformasjon. Desse parametranne kan så brukast i matematiske modellar for å kalkulere fundamentale ytingar som spenning og tøyning ved påførte

trafikkklaster, samt miljømessige og strukturelle forhold. På denne måten kan ein finne det forventede ytingsnivået for både tradisjonelle, innovative og resirkulerte material. Slik kan ytingsbaserte testmetodar forhindre at tunnelstein vert utelukka for nye bruksområde, sjølv om dei tradisjonelt ikkje er sett som gunstige for formålet (Riviera mfl., 2014).

Døme på testprosedyrar som oppfyller krava til ytingsbaserte spesifikasjonar er fastsetting av elastisitetsmodul ved treaksial trykktest av gyrotorprøve. Gyrotorkompaktering gjengir ei meir verkelegheitsnær kompaktering av materialet enn vanleg stempelkompaktor og vil dermed lage ein prøve som er meir representativ for dei verkelege, fundamentale eigenskapane ein finn i felten (Riviera mfl., 2014).

2.4 Potensiale innan gjenbruk

Mineralske råstoff utjger, ifølgje sluttrapporten til Kortreist stein-prosjektet (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019), den mest brukte naturressursen i verda, og er ein føresetnad for dei aller fleste byggeprosjekt. Vidare vert det beskrive at det lokalt og regionalt både er overskot og underskot av massar, særleg i nærleiken av dei store byane kan ein oppleve mangel på lokale ressursar. Spesielt norske sand- og grusførekomstar minkar, noko som fører til auka transportavstandar for mineralske råstoff. Samtidig tek Noreg ut ca. 19 millionar tonn tunnelmassar kvart år, som i hovudsak vert dumpa. Dette kan dekke nær halvparten av Noregs årlege byggeråstoffbehov.

2.4.1 Bruksområde for tunnelstein

Prosjekt med tunneldrift omfattar som regel også andre typar konstruksjonar, som til dømes vegar, ramper, fyllingar samt betongkonstruksjonar. Derfor er ofte dei fyrste, aktuelle gjenbruksområda internt på prosjektet (Oggeri, Fenoglio og Vinai, 2017). Tunnelsteinen er ofte av slik kvalitet at den kan nyttast direkte til nokre formål medan andre formål krev bearbeiding av massane, som til dømes knusing og sikting (Rohde mfl., 2019). Blant andre har Oggeri (2017) og ITA (Rohde mfl., 2019) omtala nokre moglege bruksområde som gjev betre verdi enn permanent deponering.

Råstoff i byggebransjen

Som råstoff i byggebransjen reknast mellom anna der tunnelsteinen vert nytta til tilslag i betong, tilslag i asfalt og kvalitetsmassar som ballast i jernbane (Oggeri, Fenoglio og Vinai, 2017). Her vil det vere relativt høge krav til fysiske, mekaniske og kjemiske eigenskapar. Til dømes vil alkalireaktivitet verke negativt på massanes eignaheit som tilslag i betong. Vidare er trykkstyrke og motstand mot nedknusing, saman med korngradering og geometriske eigenskapar, viktig.

Vegbygging og fyllingar

Vegbygging og fyllingar vert ofte det mest økonomisk effektive gjenbruksområde då store tunnelprosjekt som regel også omfattar vegbygging, rampar og fyllingar for å oppretthalde internt og eksternt transportsystem. Her er mange ulike formål tunnelstein kan nyttast, med ulike krav. Grunna trafikkklaster vert massane sin eignaheit i stor grad avhengig av massane sin motstand mot nedknusing, medan korngradering og kornform som regel må tilpassast ved knusing og sikting (Bellopede og Marini, 2011).

Råmateriale til industri

Råmateriale til industri er ein lite nytta gjenbruksstrategi, men det er fleire industriprosessar som kan nytte seg av tunnelstein, avhengig av bergarten og mineralsamansettinga (Oggeri, Fenoglio og Vinai, 2017). Til dømes kan kalkstein og dolomitt vere ein del av prosessar relatert til glas, papir, stål og kjemikaliar. Kiselhaldige materiale kan vere egna til prosessar knytt til glas, kjeramikk, stål, eldfaste og slipande materiale. Eit anna døme er glimmer som kan nyttast innan målingindustrien (Oggeri, Fenoglio og Vinai, 2017).

Landgjenvinning og gjenfylling


Dette bruksområde omfattar blant anna gjenfylling av steinbrot, utfylling i sjø, vollar og skråningar. Ved slike typar gjenbruksområde er det viktig at massane ikkje er av ein art som påverkar hydrogeologiske forhold negativt. Dette betyr at drenering må tilpassast omgivnadane og at massane må ha ein kjemisk samansetning som ikkje skadar miljøet rundt. Her vert lokale og generelle reguleringar for miljø svært viktige med tanke på konsentrasjonsgrenser for forureining i vatn og jord (Oggeri, Fenoglio og Vinai, 2017). Erosjonsvern og skråningssikring er også moglege bruksområde (Rohde mfl., 2019).

Fyllingsdammar

Som del av vasskraftutbyggingar vert det ofte bygga både fyllingsdammar og tunnelar. Det er derfor stort potensiale i å bruke tunnelsteinen frå vasstunnelane som materiale til eventuelle fyllingsdammar (Rohde mfl., 2019).

2.4.2 Verdi av utnytting

Formålet med å utnytte tunnelstein er å gjere om steinen frå avfall til råmateriale med eit verdiskapande formål. For at tunnelsteinen skal kunne nyttast til andre formål enn deponering må dei oppfylle krava for det aktuelle formålet. Erben og Galler (2014) har rangert ulike gjenbruksdestinasjonar etter kva som gjev det mest verdiskapande utfallet. Denne rangeringa er vist i figur 2.9.

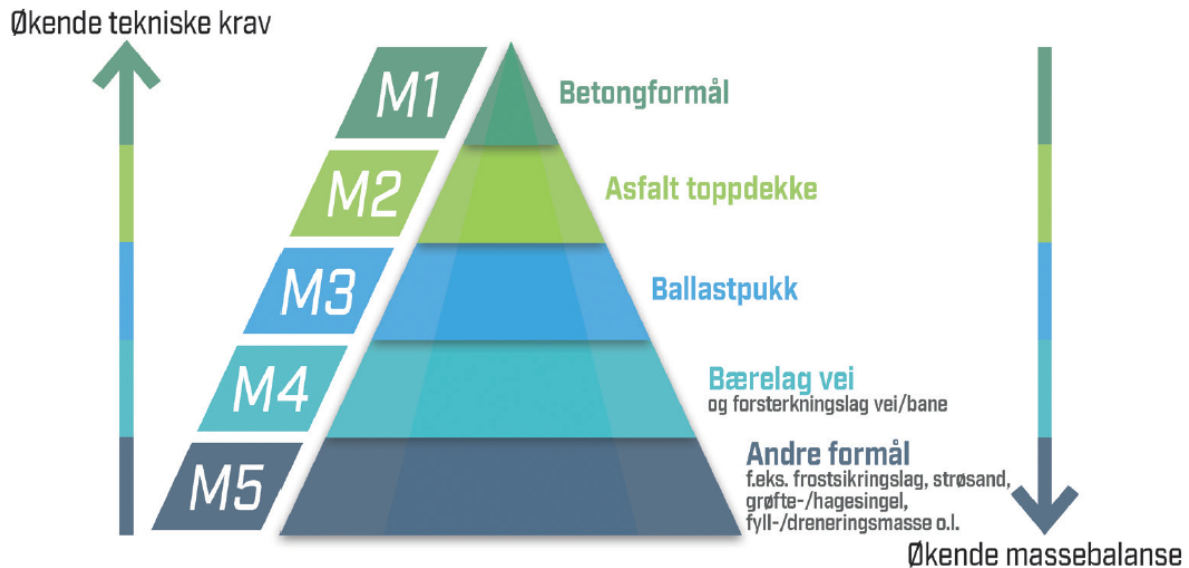


| | |
|-----------|--|
| Class 1: | Reuse as construction raw material on site (aggregates for inner lining and segment concrete, shotcrete, annular gap grout, load-bearing layers, asphalt mixes etc.) |
| Class 1a: | Reuse as construction raw material outside the site (railway ballast etc.) |
| Class 2: | Reuse as an industrial raw material – corresponding to a requirement catalogue of the mineral raw materials industry (gypsum, brick, cement, glass, abrasives, chemical industries etc.) |
| Class 3: | No higher-quality reuse |
| Class 3a: | Material for landscaping: embankment fill, backfilling, road sub-base etc. |
| Class 3b: | Landfill |

Figur 2.9: Rangering av gjenbruksdestinasjonar (Erben og Galler, 2014).

Dei beskriv dermed, som fleire andre (Oggeri, Fenoglio og Vinai, 2017; Rohde mfl., 2019), at den mest verdifulle utnyttinga av tunnelsteinen vil vere som råmateriale i t.d. betongproduksjon, asfalt og kvalitetsmassar som ballast og bærelag internt på prosjektet. Vidare kjem gjenbruk som råmateriale i industri over bruksområde som underbygning i veg, fyllingar, skråningar osv.

Ei liknande rangering er også presentert av SINTEF i forbindelse med prosjektet Kortreist stein (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019). Denne er vist i figur 2.10 og viser kva formål som bør prioriterast for å oppnå optimal gjenbruk. Dette innebærer å utnytte dei teknisk beste materiala til dei formåla som krever spesielt gode funksjonsegenskapar. Det vil seie formål med bunden bruk og bruk som stiller strenge materialkrav. I figuren er såleis formåla rangert frå M1 til M5 med henholdsvis strengaste og lågaste tekniske krav.



Figur 2.10: Rangering av gjenbruksdestinasjonar for optimal gjenbruk (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019).

I rettleiaren “Forundersøkelser og bruk av kortreist stein” (Aasly mfl., 2019) vert også moglege bruksområde for overskotsmassar lista opp rangert etter økonomisk verdi. Denne rangeringa er som følger:

1. **Knuste produkt til bunden bruk:** Dette omfattar bruk som tilslag i asfalt og betong, og er bruksområda med strengast tekniske krav. Slike formål vert dermed rekna som høgverdig bruk.
2. **Knuste produkt ubunden bruk:** Til dømes for bruk i alle ubundne lag ved oppbygging av veg og jernbane. Tekniske krav og bruksverdi varierer frå lag til lag.
3. **Miljøformål:** Omfattar mellom anna bruk av steinmjøl til jordforbetring. Eignaheita er i stor grad avhengig av mineralogi for bergmassen. Også tildekking av forureina sjøbotn er eit aktuelt miljøformål.
4. **Områdesikring og stabilitet:** Til dømes støyvollar, erosjonssikring, murar og forstøtningar kan vere samfunnsnyttige formål.
5. **Etablering av nytt land:** Til dømes etablering av industriområde, bustadområde, rekreasjonsområder eller havneutbygging. Ikkje høgverdig bruk i utgangspunktet, men kan utgjere ein stor samfunnsnytte ved tilførsle av industri, bustadar eller liknande.

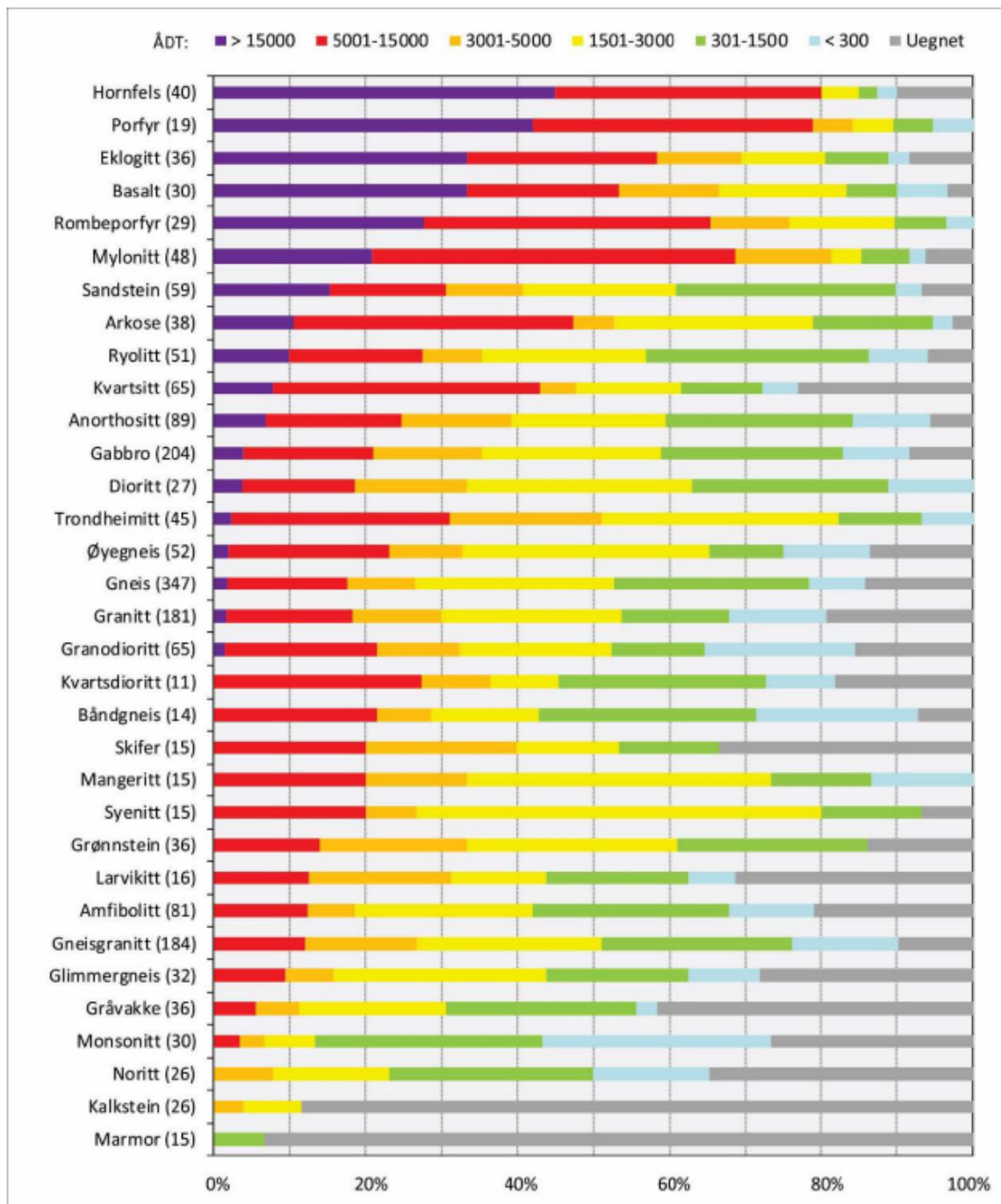
2.4.3 Norske bergartar sine potensiale

I rettleiaren “*Forundersøkelser og bruk av kortreist stein*” (Aasly mfl., 2019) vert Noregs geologi og landets typiske bergartar presentert med tanke på potensiale innan gjenbruk. Der vert det beskrive at Noregs geologi i hovudsak består av prekambriske, kaledonske, devonske og permiske bergartar. Dei prekambriske bergartane er dei eldste og er å finne i delar av Sør-Noreg, på Vestlandet, i Finnmark og enkelte andre område i Nord-Noreg. Hovuddelen av desse er gneis og granitt, men også nokre mørkare bergartar som gabbro, amfibolitt og kvartsitt. Desse bergartane vert beskrivne med vanlegvis gode mekaniske eigenskapar og godt eigna som byggeråstoff, med unntak av nokre gneis-variantar på Vestlandet med høgt glimmerinnhald.

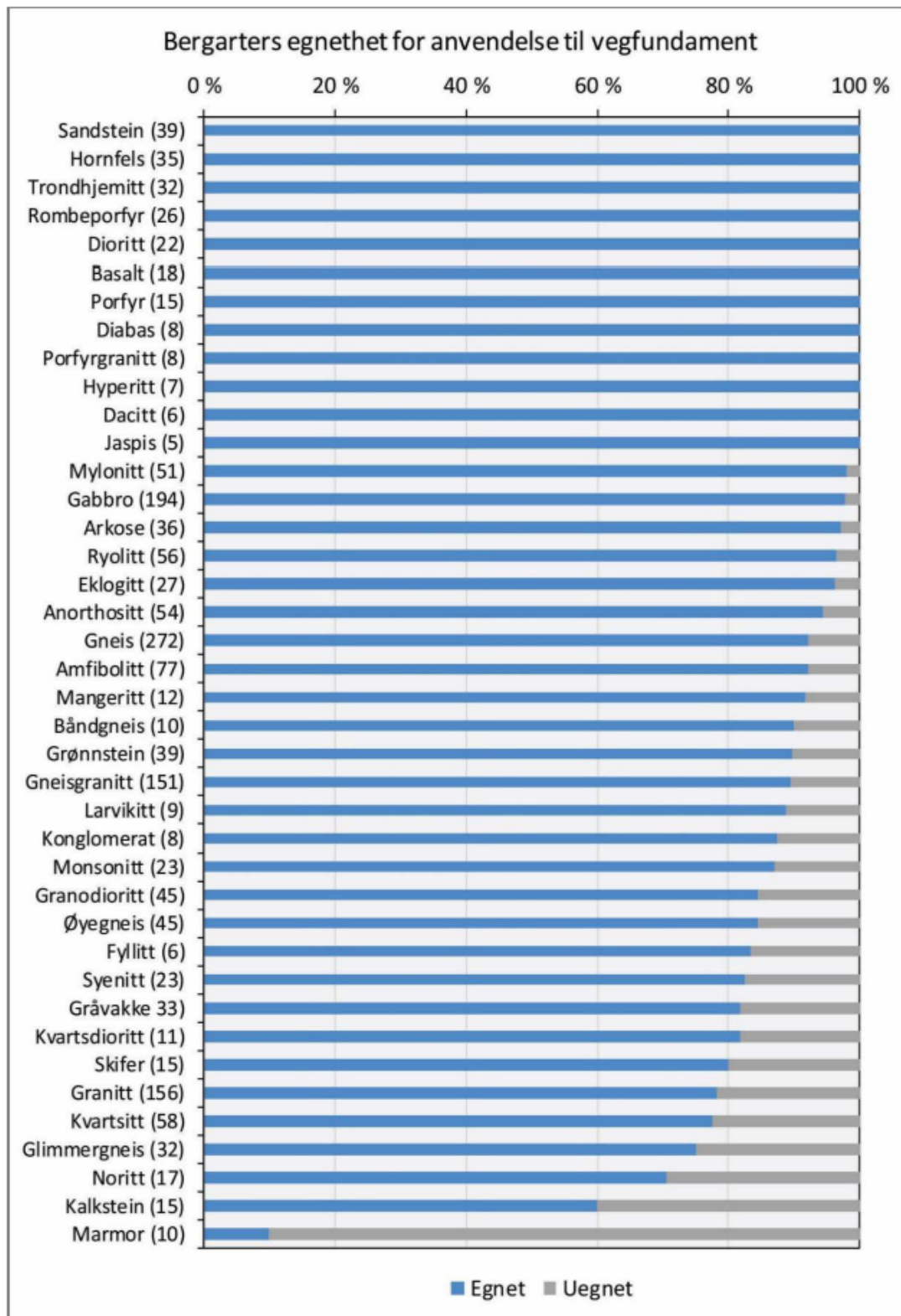
Bergartane som utgjer den kaledonske fjellkjeda gjennom heile Noreg varierer mellom både omdanna sedimentære, magmatiske og metamorfe bergartar. Dei mekaniske eigenskapane vil her variere mykje frå bergart til bergart. Særleg er dei omdanna sedimentære bergartane, som til dømes fyllitt, svake bergartar. Dei magmatiske bergartane vil derimot stort sett vere betre eigna som byggeråstoff.

Dei permiske bergartane er mest representerte i det som vert kalla Oslo-feltet og består av ulike typar magmatiske bergartar som basalt, porfyr, syenitt og diabas. Rundt Oslo finn ein også ulike typar sedimentære bergartar som leirksifer, hornfels og alunskifer. Dei sedimentære bergartane har store variasjonar i mekaniske eigenskapar, medan dei magmatiske bergartane stort sett har gode mekaniske eigenskapar. Både rundt Oslo og i den kaledonske fjellkjeda finst det også karbonatbergartar som marmor og kalkstein som generelt er mjuke og lite eigna som byggeråstoff i veg og bane.

Vidare beskriv rettleiaren at sjølv om enkelte bergartar eignar seg betre enn andre til bruk som byggeråstoff, vil det kunne vere store variasjonar i eigenskapar innanfor same bergartstype. På bakgrunn av testresultat i NGU sin grus- og pukkdatabse vert det presentert to diagram som syner prosentvis kor stor andel av ulike bergartar som viste seg eigna til bruk i vegformål. Figur 2.11 viser ulike bergartar sin eignaheit som bærelag og toppdekke i veg. Då aukande årstdøgntrafikk (ÅDT) gjev strengare krav til bærelag og toppdekke, er eignaheiten i figuren knytt til ulike ÅDT-grupper. Figur 2.12 viser ulike bergartar sin eignaheit til bruk i vegfundament.



Figur 2.11: Ulike bergarter sin eignaheit til bærelag og toppdekke i veg, ut frå gjennomsnittleg ÅDT. Tal i parantes representerer tal på prøvar resultata er basert på (Aasly mfl., 2019).



Figur 2.12: Ulike bergarter sin eignaheit til vegfundament. Tal i parantes representerer tal på prøvar resultata er basert på (Aasly mfl., 2019).

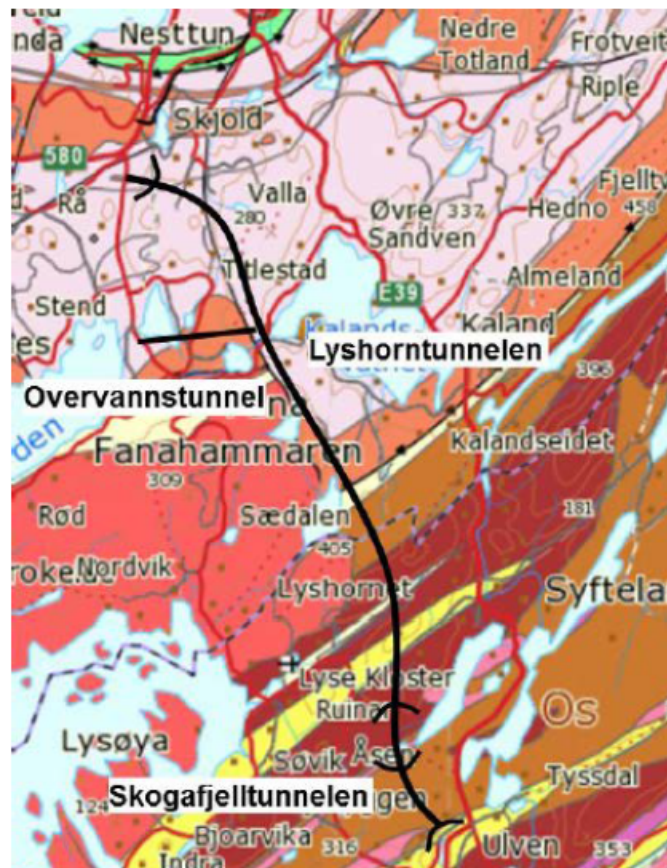
2.5 Kortreist stein: Erfaringar frå E39

I forbindelse med Kortreist stein-prosjektet vart Veidekke-prosjektet K10 på E39 Sveгатjørn-Rådalen nytta som case for å samle erfaringar med bruk av kortreist stein. I rapporten “*Håndtering av lokale masser ved Veidekkes prosjekt E39 Sveгатjørn-Rådalen, K10 Sveгатjørn-Fanavegen*” (Rise og Steinsland, 2019), vidare omtala som “erfaringsrapporten”, vert det beskrive at Veidekke tidlegare har hatt fokus på utnytting av tunnelstein, men at K10-prosjektet er det fyrste der det er utarbeida ei slik systematisk tilnærming til massehandtering med direkte kartlegging og dokumentasjon av kvaliteten under drifta. Her vert K10-prosjektet presentert saman med erfaringar presentert i erfaringsrapporten.

2.5.1 Informasjon om prosjektet

Prosjektet bestod av driving av to vegtunnellar med doble løp: Skogafjelltunnelen på ca. 1430m og Lyshorntunnelen på ca. 9160m. I tillegg skulle det byggast ein tunnel på ca. 1,7km for overvatn mellom Hamre og Fanahammeren, samt 7km veg i dagen.

Totalt skulle det takast ut omtrent 1 800 000 faste kubikk tunnelstein. Massebehovet for vegoppbygginga var anselege til omtrent 350 000 anbrakte kubikk. Tunneltraséane går gjennom fleire kartlagte bergartssoner som vist i figur 2.13.



Figur 2.13: Geologisk oversiktskart med veg- og tunneltrasé teikna inn i svart. Kartgrunnet er frå geologisk kartlegging, og fargane representerer ulike bergartssoner. Bilete er henta frå Rise og Steinsland (2019) og modifisert.

2.5.2 Erfaringar

I erfaringsrapporten vert det skrive at det i kontraktsgrunnlaget for prosjektet er beskrive at tunnelstein frå prosjektet skal nyttast i vegoppbygginga, og at sprengsteinen vil vere godt eigna til dei fleste formål i forsterkningslag og i stor grad brukbart i bærelag. Det viste seg likevel i utføringsfasen at geologien varierte meir enn forventa, og at bergmassen var av dårlegare kvalitet enn beskrive i kontraktsgrunnlaget. Under drivinga vart det særleg erfart at det var stor unøyaktigheit knytt til bergartsgrenser og bergartsbeskrivingar. For å kunne nytte så mykje tunnelstein som mogleg til vegbygging, vart det derfor svært viktig å ha kontroll på kvaliteten av massane som kom ut frå tunnelen. Erfaringsrapporten oppsummerer arbeidsmetodikken som skulle gjere dette mogleg med følgjande steg:

1. Monitorering av bordata (MWD)
2. Prøvetaking
3. Mekanisk laboratorietesting
4. Prioritering av massar og knusing
5. Vegbygging

I kapittel 2.3.3 er bruken av MWD-data på K10-prosjektet nemnt. Erfaringsrapporten beskriv at det er funne god korrelasjon mellom tolka hardheit på bergmassen og LA- og Micro-Devalverdi. MWD-dataa har vist seg å gi gode indikasjonar på bergmassen sin kvalitet og gjort det mogleg å sortere massane i ulike tippar etter kvalitet. Bergmasse med låg borsynk og høg tolka hardheit er plassert i tippar for “gode” massar, medan bergmasse med høg borsynk og låg tolka hardheit er plassert i tippar for “dårlege” massar.

Det vart også etablert ein eigen Geolab på prosjektet som førte til at resultat frå testing av materiale kunne føreligge fortare enn ved bruk av eksternt laboratorie. Etablering og drift av denne utgjorde ein stor utgiftspost, men den førte også til at ein har hatt svært god kontroll på massane. Særleg viktig vart dette når det var store avvik mellom beskriven bergmasse i konkurransegrunnlaget og faktisk bergmasse. Dersom bergmassen hadde vore som beskrive i konkurransegrunnlaget kunne det heldt med 11 prøvar for å overhalde krav om kontrollomfang i handbok N200. På dette prosjektet vart det likevel gjennomført 300 testar for å ha tilstrekkeleg kontroll på tunnelsteinen sin kvalitet.

For å nytte tunnelsteinen vidare i vegbygging har det vorte utført mykje knusing på prosjektet. Ei erfaring kring dette som vert trekt fram er at sortering, bearbeiding og lagring medfører behov for store areal. Desse areala var naudsynt for lagring av tunnelstein til ulike formål samt mellomlagring av ferdigprodukt. For å ha oversikt over eigne lagervarer tok Veidekke i bruk droner for kartlegging. Dette vert beskrive som ein svært nyttig måte å ha kontroll på mengder og kor mykje lagervarer prosjektet har tilgjengeleg.

Vidare har prosjektet gitt erfaringar med finstoffproduksjon for dei ulike massetypane. Ved knusing av det som her vart kategorisert som “gode” massar vart det generert omtrent 30% finstoff, medan dei “dårlege” massane genererte opp til så mykje som 50% finstoff. Dette har vist seg problematisk då finstoffet ikkje er aktuelt for bruksområde innad i prosjektet, samt at deponering av finstoff fører med seg ei rekkje miljøutfordringar. Undersøking av metodar for handtering og utnytting av finstoff er derfor noko som vert etterlyst i erfaringsrapporten.

Ei eventuell vidareføring av Kortreist stein-prosjektet bør ifølgje erfaringsrapporten sjå nærmare på kva bergmassar som finst i dei ulike prosjekta og kva desse kan nyttast til. Til slutt

konkluderer rapporten med at Veidekkes erfaringar viser at det er mogleg å etablere system og rutinar for oppfylgning av tunnelstein som gjev grunnlag for planlegging av ulike typar utnytting.

2.6 Kortreist stein: Sentrale funn

I sluttrapporten for Kortreist stein-prosjektet “*Oppnådde resultat i prosjektet Kortreist stein (2016-2019)*” (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019) vert det presentert fire område som vert sett på som suksesskriteriar for å oppnå bærekraftig bruk av steinmassar. Desse har vore utgangspunktet for arbeidet til Kortreist stein og vil i stor grad vere relevant for denne masteroppgåva. Dei fire områda vert her presentert saman med sentrale funn frå Kortreist stein-prosjektet.

2.6.1 Planlegging

Ifølgje sluttrapporten inneber god planlegging blant anna god kartlegging av geologi. Denne kartlegginga legg grunnlaget for prognosar av kva type bergmasse ein vil finne, kva kvalitet dei har og kva dei kan nyttast til. Planlegginga bør også omfatte tidleg avsetjing av areal til sortering, produksjon og mellomlagring av massar.

For å oppnå forbetra planprosessar med omsyn til tilrettelegging for utnytting av lokale massar presenterer sluttrapporten nokre anbefalingar. Den fyrste anbefalinga er at planmyndigheiten bør bruke plan- og bygningslova meir aktivt ved å sette krav til utnytting av kvalitetsmessig god overskotsmasse. Særleg kan plankart og planbestemmelsar vere med å sikre areal til lagring og prosessering. I tillegg vert det anbefalt at direktoratet for mineralforvaltning og NGU vert inkluderte i høyringar og offentleg ettersyn av samferdselsprosjekt med masseoverskot. Slike tiltak, saman med betre geologisk kartlegging, vil kunne føre til at ein i større grad kan sjå massane som ein ressurs i staden for eit avfall.

Sluttrapporten omtalar også planlegging på regionalt nivå, med Bergensområdet som utgangspunkt. Bergensområdet er trekt fram som ein vekstregion med stor byggeaktivitet. For å oppnå best mogleg utnytting av overskotsmassar vert det gitt råd om at enkeltprosjekt må sjåast i samanheng med andre prosjekt og med lokale og regionale planar. Ved ei undersøking av pågåande og framtidige prosjekt, samt lokale og regionale planar er det blant anna funne at overskotsmassar frå E39 mellom Bergen og Os kan mellomlagrast og nyttast vidare i andre samtidige samferdsleprosjekt. Det vert vidare beskrive at det heilt klart bør utarbeidast ein regional plan for massehandtering i Bergensområdet for å oppnå meir bærekraftig masseforvaltning. Til slutt vert ei svakheit ved situasjonen i dagens planlegging av store samferdsleprosjekt omtala:

Situasjonen i dagens planlegging av store samferdselsprosjekt, som hovudsakelig skjer i statlig regi, er at tiltakshaver ikkje har ansvar for den helhetlige masseforvaltningen, og at det derfor ofte blir valgt enklaste og billigste mulige prosjektløsningar, noe som oftest har vært å deponere overskuddsmassene.

(Rise, Alnæs og Rambæk, 2019, s. 11)

2.6.2 Kontrakt

Vidare vert det beskrive at kontrakta kan bidra til bærekraftig bruk ved å legge til rette for bruk av lokale massar. I utgangspunktet kan bruk av lokale massar foregå ved alle kontraktsformer, så lenge byggherre legg vekt på dette i beskrivingane, passar på at tilstrekkeleg med areal er avsatt og at det er forståing og forankring i heile prosjektorganisasjonen. Likevel vert det peika på at involvering av entreprenør og rådgivar i tidlegfase, helst allereie på reguleringsstadiet, vil kunne bidra til betre kunnskap om massane sine eigenskapar tidleg i prosjektet og auke den lokale utnyttinga. Det vert også viktig å identifisere risikoen knytt til bruk av overskotsmassar, samt avklare kven denne risikoen tilhøyrrer. Til slutt vert det også peika på at kontrakta må vere basert på gjensidig forståing av prosjektet si målsetting og god tillit mellom kontraktspartane.

Ei kontraktsform som vert trekt fram som gunstig med tanke på dette er Integrated Project Delivery (IPD). Ei slik kontrakt bygger mellom anna på at entreprenør og leverandørar vert involverte tidleg og at risikoen er balansert mellom partane ved bruk av målpris. Målpris er ein avtala sum for entreprenørens kostnader som alle kontraktspartane har interesse av å arbeide mot. Eventuelle avvik i negativ og positiv retning vert løyst etter klare rammer som fordeler risikoen mellom partane. Ofte vil ein også arbeide med full openheit kring økonomi. Dette ilag med felles gjennomgang av prosjektet sine mål og felles prosjektleiing vil kunne gi prosjekt der byggherre og entreprenør trekkjer ilag mot eit felles mål om god utnytting av lokale massar.

2.6.3 Kvalitet på lokale massar

Potensialet for tunnelsteinen si vidare utnytting er i stor grad avgjort av kvaliteten på dei lokale massane. I sluttrapporten vert det særleg peika på at det er avgjerande å ha god kunnskap om geologien langs tunneltraséen. For å hjelpe til med vurderinga av lokale massar sitt potensiale og planlegging av bruk er det utarbeida ein rettleiar i samarbeid med NGU. Denne er nøyare omtala i kapittel 2.3.2.

Kortreist stein-prosjektet har også sett på korleis ein ved å optimalisere produksjons- og knuseprosessen i mobile anlegg kan få auka mengde produkt som tilfredsstillar kvalitetskrava. Sluttrapporten nemner blant anna at vidare nedknusing kan forbetre kornforma, både for materiale tatt ut ved sprenging og med TBM. Vidare vert det skrive at knusekonsept bør tilpassast bergmassen og ønska produkt, med val som type knusar og antall knusestrinn. Det same gjeld for val av konsept for sikting, vasking og sortering. Også lagring og handtering av produkta etter knusing og sikting påverkar sluttproduktet. Med optimal produksjons- og knuseprosess meinast produksjon av materialar med lite finstoff, riktig kornform, riktig korngradering og passande fysiske og kjemiske eigenskapar.

2.6.4 Miljøaspektet

Sluttrapporten argumenterer også for at miljøaspektet er eit viktig motiv for alle anleggsprosjekt, både for å redusere klimagassutslepp, motivere til betre ressursutnytting samt redusere transport og trafikkulempar for lokalmiljøa rundt anlegga.

I eit arbeid for å gjere det enklare å planlegge massehandtering med omsyn til miljø, er det utvikla eit berekningsverktøy ved namn SteinLCA. Dette skal kunne nyttast til å berekne utslepp for ulike scenario, og dermed gi eit betre grunnlag for avgjersler innan massedisponering.

2.7 Prosjekteksempel

For å vurdere potensialet til tunnelstein som ein ressurs, er kartlegging av gjenbruken av denne ressursen fram til i dag ein viktig del. Som eit innleiande arbeid for dette, vert det her presentert nokre prosjekteksempel med data frå annan litteratur. Det varierer mellom prosjekta kor omfattande litteraturen omtalar massehandteringa, og for fleire av prosjekta verkar diverre litteraturen å vere lite detaljert eller upresis. Prosjekta som er presentert omfattar både konvensjonell driving med boring og sprenging, samt driving med TBM. Hovudmengda av dataa er henta frå ITA-rapporten (Rohde mfl., 2019) og Kortreist stein sin rapport “*Local use of rock materials - production and utilization*” (Aarstad mfl., 2019).

2.7.1 Gotthard Base Tunnel

Eit godt eksempel på gjenbruk av tunnelstein er prosjektet Gotthard Base Tunnel (Rohde mfl., 2019). Den vart åpna i 2016 som del av den store satsinga på høgfartsjernbane gjennom Alpane i Alp-Transit prosjektet. Tunnelen bestod av to løp på 57km i tillegg til adkomsttunnellar, sjakter og tverrløp. Totalt vart det drive 151km tunnel med både TBM og konvensjonell driving. Til saman vart det teke ut meir enn 14 millionar kubikkmeter med fast fjell.

Prosjektet hadde spesielt fokus på å nyttegjere seg av mest mogleg av den produserte tunnelsteinen, økonomisk optimalisere handteringa av materialet og minimere innverknaden på miljøet. Dette vart gjort ved å implementere tre essensielle strategiar: Nytte betongtilslag frå tunnelmassane, avgrense utslepp frå transport og mellomlagring samt at lyd- og støvutslepp skulle vere innanfor grensekrav. Kostnaden for etablering av behandlingsanlegget og testing er estimert til 8 millionar sveitsiske franc. Inntjeninga frå redusert innkjøp av sand og grus, samt reduserte transportkostnadar er estimert til 100 millionar sveitsiske franc (Rohde mfl., 2019).

Ved prosjektslutt var fordeling av nytteområde for tunnelsteinen om lag slik (Rohde mfl., 2019):

- 20% nytta til fylling og rekultivering internt på prosjektet.
- 32% nytta som tilslag til betongproduksjon.
- 44% seld til tredjepartar til fyllmassar og rekultivering.

2.7.2 Frøsvatn dam

ITA omtalar også den norske utbygging av Frøsvatn dam, ferdigstilt i 1979 som del av utbygginga av Kjela kraftverk. Dammen er ein fyllingsdam med eit totalt volum på ca. 721 000m³. I forbindelse med kraftutbygginga vart det drive tunnelar for vassføring til kraftverket. Omtrent 100 000m³ av massane til dammen var tunnelstein frå desse tunnelane.

ITA (Rohde mfl., 2019) beskriv at rundt 24 000m³ av tunnelsteinen vart nytta som filtersone av knust stein nedstraums, medan om lag 86 000m³ vart nytta som ei overgangssone både opp- og nedstraums.

2.7.3 Follobanen

Eit anna interessant norsk prosjekt som er under bygging, er Follobanen i Oslo. På Follobanen er det drive 20km tunnel med dobbelt løp, der ca. 18km er drive med TBM og ca. 2km med

boring og sprenging. Totalt vert det produsert 9 millionar tonn stein frå drivinga gjennom pre-kambrisk gneiss (Rohde mfl., 2019).

Her er ca. ein tredjedel av steinen planlagd nytta til å førebu byggegrunnen til nye byområde i Oslo. I tillegg vart det etablert eit produksjonsanlegg for å produsere betong til konstruksjonar og betongelement for tunnelsikring. Til dette skulle etter planen mellom 10 til 15% av tunnelsteinen nyttast. Dette vart likevel ikkje mogleg då påvising av magnetkis i 20% av prøvane av tunnelsteinen under driving, saman med påvising av meir enn 0,1% sulfatinnhald, gjorde at massane ikkje var eigna som betongtilslag (Rohde mfl., 2019).

Bruken som fyllmasse til dei framtidige byområda er likevel i gang, og det vert gjort omfattande testing og kontroll av kompaktering ved hjelp av testar som troxler test, korngradering, punktlasttest og standard proctor (Rohde mfl., 2019).

I rapporten frå Kortreist stein (Aarstad mfl., 2019) er det presentert tal om planlagd bruk av tunnelmassar i Follobaneprojektet. Desse er presentert i tabell 2.4. Det må presiserast at dette er planlagd bruk av massane før oppstart, og at det ikkje er teke omsyn til endringar som følgje av uventa geologiske utfordringar som er nemnt tidlegare. Volum er oppført som tilførte massar, truleg rekna ut med ein utvidelsesfaktor på 1,40 - 1,45 (Aarstad mfl., 2019).

Tabell 2.4: Planlagd bruk/deponering av tunnelmassar frå Follobanen (Aarstad mfl., 2019).

| Planlagd bruk/deponering | Volum [am^3] |
|---|------------------|
| Transportert ut til eksterne deponi | 2.000.000 |
| TBM-massar + sprengt stein. Nytta som fylling i linja på Åsland | 750.000 |
| Ikkje redegjort for | 700.000 |
| Midlertidig deponi i steinbrot på Åsland for seinare bruk til etablering av ny bydel | 1.100.000 |
| Betongkonstruksjon | 400.000 |
| Totalsum | 4.950.000 |

2.7.4 Fellesprosjektet, E6/Dovrebanen

I rapporten frå Kortreist stein-prosjektet (Aarstad mfl., 2019) vert fellesprosjektet mellom Bane NOR og Statens vegvesen omtala. Prosjektet omfattar bygging av om lag 22km firefelts veg langs E6 og dobbeltspor jernbane mellom Minnesund i Eidsvoll kommune og Kleverud i Stange kommune. Langs strekninga var det totalt 4,7km jernbanetunnel og 3,5km vegtunnel fordelt på totalt 6 tunnelar. Ein av hovudårsakane til at E6 og jernbana vart bygd parallelt er at overskotsmassar frå vegutbygginga skulle nyttast til bygging av jernbana.

Totalt volum av steinmassar skal vere 5,2 millionar kubikkmeter stein, inkludert tunnelstein og sprengstein frå skjæringar. Av desse er berre 1.1 millionar kubikkmeter sett på som overskotsmasse i prosjektet. Av overskotssteinen er omkring 1 million kubikkmeter av massen lagra nord i Dovrebanen til bruk i bygginga av E6 mellom Kolomoen og Hamar, og om lag $100.000m^3$ er lagra i Eidsvoll til bruk i bygging av Dovrebana mellom Venjar og Minnesund. Innad i prosjektet beskriv Aarstad med fleire (2019) at $3-400.000m^3$ allereie i 2017 var nytta til bygging

av framtidig dobbeltspor. Vidare vert det skrive at om lag $620.000m^3$ materiale frå Dovrebanen er fylt i Mjøsa for bygging av Dovrebanen, samt at om lag $800.000m^3$ av massen er nytta til bygging av den 21km lange E6-strekninga. I tillegg vert det skrive at store mengder har vorte nytta som tilslag i betongproduksjon, men ingen tal vert nemnt.

Til slutt konkluderer Aarstad mfl. at alt materiale er hensiktsmessig plassert og dei gjenverande massane vil bli nytta ved nye veg- og jernbaneprosjekt.

2.7.5 Gevingåsen tunnel

Som del av utbetringa av Nordlandsbanen, vart den nye jernbanetunnelen gjennom Gevingåsen i Trøndelag påbegynt i 2009 (Aarstad mfl., 2019). Tunnelen er 4,4km lang og vart driven ved boring og sprenging. Strekninga vart opna i august 2011 (Svingheim, 2011)

Aarstad mfl. skriv at drivinga av tunnelen resulterte i $350.000m^3$ massar. Vidare vert det skrive at massane ikkje var av særleg god kvalitet, og at alle massane derfor vart transportert til Værnes der Avinor nytta dei i forbindelse med utviding av Trondheim lufthamn.

2.7.6 Strindheimtunnelen

Strindheimtunnelen hadde byggestart i 2009 og er del av riksveg 704 mellom Nyhavna og Strindheim i Trondheim. Tunnelen er bygd med to parallelle løp med to køyrefelt i kvart og er totalt 2,5km lang, der 350m av dette er betong/lausmassetunnel og 2,1km er fjelltunnel (Statens vegvesen, 2018b).

Aarstad mfl. (2019) skriv at det totalt vart teke ut $387.000m^3$ fast fjell og $696.600m^3$ lausmassar. Av dette vart totalt $600.000m^3$ nytta til å bygge ei kunstig øy og ei ny hamn på Grilstad i Ranheim.

2.7.7 Lærdalstunnelen

Frå fylkesarkivet i Vestland er det også funne informasjon om Lærdalstunnelen (Ese, 2018). Den opna i 2000 som verdas lengste vegtunnel med ei lengd på 24,5km og laga ei ny forbindelse mellom kommunane Lærdal og Aurland som ein del av E16, stamvegen mellom aust og vest.

Ese skriv at dei enorme mengdene av tunnelstein utgjorde eit problem. På Lærdal-sida vart dette løyst med å drive eit 2km langt tverrslag frå Tynjadalen og etablere eit deponi for massane der. Der vart om lag 1,6 millionar kubikk deponert. På Aurland-sida vart det drive 10km tunnel som resulterte i om lag $900.000m^3$ massar. $700.000m^3$ av desse vart nytta til å bygge ny veg i Aurland og resten vart fylt i Aurlandsfjorden for å etablere gang- og sykkelsti samt stabilisere eldre fyllingar i fjorden.

2.7.8 Internasjonale prosjektdata

Som ein del av arbeidet til ITA med rapporten “*Handling, treatment and disposal of tunnel spoil materials*” (Rohde mfl., 2019) vart det gjennomført ein spørjeundersøkelse blant alle medlemsnasjonane i ITA for å kartlegge gjenbruk av tunnelstein. Informasjon frå totalt 59 prosjekt vart sendt inn frå 11 ulike land, derav fire prosjekt frå Noreg. Av dei 59 prosjekta var 36 drive med boring og sprenging, 13 med TBM eller EPB, 3 med fresande tunnelmasking (roadheader) og 1 med “cut and cover”. Oversikt over prosjekta si fordeling i gjenbruksgrad er vist i tabell 2.5.

Tabell 2.5: Oversikt over innrapporterte prosjekt med andel tunnelstein nytta til andre formål enn deponering (Rohde mfl., 2019).

| Land | Prosjekt og omtrentleg gjenbruk av tunnelstein | | | | | | Prosjekt totalt |
|---------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| | 100 | 100-75% | 75-50% | 50-25% | 25-0% | 0% | |
| Østerrike | 1 | - | - | - | - | 1 | 2 |
| Tsjekkia | 7 | - | 2 | 2 | 4 | 3 | 18 |
| Danmark | 1 | - | - | - | - | - | 1 |
| Island | - | 2 | - | - | 1 | - | 3 |
| Italia | 7 | - | - | - | - | 1 | 8 |
| New Zealand | - | - | 1 | - | - | - | 1 |
| Noreg | 1 | - | 1 | 1 | 1 | - | 4 |
| Taiwan | 2 | - | - | - | - | - | 2 |
| Tyrkia | 3 | 1 | - | 2 | 2 | 1 | 9 |
| Storbritannia | - | - | - | - | 1 | - | 1 |
| USA | 10 | - | - | - | - | - | 10 |
| Total | 32 | 3 | 4 | 5 | 9 | 6 | 59 |

Metode

Det er her utført eit arbeid kring temaet “Tunnelstein som ressurs” ved hjelp av fleire metodar. Metodane som er nytta er: Litteraturstudie, e-post til bransjekontaktar, kvalitative djupneintervju og analyse av MWD-data. Desse metodane vil verte vidare beskrive i dette kapittelet, saman med vurdering av svakheiter for metodane.

Då arbeidet med dette temaet byrja hausten 2019 i samband med prosjektoppgåva, var det med ein ambisjon om å kunne gjennomføre eit felt- og laboratoriearbeid for å tilføre forskningsfeltet noko meir data om eigenskapane til tunnelstein. Dette var planlagt 19. mars, men vart avlyst då korona-utbrotet førte til strenge restriksjonar for heile samfunnet 12. mars. Analysen av MWD-data vart då tilført som metode for å kompensere for tapet av felt- og laboratoriearbeidet. Korona-utbrotet har også påverka arbeidet ved at planlagde informantar har fått ein travlare kvardag og vorte mindre tilgjengelege for å stille til intervju.

3.1 Litteraturstudie

Litteraturstudiet er gjennomført over to periodar. Fyrste, innleiande perioden var hausten 2019 i samband med prosjektoppgåva som var meint som eit innleiande litteraturstudie til masteroppgåva. Den andre perioden var våren 2020 i samband med denne masteroppgåva.

3.1.1 Innleiande litteraturstudie

Hausten 2019 vart det gjennomført eit omfattande litteraturstudie innan temaet “Tunnelstein som ressurs” i samband med prosjektoppgåva. Målet for dette litteraturstudiet var å kartlegge litteratur som kunne fortelje om korleis situasjonen for utnytting er i dag, korleis vurdere tunnelstein si eignaheit og kva moglegheiter og utfordringar tunnelstein har med tanke på gjenbruk. Litteraturstudiet vart gjennomført i tre steg:

1. Søk i databasar etter litteratur frå relevante prosjekt, som til dømes Kortreist stein, Bærum ressursbank og arbeidet til ITA innan temaet.
2. Vidt søk i ulike databasar og søkemotorar etter litteratur som omtalar tunnelstein, både på norsk og engelsk.
3. Kjedesøk med utgangspunkt i litteratur funne i steg 1 og 2.

Søkemotorar som vart nytta er i prioritert rekkefølge: Oria via NTNU sine nettsider, SINTEF sin søkemotor og Google Scholar. Steg 1 omfatta også vanleg googlesøk for å finne relevante nyhendeartiklar og offentlege dokument som kunne vere publisert om prosjekta.

Det innleiande litteraturstudiet resulterte i eit vidt spekter av litterære kjelder med eit mangfald av perspektiv kring temaet “tunnelstein som ressurs”, frå både norsk og internasjonal litteratur.

Store delar av litteraturstudiet presentert i denne masteroppgåva er derfor henta frå det innleiande litteraturstudiet hausten 2019.

3.1.2 Avsluttande litteraturstudie

I avslutningsfasen av det innleiande litteraturstudie i 2019, vart det publisert ei rekkje rapportar frå Kortreist stein-prosjektet som ikkje vart lagt så mykje vekt på i det innleiande litteraturstudiet. Den andre perioden for litteraturstudiet gikk derfor i stor grad ut på å dreie undersøkinga over på norske forhold og søk i Kortreist stein sine nye publikasjonar. Sjølv om arbeidet til Kortreist stein ikkje utelukkande fokuserer på stein frå tunnel, er svært mykje av arbeidet deira relevant for denne oppgåva. Prosjektorganisasjonen deira er ei samansetjing av fleire sentrale aktørar i den norske anleggsbransjen og informasjonen dei formidlar er rekna for å vere av høg kvalitet. Funn gjort ved søk i deira publikasjonar er derfor vorte lagt vekt på som beskrivande for forhold i Noreg.

3.1.3 Kjeldekritikk

All litteratur er vurdert etter TONE-prinsippet for kjeldekritikk, som går ut på å vurdere truverdigheit, objektivitet, nøyaktigheit og eignaheit (Overland, 2018; VIKO, 2020). Ein kort gjennomgang av TONE-prinsippet, slik det vart vurdert for dette arbeidet, er å finne i vedlegg C. Kjelder som vart vurdert som lite eigna ut frå dette, vart enten utelatne eller lagt mindre vekt på.

Hovudutfordringa for dette litteraturstudiet er at til tross for dei nye Kortreist stein-publikasjonane, er det avgrensa med relevant litteratur frå Noreg på emnet. Forskjellar i til dømes geologiske føresetnadar, bransje, lovverk og samfunnsbehov gjer at ein ikkje treng lenger enn til Danmark for å finne heilt andre forhold for tunnelstein enn i Noreg. Det er derfor ein fare for at den internasjonale litteraturen gjev eit litt anna bilete enn det ein finn i Noreg. Det har derfor vore viktig å vurdere kvar litteraturen kjem frå og kva forhold den omhandlar for å kunne avgjere om den bør utelatast eller om den kan vere ei kjelde for læring.

3.2 E-post til bransjekontaktar

Som del av dette arbeidet, er det henta inn data for utnytting av tunnelstein ved tidlegare tunnelprosjekt. Dette er gjort som ei undersøking via e-post med involverte aktørar for dei aktuelle prosjekta.

3.2.1 Undersøkte prosjekt

Sidan undersøkinga fokuserte på faktisk utnytting av tunnelstein, var det viktig at tunnelprosjekta var avslutta og at endestasjonen for tunnelsteinen var kjent. Likevel var det også viktig at tunnelprosjekta ikkje var for gamle, då dette kunne gjort informasjonen utdatert mtp. at den er meint å beskrive utnyttinga slik biletet er i dag. I tillegg ville det vore vansklegare å oppdrive presis informasjon om eldre prosjekt. Aktuelle prosjekt vart funne ved søk på ulike aktørar (byggheerrar og entreprenørar) sine nettsider, søk i nyhendeartiklar om avslutta prosjekt og gjennom samtale med rettleiar og andre aktørar i bransjen. Prosjekta det er henta inn data frå er:

- Ryfast-utbygginga som omfatta to undersjøiske tunnelar og ein fjelltunnel på land med samla lengd 23,7km.
- Nytt dobbeltspor for jernbane mellom Farriseidet og Porsgrunn, som omfatta sju tunnelar med total lengd 14,5km.
- Rv 80 mellom Hunstadmoen og Thallekrysset, som omfatta Bodøtunnelen på 2,8km.
- E134 mellom Gvammen og Århus, som omfatta Mælefjelltunnelen på 9,3km.
- Nytt dobbeltspor for jernbane mellom Drammen og Kobbervikdalen, som omfattar Skogertunnelen på 6km. Dette prosjektet er ikkje ferdigstilt enda og informasjon er knytt til planlagd utnytting.

3.2.2 Innhentinga

Etter kvart som aktuelle prosjekt vart funne, oppretta forfattar kontakt med ein av dei involverte aktørane ved å sende ein forespørsel via e-post til nokon med eit relevant ansvarsområde på prosjektet. Deretter vart førespurnaden enten besvart direkte eller vidaresendt til nokon dei vurderte som betre eigna til å gi gode svar på førespurnadane.

E-postane som vart sendt inneheldt fyrst ein introduksjon av forfattar med namn og tilknytning til utdanningsinstitusjon, samt ein introduksjon til masteroppgåva. Deretter vart det beskrive kva prosjekt førespurnaden gjaldt og til slutt sjølve førespurnaden. Det vart spurt om informasjon om to ting:

1. Totalt volum stein tatt ut av tunnel på prosjektet.
2. Korleis desse massane er vorte disponert: Kor store mengder av tunnelsteinen er t.d. nytta til spesifikke formål, midlertidig deponert med tanke om framtidig bruk eller plassert i permanente deponi.

3.2.3 Svakheiter ved metoden

Denne innsamlingsmetoden for prosjektdata resulterte i data for utnytting på fem ulike prosjekt. Ei svakheit for metoden er at den er svært avhengig av pålitelegheita til kontaktpersonane då den i hovudsak baserer seg på utsegner i responsen frå desse. Likevel reknast kjeldene for dataa å vere relativt pålitelege då dei er eller har vore direkte involverte i prosjektet dei har omtala.

3.3 Kvalitative intervju

For å undersøke temaet “Tunnelstein som ressurs” i samband med den norske BA-næringa, er det utført intervju med to personar med erfaring frå anleggsbransjen i Noreg. Den nytta intervjuforma er djupneintervju, som ifølgje Tjora (2017) er ein kvalitativ forskingsmetode.

Ifølgje Kvale og Brinkmann (2018) søkjer det kvalitative forskingsintervjuet å forstå verda sett frå intervjupersonen (informanten) sin ståstad. Dei beskriv at eit viktig mål er å få fram betydinga av informantane sine erfaringar og avdekke deira oppleving av verda, før ein tek omsyn til vitenskaplege forklaringar. I dette arbeidet er målet for dei to intervjuar nettopp dette: Å lære av

informantane sine erfaringar, og avdekke deira oppleving av forhold knytt til temaet.

Meir spesifikt er det forhold knytt til forskningsspørsmåla F1-F3 og F5 som er søkt å utforske. Hovudmålet var å hente inn erfaringar med utfordringar (F2) og viktige føresetnadar (F3) ved utnytting av tunnelstein. Dagens situasjon (F1) vart undersøkt ved å høyre om korleis informantane har opplevd fokuset på slik utnytting ved tidlegare prosjekt. I tillegg var det eit mål å få informantane til å reflektere over kva gevinstar ei auka utnytting vil gi for prosjekta og samfunnet elles (F5).

3.3.1 Val av informantar

Til djupneintervju fortel Tjora (2017) at det er viktig å velje informantar som kan reflektere rundt dei temaa som intervjuet er meint å ta opp. Det er derfor viktig at informantane har kunnskap om temaet “Tunnelstein som ressurs”, og at dei har erfaring med forholda som skal undersøkast. I dette arbeidet medfører dette at informantane bør ha vore involverte i tunnelprosjekt, gjerne i ein posisjon som har gjort at dei har måtta ta stilling til forhold kring disponering av tunnelstein.

Av dei informantane som vart vald her, var det to som hadde moglegheit til å stille til intervju. Begge desse har bakgrunn frå byggherresida i Statens vegvesen, men ein av dei to har dei siste åra arbeidd for BMO Tunnelsikring som spesialiserer seg på rehabilitering av tunnelar. Vidare er det kjend at dei to informantane har vore involverte i nylege tunnelprosjekt og det er forventa at dei har godt grunnlag for å reflektere om forskjellige forhold kring temaet. Det er også kjend at ein av informantane har arbeidd mykje med problemstillingar knytt til tunnelstein sitt innhald av plast. Dette er noko som er fokusert lite på i litteraturen, men som er eit interessant tema for dette arbeidet.

Kvale og Brinkmann (2018) beskriv at det ofte er naudynt å beskytte informanten sitt privatliv ved å nytte fiktive namn og endre informanten sine kjenneteikn ved publisering av intervjudata. For intervjuet som er gjennomført her, er det informantane si erfaring som står i fokus, og det vert ikkje teke føre seg tema knytt til informantane sitt privatliv. Etter samtykke frå informantane er det derfor vald å vere open om namn og arbeidsforhold. Dette kan då vere med å danne eit grunnlag for å bedømme pålitelegheit og fagleg tyngde i utsegnene som er presentert.

3.3.2 Intervjumetode

Det er allereie nemnt at den kvalitative intervjuforma, djupneintervju, vart nytta. Denne intervjuforma er del av det Kvale og Brinkmann (2018) kallar for semistrukturerte livsverdsintervju. Dei beskriv at det semistrukturerte intervjuet ligg nær opp til den daglegdagse samtalen, men har eit formål. I “semistrukturert” ligg det at det verken er ein open samtale eller ein lukka spørjeskjemasamtale (Kvale og Brinkmann, 2018). Kvale og Brinkmann skriv også at eit semistrukturert intervju skal dekke ei rekkje planlagde tema og har gjerne nokre forslag til spørsmål gjort klart på forhånd. Likevel er det prega av openheit når det gjeld endringar i rekkjefølgja og formuleringar. Slik kan ein forfølgje dei spesifikke svara som vert givne og dei historiane informantane fortel (Kvale og Brinkmann, 2018). Vidare omtalar Kvale og Brinkmann uttrykket “bevisst naivitet” som eit viktig element i slike intervju. Bevisst naivitet inneber at intervjuaren er open for nye og uventa fenomen for å få så omfattande og forutsetjingslause beskrivingar som mogleg. Intervjuaren bør då vere nysgjerrig og lydhør for det som vert sagt, samt kritisk

til eigne forutsetningar og hypoteser under intervjuet (Kvale og Brinkmann, 2018).

Før kvart intervju vart det dermed utarbeida ein intervjuguide med tema intervjuet skulle omfatte, saman med nokre forslag til spørsmål som kunne vere med å leie dei inn på temaa eller utdjupe desse vidare. Under sjølve intervjuet vart denne intervjuguiden nytta til å halde oversikt over kva tema som var omtala, kva tema som gjenstod og kva område intervjuar ville utforske ytterlegare. Det vart slik mogleg for intervjuar å la informantane fortelje samanhengande om temaa og forfølge dei digresjonane intervjuar fann relevant, utan å miste tråden i intervjuet. Intervjuar utøva bevisst naivitet ved å vere interessert i alt informantane fortalde, sjølv om det var utanfor dei områda som var planlagd på forhånd. Slik la intervjuar til rette for at nye område og fenomen kunne utforskast og at informantane kunne sette lys på område dei meinte var viktige for problemstillinga. Etter ein digresjon mot eit nytt område, vart samtalen enkelt leia inn igjen på dei planlagde temaa ved hjelp av intervjuguiden.

Tjora (2017) beskriv at det ved djupneintervju er viktig å legge til rette for ein avslappa stemning ved intervjusituasjonen. Eit hjelpemiddel som vert nemnt for dette, er å avhalde intervjuet ein stad der informanten føler seg komfortabel. På grunn av situasjonen som oppstod med reisestriksjonar og skjerpa helse råd årsaka av korona-utbrotet, var det ikkje mogleg å gjennomføre intervjuet fysisk ansikt til ansikt. Det vart derfor vald å halde intervjuet over telefon, då det vart antekt at dette var ein samtalsituasjon informantane var vande og komfortable med. Etter samtykke frå informantane, vart samtalen tatt opp for å gjere det lettare for intervjuar å gjengi dataen frå intervjuet mest mogleg presist.

I etterkant av intervjuet har intervjuar skrivt samandrag av det som kom fram av intervjuet. Desse samandraga vart så sendt tilbake til informantane, som kom med eventuelle kommentarar til endringar og godkjente innhaldet. Slik vart det mogleg for intervjuar å forsikre seg om at utsegnene til informantane var tolka rett, og at eventuelle misforståingar vart luka vekk. Samandraga er å finne i vedlegg A og B.

3.3.3 Pålitelegheit og gyldigheit

Sjølv om intervju ofte vil vere prega av informanten og intervjuar sin subjektivitet, argumenterer Kvale og Brinkmann (2018) for at kvalitative intervju kan vere ei objektiv forskingsform. Eit eksempel på korleis ein kvalitativ intervjumetode avgrensar intervjuar sin innverknad på objektiviteten, er informanten si moglegheit til å protestere på spørsmål og fortolking (Kvale og Brinkmann, 2018). Her vart denne moglegheita ytterlegare auka ved at informantane fekk moglegheit til å protestere på intervjuar si fortolking ved at dei vart bedne om å godkjenne intervjuar sitt samandrag av intervjuet. Fortolkinga si pålitelegheit er også avhengig av intervjuar si evne til å trekke logiske slutningar om kva som var meint med utsegna (Kvale og Brinkmann, 2018). I dette tilfellet har intervjuar god kjennskap til temaet etter å ha arbeidd med det i over eit halvår før intervjudatoen. Samtidig har intervjuar ingen praktisk erfaring frå prosjekt med problemstillingar knytt til tunnelstein.

Gyldigheit dreier seg blant anna om at resultatet frå intervjuet faktisk gjev svar på problemstillingane som er ynskt å finne svar på (Tjora, 2017). Intervjuguiden fungerte som eit hjelpemiddel for å halde intervjuet inne på interessetemaet, og for å sikre at intervjuet omfatta alle desse temaa. For å sikre høg gyldigheit, skriv Tjora (2017) at det er viktig å ha fleire teoretiske kjelder. At det berre vart gjennomført to intervju vil nok vere den største svakheita for den samla pålitelegheita

og gyldigheita av denne metoden. Fleire informantar kunne gitt eit meir nyansert bilete av saka, samt større moglegheit til å kontrollere gyldigheita av enkeltutsegn.

3.4 Analyse av MWD-data

Noko som ofte vert trekt fram som ei særleg stor utfordring for utnytting av tunnelstein er uforutsigbarheit og usikkerheit ved kvaliteten til tunnelsteinen gjennom drifta (Rise og Steinsland, 2019; Rohde mfl., 2019; Aasly mfl., 2019). Det er derfor her gjort eit arbeid med å sjå nærare på om MWD-data kan nyttast til å føresjå kva kvalitetar ein kan forvente ved tunnelsteinen, før utkøyring. Årsaken til at dette er ønskeleg er for å tidleg kunne vurdere kva bruksområde den aktuelle massen kan vere eigna til, og dermed gjere det lettare å sortere massane i ulike kvalitetar ved utkøyring.

3.4.1 Undersøkte prosjekt

Analysen har fokusert på to prosjekt: Utbygging av Ryfylketunnelen på Rv. 13 ved Ryfast og UDK01-entreprisen ved Bane NOR si utbetring av Vestfoldbanen mellom Drammen og Kobbervikdalen.

Skogertunnelen, Drammen-Kobbervikdalen

UDK01-entreprisen er ein del av utbetring av Vestfoldbanen og inneberer driving av 7km dobbeltsporetunnel mellom Drammen og Skoger, inkludert kulvertar og portalar. Tunnelstrekninga i berg utgjer ca. 6km med tverrslag og evakueringstunnellar i tillegg. Drivinga av tunnelen starta i desember 2019 og prosjektet er planlagt ferdigstilt i 2024. Drifta vert gjennomført ved konvensjonell driving med boring og sprenging.

Ryfylketunnelen, Rv 13 ved Ryfast

Ryfylketunnelen er ein undersjøisk tunnel som er del av det nye vegsambandet Rv13 Ryfast mellom ny E39 i Stavanger kommune og eksisterande Rv13 i Strand kommune. Tunnelen er 14,3km lang og går mellom Solbakk i Strand og Hundvåg i Stavanger. Fyrste salva for Ryfylketunnelen gikk av i februar 2013 (Statens vegvesen, 2013) og i desember 2019 vart den åpna (Statens vegvesen, 2019). Også her vart drifta gjennomført ved konvensjonell driving med boring og sprenging.

3.4.2 Innhenta data

Ved bruk av Bever Control sitt system “Bever Team Online” er det henta ut MWD-data frå dei to prosjekta. Då mekanisk styrke ofte vert peika på som den mest avgjerande eigenskapen for tunnelsteinen sitt potensiale for vidare bruk, er det “tolka hardheit” som er henta ut her. Kva som ligg til grunn for Bever Control sin “tolka hardheit” er forklart nærare i kapittel 2.3.3. Som samanlikningsgrunnlag er det for Ryfast henta ut resultat frå gjennomførte laboratorietestar på tunnelsteinen. Dette er henta inn via e-postkorrespondanse med representant i Statens vegvesen. Ved Drammen-Kobbervikdalen er det ikkje utført laboratorietestar på same måten som i Ryfast då massane er planlagt brukt til sjøfylling. Der er det derfor vald å hente inn geologisk kartlegging frå tunnelen istaden. Dette er tilsendt frå Bever Control etter godkjenning frå prosjektet sin byggherre, entreprenør og geolog.

3.4.3 Framgangsmåte

Ved hjelp av dei innhenta dataa er det forsøkt å finne ut om Bever Control si tolkning av hardheit frå MWD-data kan brukast til å føresjå kvaliteten av tunnelsteinen som skal sprengast ut av den aktuelle salva. Dette er gjort ved å undersøkje to ulike samanhengar ved kvart sitt prosjekt.

Ryfast: LA-verdi/Tolka hardheit

Ved Ryfast er det undersøkt om det finst ein samheng mellom tolka hardheit frå Bever Control og motstand mot nedknusing (LA-verdi) frå laboratorietestar. Då laboratorietestane var indeksert med pelnummer på salva som prøvematerialet vart henta ut frå, kan ein enkelt lokalisere den aktuelle salva i MWD-dataa. Denne samanhengen vart også kontrollert ved å samanlikne dato for boring av salva og dato for uttak av prøvematerialet. Etter dei aktuelle salvene var lokalisert i MWD-datasettet, vart desse studert i 3D og fargesamansettinga av tolka hardheit beskrive med ord. Desse beskrivingane vart så grunnlaget for samanlikninga med dei tilsvarende LA-verdiane.

Drammen-Kobbervikdalen: Geologiske variasjonar/Tolka hardheit

Ved Drammen-Kobbervikdalen er det nytta geologisk kartlegging for å undersøke om det finst ein samheng mellom tolka hardheit og geologiske variasjonar som endringar i bergart. Då den geologiske kartlegginga er rapportert med same pelnummerering som MWD-dataa er logga med, kan ein finne igjen det same området på kartlegginga som i MWD-dataa. Av den geologiske kartlegginga kom det fram tre tilfelle av bergartsvariasjonar så langt i drivinga av tunnelen. Desse områda vart funne igjen i MWD-dataa med tolka hardheit, som så vart samanlikna med den kartlagte bergartsvariasjonen. Poenget med denne samanlikninga var å vurdere om ein kunne tydeleg kunne sjå dei same formasjonane i fargeendringar for tolka hardheit som dei ein fann i den geologiske kartlegginga.

3.4.4 Svakheiter ved metoden

Denne metoden baserer seg på å samanlikne visualiserte verdiar frå 3D-modellar med enten talverdiar som mål eller geologisk kartlegging. Ei beskriving av den visualiserte tolka hardheita vil ikkje vere like absolutt som ein LA-verdi, og det vil dermed vere vanskeleg å gi ei presis samanlikning. I samanlikninga av geologisk kartlegging og tolka hardheit, vil ein derimot ha to datasett som er meir like i framstillinga og som dermed er enklare å samanlikne. Ei svakheit ved begge samanlikningane er at dei er basert på nokså avgrensa datasett, noko som gjer analysene sårbare for påverknad av enkeltavvik.

Resultat

I tillegg til litteraturstudie, presentert i kapittel 2, er det nytta tre andre metodar for å undersøke aspekt kring utnytting av tunnelstein. Desse er beskrive i kapittel 3 og omfattar datainnhenting om tidlegare utnytting ved e-postkorrespondanse, kvalitative dybdeintervju om tunnelstein som ressurs og analyse av MWD-data si eignaheit for vurdering av tunnelstein. I dette kapitlet vil resultatet av desse tre metodane verte presentert.

4.1 Prosjektdata: Tidlegare utnytting

Som beskrive i kapittel 3.2 er det henta inn data om utnytting av tunnelstein frå tidlegare gjennomførte eller nesten ferdigstilte tunnelprosjekt i Noreg, både ved søk i litteratur og via e-postkorrespondanse med bransjekontaktar.

4.1.1 Prosjektdata frå bransjekontaktar

I tabell 4.1 vert resultat frå undersøkinga via e-postkorrespondanse med bransjekontaktar presentert. Kjeldene er personar som er ført opp som kontaktpersonar for dei gjeldande prosjekta, eller personar forfattar har vorte vidaresendt til på grunn av at dei vart vurdert som betre eigna til å gi eit godt svar. Det vert her vald å ikkje gi personopplysingar om dei spesifikke kjeldene utover dette.

Responsen på spørsmål om endeleg massedisponering har stort sett vore god, og respondentane har vist velvilje med svar på spørsmål om tidlegare prosjekt sitt masseresultat. Det har likevel vist seg utfordrande å få same detaljnivå i dei ulike datasetta. Optimalt sett ville ein hatt eit massereknskap, med spesifikke postar, der all utteken tunnelstein var gjort greie for. Nokre av svara i denne undersøkinga har derimot vore opne for tolking og til tider vore arbeidskrevjande å hente ut eintydige data frå.

Informasjonen frå respondentane er tildels bekrefta ved andre kjelder, men ikkje fullstendig. Til dømes er utbygging av vestfoldbanen Farriseidet-Porsgrunn omtala i rapporten “*Local use rock materials - production and utilization*” (Aarstad mfl., 2019). Der vert det skrive at det i planleggingsfasen vart fastslått at massane ville vere godt eigna som fyllmasse, at dei kunne verte eigna i overbygginga etter knusing og sikting og at det burde undersøkast vidare om massane kunne verte nytta som ballast eller til asfaltproduksjon. Det vert vidare skrive at slike vidare undersøkingar truleg ikkje er vorte gjort og at hovudbestanden av massane sannsynlegvis er nytta som fyllmasse. Dette underbygger delvis informasjonen presentert i tabell 4.1. Vidare kan det peikast på informasjonen frå Bane NOR om at alle 938 000 kubikkmeter tunnelstein frå Drammen-Kobbervikdalen vert fylt ut i Drammensfjorden for å utvide landområdet ved Drammen havn. Dette er bekrefta ved e-postkorrespondanse med personar involverte i prosjektet frå Veidekke, og vert vidare underbygga av søknaden om tillatelse til utfylling av 1,3 millionar kubikk i sjø ved Drammen havn (Fylkesmannen i Oslo og Viken, 2019).

Tabell 4.1: Resultat frå e-post-undersøkinga av utnytting av tunnelstein ved norske tunnelprosjekt. Kjelder oppgir organisasjonen til kontaktpersonen som har kommunisert dataa.

| Prosjekt (Opningsår) | Totalt masse- volum [m ³] | Bruksområde | Volum [m ³] | % | Kommentar |
|---|---|--|----------------------------|-----|---|
| Ryfast SVV (2020) | 4 100 000 | Planlagt brukt i veg og bygging av terminal ¹ | 1 000 000 | 24 | Ryfylketunnelen: Mest gneis, litt fyllitt Eiganestunnelen: Fyllitt Hundvågtunnelen: Fyllitt |
| | | Sjøfylling for bustadområde og badeland. | 1 100 000 | 27 | Mengder er omtrentlege |
| | | Sjøfylling for næringsområde | 2 000 000 | 49 | (Kjelde: Statens vegvesen) |
| Farriseidet- Porsgrunn, Bane NOR (2018) | 3 000 000 | Fyllmasse i jernbanelinja | 700 000 | 23 | (Kjelde: Bane NOR) |
| | | Leverert til næringsområde og Norstone | 500 000 | 17 | |
| | | Permanent deponi | 1 800 000 | 60 | |
| Rv 80 Bodø, SVV (2019) | 478 200 | Sjøfylling for næringsområde | 478 200 | 100 | Stort innhald av kalkglimmerskifer gjer massane ueigna for vegbyggingsformål. (Kjelde: Veidekke) |
| E134 Mælefjell- tunnelen SVV (2019) | 916 000 | Fylling i veglinja | 40 000 | 4 | Total mengd tunnelstein er usikker då det berre er levert målebrev for teoretisk prosjektert mengd. Det er venta minst 10% auking utover dette. (Kjelde: Statens vegvesen) |
| | | Deponi | 425 000 | 46 | |
| | | Vegbyggingsmateriale | 292 000 | 32 | |
| | | Næringsareal privat | 56 000 | 6 | |
| | | Oppbygging av idrettsanlegg | 35 000 | 4 | |
| | | Eksternt vegprosjekt | 20 000 | 2 | |
| | | Privat vidareforedling | 37 000 | 4 | |
| | | Privat landbruk | 11 000 | 1 | |
| Deponerte bunnrenskmassar | 120 000 ² | - | | | |
| Drammen - Kobbervikdalen Bane NOR (2024) | 938 000 | Sjøfylling for hamneområde | 938 000 ³ | 100 | (Kjelde: Bane NOR) |

¹ Kun bekrefta bruk av gneis i vegoppbygging, ikkje fyllitt.² Bunnrenskmassar er ikkje medrekna i totalt massevolum.³ Forventa totalt volum tunnelstein for Drammen-Kobbervikdalen er henta frå Bane NOR sine sider (2018b).

4.1.2 Prosjektdata frå litteratur

I tabell 4.2 vert det presentert data henta frå litteraturen omtala i kapittel 2.7. Litteraturen som er nytta presenterer prosjekta enkeltvis med varierende detaljnivå i datasettet, noko som gjer det vanskeleg å gjengi dataa presist. Det er likevel forsøkt å gjengi dataa så presist og konsist som mogleg.

Tabell 4.2: Prosjektoversikt med data om utnytting av tunnelstein henta frå Aarstad mfl., 2019.

| Prosjekt (Opningsår) | Totalt massevolum [m ³] | Bruksområde | Volum [m ³] | % | Kjelde |
|--|---|--|----------------------------|-----|-------------------------------|
| Lærdalstunnelen, SVV (2000) | 2 500 000 | Vegbyggingsformål | 700 000 | 28 | <i>Kristin Ese, 2018</i> |
| | | Sjøfylling for ny sykkelsti | 200 000 | 8 | |
| | | Permanent deponi | 1 600 000 | 64 | |
| Fellesprosjektet, E6/Dovrebanen (2016) | 5 200 000 ¹ | Planlagt brukt i vegprosjekt | 1 800 000 | 34 | <i>Aarstad mfl., 2019</i> |
| | | Planlagt brukt i jernbane | 100 000 | 2 | |
| | | Sjøfylling for jernbane | 620 000 | 12 | |
| | | Levert som betongtilslag til betongleverandør | N.A. ² | | |
| Gevingåsen tunnel, Bane NOR (2011) | 350 000 | Sjøfylling for flyplass | 350 000 | 100 | <i>Aarstad mfl., 2019</i> |
| Strindheimtunnelen, SVV (2014) | 1 083 000 ³ | Sjøfylling for bustad og hamn | 600 000 | 55 | <i>Aarstad mfl., 2019</i> |

¹ Totalt massevolum inkluderer både tunnelstein og skjæringar (Aarstad mfl., 2019)

² Det er ikkje gitt tal for kor mykje som er nytta som betongtilslag, men Aarstad mfl. (2019) har konkludert med at alle massane er eller kjem til å verte nyttegjort.

³ I totalt massevolum inngår 387 000m³ fast fjell og 696 600m³ lausmassar.

4.2 Intervju: Sentrale funn

Som ein del av dette arbeidet er det utført to kvalitative djupneintervju med personar som har vore involverte i norske tunnelprosjekt og som har erfaringar med ulike problemstillingar knytt til utnytting av tunnelstein. Samandrag av dei to intervju er å finne i vedlegg A og B. Desse samandraga er sendt til informantane for stadfesting av innhaldet, og eventuelle korreksjonar av innhaldet er gjort i dialog med den aktuelle informanten. Det var planlagt fleire intervju, men den hektiske korona-perioden har gjort det vanskeleg for dei planlagde informantane å stille til intervju.

Den fyrste informanten var Merete Landsgård frå Statens vegvesen som vart intervjuet 20.03.2020. Ho var på intervjutidspunktet involvert i gigantprosjektet Rogfast, og har arbeidd mykje med handtering av tunnelstein og særleg problematikken kring plast i røys og sjøfylling. Den andre informanten var Svein Tore Drevsjø, som vart intervjuet 16.04.2020. Han har tidlegare også arbeidd for Statens vegvesen, men arbeider no i BMO med oppgradering av tunnelar. Han har i løpet av si karriere vore involvert i ei rekkje tunnelprosjekt og har erfaring frå tunnelprosjekt i ulike fasar. Også Drevsjø har vore involvert i utbygginga på Rogfast ved ei forberedande delentreprise.

Vidare vert funn frå intervjuet presentert i relasjon til forskingsspørsmåla: F1, F2, F3 og F5.

4.2.1 F1: Utnytting av tunnelstein i dag

I intervjuet er det utforska kor framtrekkande fokuset på utnytting av tunnelstein er i den norske BA-næringa i dag. Dette er gjort ved at informantane vart bedt om å fortelje korleis tunnelprosjekt dei nyleg har vore involverte i har handtert tunnelstein.

Landsgård arbeider innan ytre miljø på prosjektet med å bygge ny, undersjøisk vegtunnel ved Rogfast. Dette er eit prosjekt det er rekna at resulterer i opp mot 9 millionar kubikkmeter med utteken tunnelstein. Problemstillinga med å finne passande endestasjonar for massane har dermed vore omfattande og noko Landsgård har vore nøydd til å fokusere mykje på. I området for denne tunnelen er det svært mykje fyllitt som eignar seg til lite anna enn fyllmasse. For å finne fyllingsformål som monnar på dei ni millionar kubikkmetrane er mesteparten av massane nytta til sjøutfyllingar for å bygge opp næringsareal.

I tillegg til fyllitt er det også venta førekomstar av gabbro, granitt og gneis. Dette skal entreprenørane kunne nytte til vegbyggingsmateriale og kvalitetsstein i prosjektet. Ved overskot kan entreprenøren også selje steinen. For å kunne lagre og vidareforedle desse massane til kvalitetsstein, er det planlagt at den eine utfyllinga skal nyttast til mellomlagring og foredling i heile prosjektperioden og 5 år etter prosjektslutt. Liknande opsjon er gjort i eit område på nordsida som skal verte næringsareal på land, men som i byggeperioden og fem år etter skal nyttast til mellomlagring og vidareforedling av tunnelstein. På nordsida av tunnelen er arbeidet allereie i gang og Landsgård forklarar at der er noko gneis knust og nytta innad i prosjektet, samt at noko er seld.

Drevsjø beskriv at det var fokus på utnytting av tunnelstein også då han var involvert på Rogfast. Der vart noko av tunnelsteinen nytta til oppbygging av veg i tunnel og utbetring av ei lita vegstrekning. Det vart også forsøkt å selje steinen, men på grunn av storstilt produksjon i stein-

brotet på Jelsa var det billegare å kjøpe ferdigknust stein derifrå enn å kjøpe/få tunnelstein for å knuse. Utan om dette har han ikkje vore involvert i prosjekt der det har vore særleg fokus på utnytting av denne ressursen. Han beskriv at tunnelstein heller har utgjort eit problem med tanke på å bli kvitt massane.

Som eit eksempel på prosjekt der tunnelstein har vorte sett på som eit problem, nemner Drevsjø eit prosjekt med rehabilitering av ein tunnel i Bergen der det vert teke ut omtrent $4000m^3$ tunnelstein ved etablering av ei 90m havarilomme og ei 30m lang nisje. Det føreligg ikkje nokon plan frå planstadiet om moglege bruksområde for steinen, og det er ikkje moglegheit til å selje den vidare. Løysinga er då å finne eigna tippar som kan ta i mot steinen mot betaling. Dette beskriv Drevsjø som ei standard utfordring for rehabiliteringsprosjekt. Oppfatninga til Drevsjø er at me burde bruke tunnelsteinen i større grad enn me gjer i dag. Han tykkjer det er rart at det er ein stor marknad for store dagbrot, samtidig som me har mange store deponiområde med tunnelstein som me ikkje får brukt.

4.2.2 F2: Utfordringar ved utnytting av tunnelstein

Begge intervjuata utforska ulike former for utfordringar ved disponering av tunnelstein. Utfordringane som kjem fram i intervjuet med Landsgård er dei som gjer seg spesielt gjeldande ved store tunnelprosjekt, som til dømes utbygginga på Rogfast. Gjennom intervjuet med Drevsjø kjem også utfordringar knytt til rehabiliteringsprosjekt fram, der det generelt vert operert med mindre massevolum.

Den fyrste utfordringa Landsgård nemner er ei relativ ny endring i forskrifter. Endringa gjer at masse som vert teken ut av tunnel no vert definert som næringsavfall, med mindre massen vert nytta internt i prosjektet. For tunnelprosjekt som i hovudsak omfattar uttak av massar, gjer ei slik definering av tunnelstein det meir utfordrande å oppnå massebalanse då volumet av uttekne massar som regel er uproporsjonalt med massebehovet innad i prosjektet. Vidare fortel Landsgård at utfordringa i dette ligg i at ein no må søke om å få disponere steinen utanfor prosjektet. For Rogfastprosjektet vart denne typen søknad om disponering utanfor prosjektet til utfylling i sjø godkjent, og Landsgård meiner formalitetane i og for seg er greie. Landsgård seier også at det er skjerp inn på kva ein kan nytte tunnelsteinen til innad i prosjektet. Ein kan til dømes ikkje slake ut ein skråning dersom motivasjonen er å kunne plassere meir stein der. Slik bruk må søkast om og argumenterast med at ei slakare skråning er meir samfunnsnyttig mtp. estetikk, sikt, kvalitet eller liknande. Landsgård begrunner ei slik innstramming med at det vil vere uheldig om aktørar plasserer tunnelstein rundt seg slik det passar dei, på grunn av forureining i tunnelsteinen.

Forureinande element som vert nemnd er plast, sprengstoffrestar og oljesøl, samt naturlege førekomstar av skadelege metall og mineral frå berget. Landsgård peikar særleg på plast som ei kjelde til utfordringar ved bruk av tunnelstein. Eit eksempel som vert trekt fram er plastproblematikken ved Ryfast der plast frå både tennsystem og fiberarmering flaut opp til overflata etter utfylling i sjø og forureina store delar av strandlinja i området. Landsgård meiner dei største bidraga til denne forureininga var dei luftfylte slangane frå NON-EL tennsystem og fiberarmering av plast frå sprøytebetong. Løysinga som er sett inn for Rogfastprosjektet er å nytte elektroniske tennarar med koparledningar i staden for NON-EL-tennsystem med luftfylte slangar, samt å nytte stålfibrar i staden for plastfibrar i sprøytebetongen. Avfallet som flaut opp på Ryfast skal dermed synke ned med steinmassen på Rogfast. Etter plastring meiner Landsgård at fyllinga i

stor grad vil vere hermetisert og ho er lite bekymra for at avfallet vil verte noko særleg kjelde til forureining. Ved bruk av tunnelstein til andre formål meiner Landsgård derimot at platen kan utgjere ei større kjelde til forureining. Til dømes ved bruk i ei eksponert vegfylling kan platen verte meir utsett for nedbryting og vere ei kjelde til forureining av mikroplast.

Drevsjø nemner også utfordringa med at tunnelsteinen vert definert som næringsavfall dersom den ikkje vert nytta internt i prosjektet. Han seier dette er med på å gjere det vanskeleg å utnytte tunnelsteinen lokalt då eventuelle bruksområde utanfor prosjektets rammer vert mindre tilgjengelege. Ei løysing på dette meiner Drevsjø kan vere å utvide prosjekta sine rammer til å omfatte andre tiltak som kan nyttegjere steinen. Slik utviding av prosjekt er likevel ei sjeldanheit og noko det er ein generell motvilje mot, ifølgje Drevsjø. At innhaldet i massane gjer det problematisk å nytte massane er Drevsjø ueinig i. Han meiner at innhaldet av til dømes nitrøse gassar og plastikk er så minimal at bruk på land bør vere uproblematisk dersom ein finn samfunnsnyttige formål for massane. Han er likevel einig i at utfylling i sjø ikkje burde skje heilt ukritisk med tanke på plastrestar og liknande.

Vidare fortel Drevsjø at han opplever at rehabiliteringsprosjekt har større problem med å disponere tunnelsteinen på ein fornuftig måte enn prosjekt med nydriving. Dette til tross for at slike prosjekt generelt opererer med mindre volum tunnelstein enn prosjekt med nydriving. Årsaka til dette skal vere at det er svært lite fokus på disponering av massar i rehabiliteringsprosjekt, og at det ofte er skrive i kontrakta at all steinen skal til godkjent deponi. Eksempelet frå Bergen i kapittel 4.2.1 illustrer godt denne utfordringa.

4.2.3 F3: Føresetnadar for betra utnytting av tunnelstein

I samtale med informantane er det utforska kva som kan bidra til auka utnytting av tunnelstein og kva føresetnadar som er viktige for at eit prosjekt skal kunne oppnå god utnytting.

Landsgård meiner at det er mange forhold som avgjer om eller korleis ein kan nytte tunnelstein. Hovudkriteriet er, ifølgje ho, bergartar og kva type stein ein får frå tunneldrivinga. Eksempelvis fortel Landsgård at hovudmengda på Rogfast er anteke å vere fyllitt, som ofte vert kalla "råtastein" grunna dei dårlege mekaniske eigenskapane. Dette fører til at bruksområda for tunnelsteinen i stor grad er avgrensa til fyllingsformål. Vidare er mengda stein som skal takast ut, avgjerande for kva bruksområde som vert lønnsamt. I tilfellet ved Rogfast er det snakk om eit så stort volum at bruksområda må vere av ein type som krev store volum, slik fyllingar i sjø gjer.

På spørsmål om ein kan lage insentiv for å auke utnyttinga av tunnelstein svarer Landsgård at det kan ein. Byggherren kan legge inn i kontrakta at steinen ikkje skal fyllast ut, men nyttast til andre samfunnsnyttige formål. På den andre sida kan ei slik formulering verte kostbar dersom slike formål ikkje finst i nærområdet. Landsgård forklarar at kost/nytte-prinsippet vil stå sentralt i alle offentlege anskaffingar og ein må tidleg vurdere om det finst behov som samsvarer med dei aktuelle prosjekta sine mengder. Landsgård uttalar så at planlegging er nok den største føresetnaden for god utnytting, i alle fall på prosjekt med så store volum som Rogfast.

Med tanke på planlegging vert nasjonal eller regional plan for massehandtering trekt fram som eit viktig hjelpemiddel mot auka utnytting. Som eit døme på slik regional planlegging trekker Landsgård fram arbeidet til fylkeskommunen i Rogaland med regionalplan for nord-Jæren. Landsgård fortel at der er det snakka om tiltak som regionale mellomlager der entreprenørar

kan både hente og levere stein, samt ein applikasjon der ein kan melde inn behov for massar til dei som har massar å verte kvitt. Dette tykkjer Landsgård er ein god tanke, men ho ser føre seg at det er eit stykke dit enda.

Kompleksiteten av problemstillinga kjem særleg fram då intervjuet dreier inn på spørsmål om lovendringar kan bidra til auka utnytting. Landsgård fortel at sjølv om det er mykje dialog mellom ulike fagmiljø, direktorat og departement sit nok dei ulike interessentane litt på kvar sin hest med ynske som ikkje nødvendigvis trekkjer i same retning. Ho trekkjer særleg fram Miljødepartementet som har fått rolla med å fremme miljøinteressene ved slike saker og ofte vert opplevd som ein propp i systemet. Landsgård meiner likevel at mykje av det dei kjem med er fornuftig og i tida, då me tross alt er på veg mot eit grønar samfunn.

Drevsjø peiker også på god planlegging som ein viktig føresetnad for god utnytting av tunnelstein. Han fortel at det bør vere eit gjennomgåande fokus på disponering av steinen gjennom heile planlegginga, også for prosjekt med mindre volum utteken stein. Han opplever at det er særleg lite fokus på dette ved mindre prosjekt og rehabiliteringsprosjekt der det ofte berre vert overlete til entreprenøren. Vidare fortel Drevsjø at ved å sjekke opp i lokale behov for sprengsteinen allereie i prosjekteringsfasen, kan ein gi steinen fornuftige formål. Han meiner at samfunnsnyttige formål som veg og liknande då bør prioriterast, men at også andre interessentar kan vurderast. Transportavstandar bør i så fall takast med i vurderinga då stein frakta langvegs frå vil ha eit stort CO₂-avtrykk.

Som Landsgård, meiner også Drevsjø at bergkvaliteten vil ha innverknad på kva steinen kan nyttast til. Sjølv om stein av dårleg kvalitet har eit meir avgrensa bruksområde, vil også denne kunne nyttast ved god planlegging. Drevsjø fortel at differansiering av bruksområde for forskjellige steinkvalitetar gjer at ein kan utnytte meir av steinmassen, men at ein då må nytte steinen på best mogleg stad til rett tid. Ein er då avhengig av å ha oversikt over variasjonar i bergmassen for å vite når ein får tilgang til dei ulike kvalitetane. Ei slik oversikt vil vere lettare å få på eit rehabiliteringsprosjekt i ein ferdigdriven tunnel, enn ved driving av ny tunnel. Det vil vere særleg vanskeleg å få ei slik oversikt ved undersjøiske tunnelar som på Rogfast.

4.2.4 F5: Tunnelstein sitt potensiale som ressurs

Til slutt er det utforska kva gevinstar ein kan få for samfunnet og prosjekta ved ei auka utnytting av tunnelstein. Då hovudmålet med intervjuet var å avdekke utfordringar og viktige føresetnadar for utnytting av tunnelstein, fokuserte intervjuet mindre på gevinstar ved auka utnytting. Informantane delte likevel nokre meiningar om kva gevinstar auka utnytting kan gi.

Landsgård legg gjennom heile intervjuet vekt på kor viktig det økonomiske aspektet er dersom ein skal få til ei endring. Ho nemner blant anna at byggherre og entreprenør sin evige søken etter dei minst kostbare løysingane i seg sjølv er samfunnsøkonomisk.

Drevsjø er tydeleg på at me bør utnytte tunnelsteinen i større grad enn i dag. Han nemner blant anna dei enorme mengdene av god tunnelstein som ligg i gjengrodde deponi, men som kunne dekkja store delar av behovet som livnærer dei store dagbrota. I tillegg ser han føre seg at eit større og tidlegare fokus på utnytting av tunnelstein kan vise at det er gunstig å gjennomføre andre prosjekt parallelt med nærliggande tunnelprosjekt, for å unytte tunnelsteinen i staden for å bruke ressursar på å kjøpe og transportere stein langvegs frå.

4.3 Analyse av MWD-data

I analysen av MWD-data si eignaheit til å vurdere kvalitetar av framtidig tunnelstein er det nytta resultat frå laboratorietestar på Ryfast og geologisk kartlegging ved Drammen-Kobbervikdalen.

Resultat frå laboratorietestar på Ryfast er nytta for å samanlikne tolka hardheit frå MWD-data med den uttekne tunnelmassens motstand mot nedknusing. Forventa resultat er ein samanheng mellom tolka hardheit og LA-verdi ved at auka tolka hardheit skal medføre auka motstand mot nedknusing og dermed ein redusert LA-verdi.

Geologisk kartlegging ved Drammen-Kobbervikdalen er nytta for å samanlikne tolka hardheit frå MWD-data med geologiske faktorar som bergartsendringar. Forventa resultat er at tolka hardheit skal samsvare med geologiske variasjonar som bergartsvariasjonar.

4.3.1 Ryfast: Ryfylketunnelen

I samband med utbygginga av Ryfylketunnelen på Ryfast er det utført laboratorietestar av steinmateriale frå enkelte salver i tunnelen, samt at MWD-data vart loggført i borearbeidet. Av laboratorietestane som vart utført er Los Angeles-metoden det som vert sett på her. Vidare vert resultat frå Los Angeles-testane (LA-verdiar), samt MWD-data (Tolka hardheit), presentert.

LA-verdiar

Prøvematerialet stammar frå parsell E03 på Ryfast og testane er gjort i samsvar med labprosess 14.456 i handbok 014 (Statens vegvesen, 2005). Testane vart gjennomført av Statens vegvesen sitt analyselaboratorie i Stavanger og er oversendt av representant frå Statens vegvesen i prosjektorganisasjonen ved Ryfast. Kvar test er indeksert med pelnummeret til den aktuelle salven prøvematerialet er henta frå. Dette gjer det mogleg å knytte testane opp mot spesifikke bordata med tilsvarende pelnummer og dato. Resultata frå laboratorietestane er gjengitt i tabell 4.3 med tilhøyrande pelnummer og dato for uttak av massar.

Tabell 4.3: Resultat frå Los Angeles-testar utført av Statens vegvesen sitt analyselaboratorie i Stavanger på tunnelstein frå Ryfylketunnelen ved Ryfast.

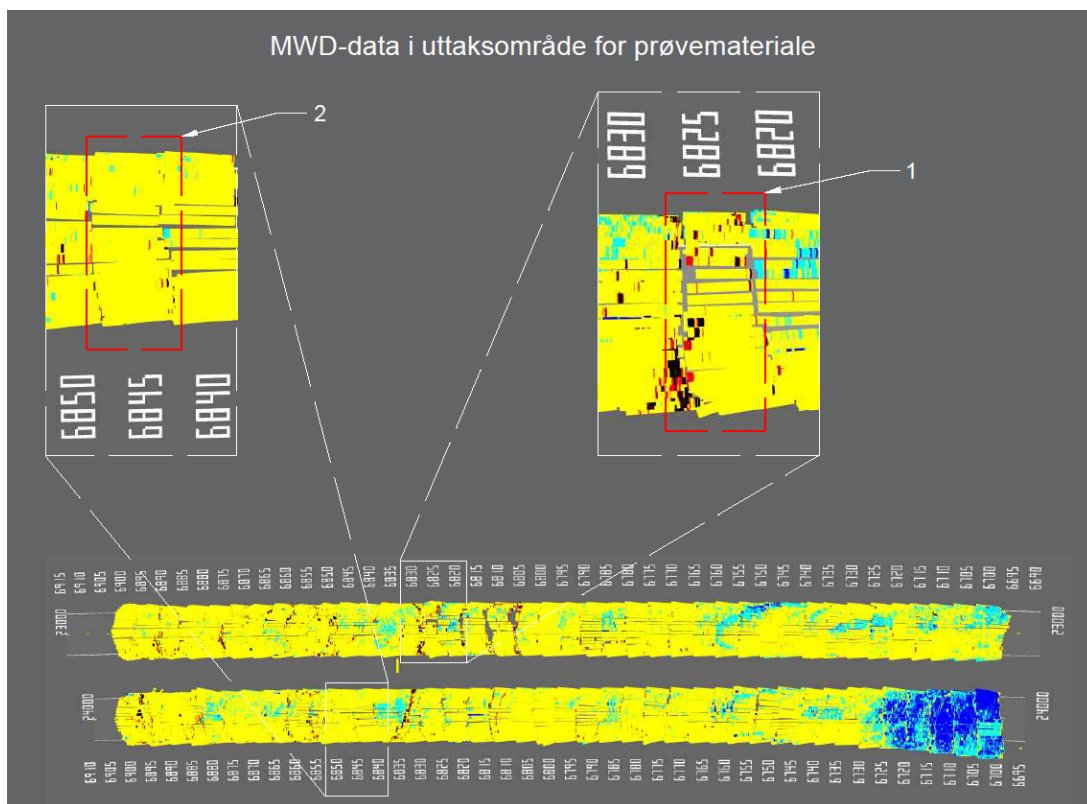
| Nr. | Dato | Pel | | LA-verdi |
|-----|------------|---------------|---------------|----------|
| | | Løp 23000 | Løp 24000 | |
| 1 | 26.05.2014 | 6822 - 6827 | | 29,6 |
| 2 | 26.05.2014 | | 6844 - 6849 | 28,1 |
| 3 | 03.03.2016 | | 10785 - 10790 | 19,0 |
| 4 | 05.10.2016 | | 12199 - 12204 | 26,6 |
| 5 | 28.11.2016 | 12524 - 12529 | | 31,8 |

MWD: Tolka hardheit

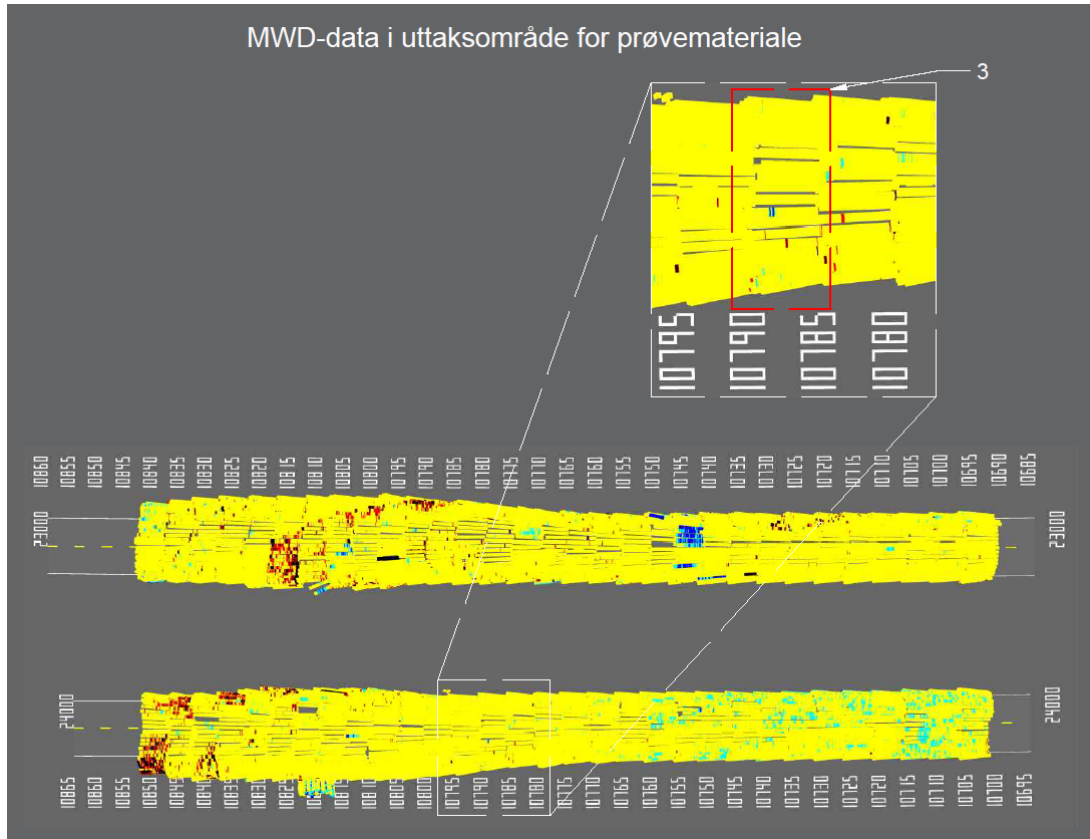
Ved hjelp av Bever Control sitt datasystem for bordata, Bever Team Online, er visualisering av tolka hardheit for dei aktuelle salvene henta ut. For å kunne sjå heilheiten til variasjonane er det valt å presentere MWD-dataa for meir enn akkurat dei aktuelle salvene. Figur 4.2, 4.3 og 4.4 syner tolka hardheit for tre parsellar der dei aktuelle salvene er framheva og nummererte med same nummer som tilhøyrande LA-resultat. Figur 4.1 viser det definerte fargespekteret slik det er definert for dette prosjektet. Prosjektet har også lagt inn beskriving av kva bergart som kan vere årsak til dei aktuelle fargane.

| Tolket hardhet | | |
|------------------------|---------|--------|
| Bekrivelse | Verdi | Farge |
| H-50 | -50.000 | Blå |
| H-25 Granittisk gneis? | -35.000 | Cyan |
| H0 | 25.000 | Gul |
| Gneis | 30.000 | Oransj |
| H25 | 40.000 | Raudt |
| H50 Amfiblott? | 50.000 | Svart |
| H75 | 200.000 | Svart |

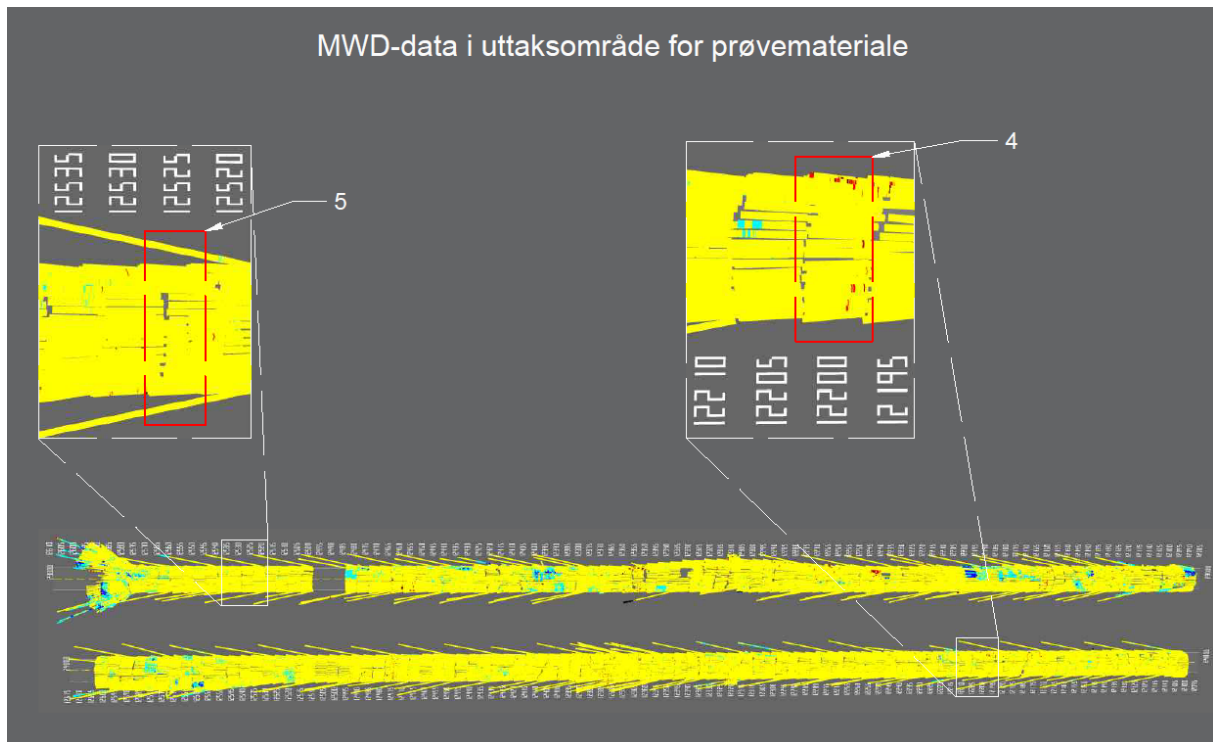
Figur 4.1: Definit fargespekter for tolka hardheit på Ryfast. Gul farge viser det prosjektet har definert som “normalt fjell”, blå farge viser hardare fjell og raudt/svart viser mjukare fjell.



Figur 4.2: Tolka hardheit frå MWD-data for salve 1 og 2.



Figur 4.3: Tolka hardheit frå MWD-data for salve 3.



Figur 4.4: Tolka hardheit frå MWD-data for salve 4 og 5.

Analyse: LA-verdi/Tolka hardheit

Ved å sjå på visualiseringa av tolka hardheit i samanheng med LA-verdiane for dei aktuelle salvene er det ikkje funne noko klar samanheng mellom motstand mot nedknusing og tolka hardheit. Tabell 4.4 viser beskriving av visualisert tolka hardheit saman med LA-verdiar, samt kommentar om kva oppfatning MWD-dataen gjev med tanke på hardheit av fjellet for den aktuelle salva. Oppfatninga vert gitt ut frå om berget held over forventa hardheit, forventa hardheit eller under forventa hardheit. Ved “forventa hardheit” meinast at fjellet er av den kvalitet som var den forventa normalen ved kalibrering.

Tabell 4.4: Beskriving av visualisert tolka hardheit saman med LA-verdiar for dei aktuelle prøveområda.

| Nr. | LA-verdi | Tolka hardheit: Beskriving | Oppfatning av salva si hardheit |
|-----|----------|---|--|
| 1 | 29,6 | Mest gult, men viser nokre svarte og raude felt som går på skrå frå botn og opp i hengen frå begge sider. Kan sjå ut som ei sleppe eller ei lita svakheitssone sidan ein også kan sjå den igjen i det andre løpet. Nærliggande salver viser ein del blå felt. | Litt under forventa hardheit til forventa hardheit |
| 2 | 28,1 | Omtrent berre gult med få innslag av raudt og blått. Nærliggande salver har innslag av blå felt og sleppa/ svakheitssona i nr.1 vert synleg ved ca. pel 6835. | Forventa hardheit |
| 3 | 19 | Omtrent berre gult med få innslag av raudt og blått. Ligg i ein parsell som er meir homogent gul, men med meir innslag av blått like før. Ved aukande pelnummer frå 10800 kan ein sjå tydeleg ei svakheitssone som brer seg over begge løp. | Forventa hardheit |
| 4 | 26,6 | Omtrent berre gult, men med nokre innslag av raudt. Ligg i ei nokså homogent gul sone. | Forventa hardheit |
| 5 | 31,8 | Berre gult. Ligg i ei nokså homogent gul sone. | Forventa hardheit |

LA-verdiane frå dei testa prøvane er stort sett i same storleiksorden. Variasjonen i LA-verdi er på 12,8 mellom prøve 3 (LA = 19) og prøve 5 (LA = 31,8). Til samanlikning er kravet for LA-verdi ved bruk av knust stein til bærelag at LA-verdien er mindre enn 35 (Statens vegvesen, 2018a). Alle prøvane her er altså frå stein som kan nyttast til bærelag og dei fleste andre bruksformål beskrive i N200. Dette vert også gjenspeigla i visualiseringa av tolka hardheit.

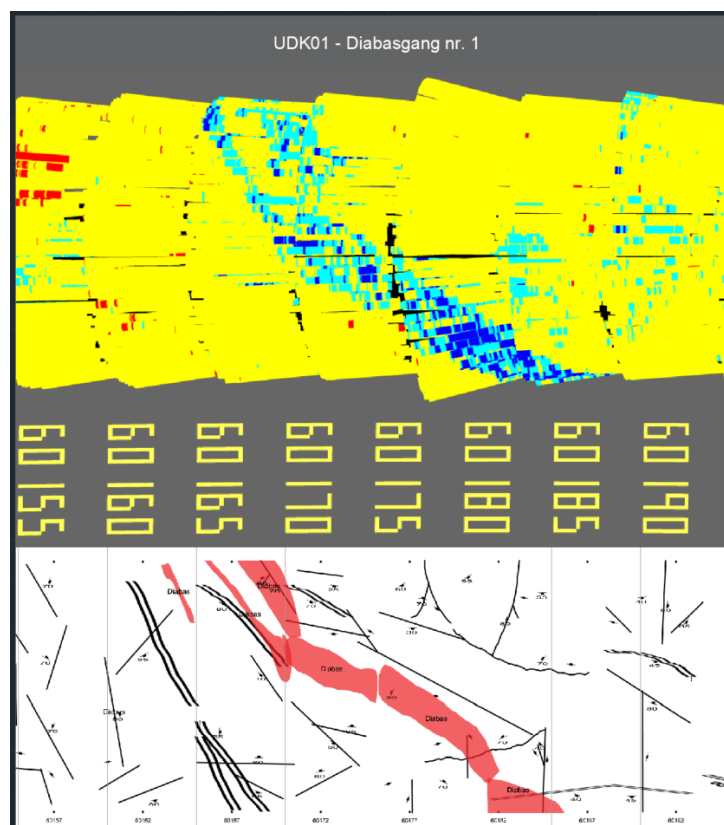
MWD-dataa viser at tolka hardheit er nokså lik for alle salvene der steinmasse vart testa, og at det generelt er tatt ut prøvemateriale i område der ein kan forvente “normal” hardheit. Det er ikkje mogleg å sjå frå tolka hardheit, til dømes, at LA-verdien for prøve 5 skal vere dårlegare enn for prøve 4. Det er med andre ord vanskeleg å argumentere for ein samanheng mellom tolka hardheit og LA-verdi på bakgrunn av dette datagrunnlaget. Likevel er det viktig å poengtere at variasjonane både i tolka hardheit og LA-verdi er små. Ein kunne kanskje fått andre resultat

ved å undersøke korrelasjon mellom tolka hardheit og LA-verdi for område som var meir ulike i dei to parametranne. Datasettet nytta til denne analysen er avgrensa til fem prøveområde med tilhøyrande LA-verdiar då desse var einaste områda tilknytt tilgjengelege laboratorietestar. Eit større datasett kunne gjort analysen meir påliteleg og nyttig.

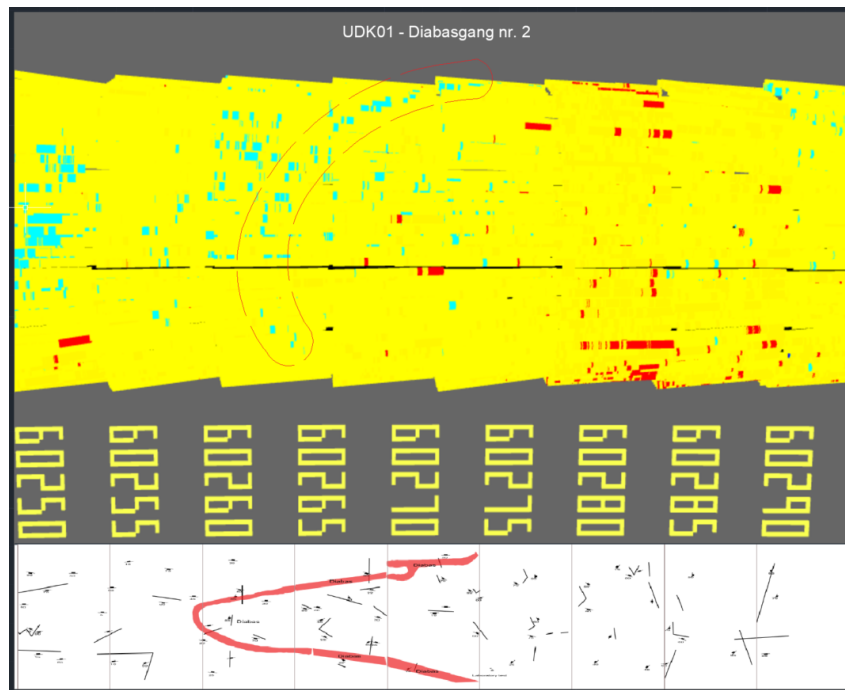
4.3.2 Drammen-Kobbervikdalen: Skogertunnelen

I samband med drivinga av Skogertunnelen mellom Drammen og Skoger er det gjort løpande geologisk kartlegging i tunnelen. Noko av innhaldet frå denne kartlegginga er gjort tilgjengeleg av Veidekke og Bever Control til bruk i denne analysen. I denne analysen er det kartlegging av bergartartsvariasjonar som er nytta.

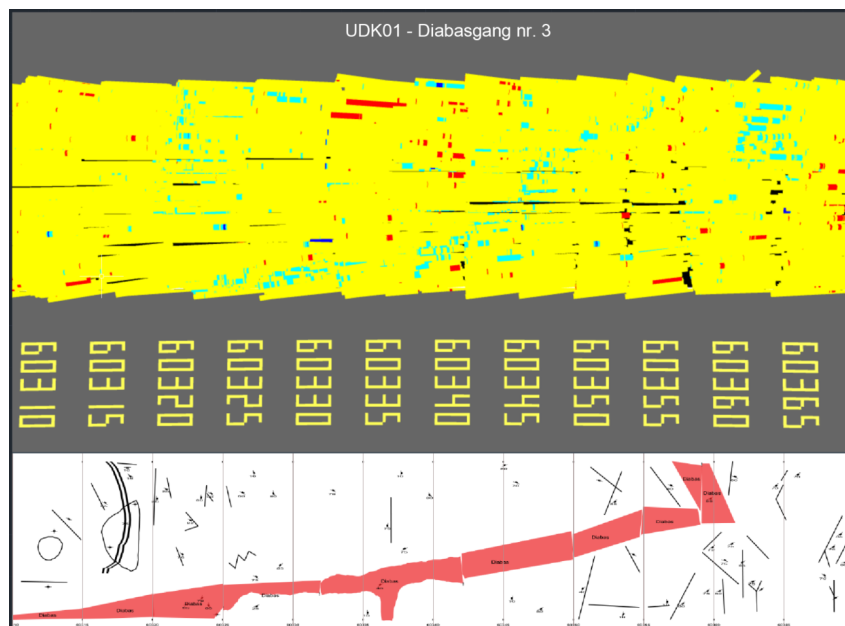
Hovudbestanddelen av linja for Skogertunnelen består av drammensgranitt (Bane NOR, 2018a), men geologisk kartlegging i tunnelen har også avdekkja førekomstar av gangbergartar i linja. Innan mai 2020 var det avdekkja tre område langs tunnellinja med førekomstar av gangbergartar. Alle desse tre er kartlagt med bergarten diabas. I figur 4.5, 4.6 og 4.7 er tolka hardheit med tilhøyrande geologisk kartlegging visualisert. MWD-dataa og geologisk kartlegging er justert for at pelnummer, vist med gul skrift, skal samsvare. Diabasførekomstane er markert i den geologiske kartlegginga som raude felt. Tolka hardheit er visualisert med fargeskala definert spesielt for prosjektet slik det er vist i figur 4.8.



Figur 4.5: Område 1: Diabasgang ved Drammen-Kobbervikdalen. Tolka hardheit øverst og geologisk kartlegging i tunnel nederst.



Figur 4.6: Område 2: Diabasgang ved Drammen-Kobbervikdalen. Tolka hardheit øverst og geologisk kartlegging i tunnel nederst.



Figur 4.7: Område 3: Diabasgang ved Drammen-Kobbervikdalen. Tolka hardheit øverst og geologisk kartlegging i tunnel nederst.

| Tolket hardhet | | |
|-------------------|---------|--------|
| Bekrivelse | Verdi | Farge |
| Opp til 3,0 m/min | -40.000 | Blå |
| 3,0 - 3,5 m/min | -20.000 | Cyan |
| 3,5 - 4,2 m/min | 0.000 | Gult |
| 4,2 - 4,9 m/min | 20.000 | Orange |
| 4,9 - 5,5 m/min | 40.000 | Rødt |
| over 4,9 m/min | 100.000 | Svart |
| 500 | 500.000 | Svart |

Figur 4.8: Definert fargespekter for tolka hardheit på Drammen-Kobbervikdalen. Gul farge viser det prosjektet har definert som “normalt fjell”, blå farge viser hardare fjell og raudt/svart viser mjukare fjell.

Område 1

Figur 4.5 viser tolka hardheit frå MWD-data samt geologisk kartlegging frå tunnelen i fyrste område med diabasførekomst. I visualiseringa av tolka hardheit kan ein sjå eit markant, blått felt som går skrått på tvers av tunnelaksen. Dette indikerer eit felt med høgare tolka hardheit enn vanleg. I den geologiske kartlegginga kan ein også sjå eit felt som går skrått på tvers av tunnelaksen og som fell godt saman med det blå feltet i MWD-dataa. Dette tyder på at endringa i tolka hardheit frå MWD-dataa er forårsaka av den kartlagde diabasførekomsten.

Område 2

Det andre området med diabasførekomst er vist i figur 4.6. Her er diabasgangen mindre framtrèdande ved tolka hardheit enn i område 1, men ein kan sjå antydningar til ein boge-formasjon av blått i same området. Denne er markert med raudt omriss i figuren. Den geologiske kartlegginga viser også ei bogeformasjon av diabas over henget, men med litt skarpere form enn det som kjem fram av tolka hardheit. Det er dermed vanskeleg å seie om bogeformasjonen ved tolka hardheit er tilfeldig eller om den er forårsaka av diabasen. Det er likevel naturleg at denne kartlagde diabasførekomsten er mindre framtrèdande ved tolka hardheit enn i område 1 då mektigheita av denne er mykje mindre.

Område 3

Det tredje området med diabasførekomst er vist i figur 4.7. I visualiseringa av tolka hardheit kan ein sjå ein formasjon av blått som går på skrått over tunnelhengen frå ca. pel 60325 til 60360. I den geologiske kartlegginga er det kartlagt diabasførekomst som går på skrått over tunnelen frå pel 60310 til 60360. Dette er omtrent det same område og retning som den blå formasjonen i tolka hardheit, med unntak av at ytterkantane av kartlagd diabas ikkje kjem fram i tolka hardheit. Årsaken til dette er sannsynlegvis at tolka hardheit er framstilt av eit utsnitt av ein 3D-modell tatt ovanfrå, medan geologisk kartlegging er framstilt som ei utbretta overflate. Sidene av tunnelen vil dermed ikkje komme fram på same måte ved tolka hardheit som i den geologiske kartlegginga. Den blå formasjonen i tolka hardheit verkar dermed å passe godt med kartlagd diabas, og det er lite sannsynleg at den blå formasjonen sin likheit med kartlagt diabas er tilfeldig. Det er derfor grunnlag for å seie at den blå formasjonen i tolka hardheit er forårsaka av den kartlagde diabasførekomsten.

På tidspunktet for denne analysen var det berre kartlagt tre område med andre bergartar enn drammensgranitt så langt tunnelen var driven. På eit seinare tidspunkt i tunneldrivinga ville ein kanskje ha kartlagd fleire førekomst av diabas eller andre gangbergartar. I så tilfelle ville analysen hatt eit større datagrunnlag; noko som ville gitt analysen større reliabilitet.

Diskusjon

I dette kapitlet vert det teke utgangspunkt i dei fem forskingsspørsmåla presentert i kapittel 1.2. Gjennom diskusjon av resultata frå forrige kapittel opp mot teorien frå litteraturstudie er det forsøkt å finne svar på desse forskingsspørsmåla. Dette vert så teke vidare for å diskutere *korleis utnytte tunnelstein betre som ressurs*.

Forskingsspørsmåla er diskutert kvar for seg og kapitlet er delt opp med eit delkapittel for kvart forskingsspørsmål. Forskingsspørsmåla som skal diskuterast er følgjande:

- F.1 Korleis er ressursen tunnelstein utnytta i dag?
- F.2 Kva utfordringar er det ved utnytting av tunnelstein?
- F.3 Kva føresetnadar bør ligge til grunn for å oppnå god utnytting?
- F.4 Korleis vurdere tunnelsteinen si eignaheit?
- F.5 Kva potensiale har tunnelstein som ressurs?

Diskusjonen fører så til ein konklusjon knytt til hovudspørsmålet “*korleis utnytte tunnelstein betre som ressurs?*” i kapittel 6.

5.1 F1: Utnytting av tunnelstein i dag

Før ein kan seie noko om forbettringspotensialet innan utnytting av tunnelstein er det viktig å kartlegge situasjonen slik den er i dag. Forskingsspørsmål 1 er derfor: *korleis er ressursen tunnelstein utnytta i dag?* Dette vil i det følgjande verte diskutert på bakgrunn av funn frå litteratur, e-postkorrespondanse med bransjekontaktar og kvalitative intervju.

5.1.1 Utnytting i ulike former

For at ein skal kunne seie at tunnelsteinen er “utnytta”, må den vere nytta til formål som gjev den ein bruksverdi og ikkje berre eit avfall. Når steinen vert plassert i deponi, vert den eit avfall som må kontrollerast og passast på med tanke på avrenning og andre forhold som kan ha ein negativ innverknad på miljøet rundt. I forskingsintervjuet (20.03.2020) sa Landsgård at byggherre og entreprenørar som regel søker den billegaste løysinga. På grunn av krava for oppfølging av deponi vert deponering av massar ofte eit alternativ som er meir kostbart enn andre alternativ. Ho fortel at Statens vegvesen som byggherre ofte heller søker om å få plassere massane i fyllingar utan desse krava, men slike utfyllingar kan berre finne stad dersom det er vurdert som samfunnsnyttig. Altså vil ei fylling på land eller sjø vere meir samfunnsnyttig enn eit deponi, og ein vil kunne seie at tunnelsteinen i ei fylling er “utnytta”. Likevel handlar utnytting av tunnelstein om meir enn berre om den er deponert eller ikkje deponert.

Det kjem fram av fleire kjelder (Belopede og Marini, 2011; Erben og Galler, 2014; Oggeri, Fenoglio og Vinai, 2017; Rise, Alnæs og Rambæk, 2019; Rohde mfl., 2019; Aasly mfl., 2019) at ulike formål vil tilføre tunnelsteinen ulik verdi. Sidan dette er eit arbeid mot optimal ressursutnytting, er det viktig å identifisere kva formål som gjev tunnelsteinen den største verdien. I kapittel 2.4.2 kom det fram tre rangeringar av bruksformål etter kva formål som bør prioriterast for å oppnå optimal utnytting. Den fyrste rangeringa er utforma av Erben og Galler (2014) og er vist i figur 2.9. Den andre er utforma i samband med Kortreist stein-prosjektet (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019) og er vist i figur 2.10. Den tredje er også utforma i samband med Kortreist stein-prosjektet, men er presentert i rettleiaren “*Forundersøkingar og bruk av kortreist stein*” (Aasly mfl., 2019). Bak alle desse rangeringane ligg argument for at det mest verdiskapande utfallet, og dermed optimal utnytting, vert oppnådd ved å nytte dei teknisk beste materiala til dei formåla som har strengast krav til funksjonsegenskapar. Hovudtrekka for alle desse tre er nokså like, men dei to fyrste rangeringane er meir retta mot bruksformål innad i veg- og bane-prosjekt, medan den tredje frå rettleiaren er meir generell og omfattar formål som miljøformål og etablering av nytt land.

Tabell 5.1 gjengir dei to fyrste rangeringane ved sida av kvarandre for samanlikning. Der ser ein tydeleg kor like dei to rangeringane er, med unntak av litt forskjellig detaljnivå. Dette tyder på at det er konsensus for dei store trekka av ei slik rangering. Dei to fyrste rangeringane er derfor nytta til å lage ei kombinert rangering. Denne går frå 1 til 7 der 1 er det mest høgverdige formålet og 7 er permanent deponi. Den kombinerte rangeringa er vist i same tabell. Ved å ta ei slik rangering inn i bedøminga av prosjekt si utnyttingsgrad vil ein kunne seie mykje meir enn berre om steinen er utnytta eller ikkje. Optimal utnytting vert berre oppnådd ved at steinen når sitt fulle potensial verdimesig. I kapittel 4.1 vert resultatata frå datainnhentinga av tidlegare prosjekt si disponering av tunnelstein presentert. Ved å sjå på resultatata frå e-postkorrespondanse med bransjekontaktar i tabell 4.1, kan ein sjå at endestasjonane som utgjer hovudvekta i alle prosjekta, er enten deponi eller sjøfylling. Ein kan til dømes sjå at både Rv 80 i Bodø og Drammen-

Kobbervikdalen har 100% av massen plassert i sjøfyllingar. Dette tilsvarer bruksklasse 6 i tabell 5.1, og er det nest lågast rangerte bruksformålet. Ved desse prosjekta kan ein dermed seie at all massen er utnytta, men sannsynlegvis likevel med låg grad av utnytting dersom ein tek verdien av bruksområda med i vurderinga.

Tabell 5.1: Gjenbruksklassar frå figur 2.10 og 2.9 (Erben og Galler, 2014; Rise, Alnæs og Rambæk, 2019)

| Bruksformål | Bruksklasse (Erben og Geller) | Bruksklasse (Kortreist stein) | Bruksklasse (kombinert) |
|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Betongformål | Klasse 1 | M1 | 1 |
| Asfalttilslag | | M2 | 2 |
| Ballastpukk | Klasse 1a | M3 | 3 |
| Bærelag og forsterkingslag | | M4 | 4 |
| Råmateriale til mineralindustri | Klasse 2 | - | 5 |
| Andre formål som t.d. frostsikring, drenering og fylling | Klasse 3a | M5 | 6 |
| Permanent deponi | Klasse 3b | - | 7 |

5.1.2 Utnyttingsgrad ved norske tunnelprosjekt

For å seie noko om den faktiske utnyttingsgraden for tunnelstein på eit prosjekt, er det altså viktig å ta omsyn til verdien av bruksområda eller endestasjonen til tunnelsteinen. Resultata frå kapittel 4.1 vil derfor her verte framstilt og diskutert med omsyn til den kombinerte rangeringa i tabell 5.1.

Tabell 5.2 framstiller alle resultata frå kapittel 4.1 med fordeling i dei ulike bruksklassane. Sidan det her er forsøkt å finne dagens situasjon for grad av utnytting vil dei prosjekta som er nærmast dags dato vere dei som er mest representative. Prosjekta er derfor organisert frå eldst til nyast, der resultata frå e-postkorrespondanse utgjer dei nyaste.

Då dei fleste rapporterte bruksområda er gitt med kvar massane er nytta, i staden for med kva dei er nytta som, har det vore naudsynt å gjere antakingar for kva bruksklasse postane skal verte plasserte i. Til dømes kan vegbyggingsformål vere alt frå bruksklasse 2 som asfalttilslag til bruksklasse 6 i fylling. Der det er rapportert om bruk til vegbyggingsformål er det derfor valt å sette bruksklasse 4 som omfattar bruk i bærelag og forsterkingslag då dette er meir sannsynleg enn at massane er nytta i asfalttilslag, samtidig som ein ikkje undervurderer utnyttingsgraden ved å føre det opp som fylling eller frostsikring. Det er likevel sannsynleg at ein del av massane som er nytta i vegbyggingsformål er nytta til nettopp frostsikring eller fylling, då dette generelt er område som kan ta større mengder massar med mindre omfattande bearbeiding.

Tabell 5.2: Data for utnytting av tunnelstein ved norske prosjekt med fordeling på bruksklassar.

| Prosjekt (Opningsår) | Totalt masse- volum [m ³] | Bruksområde | % | Bruks- klasse | Kjelde |
|--|--|------------------------|-----|------------------|-------------------------------|
| Lærdalstunnelen, SVV (2000) | 2 500 000 | Vegbyggingsformål | 28 | 4 | Kristin Ese, 2018 |
| | | Sjøfylling | 8 | 6 | |
| | | Permanent deponi | 64 | 7 | |
| Gevingåsen tunnel, Bane NOR (2011) | 350 000 | Sjøfylling | 100 | 6 | Aarstad mfl., 2019 |
| Strindheimtunnelen, SVV (2014) | 1 083 000 | Sjøfylling | 55 | 6 | Aarstad mfl., 2019 |
| Fellesprosjektet, E6/Dovrebanen (2016) | 5 200 000 | Betongformål | - | 1 | Aarstad mfl., 2019 |
| | | Vegbyggingsformål | 34 | 4 | |
| | | Jernbaneformål | 2 | 4 | |
| | | Sjøfylling | 12 | 6 | |
| Farriseidet-Porsgrunn, Bane NOR (2018) | 3 000 000 | Fyllmasse | 40 | 6 | Bane NOR, 2020* |
| | | Permanent deponi | 60 | 7 | |
| Rv 80 Bodø, SVV (2019) | 478 200 | Sjøfylling | 100 | 6 | Veidekke, 2020* |
| E134 Mælefjell tunnelen SVV (2019) | 916 000 | Vegbyggingsformål | 32 | 4 | Statens vegvesen, 2020* |
| | | Privat vidareforedling | 4 | 4 | |
| | | Eksternt vegprosjekt | 2 | 4 | |
| | | Næringsareal privat | 6 | 6 | |
| | | Idrettsanlegg | 4 | 6 | |
| | | Privat landbruk | 1 | 6 | |
| | | Fylling i veglinja | 4 | 6 | |
| Deponi | 46 | 7 | | | |
| Ryfast SVV (2020) | 4 100 000 | Vegformål | 24 | 4 | Statens vegvesen, 2020* |
| | | Sjøfylling | 76 | 6 | |
| Drammen-Kobbervikdalen Bane NOR (2024) | 938 000 | Sjøfylling | 100 | 6 | Bane NOR, 2020* |

* Innhenta via personleg kommunikasjon.

Av den fullstendige prosjektoversikta i tabell 5.2 kan ein sjå at berre 3 av 9 prosjekt har rapportert at tunnelsteinen har endt opp i deponi. Samtidig er det berre eit prosjekt som rapporterer om utnytting innan betongformål, som også er den einaste rapporterte utnyttinga rangert høgare enn bruksklasse 4. Ein kan vidare sjå at bruksklasse 6 og 7 utgjer ein andel på minst 50% i alle prosjekta, med unntak av eit. Unntaket er fellesprosjektet E6/Dovrebanen der 52% av massane ikkje er gjort greie for, utover at ein veit at noko av det er nytta som betongtilslag. Ut frå dette kan det sjå ut som at sjøfylling er ein populær måte å kvitte seg med tunnelsteinen utan å måtte plassere den i dyre, godkjente deponi. Dette kan vere positivt, då sjøfyllingar tross alt ofte er svært samfunnsnyttige der dei dannar nytt areal for at byar og næring kan vekse utover på nytt land. Likevel er dette eit bruksformål som ikkje krevjer noko spesielt gode funksjonsegenskapar av steinmassen. Etter rangeringane til Erben og Geller (2014) samt Aarstad mfl. (2019) vil ein då sannsynlegvis ikkje ha utnytta steinen sitt fulle potensiale verdimesig - sjølv sagt avhengig av steinmassen sin kvalitet.

Landsgård fortalde i intervjuet (20.03.2020) at Rogfast-prosjektet kjem til å ta ut enorme mengder fyllitt. Dette er ein bergart med dårlege mekaniske eigenskapar og eignar seg derfor til lite anna enn fyllmasse. Landsgård fortel vidare at einaste løysinga dei såg for å nytte all massen og unngå deponi, var å søkje om tillatelse til utfylling i sjø for å bygge opp næringsareal. I tillegg til fyllitt, er det også forventa førekomstar av gabbro, gneis og granitt. Dette er bergartar som generelt er hardare enn fyllitt (tabell 2.1 frå Rohde mfl., 2019) og som vil kunne gi tunnelstein med betre funksjonsegenskapar. Ifølgje Landsgård er det derfor lagt opp til at massane som kjem frå driving i desse bergartane skal kunne nyttast eller seljast av entreprenøren. Det er også planlagt for areal til midlertidig lagring og bearbeiding av massane ved at prosjektet har opsjon på bruk av den eine sjøfyllinga av fyllitt gjennom heile byggeperioden og 5 år etter for bruk til lagring og bearbeiding.

Rogfastprosjektet er eit godt eksempel på korleis tunnelstein sitt opphav avgjer potensialet for verdiskaping ved utnytting. Fyllitten som er lite eigna til anna enn fyllmasse, vert nytta som fyllmasse og dermed tilnærma fullt utnytta. Ved å planlegge for areal til midlertidig lagring og bearbeiding av gneis, granitt og gabbro, vert det også lagt til rette for optimal utnytting av denne delen av massen. Dette viser at Rogfast-prosjektet har hatt eit stort fokus på å planlegge for god utnytting av tunnelstein. Drevsjø bekreftar også i intervjuet (16.04.2020) at det var stort fokus på utnytting av tunnelstein då han var involvert på Rogfast.

5.1.3 Utnytting internasjonalt

For å vidare diskutere utnyttingsgraden for tunnelstein i Noreg, kan det vere formålstenleg å sjå på utnyttinga i Noreg i samheng med andre land si utnytting. Til dette er arbeidet til ITA svært relevant.

ITA har gjort eit omfattande arbeid med å hente inn prosjektdata frå land over heile verda, i samband med rapporten "*Handling, treatment and disposal of tunnel spoil materials*" (Rohde mfl., 2019). Tabell 2.5 viser resultatane av dette innsamlingsarbeidet med oversikt over fordeling i andel brukt tunnelstein for totalt 59 prosjekt i forskjellige land. Noreg er representert med fire prosjekt, der eit av prosjekta er rapportert med 100% bruk av tunnelsteinen. Det er ikkje spesifisert kva destinasjon for tunnelsteinen som kvalifiserer til å kalle den for "brukt", men det er her anteke at alle destinasjonar, utanom deponi, kvalifiserer som bruk. Frå tabellen kan ein

sjå at USA, Tjsekkia og Italia er av dei landa som rapporterer flest prosjekt med 100% bruk. Ut frå dette datagrunnlaget kan det verke som at desse landa har betre utnytting av tunnelstein enn Noreg, dersom ein ikkje tek omsyn til verdien av utnyttinga. Grunnen til at nokre land har betydeleg større andel brukt tunnelstein enn andre, vert ikkje diskutert i ITA-rapporten.

Ein av grunnane til desse forskjellane kan vere tilgang på steinressursar. Noreg har god tilgang på kvalitetsstein frå pukkverk som kan konkurrere på pris, samanlikna med kostnadar for intern lagring og bearbeiding av tunnelstein. I andre land kan det vere ei utfordring å finne god kvalitetsstein frå nærområda, og det kan dermed vere meir å spare på vidare bruk av tunnelsteinen. Andre faktorar kan vere marknadsmessige faktorar, som at høg byggeaktivitet gjev større etterspurnad etter råvarer av stein, eller at landa har lagt meir til rette for gjenbruk av tunnelstein gjennom lovverk og forskrifter. Noko som i alle fall er tydeleg basert på datagrunnlaget i tabell 2.5, er at Noreg har noko å strekke seg etter når det kjem til utnytting av tunnelstein som ressurs.

5.1.4 Dagens situasjon i Noreg

Med grunnlag i diskusjonen ovanfor kan det virke som at Noreg ikkje har spesielt god utnytting av tunnelstein. Svært mange av dei undersøkte prosjekta nyttar mesteparten av tunnelsteinen innan lågverdige formål som til dømes sjøfylling, og har dermed eit stort uutnytta verdipotensiale i auka utnytting. Likevel er det nokre prosjekt som har meir fokus på utnytting enn andre og som lukkast innanfor dei rammene geologien set som mogleg. Samanlikna med andre land, ligg Noreg langt frå toppen av lista, men heller ikkje nederst. Det er mogleg at tilgang på kvalitetsstein i Noreg er såpass stor at det er mindre å spare på utnytting av tunnelstein enn det er for landa som overgår Noreg. Likevel er det tydeleg at Noreg har noko å strekke seg etter når det kjem til utnytting av tunnelstein, og at det ligg eit stort uutnytta verdipotensiale i optimal utnytting av tunnelstein.

5.2 F2: utfordringar ved utnytting av tunnelstein

Før ein tek føre seg kva tunnelstein kan nyttast til og korleis ein kan auke utnyttinga av tunnelstein, er det viktig å kartlegge kva utfordringar som er sentrale ved utnytting av tunnelstein. Forskingsspørsmål 2 er derfor: “*Kva utfordringar er det ved utnytting av tunnelstein?*”. I det følgjande vert det forsøkt kartlagt og diskutert sentrale utfordringar med grunnlag frå kvalitative intervju og litteraturstudie.

5.2.1 Tunnelstein som næringsavfall

Den fyrste utfordringa som vart nemnd i intervju av både Landsgård (20.03.2020) og Drevsjø (16.04.2020), var endringa i forskrifter som gjer at all tunnelmasse no vert definert som næringsavfall, med mindre massen vert nytta i linja internt i prosjektet. Landsgård, som nemnt tidlegare arbeider på gigantprosjektet Rogfast, argumenterer for at utfordringa ligg i at ein må søkje om anna disponering og at det dermed vert meir byråkrati rundt prosessen, men at formalitetane for så vidt er greie. Drevsjø, som til vanleg arbeider med rehabilitering av tunnelar, meiner på si side at denne endringa gjer det vanskeleg å utnytte steinen lokalt, då bruksområde utanfor prosjektets rammer vert mindre tilgjengelege. At det vert meir utfordrande å utnytte tunnelstein til eksterne formål på grunn av denne endringa er det ikkje tvil om, men om det er eit avgjerande problem,

kjem mellom anna an på kor vanskeleg det er å få godkjent ein søknad om anna disponering og kor lang behandlingstid ein slik søknad vil ha. Lang behandlingstid kan til dømes gi mindre fleksibilitet og gjere det vanskeleg å tilpasse seg dersom gode bruksområde enten dukkar opp eller fell bort under byggeperioden. At utnytting i stor grad er avgrensa til å foregå internt på prosjektet, er nok ei større belastning for prosjekt som omfattar lite anna enn sjølve tunnelen då det vert mindre tiltak i dagsona som kan ha eit massebehov. Dette vert spesielt gjeldande ved rehabiliteringsprosjekt, der prosjekta sjeldan strekkjer seg lenger enn til nærmaste kryss, ifølgje Drevsjø. Han ser føre seg at problemet kan verte redusert ved meir velvilje til å utvide prosjektet sine rammer til å omfatte nærliggande tiltak som har eit massebehov. Slik kan også framtidige prosjekt i nærleiken verte framskunda saman med tunnelprosjekta.

I intervjuet med Landsgård kjem det også fram at det er skjerpa inn på kva ein kan nytte tunnelsteinen til innad i prosjektet. Moglegheita for å bli kvitt tunnelstein ved tiltak som å slake ut skråningar eller liknande er gått vekk, med mindre ein kan argumentere for løysinga med andre forhold enn at ein har eit overskot av stein som må plasserast. Slik bruk krev no at ein søkjer om løysinga og argumenterer for at den er meir samfunnsnyttig med tanke på estetikk, sikt, erosjonsmotstand eller liknande. Landsgård fortel at denne innstramma er gjort med omsyn til tunnelsteinen sin potensielle negative miljøverknad, som gjer det uheldig om aktørar plasserer massen der det skulle passe seg. Frå eit utnyttingsperspektiv vil ei slik innstramma gjere det vanskelegare å “bruke” tunnelstein innad i prosjektet og meir vil kanskje gå til deponi. Samtidig kan ein unngå at tunnelstein vert plassert utan noko særleg nytte - som i og for seg er like lite verdifullt som eit deponi. På mange måtar vil eit deponi vere meir samfunnsnyttig enn nyttelaus plassering av massar rundt på prosjektet, grunna kontrollen ein har på dei deponerte massane sine miljøpåverknadar frå forureinande bestanddelar i tunnelmassane.

Den nye definisjonen for tunnelstein som næringsavfall og innstramma for plassering av tunnelstein innad i prosjektet gjer det altså vanskelegare å nytte tunnelstein til både eksterne og interne formål. Likevel er det konsensus om at tunnelstein har miljøskadlege bestanddelar og at dette er årsaka til innstramma (Landsgård, intervju 20.03.2020; Drevsjø, intervju 16.04.2020; Rohde mfl., 2019).

5.2.2 Forureining i tunnelstein

Dei miljøskadlege bestanddelane av tunnelstein vart eit viktig tema for intervjuet med Landsgård. Ho nemnde forureinande element som sprengstoffrestar, oljesøl, naturlege førekomstar av skadegle metall og mineral, men la særleg vekt på innhaldet av plast som ei utfordring ved utnytting av tunnelstein. Eit prosjekt der innhald av plast har vore ei særleg stor utfordring er Ryfast. Der vart tunnelstein frå tre undersjøiske tunnelar fylt ut i fleire sjøfyllingar. I etterkant har plast frå både tennsystem og fiberarmering i sprøytebetong flote opp til overflata og forureina strandlinjer i stor radius rundt fyllingane. Då det nærmast er praktisk umogeleg å sortere ut plastinnhaldet, vart løysinga på problemet for Rogfast å få avfallet til å søkke ned med steinmassane. Løysinga vart dermed elektronisk tennsystem med koparleidning i staden for NON-EL tennsystem med luftfylte plastslangar, og stålfibrar i sprøytebetongen i staden for plastfibrar. Det kjem også fram av intervjuet med Landsgård at plast-problematikken ikkje avgrensar seg til sjøfyllingar, men at tunnelstein nytta på land kan vere vel så mykje utsett for nedbryting og verte ei kjelde for forureining av mikroplast. Drevsjø på si side er einig i at plast er ei reell utfordring ved sjøutfyllingar, men meiner at den negative verknaden på land er såpass minimal at samfunnsnyttig bruk bør vere uproblematisk på land.

Funn i litteraturstudiet støttar Landsgård sine påstandar om at forureining kan medføre utfordringar ved utnytting av tunnelstein. ITA-rapporten (Rohde mfl., 2019) nemner også forureining i form av naturlege førekomstar av skadelege mineral og kjemiske samansetjingar, samt forureining som følgje av drivemetode som til dømes sprengstoffrestar, sprøytebetong og plastrestar. I tillegg nemner dei at injeksjonsmasse frå forinjeksjon vil kunne gjere at tunnelsteinen vert kontaminert av mellom anna polymerar og tilsetjingsstoff. Kor problematisk slik forureining vil vere, er avhengig av bruksformål for tunnelsteinen. Plast i røysa har me sett at har gitt store konsekvensar ved bruk i sjøfylling på Ryfast, men kor problematisk dette vil vere på land er vanskeleg å seie. Det som vert peika på som problematisk ved plastforureining på land er at plasten kan verte broten ned til mikroplast, som til slutt tek vegen til havet gjennom avrenning. Dette er forureining som er vanskeleg å sjå og som relativt nyleg er komme i fokus. Eit steg vidare er nanoplast, som ein har enda mindre kunnskap om. Det er også usikkert kor avgrensa dette er til tunnelstein. Ifølgje Landsgård fortalde pukkverk ho hadde vore i kontakt med at dei hadde ingen spesielle tiltak for å fjerne plast frå steinmassane sine etter utsprenging. Kvalitetsstein kjøpt frå pukkverk inneheld altså også plastrestar. Sjølv om innhaldet av plast nok er større i tunnelstein grunna den tunge ladinga som må til for å bryte innspent fjell, verkar det rart at denne problematikken berre skal få konsekvensar for tunnelstein og ikkje vanleg kvalitetsstein som er sprengt ut med mange av dei same komponentane.

Landsgård fortalde også at ein rapport frå Ryfast påstod at plasten vart vekk etter knusing, men dette er nok for godt til å vere sant. Ei meir logisk forklaring er nok at plasten vert male ned til så små bitar at den vert mindre synleg. Haldninga til plast kan ofte verke å vere “ute av syne - ute av sinn”. Dette gjeld også på Rogfast der løysinga vart å få dei forureinande elementa til å synke med steinen, heller enn å flyte opp i syne. Der er sjølv sagt eit godt argument frå Landsgård at fyllinga vert hermetisert av plastringa som forhindrar vassutskifting og dermed forureining av mikroplast. Likevel er det uvisst om dette forhindrar forureining i form av nanoplast, då kunnskapen om dette er avgrensa på dette tidspunktet.

Det er altså kjent at tunnelstein inneheld ei rekkje forureinande element. For tunnelstein frå boring og sprenging, er det særleg sprengstoffrestar, plastrestar, sprøytebetong og oljesøl som gjer seg gjeldande. Sjølv om produsert kvalitetsstein frå pukkverk vil ha nokre av dei same forureinande elementa i seg ved sal, vil nok bestanddelen vere større for tunnelstein. I tillegg vil også geologien og mineralsamansetjinga kunne bidra med forureinande element for tunnelstein. Dette kan ein i større grad unngå ved kvalitetsstein frå pukkverk då dagbrota vert plassert med omsyn til bergmassens kvalitet, medan tunnelar vert plassert med omsyn til behovet for eit hol i fjellet.

5.2.3 Usikkerheit ved geologiske forhold

Tunnelar vert som sagt plassert med omsyn til kvar det er behov for eit holrom i fjellet, og ikkje med omsyn til kva kvalitetar geologien gjev for tunnelsteinen. Ofte medfører dette at ein har lite kunnskap om tunneltraseen sine geologiske variasjonar, noko som gjer det utfordrande å kartlegge moglege bruksformål og planlegge for god utnytting. Kunnskap om tunneltraseen sine geologiske variasjonar er som regel basert på eksisterande geologisk kartlegging samt eit avgrensa tal kjerne- og sonderboringar ned i tunneltraseen. Frå prosjekt til prosjekt er det ulik grad av sikker kunnskap om geologi langs tunneltraseen. Til dømes vil usikkerheita ved geologien ofte vere stor ved undersjøiske tunnelar der ein har avgrensa moglegheit for kartlegging

og testboring, medan rehabiliteringsprosjekt vil ha lite usikkerheit grunna god tilgang til bergmassen i den ferdig drivne tunnelen (Drevsjø, intervju 16.04.2020).

Gjennom litteraturstudiet vart det avdekka fleire døme på prosjekt der usikkerheita knytt til geologiske variasjonar har medført store utfordringar med omsyn til utnytting. Eit av desse var prosjektet for utbygging av Follobanen, som vart omtala i ITA-rapporten (Rohde mfl., 2019). Prosjektet omfatta driving av 40km tunnel fordelt på to løp til jernbane, der 36km av dette vart drive med TBM. Dette resulterte i 9 millionar tonn stein, der 10-15% var planlagd nytta til intern betongproduksjon. På bakgrunn av kartlagd geologi i forkant av drivinga var bergmassen rekna for å vere eigna til dette formålet. Under drivinga vart det derimot påvist magnetkis i 20% av prøvane av tunnelsteinen samt 0,1% sulfatinnhald. Dette gjorde ifølgje ITA-rapporten (Rohde mfl., 2019) at mesteparten av massane ikkje lenger vart vurdert som eigna til betongtilslag, og nye bruksområde måtte oppdrivast for denne delen av massane. Sjølv om det her er snakk om massar frå TBM-drift, vil denne utfordringa vere like relevant for konvensjonell driving då det var geologiske faktorar som var utslagsgivande.

Eit anna prosjekt som har hatt utfordringar knytt til usikkerheit kring geologiske forhold, er Veidekke-prosjektet K10 på E39 Sveгатjørn-Rådal, som er omtala i Kortreist stein-prosjektet sin erfaringsrapport frå prosjektet (Rise og Steinsland, 2019). Prosjektet omfatta konvensjonell driving av to vegtunnelar med doble løp og ein tunnel for overvatn, som til saman var pårekna å resultere i 1,8 millionar faste kubikkmeter tunnelstein. I kontraktsgrunnlaget for prosjektet vart det beskrive at tunnelstein skulle nyttast i vegoppbygginga, og at denne ville vere godt eigna til dei fleste formål i forsterkingslag og i stor grad brukbart i bærelag. I utføringsfasen vart det likevel erfart at det var stor unøyaktigheit i bergartsbeskrivingar og kartlagde bergartsgrenser. Dette gjorde det utfordrande å utnytte steinen som planlagt og det vart naudsynt å opparbeide ein systematisk arbeidsmetodikk som bidrog til å ha kontroll på kvaliteten av massane som kom ut frå tunnelen. Denne arbeidsmetodikken er svært relevant for forskings spørsmål 5 i kapittel 5.5 og vil derfor verte vidare omtala der.

Prosjekta Follobanen og E39 Sveгатjørn-Rådal er ikkje aleine om å oppleve utfordringar med unøyaktig eller usikre geologiske kartleggingar. Alle tunnelprosjekt opererer som regel med ei viss usikkerheit kring geologiske forhold. Då geologiske forhold er noko som har stor innverknad på tunnelsteinen sine eigenskapar, vil usikkerheit ved geologisk kartlegging gjere det svært utfordrande å planlegge for utnytting ved ulike bruksområde. Likevel er det noko dei fleste tunnelprosjekt må leve med, og då er det ekstra viktig med gode arbeidsmetodar for å løpande vurdere tunnelsteinen sin kvalitet under drivinga, slik som på Veidekkeprosjektet, E39 Sveгатjørn-Rådal. Usikkerheit ved geologiske forhold gjer også at det bør planleggast for fleire scenario og at prosjektorganisasjonen er fleksibel og tilpasningsdyktig dersom uforutsette geologiske variasjonar førekjem.

5.2.4 Utfordringar ved bearbeiding

På E39 Sveгатjørn-Rådal vart det også erfart at bearbeiding av massane til vidare bruk medførte nokre utfordringar. Det vart mellom anna erfart at bearbeiding av massar medførte eit behov for store areal (Rise og Steinsland, 2019). Desse var naudsynt for å kunne lagre tunnelstein som venta på bearbeiding til ulike formål, samt lagring av ferdigprodukt som venta på å verte nytta. Områda vart så omfattande at det etter kvart vart teke i bruk droner for å halde oversikt over dei ulike sorteringane. Dette er ei utfordring som vil auke med andelen bearbeida stein, og der-

med i takt med utnyttingsgraden. Dersom ein vel å etablere ein intern betongfabrikk for å nytte tunnelsteinen i bunden form i tillegg, vil arealbehovet auke desto meir. Det kan også tenkast at problemet vil vere mest avgjerande i bynære strøk, der store samanhengande areal er vanskeleg å finne i umiddelbar nærheit. Tunnelprosjekt som ligg litt meir landleg til, vil nok som regel ha mindre problem med å finne store nok areal.

Ei anna utfordring prosjektet E39 Sveгатjörn-Rådal erfarte var mengda produsert finstoff bearbeidinga medførte. Det vert beskrive i erfaringsrapporten (Rise og Steinsland, 2019) at ved knusing av “gode” massar vart det generert omtrent 30% finstoff, medan for dei “dårlege” massane vart det generert opp mot 50% finstoff. Det er uklart om prosentdelen oppgir andel av volum, masse eller noko anna, men det er uansett snakk om betydelege mengder. Finstoffet utgjorde dermed eit problem for prosjektet då finstoff er eigna til svært få bruksområde, samt at deponering av finstoff medfører ei rekkje miljøutfordringar. På same måte som arealutfordringa, vil også utfordringa med finstoffproduksjonen vere eit aukande problem med auka bearbeiding og utnytting av tunnelstein.

5.2.5 Utfordringar oppsummert

Utfordringane ved utnytting av tunnelstein som har vore mest framtreidande i dette arbeidet omfattar altså:

- **Forureining i massane** i form av avfallsstoff frå driveprosessen (sprengstoffrestar, plastrestar, søl frå sprøytebetong og olje) samt naturlege førekomstar av miljøskadelege bestanddelar (metall, mineral og kjemiske samansetjingar), kan vere ei utfordring ved ulike bruksformål.
- **Innstrammingar i intern og ekstern disponering** av tunnelstein ved å definere tunnelstein som næringsavfall, gjer det vanskelegare å prioritere lokal utnytting framfor plassering i deponi.
- **Usikkerheit ved geologiske forhold** medfører store utfordringar knytt til planlegging for utnytting av tunnelstein, og reduserer forutsigbarheit i byggeperioden.
- **Store arealbehov for bearbeiding og lagring** av tunnelmassar vil vere eit problem som aukar i takt med andel bearbeida tunnelstein for utnytting. Utfordringa vil vere særleg representert ved bynære prosjekt der det ofte ikkje er store samanhengande areal tilgjengeleg i nærområda til prosjekta.
- **Stor finstoffproduksjon** ved bearbeiding av tunnelstein for vidare bruk kan vere problematisk, då finstoff generelt eignar seg til få bruksformål, samt at deponering medfører ei rekkje miljøutfordringar.

Dette er berre eit utval av utfordringane som finst for utnytting av tunnelstein, men vert i denne masteroppgåva rekna som dei mest sentrale utfordringane.

5.3 F3: Føresetnadar for betra utnytting av tunnelstein

For at eit prosjekt skal kunne oppnå høg utnytting av tunnelstein er det ei rekkje føresetnadar som bør ligge til grunn. Forskingsspørsmål 3 er derfor: “*Kva føresetnadar bør ligge til grunn for å oppnå god utnytting?*”. I det følgjande vert føresetnadar som er viktige for god utnytting diskutert med bakgrunn frå litteraturstudie og kvalitative intervju.

5.3.1 Kartlegging av kvalitet

I kapittel 5.2.3 vart det diskutert korleis usikkerheit kring geologiske forhold utgjorde ei utfordring for utnytting av tunnelstein med tanke på planlegging og forutsigbarheit. Landsgård fortalde i intervjuet (20.03.2020) at hovudkriteriet for om ein kan nytte tunnelstein eller ikkje, var bergartar og kva type stein ein får av tunneldringa. For å kunne legge til rette for planlegging med tanke på utnytting, er det derfor viktig med tilstrekkeleg kartlegging av dei geologiske variasjonane i forkant. Dette er i tråd med det som vert beskrive av fleire kjelder (Oggeri og Ronco, 2010; Rohde mfl., 2019; Aasly mfl., 2019). Mellom anna i rettleiaren “*Forundersøkingar og bruk av kortreist stein*” (Aasly mfl., 2019) vert tidleg innhenting av geologisk og materialtekniisk informasjon trekt fram som det viktigaste suksesskriteriet for god ressursutnytting. Det vert derfor anbefalt at ein allereie i tidlegfase bør gjere ei geologisk kartlegging og bruksfokuser karakterisering av steinmaterialet. Sjølv om det er vanskeleg å verte heilt kvitt med usikkerheita kring geologiske forhold, vil kvart steg mot ei betre oversikt over geologiske forhold medføre meir forutsigbarheit og betre grunnlag for planlegging av god ressursutnytting.

Sidan det er vanskeleg å kvitte seg heilt med usikkerheita kring tunnelsteinen sine eigenskapar før den er teken ut, er det også svært viktig å ha gode arbeidsmetodar for å kartlegge tunnelsteinen sine eigenskapar når drivinga pågår. Dette er naudsynt for å kunne sortere tunnelsteinen i ulike kvalitetar og sikre at tunnelsteinen er av god nok kvalitet for det bruksformålet den er tiltenkt (Oggeri og Ronco, 2010; Rise og Steinsland, 2019). Metodar og arbeidsmetodikk for vurdering av tunnelstein sin eignaheit vil verte vidare diskutert i kapittel 5.4.

5.3.2 Planleggingsfase med fokus på massehandtering

Planlegging for utnytting av tunnelstein har vore eit punkt som har komme opp som ein viktig føresetnad for auka ressursutnytting, både i litteraturstudien og dei kvalitative intervju. Landsgård hevdar i intervjuet (20.03.2020) at planlegging sannsynlegvis er den største føresetnaden for å oppnå god ressursutnytting av tunnelstein, særleg på prosjekt med så store volum som på Rogfast. Når det er snakk om så store mengder tunnelstein som ved Rogfast, er ein heilt avhengig av å finne eigna bruksområde som har stor nok kapasitet. Dette finn ein berre ved å byrje planlegginga på eit tidleg tidspunkt.

Landsgård sin påstand om at planlegging er ein viktig føresetnad for god utnytting, samsvarar med det Drevsjø fortel i sitt intervju (16.04.2020). Han peikar mellom anna på at det bør vere eit gjennomgåande fokus på disponering av tunnelstein gjennom heile planleggingsfasen, også for prosjekt som opererer med mindre volum tunnelstein. Drevsjø fortel at han opplever at det er særleg lite fokus på dette ved mindre prosjekt og særleg rehabiliteringsprosjekt. Eit godt døme på at det er lite fokus på utnytting av tunnelstein i planleggingsfasen for rehabiliteringsprosjekt,

er at byggherren ofte skriv i kontrakta for rehabiliteringsprosjekt at steinen skal leverast til godkjent deponi. Sjølv om det er snakk om betydeleg mindre volum ved slike tunnelprosjekt og det er lett å tenke at det ikkje har noko betydning, vil også $4000m^3$ godt utnytta tunnelstein kunne utgjere ein reell samfunnsnytte. Spesielt dersom ein tek med i vurderinga den høge forutsigbarheita slike prosjekt har for tunnelsteinen sine kartlagde eigenskapar.

Funn i litteraturstudie er med på å bygge opp om funna frå intervjuet med Landsgård og Drevsjø. I sluttrapporten til Kortreist stein-prosjektet vert planlegging presentert som eit av fire suksessområde for å oppnå bærekraftig bruk av steinmassar (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019). Det vert beskrive at kartlegging av geologi legg grunnlaget for prognosar av kva type bergmasse ein vil finne, kva kvalitet dei har og kva dei kan nyttast til. Vurdering av desse forholda bør vere ein del av planleggingsfasen. I tillegg beskriv dei at planlegginga også må omfatte tidleg avsetjing av areal til sortering, produksjon og mellomlagring. I ITA-rapporten viser Rohde mfl. (2019) at også dei er samde om at evaluering av potensialet til tunnelsteinen innan ulike bruksområde på bakgrunn av geologisk kartlegging og testing, bør skje allereie i planleggingsstadiet. Vidare fortel Rohde mfl. (2019) at det bør utarbeidast ein miljøplan samt ein overvåkingsplan relatert til handtering og bruk av tunnelstein basert på vurderingar av risiko og moglegheiter. Desse planane kan så i utføringsfasen legge føringar for byggherre og entreprenør relatert til overvaking, testing og handtering av massane for å best mogleg utnytte ressursen på ein sikker måte.

Gjennom eit tidleg fokus på forhold knytt til utnytting av tunnelstein, vil ein kunne identifisere risiko og moglegheiter ved handtering og bruk av tunnelstein. Særleg for mindre prosjekt ser ein at lite fokus på handtering av tunnelstein i planleggingsfasen gjer at steinmassane ofte endar opp i deponi. Dette illustrerer godt kor avgjerande det er med eit tidleg fokus på slik handtering på prosjekta då moglegheita for å utforske andre bruksformål vert kraftig redusert når ein kjem til utføringsfasen - særleg etter dei nye innstrammingane som gjer tunnelstein til eit næringsavfall. Auka utnytting av tunnelstein vil ikkje berre vere samfunnsnyttig ved store prosjekt, men også for prosjekt med mindre volum, spesielt om dette kan vere med å framskande naudsynte tiltak, som elles hadde venta langt fram i tid. Som Landsgård påstår i intervjuet (20.03.2020), vil nok kost/nytte-prinsippet vere sentralt for kor motiverte byggherrar og entreprenørar er for å arbeide mot optimal utnytting. Det er derfor også viktig å vurdere miljø saker, arealdisponering og sparing av naturressursar sin effekt på den økonomiske balansen til prosjektet, slik Oggeri og Ronco (2010) beskriv.

Sitatet under vitnar om at tiltakshavar av store samferdselsprosjekt bør ta meir ansvar for den heilheitlege masseforvaltinga, for å unngå at deponi ikkje vert vald som enklaste og billigaste løysing. Tiltakshavar på slike prosjekt er i hovudsak statlege og offentlege instansar. Ein metode fylkeskommunar og regionar har teke i bruk for å ta meir ansvar for masseforvaltinga i regionen sin, er regional planlegging.

Situasjonen i dagens planlegging av store samferdselsprosjekt, som hovudsakelig skjer i statlig regi, er at tiltakshaver ikkje har ansvar for den helhetlige masseforvaltningen, og at det derfor ofte blir valgt enklaste og billigste mulige prosjektløysningar, noe som oftest har vært å deponere overskuddsmassene.

(Rise, Alnæs og Rambæk, 2019, s. 11)

5.3.3 Regional planlegging

I intervjuet med Landsgård (20.03.2020) kom det fram at regional planlegging er eit område som kan bidra mykje på vegen mot sikker og effektiv utnytting av tunnelstein. Blant anna vert arbeidet til fylkeskommunen i Rogaland med regionalplan for Nord-Jæren trekt fram som eit godt eksempel på slik regional planlegging. Landsgård fortel at det der er snakka om tiltak som regionale mellomlager der entreprenørar kan både hente og levere stein. Dette er heilt i tråd med anbefalingane frå Kortreist stein-prosjektet om at planmyndigheitene meir aktivt bør sikre areal til lagring og prosessering for prosjekta (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019). Kortreist stein-prosjektet anbefalar også at prosjekt bør sjåast i samanheng over lengre tidsperiodar (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019). Slik kan eit prosjekt dra nytte av utvunne ressursar frå eit anna prosjekt. Slik planlegging på tvers av prosjekt vart også nemnt av Drevsjø i intervjuet (16.04.2020). Han ser føre seg at dersom ein kan sjå på uttak og massebehov for fleire prosjekt i samanheng, kan det vise seg lønnsamt å gjennomføre andre prosjekt parallelt, og dermed framskynde andre prosjekt i nærleiken av tunnelprosjekta.

Regional planlegging kan altså verte eit viktig hjelpemiddel for å legge til rette for mellomlagring, bearbeiding og bruk av tunnelstein. Gjennom samkøyrtte planar på tvers av prosjekt vil ein kunne tilføre tunnelsteinen ny verdi eksternt frå prosjektet, men likevel lokalt. Særleg vil det vere fornuftig med slik planlegging i regionar med forventa høg byggeverksemd og store prosjekt med overskot av stein. Regional planlegging er noko som er veldig i vinden og som det vert arbeida med i mange regionar. Eit godt eksempel på slik planlegging på tvers av prosjekt, er det tidlegare fellesprosjektet E6/Dovrebanen. I litt større skala har ein den nemnde regionalplanen for Nord-Jæren, samt prosjektet Bærum ressursbank. Bærum ressursbank er eit prosjekt som vart oppretta på bakgrunn av forventa framtidsutsikter med fleire store prosjekt som på kort tid ville ha generert enorme mengder stein (Nilsson, 2018). Prosjektet vil forsøke å handtere massar frå 6 store infrastrukturprosjekt på ein bærekraftig måte. Dette skal gjerast gjennom eit samarbeid mellom eit tjuetals aktørar (Gulli og Nilsson, 2020). Landsgård fortel i intervjuet (20.03.2020) at det nok er eit langt stykke å gå før ein kjem til regionale mellomlager, men eksempla over viser at aktørar i Noreg har begynt å ta steget i riktig retning.

5.3.4 Kontrakt

På grunnlag av planlegging i tidlegfase vert kontraktsgrunnlaget for tunnelprosjekt utforma. Dette vil i stor grad kunne avgjere korleis entreprenørane kan nytte steinen vidare, både eksternt og internt i prosjektet. Drevsjø fortlade i intervjuet (16.04.2020) at han ofte opplever på rehabiliteringsprosjekt at byggherren beskriv i kontraktsgrunnlaget at tunnelsteinen skal leverast til godkjent deponi. Ei slik formulering kan vise til lite fokus på utnytting av tunnelsteinen, og gjev entreprenøren lite friheit til å utforske andre bruksområde. Landsgård fortalde i sitt intervju (20.03.2020) at byggherre også kan legge inn i kontrakta at steinen skal nyttast til samfunnsnyttige formål, men at dette fort kan bli kostbart dersom slike formål ikkje finst i nærområdet. Det kan altså virke som at verken tvang eller forbod mot utnytting er noko gunstig framgangsmåte. Dersom ein skal vere tjent med eit krav om utnytting, må ein i alle fall ha hatt tilstrekkeleg fokus på dette området i tidlegfasen, og ha kartlagt om behov i nærområde samsvarer med mengdene for prosjektet.

Kortreist stein-prosjektet beskriv at kontrakta kan legge til rette for bruk av lokale massar (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019) ved at byggherre legg vekt på lokal bruk i beskrivingar, set av tilstrekkeleg areal og at risiko knytt til bruk av lokale massar vert identifisert og fordelt på dei involverte

aktørane. I tillegg vert det beskrive at tidleg involvering av entreprenørar og rådgivarar kan bidra til betre kunnskap om massane sine eigenskapar tidleg i prosjektet. Til dette vert Integrated Project Delivery (IPD) trekt fram som ein gunstig kontraktsstrategi som omfattar tidleg involvering av entreprenør og rådgivar, openheit om økonomi samt balansert riskio mellom partane ved bruk av målpris. Saman med felles gjennomgang av av prosjektets mål og felles prosjektleiing, vil ei slik kontraktsform kunne gi prosjekt der byggherre og entreprenør trekk i lag mot bærekraftig utnytting (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019).

Det verkar altså som at kontrakta ikkje nødvendigvis bør pålegge entreprenøren å nytte tunnelsteinen til visse formål, men heller gi friheit og motivasjon til å arbeide for god utnytting, ved å legge til rette for det. Ein må då syrgje for at heile prosjektorganisasjonen har eit felles mål om god utnytting, og at fokuset har forankring i alle ledd av prosjektorganisasjonen. Med fordelt risiko, tidleg involvering av aktørar og felles prosjektleiing, verkar IPD som ein lovande kontraktsstrategi for å oppnå god utnytting av tunnelstein.

5.3.5 Oppsummering av føresetnadar

Dei viktigaste føresetnadane for å oppnå god utnytting av tunnelstein som er diskutert i denne oppgåva er følgjande:

- **Kartlegging av kvalitet** er viktig at vert gjennomført både i planleggingsfasen med omsyn til framtidig tunnelstein for å danne eit grunnlag for planlegging av massehandtering, samt etter uttak med omsyn til sortering og produksjonskontroll av stein til vidare bruk.
- **Planlegging av massehandtering** bør vere eit fokusområde allereie i tidlegfasen av alle prosjekt for å kartlegge moglege bruksområde og setje av tilstrekkeleg areal til bearbeiding og midlertidig lagring.
- **Regional planlegging** vil vere eit viktig hjelpemiddel for å legge til rette for mellomlagring, bearbeiding og bruk av tunnelstein, samt for å samkøyre massehandteringsplanar på tvers av prosjekt for å kunne nytte tunnelsteinen eksternt og likevel lokalt.
- **Kontrakta** bør legge til rette for bruk av tunnelstein gjennom felles målsetjingar og motivasjon om å utnytte tunnelsteinen. IPD kan vere ein eigna kontraktsstrategi for å samle kompetanse tidleg og gi alle eit felles mål å arbeide mot.

5.4 F4: Vurdering av kvalitet

Som beskrevet i kapittel 5.3.1 vil kartlegging av tunnelstein sine eigenskapar vere ein viktig føresetnad for å kunne oppnå god utnytting av tunnelstein. Forskingsspørsmål 4 er derfor: “*Korleis vurderer tunnelstein si eignaheit?*”. I det følgjande vil viktige eigenskapar og metodar for kartlegging av tunnelstein sine eigenskapar diskuterast med bakgrunn frå litteraturstudie og analyse av MWD-data.

5.4.1 Viktige eigenskapar

Før ein kan seie noko om kva metodar ein bør bruke for å kartlegge potensialet til tunnelsteinen med omsyn til utnytting, er det viktig å vite kva eigenskapar som er viktige for tunnelstein i vidare bruk. I litteraturstudie er det undersøkt litteratur som omtalar avgjerande eigenskapar for stein som byggemateriale (kapittel 2.1) og tunnelstein sine eigenskapar (kapittel 2.2). Dette er hovudgrunnlaget for den vidare diskusjonen og kartlegginga av viktige eigenskapar for tunnelstein til vidare bruk.

Rettleiaren “*Forundersøkelser og bruk av kortreist stein*” (Aasly mfl., 2019) beskriv at materialet sine eigenskapar er avhengige av materialet si kornform, steinstorleik, mekaniske eigenskapar og bestanddelar. Dette legg grunnlaget for kva eigenskapar som vert diskutert vidare.

Korngradering

Korngradering beskriv fordeling av kornstorleikar i massen og vert som regel framstilt som ei kumulativ korngraderingskurve mot masseprosent og kornstorleik (Statens vegvesen, 2014). Figur 2.2 viser typisk korngraderingskurve for tunnelstein ved TBM-drift og konvensjonell driving. Massar si korngradering er svært avgjerande for ei rekkje eigenskapar for steinmassar, og dei fleste bruksområde har krav til visse graderingskurver. Figur 2.1 viser krav til korngradering for materiale som skal nyttast innan forsterkingslag, og er sett for å sikre god drenering, stabilitet, lastfordelende eigenskapar og frosteigenskapar (Statens vegvesen, 2018a). Korngraderinga påverkar alle desse funksjonsegenskapane. Til dømes kan høgt innhald av finstoff gje dårleg drenering, høgt poretrykk og dermed dårlegare stabilitet. Finstoffinnhaldet avgjer også permeabiliteten til massane og kan gjere dei utsette for telehiv. Samtidig vil ei einsarta korngradering ha mindre fyll mellom korna og dermed mindre kontaktflate som igjen fører til dårleg stabilitet (Statens vegvesen, 2018a). Ei slik gradering med mykje holrom vil også gi dårleg isolerande eigenskapar, då undergrunnen vert utsett for varmetap ved konveksjon gjennom massane.

Massane si korngradering er altså bestemmende for mellom anna drenering, stabilitet, lastfordelende eigenskapar samt frosteigenskapar. Korngraderinga vert med det sannsynlegvis det viktigaste kriteriet for om masse er eigna til vidare bruk eller ikkje. Likevel er dette noko som er så viktig for alle typar massar, at knusing, siktig og sortering i fraksjonar for å tilpasse massane si korngradering er noko som stort sett vert gjort for alle massar til dei fleste bruksområde, ifølgje Bellopede og Marini (2011). Unntaka er for massar som skal til deponi og fyllingar der dei stort sett kan nyttast direkte.

Geometriske eigenskapar

Geometriske eigenskapar er ei samlenemning for eigenskapar knytt til form, storleikar og tekstur av korna. Janoo (1998), Rohde mfl. (2019) og AASHTO (2013) peikar alle på geometriske eigenskapar til steinkorn som viktige faktorar for kor godt massen vil eigne seg til ulike formål.

Dei mest sentrale geometriske eigenskapane som vert peika på er kornform, angularitet og overflatetekstur. Det kjem fram av litteraturen at kornform vil ha innverknad på blant anna massane sin stabilitet (Statens vegvesen, 2018a), samt massane sin eignaheit innan betongtilslag (Rohde mfl., 2019). Rohde mfl. (2019) beskriv mellom anna at ei elongert kornform i betongtilslag vil fange meir vatn og skape svakheiter i betongen sin struktur. Overflatestruktur og angularitet kan gjere seg gjeldande ved at skarpe hjørne og ru overflate gir større friksjon mellom korna i massane. I betong betyr dette redusert støypegheit og auka behov for vatn og sement og dermed auka kostnader (Bellopede og Marini, 2011), medan ved ubunden bruk vil auka friksjon kunne gi betre stabilitet. Dei geometriske eigenskapane til steinmassar kan til ein viss grad endrast ved bearbeidingsmetodar som knusing.

Mekaniske eigenskapar

Mekanisk styrke er ein eigenskap som i stor grad avgjer massane sin motstand mot nedknusing og slitasje, som vidare kan føre til generering av finstoff og auke finstoffinnhaldet i massane utover bruksperioden (Statens vegvesen, 2018a). Motstand mot nedknusing og slitasje er sett på som viktig for omtrent alle bruksområde som vert belasta og har krav til finstoffinnhald. Då det i stor grad er geologiske faktorar som mineralsamansetjing og bergart, som avgjer denne eigenskapen, vil det vere vanskeleg å utbetre den mekaniske styrken ved enkle behandlingsformer. Fjellet sin geologi vil derfor i stor grad verte førande for denne eigenskapen og steinen sitt potensiale innan vidare bruk. Til dømes vart, ifølgje Landsgård (intervju, 20.03.2020), fylltitten på Rogfast vurdert som ueigna til alt anna enn utfylling i sjø på grunn av dei dårlege mekaniske eigenskapane.

Petrografi

Petrografi omhandlar beskriving og klassifisering av bergartar og kjem fram ved å undersøke mineralsamanetjing og struktur i steinprøvar (Statens vegvesen, 2014). Det er tidlegare nemnt ved utfordringar for tunnelstein, at naturlege førekomstar av visse mineral og metall vil kunne medføre utfordringar for vidare bruk. Eit døme på dette er tunnelsteinen på Follobanen som vart lite eigna til betongformål grunna innhaldet av magnetkis og sulfat (Rohde mfl., 2019). Vidare vil petrografi med mineralsamansetjing vere heilt avgjerande for potensialet til tunnelsteinen innan bruk i mineralindustrien (Bellopede og Marini, 2011).

Forureining

Som tidlegare nemnt er tunnelstein sine bestanddelar ikkje avgrensa til naturlege førekomstar av mineral, men også forureining frå driveprosessen. Ved konvensjonell driving med boring og sprenging, omfattar forureininga særleg sprengstoffrestar, søl frå sprøytebetong, oljesøl og plastrestar (Rohde mfl., 2019; Landsgård, intervju 20.03.2020). Desse forureinande elementa har det vorte meir fokus på dei siste åra, særleg med tanke på avrenning frå fyllingar og ved utfylling i sjø. Utfordringane vart særleg tydeleg på Ryfast, der store mengder plast frå tennsystem flaut opp til overflata etter utfylling i sjø og foruriena store areal i strandsona (Landsgård, intervju 20.03.2020).

På bakgrunn av det som er diskutert her, er det laga ei oversikt over viktige eigenskapar ved tunnelstein og kva funksjonseigenskapar desse verkar inn på. Oversikta er framstilt i tabell 5.3.

Tabell 5.3: Viktige eigenskapar for tunnelstein og innverknad på brukseigenskapar

| Eigenskap | Påverka funksjonseigenskapar ved bruk |
|------------------|---|
| Kornfordeling | Drenering, frostnedtrenging og stabilitet |
| Kornform | Stabilitet, nedknusing og betongkvalitet ved bruk som tilslag |
| Flisigheit | Stabilitet, nedknusing og betongkvalitet ved bruk som tilslag |
| Angularitet | Stabilitet, nedknusing og støypelegheit ved bruk som tilslag |
| Overflatetekstur | Stabilitet og støypelegheit ved bruk som tilslag |
| Mekanisk styrke | Motstand mot nedknusing og slitasje |
| Petrografi | Motstand mot nedknusing, helse- og miljøskade frå mineral, potensiale innan mineralindustri og eignaheit til betongformål |
| Forureining | Potensiale for helse- og miljøfare |

5.4.2 Eigna testmetodar

Viktige eigenskapar framstilt i tabell 5.3 er dei eigenskapane som er sett på som viktige for steinmassar sitt potensiale til vidare bruk. Kva eigenskapar som er viktig å kartlegge for dei ulike bruksformåla, vil vere avhengig av funksjonskrava for formåla. Til dømes nemner Rohde mfl. (2019) viktigheita av å kartlegge førekomstane av alkalireaktive mineral av steinen, dersom den skal vurderast for betongformål. Vidare beskriv rettleiaren frå Kortreist stein-prosjektet (Aasly mfl., 2019) at det er spesielt viktig å kartlegge den mekaniske styrken til stein som skal nyttast som kvalitetsmassar i veg eller bane, for å unngå nedknusing og slitasje. Ifølgje same rettleiar vert det sjeldan stilt krav til massen sin mekaniske styrke ved bruk til meir lågverdige formål, som til dømes frostsikring, drens masse og fyllmasse. Kva som skal kartleggast og testast er altså avhengig av kva bruksformål som er aktuelle i nærrområde.

I kapittel 2.3.1 vert det ramsa opp ei rekkje vanlege testmetodar frå ITA-rapporten (Rohde mfl., 2019), men for dei fleste bruksområde vert mesteparten av desse overfløydige. Tabell 2.2 viser testane som, ifølgje Oggeri og Ronco (2010), vart gjort ved Bodio i samband med utbygginga av Gothard Base tunnel. Desse testane vart gjort som ein produksjonskontroll av den bearbeida TBM-massen for å sikre at kvaliteten av massane samsvara med krava for betongtilslag. Bell-opede og Marini (2011) avgrensa seg ytterlegare til berre fem testar då dei skulle undersøkje eignaheita av tunnelstein til ulike bruksformål. Dei fem testane som vart vald på bakgrunn av ei analyse av EN-standardar var petrografisk analyse, korngraderingsanalyse, flisigheit og formindeks, samt motstand mot nedknusing ved LA-test. Desse fem testane vart altså rekna som tilstrekkeleg for å kunne seie mykje om tunnelstein si eignaheit.

I rettleiaren “*Forundersøkingar og bruk av kortreist stein*” (Aasly mfl., 2019) vert det presentert ei oversikt over kva testmetodar som vil vere relevante for massar etter aktuelle bruksformål. Oversikta er gjengitt i tabell 2.3, der ein kan sjå at bruksområda er delt inn i bruksklassane M1-M5, som vart omtala i kapittel 5.1.1. Oversikta omfattar testmetodane flisigheitsindeks, Los Angeles-test, micro-Deval, kule mølle, kartlegging av totalt svovelinnhald og petrografisk analyse. Av desse er micro-Deval, kule mølle og kartlegging av totalt svovelinnhald dei testane som er relevante for færrest bruksformål. Testane som er oppført som relevante for flest bruksformål

er Los Angeles-test og petrografisk analyse. Korngraderingsanalyse er ikkje med i oversikta frå rettleiaren, men det er antekt at dette er på grunn av at korngraderinga er ein eigenskap som uansett må tilpassast for dei fleste bruksområde.

Omfang av testing og design av testplan er altså avhengig av kva bruksformål som er aktuelle for tunnelsteinen. Vidare kan petrografisk analyse og Los Angeles-test virke å vere dei testane som går mest igjen som eigna testar for å vurere tunnelstein si eignaheit, og dei som er relevante for flest bruksområde. Petrografisk analyse før driving vil kunne gi ein peikepinn på kva type massar ein kan vente seg å få ut av driveprosessen, medan petrografisk analyse undervegs vil sikre at steinen sine bestanddelar ikkje gjer tunnelsteinen ueigna til dei aktuelle bruksområda med omsyn til kvalitet og miljø. Los Angeles-test vil i stor grad kunne fortelje om steinen sin mekaniske styrke i form av motstand mot nedknusing og slitasje, og kan dermed fortelje om ein av dei største føresetnadane for steinmaterialets brukspotensiale.

I litteraturstudie vart det også funne kjelder som sette fokus på pålitelegheita av Los Angeles-testen. Alnæs mfl. (2019) peikar på at fleire studiar viser at styrkeegenskapar for eit steinmateriale, uttrykt med LA-verdi, vert forskjellig ettersom prøven er produksjonsknust eller laboratorieknust. Steinmaterialets kvalitet vert dermed påverka av knusemetodar som tradisjonelle testmetodar ikkje fangar opp. Nålsund (2014) sitt arbeid med pålitelegheit ved bedømming av bergartar sin mekaniske styrke, resulterte i ei rekkje funn om korleis Los Angeles-testen kan gi misvisande tal med dagens praksis. Blant anna vart det funne at LA-verdien er avhengig av steinstorleik saman med skifrigheit, samt at vassinnhaldet og dagfjellsona vil kunne påverke prøveresultata. Statens vegvesen sin praksis med å teste den standardiserte 10/14-fraksjon i turr tilstand, vil dermed vere lite representativt for stein med større steinstorleikar og eksponert for vatn.

Med bakgrunn i funna til Nålsund (2014) og Alnæs mfl. (2019) vil Riviera mfl. (2014) sine synspunkt om ein overgang til meir ytingsbaserte spesifikasjonar i staden for normative spesifikasjonar, vere interessante. Ved å skifte ut dei normative spesifikasjonane som er basert på empiri, vil ein kunne unngå at nye typar massar vert avskrivne som avfall grunna avvik frå dei tradisjonelle massane som empirien er basert på. Ytingsbaserte spesifikasjonar, som tek utgangspunkt i dei fundamentale eigenskapane til massane, krev testmetodar som godt nok kartlegg eigenskapane slik dei vert ute i felt. Slike testmetodar er ofte kompliserte å få i stand og det kan tenkast at ein eventuell overgang vil vere litt fram i tid. Det bør likevel vere mogleg å følgje råda til Nålsund og Alnæs mfl. om å sørgje for at testane er gjennomført med litt meir representative forhold.

5.4.3 Bruk av MWD-data til kartlegging av kvalitet

Frå erfaringsrapporten for Veidekke-prosjektet K10 Rådal-Svegatjørn (Rise og Steinsland, 2019) kom det fram at MWD-data vart nytta som ein indikator på kvaliteten av massen som vart teken ut av tunnelen allereie før salva var sprengt. På denne måten kunne entreprenøren sortere massane direkte ved utkøyring i tippar med ulik kvalitet. MWD-data si eignaheit til å vurere framtidig tunnelstein sin mekaniske styrke er undersøkt vidare i samband med denne oppgåva. I undersøkinga vart det undersøkt korleis kartlagde geologiske variasjonar i Skogertunnelen på prosjektet Drammen-Kobbervikdalen kom fram i tolka hardheit frå MWD-data, samt korrelasjon mellom LA-verdiar og tolka hardheit i Ryfylketunnelen på Ryfast. Resultata av denne undersøkinga er å finne i kapittel 4.3.

LA-verdi/Tolka hardheit

Frå analysen av korrelasjon mellom LA-verdi og visualisert tolka hardheit kom det ikkje fram noko tydeleg samanheng frå det nytta datagrunnlaget. Det er dermed ikkje grunnlag for å seie at det er ein samanheng mellom tolka hardheit og LA-verdi på bakgrunn av datasettet frå Ryfylketunnelen. Det må likevel presiserast at datasettet bestod av berre fem område med tilhøyrande resultat frå Los Angeles-testar og at desse områda framstod som svært like i visualiseringa for tolka hardheit. Alle dei undersøkte områda kunne oppfattast som “normalt fjell” frå visualiseringa av tolka hardheit og gav dermed lite rom for å undersøkje korleis større variasjonar hadde spelt inn. Samtidig var alle dei tilhøyrande LA-verdiane innanfor krava for dei fleste bruksformåla beskrive i Statens vegvesen si handbok N200 (2018a). Dette kan også vere noko som viser at alle prøvane var av det ein kan kalle “normalt fjell”. På den måten kan ein seie at det er ein viss korrelasjon i at heile datasettet er innanfor normalen, men at det ikkje er noko vidare korrelasjon innad i datasettet. På bakgrunn av det kan det tenkast at tolka hardheit frå MWD-data vil vere dårleg eigna til å fange opp små variasjonar i mekanisk styrke, men at det likevel vil kunne gi ein indikasjon ved større variasjonar.

Grunna det avgrensa datasettet som er nytta i denne analysa, vil feilkjelder ved MWD-dataa eller Los Angeles-testane kunne vere svært utslagsgivande. Tolkinga er derfor gjort med forbehold om at det ikkje føreligg feilkjelder ved verken LA-verdiane eller tolkinga av hardheit frå MWD-data. Eit større datasett ville truleg gjort analysa både meir påliteleg og meir nyttig.

Geologisk variasjon/Tolka hardheit

Frå analysa av samanheng mellom bergartsvariasjonar og tolka hardheit frå MWD er det funne at to av tre førekomstar av diabas kan skiljast frå mengda av drammensgranitt ved hjelp av tolka hardheit. Den siste førekomsten er det knytt meir usikkerheit til om ein kan sjå igjen i tolka hardheit eller om likskapar i formasjonar er tilfeldig. Ei mogleg årsak for denne usikkerheita er at denne førekomsten har ei mindre mektigheit enn dei andre, og at det dermed vil vere vanskelegare å finne den tydeleg igjen i visualiseringa for tolka hardheit. Basert på funna i dei tre områda er det grunnlag for å seie at formasjonane i visualisert tolka hardheit er grunna førekomsten av diabas som avvik i mekaniske eigenskapar frå drammensgranitten. Ifølgje oversikta frå ITA-rapporten (Rohde mfl., 2019) over typisk einaksiell trykkstyrke for skandinaviske bergartar i tabell 2.1, har diabas generelt høgare trykkstyrke enn granitt. Dette er med på å underbygge funnet, sidan diabasen kjem fram i tolka hardheit med auka hardheit i forhold til den svakare drammensgranitten rundt.

Det er altså funne at MWD-data i form av tolka hardheit kan brukast til å skilje mellom to bergartar som har ulik mekanisk styrke. Dette underbygger ytterlegare påstanden om at MWD-data kan nyttast som ein indikator på framtidig tunnelstein sin mekanisk styrke. Det er likevel også her nytta eit avgrensa datagrunnlag med berre 3 kartlagde område med bergartsvariasjonar. Det kan heller ikkje utelatast at variasjonen i tolka hardheit kan komme av andre ulikheiter mellom dei to bergartane, som til dømes densitet eller skifrigheit.

MWD-data som kvalitetsindikator

Analysene av MWD-data gjev altså teikn om at MWD-data kan nyttast som indikator for tunnelsteinen sin mekaniske styrke ved store variasjonar, men er prega av avgrensa datasett og dårleg tilpassa prøvetaking. Ved eit eventuelt vidare arbeid innan dette området ville fyrste bod vore å oppdrive eit prosjekt med større datasett tilgjengeleg. Eventuelt kunne ein sjølv ha valt område for prøvetaking ut frå kvar det er variasjonar i MWD-data. Dette krev at innsamlingsarbeidet

skjer over ein lengre periode, samtidig som driveprosessen.

Erfaringsrapporten frå K10 Sveгатjørn-Rådal (Rise og Steinsland, 2019) beskriv at det der vart funne god korrelasjon mellom tolka hardheit frå MWD-data og mekanisk styrke frå Los Angeles-testar. Årsaka til at det vart funne korrelasjon der og ikkje her, kan vere at det har vore større variasjonar i bergmassen sin tolka hardheit og mekaniske styrke der enn det som var for datasettet nytta i denne oppgåva. Uansett bygger funnet frå K10 Sveгатjørn-Rådal opp under påstanden om at MWD-data i form av tolka hardheit kan nyttast som ein indikator for tunnelstein sin mekaniske styrke, særleg ved store variasjonar.

I tillegg finst det også tidlegare studiar knytt til MWD-data sin korrelasjon med mekaniske testar og bergartsvariasjonar. Til dømes fann heller ikkje Valli (2010) noko tilfredsstillande korrelasjon mellom MWD-data og mekaniske testar, men fann, slik som her, at MWD-data kunne nyttast til å skille gangbergartar frå den homogene bergmassen. Samanhengen mellom kartlagde bergartsvariasjonar og tolka hardheit frå MWD er også funne av Jakobsen og van Oosterhout (2018) ved to prosjekt. Dei beskriv også at det på det eine prosjektet vart nytta MWD-data til å kvantifisere hardheita av berget og vise mektigheita av større svakheitssoner. Desse litterære kjeldene bygger opp under funna om at tolka hardheit frå MWD-data kan nyttast til å identifisere bergartsvariasjonar, men også at det er utfordrande å finne tilfredsstillande korrelasjon mellom mekaniske testar og tolka hardheit.

Betydninga av at MWD-data kan reknast som ein god indikator for tunnelstein sin kvalitet, vil vere at MWD-data då kan nyttast til å sortere tunnelsteinen salve for salve allereie før utkøyring. Ein kan dermed opprette ulike tippar med forskjellige kvalitetar til vidare bearbeiding. Dette kan såleis bidra til forsvarleg massehandtering, til tross for stor usikkerheit ved geologiske variasjonar i tunneltraseen.

5.4.4 Vurdering av tunnelstein

Som beskrive tidlegare, bør tunnelstein sine eigenskapar vurderast for både planleggingsfasen og under driveperioden. For planleggingsfasen bør ein undersøkje eigenskapar som er viktige for dei bruksområda som verkar mest aktuelle. Ved å gjere ei petrografisk analyse har ein eit godt utgangspunkt for å seie litt om kva potensiale bergarten har innan ulike bruksområde. Deretter vil Los Angeles-test vere godt eigna for å finne motstand mot nedknusing, som vil vere ein av dei mest avgrensande eigenskapane for tunnelstein sitt potensiale for vidare utnytting. Deretter må ein gjere vidare undersøkingar basert på funn i den petrografiske analysa samt kva bruksområde som kan vere aktuelle i nærområde.

Under drivinga vil det vere viktig med ein god arbeidsmetodikk for løpande kartlegging av tunnelsteinen for å unngå at geologiske variasjonar dannar store avvik i produsert materiale sin kvalitet. Som del av denne arbeidsmetodikken kan MWD-data vere nyttig for å foreløpig kartlegge tunnelstein sin forventa kvalitet og sortere tunnelsteinen, salve for salve, i midlertidige tippar av ulike kvalitetar. Tunnelsteinen kan deretter verte bearbeida ved knusing og sikting til det materialet den er eigna til. MWD-data verkar likevel å fungere best som ein kvalitetsindikator ved større variasjonar og det er fortsett usikkert kor godt tolkinga av borparametrar beskriv mekaniske eigenskapar for tunnelsteinen.

5.5 F5: Potensialet til tunnelstein som ressurs

For at tunnelstein skal kunne utnyttast betre som ressurs er det viktig å vite kva moglegheiter og positive effektar ei auka utnytting av tunnelstein har potensiale til å føre med seg. Forskingsspørsmål 5 er derfor: “*Kva potensiale har tunnelstein som ressurs?*”. Dette spørsmålet vil i det følgjande diskuterast med bakgrunn frå tidlegare diskusjon og funn i litteraturstudie. Diskusjonen vil mellom anna omfatte kva bruksområde tunnelstein kan vere eigna til samt kva gevinstar ein kan få for prosjekta og samfunnet ved ei auka utnytting, men fyrst vil norske bergartar sitt potensiale som ressurs diskuterast.

Sidan tunneltraseen ikkje vert bestemt på grunnlag av kva kvalitetar ein vil få av steinmassen i etterkant, må ein forvente at det vert drive tunnelar i alle typar bergartar som finst i Noreg. Ifølgje Aasly mfl. (2019) varierer Noreg sin geologi mellom prekambriske, kaledonske, devonske og permiske bergartar. Vidare vert det beskrive at store delar av Noregs bergartar generelt vert rekna som eigna som byggeråstoff, men særleg karbonatbergartar og sedimentære bergartar vert trekt fram som svake bergartar. Dersom ein ser på figur 2.11 og 2.12 kan ein sjå at over halvparten av norske bergartar i NGU sin grus- og pukkdatabse er eigna til bærelag og toppdekke på vegar med ein ÅDT opp til 3000 i over 50% av tilfella. I vegfundament har over 60% av prøvane vore eigna for alle bergartane unntatt marmor. Dette tyder på at Noreg har eit rikt mangfold av gode steinressursar som varierer i potensiale, men som stort sett kan nyttast til nyttige formål.

5.5.1 Bruksformål for tunnelstein

Tunnelstein sine moglegheiter for vidare bruk er i stor grad avhengig av eigenskapane omtala i kapittel 5.4.1. Generelt vil konvensjonell driving med boring og sprenging produsere grove massar opp til blokkstorleik med kubisk kornform (Rohde mfl., 2019). Dette gjer at massane ofte har potensiale innan formål som krev større fraksjonar, som til dømes erosjonsvern ved elvar og strandsoner. I tillegg bidreg sprengingsenergien ved konvensjonell driving til kantete korn med høg friksjon (Rohde mfl., 2019). Dette gjev massane god stabilitet og stort potensiale til bruk som granulært materiale i til dømes vegoppbygging, etter tilpassing av korngradering ved knusing og sikting. Samtidig gjer den kantete kornforma at massane ofte er uønskt som betongtilslag grunna kostnadsauka frå auka sementbehov. I tillegg vil dei forureinande bestanddelane som er diskutert i kapittel 5.2.2, kunne medføre utfordringar ved bruk i til dømes sjøfyllingar. Eigenskapane til tunnelstein fører altså med seg både fordelar og ulemper ved ulike typar bruksformål. Det er derfor viktig å kartlegge kva bruksformål som kan vere aktuelle for tunnelstein, og korleis eigenskapane til tunnelstein påverkar potensialet innan dei ulike formåla.

Frå litteraturstudie er det funne fleire forslag og eksempel på kva tunnelstein kan nyttast som. I tabell 5.4 er nokre av desse bruksformåla lista opp med eit utval av viktige eigenskapar for kvart formål. Bruksformåla er rangert etter verdipotensiale med bakgrunn frå rangeringane som er omtala i kapittel 5.1.1. Deponi er ikkje teke med då det ikkje kan karakteriserast som “bruk”. Som Drevsjø nemnte i intervjuet (16.04.2020), bør også transportavstandar takast omsyn til ved vurdering av eigna bruksformål. Kvalitetsmassar transportert over lange avstandar legg igjen eit stort CO₂-avtrykk, og miljøgevinsten ved å nytte tunnelstein vidare vil forsvinne. Kvant prosjekt må dermed vege verdien av moglege bruksformål opp mot transportavstandar for å finne bruksformåla som gjev mest positiv effekt for prosjektets økonomiske balanse og miljøbelastning.

Tabell 5.4: Moglege bruksformål for tunnelstein med eit utval viktige eigenskapar for massane ved dei ulike formåla.

| Bruksformål | Viktige eigenskapar |
|---|--|
| Råstoff i byggebransjen til bunden bruk (t.d. betongtilslag og asfalttilslag) | Geometriske-, mekaniske- og kjemiske eigenskapar (t.d. korngradering, motstand mot nedknusing og alkalireaktivitet) |
| Kvalitetsmateriale i veg- og bane (t.d. ballast, bærelag og forsterkingslag) | Mekaniske- og geometriske eigenskapar (t.d. motstand mot nedknusing, korngradering og kornform) |
| Råmateriale til industri (tilverking av t.d. glas, stål og måling) | Mineralsamansetjing |
| Andre formål innan veg og bane (t.d. frostsikring, drenering og fylling) | Mekaniske- og geometriske eigenskapar (t.d. motstand mot nedknusing, korngradering og kornform) |
| Miljøformål (t.d. jordforbetring og tildekking av sjøbotn) | Mineralsamansetjing og korngradering |
| Områdesikring (t.d. erosjonssikring, murar og støyvollar) | Geometriske eigenskapar (t.d. korngradering og kornform) |
| Fyllingsformål (t.d. sjøfylling for etablering av nytt land) | Geometriske- og kjemiske eigenskapar (t.d. finstoffinnhald og innhald av forureinande avfall eller mineral) |

5.5.2 Gevinstar ved auka utnytting

Stein er ifølgje Rise, Alnæs og Rambæk (2019), den mest brukte naturressursen i verda og utgjer ein føresetnad for dei aller fleste byggeprosjekt. Samtidig som norske sand- og grusførekomsstar minkar og fører til auka transportavstandar av steinmassar, vert det teke ut om lag 19 millionar tonn tunnelmassar kvart år som i hovudsak vert dumpa (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019). Dette vitnar om ei ressursutnytting som sløser vekk dyrebare naturressursar og som ikkje er berekraftig, sjølv for Noreg med sine enorme mengder av gode steinressursar. Ei auka utnytting av tunnelstein vil kunne dekke store delar av Noregs behov for byggeråstoff og føre til ei meir bærekraftig handtering av landet sine rike naturressursar.

Drevsjø (intervju, 16.04.2020) meiner at auka utnytting av tunnelstein kan føre til færre store deponi for lagring av tunnelstein og mindre behov for store dagbrot for produksjon av steinmaterialar. Dette medfører at samferdsleprosjekt sin inngripen i naturområde kan minimerast ved auka utnytting av tunnelstein. Vidare meiner Drevsjø at eit større fokus på utnytting av tunnelstein kan gjere at det vert lønnsamt å framskynde nærliggande tiltak kring tunnelprosjekt, for å gi fleire moglegheiter for utnytting av tunnelsteinen. På denne måten vil ein få ein samfunnsgevinst av at infrastruktur i nærleiken av tunnelprosjekt vert utbetra fortare.

Landsgård (intervju, 20.03.2020) legg vekt på kor viktig det økonomiske aspektet er for at ei endring skal finne stad. Ho meiner at byggherrar og entreprørar sin søken etter dei minst kostbare løysingane i seg sjølv er samfunnsøkonomisk. For at utnytting av tunnelstein skal vere samfunnsøkonomisk, bør det altså også vere økonomisk for byggherre og entreprenør. Dette medfører at kostnaden for intern bearbeiding og testing må vere mindre enn kostnaden for å kjøpe og transportere stein frå pukkverk, pluss kostnaden for å deponere steinen. Dersom ein

ser på prosjekteksempelet frå Gotthard Base tunnel i kapittel 2.7.1 kan ein sjå at kostnaden for etablering av behandlingsanlegg og testing er estimert til 8 millionar sveitsiske franc, medan innteninga frå redusert innkjøp av massar samt reduserte transportkostnadar er estimert til heile 100 millionar sveitsiske franc, ifølgje Rohde mfl. (2019). Sjølv om dette er eit stort prosjekt der eingongsinvesteringar vert små samanlikna med driftsbudsjettet, tyder tala frå Gotthard Base tunnel på at det er stort potensiale for å gjere utnytting av tunnelstein lønnsamt.

Til slutt er det viktig å ta føre seg det komplekse miljøaspektet. Kortreist stein-prosjektet (Rise, Alnæs og Rambæk, 2019) nemner blant anna reduserte klimagassutslepp, betre ressursutnytting og redusert transport og trafikkulempar for lokalmiljø kring anlegga som moglege gevinstar ved auka utnytting av lokale massar. Landsgård (intervju, 20.03.2020) fortel likevel at miljødirektoratet som skal fremje Noregs miljøinteresser, ofte vert opplevd som proppen i systemet ved saker knytt til bruk av tunnelstein. Årsaka til dette er sannsynlegvis tunnelsteinen sitt innhald av forureinande element og at miljøgevinsten mtp. reduserte transportavstandar ikkje kan vege opp for dei potensielle negative miljøeffektane ved vilkårleg plassering av tunnelstein i og utanfor prosjektet. For at tunnelstein ikkje skal reknast som næringsavfall må den derfor nyttast til formål som har ein nytteverdi, og aller helst i linja internt i prosjektet.

Utnytting av tunnelstein sin effekt på klimagassutslepp er ikkje spesielt undersøkt i denne rapporten, men eit tenkt tilfelle der tunnelstein vert frakta til eit nærliggande mobilt knuseverk og bearbeida, for så å verte frakta ut igjen til linja i nærleiken vil med all sannsynlegheit generere mindre klimagassutslepp enn eit tilfelle der tunnelsteinen fraktast til eksternt deponi og produksjonsstein vert frakta frå eit eksternt pukkverk. Samtidig som det fyrste alternativet vil gi kortare transportavstandar, vil det også føre til at ein unngår arbeidet med å sprengje ut steinen til produksjon i pukkverket, då dette vert erstatta av sprengingsarbeidet i tunnelen som uansett må gjennomførast. Det er såleis ingen grunn til å tru at intern bearbeiding av tunnelstein skal vere mindre klimavennleg enn deponering av tunnelstein og kjøp av ny produksjonsstein.

Oppsummert er gevinstane ved auka utnytting av tunnelstein:

- Auka utnytting av ein viktig naturressurs.
- Reduserte naturinngrep grunna minkande behov for deponi og dagbrot.
- Reduserte klimagassutslepp grunna reduserte transportavstandar og mindre sprengingsarbeid.
- Moglegheit for økonomisk inntening frå redusert innkjøp av massar og reduserte transportkostnadar.
- Reduserte trafikkulempar frå massetransport i nærmiljøa kring anleggag.
- Moglegheit for framskunda gjennomføring av tiltak i nærleiken av tunnelprosjekt.

Med desse gevinstane som grunnlag bør det vere mogleg å motivere den norske BA-næringa til å arbeide i lag mot ei auka utnytting av tunnelstein.

Konklusjon

Ved hjelp av litteraturstudie, e-postkorrespondanse, kvalitative intervju og analyse av MWD-data, er det i denne masteroppgåva undersøkt problemstillinga “*Korleis utnytte tunnelstein betre som ressurs?*”. For å svare på problemstillinga har arbeidet teke utgangspunkt i fem forskingsspørsmål som omfatta: Dagens utnytting, utfordringar ved utnytting, viktige føresetnader for god utnytting, vurdering av eignaheit og potensiale til tunnelstein som ressurs.

Frå **forskingsspørsmål 1** er det funne at Noreg har noko å strekke seg etter når det kjem til utnytting av tunnelstein. Store delar av stein teke ut ved norske tunnelprosjekt går til lågverdige formål, som til dømes sjøfyllingar, og det ligg dermed eit stort utnytta verdipotensiale i tunnelstein i Noreg som ei optimalisert utnytting vil gi tilgang til.

Forskingsspørsmål 2 resulterte i ei kartlegging av utfordringar knytt til utnytting av tunnelstein. Dei mest sentrale utfordringane ved utnytting av tunnelstein er: Forureining i massane, innstrammingar i intern og ekstern disponering, usikkerheit ved geologiske forhold, store arealbehov for bearbeiding og lagring, samt stor finstoffproduksjon ved bearbeiding av tunnelstein til vidare bruk. Desse utfordringane vil vere viktige å kunne handtere for å utnytte tunnelstein betre.

I **forskingsspørsmål 3** er det funne at for å oppnå god utnytting av tunnelstein er det viktig med bruksfokusert kartlegging av kvalitet, både i tidlegfasen og under driveperioden. Vidare er det viktig med fokus på massehandtering i planleggingsfasen med vurdering av moglege bruksformål og avsetjing av tilstrekkeleg areal til bearbeiding og lagring. Eit viktig hjelpemiddel for å legge til rette for lagring og bearbeiding er regional planlegging, som også kan bidra med betre koordinering av massehandtering på tvers av prosjekt. I tillegg bør også kontrakta legge til rette for bruk av tunnelstein gjennom felles målsetjingar og motivasjon for å arbeide mot god utnytting av tunnelstein.

Forskingsspørsmål 4 resulterte i ein gjennomgang av viktige eigenskapar, eigna testmetodar og MWD-data sin eignaheit som kvalitetsindikator. Det er funne at petrografisk analyse og Los Angeles-test er undersøkelane som er naudsynte for flest bruksformål, og dannar eit godt utgangspunkt for å vurdere tunnelsteinen sitt potensiale innan utnytting i prosjektet sin tidlegfase. I driveperioden vil det vere viktig med ein god arbeidsmetodikk for løpande kartlegging av tunnelsteinen, for å unngå at geologiske variasjonar dannar store avvik i produsert materiale sin kvalitet. Som del av denne arbeidsmetodikken kan MWD-data vere nyttig for å foreløpig kartlegge tunnelstein sin forventade kvalitet og sortere tunnelsteinen salve for salve i midlertidige tippar av ulike kvalitetar. Det er ikkje funne noko klar samanheng mellom MWD-data og LA-verdi, men det er likevel funne teikn på at MWD-data kan fungere som ein indikator på tunnelsteinen sin kvalitet og vere eit bidrag mot auka utnytting av tunnelstein.

I **forskingsspørsmål 5** er det til slutt undersøkt moglege bruksformål for tunnelstein, samt moglege gevinstar for prosjekta og samfunnet ved ei auka utnytting av tunnelstein. Bruksformåla er rangert etter verdien av utnytting innan dei ulike formåla, frå betongformål på toppen til fylingsformål i botnen. Gevinstar knytt til utnytting av tunnelstein er mellom anna auka utnytting av naturressursar, reduserte naturinngrep frå deponi og pukkverk, reduserte klimagassutslepp frå transport og sprenging, reduserte innkjøps- og transportkostnadar, reduserte trafikkulemper frå massetransport og moglegheit for framskunda gjennomføring av nærliggande tiltak kring tunnelprosjekt. Desse gevinstane bør vere tilstrekkeleg for å motivere den norske BA-næringa til å arbeide i lag mot ei auka utnytting av ressursen tunnelstein.

Vidare arbeid

I løpet av dette masterarbeidet har temaet knytt til utnytting av tunnelstein vist seg å vere svært komplekst med mange ulike forhold som verkar inn. Det er derfor fortsatt nokre forhold kring temaet som ikkje er utforska nemneverdig her. I tillegg har avgrensingar i metodar gjeve klarheit i område som kan utforskast ytterlegare.

Eit område kor ein hadde vore tjent med meir datainnhenting, er utnyttingsgrad av tunnelstein ved tildegare tunnelprosjekt. For å meir nøyaktig kunne vurdere grad av utnytting, bør ein forsøke å finne kva tunnelsteinen faktisk vart brukt som (t.d. bærelag, betongformål, forsterkingslag osv.) og ikkje berre innan kva område den vart brukt (t.d. vegbygging, jernbane osv.). Ein vil då kunne anslå meir nøyaktig kor stort verdipotensiale er for auka utnytting av tunnelstein.

For å samle meir data til forskingsfeltet kring tunnelstein sine eigenskapar kan det vere hensiktsmessig å gjennomføre felt- og laboratoriearbeid for å kartlegge tunnelstein på eit pågåande tunnelprosjekt, slik det i utgangspunktet var planlagt her. Ein kan då nytte nokre av dei testmetodane som er beskrevet i denne rapporten for å kartlegge geometriske og mekaniske eigenskapar, i tillegg til at ein kan undersøke innhaldet av forureinande element frå t.d. sprengstoff og plastikk. Eit slikt arbeid vil særleg vere nyttig dersom det vert gjennomført i eit område med forventede store uttak av tunnelmassar, slik som t.d. Bærum eller Bergensområdet.

Vidare kan rangeringa presentert i tabell 5.1 vore gjort meir anvendbar ved å innehalde fleire bruksformål. Dette kan gjerast ved å undersøke kvalitetskrav for ulike bruksområde og vurdere brukformåla frå strengast til lågast kvalitetskrav. Ei samanlikning med prisar for massar med tilsvarende krav frå pukkverk vil også kunne vere med i vurderinga.

Til slutt er det fortsatt delar av miljøgevinsten ved auka utnytting av tunnelstein som er lite utforska i denne rapporten. Ved å nytte tal for transportavstandar og steinmengder frå tidlegare prosjekt, kan ein til dømes undersøke kor stor effekt dei ulike prosjekta ville hatt av auka utnytting av tunnelstein kontra kjøp av produksjonsstein med omsyn til CO₂. Kortreist stein sitt klimaverktøy omtala som “SteinLCA”, er truleg eit godt hjelpemiddel til eit slikt arbeid.

Bibliografi

- Alnæs, L., Danielsen, S. W., Onnela, T., Wigum, B. J., Hoff, I., Barbieri, D., Mathisen, L. U., Fladvad, M. & Nålsund, R. (2019). *Produksjon og bruk av overskuddsmasser - Beste praksis og vegen videre* (tekn. rapp.). SINTEF - Kortreist stein. <https://www.sintef.no/projectweb/kortreist-stein/publisering/>
- Bane NOR. (2018a). *Detaljregulering for InterCity-strekningen Drammen-Kobbervikdalen, Planbeskrivelse* (tekn. rapp.). Bane NOR. Henta 3. mai 2020, frå <https://www.banenor.no/contentassets/9251041c08304d15a598de2b2e20974a/vedlegg-3-planbeskrivelse.pdf>
- Bane NOR. (2018b). *UDK01 - Bergtunnel og dagsone Skoger*. Henta 20. januar 2020, frå <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/vestfoldbanen/drammen-kobbervikdalen/anskaffelser/udk-01---totalentreprise-bergtunnel-og-dagsone-skoger/>
- Bellopede, R. & Marini, P. (2011). Aggregates from tunnel muck treatments - Properties and uses. *Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2011*(47), 259–266.
- Bever Control. (2013). *MWD - Metode for kalibrering av borerigg i forhold til geologisk tolking* (tekn. rapp.). Bever Control. Ikkje publisert.
- Bæverfjord, M., Døssland, T., Eknes, A., Hagberg, K., Handberg, A., Jønland, J., Nerland, Ø., Rundmo, O., Sandven, R. & Frydenlund, T. (2011). *Veiledning for symboler of definisjoner i geoteknikk*. Norsk Geoteknisk Forening.
- Erben, H. & Galler, R. (2014). Tunnel spoil – New technologies on the way from waste to raw material. *Geomechanics and Tunneling, 7*(5), 402–410.
- Erichsen, E. (2018). *Transport av byggeråstoffer og miljøfotavtrykk* (tekn. rapp.). NGU. Norges geologiske undersøkelse.
- Ese, K. (2018). *Lærdalstunnelen - Verdas lengste vegtunnel*. Henta 25. januar 2020, frå <https://resource.fylkesarkivet.no/article/940698c1-230b-479c-99b1-85553c8442d2#>
- Fylkesmannen i Oslo og Viken. (2019). *Søknad om tillatelse til utfylling i sjø ved drammen havn*. Henta 15. mars 2020, frå <https://www.fylkesmannen.no/nn/oslo-og-viken/horinger/2019/07/soknad-om-tillatelse-til-utfylling-i-sjo-ved-drammen-havn/>
- Gulli, T. & Nilsson, I. (2020). *Bærum ressursbank - Hvordan tilrettelegge for økt gjenbuk av overskuddsmasser?* Henta 11. mars 2020, frå <https://www.byggemiljo.no/byggavfallskonferansen/>
- Jakobsen, P. D. & van Oosterhout, D. (2018). *Kort innføring i borparametertolkning for anleggsdrift* (tekn. rapp.). NFF - Utviklingskomiteen. Norsk forening for Fjellsprengningsteknikk.
- Janoo, V. (1998). *Quantification of Shape, Angularity, and Surface Texture of Base Course Materials* (tekn. rapp.). <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA335673>
- Kvale, S. & Brinkmann, S. (2018). *Det kvalitative forskningsintervju* (Bd. 3). Gyldendal.
- Little, D. N., Button, J. W., Jayawickrama, P. W., Solaimanian, M. & Hudson, B. (2003). Quantify shape, angularity and surface texture of aggregates using image analysis and study their effect on performance.
- Nilsson, I. (2018). *Forprosjektrapport Bærum Ressursbank* (tekn. rapp.). Bærum kommune. Bærum kommune.
- Nålsund, R. (2014). *Railway ballast characteristics, selection criteria and performance* (Doktoravhandling). Norges Teknisk Naturvitenskaplige Universitet, Trondheim.
- Nålsund, R. (2019). *Notat: Hvordan oppnå en mer pålitelig bedømming av bergarters mekaniske styrke ved vurdering av overskuddsmasser fra tunnelanlegg* (tekn. rapp.). Kortreist stein.

-
- <https://www.sintef.no/globalassets/project/kortreist-stein/015-notat-okt-palitelighet-ved-forundersokelser-v2.0-endelig.pdf>
- Oggeri, C., Fenoglio, T. M. & Vinai, R. (2017). Tunnelling muck classification: definition and application.
- Oggeri, C. & Ronco, C. (2010). Investigation and test for reuse of muck in tunnelling, I *Proceedings of ITA AITES WTC2010 Tunnel visions towards 2020*, Vancouver, Canada.
- Overland, J.-A. (2018). *TONE - strategi for kildekritikk*. Henta 10. mai 2019, frå <https://ndla.no/nb/subjects/subject:14/topic:1:185701/resource:1:169741>
- Rise, T., Alnæs, L. & Rambæk, I. (2019). *Kortreist stein - Oppnådde resultat 2016-2019* (tekn. rapp.). SINTEF - Kortreist stein. <https://www.sintef.no/projectweb/kortreist-stein/publisering/>
- Rise, T., Hovland, L. & Steinsland, R. (2019). *Bergmassekvalitet og kontraktsforhold ved Veidekkes prosjekt E39 Svevatjørn-Rådal, K10 Svevatjørn-Fanavegen* (tekn. rapp.). SINTEF - Kortreist stein. <https://www.sintef.no/projectweb/kortreist-stein/publisering/>
- Rise, T. & Steinsland, R. (2019). *Håndtering av lokale masser ved Veidekkes prosjekt E39 Svevatjørn-Rådal, K10 Svevatjørn-Fanavegen* (tekn. rapp.). SINTEF - Kortreist stein. <https://www.sintef.no/projectweb/kortreist-stein/publisering/>
- Riviera, P. P., Bellopede, R., Marini, P. & Bassani, M. (2014). Performance-based re-use of tunnel muck as granular material for subgrade and sub-base formation in road construction. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 40, 160.
- Rohde, J. K., Elioff, A., Sieminska-Lewandowska, A., Fulcher, B., Thalmann, C., Campa, E., Hsiao, F.-Y., Burdin, J., Boscaro, A., Kaneshiro, J., Bäßler, K., Bobylev, N., Wang, T.-T., Perugini, V. & Ota, Y. (2019). *Handling, Treatment and Disposal of Tunnel Spoil Materials* (tekn. rapp.). International tunneling and underground space association.
- SEKOM. (udatert). *Hva er IMRoD?* Henta 5. juni 2020, frå <https://www.ntnu.no/sekom/hva-er-imrod>
- SINTEF. (2017). *Kortreist Stein*. Henta 6. september 2019, frå <https://www.sintef.no/prosjekter/kortreist-stein/>
- Statens vegvesen. (2005). *Håndbok 014 - Laboratorieundersøkelser*. Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2013). *Sjå video av første salve på Solbakk*. Henta 3. mai 2020, frå <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/ryfast/Nyhetsarkiv/sj%C3%A5-video-av-f%C3%B8rste-salve-p%C3%A5-solbakk>
- Statens vegvesen. (2014). *R210 - Laboratorieundersøkelser*. Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2018a). *N200 - Vegbygging*. Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2018b). *Strindheimtunnelen åpnet 24. juni 2014*. Henta 25. mai 2020, frå <https://www.vegvesen.no/Europaveg/e6ost/Strindheimtunnelen>
- Statens vegvesen. (2019). *Verdens lengste og dypeste veitunnel er åpnet*. Henta 3. mai 2020, frå <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/nasjonalt/verdens-lengste-og-dypeste-veitunnel-er-apnet>
- Svingheim, N. (2011). *Offisiell åpning av Gevingåsen*. Henta 25. mai 2020, frå <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter-old/ferdige-prosjekter/Gevingasen-tunnel/Prosjektartikler/Offisiell-apning-av-Gevingasen/>
- Tjora, A. (2017). *2017* (Bd. 3). Gyldendal.
- Valli, J. (2010). *Investigation ahead of the tunnel face by use of a Measurement-While-Drilling system at Olkiluoto, Finland* (tekn. rapp.). POSIVA. http://www.posiva.fi/files/1214/WR_2010-05web.pdf
- VIKO. (2020). *Hvordan finne kilder*. Henta 2. april 2019, frå <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder>
-

-
- Wetlesen, T. (2011). *MWD og laserskanning i tunnel* (tekn. rapp.). Bever Control. <https://www.ngi.no/Prosjekter/Tunnel-stabilitet/#Artikler-og-rapporter>
- Wetlesen, T. (2013). *Analyse av spylevann, varsling av vannforstyrrelser under boring* (tekn. rapp.). Bever Control. Bever Control.
- Aarstad, K., Petersen, B. G., Martinez, C. R., Günter, D., Macias, J., Mathisen, L. U., Fladvad, M., Haugen, M., Nålsund, R., Danielsen, S. W. & Bjøntegaard, Ø. (2019). *Local use of rock materials - Production and utilization* (tekn. rapp.). SINTEF - Kortreist stein. <https://www.sintef.no/projectweb/kortreist-stein/publisering/>
- AASHTO. (2013). TP 81-12 - Determining Aggregate Shape Properties by Means of Digital Image Analysis (33rd Edition), I *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing and AASHTO Provisional Standards, 2013 Edition* (33rd Edition). American Association of State Highway; Transportation Officials (AASHTO).
- Aasly, K. A., Margreth, A., Rise, T., Alnæs, L. & Erichsen, E. (2019). *Forundersøkelser og bruk av kortreist stein* (tekn. rapp.). SINTEF Fag. SINTEF akademisk forlag.

Vedlegg

Vedlegg A: Intervju 1 - Tunnelstein som ressurs

Vedlegg B: Intervju 2 - Tunnelstein som ressurs

Vedlegg C: Kjeldekritikk: TONE

Intervju 1 - Tunnelstein som ressurs

A.1 Intervjuopplysingar

Dato: 20.03.2020

Intervjuar: Olve Skjerdal Lysne

Informant: Merete Landsgård

Intervjumetode: Telefonmøte

Intervjuobjekt sin bakgrunn: Jobbar i Statens vegvesen og er innvalvert i Rogfast med ansvarsområde ytre miljø. Har jobba mykje med tunnelstein og særleg problematikken kring plast i røys og sjøfylling.

Formål med intervjuet: Undersøke ulike aspekt med utnytting av tunnelstein, særleg med tanke på problematikken med plast i røys, i samtale med nokon som har erfaring frå aktuelle prosjekt. Intervjuet håpast å gi innsikt i utfordringar med utnytting av tunnelstein frå byggherre sin ståstad.

A.2 Innhald i intervjuet

Her vert eit samandrag av det som kom fram i intervjuet presentert. Dette er basert på informanten sine utsegn og speglar informanten sine synspunkt frå sin ståstad.

Rogfastprosjektet

Landsgård jobbar med prosjektet Rogfast innan ytre miljø og har jobba mykje med utnytting av tunnelstein på dette prosjektet. Korvidt eller korleis ein kan nytte tunnelstein er det mange forhold som avgjer. Hovudkriteriet er bergarten og kva type stein ein har. I regionen for Rogfastprosjektet er det mykje fylitt, ofte kalla "råtastein" i Stavanger. Den blir svært nedknust ved sprenging og dannar store mengder finstoff. Den er derfor omtrent berre eigna som fyllmasse. Det neste spørsmålet for dei er derfor kvar ein skal bruke massane. På eit så stort prosjekt som Rogfast, med opp mot 9 millionar kubikk stein, er mengda stein nesten ikkje handterbart. Til dømes er ikkje ein som skal bygge bustad og treng stein til arealtilpassing tilstrekkeleg for å kvitte seg med slike mengder. Ein må ha store utbyggingsområde som kan ta store mengder. I mangel på dette har Rogfast enda opp med å bygge ut næringsareal ved å fylle ut i sjø.

Dei tre sjøutfyllingane som vert fylt ut med massar frå Rogfast er:

- 3 millionar kubikk til utviding av eksisterande kaiområde i Ranaberg kommune.
- 2-3 millionar kubikk på Kvitsøy til nytt næringsareal.
- 3 millionar kubikk til næringsområde i tilknytning dagens ferjekai som vert erstatta av tunnelen.

I tillegg til fylitt, er det også førekomstar av gabbro, granitt og gneis. Gabbroen ligg omtrent på midten av tunnelen og kjem dermed på eit tidspunkt der det er bruk for stein til vegbygging. Det

er framleis litt usikkert akkurat kva den er eigna til, men det er lagt opp til at entreprenørane kan nytte den til vegoppbygning og kvalitetsstein i prosjektet. Dersom det vert overskot har entreprenøren også lov å selje den. Det fyrste næringsområdet i Ranaberg er planlagt å bruke til mellomlagring og evt. vidareforedling av denne gabbroen gjennom prosjektperioden og inntil fem år etter prosjektslutt. På den måten kan dei ta vare på den kvalitetssteinen dei har, og unngå å komme i ein situasjon der dei må dumpe kvalitetsstein i sjø. Granitt og gneis er å finne på nordsida. Denne er tenkt å bruke i vegoppbygging dersom den er av god nok kvalitet, men også anleggsvegar og liknande. Også på nordsida har prosjektet opsjon på eit midlertidig steindeponi som etter kvart skal verte eit næringsområde på land, men som i byggeperioden og i fem år etter kan nyttast til mellomlagring og vidareforedling. Arbeidet på nordsida er allereie påbegynt med 4,7km ferdig bygga tunnel. Av gneisen derifrå er det knust og nytta ein del, samt at noko er seld.

Utfordringar

Landsgård fortel så om dei negative sidene ved tunnelstein. I løpet av planleggingsperioden for Rogfastprosjektet har det skjedd mykje. Blant anna er no all masse som kjem ut av tunnel definert som næringsavfall, med mindre det nyttast i linja internt i prosjektet. Dette medfører blant anna at prosjektet eigentleg skulle hatt deponeringstillating for all massen som ikkje vart nytta internt. Håpet deira var dermed å søke miljødirektoratet om anna disponering av næringsavfall. Dette har dei no fått godkjent for alle entreprisane. Det er kanskje litt byråkratisk lite gunstig. Likevel ser Landsgård det også fornuftig dersom ein ser på det med grønne briller, då ein bør ha ei formeining om korleis ein nyttar desse massane sidan det ein definerer som rein tunnelmasse ikkje er reint fjell, men også inneheld ei rekke andre ting. Det er utfordrande i den forstand at ein må søke om å få disponere steinen. På den andre sida vart søknaden godkjent, så formalitetane er for så vidt greie.

På spørsmål om defineringa som næringsavfall for massar som ikkje nyttast internt i prosjekt kan verke som insentiv for å bruke steinen internt, svarer Landsgård at det handlar om mengde. Alle skal ha ein massebalanse i prosjekta sine. For Rogfast ligg massebalansen i at dei får lov til å fylle ut i sjø. Dersom ein har eit mindre prosjekt kan ein kanskje unngå problemet ved å nytte massane internt. Dette gjeld tunnelprosjekt i særdeleshett då det der vert teke ut masse. Dersom ein ikkje har lange dagsoner eller strekkingar av veg i dagen, er det vanskeleg å oppnå massebalanse i eige prosjekt. I tillegg er det skjerpa inn på kva som vert sett på som samfunnsnyttig bruk. Til dømes kan ein ikkje lenger plassere massar ved å slake ut vegskjeringar eller fyllingar utan å søke om det og argumentere for at løysingane er for å gjere det betre og ikkje berre for å bli kvitt stein. Motivasjonen for denne endringa skal vere at du ikkje skal gjere tiltak berre for å bli kvitt tunnelstein. Sidan steinen har det innhaldet den har, vil det vere uheldig om aktørar plasserer stein rundt seg slik det passar dei, utan ein fornuftig plan. På andre sida er det svært kostbart å deponere stein. Både byggherre og entreprenør vil som regel søke dei løysingane som kostar minst, noko som i og for seg er samfunnsøkonomisk det også.

Innhaldet i tunnelstein er noko av det som gjer utnytting utfordrande. Den inneheld nokså store mengder plast frå sprenging. Noko som vart tydeleg på Ryfastprosjektet. Der vart det nytta NON-EL-tennsystem som er vanleg å bruke i tunnel og som består av luftfylte slangar. I ei salve kan det vere mellom 140-180 hol der ein brukar om lag 7,15m slange per hol. Ideen er at alt som er inne i hola brenn opp, men med vanlege hol på 5m vil ein ha minst 2m slange hengande på utsida. Til saman utgjer dette mange meter plastslange som ikkje brenn opp for kvar salve og som vert liggande i massane når ein lastar dei ut. Når desse massane så vert fylt ut i sjø, vil dei luftfylte slangane flyte opp og skape store problem, slik dei gjorde på Ryfast der det fortsett

er ryddeaksjonar. Landsgård ville ikkje at Rogfast skulle få same problem og sette ut for å finne ei løysing. Etter samtale med 18 ulike pukkverk, samt gruveselskap både innanlands og utanlands, vart det klart at dette ikkje var opplevd som noko problem andre stadar. Berre Færøyene har opplevd det same. Kanskje fordi det er få som har like store sjøfyllingar som Rogfast og Ryfast. Det vart altså ikkje gjort noko med plastrestar hjå norske pukkverk som dermed leverer kvalitetsstein med plast. Deretter kontakta Landsgård produsentane av tennsystem som kom med den beste løysinga hittil: Elektroniske tennarar. Slike tennsystem inneheld minst like mykje plast, men då dette i hovudsak består av ein koparleidning kledd i plast, vil det gå ned med tunnelsteinen. Ein produsent av tennsystem har no også komme med eit tennsystem som skal gi mindre plastrester. Det består av NON-EL-slange inne i hola som er kopla mot detonerande lunte utanfor hola. Dette verka lovande og vart testa på Rogfast, men koplinga mellom NON-EL og detonerande lunte kom for langt utanfor hola, så ein fann ein del restar av plast likevel.

Også sprøytebetong vil komme i tunnelsteinen i form av søl og prelltap. Entreprenøren betalar faktisk for 10% prelltap som fell ned på massane og vert med i utlastinga. I denne sprøytebetongen må det vere ei form for fiberarmering. For undersjøiske tunnelar har det vore forbod mot bruk av stålfiber i frykt for at sjøvatt skal korrodere fiberarmeringa. Alternativet då har vore plastfiber som er billig og enkelt. Slik bruk av plastfiber vart også eit problem på Ryfast då desse flaut opp og dekkja strendene med små plastfibrar på størrelse med tannpirkarar. Vegdirektoratet har no snudd og tillate bruk av stålfibrar i undersjøiske tunnelar. Avfallsmengda vil vere like stor, men det vil synke i lag med steinen. Sidan ei slik fylling på ein måte vil verte hermetisert ved plastringa, er ikkje Landsgård bekymra for at det vil vere noko særleg kjelde til forureining. Dette gjeld også plastavfall i fyllingane og at danning av mikroplast ikkje vil vere eit problem på grunn av at ein ikkje har noko vassutskifting i den hermetiserte fyllinga. Nanoplast er det derimot for lite kunnskap om til å seie noko om.

I tillegg til fiberarmering har også sprøytebetong noko som kallast Krom6 som det begynnast å snakke om no. Også vil ein kunne finne nitrat og diverse andre stoff frå sprengstoff, oljelekkasjar og andre kjemikaliar som er til stades under drivinga. Landsgård seier det kanskje ikkje er så rart at tunnelstein vert sett på som avfall med tanke på alt innhaldet av plast og kjemikaliar som vert med frå sprengingsprosessen. Plastproblematikken avgrensast ikkje berre til sjøfyllingar i følgje Landsgård. Om steinen vert nytta i ei vegfylling som ligg eksponert vil det vere større sjanse for at plasten vert til mikroplast som renn til havet. Det er berre at den vert mindre synleg. I ein rapport frå Ryfast var det rapportert at plasten vart borte etter knusing av massane, noko som ikkje er tilfelle. Plasten blir berre så fragmentert at den er mindre synleg.

Til slutt kan også steinen i seg sjølv vere forureinande med innhald av metall og utfordrande mineralogi. Akkurat kva som ligg i tunneltraseen er vanskeleg å seie før ein driv gjennom berget, men kjerneboringar kan gi ein indikasjon på kva som er sannsynleg å møte på. På Rogfast indikerer kjerneboringar blant anna førekomstar av grønstein og grønskifer, samt moglegvis noko svartskifer i massar som skal takast ut på Kvitsøy. Slike bergartar med høgt innhald av kopar, nikkel og sink kan føre til risiko for utlekking frå finstoffet. Derfor er det krav om at stein som vert teke ut på Kvitsøy, berre skal fyllast ut på Kvitsøy. Det komplekse mineralinnhaldet i desse bergartane gjer også at det er ulike krav til korleis desse skal fyllast ut.

Føresetnadar

På spørsmål om ein kan lage insentiv for å auke utnytting av tunnelstein svarer Landsgård at det kan ein. Som byggherre kan vegvesenet legge inn i kontrakten at steinen ikkje skal fyllast ut,

men nyttast til andre samfunnsnyttige formål. På andre sida vil dette verte veldig dyrt dersom slike formål ikkje finnest i nærområde. Kost/nytte-prinsippet vil stå sentralt i alle offentlege anskaffingar. Her også handlar det om mengde og om det finnest behov som samsvarer med dei aktuelle prosjekta sine mengder av tunnelstein. Planlegging er nok den største føresetnaden for auka utnytting av tunnelstein.

Nasjonal eller regional plan for massehandtering vert trekt fram som eit viktig hjelpemiddel mot auka utnytting. I Rogaland er det snakka om å ha eit regionalt mellomlager eller område som kan fungere som ein ressurs for alle entreprenørar, der ein kan både hente og levere stein. Dette er ein god tanke, men det er nok langt fram dit enda då berre det å finne areal til noko slikt vil vere vanskeleg. Landsgård foreslår at fylkeskommunen i Rogaland kan vere ein god samtalepartner om dette. Dei har blant anna laga ein regionalplan for nord-Jæren, samt snakka om ein app for massar der ein kan melde inn behov for massar til dei som har massar å verte kvitt. Også internasjonal planlegging vert trekt fram som eit spennande område. Til dømes vert det nemnt at Danmark skrik etter stein, medan ein i Noreg slit med å bli kvitt stein - kvifor sel me ikkje stein til dei? Hindringa her ligg nok i kostnad og transport.

På spørsmål om lovendingar kan gjere utnytting enklare trekk Landsgård fram kompleksiteten i problemstillinga. Sjølv om det er mykje dialog mellom ulike fagmiljø, direktorat og departement, sit nok dei ulike interessentane litt på kvar sin hest med ønsker som ikkje nødvendigvis trekk i same retning. Miljødirektoratet er jo dei som har miljøbrillene på og blir ofte dei som opplevast som ein propp i systemet, men likevel er svært mykje av det dei kjem med fornuftig og i tida. For me er tross alt på veg mot eit grønnare samfunn.

A.3 Verifisering av innhaldet

Innhaldet av intervjuet som er presentert her er sendt til informanten for godkjenning. Informanten har bekrefta at samandraget er i tråd med det som var meint med utsegna i intervjuet.

Intervju 2 - Tunnelstein som ressurs

B.1 Intervjuopplysingar

Dato: 16.04.2020

Intervjuar: Olve Skjerdal Lysne

Informant: Svein Tore Drevsjø

Intervjumetode: Telefonmøte

Intervjuobjekt sin bakgrunn: Har tidlegare jobba i Statens vegvesen og har mykje erfaring frå tunnelprosjekt i ulike fasar. Har blant anna vore innvalvert på byggherresida ved eit delprosjekt på Rogfast. Jobbar no i BMO med oppgradering av tunnelar.

Formål med intervjuet: Utforske problematikken via erfaringar frå ein som har vore innvalvert i ei rekkje prosjekt i nyare tid. Særleg interessant vil vere å høyre erfaringar med utnytting av tunnelstein på prosjekt med oppgradering av tunnelar der infrastruktur gjerne allereie er utbygd.

B.2 Innhald i intervjuet

Her vert eit samandrag av det som kom fram i intervjuet presentert. Dette er basert på informantens sine utsegn og speglar informantens sine synspunkt frå sin ståstad.

Drevsjø har vore innvalvert i tunneldriving på Rogfast, der det var stort fokus på utnytting av tunnelstein. Likevel vart mykje nytta til fylling. Forutan om Rogfast har Drevsjø ikkje vore innvalvert i andre prosjekt med fokus på utnytting av tunnelstein. Han har vore meir borti problem med å verte kvitt massane.

Oppfatninga til Drevsjø er at me burde bruke tunnelstein i større grad enn me gjer i dag. Han syns det er rart at me har ein marknad for store dagbrot, samtidig som me har mange store deponiområde med tunnelstein som me ikkje får brukt. Det vert også trekt fram at det er ein motvilje mot å utvide prosjekt utover dei rammene som ligg inne frå før. I dag har ein reguleringsplanar frå A til B som ein skal forholde seg til. Dersom det er planlagt ei utviding av vegen eller å rette ut ein sving rett utanfor dette, vert plutsleg steinen næringsavfall i staden for ein ressurs. Om ein får slike tiltak innanfor same prosjekt, er det svært mykje enklare å få til å nytte steinen, men det er svært sjeldan ein får utvida prosjekta med omsyn til kva ein kan utnytte ressursane til i nærleiken.

Drevsjø ser mange fordelar med å nytte steinen vidare. Mellom anna at dårlege vegar og liknande kunne vorte utbetra samtidig med nærliggande prosjekt og slik få framskynda utbetringa, samt at ein kan bruke kortreist stein i staden for å bruke mykje ressursar på å kjøpe og hente stein langvegs frå. Alternativet er som regel eit deponi som veldig ofte vert liggande veldig len-

ge til det gror igjen.

Ved å framskynde prosjekt i lag med andre prosjekt som vert starta opp og sette krav til at dei skal finne gode formål for steinen som vert sprengt ut, kan ein god plan for massehandtering verte ein føresetnad for å få starte eit prosjekt. Då ville gjenbruk av steinen vore ein reell del av å faktisk få gjennomføre prosjekt. Dette gjeld spesielt for meir landlege tunnelprosjekt der prosjekta ofte er innanfor eit snevrare område. For ikkje å snakke om rehabilitering av tunnelar der det vert veldig snevert. Då er det utelatande fokus på tunnelen og ingenting anna. Prosjekta strekk seg då sjeldan lenger enn til næraste kryss.

Eit rehabiliteringsprosjekt har ofte sprengingsarbeid i forbindelse med å sprengje ut nisjar til tekniske bygg, havarilommer og liknande. Strossing for utviding av tunnel er sjeldan aktuelt, då det er teke eit val om at strukturelle endringar av tunnel skal minimerast. Som eit eksempel på eit slikt prosjekt nemner Drevsjø eit prosjekt i Bergen med rehabilitering av ein 560m lang tunnel. Der skal det lagast ei havarilomme på 90m og ei nisje på ca. 30m inn. Dette gjev omtrent 4000m³ stein som skal sprengast ut. Steinen som vert sprengt ut på slike prosjekt er lik som den frå driving av ny tunnel.

På dette prosjektet er ei av utfordringane at tunnelsteinen vert ein kostnad å verte kvitt. Det er ikkje laga noko plan for moglege bruksområde for steinen og det er ikkje moglegheit for å selje den vidare. Ein må heller ut å leite etter lokale tippar som kan ta i mot steinen. Noko som kan koste alt frå 500kr/lass og oppover berre for å få tippa det. Dette er ei heilt standard utfordring for rehabiliteringsprosjekt. Til tross for at rehabiliteringsprosjekt generelt opererer med mindre mengder stein enn nybygging av tunnel, kan utfordringa med å verte kvitt steinen på ein fornuftig måte ofte vere eit større problem for rehabiliteringsprosjekt. Dette vert grunngeve med at det er lite fokus på disponering av tunnelstein i rehabiliteringsprosjekt og at det veldig ofte står i kontrakten at steinen skal til godkjente deponi. Det er då vanskeleg å gi steinen eit formål gjennom til dømes andre interessentar som har behov for slik stein. Drevsjø meiner at det burde vere eit gjennomgåande fokus på disponering av steinen gjennom heile planlegginga og at dersom ein kunne funne samfunnsnyttige formål for steinen så er innhaldet av nitrøse gassar og plastikk så minimalt at bruk på land burde vere uproblematisk. At utfylling i sjø ikkje burde skje heilt ukritisk er Drevsjø einig i med tanke på plastrestar og liknande.

På spørsmål om kva føresetnadar som kan gi betre utnytting av tunnelstein nemner Drevsjø at krav til at ein skal sjekke opp i lokale behov for sprengstein i prosjekteringsfasen kan gi ei fornuftig disponering av steinen. I hovudsak bør samfunnsnyttige formål som veg og liknande prioriterast, men også andre interessentar bør vurderast. Transportavstandar bør då takast med i vurderinga då stein frakta langvegs frå vil ha eit stort CO₂-avtrykk.

Også ved driving av nye tunnelar vil ein vere tent med større fokus på disponering av tunnelstein i tidlegfase av prosjekta. På eit delprosjekt på Rogfast, som Drevsjø har vore innvalvert i, vart noko av tunnelsteinen nytta til oppbygging av veg i tunnel og utbetring av ein liten vegstrekning. Entreprenøren hadde også moglegheita til å selje steinen i staden for deponi, men det viste seg vanskeleg å finne interesse blant potensielle kjøparar fordi det var billegare å kjøpe ferdig knust stein frå Jelsa, Europas største steinbrot. Ofte vert løysingar for utnytting undersøkt grundigare på store prosjekt då det kan vere vanskeleg å finne store nok deponi til massane, medan det på mindre prosjekt oftare vert overlate til entreprenøren.

Vidare forklarer Drevsjø korleis variasjon i bergkvalitet kan spele inn. For det er ikkje berre god stein som kan nyttast vidare til samfunnsnyttige formål. Til dømes kan fylitt, som generelt gjev dårleg steinkvalitet, også nyttast til samfunnsnyttige formål som nedre del av ei fylling. Ved slik differensiering av bruksområde for forskjellige steinkvalitetar kan ein utnytte meir av steinmassen, men ein må då nytte steinen på best mogleg stad til rett tid. Ein er då avhengig av å vite når ein får tilgang til dei ulike kvalitetane. Dette er lettare å ha oversikt over på eit rehabiliteringsprosjekt i ein ferdigdreven tunnel enn ved driving av ny tunnel. Særleg vanskeleg er det å få oversikt over variasjonar i bergmassen ved undersjøiske tunnelar som på Rogfast.

B.3 Verifisering av innhaldet

Innhaldet av intervjuet som er presentert her er sendt til informanten for godkjenning. Informanten har bekrefta at samandraget er i tråd med det som var meint med utsegna i intervjuet.

Kjeldekritikk: TONE

TONE-prinsippet er omtala på NTNU Universitetsbibliotek sine sider for kjeldekritikk med namn VIKO, og går ut på å bedømme truverdigheit, objektivitet, nøyaktigheit og eignaheit (VIKO, 2020). Også Overland (2018) har beskrive TONE-prinsippet på NDLA sine nettsider. Under er ei beskriving av metoden for kjeldekritikk med grunnlag i beskrivingane frå VIKO (2020) og Overland (2018), samt korleis dette er vurdert for dette arbeidet.

Truverdigheit til kjelda handlar om i kva grad den er ærleg, sikker og påliteleg. Dette vert i stor grad vurdert ut frå kven forfattaren er og kva akademisk eller fagleg tyngde forfattaren har. Til dømes vil ein rapport eller artikkel skrivi av ein med PhD-grad tilknytt eit relevant fagmiljø kunne ha høg truverdigheit, medan ei bachelor- eller masteravhandling vil ha noko dårlegare truverdigheit. I tillegg vil det også vurderast kvar litteraturen ligg publisert då dette kan indikere kva anerkjennelse arbeidet har fått. Det er derfor viktig å vere kritisk til dei ulike databasane søket vert gjennomført i og vurdere eventuelle eigarar av nettsider der det vert publisert.

Objektivitet dreiar seg om at litteraturen er skrivi upartisk, fordomsfri og utan ekstern motivasjon for å fremje visse synspunkt. Her vert det sett på i kva samanheng teksten er skrivi - om den er skrivi for ein part med tydeleg motivasjon om å fremje sitt syn eller om det er eit upartisk arbeid for å auke kunnskapen om temaet. Ein kan også sjå på kjeldebruken i teksten om informasjonen er basert på eit vidt spekter av kjelder eller om det er få og einsformige kjelder.

Nøyaktigheit handlar om at kjelda er presis og detaljert. Skrivefeil og slurv er eit faresignal då det kan indikere at forfattar har hatt lite fokus på å vere nøyaktig i arbeidet sitt. Eit anna faresignal er få refererte kjelder då dette kan vise til at fakta og detaljar ikkje er sjekka opp mot andre verk. Den viktigaste indikasjonen i dette arbeidet vil likevel vere kva år arbeidet er gitt ut. Det finnest mykje arbeid på fagfeltet som er godt utført og har høg truverdigheit, men som er så gammalt at det ikkje har fått med den siste utviklinga i bransjen som kan vere utslagsgivande for nøyaktigheiten av arbeidet. Grunna bransjeforskjellar samt geologiske forskjellar rundt om i verda vil også nasjonaliteten til datagrunnlaget for arbeidet kunne vere utslagsgivande for nøyaktigheita til kjelder for dette arbeidet.

Eignaheit er kor vidt kjelda passar til den tiltenkte bruken med tanke på målgruppe og format. Til ei oppgåve som dette trengs det kjelder som er detaljerte og viser ei heilheitleg framstilling av den presenterte dataen. Ein presentasjon, pressemeldingar eller linkande vert altså for kortfatta til dette formålet. I tillegg bør målgruppa vere for den akademiske faggruppa innan feltet og ikkje vere forenkla til å passe for kvar og ein. Dette kan gjere at detaljar vert utelatt og dermed til at enkelte sanningar vert skjult.

