



Rapport

Produksjon og bruk av overskuddsmasser

Beste praksis og vegen videre

Forfatter

Lisbeth I. Alnæs (SINTEF Community)

Medforfattere: Svein Willy Danielsen, Tero Onnela (Metso), Børge Johannes Wigum (NTNU), Inge Hoff (NTNU), Diego Barbieri (NTNU), Lillian Uthus Mathisen (Veidekke Industri AS), Marit Fladvad (SVV, NTNU), Roar Nålsund (tidligere BaneNor)



Dato	Versjon	Dokumentnummer
2019-12-17	2.0	014

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2019-10-30	Utkast til styringsgruppemøte 2019-10-30.
0.2	2019-12-01	Revidert utkast.
1.0	2019-12-03	Rapport for godkjenning i styringsgruppa.
2.0	2019-12-17	Endelig rapport



Innholdsfortegnelse

Forord.....	5
Sammendrag norsk.....	6
Summary in English	7
1 Motivasjon.....	8
1.1 Bærekraftig anleggsvirksomhet.....	8
1.2 Mange bruksmuligheter	9
1.3 Status for utnyttelse av kortreist stein.....	13
1.3.1 Lite fokus i Norge.....	13
1.3.2 De klarte det i Sveits og Østerrike	13
2 Optimalisering – beste praksis	15
2.1 Helhetlig produksjons- og bruksstrategi	15
2.2 Kjennskap til utgangsmaterialet.....	16
2.2.1 Anbefaling – Tidlig kunnskap om materialkvalitet gjennom forundersøkelser	18
2.3 Driveteknologi	18
2.3.1 Anbefaling – Drivemetodikk som hensyntar materialkvalitet.....	21
2.4 Knuse- og prosestetnologi. Håndtering og lagring.....	22
2.4.1 Anbefaling – Tilrettelagt knuseprosess ut fra brukspotensialet	24
2.4.2 Anbefaling – Optimal anvendelsesfilosofi.....	25
3 Optimalisering – Nye forskningsresultater og ny kunnskap.....	26
3.1 Veg- og baneformål, ubunden bruk	26
3.1.1 Viktige forskningstema	26
3.1.2 Forskningsresultater PhD -Svake bergarter kan forsterkes.....	27
3.1.3 Forskningsresultater PhD – Steinkvalitet kan optimaliseres ved knuseprosess og funksjonstesting	32
3.2 Asfaltformål, bunden bruk	37
3.2.1 Viktige forskningstema	37
3.2.2 Forskningsresultater MSc – Bruk av svakt tilslag i varmblandede asfaltdekker.....	37
3.2.3 Forskningsresultater Fillerprosjektet	39
3.3 Betongformål, bunden bruk	40
3.3.1 Viktige forskningstema	40
3.3.2 Forskningsresultater MSc – Kortreist stein i sprøytebetong.....	40
.....	41
4 Optimalisering – kvalitetskontroll og forbedrete undersøkelser	42
4.1 Test-/bruksfraksjon – lab-/produksjonsknust – material-/funksjonstesting	42



4.2	Forslag til mer pålitelig bedømming av overskuddsmasser fra tunnelanlegg.....	42
4.3	Forslag til videre forskning	44
4.3.1	Digitaliserte og samordnede forundersøkelser.....	44
4.3.2	Forbedrede metoder for identifisering og kvantifisering av magnetkis i tunnelmasser44	
5	Referanser	46

BILAG/VEDLEGG

Vedlegg 1: Materialkrav og prøvingsmetoder for byggeråstoffer til bruk i ubunden og bunden bruk



Forord

Denne rapporten er skrevet i prosjektet *Kortreist stein*. Kortreist stein er et IPN-prosjekt i Forskningsrådets BIA-program (Brukerstyrt innovasjonsarena). Veidekke Entreprenør AS er prosjekteier.

Prosjektets overordnede idé er å utvikle nye teknologiske løsninger og verktøy, smarte forretningsmodeller og gode planprosesser for høyverdig og bærekraftig bruk av bergmasser fra infrastrukturprosjekter og eksisterende uttak. Med høyverdig bruk menes kortreist stein som kan anvendes i veg- og banekonstruksjonen i ubundet form og som kvalitetsråvare i asfalt og betong o.l.

Prosjektet vinkles mot energieffektiv materialproduksjon og optimal bruk av ikke-fornybare bergressurser. Det skal legges til rette for og etableres teknologier som gjør "Gull av gråstein". Innovasjonen i prosjektet er rettet mot rammebetingelsene som kan styre anvendelsen av kortreist stein, metoder for vurdering av anvendelse av steinmaterialer fra i hovedsak tunnelproduksjon og metoder for praktisk gjennomføring av prosjekter med bruk av kortreist stein.

Et konsortium bestående av partnere fra næringsliv, offentlig forvaltning og forskningsinstitusjoner arbeider for øyeblikket innen følgende fire fokusområder:

- Planprosesser og ressursforvaltning
- Kontrakter, forretningsmodeller og incentiver
- Produksjon og anvendelse
- Miljø og energibruk

Kortreist stein har et budsjett på 17 millioner kroner over tre år (fra 2016) og er finansiert gjennom Forskningsrådet (ca. 40 %) og industripartnerne (cirka 60 %).

Prosjektet *Kortreist steins* publikasjoner er utarbeidet av fagfolk hos partnerne i prosjektet. Det er gjort det ytterste for å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunktet prosjektet ble avsluttet. Feil eller mangler kan likevel forekomme.

Prosjektet Kortreist stein, forfattere og prosjektledelsen har intet ansvar for feil eller mangler i publikasjoner og mulige konsekvenser av disse.

Det forutsettes at publikasjonen benyttes av kompetente og fagkyndige personer med forståelse for begrensningene og forutsetningene som legges til grunn.

Eivind Heimdal

Prosjekteier

Torun Rise

Prosjektleder



Sammendrag norsk

Kortreist Stein har hatt en arbeidspakke konsentrert mot *Produksjon og anvendelse*. Som et utgangspunkt for forskningsaktivitetene, er det laget detaljerte oversikter over de mest relevante anvendelsesområdene for kortreist stein og hvilke tekniske egnethetskrav som må tilfredstilles ut fra dagens regelverk. Prosjekter i Norge og andre land hvor overskuddsmasser har blitt nyttiggjort, er presentert. Prosjektet har sett nærmere på hvordan man kan optimalisere knuseprosessen i mobile anlegg ut fra utgangsmateriale og med mål om mest mulig høyverdig anvendelse av kortreist stein. I Arbeidspakken *Produksjon og anvendelse* er det gjort detaljerte studier i laboratorium og felt rettet inn mot bruk av tunneltmasser i veg, asfalt og betong, og hvor effekt av knusing og annen prosessering også har vært fokusert. Forskningsarbeidene har inkludert Master- og PhD-arbeid. Flere studier har spesielt vært rettet mot utnyttelse av svake steinmaterialer i ulike anvendelser. Flere arbeider utfordrer dagens metodikk for kvalitetsvurdering av tilslagsmaterialer, og der mange funn demonstrerer nytteverdien av funksjonstesting for bedre konklusjon om egnethet og bruksoppførsel og slik sett bedre utnyttelse av kortreist stein. Arbeidet har resultert i forslag til forbedringer og videre forskning, som både er relevant for utnyttelse av overskuddsmasser fra infrastrukturprosjekter og bergverk, generelt for forhold rundt tilslagsproduksjon og tunnel- og anleggsdrift.

Foreliggende rapport oppsummerer arbeider, resultater og anbefalinger. I teksten gis referanser til hvilke publikasjoner funn er hentet fra, og en egen referanseliste følger til slutt i rapporten.

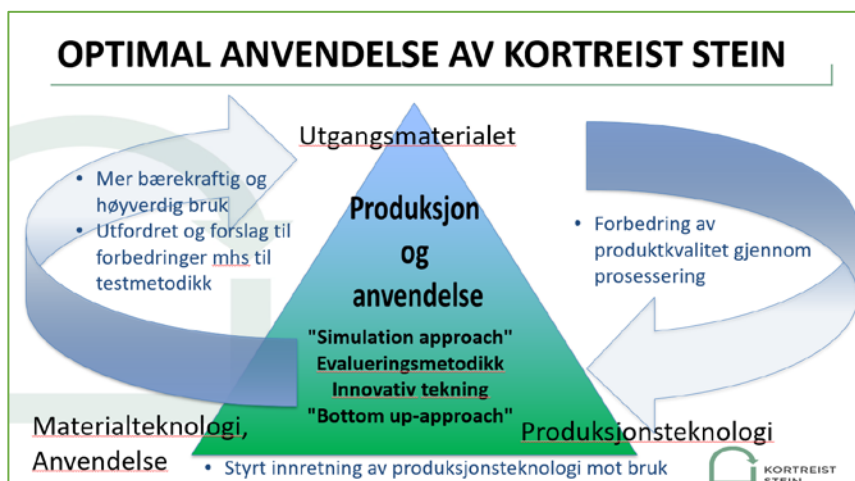
Hovedbudskapet fra arbeidspakken *Produksjon og anvendelse* er som følger:

- **Etabler en helhetlig produksjons- og bruksstrategi som tar utgangspunkt i hvilke lokale og kortreiste steinmasser man kan nyttiggjøre i eller fra et infrastrukturprosjekt.**

Dette vil føre til en bedre massebalanse, og en mer kortreist, høyverdig bruk av overskuddsmasser fra infrastrukturprosjekter.

- **Det ligger flere optimaliseringsmuligheter for å få til dette, både når det gjelder**
 - Utgangsmaterialet og kunnskap om dette
 - Driveteknikk
 - Prosessering og mobile anlegg
 - Materialteknologi og anvendelser

Riktig og tidlig fokus kan gi forbedret ressursforvaltning og -utnyttelse, miljø og bærekraft og økonomi.



Illustrasjon: SINTEF



Summary in English

Within the project *Kortreist stein* ("Short travelled rocks") a work package (WP) focusing on *Production and utilisation* has been performed. As a starting point a State-of-the-Art report was made, where detailed overviews of the most relevant application areas for surplus, short travelled rock masses have been made, in addition to technical requirements to be fulfilled based on the present regulations in Norway. Overviews and examples of building projects in Norway and other countries showing the status for utilization of surplus materials is presented. Several research studies in optimization possibilities during crushing and processing stages with the use of mobile processing have been established and where the main goal is to obtain high quality – value for money utilisation of short-travelled rock materials. Detailed studies in laboratory and field tests has been performed, focusing both on road, railway, asphalt and concrete applications. The effects of crushing and other types of processing have also been focused. The research involves also MsC- and PhD-work. Several of the research work have dealt with utilization of weak material, or material that is outside the present technical requirements. Several studies challenge the present test methodology and put forward the suitability of more functional and full-scale test approaches. Such approaches may give more correct conclusions about the suitability and real behavior of surplus rock masses from tunnels etc., and by such set the bases for a more pronounced utilization of short travelled rocks. The work has resulted in suggestions for improvements and further research, which is relevant both for utilization of surplus materials from infrastructure projects and e.g. mining, but also in general terms towards aggregate production and tunnelling- and construction work.

The present report is summing up the studies, results and recommendations taken from various reports, notes and theses presented within and/or related to the project *Kortreist stein*. A reference list is included at the end of the report.

The overall recommendation from the Production and utilisation part of the project may be presented as follows:

- **Establish a holistic production and application strategy starting with a knowledge of which local and in situ rock material that potentially may be utilized within and/or from the actual infrastructure project itself.**

Such an approach may result in better mass balance, a more short-travelled and high-quality utilization.

- **Several optimization possibilities are available in order to reach this, both with respect to**
 - The available material and the knowledge about it
 - Extraction issues
 - Processing and handling in mobile units
 - Material and application technology

Correct and early focus may lead to improved resource management and – utilization, environment, sustainability and economy.



1 Motivasjon

1.1 Bærekraftig anleggsvirksomhet

FNs bærekraftsmål er verdens felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030.

- FNs mål nr. 9 – *Innovasjon og infrastruktur* fokuserer på bærekraftig utvikling og investering blant annet i transport infrastruktur, og der vi innen 2030 har omstilt næringslivet til å bli mer bærekraftig, med mer effektiv bruk av ressurser og større anvendelse av rene og miljøvennlige teknologiformer.
- FNs mål nr. 11 – *Bærekraftige byer og samfunn*, inneholder behov for endringer knyttet til avfallshåndtering, bedre ressursbruk og bruk av lokale materialer.
- FNs bærekraftsmål nr. 12 – *Ansvarlig forbruk og produksjon* peker på nødvendigheten av å sikre bærekraftige forbruks- og produksjonsmønstre. Det handler om å gjøre mer med mindre ressurser og å minske ressursbruk, miljøødeleggelse og klimagassutslipp når en lager en vare. Målet er at innen 2030 skal verden oppnå en bærekraftig forvaltning og effektiv bruk av naturressurser og redusere avfallsmengden gjennom forbud, reduksjon, gjenvinning og ombruk.

FN mener at på sikt vil arbeid mot disse målene føre til økonomisk vekst, begrense klimaendringer og øke livskvaliteten til mennesker på jorda.

Mineralske råstoffer er den naturressursen verden bruker nest mest av. Tilgang på sand, grus og knust stein, det vil si våre byggeråstoffer, også betegnet tilslagsmaterialer, er en forutsetning for de fleste byggearbeider [1].

Innenlands årsforbruk av tilslagsmaterialer er ca. 75 Mill. tonn, eller rundt 13 tonn per innbygger [2]. I all hovedsak kommer dette fra etablerte grus- og sandtak og pukkverk. I Norge er det en utfordring med hensyn til massebalanse. Lokalt og regionalt er det både råstoffover- og underskudd. Det er en ressursknapphet spesielt nær de større byene i Norge, og norske sand og grus-forekomster er i ferd med å tømmes [1]. Ressursknapphet har resultert i økt materialtransport langveis fra. I Norge utgjør tilslagstransport mer enn 20% av all lastebiltransport, og det brukes nå mer energi på å transportere enn å produsere tilslagsmaterialer [1]. Med utgangspunkt i tallmateriale fra ressursregnskap utført til forskjellige tidsperioder for flere fylker og årlig mineralstatistikk er det i [3] beregnet hvor stort CO₂ utslipp som genereres ved massetransport av byggeråstoffene sand, grus og pukk (knust berg). Det oppsummeres at: "Utslipet av CO₂ har siden 2011 (mineralstatistikk) vært rimelig stabilt på 131.000 tonn årlig. Beregningen av utslippet for storbyene Oslo, Bergen og Trondheim (ressursregnskap) tyder på at utviklingen går i feil retning med økende utslipp som kan relateres til økt forbruk på grunn av befolkningsveksten. Å oppnå en reduksjon i klimautslipp av CO₂, parallelt med en befolkningsvekst og en situasjon der byggeråstoffene må hentes lengre unna, vil bli en utfordring [3].

Steinmasser som tas ut fra eksempelvis tunneler og vegskjæringer, betegnet overskuddsmasser i foreliggende rapport, er en ubenyttet ressurs som må få større oppmerksomhet fremover. Her i landet har man et årlig uttak av ca. 7 mill. m³ tunnelmasser [4], eller rundt 19 millioner tonn, som i all hovedsak enten blir dumpet uten å komme til nytte, eller anvendt til fylling av utbyggingsområder av ulike slag. Samtidig vet vi man veganlegg selv forbruker ca. 50 % av all tilslagsproduksjon [5], men disse massene kommer sjelden fra selve veganlegget som er under bygging. Potensialet er stort; tunnelmassene utgjør samlet tilslagsbehovet til nær halvparten av Norges befolkning.



I tillegg til nødvendigheten av helhetlig ressursforvaltning og samarbeid mellom flere aktører inn mot utbyggingsprosjekter, er det nødvendig å etablere en mer helhetlig produksjonsstrategi for best mulig ressursutnyttelse av stein i ubunden eller bunden form. Dette har vært målsettingen for Arbeidspakken "Produksjon og anvendelse" i Kortreist stein.

1.2 Mange bruksmuligheter

Bruksområdene for overskuddsmasser fra infrastrukturprosjekter spenner vidt når man tar i bruk hele spekteret av steinstørrelser:

Etablering av "nytt land", eksempelvis havneutbygging, boligområder, rekreasjon - Bruk av masser for etablering av "nytt land" anses i utgangspunktet ikke som høyverdig bruk av masser, men kan likevel utgjøre en svært nyttig samfunnsfunksjon eksempelvis ved etablering av nye boligområder eller rekreasjonsområder, nye industriområder eller ved havneutbygginger.



Figur 1: Grilstad Marina, Trondheim. Utbyggingen av Grilstad Marina startet for fullt i 2010 da stein fra den 2,5 kilometer lange Strindheimtunnelen ble brukt til å fylle opp sjøbunnen utenfor Grilstad fabrikker: Kilde: www.grilstadmarina.no og [5].

Områdesikring og -stabilitet, eksempelvis støyvoller, erosjonssikring, forstøtninger, murer - Etablering av støyvoller mot boligområder kan være ett anvendelsesområde for overskuddsmasser.

Forsterkning av utsatte elveløp, fjordpartier eller skråninger for tilpasning av et klima i endring kan være et annet, godt bruksområde for utsprengte masser fra infrastrukturprosjekter. I tilfeller der bergmassen er foliert eller skifrig og sprengningsarbeid og uttak genererer småblokk, kan slike anvendes til forstøtninger og murer.





Figur 2: E6 sør for Trondheim (Ulsberg-Jaktøya). Overskuddsmasse fra veglinja anvendt som forstøtningsmur. Foto. SINTEF.

Miljøformål, eksempelvis jordforbedring eller tildekking - Finstoff fra sprengning eller fra fullprofilboring (TBM) representerer finfraksjoner fra anleggsprosjekter som kan ha egnethet til miljøformål, mye avhengig av mineralinnhold og -kjemi. Steinmel er en fellesbetegnelse på slike masser. Steinmel gir friske bruddflater som kan gi positive gjødsel- og jordforbedringseffekter, særlig i næringsfattig morenejord, sand- og myrjord. Avhengig av opphavsmaterialet, kan steinmel også brukes som kalium- og magnesiumgjødsel.

Hovedfokus i Kortreist stein har vært på knuste produkter. Overskuddsmassene fra tunneler og veganlegg har i prinsippet samme anvendelsesmuligheter som knuste byggeråstoffer som tas ut fra stasjonære anlegg, og massene må produseres i henhold til og tilfredsstille krav gitt i produktstandarder og nasjonale håndbøker.

Knuste produkter til ubunden¹ bruk omfatter eksempelvis oppbygging av veg- og bane. En prinsippskisse for vegoppbygging er vist i Figur 3. Vegoverbygningen består av frostsikringslag, forsterkningslag, bærelag og dekke, og det stilles ulike krav til de ulike lagene, avhengig av hvilken funksjon de skal ivareta. En prinsippskisse for baneoppbygging er vist i Figur 4.

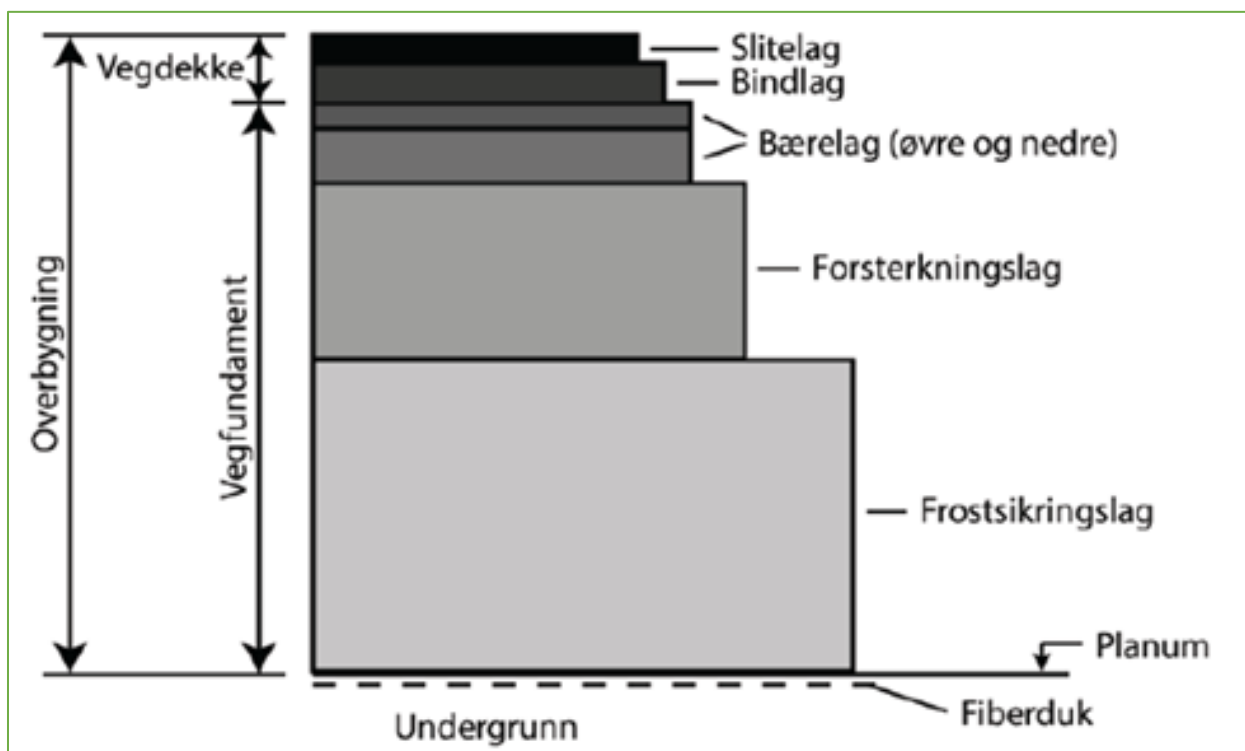
Knuste produkter til bunden² bruk omfatter bruk av masser som tilslag i asfalt og betong. Dette er bruksområdene hvor det stilles strengest krav til massene, både i form av kornform, mekaniske og kjemiske egenskaper.

En oversikt over mulige bruksområder for knuste overskuddsmasser er vist i Tabell 1. Her fremkommer også typiske fraksjoner/kornstørrelser. I vedlegg 1 er noen av dagens tekniske krav til produktene angitt. Evalueringsmetodikken baserer seg i dag på laboratorieundersøkelser av standardfraksjoner. Vedlegg 1 inneholder også en nærmere forklaring til en del aktuelle laborietester.

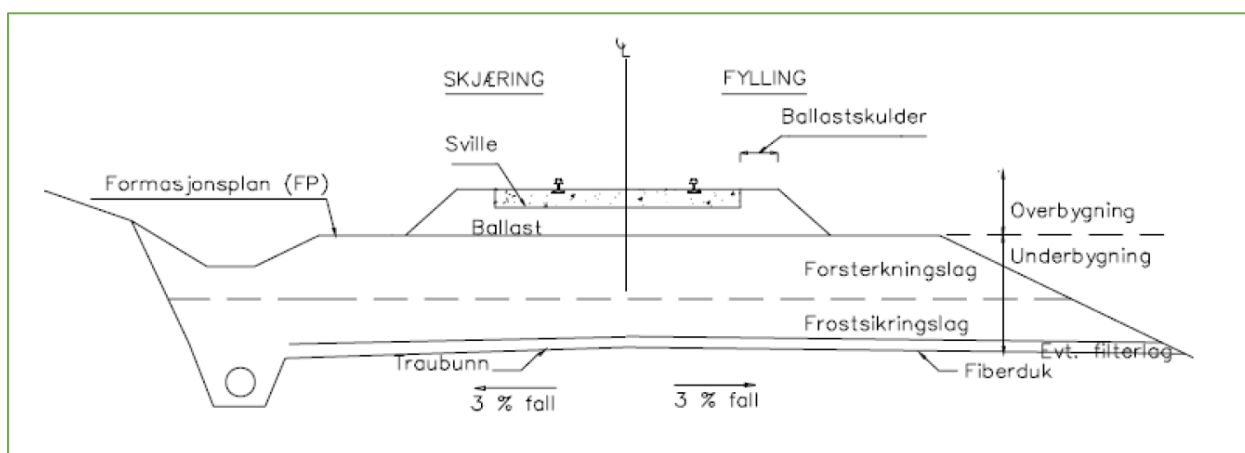
¹ Ubunden bruk vil si at materialet brukes løst og ikke bundet slik som i asfalt eller betong.

² Bunden bruk vil si at materialet inngår i et asfalt- eller betongprodukt





Figur 3: Prinsippskisse for vegoppbygging [7].



Figur 4: Prinsippskisse for oppbygging av jernbanefylling og -skjæring [8].



Tabell 1: Potensielle bruksområder for knuste overskuddsmasser.

Produkttype	Vanlig steinstørrelse/ mest aktuelle sorteringer (mm)	Aktuelle produktstandarder og spesifikasjoner
Jernbaneformål		
Ballast (-pukk)	31,5/63	NS-EN 13450:2002+NA:2009 Tilslag for jernbaneballast railway ballast [9]. NS 3420 I54 "Forsterkningslag" i Bane NORs Tekniske spesifikasjon for jernbaneballast [10].
Forsterkningslag	0/300 alt. 22/150	
Frostsikringslag	0/500 alt. 22/150	
Vegformål		
Grusdekker/veggrus	0/22	Tilslag < 90 mm: NS-EN 13242:2002+A1:2007+NA:2009 Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging NS-EN 13285:2018 Mekanisk stabiliserte masser – Spesifikasjoner Tilslag >90 mm: NS 3468:19 Grove masser til bruk i bygge- og anleggsarbeid Spesifikasjon.
Bærelag	0/32, 0/45, 0/63	
Forsterkningslag	Kult: 22/125, 22/180 Pukk: 20/90 Samfengt pukk: 0/63, 0/90	
Frostsikringslag	0/500 (< 90mm min. 30%)	
Betongformål		
Konstruksjonsbetong	0/32 (0/8, 8/16, 16/22)	NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 Tilslag for betong NS-EN 206:2013+NA:2014 Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar Håndbok R762 Prosesskode 2 [11] NB 21[11], NB 7 [13].
Sprøytebetong	0/8	
Asfaltformål		
Bind- og slitelag - tilslag	< 16	NS-EN 13043:2002 + NA 2008, Tilslag for bituminøse masser og overflatebehandlinger for veger, flyplasser og andre trafikarealer. NS-EN 13108-1:2006 + NA:2007, Bituminøse masser, Materialspekifikasjoner, del 1: Asfaltbetong (AC). NS-EN 13108-21, Bituminøse masser, Materialspekifikasjoner, del 21: produksjonskontroll. NS-EN 13242:2002+A1:2007+NA:2009 Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging.
Bærelag	< 22 0/32	
Andre produktmuligheter/-varianter		
Veggrus	0/20, 0/16	
Strøsand	4/8, 2/6	
Grøftesingel Hagesingel	6/16, 16/22	
Maskinkult	22/125	Tilslag < 90 mm: NS-EN 13242:2002+A1:2007+NA:2009 Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging. Tilslag >90 mm: NS 3468:19 Grove masser til bruk i bygge- og anleggsarbeid Spesifikasjon. Ubunden bruk f.eks. oppfylling, veg-, plass- og banefundament, erosjonssikring.
Jordforbedring	0/4	



1.3 Status for utnyttelse av kortreist stein

1.3.1 Lite fokus i Norge

Det norske vegnettverket består av over 1100 tunneler, hvorav over 30 undersjøiske. I prosjektet Kortreist stein er det søkt å etablere en oversikt over status for utnyttelse av overskuddsmasser i forbindelse med norske og utenlandske tunnelprosjekter og andre utbyggings- og infrastrukturprosjekter. Tabell 2 gir noen eksempler fra norske prosjekter. Overskuddsmasser fra tunneldriving har vært utnyttet på ulike måter, men i begrenset grad, og hovedsakelig kun til fjordutfyllinger og/eller etablering av nytt land. Det erfares at det fremdeles (2019) er lite fokus på mer høykvalitets materialutnyttelse i dagens infrastrukturprosjekter. Samtidig erfares en viss positiv endring på dette området.

1.3.2 De klarte det i Sveits og Østerrike

I juni 2016 ble verdens lengste jernbanetunnel, Gotthard-tunnelen (Gotthard Base Tunnel) i Sveits åpnet. Tunnelen består av to parallelle løp med diameter på rundt 9 m og lengde 57 km, og med et samlet uttak av bergmasse på 28 Mill tonn [5]. Tunnelarbeidet startet i 1999, og 75 % ble drevet ved bruk av fullprofilboring (TBM³), resterende med boring og sprengning (drill and blast, D&B). Drivemetode ble valgt ut fra en kombinasjon av bergmassens beskaffenhet, utviklingsmuligheter, miljø og økonomi.

Et stort areal ble avsatt til midlertidig masselagring, se Figur 5. 90% av materialtransporten foregikk på transportbånd, tog- og båttransport. Totalt masseuttak var på nær 28 millioner tonn. Mer enn 80% av dette ble nyttiggjort. Over 20% ble anvendt i selve tunnelen som tilslag i betongelementer for tunnelkledning. Prosjektet resulterte i flere innovasjoner;

- Utvikling av tilsetningsstoff for bruk i betong med tilslag med høyt glimmerinnhold.
- Knuseoptimalisering av sand-fraksjonen.
- Flotasjonsteknikk som resulterte i en halvering av glimmerinnholdet i 0/1 mm-fraksjon.



Figur 5: Gotthard Base Tunnel, Sveits, eid av Alp TRansit Gotthard, Swiss Federal Railwais (SS). Bildet til høyre i midten viser lagringsområde for massene ved Gotthard-tunnelen. Kilde: <https://www.atlasobscura.com/places/gotthard-base-tunnel>.

I forbindelse med etableringen av Brenner Base Tunnel, Østerrike, så ble det foretatt en simuleringstilnærming for materialhåndtering og -utnyttelse under tunneldrivingen [5]. En hovedutfordring i planleggingsstadiet er antall usikkerheter med hensyn til geologiske forhold, materialstrøm og prosesskapasitet. Det ble laget prognoser over tids- og volumforhold. Dette ga videre oversikt over behov for og tilgang på masser under driving av tunnelen og som kunne til brukes som tilslag til betong i tunnelprosjektet.

³ Tunnel Boring Machine



Tabell 2: Eksempler på norske anlegg som har tatt i bruk overskuddsmasser. Kilde: [5]

Anlegg	Overskuddsmasse/Utnyttelse	Kommentar/Erfaring
Jostedal vannkraftanlegg - tunnel	Anvendt til betong, produsert fra ca. 70% TBM materiale og 30 % naturgrus og knust sand.	Stor variasjon i betongkvalitet/-styrke. Variasjonene tilskrives for dårlig kvalitetskontroll av TBM-masser.
Follobanen jernbanetunnel	Mål å utnytte store mengder TBM-masser til betongkledningen i tunnelengjennom nedknusing av fraksjon 20/80 mm til fraksjonene 0/8 mm, 8/11 mm og 11/22 mm. Betongblanding skulle inneholde omtrent like mengder natursand og knust sand fra tunnelen, i tillegg til fraksjon 8/11 mm og 11/22 mm fra eksternt pukkverk.	En utfordring med tanke på betongformål var høyt vanninnhold i 0/8 mm fraksjon, LA-verdi og variasjon i siktekurve på TBM-massen. Imidlertid så ble ikke anvendelsen av overskuddsmassene fra selve Follobanetunnelen gjennomført på grunn av tilstedeværelse av magnetkis i tilslaget, som var høyere enn dagens krav.
E6 Fellesprosjektet, Mjøsa	Prosjektet leverte større mengder 8/16 mm og 16/22 mm-fraksjonen av granitt til betongprodusent. Overskuddsmasser ble også anvendt andre steder i fellesprosjektet.	0/8 mm fraksjonen ble valgt ikke benyttet på grunn av mye finstoff.
E39 Svegetjørn - Rådal	I dette prosjektet har en kommersiell tilslags- og betongprodusent produsert tilslag fra materiale fra samme område som der tunnelen er lokalisert. Tilslaget er både brukt i sprøytebetong og til konstruksjonsbetong.	
E39 Romsdalsfjord-kryssingen (under planlegging)	Romsdalsfjorden vil krysses av en 16 km lang undersjøisk to-løpstunnel. Under planleggingen har utnyttelse av overskuddsmasser vært diskutert, og ut fra dette er det bestemt en tunneldriving ved bruk av boring og sprengning.	
Rv13 Ryfast og E39 Eiganestunnelen, undersjøisk tunnel	En tunnellengde på totalt 53 km drives ved bruk av boring og sprengning, og som resulterer i 4 mill. m ³ overskuddsmasser.	Store mengder er ut fra geologiske/materialtekniske forhold vurdert som for dårlig til bruk i vegoppbyggingen i tunnelen. Denne massen er brukt til private og offentlige landareal-utviklinger. Materiale av tilstrekkelig kvalitet er brukt i bærelag og forsterkningslag i tunnelen.
Farriseidet-Porsgrunn, jernbane		Det ble ikke gjennomført noen form for geologisk undersøkelse eller analyse av mekaniske egenskaper til bergartene langs traseen før eller under drivingen med tanke på å bruke massene som ballastpukk.
Farriseidet – Telemark - Jernbane	Masser ble planlagt utnyttet til utfylling av land flere steder, samlet over 650.000 m ³ . Det ble også vurdert transport av masser til lokale avtakere.	Det er ukjent hvor mye som ble anvendt som landfylling. Det er ikke rapportert bruk av masser som jernbanepukk.
Telemark - Porsgrunn - Jernbane	Totalt masseuttak var nær 3 mill. m ³ . Totalt 14 lokaliteter for landfylling ble valgt ut. På planleggingsstadiet ble det evaluert å bruke masser for å lage et nytt industriområde og for tildekking av kvikksølvforurenset sjøbunn i Gunneklevfjord i Porsgrunn (materialbehov på ca. 2 mill. m ³).	Få av planene for masseutnyttelse ble realisert.
Holmestrand-Nykirke, jernbane	En overveiende del av bergmassene ble ansett som egnet for bruk til bære- og forsterkningslag i veg. Det ble ikke gjennomført noen analyser av potensiell anvendelse som ballastpukk i løpet av utbyggingsprosjektet.	Nesten alle uttatt masser ble først midlertidig lagret på prosjektområdet og så transportert ut og til flere mottakere. Tre lokale pukkverk tok imot masser. Masse gikk også blant annet til Drammen havn og til E18 for bruk til vegformål.



2 Optimalisering – beste praksis

2.1 Helhetlig produksjons- og bruksstrategi

Det ideelle startpunktet for alle infrastrukturprosjekter er å ha en god massebalanse i selve utbyggingsprosjektet. Dette vil lette behovet for transport av masser fra og til prosjektet, og gi et gunstig miljøregnskap.

En beste praksis for økt utnyttelse av kortreist stein fra tunnel- og anleggsprosjekter er å etablere en helhetlig produksjons- og bruksstrategi som tar utgangspunkt i hvilke lokale og kortreiste steinmasser man kan nyttiggjøre i eller fra et infrastrukturprosjekt. Det ligger optimaliserings-muligheter innenfor flere tema som kan bidra til forbedret ressursforvaltning- og utnyttelse, miljø og økonomi, Figur 6:

- Tidlig kunnskap om geologi og massekvalitet.
- Valg og tilrettelegging av driveteknikk.
- Prosessering ut fra råstoff og brukspotensiale.
- Smart masseutnyttelse.

Pukkverk og andre, faste berguttak⁴ er etablert der de er, fordi man har funnet et råstoff – en forekomst - med gode egenskaper rettet mot bestemte steinprodukter. Typisk har slike forekomster en jevn, kontrollert geologi, og man kan etablere en produksjonsstrategi som innebærer et styrt uttak gjennom ensartet boring og sprengning og en stabil knuseprosess tilpasset materialet i bruddet der produktene har en gitt og forutsigbar kvalitet. I et infrastrukturprosjekt med veglinjer og tunneler over lange strekninger, er det en sjanse for at man vil oppleve større variasjon i geologi og massekvalitet, som igjen gir behov for en mer nyansert tilnærming med tanke på forundersøkelser, driving, videre prosessering, kvalitetskontroll og bruk av massene.



Figur 6: Illustrasjon for helhetlig produksjonsstrategi. Illustrasjon: SINTEF.

⁴ F.eks. av naturstein og industrimineral



2.2 Kjennskap til utgangsmaterialet

I optimal utnyttelse ligger som første trinn at man må vite hva som er i bakken – og rundt.

Norges geologi er kompleks, og egnetheten til ulike bergarter for utnyttelse til veg- og baneformål, i betong og asfalt varierer mye både regionalt og lokalt [5].

De eldste bergartene – det prekambriske grunnfjellet – finner vi i Sør-Norge, Vest-Norge, på Finnmarksvidda og lokalt andre steder i Nord-Norge. Dominerende bergarter i disse områdene er gneis og granitt, med innslag av mørke bergarter som gabbro og amfibolitter. Disse bergartene har hovedsakelig gode mekaniske egenskaper og er ofte godt egnet til flere anvendelser. Imidlertid kan gneisområder på Vestlandet ha høyt glimmerinnhold, noe som er ugunstig med tanke på flere anvendelser. Et høyt glimmerinnhold kan gi lav, mekanisk styrke og mye fri-glimmer i finfraksjonen i knust sand er ikke ønskelig i asfalt og betong.

På Vvestlandet og i Finnmark dominerer prekambriske sandsteiner. Disse har erfaringsmessig gode, mekaniske egenskaper.

Gjennom store deler av landet går den Kaledonske fjellkjeden. Her forekommer en lang rekke bergarter med varierende, tekniske egenskaper, og de er dominert av omvandlete sedimentære bergarter, magmatiske bergarter og omvandlete grunnfjellsbergarter; metamorfe bergarter. Noen kan ha store anvendelsesmuligheter, andre meget få.

I Oslo-området finnes ulike sedimentære bergarter som liten grad er brukbare til byggetekniske formål. Egenskapene til Oslofeltets eruptivbergarter i hovedsak er gode.

Karbonatbergarter forekommer i Oslo-området og i den kaledonske fjellkjeden. Slike bergarter er ofte myke og ikke egnet for veg- og baneformål.

Som en oppsummering kan det pekes på følgende, se også Tabell 3:

- Finkornede bergarter hvor mineralene som bergarten består av er bundet tett sammen og er uorienterte er ofte sterkere enn folierte bergarter hvor mineralene er mer orientert (foliert) og ikke så tett sammenbundet.
- Spesielt skifrige bergarter som fyllitt, leirskifer, glimmerskifer og grønnskifer er ofte lite egnet til byggeformål. Alunskifer er ikke aktuell/egnet i materialsammenheng.
- Hovedutfordringen rettet mot geologiske forhold med tanke på utnyttelse av overskuddsmasser fra infrastrukturprosjekter er variasjon i bergartsegenskaper og -typer. Oppsprekings- og mineralomvandlingsgrad kan også påvirke kvalitet.
- Spesielle mineralogiske forhold som vil kunne være styrende for anvendelsesmulighetene er andel fri-glimmer i det knuste produktet (alle formål), tilstedeværelse av magnetkis (tilslag for betong), tilstedeværelse av alkali-reaktive bergarter (tilslag for betong), mekanisk svake mineraler og slik sett også høyt fillerinnhold i de knuste produktene.



Tabell 3: Forenklet oversikt over sammenheng mellom geologiske områder – bergarter og egnethet som knuste råstoffer i veg-/bane og til betongformål [5]. * AAR= Alkali-reaktiv.

Geologisk område	Geologisk periode	Viktigste bergartstyper	Egenskaper for veg- og baneformål	Egenskaper for betong
Oslo feltet	Perm til Karbon	Basalt, syenitt, porfyritt, diabas	Disse bergartene har normalt gode mekaniske egenskaper.	Sjekk tilslaget for potensiell AAR*.
Sedimentbasseng i den Kaledonske fjellkjeden	Silur til Devon	Sandstein og konglomerat	Noen få lokasjoner med bergarter med gode mekaniske egenskaper.	Sjekk tilslaget for potensiell AAR*.
Dekkeområder i Nord-Norge	Prekambrium til Silur	Skifer, marmor, magmatiske bergarter	Stor variasjon. Lokalt både grønnstein, trondhemitt, rhyolitt og kvartsskifer kan representere gode kvaliteter, men store områder med mekanisk svak skifer er ikke egnet.	Som for vegmaterialer, men rhyolitt og kvartsskifer må sjekkes for potensiell AAR*.
Dekkeområder i Trøndelagsområdet	Kambrium til Silur	Skifer, sandstein, grønnstein, trondhemitt, gabbro		
Dekkeområder i den Kaledonske fjellkjeden	Prekambrium	Gneis	Gneis i den Kaledonske fjellkjeden gir normalt godt tilslag.	Normalt godt egnet, men noen lokasjoner har vist AAR*.
		Sandstein, skifer, magmatiske bergarter	Store variasjoner. Lokal berggrunn og tilslag må analysers og testes.	
		Sandstein, skifer	Disse områdene kan være utfordrende i forhold til mekaniske egenskaper og bestandighet, inklusiv AAR*.	
Skyvedekker langs grenser mot grunnfjellet og i Oslo-feltet	Kambrium til Silur	Leirskifer, kalkskifer, hornfels, alunskifer i Oslofeltet, glimmerskifer langs den Kaledonske fjellkjeden	Meget utfordrende områder med hensyn til egnethet i knust form. Oslo-feltet inneholder meget hard hornfels som kan være meget godt egnet, til reaktiv alunskifer og svake leir- og fyllittskifre.	
Sedimentbergarter i Finnmark	Prekambrium til Silur	Sandstein, skifer, kalkstein	Variasjoner i bergartstyper og egenskaper, grundige undersøkelser er nødvendig og anbefalt	
Skyvedekker over grunnfjell	Prekambrium, men påvirket av den kaledonske fjellkjededannelsen	Metamorfoserte sedimenter, vulkanske bergarter, gneis, granitt og anortositt.	Generelt tilslag av god kvalitet for de fleste anvendelser. AAR* er ganske sjelden, og de mekaniske egenskapene gode. Stor tilslagsproduksjon i disse områdene.	
Grunnfjellet	Prekambrium			



2.2.1 Anbefaling – Tidlig kunnskap om materialkvalitet gjennom forundersøkelser

Tidlig kunnskap om materialkvalitet gjennom gode forundersøkelser

Utgangspunktet for å lykkes med kortreist stein er å få en så god oversikt og kunnskap om steinmaterialet så tidlig som mulig og ut fra dette vurdere brukspotensialet til utgangsmaterialet. Dette bør igjen bygge på materialbehov i selve veglinjen og bruksbehov til ulike formål i nærliggende områder, og det bør ses opp mot eksisterende pukkverk og lignende i nærheten.

Kortreist stein har utviklet en geologisk veileder [10] som gir anbefalinger til hvilke undersøkelser man bør gjennomføre på ulike planstadier av et utbyggingsprosjekt.

2.3 Driveteknologi

Tunneldriving handler om billig, raskt og sikker fjerning av masse og som gir en konstruksjon med lavest mulig vedlikeholdskostnader. Nær 100% av all tunneldriving tilknyttet veg- og baneanlegg i Norge i dag skjer ved konvensjonell boring og sprenging (B&S). Fullprofilboring (TBM) har fått økende innpass spesielt i byområder med økt utnyttelse av undergrunnen for samfunnsinfrastruktur. I Norge i de siste årene er en vannkrafttunnel; Nedre Røssåga kraftverk i Nordland (7,6 km, ferdig 2015) [14] og to jernbane-tunneler produsert ved TBM; Figur 7 og Figur 8. I september 2019 valgte Oslo kommune, Vann og avløpsetaten, TBM som drivemetode for en vannforsyningstunnel (19 km) som skal bygges fra Lier til Oslo [15].

Valg av drivemetode avhenger av mange forhold, men er per i dag i svært begrenset grad styrt av hvilket potensial som ligger i utnyttelse av bergmassen man driver ut.

B&S vil påvirke hvilken steinstørrelse og mengde finstoff⁵ som oppnås på det som tas ut. Det erfares ofte en finere steinstørrelse ved tunneldriving enn det som er ønskelig for et påfølgende knuse- og sikteanlegg. Dessuten er høy finstoffandel ugunstig med tanke på massebalanse og bruksmuligheter, og finstoffmengden bør reduseres så godt det lar seg gjøre. Forhold som kan gi økt finstoffmengde ved B&S er blant annet stort borhullsavvik og -diameter og høy detonasjons-hastighet. Justering av dette, samt bruk av riktig type og mengde eksplosiver vil kunne redusere finstoffandel, sprengningskostnader og slik sett også videre bearbeidingskostnader. Masser tatt ut ved B&S må erfaringsmessig knuses før de anvendes. I et tidligere forskningsprosjekt referert i [5]; REMUCK-prosjektet [16] ble uttatte tunnelmasser fra kun B&S sammenliknet med det samme materialet etter knusing og sikting ved bruk av materialparametrene Los Angeles-verdi, MicroDeval-verdi og flisighetsindeks. Resultatene viser at kornform ble forbedret gjennom knuseprosessen. De mekaniske egenskapene var mindre påvirket av type prosessering.

B&S eller TBM som drivemetode vil styre volum og form på det materialet man sitter igjen med. Volumet vil øke med en faktor på 1,7 fra fast fjell til uttatt masse ved en TBM, mens faktoren vil være rundt 1,5 ved boring og sprengning [5]. Dette vil ha en viss betydning ved bruk av masser for utfylling

⁵ Vanlig å bruke betegnelsen finstoff for steinmateriale med kornstørrelse under 2-4 mm.



av landområder. TBM genererer erfaringsmessig mye mer finstoff enn B&S, og steinen vil typisk ha en mer flakig form. Kornstørrelsesfordelingen vil også bli ganske forskjellig, se *Figur 9*, med forventning om dominans av fine fraksjoner og lav andel grove partikler, og der bergarsfragmentene har en flakig form. Dette styrer hvilke bruksområder som er aktuelle, og/eller påvirker hvilken videre prosessering som må på plass for å få utnyttet kortreist stein. Valg av TBM vil ut fra dette muligens begrense hvilke anvendelsesområder som er aktuelle for kortreist bruk, men i prosjektet *Kortreist stein* har man kommet frem til at TBM-masser også kan anvendes til høyverdig bruk, se kapittel 3.3.2.

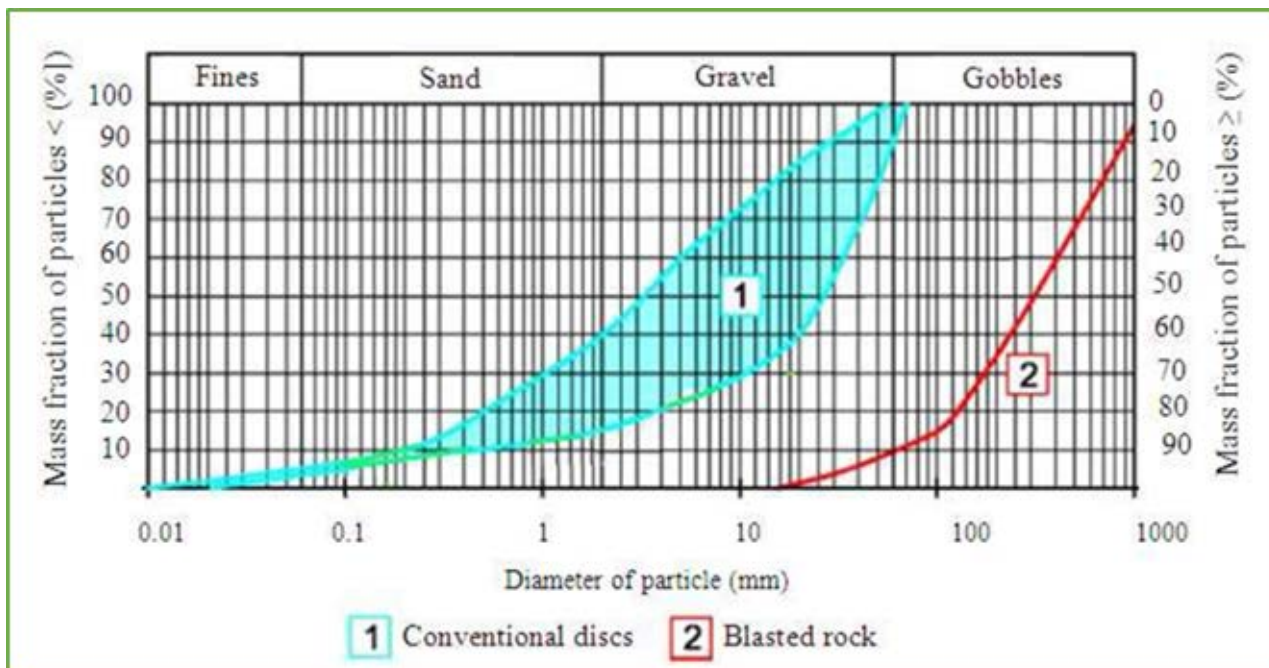


Figur 7: Follobanen – Oversiktsbilde/illustrasjon fra Oslo S mot Ekebergåsen. Kilde: Bane NOR/ViaNova. Den nye Follobanen med dobbeltspor mellom Oslo og Ski er 22 km lang, og prosjektet er Norges hittil største samferdselsprosjekt. Jernbanetunnelen er drevet med TBM. Tunnelarbeidet startet i 2015 og var ferdig i 2019 og omfattet ca. 5.6 mill. m³ tunnelmasse.



Figur 8: Prosjektet Nye Ulriken tunnel er en del av den store jernbaneutbyggingen dobbeltspor Arna-Bergen. Jernbanetunnelen med dobbeltspor er bygget parallelt med den eksisterende tunnelen mellom Arna og Fløyen. Tunnelen er totalt 7,7 km lang. Cirka 6,9 km ble drevet med tunnelboremaskin og de siste 800 m nærmest Arna ble drevet med konvensjonell boring på grunn av store og varierende tverrsnitt. Arbeidet startet i 2015, og utgjør samlet ca. 700.000 m³ tunnelmasse [17].





Figur 9: Kornstørrelsesfordeling for TBM-masser (1) og B&S-masser (2) [5].



2.3.1 Anbefaling – Drivemetodikk som hensyntar materialkvalitet

Drivemetodikk styrer bruk av stein – og kan styres mot bruk av mer kortreist stein

Prosjektet Kortreist stein oppfordrer til i større grad å ta stilling til masseutnyttelse ved valg av drivemetode. Høyverdige masser, det vil si kvalitetsmasser som kan anvendes til bruksområder der kvalitetskravene er strenge og prisen god, bør vektlegges spesielt.



Foto: Veidekke

Optimaliseringsstrategi ved driving av en tunnel bør ta utgangspunkt i følgende:

- Tidlig indikasjon på høyverdige masser, det vil si kvalitetsmasser som kan anvendes til bruksområder der kvalitetskravene er strenge og prisen god, bør være et viktig vurderingskriterium for valg av driveteknikk, i kombinasjon med andre forhold.
- Uansett uttaksteknikk bør man søke å optimalisere uttatt råstoff med tanke på bruk.
- Ved boring og sprengning bør uttaket, det vil si sprengstofforbruk, sprengningsmønster og annet legges opp slik at finstoffandelen søkes minimalisert.
- Både for boring og sprengning og TBM vil uttatt masse forbedres med hensyn til kornform gjennom videre nedknusing.
- Den utviklingen som skjer innenfor tunneldriving når det gjelder automatisering, digitalisering og maskinlæring kan både gi økt forutsigbarhet og effektivisering av selve driveprosessen, samt nyttiggjøres for å få forbedret oversikt over materialkvalitet og -variasjoner.
- Data og undersøkelser utført under selve driveprosessen (for eksempel automatiserte målinger under tunneldriving (MWD – Measurement While Drilling) og materialanalyser utført under ulike stadier av utviklingen av en tunnel, kan kombineres og anvendes til bedre forståelse også av anvendelsesmuligheter av den massen man driver på.



2.4 Knuse- og prosessteknologi. Håndtering og lagring

Masseuttak fra infrastrukturprosjekter, enten det er tunneler, skjæringer og vei/jernbanetraseer i dagen, oppmuntrer til bruk av mobile anlegg for tilslagsproduksjon som kan ta imot og bearbeide massen som kommer fra anleggsdriften. Produksjon i mobile, fleksible knuseanlegg kan redusere transportbehovet til og fra anvendelsessted, fremskaffe mer brukervennlige anvendelsesteknikker av uttatte masser og ikke minst bidra til en betydelig forbedring av massebalansen av alle steinstørrelser som produseres [18]. Det kan ved større tunnelprofiler være hensiktsmessig å ivareta første knusestrinn inne i selve tunnelanlegget. Dette kan gjøre materialtransporten ut av tunnelen lettere. Primærknusing nær stuff, som fordrer mobilanlegg, er gjerne aktuelt for anlegg i dagen i tilknytning til veiskjæringer.

Forventet variasjon i stein- og materialkvalitet som går inn i et mobilt anlegg, gir behov for fleksibilitet og tilpasning i den videre knuse-, sikte- og klassifiseringsprosessen. Denne hovedutfordringen må det utarbeides løsninger for.

Det har skjedd en omfattende utvikling innenfor mobilt prosessutstyr de siste årene, og mulighetene for å sette opp produksjonslinjer rettet inn mot ulike utgangsmaterialer og sluttprodukter er store. En teknisk utfordring for mobile knuseanlegg er jevnhet og kvalitet på materialstrømmen inn på anlegget. For store variasjoner kan gi ujevn kvalitet på sluttproduktet. En annen teknisk utfordring kan være å redusere finstoffmengden. Typisk vil omkring 30% av bergmassen etter knusing være finstoff under 2-4 mm.

Valg av knusekonsept, det vil si type knusere og antall knusestrinn, styres både av hvilket bergmateriale som skal knuses og hva sluttproduktet(ene) skal bli, og det vil påvirke produktkvaliteten.

For produksjon av store mengder knuste produkter mot anvendelser med få tekniske krav, anbefales en såkalt kaskade-design, der ferdige tilslagsprodukter sorteres ut etter hvert knusestrinn, se Figur 10.

Frostsikrings- og forsterkningslag produseres i Norge gjerne ved dette prinsippet, og ofte brukes to mobile enheter; primærknuser/kjefteknuser og en sekundær konknuserenhet med inkluderte sikt.

Det foreligger utprøvde og gode konsepter både rettet mot veg- og jernbaneformål, betong og asfalt. Dette beskrives nærmere i egen prosjektrapport utarbeidet i Kortreist stein [18]. Rapporten inneholder også detaljerte oversikter over knusere, klassifiserings- og sorteringsutstyr.

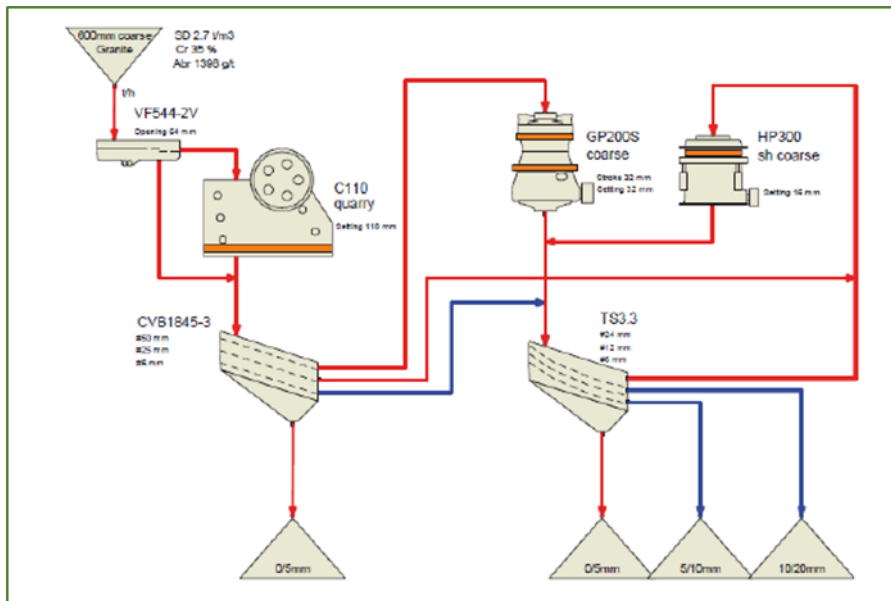
Valg av konsept for videre sikting, vasking og sortering vil ytterligere påvirke sluttkvalitet. Dette berøres også nærmere i [18].

Håndtering og lagring av ferdige produkter kan ha stor påvirkning på produktkvaliteten.

Etablering av gode og tilstrekkelig store arealer for produktlagring vil være viktig i et utbyggingsprosjekt, men kan være utfordrende med tanke på plassbehov både for midlertidig lagring av uttatte masser og varelager for ferdigprodukter.

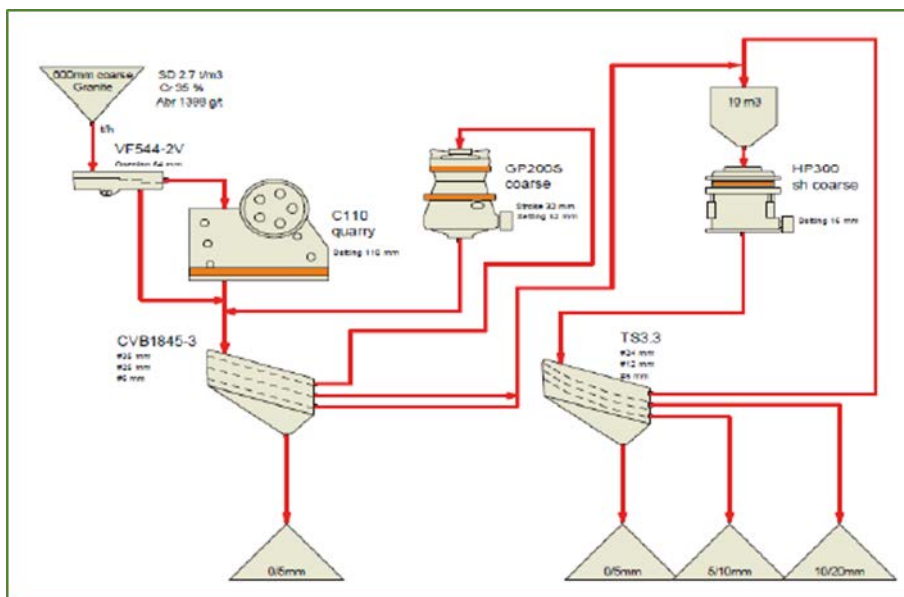
Uttatte masser som deponeres, blir betraktet som avfall. Dette representerer en interessekonflikt; en bergmasse som klassifiseres som avfall, kan på samme tid vise seg å være egnet til ulike konstruksjonsformål. Tematikk rundt avfallsforskrift og tolkning er nærmere berørt i [19].





Figur 10: Prosesseksempel – høy kapasitet: Tretrinns knuseanlegg for optimalisering av kapasitet. Alle partikler under 20 mm siktes direkte til ferdig produkt. Kapasitet 320 tph.

For produksjon av høykvalitetsprodukter anbefales en selektiv krets, der tilslag sorteres ut etter siste knusetrinns, se Figur 11.



Figur 11: Prosesseksempel – Høy kvalitet: Tretrinns knuseanlegg for optimalisering av kvalitet. Alle produktene lages gjennom en tredje-trinns konknuser. Kapasitet: 200 tph. Knuseutstyret er det samme som i Figur 10.



2.4.1 Anbefaling – Tilrettelagt knuseprosess ut fra brukspotensialet

Med tanke på bruk av knuste produkter handler optimal bearbeidingsfilosofi om å fremstille produkter med optimal finstoffmengde, god kornform, optimal kornstørrelsesfordeling, og tilfredsstillende fysiske og kjemiske egenskaper.



Foto: Metso

- Konsistent og jevn massetilførsel til knuse-/sikteanlegget er positivt med tanke på kvalitet på alle typer sluttprodukt. Automatiserte system kan avhjelpe dette.
- For produksjon av store mengder knuste produkter mot anvendelser med få tekniske krav, så anbefales en såkalt kaskade-design, der ferdige tilslagsprodukter sorteres ut etter hvert knusetrinn.
- Frostsikrings- og forsterkningslag produseres i Norge gjerne ved bruk av to mobile enheter; primærknuser/kjefteknuser og en sekundær konknuserenhet med inkluderte sikt.
- For produksjon av høykvalitetsprodukter anbefales en selektiv krets, der tilslag sorteres ut etter siste knusetrinn.
- Det foreligger utprøvde og gode konsepter både rettet mot veg- og jernbaneformål, betong og asfalt.
- Det foreligger gode løsninger for produktforbedring gjennom fjerning av finstoff og "urenheter" gjennom tørr- og våtklassifisering.
- Optimal lagring av knuste produkter innebærer å sørge for tiltak som hindrer segregering og "forurensning" av massene på lagringsplassen. Avstand mellom produktlager og fysisk adskillelse av produktlager fra underliggende areal med for eksempel et annet tilslagsmateriale, kan være hensiktsmessig.



2.4.2 Anbefaling – Optimal anvendelsesfilosofi

Det er en logisk tilnærming at knuste masser fra infrastrukturprosjekter bør bli råstoff for vegoppbyggingen i det samme prosjektet som massen tas ut fra. Og det bør være her det største potensialet for utnyttelse ligger, både ut fra det volumet som trengs, og de så vidt få kravene som stilles til i det minste deler av en veg- eller baneoppbygging.

En normal vegkonstruksjon som følger dagens dimensjoneringskrav fra SVV inneholder tilslag i alle lag; slite- og bindelag, bærelag, forsterkningslag og frostsikringslag. Den tonnasjeviktigste delen av en vegoppbygging utgjøres av frostsikrings- og forsterkningslaget. Disse lagene utgjør ofte 90% av vegvolumet/-tonnasjen, og er slik sett de viktigste avtakerne av knust stein.

For frostsikringslag stilles det ikke krav til steinstyrke, men det gjøres det for forsterkningslaget. Målet om mer optimal utnyttelse av kortreist stein oppnås enkelt ved minimum å ta i bruk lokale masser til oppbygging av frostsikringslaget. Her stilles kun krav til gradering og finstoffinnhold.

Lenger opp i konstruksjonen er kravene strengere, og muligheten for å bruke lokale materialer kan være mindre.

I nye infrastrukturprosjekter anbefales det å gjøre en forenklet kategorisering av mulige bruksformål for. En optimal anvendelsesfilosofi for kortreist stein innebærer å utnytte de teknisk sett beste materialene til anvendelser der gode funksjonsegenskaper er spesielt viktige, det vil typisk si bunden bruk og bruk som stiller strenge materialkrav (M1-M3), mens øvrige masser søkes utnyttet til andre formål (M4-M5).

Optimal anvendelsesfilosofi for kortreist stein

Det innebærer å utnytte de teknisk sett beste materialene til anvendelser der gode funksjonsegenskaper er spesielt viktige, det vil typisk si bunden bruk og bruk som stiller strenge materialkrav (M1-M3), mens øvrige masser søkes utnyttet til andre formål (M4-M5).



Illustrasjon: SINTEF.



3 Optimalisering – Nye forskningsresultater og ny kunnskap

3.1 Veg- og baneformål, ubunden bruk

3.1.1 Viktige forskningstema

I Norge vil en tofelts veg som bygges etter Statens vegvesens normaler kreve opp mot 50 tonn steinmaterialer per meter veg som bygges [20]. Det er mye stein, og langt mer enn det som brukes i mange andre land. Et paradoks er at lokale masser fra utsprenge skjæringer og tunneler som er nødvendig for å anlegge veg, ofte fraktes bort, mens stein til oppbygging av alle lagene som utgjør en veg fraktes inn. Dette medfører et dobbelt transportbehov. Det bør være mulig å bruke mer lokale masser i vegoppbyggingen, uten å gå på akkord med funksjonaliteten.

Siden de mekaniske egenskapene til et steinmateriale⁶, og de tilhørende kravene, er hovedfaktoren som i dag bestemmer om – og hvor - massen kan anvendes til veg-/baneformål, så er anvendbarheten til dagens testmetodikk et viktig forskningstema. I dette inkluderes også utfordringen som ligger i at testene gjennomføres på fraksjoner som bare delvis anvendes i de ulike lagene som utgjør en veg- eller jernbanekonstruksjon (se *Figur 3, Figur 4 og Tabell 1*). Funksjonsbaserte testmetoder og krav er ikke i bruk per i dag. I Kortreist stein har forskningsarbeider fokusert på egnete funksjons-/oppførselsbaserte testforsøk for evaluering av alternative og kortreiste materialer sett opp mot steinmateriale fra ordinære pukkverk.

Et annet viktig forskningstema har vært å finne ut om og hvordan man kan oppnå bedre mekaniske egenskaper for lokale steinmaterialer tatt ut i forbindelse med utbyggingsprosjekter og som gjør dem anvendbare i veg-/banelinja.

Effekt av knusing på grovere steinfraksjoner – som utgjør hovedmengden av den steinen som anvendes i veg og bane – har vært lite kjent og sammenlikning mellom nasjonal og internasjonal praksis har vært interessant å utrede.

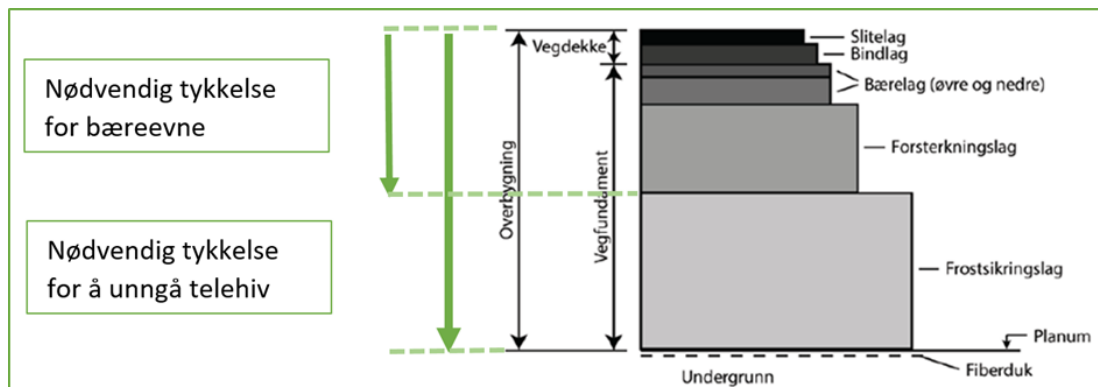
Forskningsarbeidet i Kortreist stein tilknyttet produksjon og anvendelse av masser har blant annet omfattet et PhD-arbeid direkte tilknyttet prosjektet som har studert knust stein til vegformål (Marit Fladvad). Utenfor prosjektet er det parallelt gjennomført ytterligere en PhD med tilgrensende tematikk utarbeidet i tilknytning til Ferjefri E39⁷ [Diego M. Barbieri 21]. Disse arbeidene har tatt utgangspunkt i like materialer, se *Figur 12*, men har hatt ulikt fokus med produksjon av sterke materialer for frostsikrings- og forsterkningslag på den ene siden (Fladvad) og forbedring av svake materialer og masser for bruk i bære- og forsterkningslag på den andre siden (Barbieri).

⁶ Det vil i hovedsak si Los Angeles-verdi, MicroDeval-verdi og flisighetsindeks.

⁷ Ferjefri E39 – 1000 km med kortreiste muligheter: Stortinget har som langsiktig mål å bygge ut Ferjefri E39 mellom Kristiansand og Trondheim. Det ble bekreftet da ny Nasjonal transportplan (NTP) for 2018-2029 ble behandlet juni 2017. Ferjefri E39 skal arbeide for innovative tiltak for energieffektivisering og skal redusere klimautslipp fra veginfrastruktur, blant annet gjennom å redusere materialbruk og materialtransport gjennom mindre materialtransport og økt materialgjennbruk.



Forbedre svake materialer	Produsere sterke materialer
Kan vi gjøre tiltak for å få svakt materiale sterkere? <ul style="list-style-type: none"> ▶ Blande sterkt og svakt materiale ▶ Tilsetningsstoffer 	Hvordan kan vi produsere sterkest mulig tilslag fra den steinen vi har tilgjengelig? <ul style="list-style-type: none"> ▶ Forbedre knuseprosessen ▶ Relevant kvalitetskontroll
Diego M. Barbieri, PhD-arbeid tilknyttet Ferjefri E39	Marit Fladvad, PhD-arbeid tilknyttet Kortreist Stein



Figur 12: PhD-arbeider om Kortreist stein til vegformål. Illustrasjon omarbeidet fra [22].

3.1.2 Forskningsresultater PhD -Svake bergarter kan forsterkes

Diego M. Barbieri, NTNU, forsvarte sitt PhD-arbeide i mars 2019. Hovedveileder har vært Inge Hoff, NTNU og Lillian Uthus Mathisen, Veidekke Industri AS har vært medveileder.

Doktorgradsarbeidet har spesielt fokusert på mulighet for bruk av overskuddsmasser som faller utenfor de kvalitetskravene SVVs håndbok N200 setter til ubunden utførelse (forsterknings- og bærelag). Ferjefri E39 omfatter byggingen av en rekke vegtunneler, som vil føre til et overskudd av sprengt stein. Om overskuddsmassene kan brukes i vegoppbyggingen og i nærheten av produksjonsstedet, det vil si der massene tas ut, kan det gi en bærekraftig og kostnadseffektiv bruk.

Arbeidet demonstrerer eksempler på at svak stein kan blandes med sterk stein og gi tilfredsstillende brukskvalitet og – oppførsel i veg. Endring i styrkeparametre (Los Angeles-verdi, LA og Micro-Deval, M_{DE}) som følge av ulike blandingsforhold fulgte en lineær trend for de bergartstypene som ble undersøkt, se Figur 13.

Doktorgradsarbeidet demonstrerer eksempler på at stabiliseringsteknikker i form av tilsetningsstoffer kan øke utnyttelsesgraden av kortreist stein. Arbeidet viser for undersøkte steinmaterialer at tilsetningsstoffer blandet inn i bærelag og/eller forsterkningslag kan gi bedre styrkeegenskaper på steinmaterialet og bedre bruksoppførsel i veg.

Laboratorieundersøkelser og feltstudier med styrkemålinger, stivhets- og deformasjonsanalyser framhever at undersøkt polymerbasert (akryl co-polymer i dispersjon med silanol/alkyl siloxan-grupper) og ligninbasert tilsetningsstoff kan forbedre mekaniske egenskaper og oppførsel til overskuddsmasser som i utgangspunktet ikke tilfredsstillende etablerte krav, se Figur 13 til Figur 17.

Polymerbasert tilsetningsstoff ga i gjennomførte forsøk en rask effekt, og et impermeabelt lag. Lignin trenger lengre tid til å utvikle forbedret styrke og stivhet. Dosering av tilsetningsstoff og langtidsegenskapene følges opp i et Post-Doc-prosjekt.



Presentator nå GI KONTROLL Avslutt presentasjonen

SUPPLY FOR THE MATERIAL – LA & MDE TESTS

current tunnelling operations at E39 Sveгатjörn-Rådal (Bergen) supply for the material

«strong» rocks

material M1
*mafic igneous origin,
 modified by metamorphism*
 Los Angeles value: **17.2**
 micro-Deval value: **10.2**

«weak» rocks

material M2
*metamorphic origin,
 fine-grained felsic rocks*
 Los Angeles value: **30.0**
 micro-Deval value: **23.6**

«weak» rocks

material M3
*metamorphic origin,
 very fine-grained felsic rocks*
 Los Angeles value: **29.8**
 micro-Deval value: **26.3**

ii. NTNU Statens vegvesen

Presentator nå GI KONTROLL Avslutt presentasjonen

1st approach

“STRONG” AND “WEAK” MIX

M2 and M1 mixture

M3 and M1 mixture

❖ The increase in micro-Deval and Los Angeles values follows a linear trend.

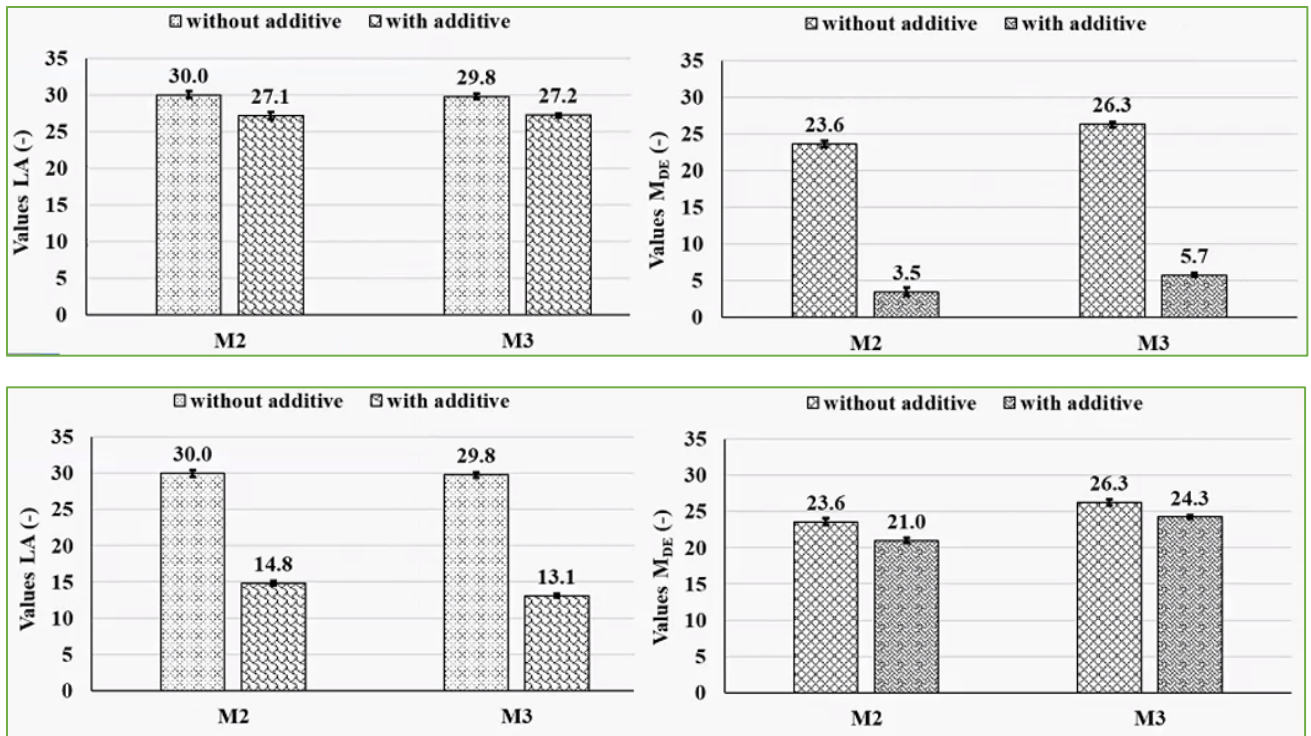
$$M_{DE,i+j} = M_{DE,i} \frac{m_i}{m_i + m_j} + M_{DE,j} \frac{m_j}{m_i + m_j}$$

$$LA_{i+j} = LA_i \frac{m_i}{m_i + m_j} + LA_j \frac{m_j}{m_i + m_j}$$

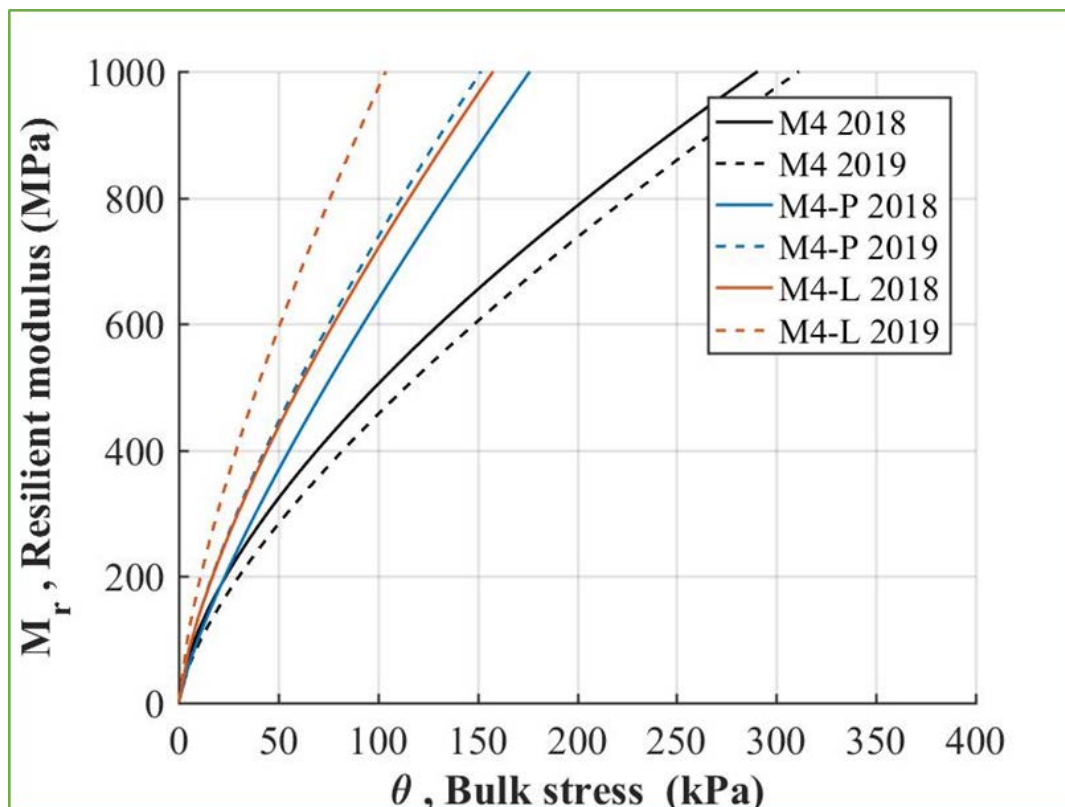
iii. NTNU Statens vegvesen

Figur 13: Resultater fra PhD-arbeidet til Diego Barbieri – Positiv effekt av blanding av materialer med ulike styrke- og slitasjeegenskaper [21].



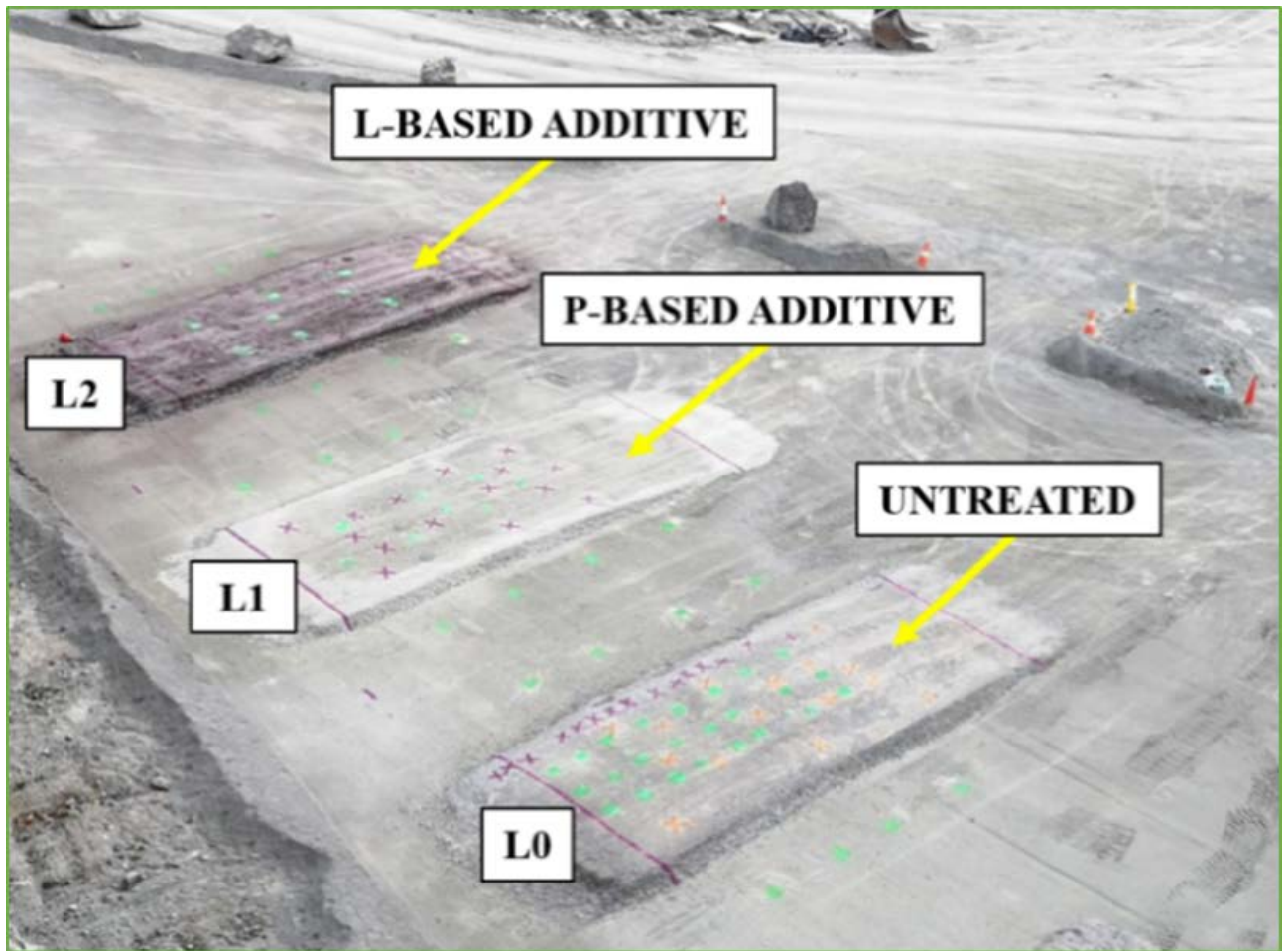


Figur 14: Resultater fra PhD-arbeidet til Diego Barbieri – Positiv effekt av bruk av Polymerisert (øverst) ligningbasert (nederst) tilsetningsstoff vurdert ut fra standard LA (til venstre) og Micro-Deval (høyre) tester [21].



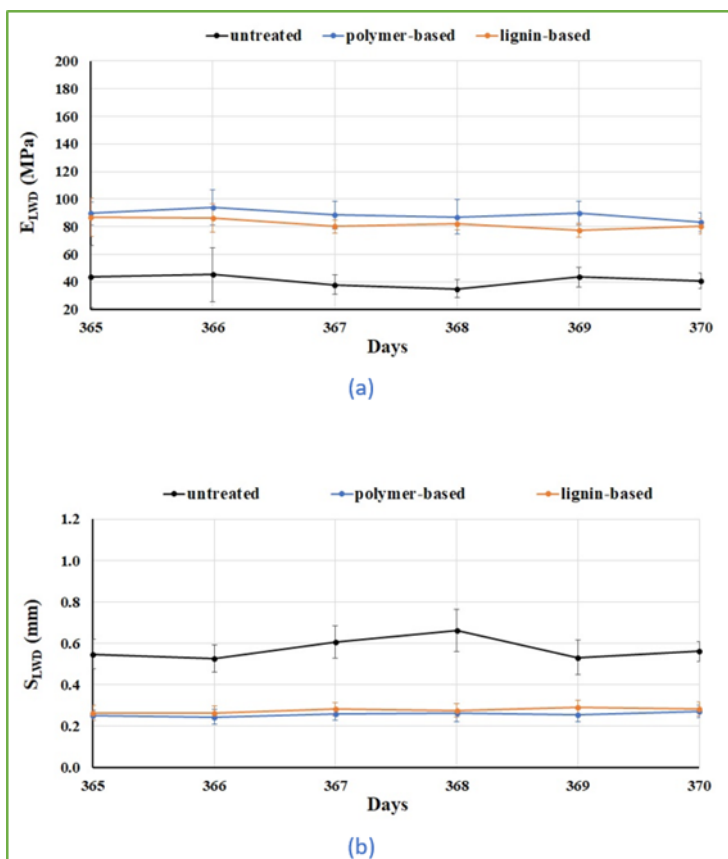
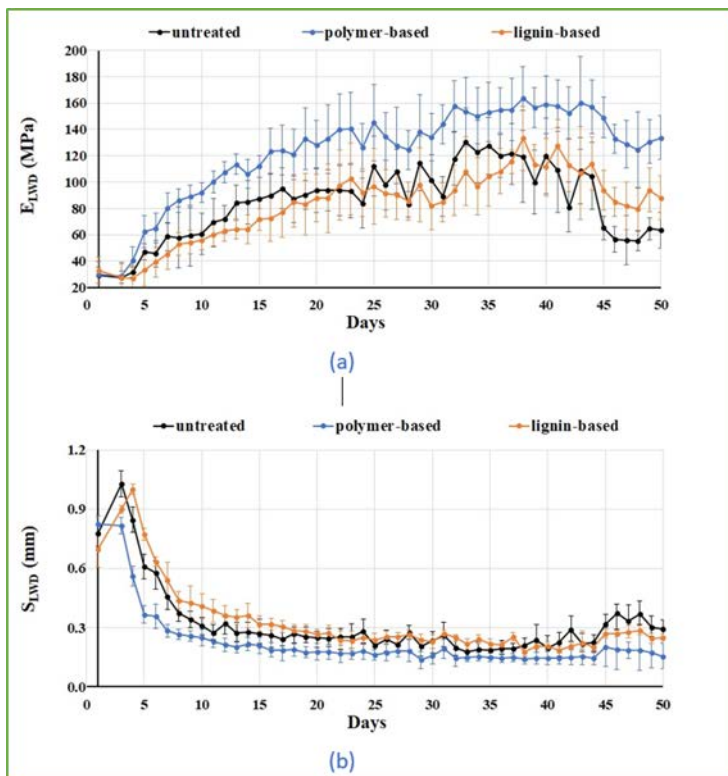
Figur 15: E-modul (Resilient modulus) til ubehandlet materiale (M4), materiale med polymerbasert tilsetningsstoff (M4-P) og med ligninbasert tilsetningsstoff (M4-L), testet i 2018 and 2019 [21].





Figur 16: Feltforsøk med uttesting av ubehandlet bærelag (L0), med polymerbasert tilsetningsstoff (L1) og med lignin-basert tilsetningsstoff (L2) [21].





Figur 17: LWD-målinger⁸ i felt gjennom de første 50 dager (øverst) og 1 år (høyre) etter oppbygging. (a) viser E- modul E_{LWD} og (b) viser setning S_{LWD} .

⁸ LWD – Light Weight Deflectometer



3.1.3 Forskningsresultater PhD – Steinkvalitet kan optimaliseres ved knuseprosess og funksjonstesting

Doktorgradsstudiet "Optimal utnyttelse av ubundne, knuste steinmaterialer til vegbygging" er en integrert del av Kortreist stein og gjennomføres av PhD-stipendiat Marit Fladvad, SVV/NTNU. Børge Johannes Wigum (NTNU) har vært hovedveileder, mens Lillian Uthus Mathisen (Veidekke Industri AS), Elena Scibilia og Rolf Arne Kleiv (begge NTNU) har vært medveiledere. Arbeidet fokuseres mot forsterkning- og frostsikringslag og bergmasser generert fra boring og sprengning. Hovedmål med arbeidet er å finne hvordan knuseprosessen kan optimalisere tilslagskvaliteten ut fra den steinen som er tilgjengelig, og å kontrollere steinkvalitet slik at ikke stein som kan være brukbar undervurderes og vrakes.

Ulik vegpraksis har gitt ny, norsk standard

Marit Fladvad har sammenliknet norsk og utenlandsk praksis. Hun fant at det er store forskjeller mellom hvordan vegoppbyggingen er i mange land, både i forhold til lagtykkelser, tilslagsstørrelser og materialbruk. Mengde og type materialer innen ett og samme land varierer avhengig av lokale forhold, som trafikk, undergrunn, dreneringsforhold og klima. Variasjoner mellom land er typisk styrt av forskjellige design-system men også forskjeller i kvalitet og tilgjengelighet av byggeråstoffer. På samme tid er evalueringskriteriene for egnethet relativt like. De europeiske og internasjonale standardene (EN- og ASTM) har fremskaffet et felles system for klassifisering av vegmaterialer. Standardene beskriver testmetoder og produktkategorier, heller enn å definere spesifikke krav til testresultater. Selv om vegmaterialene er i henhold til likeverdige standarder, så er altså praksisen for materialbruken veldig forskjellig. På denne måten kan landene definere sine kvalitetskrav i henhold til nasjonal praksis, anvendelsesområde og tilgjengeligheten av materialer og ressurser. Intuitivt sier dette at det ligger mange muligheter for å oppnå gode veger, også med høyere utnyttelsesgrad av lokale steinmaterialer.

Basert på en internasjonal spørreundersøkelse med 18 land representert, har Fladvad funnet at [20]:

- Vegtykkelsen varierer med en faktor på 10, det vil si mellom 220 mm og 2400 mm.
- Tykkelsen på topp- og bærelag med tilslag i bunden bruk, varierer med en faktor på ca. 3, det vil si mellom 95 mm og 250 mm.
- Tilslagsstørrelsen i bundne lag varierer fra 2/6 mm til 0/32 mm.
- Tilslagsstørrelsen i ubundne lag varierer med en faktor på 15, det vil si mellom 20 mm og 600 mm.
- 5 av 18 land setter øvre grense for tilslagsstørrelse til 50 mm i vegkonstruksjonen.
- Norsk praksis kjennetegnes ved bruk av fraksjonsstørrelser opp mot 300 mm i vegoppbyggingen, noe som er uvanlig sammenliknet med mange andre land.
- Sverige, Finland og Canada har lignende praksis som Norge.
- Det er en sammenheng mellom økt vegtykkelse og økt tilslagsstørrelse; Nord-Europa og Canada har betydelig høyere maks. vegtykkelse, noe som spesielt er relatert til store frostvolum, og anvender betydelig grovere tilslagsstørrelser i forsterkningslaget enn andre land.

De europeiske tilslagsstandardene har vært begrenset opp til en tilslagsstørrelse på 90 mm. Gjennom nasjonalt samarbeid foreligger nå en ny, nasjonal produktstandard for grove masser [23]. Standarden beskriver hvordan produserte, grove steinmaterialer og resirkulerte materialer med toppstørrelse mellom 90 mm og 1000 mm kan klassifiseres og dokumenteres. Fladvad har i sin PhD arbeidet med grove steinmaterialer og sett spesielt på spesifikasjoner og prøvingsmetoder [24].



Knuseprosessen påvirker steinkvaliteten

Til tross for at tilslagsstørrelsen i norske vegger varierer mye (fra finstoff opp til 500 mm), så er dagens sett med prøvemeter for mekaniske egenskaper til tilslag basert på standardfraksjoner (typisk 10-14 mm) og laboratorieknust materiale. Denne praksisen antyder:

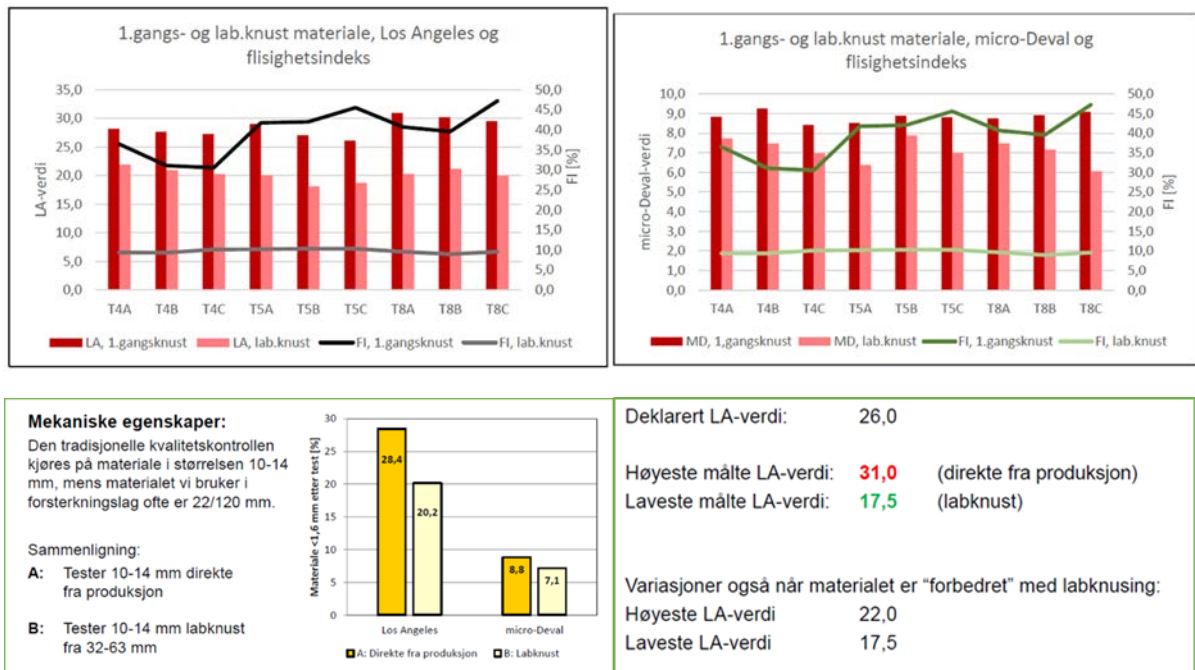
- at egenskapene til tilslaget i all hovedsak er bestemt ut fra iboende bergegenskaper, og kun minimalt påvirket av selve knuseprosessen.
- at bruksegenskapene til tilslagsmaterialet er uavhengig av tilslagets størrelse.

Dette avkrefte gjennom flere studier.

Laboratorie- og full-skalaforsøk utført av Fladvad [25, 26] og andre [for eksempel 27] demonstrerer at sluttproduktets kornform bestemmes av knusemetode og materialets iboende egenskaper og at det er sammenheng mellom knuseprosess og kvalitet.

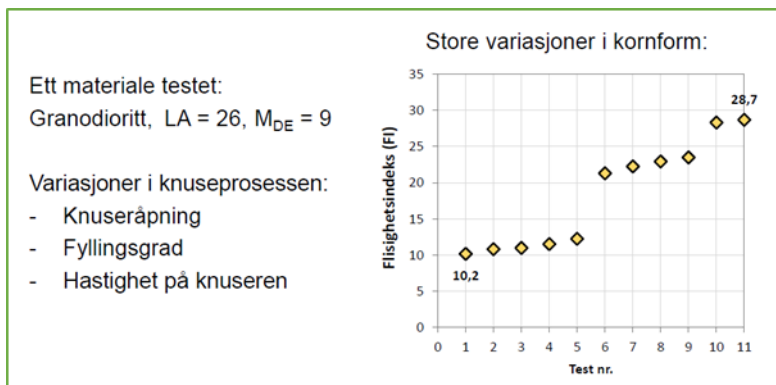
Flere studier viser at styrkeegenskapene (LA og M_{DE}) for ett og samme steinmateriale blir forskjellig dersom det testes på produksjonsknust eller laboratorieknust materiale, og slik at resultater både kan falle innenfor og utenfor oppsatt krav.

I MSc-oppgave til Nils Luke ved NTNU [27] ble effekt av knusing på kornform og mekaniske egenskaper til én variant granodioritt undersøkt ved å studere ulike knusefraksjoner under laboratorieknusing og der mateeffekten ble variert. Noen resultater er gjengitt i Figur 18 og Figur 19.



Figur 18: Resultater presentert i [22] og [27] som viser hvilken effekt påfølgende laboratorieknusing etter første gangs knusing kan ha på ett og samme materiale uttrykt ved LA og M_{DE} samt flisighetsindeks.





Figur 19: Resultater presentert i [22] og [27] som viser hvilken effekt variasjoner i knuseprosessen kan ha på kornformen til ett og samme materiale uttrykt ved flisighetsindeksen.

Marit Fladvad har spesielt sett på vegmaterialer produsert direkte fra tunneldriving og med en påfølgende enkel, mobil knusing i ett-trinns knuseprosess. Forskning rettet mot tilslagsproduksjon og -kvalitet har tradisjonelt vært konsentrert rundt produkter fra påfølgende knusestrinn, ikke fra produkter fra primær-knusing. Der erkjennes et kunnskaps-gap med hensyn til påvirkning av knuseprosessen på kvaliteten av primærknuste steinfraksjoner.

I sitt PhD-arbeide har Marit Fladvad foretatt en parameterstudie der en kjefteknuser er anvendt for å undersøke hvilken effekt mate-fraksjoner, mate-hastighet, knuseinnstilling og -hastighet påvirker knuseoperasjonen og kvaliteten til det knuste materialet. Studiet fokuseres rundt produksjon av store steinstørrelser (toppstørrelse ≥ 90 mm), som vil være egnet i forsterknings- og frostsikringslaget i en vegkonstruksjon. Tilslagskvaliteten måles som en funksjon av produktets kornfordeling, kornform og mekaniske egenskaper.

PhD-arbeidet, som er under bearbeiding og publisering, viser at både mate-fraksjon, -hastighet, knuseinnstilling og -hastighet påvirker energiforbruk i løpet av knuseoperasjonen, samt at dette også påvirker hvilken partikkelform man oppnår på det ferdige produktet. Arbeidet viser at de mekaniske egenskapene er minst påvirket av innstillingene i kjefteknuseren, men på samme tid at prøveprepareringen ved bruk av laboratorieknusing i stor grad påvirker de mekaniske egenskapene.

Resultatene viser i tillegg at det er behov for å vurdere og kontrollere brukskvalitet for steinmaterialer til veg- og baneformål også på andre måter enn det som er dagens praksis.

Det er gjennom PhD-arbeidet gjort erfaring med at måten bergmasser knuses etter utspregning påvirker kvaliteten til tilslagsmaterialet på en måte som tradisjonelle kvalitetsevalueringsmetoder ikke fanger. Funksjonstesting i laboratorium, for eksempel ved bruk av såkalt triaksial-testing, der en realistisk konstruksjonsoppbygging utsettes for repeterte lastpåkjenninger i et laboratorium, kan være hensiktsmessig, spesielt i tilfeller der steinmaterialet ligger nær eller utenfor dagens krav. Slik testing kan kombineres med spennings- og deformasjonsberegninger og brukes til å oppnå en vegutforming der lokal stein kan nyttiggjøres.

Som en del av PhD-arbeidet til Marit Fladvad har det blitt gjennomført fullskalaforsøk for å teste tilslags nedbrytningsegenskaper i en vegkonstruksjon. Testmaterialet er fra E39 Svevatjørn-Rådal. To vegkonstruksjoner er bygd opp og instrumentert i en akselerert test (APT – accelerated pavement test) hvor trafikkbelastning tilsvarende 20 års trafikk påføres. De to vegkonstruksjonene skiller seg fra hverandre med hensyn til kornstørrelsesfordeling i forsterkningslaget, hvor det ene er 0/90 mm med kontrollert finstoffinnhold, og det andre er en 22/90 mm.



Trafikkbelastningen ble påført både (1) ved jordfuktig tilstand, (2) ved normalt dretnivå som tilsvarer at grunnvannet står opp til dybden på dretnanlegget og (3) ved en økt grunnvannstand der det står vann i nedre del av forsterkningslaget. På grunn av at de ubundne materialene suger opp og transporterer fuktighet blir også vanninnholdet i de øvre lagene av konstruksjonen høyere når grunnvannstanden øker. Det er forventet at materialet som inneholder finstoff vil påvirkes mer av økt vanninnhold.

Resultatene av forsøkene viser at 22/90-konstruksjonen har raskere sporutvikling i den tørre fasen, mens når grunnvannet heves er sporutviklingen størst i 0/90-konstruksjonen. Flere analyser av forsøket gjennomføres i PhD-arbeidet, og noe av hensikten er å gi input til arbeidet med nytt dimensjoneringsystem som SVV og svenske Trafikverket og VTI samarbeider om gjennom SVV-prosjektet VegDim.



Kortreist stein utfordrer dagens testmetodikk og ser behov for videre forskning, viser PhD-arbeidet til Marit Fladvad

Evaluering av Grove steinstørrelser:

Den nye standarden NS 3469:2019 *Grove steinmaterialer til bruk i bygge- og anleggsarbeid* er et godt første steg og bør videreutvikles til en internasjonal standard. Utfordringene knyttet til grove materialer er ikke av en spesiell norsk natur, men vil være de samme når grove materialer brukes i andre land. Det er fortsatt usikkerheter knyttet til beskrivelse og bruk av grove materialer. Stor partikkelstørrelse og tilhørende store prøvemengder gjør representativt prøveuttak til en utfordring. Videre forskning er nødvendig for å sikre gode metoder for å bestemme kornfordeling fra bilder tatt i felt der partiklene overlapper. Areal-basert fordeling fra bildeanalyse må kunne sammenlignes med vekt-basert fordeling fra sikteanalyse. Kravene for antall partikler i bildeanalyse må differensieres etter gradering. Videre forskning er nødvendig for å finne ut om resultater fra tester på laboratorieprøver med mindre partikkelstørrelser er representative for grove materialer.



Foto: NGU

Optimalisering av ett-trinns knuseprosess kan forbedre produktkvalitet:

Resultater fra gjennomførte studier gir verdifull kunnskap som kan anvendes for optimalisering av ett-trinns knuseoperasjon og endelig produktkvalitet til lokale bergmasser fra for eksempel tunneldriving med boring og sprengning. Ved å tilrettelegge knuseprosessen i forhold til utgangsmaterialet og ønsket sluttprodukt, så kan kvaliteten på både selve knuseprosessen og sluttproduktet optimaliseres.

Fullskalaforsøk gir lovende resultater:

Pågående PhD-arbeid gir lovende resultater fra fullskalaforsøk i Sverige der en instrumentert, akselerert test (APT - Accelerated Pavement Test) er anvendt på forsterkningslag med og uten finstoff.

Det forventes at forsøkene kan gi nyttig input til arbeidet med et nytt dimensjoneringsystem som SVV og svenske Trafikverket og VTI samarbeider om gjennom SVV-prosjektet VegDim, et FoU-program som skal pågå i 5 år fra 2018-2022 [27].



3.2 Asfaltformål, bunden bruk

3.2.1 Viktige forskningstema

Et toppdekke av asfalt består typisk av ca. 95 vekt% tilslag og 5 vekt % bitumen [5]. Toppedeket skal beskytte underliggende, ubundne lag fra trafikkpåkjenninger og vanninntrengning, og styrke- og slitastjekravene er strenge og styrt primært av omfang av trafikkbelastningen (ÅDT), se vedlegg 1.

I [5] fokuseres spesielt på betydningen som mørtelfasen (0/4mm) har på bruksegenskapene til asfalt. Finstoffinnhold og -type, og da spesielt glimmer, påvirker asfaltblandingen og bruksoppførselen. Høyt glimmerinnhold er uønsket i asfalt fordi mineralet påvirker vedheftsegenskapene til asfaltblandingen, vannfølsomhet og derav bindemiddelforbruk, andel hulrom, styrke og deformasjonsegenskaper. Tilstedeværelse av svellende leirmineraler og andre svake mineraler er også problematisk. Det er en svakhet at det i dag ikke foreligger spesifikke krav til mengden av slike mineraler, siden de i så stor grad påvirker asfaltegenskapene både i fersk og herdet tilstand.

Et annet interessant tema er hvorvidt – og i hvilken grad – svakere steinmaterialer kan blandes med sterkere materialer og om de kan anvendes opp mot de øvre delene av en vegkonstruksjon, for eksempel i bindlaget (*Figur 12*). I dette ligger også om det er mulig å utvikle nye, innovative dimensjonerings-løsninger for høyere bruk av kortreiste steinmasser med varierende egenskaper.

3.2.2 Forskningsresultater MSc – Bruk av svakt tilslag i varmblandede asfaltdekker

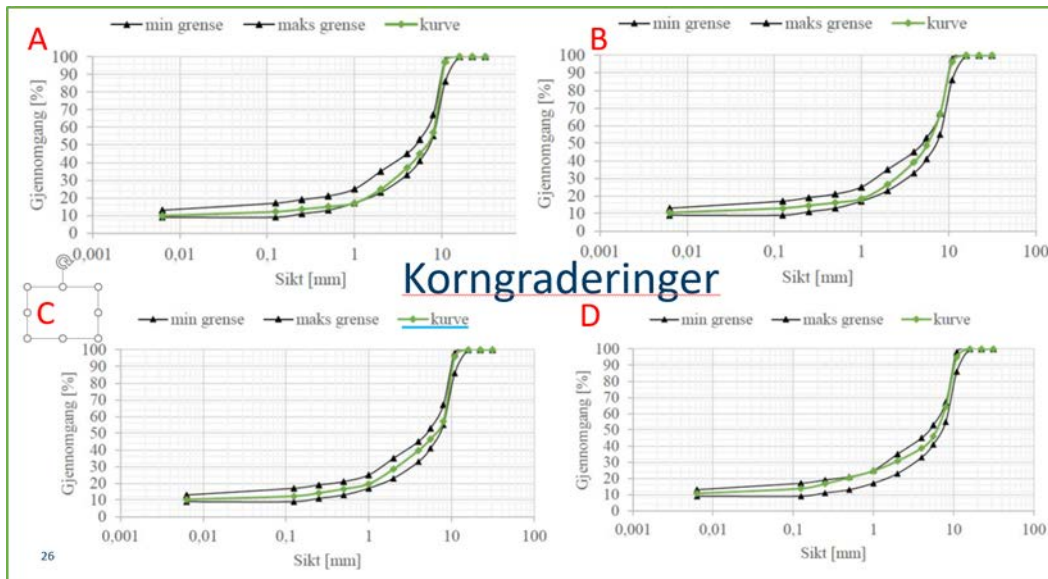
Tilknyttet Kortreist stein ble det i 2018 gjennomført en Master-oppgave av Jonas Olai Robertson ved NTNU som har sett på effekten av å bruke svake tilslag [29]. Veiledere har vært Inge Hoff, NTNU og Bjørn Ove Lurfald, Veidekke/NTNU.

Det ble gjennomført laboratorieforskningene på SKA11, med 70/100 bitumen / SMA 11 ÅDT ≥ 5000 . Ved forskningene ble det laget 4 blandinger, og det ble foretatt en såkalt marshall-proporsjonering for bindemiddelbehov:

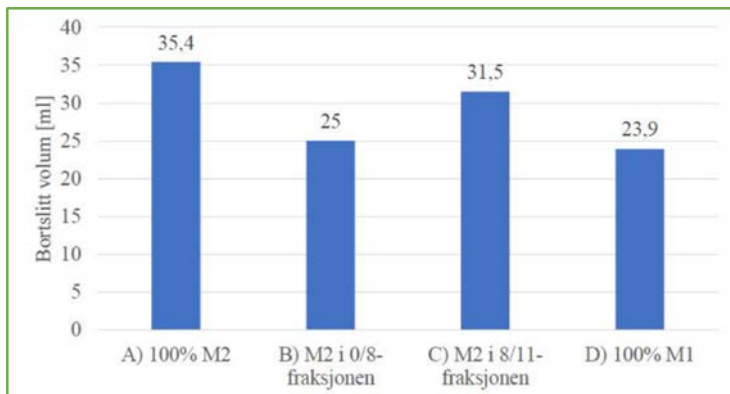
- 100% svakt tilslag (A)
- Svakt tilslag i 0/8 mm, og sterkt i 8/11-fraksjonen (B)
- Svakt tilslag i 8/11 mm, og sterkt i 0/8-fraksjonen (C)
- 100% sterkt tilslag (D)

Funksjonstesting i form av prall-test for piggdekkslitasje og wheel-track for deformasjon ga interessante resultater, se Figur 20 til Figur 22.

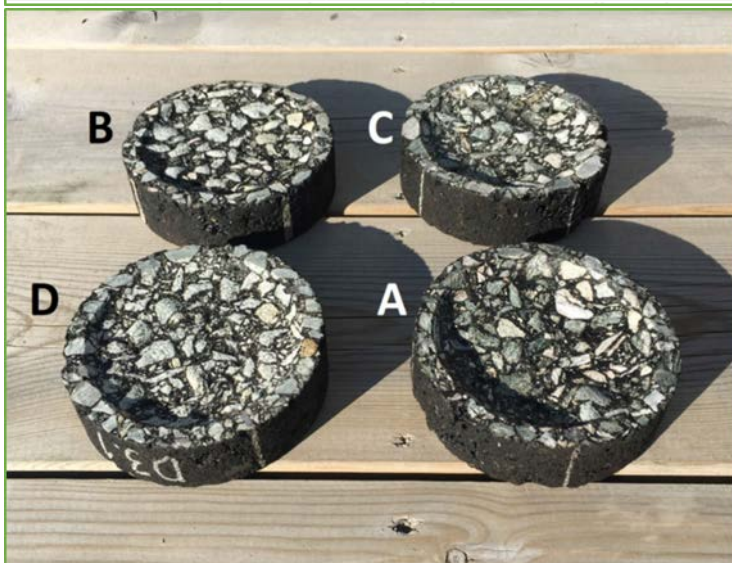




Figur 20: Kornfordelingskurver for blandinger mellom svake og sterke steinmaterialer. Hentet fra [29].

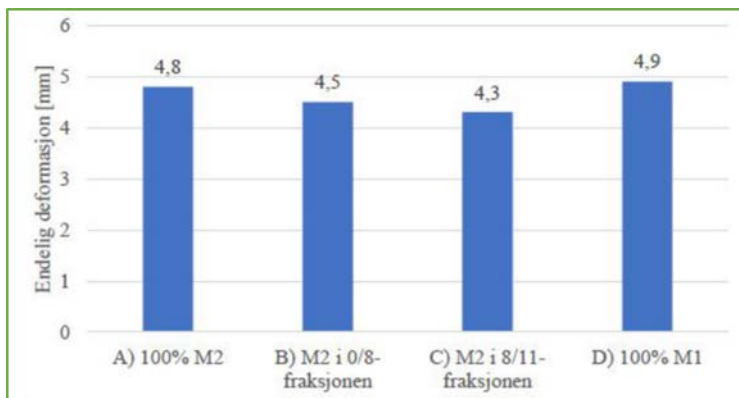


	ADT				
	≤1500	1501-3000	3001-5000	5001-10000	>10000
Maks. tillatt Prall-verdi, cm ³		36	28	25	22

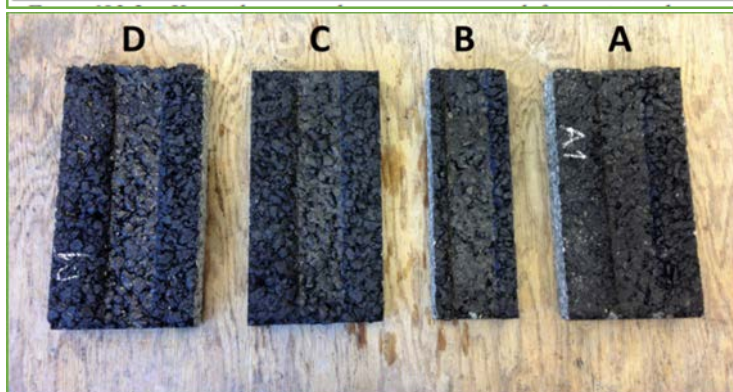


Figur 21: Resultater for Piggdekkslitasje – Pralltest. Krav til motstand mot piggdekkslitasje etter prallmetoden angitt. Hentet fra [29].





	ADT				
	≤ 1500	1501-3000	3001-5000	5001-10000	>10000
Maks. tillatt spordybde, % av prøvetykkelse		20	12	7	5



Figur 22: Resultater for permanente deformasjoner – Wheel Tracking test, spordybde etter 10 000 sykler, i % av prøvetykkelse. Krav til motstand mot permanente deformasjoner ved denne testen er angitt. Hentet fra [29].

Blanding av svake og sterke steinmaterialer i asfalt er mulig

Resultatene av MSc-arbeidet til Jonas Olai Robertson [25] peker i retning av at utnyttelse av knust overskuddsmasse i 0/8 mm - 8/11 mm-fraksjonen i varmblandete asfaltdekker er mulig.

Det ble konkludert som følger:

- Innblanding av svakt tilslag i 0/8 mm-fraksjonen ga tilfredsstillende resultat
- Sterkt tilslag i grovfraksjon er viktig for bruksegenskapene. Dette er i samsvar med tidligere studier [4].

3.2.3 Forskningsresultater Fillerprosjektet

Veidekke Industri har parallelt med aktiviteten i Kortreist stein arbeidet med mørtelfasen og filler i asfalt. Mørtelfasen karakteriseres som asfaltteknologiens "sorte hull" [30]. Det er verifisert at knuseprosessen påvirker filleregenskapene. Det er også verifisert at selve lagringen av 0/4 mm-fraksjonen påvirker filleregenskapene. En erkjennelse fra studier som er gjennomført er at for å sikre god asfaltkvalitet, så er det viktig med konstante filleregenskaper på tilslaget. Det er frem til gode testmetoder (bitumentall og vendskak) som er til nytte for å vurdere finstoffets betydning i asfaltmørtelen.



3.3 Betongformål, bunden bruk

3.3.1 Viktige forskningstema

Det ble i [7] pekt på at effekten kortreiste, knuste tilslagsmaterialer kan ha på vann- og sementbehovet bør undersøkes nærmere, siden høyt forbruk er negativt både ut fra et økonomisk og miljømessig ståsted. For eksempel vil en 20% økning i sementforbruket pr. 1 m³ betong, øke CO₂-utslippet med ca. 12-15 kg, det vil si rundt 5 %.

Nærmere studier av eventuelle forskjeller på betongegenskapene dersom tilslaget er fremskaffet fra TBM eller boring og sprengning (Kap. 2.3) er også pekt på som viktig, og som det har vært arbeidet med i *Kortreist stein*.

3.3.2 Forskningsresultater MSc – Kortreist stein i sprøytebetong

Som en del av Kortreist stein ble det i 2017 gjennomført en Master-oppgave av Judy Long ved NTNU, som har sett på bruk av TBM-masser i sprøytebetong [30, 31,32]. Veiledere har vært Klaartje De Weerdts og Inge Hoff, NTNU, Kari Aarstad, SINTEF, Øyvind Bjøntegaard, SVV og Bjørn Ove Lurfald, Veidekke/NTNU.

I dette arbeidet ble det gjort studier basert på rene og blandinger av naturlig sand og knust TBM tunnelmasse, og via knusetilpassing og vasking ble det foretatt reseptproporsjonering, og materialegenskaper sett opp mot ferskbetongegenskaper ble studert.

Det ble gjennomført laboratorieforsøk på fraksjon 0/8 mm og 4 /8 mm. Ved forsøkende ble det laget 4 blandinger ved bruk av følgende utgangsmaterialer, se Figur 23:

- Årdal natursand.
- B&S -materiale fra Nye Ulriken tunnel, som ble knust i 3 trinn (kjetfteknuser-spindelknuser – konknuser) og vasket.
- TBM-materiale fra Follobanen, som ble kjørt gjennom en konknuser og en kubisator (Vertical Shaft Impact -VSI).

Sandfraksjonen ble karakterisert (gradering, finstoffinnhold, partikkelform, innhold av glimmer), og det ble laget betongblandinger basert på standard resept. Blandingene ble sammenliknet på grunnlag av rheologiske egenskaper til ferskbetong-blandingene (synkmål, synkutbredelsesmål, flyteskjærspenninger og plastisk viskositet), se Figur 24.

Blanding	Mengde Superplastiserende tilsetningsstoff b)	Tilslagskombinasjon
MR100 a)	0,8 % av bindemiddelvekten	100% MR1
MU50		50% MR1 50% MF
MF50		50% MR1 45% MU1 5% MR2 c)
MR100		100% MU1

Figur 23: Anvendte blandinger for studier av ulike tilslagstyper i sprøytebetong. Hentet fra [31]. MR1+2 (Årdal natursand), MF (TBM-masse fra Follobanen), MU1 (B&S-masse fra Nye Ulriken).



	100% Årdal 0-8 (Referanse)	50% Follobanen 50% Årdal	50% Ulriken Vasket 50% Årdal
Densitet (kg/m ³)	2210	2209	2243
Luftinnhold (%)	6,4	7,7	7,5
Superplastiserende tilsetningsstoff (% av sementvekt)	0,62	0,72	0,63
Synk (mm)	225	230	220
Utbredelse (mm)	410	390	380
Trykkfasthet 28 døgn (MPa)	66	63	68

Figur 24: Målte ferskbetongegenskaper for sprøytebetong av ulike steinmaterialer. Hentet fra [31].

Bruk av masser fra boring og sprengning og TBM-masser i sprøytebetong er mulig

Resultatene av MSc-arbeidet til Judy Long [30, 31, 32] peker i retning av at utnyttelse av knust overskuddsmasse (boring og sprengning/ TBM) fra tunnel til bruk i sprøytebetong er mulig.

Det ble konkludert som følger:

- Det var ved dette studiet realistisk å erstatte natursand med opptil 50% knust sand, også selv ved høyt innhold av kantete korn (men ikke ubegrenset), fordi dette ikke er kritisk for en sprøytebetong med høyt matriksvolum (væske).
- En forutsetning for å få dette til er at massen ikke har et for høyt glimmer- og finstoffinnhold i forhold til betongstabilitet og -reologi.
- 100% utnyttelse av knust sand til sprøytebetong forutsetter tiltak for å bedre kornform.



4 Optimalisering – kvalitetskontroll og forbedrede undersøkelser

4.1 Test-/bruksfraksjon – lab-/produksjonsknust – material-/funksjonstesting

Kortreist stein har i flere arbeider referert i foreliggende rapport, fokusert på den mulige usikkerheten som ligger i at de standard styrke- og slitasjetestene som tilslagsmaterialer til ubunden og bunden bruk blir vurdert etter, foregår på fraksjoner som enten utgjør en liten andel, eller helt faller utenfor, de fraksjonene som anvendes i praksis. Testmetodene som benyttes i dag utføres på ”smale fraksjoner” sett i forhold til den totale massesammensetningen som benyttes i en vegkonstruksjon. I tillegg, da spesielt for asfaltdekker, består massene av flere ulike tilslagsmaterialer med forskjellige korngraderinger, mens testmetodene som regel kun utføres på det groveste materialet i blandingen [34]. Et dilemma i forhold egnethet generelt for tilslagsmaterialer, og spesielt i forhold til optimal massebalanse og utnyttelse av kortreiste overskuddsmasser, er hvorvidt steinmaterialer med foreliggende testregime feilaktig blir vurdert som uegnet med dagens testmetodikk.

Kvalitetskravene til masser for ubunden og bunden bruk gjelder for materiale som er produsert i knuse-/sikteverk. Undersøkelser gjengitt i foreliggende rapport viser at prøver tatt fra produksjon kan gi andre analyseresultater i forhold til prøver som er knust i laboratorium. Det pekes i [31] på at mekanisk testing av prøver som er knust under kontrollerte forhold i laboratoriet gir en mer nøytral vurdering av materialets iboende egenskaper enn prøver tatt fra produksjonen hvor forskjellen i produksjonsutstyr og antall knuse- og siktetrinn kan gi betydelige avvik. På samme tid vil produksjonsknust materiale ligge nærmere det man i praksis vil nyttiggjøre.

Kortreist stein har ikke hatt hovedfokus på å finne løsninger på disse dilemmaene, men PhD-arbeidet til Marit Fladvad, og der større grad av funksjonstesting er gjennomført, gir gode indikasjoner som det forventes kan resultere i anbefalinger med hensyn til optimalisering av kvalitetskontroll og -vurdering av tilslagsmaterialer, inklusive kortreiste alternativer.

4.2 Forslag til mer pålitelig bedømming av overskuddsmasser fra tunnelanlegg

I Kortreist stein er det gjennomført diskusjoner rundt hvilke forundersøkelser som bør gjennomføres med tanke på bruk av overskuddsmasser. I et notat [35] belyses hvordan forundersøkelser knyttet til bruk av overskuddsmasser utføres i dag samt hvilke usikkerheter, men også muligheter, det ligger i både testmetoder og -resultater. Det er også gjort en spesifikk vurdering av bruk av petrografiske analyser [36]. Råd og funn fra [35] og [36] kan oppsummeres som beskrevet i det videre.



Forslag til mer pålitelig bedømming av overskuddsmasser

- Los Angeles-verdi bør testes på fraksjoner som er lik steinstørrelsen i tiltenkt anvendelse.
 - Los Angeles testes på forskjellige fraksjoner avhengig om materialet er tiltenkt brukt som jernbanepukk (LA_{RB}; 31,5/50 mm) eller til vegformål (LA 0/14 mm). Førstnevnte gir gjerne bedre (lavere) LA-verdi enn sistnevnte eksempelvis for bergarter med lav skifrighet.
- Måling av Los Angeles-verdi på våte prøver gir et mer realistisk bilde av bergartens styrke enn ved tørr prøving.
 - Felsiske bergarter (det vil si bergarter med høyt innhold av kvarts og feltspat) har ved prøving vist styrkeøkning (lavere LA-verdi) ved våt testing, mens bergarter med høyt innhold av mafiske mineraler (amfibol) har ved prøving vist en betydelig reduksjon i styrken (høyere LA-verdi).
 - Våt-testing i laboratoriet er mer arbeidskrevende enn testing på tørt materiale.
- Petrografiske undersøkelser fungerer meget godt som støtteverktøy til arbeidet med å vurdere en bergarts kvalitetsegenskaper. Undersøkelser i mikroskop kan i mange tilfeller også være med på å forklare årsaker til og underbygge oppnådde laboratorieresultater for bergartsprøver.
 - Samlet sett er undersøkelser i mikroskop et meget godt, kvalitativt verktøy. Ved bruk av ulike typer slip, for eksempel å supplere med polerte tynnslip for opake faser/kismineraler og kombinasjons-slip med fluoriserende epoksy som får fram blant annet mikroriss og tegn på forvitring, kan man få svar eller indikasjoner på en rekke materialtekniske og bestandighetsmessige forhold.
- Steinmaterialenes potensiale for finstoffproduksjon bør kontrolleres.
 - Finstoffproduksjon under gjentagende belastning på en veg eller en jernbane er ugunstig, både med tanke på å redusere indre friksjon ved fuktpåkjenning samt telehiv.
 - Ulike bergarter kan produsere høyst ulike mengder med finstoff ved knusing.
 - Det er ingen sammenheng mellom målt LA-verdi og finstoffproduksjon.
 - Videre undersøkelser av disse forholdene anbefales.
- Prøvetaking for analyse av egnethet av overskuddsmasser bør skje under dagfjellsonen.
 - Dagfjellsonen kan være forvitret og skjule en underliggende og sterkere bergmasse.
 - Fallprøven eller Fallhammermetoden, som er trukket tilbake, bør få en renessanse. Den kan påvise om en steinprøve stammer fra forvitret bergmasse med tilhørende redusert mekanisk styrke, gjennom at man sammenlikner sprøhetstallet fra første og andre gangs (omslag) knusing. Hvis styrkeforbedringen ved annen gangs knusing er merkbar, er dette et varsel om at underliggende berg vil ha en bedre mekanisk styrke enn prøven fra dagfjellsonen.
 - Pukkverk som har utfordringer med å få steinmaterialet sitt godkjent på grunn av for høye Los Angeles- verdier bør undersøke om de driver i dagfjellsonen.
 - Ved forundersøkelser til tunnelanlegg der prøvetaking nødvendigvis må foregå i tilgjengelige vegskjæringer eller på bergblotninger, vil styrketesting av overflateprøver ved hjelp av Los Angeles-metoden kunne undervurdere den framtidige overskuddsmassens mekaniske styrke. Testing med fallprøvemethoden anbefales.
- Det kan ligge mulige utfordringer forbundet med blanding av ulike kvaliteter overskuddsmasser.
 - Tilsetting av en sterk bergart gjør ikke nødvendigvis et svakt steinmateriale sterkere.
 - Det er fra prøving indikasjoner på at bergarter med sammenliknbar densitet og/eller stivhet (E-modul), men med ulik styrke definert ved LA-tallet, kan ha positiv effekt av blanding. Det er fra prøving videre indikert at når bergartsdensitetene til to bergarter er betydelig forskjellig, kan resultatet (styrken målt ved LA-tall) bli ganske mye dårligere enn den dårligste av bergartene. Videre undersøkelser av disse forholdene anbefales.



4.3 Forslag til videre forskning

4.3.1 Digitaliserte og samordnede forundersøkelser

Prosjektet Kortreist stein har lagt et solid grunnlag for økt bruk av overskuddsmasser fra tunneler og lignende. Prosjektet har utarbeidet verktøy som vil bidra til større sikkerhet rundt anvendelse, blant annet en geologisk veileder som gir råd om hvordan geologiske forundersøkelser bør utføres for å ha nok kunnskap om forventet bergmassekvalitet før tunneldrivingen starter. I prosjektets slutfase erkjennes et potensiale for enda mer og riktigere utnyttelse, blant annet gjennom bedre koordinering, samkjøring og tolkning av geo-faglig og miljørettet informasjon.

Det erkjennes at svært mange disputer og rettsaker tilknyttet utbyggings- og tunnelprosjekter kan tilbakeføres til uenigheter eller usikkerhet, knyttet til geologiske forhold. Forsinkelser eller kostnadssprekk relatert til uventede bergforhold under driving koster årlig det norske samfunnet store pengebeløp.

Det erkjennes videre at dagens forundersøkelser i forbindelse med veg- og tunnelanlegg i all hovedsak rettes inn mot selve drivingen (tid og kostnad) av tunnelen, veganlegget eller liknende, og ikke mot utnyttelse. Samtidig kan den utviklingen som skjer innenfor tunneldriving når det gjelder automatisering, digitalisering og maskinlæring både gi økt forutsigbarhet og effektivisering av selve driveprosessen, og nyttiggjøres til å få forbedret oversikt over materialkvalitet og -variasjoner.

Fra ethvert utbyggingsprosjekt samles det inn et omfattende sett med geologiske data i flere trinn, men lite av dette samkjøres og analyseres utover selve drivingen. Det foreligger et stort potensial for en bedre samkjøring. Det anses sannsynlig at flere av de parametere som anvendes for tolkning av selve tunneldrivingen, også kan anvendes til å si noe om materialkvaliteten og potensielle bruksområder.

Flere standardtester for blant annet borbarhet bør i større grad også kunne brukes – og korreleres for både å finne ut "hvor hardt berget er å bore i" og hvor egnet berget er til ulike formål. Data og undersøkelser utført under selve driveprosessen, eksempelvis automatiserte målinger under tunneldriving (MWD) og materialanalyser utført under ulike stadier av tunneldrivingen, kan kombineres og anvendes til bedre forståelse også av anvendelsesmuligheter av den massen man driver på.

Dette ligger til rette for et videre forskningsarbeid, der målet bør være å etablere et kostnadseffektivt dokumentasjons- og sorteringssystem for bruk av lokale masser gjennom å samordne et bredt sett av undersøkelser og datagenerering og -sammenstilling som gjennomføres i all infrastrukturbygging i dag, både før og under driving [37].

4.3.2 Forbedrede metoder for identifisering og kvantifisering av magnetkis i tunnelmasser

Korreist stein har ikke arbeidet spesifikt med magnetkisproblematikk rettet mot betong. Dette er et felt som krever videre forskningsinnsats.

Magnetkis og andre sulfidmineraler forekommer i mange ulike bergarter. Selv svært små mengder magnetkis vil kunne gi alvorlige skader i betong. Dette er kjent fra blant annet Canada og USA hvor magnetkis har forårsaket omfattende problemer. Problemstillingen har blitt aktualisert i Norge gjennom Follobane-prosjektet, hvor planlagt bruk av tunnelmasse til betong måtte kanselleres på grunn av innhold av magnetkis som overskred tillatte grenseverdier [38].



Det kjent i Norge at betongkonstruksjoner bygget i alunskiferholdig grunn kan få kraftige sulfidangrep. I Norge har det imidlertid ikke vært rapportert om skader som kan knyttes direkte til sulfidmineraler i betongtilslaget.

Men med overgang fra naturgrus til knust tilslag, og ikke minst ønsket om å bruke tunnelmasser, vil potensialet for skader kunne øke. Det trengs økt kunnskap om:

- Analysemetoder og prosedyrer for å bestemme type og mengde av ulike sulfidmineraler.
- Kriterier og grenseverdier for de ulike sulfidmineraler.
- Kunnskap om mulige preventive tiltak i form av sementer/bindemidler samt effekt av eksponeringsbetingelser.

Det er initiert et innledende arbeid for et større forskningsprosjekt der målet er å etablere ny kunnskap som vil kunne gi mer bærekraftig utnyttelse av tilslagsressurser i Norge, inklusive tunnelmasser, og samtidig gi økt sikkerhet mot fremtidige skader på betongkonstruksjoner.



5 Referanser

- [1] Danielsen, S.W., Wigum, B.J., Cepuritis, R.: (2014): Kortreist stein løser knipe. Kronikk, Dagens Næringsliv, 11. november 2014.
- [2] <https://www.dirmin.no/harde-fakta-om-mineralnaeringen-mineralstatistikk-2018>
- [3] Erichsen, E. (2019): Transport av byggeråstoffer og miljøfotavtrykk. NGU RAPPORT 2018.025 (Åpen). ISSN: 0800-3416 (trykt), ISSN: 2387-3515 (online).
- [4] NFF Tunnelstatistikk 2014 (<http://nff.no/wp-content/uploads/2015/07/Tunnelstatistikk-2014.pdf>)
- [5] Aarstad, K. (ed): (2017, juli): Local use of rock materials – production and utilization. State-of-the-art. Kortreist stein-rapport.
- [5] Byggeindustrien 2017-06-27.
- [7] Aarstad m.fl. (2016) Lærebok Vegteknologi. Statens vegvesens rapporter nr. 626,
- [8] BaneNor. (2019). Bane NORs prosjekteringsveileder. Bane NOR SF Infrastruktur ved Teknisk avdeling. Hentet fra <https://proing.opm.jbv.no/wiki/start>.
- [9] Standard Norge, «NS-EN 13450:2002+NA:2009 Tilslag for jernbaneballast railway ballast,» 2002.
- [10] Bane NOR, «Teknisk regelverk, Underbygning,» 2019.
- [11] Håndbok R762 Prosesskode 2 Standard beskrivelse for bruer og kaier. Hovedprosess 8. Vegdirektoratet 2018.
- [12] NB 21:2017 "Bestendig betong med alkalireaktivt tilslag". Norsk Betongforening. Publikasjon NB 21: desember 2017 «Bestendig betong med alkalireaktivt tilslag» trer i kraft umiddelbart og er tilgjengelig i nettbutikken.
- [13] NB 07:2019: "Miljøegenskaper til betong - Avfall – Emisjoner – Stråling – Utlekking. Norsk Betongforening.
- [14] Byggeindustrien, 11.12.2015. <http://www.bygg.no/article/1258443>.
- [15] Anlegg & Transport 11. 09 2019. <https://www.at.no/artikler/oslo-kommune-skal-drive-19-km-tunnel-med-tbm/473763>.
- [16] Bellopede, R. and Marini, P. (2011). Aggregates from tunnel muck treatments. Properties and uses. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 47, 259-266.
- [17] Byggeindustrien 01.09.2019 <http://www.bygg.no/article/1405168>.
- [18] Onnela, T. & Danielsen, S.W. (2019, februar): Mobile processing and use of short-transported construction aggregates, challenges and opportunities.
- [19] Snillsberg, P. og Tenold, H. (2019): Regionale og lokale planprosesser, State-of-the-art-rapport. Kortreist Stein rapport.



- [20] Fladvad, M., Aurstad, J. Wigum, B.J. (2017): Comparison of practice for aggregate use in road construction—results from an international survey. Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields – Loizos et al. (Eds). Page 563-570. Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-29595-7.
- [21] Diego M. Barbieri (2019): "Use of Local Materials for road Construction. Innovative Stabilization Techniques for Crushed Rocks". NTNU, 2019:29.
- [22] Scibilia, E., Fladvad, M., Barbieri, D.M., Rieksts, K., Loranger, B. (2018) Forskning på bruk av lokale steinmaterialer. Stein i vei 2018.
- [23] NS 3469:2019: Grove steinmaterialer til bruk i bygge- og anleggsarbeid.
- [24] Fladvad, M., Ulvik, A. (in press): Large-size aggregates for road construction – a review of standard specifications and test methods. Bulletin of Engineering Geology and the Environment.
- [25] Fladvad M. (2019): Utilisation challenges for local large-size aggregates in highway construction. Young Trondhjemites 2019. NGU Report 2019.011. ISSN 0800-3416 (print)/2387-3515 (online).
- [26] Fladvad, M.: (2016): Utilization of Unbound Aggregates for road Construction. Mineralproduksjon 7, 2016, B9-B15. ISSN 1893-1170 (online utgave)/ISSN 1893-1057 (trykt utgave)
- [27] Luke, N.A.F., (2017): Kornform og mekaniske egenskaper for et granodiorittmateriale etter testkusing og laboratoriekusing. MSc. i Bygg- og miljøteknikk, NTNU, Institutt for bygg og miljøteknikk, 133 sider.
- [28] <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/pagaende-fou-program/vegdim>
- [29] Robertsen, Jonas Olai (2018, januar): Bruk av svakt tilslag i deler av graderingen i varmblandede asfaltdekker. MSc-oppgave, NTNU.
- [30] Mathisen, L., U. (2019): Innlegg ved arbeidsmøte mai 2019 i Kortreist stein.
- [31] Luong, J.Y.W, NTNU (2017, juni): Utilization of Rock Materials from Tunneling as Aggregates for Sprayed Concrete. MSc-oppgave, NTNU.
- [32] Luong, J.Y.W, NTNU (2016, des.): Crushed Aggregates in Sprayed Concrete. Specialization Project in Concrete Technology.
- [33] Luong, Y. & Aarstad, K. (2017, august): Excavated rock materials from tunnels for sprayed concrete. Proceedings of the XXIII NCR Symposium, Aalborg, Denmark.
- [34] Erichsen, E. (2013): Vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer. Varige vegger 2011-2014. Statens vegvesen rapporter. Nr. 121.
- [35] Nålsund, R. (2019): Hvordan oppnå en mer pålitelig bedømming av bergarters mekaniske styrke ved vurdering av overskuddsmasser fra tunnelanlegg? Notat Kortreist stein
- [36] Nålsund, R. og Haugen. M. (2019): Bruk av tynnslipanalyser sett opp mot andre undersøkelser av steinmaterialer. Notat Kortreist stein.



[37] Alnæs, L. (2019): Videreføring av Kortreist Stein. Forslag til prosjekt – Internt notat.

[38] Wigum, B. (2019): Videreføring av Kortreist Stein. Forslag til prosjekt – Internt notat.



Tabell I: Forenklet oversikt over materialkrav til knuste produkter.

Produkttype	Flisighets- indeks (FI)	Los Angeles- verdi (LA)	Micro- Deval- koeffisient	Kule- mølle- verdi (A_N) / Nordisk	Knusnings- grad (C_{xyy})	Annet
Jernbaneformål						
Ballast (-pukk)	-	≤ 20 $\leq 24^*$	≤ 15	-	-	* For strekninger med hastighet < 160 km/h og årlig trafikkbelastning < 5 MGT tillates LA 24
Forsterkningslag	-	-	-	-	-	
Frostsikringslag	-	-	-	-	-	
Veiformål						
Grusdekker/veigrus	≤ 30	≤ 35	≤ 15	≤ 19	$C_{30/60}$	
Bærelag	≤ 35	≤ 35	≤ 15	-	$C_{50/30}$	Krav til mengde finstoff $< 0,063$ mm og andel overstørrelser
Forsterkningslag	-	≤ 35	≤ 15	(≤ 19)	-	For adkomstveier, P-plasser og G/S-veger kan materialer med LA ≤ 40 brukes Krav til mengde finstoff $< 0,063$ mm og andel overstørrelser
Frostsikringslag	-	-	-	-	-	Fraksjon < 90 mm $\geq 30\%$ Fraksjon 0,063 mm 2 %-15%
Betongformål			Spesielle krav			
Konstruksjons- betong	≤ 35 $\leq 20^*$ [4]	≤ 35 – B45 ≤ 30 Fra B55	<i>Korndensitet:</i> 2000 – 3000 kg/m ³ / 2300 – 2500 kg/m ³ (SVV setter snever grense). Krav til max mengde finstoff			
			<i>Vannabsorpsjon:</i> $v/ < 8$ mm: max 1,5 vekt% $v/ > 8$ mm: max 1,2 vekt%			
			<i>Frostmotstandsevne:</i> Ok ved vannabs. ≤ 1 vekt%			
			<i>Alkali-silika-reaktivitet:</i> Reaktive bergarter krever spesiell bindemiddel-andel (flyveaske, slagg, mikrosilika)			
			<i>Klorider:</i> Må deklarerer. $< 0,01$ % [4]			
			<i>Totalt Svovel:</i> $< 0,1$ % (ved tilstedeværelse av magnetkis)			
<i>Fritt glimmer:</i> negativt for betong pga økt vannbehov og redusert trykkfasthet. $v/ 0,125/0,250$ mm: max. 20% glimmer						
Sprøytebetong	-	-	-	-	-	Krav til gradering (0/8mm) Max. 10 vekt% større enn 8 mm
Asfaltformål						
Toppdekke – tilslag	≤ 25 til ≤ 35	≤ 15 til ≤ 40	-	≤ 14 til ≤ 19	-	ÅDT < 5000
	≤ 25	≤ 15 til ≤ 25	-	≤ 7 til ≤ 10	-	ÅDT > 5000
Bærelag med Ag	≤ 35	≤ 30	≤ 15	≤ 19	$C_{30/60}$	ÅDT < 5000
	≤ 30	≤ 30	≤ 15	≤ 19	$C_{30/60}$	ÅDT > 5000
Bærelag med Ap	≤ 40	≤ 30	≤ 15	≤ 19	$C_{30/60}$	ÅDT < 5000
	≤ 35	≤ 30	≤ 15	≤ 19	$C_{30/60}$	ÅDT > 5000
Andre formål						
Strøsand, grøfte- /hagesingel, Fyll/dreneringsmasse	-	-	-	-		
Maskinkult	-	-	-	-		
Jordforbedring	-	-	-	-		

Tabell II: Oversikt over de viktigste egenskapene ved vurdering av bruksegenskaper for byggeråstoff. Kilde SINTEF og NGU.

Testmetode	Definisjon	Hensikt/bestemmelse av egenskap
Los Angeles (NS-EN 1097-2:2010)	En prøves Los Angeles-verdi er dens prosentvise gjennomgang av materiale på 1,6 mm-sikten etter avsluttet tromling (tørr). En lav verdi indikerer et sterkt materiale.	Testen er ment å simulere den påkjenning et tilslag utsettes for i en veg. Metoden tallfester et tilslags motstandsevne mot nedknusning ved at det tromles tørt med stålkuler. Mengde nedknust materiale gir et uttrykk for bestandigheten (Statens Vegvesen, 2014).
Micro Deval (NS-EN 1097-1:2011)	En prøves Micro-Deval-koeffisient er dens prosentvise gjennomgang av materiale mindre enn 1,6 mm etter tromling (våt). En lav verdi indikerer et slitesterkt materiale.	Testen er ment å simulere den slitasje et grovt tilslag utsettes for i et mekanisk stabilisert bære- og forsterkningslag. Metoden tallfester et tilslags motstandsevne mot abrasiv slitasje ved at det tromles fuktig med stålkuler (Statens Vegvesen, 2014).
Kulemåle (NS-EN 1097-9:2014)	En prøves kulemåleverdi er dens prosentvise gjennomgang av materiale mindre enn 2 mm etter tromling (fuktig). En lav verdi indikerer et slitesterkt materiale	Testen er ment å simulere den slitasje et tilslag utsettes for ved piggdekkslitasje. Metoden tallfester et tilslags motstandsevne mot abrasiv slitasje ved at det tromles fuktig med stålkuler (Statens Vegvesen, 2014)
Densitet (NS-EN 1097-6:2013)	Partikkel densitet angir forholdet mellom masse og volum (f.eks. gram/cm ³).	Metoden inngår blant annet som en del av kulemålemetoden.
Petrografisk analyse	Bergartsmaterialet vurderes opp mot bergartslisten i [10] med hensyn til alkalireaktivitet. Denne listen angir hvilke bergarter som kan være alkalireaktive, tvilstilfeller og ikke-alkalireaktive	Hensikten med en petrografisk analyse er å bestemme bergartstype samt vurdere bergartens alkalireaktivitet. I en alkalireaktiv bergart kan finkornede/deformerte kvartsmineraler reagere med alkalier i sementen og danne svellende gel. Gelen vil ved vannopptak medføre ekspansjon og opprissing av betongen. Dersom en bergart er alkalireaktiv kan den fremdeles knuses og benyttes som tilslag i betong, men det bør da tas forholdsregler med hensyn til sammensetning av betongen.
Bestemmelse av totalt svovelinnhold (NS-EN 1744-1:2009, del 11)	Dersom totalt svovelinnhold overskrider 0,1 % må det undersøkes hvilken kistype som er representert. Dette gjøres ved hjelp av DTA-analyse. I henhold til NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 er grenseverdien for totalt svovelinnhold 0,1 % hvis magnetkis er tilstede, og 1 % hvis bare svovelkis er representert.	I Norge er det meste av elementet svovel (S) i berggrunnen knyttet til sulfidmineraler som svovelkis og magnetkis. Disse mineralene er fordelt i berggrunnen, i små eller større mengder. Svovelkis er mer stabil enn magnetkis, og problemer med svovelkis er vanligvis knyttet til rustflekker på betongoverflater. Magnetkis er et svært ustabil mineral, som raskt reagerer med vann og oksygen og danner sulfat. Sulfationer reagerer med komponenter i sementpastaen og danner gips og ettringitt. Ettringitt er et svellende mineral som absorberer vann, noe som fører til volumøkning av betongen. Mineralet taumasitt kan også dannes, og dannelsen av dette mineralet fører til disintegrering av betongen.
Flisighetsindeks (NS-EN 933-3:2012)	Prøvingen består av to sikteoperasjoner, først på kvadratsikt (di/Di) deretter på stavsikt (Di/2). Flisighetsindeksen beregnes som total masse som passerer stavsiktet, uttrykt i prosent av prøvens totale masse.	Det stilles krav til flisighet til et materiale som skal anvendes i ulike deler av en vegkonstruksjon. For flisig materiale er ugunstig for stabiliteten. Tilsvarende er det ikke ønskelig med flisig materiale i betong- og mørtelprodukter.



KORTREIST STEIN



Statens vegvesen



HORDALAND
FYLKESKOMMUNE



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
- NGU -



BERGEN
KOMMUNE

Multiconsult



asplan viak

BANE NOR

NTNU



SINTEF

 **Forskningsrådet**

Støttet av Norges forskningsråd

