

Rapport

**Uavhengig vurdering av tilbakefylling og
anvendelse av avgangsmasser fra planlagt
mineralutvinning i Engebøfjellet**

Forfatter(e):

Mario Morales, Lisbeth Alnæs

Rapportnummer:

2023:00754 - Åpen

Oppdragsgivere:

Naturvernforbundet, Natur og Ungdom

Rapport

Uavhengig vurdering av tilbakefylling og anvendelse av avgangsmasser fra planlagt mineralutvinning i Engebøfjellet

EMNEORD

Gruve
Bergverk
Utvinning
Avgang
Tilbakefylling
Overskuddsmasser

VERSJON

1.0

DATO

2023-08-09

FORFATTER(E)

Mario Morales, Lisbeth Alnæs

OPPDRAGSGIVER(E)

Naturvernforbundet, Natur og Ungdom

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Ina Ytterstad Bjørnrå

PROSJEKTNUMMER

1020296171

ANTALL SIDER

35 + 3 Vedlegg

SAMMENDRAG

SINTEF AS, representert ved forskningsinstituttet SINTEF Community, har gjennomført en uavhengig vurdering av spørsmål stilt av SINTEFs oppdragsgiver tilknyttet tilbakefylling og anvendelse av avgangsmasser fra planlagt mineralutvinning av Nordic Rutile AS i Engebøfjellet, Vestland fylke.

SINTEFs vurdering er basert på et utvalg dokumenter og rapporter som er gjort tilgjengelig fra oppdragsgiver, og oppdraget har bestått i å gå gjennom dokumenter gitt i referanseliste, gjennomføre møter, analysere spørsmål basert på SINTEFs kunnskap og erfaring og fremsette SINTEFs funn, kommentarer og konklusjoner i foreliggende, åpne SINTEF-rapport. SINTEFs arbeid er gjennomført av en intern prosjektgruppe med forskere fra SINTEF Community.

Vurderinger og konklusjoner er beskrevet i separate kapitler og et innledende kapittel gjengir konklusjonene i kortform.

UTARBEIDET AV

Mario Morales, Lisbeth Alnæs

SIGNATUR



KONTROLLERT AV

Eivind Grøv

SIGNATUR



GODKJENT AV

Sindre Log

SIGNATUR


Sindre Log (avg 9, 2023 15:24 GMT+2)

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1.0	2023-08-09	Signert rapport sendt oppdragsgiver

Innholdsfortegnelse

Oppsummering.....	4
1 SINTEFs oppdrag.....	6
1.1 Mandat.....	6
1.2 Metode.....	6
1.3 Bakgrunn, forutsetninger og begrensninger.....	7
1.3.1 Bakgrunn – Kort oppsummering av status for søksmål og tillatelser.....	7
1.3.2 Forutsetninger og begrensninger	8
2 Tilbakefylling av avgang ved underjordsdrift	9
2.1 Teoretisk bakgrunn	10
2.1.1 Tilbakefylling.....	10
2.1.2 Uttaksmetode	12
2.2 SINTEFs vurdering av spørsmål stilt mandat.....	13
2.2.1 Alternative løsninger til "Paste back fill"	13
2.2.2 Alternative løsninger for tilbakefylling av avgang	14
2.2.3 Tilbakefyllingsmengder av avgang.....	15
2.2.4 Malmutbytte fra pilarer.....	16
3 Alternativ anvendelse av restmasser – gråberg og avgang	18
3.1 Tonnasjer	19
3.2 Materialer og materialkvaliteter.....	19
3.2.1 Gråberg.....	19
3.2.2 Avgang	20
3.3 Vurdering av alternative anvendelser og markedsmuligheter for restmasser.....	20
3.3.1 Gråberg.....	20
3.3.2 Avgang	27
3.3.2.1 Nye markedsmuligheter for avgang – Noen betraktninger.....	28
4 Konklusjon	32
5 Kilder og referanser	34
5.1 Kildeliste over rapporter og dokumenter for SINTEFs oppdrag.....	34
5.2 Andre referanser	34

BILAG/VEDLEGG

Vedlegg 1 Tonnasjemengder for malm, avgang og gråberg

Vedlegg 2 Restmasser – Materialer og materialkvaliteter

Vedlegg 3 Restmasser – Mulige bruksområder

Oppsummering

SINTEF AS, representert ved forskningsinstituttet SINTEF Community, har gjennomført en uavhengig vurdering av spørsmål stilt av SINTEFs oppdragsgivere tilknyttet tilbakefylling og anvendelse av avgangsmasser fra planlagt mineralutvinning av Nordic Rutile AS i Engebøfjellet, Vestland fylke.

SINTEFs vurdering er basert på et utvalg dokumenter og rapporter som er gjort tilgjengelig fra oppdragsgiver. Med forbehold gitt i rapportens kapittel 1.3.2, er SINTEFs hovedkommentarer og innspill som følger:

Tilbakefylling av avgang

SINTEF vurderer at sementert paste fill (CPB) er en mulig teknisk løsning for tilbakefylling som ikke er avhengig av om utvinningen under jord skjer nedenfra eller ovenfra.

SINTEF vurderer at ved en tilbakefylling av jordvåt avgangsmasse uten tilførsel av sement, paste fill (PF), og en underjordsdrift som starter fra topp av forekomsten og utvikles nedover, så må pilarene i de nedre nivåene være større enn ovenforliggende pilarer for å håndtere den økende belastningen mot dypet, og for å ta hensyn til den manglende kapasiteten i trykkstyrke som tilbakefylling med avgangsmasser har. Dette kan etter SINTEFs vurdering føre til strosserom og pilarstørrelser som ikke gjør utvinningen teknisk gjennomførbart.

SINTEF vurderer at det er teknisk mulig å implementere en løsning med tilbakefylling med PF, og en underjordsdrift som starter nedenfra og går oppover i forekomsten. Utvinningsgraden vil være den samme som alternativet med ikke å bruke tilbakefylling i det hele tatt, dvs. at man ikke kan fjerne pilarene og slik få økt malmutvinning.

SINTEF vurderer at den foreslåtte metoden for tilbakefylling ved Engebøfjellet, med å pumpe våt avgangsmasse opp til tilbakefyllingsnivået for avvanning, tilsetning av sement og deretter pumping ned i gruverom, kan være en mulig løsning. Ved å pumpe opp avgangsmassen i en suspensjon med vann opp til tilbakefyllingsnivået, kan massene flyte gjennom rørledninger eller kanaler dit den skal anvendes. SINTEF vurderer imidlertid at det også er andre mulige tilnærminger som kan vurderes:

- Pumping av pasta, dvs. avgang med høyt tørrstoffinnhold.
- Bruk av stabilisatorer: I stedet for sement kan alternative stabilisatorer eller bindemidler vurderes for å forbedre styrken og stabiliteten til tilbakefyllingen. Eklogittavgangen i seg selv kan kanskje være egnet som sementerstatte, se under, men det krever en betydelig forskningsinnsats. Den resulterende fyllingen må ha mekaniske egenskaper egnet for det driftsopplegget som planlegges for gruva og den kapasiteten som denne støtten skal bidra med. Slik evaluering krever laboratorietesting og numerisk modellering og ligger utenfor rammen av SINTEFs mandat her.
- Et annet, alternativt konsept for underjordsdrift vil være med tilgang til malmforekomsten ved havnivå og bruk av adkomsttunnel for biltransport av avgang og tilbakefylling.

En grundig undersøkelse av de lokale, geologiske forholdene kan bidra til å identifisere mulige tilbakefyllingsmetoder og optimalisere driftsopplegget spesifikt for de stedlige og lokale forholdene i LHOS-gruven. Dette kan inkludere vurdering av grunnvannsnivå, konsistensen av avgangsmassen, bergartsegenskaper og andre relevante faktorer. Det vil kreve en grundig teknisk og økonomisk analyse for å vurdere de forskjellige tilbakefyllingsmetodene og velge den mest hensiktsmessige og kostnadseffektive løsningen for virksomheten ved Engebøfjellet.

Tilbakefyllingsmengder av avgang

Ved tilbakefylling med PF kan rundt 51% (11,9 Mt) avgang fylles tilbake. Tilbakefylling med PF nødvendigjør en tilpasset gruvesekvens. Ved tilbakefylling med CPB, kan rundt 46% (13,1 Mt) av avgangen tilbakefylles. Økonomiske implikasjoner er ikke inkludert i denne vurderingen.

Malmutbytte

Bruk av paste fill (PF) som tilbakefyllingsmateriale kan ha begrensninger når det gjelder utvinning av malm på grunn av lavere styrke og stabilitet sammenlignet med sementert back fill (CPB). Utvinning uten tilbakefylling og utvinning med PF kan likestilles, med en total utvinning på 27,4 millioner tonn. CPB-alternativet tillater utvinning av 33,3 millioner tonn malm, dvs. en forskjell på 5,9 millioner tonn. Grundige, tekniske studier må gjennomføres for å vurdere den optimale mengden malm som kan utvinnes basert på tilbakefyllingsmetoden som blir valgt. Basert på dette må et passende driftsopplegg og sekvens for malmuttaket vurderes for å optimalisere utvinningen av malm ved bruk av paste fill (PF).

Anvendelse av restmasser – gråberg og avgang:

Basert på gitte opplysninger anslår SINTEF at utvinningen ved Engebøfjellet de 15 første årene vil generere gjennomsnittlig rundt 1,2 [Mt] eklogittavgang pr. år og rundt 1,3 millioner tonn gråberg pr. år, før skissert igangsetting av gruve drift etter dagbruksdrift.

Gråberget domineres av leuco-eklogitt med høy egenvekt. SINTEF forventer gode, mekaniske og bestandighets-egenskaper, og at knust gråberg potensielt vil kunne tilfredsstille tekniske krav til flere formål forutsatt en tilrettelagt og optimal knuseprosess. Gråberget bør være interessant med tanke på anvendelse til utbyggingsspesifikke offshoreformål og til bygg- og anleggsformål der høy egenvekt og styrke er fordelaktig – egenskaper som muligens kan være et konkurransefortrinn overfor andre, norske leverandører. SINTEF vurderer at det kan ligge et eksportpotensiale til slike formål.

Avgangen fra prosessanlegg karakteriseres som inert og ikke-farlig avfall, med høy egenvekt, lavt innhold av tungmetaller og kornstørrelse 0-0,45 mm. SINTEF vurderer at avgangens høye egenvekt vil være fordelaktig til miljøformål - som tildekkingsmasse over forurenset sjøbunn under forutsetning av at massene har akseptable miljøegenskaper. Avsetningsmulighetene vil trolig være ujevne. Avsetning av avgang som fyllmasse til bygg og anlegg bør kunne ha et lokalt marked. Avgangens egnethet til jordforbedringsformål er ikke klarlagt. Avgangen forentes å møte kravene til bruk som fint tilslag eller fyllstoff i betong og asfalt. SINTEF forventer at markedspotensialet vil være lite siden andre lett tilgjengelige materialer forventes å gi bedre egenskaper til fasthetsutvikling i betong enn eklogitt-avgang.

Nærhet til sjø og til store europeiske markeder vurderes å kunne være et konkurransefortrinn for gråberg og avgang. SINTEF har i foreliggende rapport pekt på noen mulige, nye og fremtidige markedsmuligheter for avgang; som delvis sementerstatning/geopolymer og for karbonlagring (karbonmineralisering). Slike anvendelsesområder er lovende, men er i utviklingsstadiet og utgjør sannsynligvis ikke mulige anvendelser innen de nærmeste årene. SINTEF vurderer det som sannsynlig at det vil komme flere forskningsresultater på dette området i de kommende år.

1 SINTEFs oppdrag

1.1 Mandat

SINTEF AS, representert ved forskningsinstituttet SINTEF Community, heretter betegnet SINTEF, har den 23. juni 2023 inngått kontrakt med Naturvernforbundet og Natur og Ungdom, heretter betegnet oppdragsgiver, om utførelse av oppdrag med tittel: *Uavhengig, sakkyndig vurdering av tilbakefylling og anvendelse av avgangs-/overskuddsmasser fra planlagt mineralutvinning i Engebøfjellet*. SINTEF's mandat er knyttet til å belyse to tema som dekker følgende problemstillinger og spørsmål:

Problemstilling 1: Infrastruktur og driftsopplegg ved underjordsdrift

- Nordic Rutile skisserer «paste back fill», dvs. innblanding av avgangsmasse i betong. Er dette teknisk nødvendig, eller fins det andre alternativer (for eksempel tilbakefylling av ren jordvåt avgangsmasse)?
- Nordic Rutile skisserer at våt avgangsmasse pumpes opp til tilbakefyllingsanlegg over gruverom, avvanning og tilsetning av sement, før pumping ned i gruverom. Er dette en nødvendig og kostnadseffektiv løsning, eller fins det andre tilstrekkelige og rimeligere løsninger?
- Dersom en løsning med tilbakefylling av jordvåt avgangsmasse er et alternativ – vil dette gi mulighet til tilbakefylling av større eller mindre mengder enn skissert av Nordic Rutile? Anslag?
- Hvor mye mindre malm kan tas ut ved tilbakefylling med jordvåt masse vs. paste (ref. behovet for bergstøtter)?

Problemstilling 2: Aktuelle markeder for Nordic Rutils avgangsmasser

Nordic Rutile planlegger å utvinne rutil og granat fra eklogittmalm fra Engebø. Eklogittavgang er restmasser fra prosessen hvor mineralene rutil og granat er fjernet ved oppredning.

- SINTEF bes angi mulige markeder for avsetting av Nordic Rutils avgangsmasser.

1.2 Metode

SINTEFs vurdering er basert på et utvalg dokumenter og rapporter som er gjort tilgjengelig fra CMS Kluge Advokatfirma AS ved Ina Ytterstad Bjørnrå, heretter betegnet Kluge. Referanser til dokumentene er gitt i Kap. 5.1 i foreliggende rapport.

Oppdraget har bestått i å gå gjennom dokumenter gitt i referanseliste, gjennomføre møter med Kluge, analysere spørsmål basert på SINTEFs kunnskap og erfaring og fremsette SINTEFs funn, kommentarer og konklusjoner i en åpen SINTEF-rapport for oppdragsgiver. Oppdraget inkluderer også potensielt å stille som sakkyndig vitne for oppdragsgiver i en mulig rettstv.

SINTEF har for oppdraget etablert en prosjektgruppe bestående av følgende nøkkelmedarbeidere:

- Seniorforsker Lisbeth Alnæs, prosjektleder og rapportforfatter
- Forsker Mario Morales, prosjektmedarbeider og rapportforfatter
- Sjefforsker Eivind Grøv, kvalitetssikrer
- Forskningsleder Sindre Log, prosjekteier

Øvrige prosjektmedarbeidere som har deltatt i diskusjoner og/eller gitt innspill:

Sjefforskere Harald Justnes og Christian Engelsen, seniorforskere Nghia Trinh og Stein Olav Christensen, forsker Tobias Danner og MSc Karsten Kjøs Seljeset.

1.3 Bakgrunn, forutsetninger og begrensninger

1.3.1 Bakgrunn – Kort oppsummering av status for søksmål og tillatelser

Oppdragsgiver gikk i november 2022 til søksmål mot Klima- og miljødepartementet og Nærings- og fiskeridepartementet. Søksmålet gjelder gyldigheten av forurensningstillatelsen (2015/2021) og driftstillatelsen (2020) gitt til Nordic Rutile AS, heretter betegnet Nordic Rutile, i forbindelse med det planlagte gruveprosjektet i Engebøfjellet, med avgangsdeponering i sjø. Tillatelsen til gruvedrift etter forurensningsloven gitt 2015/2021, satte en begrensning av tillatt mengde avgangsmasser til planlagt sjødeponi til 250 millioner tonn.

Nordic Rutile la i sin avfallshåndteringsplan datert 2023-03-26 [1] til grunn en produksjon basert på målte og indikerte ressurser [7] vurdert etter JORC-standard¹. Her tas utgangspunkt i et ressursgrunnlag på 133 millioner tonn og drift i 39 år, med forventet 57 millioner tonn utvinnbar malm og ca. 50 millioner tonn avgang. I tilleggsinformasjon fra Nordic Rutile [12] er videre angitt utledete ressurser på 254 millioner tonn, dvs. totalt 387 millioner tonn malm. Av dette er det estimert at ressursen kan inneholde i størrelsesorden 250 millioner tonn utvinnbar malm for oppredning, som ved eventuell utvinning vil gi til sammen i størrelsesorden 170 millioner tonn avgang (120 millioner tonn fra utledede ressurser, og rundt 50 millioner tonn fra målte og indikerte ressurser.

Nordic Rutils reviderte avfallshåndteringsplan [1] ble godkjent av Miljødirektoratet 2023-06-23 [10 og 11]. Tillatelsen gjelder i henhold til [10] forurensning fra gruvedrift med produksjon av titandioksid (rutil), granat og pukk, og der:

"Gruvedriften på Engjabøfjellet inkluderer: bryting av rutil og granat, drift av knusestasjon, deponi for gråberg, jordmasser og lignende, inkludert pukkverk, inntak og fordeling av industri- og drikkevann, sanitæranlegg.

Produksjonsanlegget ved Engjabøneset inkluderer: knuseverk og oppredningsverk, lagring av malm og produkter, kaianlegg for utskiping og drift av sjødeponi for avgangsmasser."

Tillatelsen gjelder i henhold til [11] blant annet med følgende nye, reviderte vilkår:

"Tillatelsen til å deponere avgang i Førdefjorden reduseres fra 250 millioner tonn til 170 millioner tonn".

Reduksjonen bygger på Nordic Rutiles oppdaterte tallgrunnlag for malmuttak gitt i [12]. I Miljødirektorates godkjenning av avfallshåndteringsplan og vedtak om revidert tillatelse [11] er det i pkt. 3.2.2 henvisning til bedriftens beskrivelse av muligheter for tilbakefylling og alternativ anvendelse. Et vilkår i tillatelsen er i henhold til [10], pkt. 9.4.1:

«Bedriften skal arbeide kontinuerlig med å redusere mengden avgangsmasse og gråberg som må deponeres gjennom å finne alternativ anvendelse. Bedriften skal, så langt det er teknisk og sikkerhetsmessig mulig, sørge for at avgangsmasse og gråberg som ikke kan benyttes til andre formål, i størst mulig grad tilbakeføres til de gruverom/dagbrudd som gruvedriften etterlater.»

¹ The Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (the 'JORC Code' or 'the Code') sets out minimum standards, recommendations and guidelines for Public Reporting in Australasia of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. https://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf

SINTEF har i **vedlegg 1** oppsummert vår forståelse av tonnasje mengder for malm, avgang og gråberg for de ulike løsningene for dagbrudds- og underjordsdrift som fremkommer av [1], [2] og [7].

1.3.2 Forutsetninger og begrensninger

Rapportens innhold og omfang dekkes kun av de tema, problemstillinger og spørsmål som er gitt i Kap. 1.1. Vurderinger og konklusjoner i foreliggende rapport er gjort med bakgrunn i en gjennomgang av dokumentene som er listet i referanselisten i Kap. 5.1. SINTEF vil presisere at referanselisten i Kap.5.1 har tre dokumenter [10, 11 og 12] som ikke er tatt inn i oppdragskontraktens pkt. 3b. Disse kommer i tillegg til listen som er vedlegg 2 til oppdragskontrakten og er inkludert som et tillegg i enighet mellom oppdragsgiver og SINTEF.

SINTEF tar ikke ansvar for opplysninger, vurderinger og resultater gitt i dokumenter forfattet av andre.

SINTEF reserverer seg i forhold til om det skulle foreligge dokumenter som SINTEF burde ha hatt tilgang til, men ikke har fått tilgang til, for å vurdere gitte tema, problemstillinger og spørsmål.

2 Tilbakefylling av avgang ved underjordsdrift

Problemstilling 1: Infrastruktur og driftsopplegg ved underjordsdrift

- Nordic Rutile skisserer «paste back fill», dvs. innblanding av avgangsmasse i betong. Er dette teknisk nødvendig, eller fins det andre alternativer (for eksempel tilbakefylling av ren jordvåt avgangsmasse)?
- Nordic Rutile skisserer at våt avgangsmasse pumpes opp til tilbakefyllingsanlegg over gruverom, avvanning og tilsetning av sement, før pumping ned i gruverom. Er dette en nødvendig og kostnadseffektiv løsning, eller fins det andre tilstrekkelige og rimeligere løsninger?
- Dersom en løsning med tilbakefylling av jordvåt avgangsmasse er et alternativ – vil dette gi mulighet til tilbakefylling av større eller mindre mengder enn skissert av Nordic Rutile? Anslag?
- Hvor mye mindre malm kan tas ut ved tilbakefylling med jordvåt masse vs. paste (ref. behovet for bergstøtter)?

SINTEFs hovedinnspill vedrørende tilbakefylling av avgang ved underjordsdrift

I det følgende oppsummeres SINTEFs hovedinnspill vedrørende alternative løsninger og prosesser for tilbakefylling av avgangsmasser under jord ved Engebøfjellet, basert på vår forståelse av gjennomgåtte dokumenter [1-12], og med forbehold om manglende kjennskap til detaljerte vurderinger av viktige forhold tilknyttet slik vurdering. Kap. 2.1 gir en forenklet teoretisk bakgrunn og Kap. 2.2 omfatter SINTEFs vurderinger av problemstilling 1. Bakgrunnsdata er gitt i Vedlegg 1.

Alternative tilbakefyllingsmaterialer

- PF – Tilbakefylling av jordvåt avgang uten tilførsel av sement kan anvendes til deponering av avgangsmasse under jord, men vil ut fra stabilitetshensyn påvirke den geometriske utformingen av strosserom og pilarstørrelser
- CPB – Tilbakefylling med sement vurderes som en teknisk god løsning for avgangsdeponering og stabilitetsforsterkning ved en underjordsaktivitet, både ved utvinning med oppstart fra "topp" og "bunn" av Engebø-forekomsten.

Alternative løsninger for tilbakefylling

SINTEF vurderer at det er flere mulige, alternative løsninger for tilbakefylling av avgang under jord ved Engebøfjellet, og at valg avhenger av bl.a. geologiske forhold, som malmfordeling, bergspennings- og grunnvannsforhold, økonomiske hensyn og prosjektkrav, samt potensial og mulighet for alternativ anvendelse av avgang i stedet for deponering (Kap. 3).

- Nordic Rutiles skisserte løsning for tilbakefylling av avgang vurderes som en teknisk effektiv løsning, der avgangen i flytende tilstand effektivt kan transporteres gjennom rørledninger og tilpasses ulike topografier og hindringer.
- Pumping av pasta, dvs. avgang med høyt tørrstoffinnhold kan være en alternativ løsning.
- Et annet, alternativt konsept for underjordsdrift vil være med tilgang til malmforekomsten ved havnivå og bruk av adkomsttunnel for biltransport av avgang og tilbakefylling.

Endelig valg av tilbakefyllingsmetode avhenger av endelig valg av utvinningskonsept og detaljvurderinger av teknisk og økonomisk gjennomførbarehet for tilbakefyllingsprosessen. Slike forhold, som eksempelvis økonomiske sammenligninger, har SINTEF ikke grunnlag for å vurdere som en del av foreliggende oppdrag.

Avgangsmengder ved alternativ tilbakefylling

- Ved tilbakefylling av jordvåt masse kan 51 % av avgangen tilbakefylles.
- Nordic Rutiles utredede tilbakefyllingsmetode med bruk av sement tillater tilbakefylling av 46 % avgangsmasse.

Alternativet med tilbakefylling med jordfuktig masse krever spesielle stabilitetsvurderinger ut fra valgt utvinningskonsept (ovenfra-ned/nedenfra-opp).

Malmmengder ved alternativ tilbakefylling:

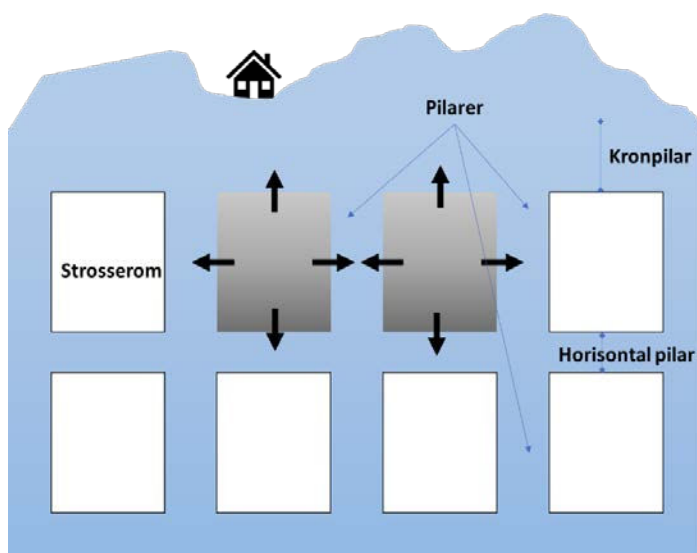
- Ved tilbakefylling med jordvåt avgangsmasse (PF) vil det kunne utvinnes totalt 27,4 [Mt] malm fra underjordsdriften. PF-alternativet krever spesiell vurdering av en passende gruvesekvens.
- Ved tilbakefylling med sementstabilisert avgangsmasse (CPB) vil det kunne utvinnes totalt 33,3 [Mt] malm fra underjordsdriften, dvs. en forskjell i malmutvinning fra CPB til PF cirka 5,9 millioner tonn.

2.1 Teoretisk bakgrunn

2.1.1 Tilbakefylling

I gruveingeniørfaget refererer tilbakefylling til ethvert avfallsmateriale som plasseres i de utsprengte bergrommene under bakken, heretter benevnt strosserom, **Figur 2.1 og figur 2.2**. Tilbakefylling gjennomføres generelt enten for å kvitte seg med avfallsmaterialet i en permanent deponering, og/eller for å la avfallsmaterialet inneha en stabiliserende funksjon. Tilbakefylling som kun brukes til å fylle strosserom etterfølgende ordinær gruvedrift, trenger ikke spesiell styrke. Imidlertid kreves det at tilbakefylte masser som skal sikre eller gi supplerende stabilitet i gruva, må inneha en viss styrke. Det er en nær sammenheng mellom stabilitet, utvinning og økonomi i gruveprosjekter, og derfor er det vanskelig å gjøre vurderinger for et slikt prosjekt om man isolert betrakter kun ett av disse forholdene helt uavhengig av de andre.

Tilbakefylling kan deles inn i to hovedkategorier, sementerte og usementerte, **se figur 2.3**. Sementerte tilbakefyllinger inkluderer vanligvis en liten mengde pozzolansk bindemiddel som sement, flyveaske osv. for å forbedre styrken. Usementerte tilbakefyllinger, som navnet antyder, bruker ingen bindemidler blandet inn i fyllingsmaterialet. Den mekaniske ytelsen til usementerte tilbakefyllinger kan derfor vurderes ved bruk av beregningsmodeller som vanligvis anvendes innenfor geotekniske problemstillinger.



Figur 2.1: Effekt av CPB og ulike typer pilarer.

<i>Kronpilar:</i> Horisontalt bergfeste med stabil bergmasse som ligger over gruenivået. Denne pilarstrukturen finnes mellom det høyeste nivået av gruen og overflaten. Kronpilar er viktig for å hindre uønsket nedfall eller sammenbrudd av bergmassen over gruenivået som skaper innsynking av overflaten.
<i>Vertikal pilar:</i> refererer til den del av bergmassen som bevares og opprettholdes mellom ulike strosser i en gruve. Pilaren blir etterlatt for å gi strukturell støtte og forhindre sammenbrudd av taket eller veggene i gruen og opprettholde stabilitet og sikkerhet i gruen. De kan ha forskjellig utforming og størrelse avhengig av gruvegeometrien/brytningsmetoden og bergartsegenskapene.
<i>Horisontal pilar:</i> den delen av berget som etterlates mellom horisontale strosse-områder i forskjellige nivåer. Formålet med horisontale pilarer er å opprettholde integriteten og stabiliteten i de horisontale gangene og forhindre kollaps av taket eller sammenbrudd av gruvestrukturen.

Figur 2.2 Ulike typer pilarer som opprettholder stabiliteten i underjordsgruver.

Sementerte tilbakefyllinger inkluderer: • Sementerte steinfyllinger (CRF - Cemented Rock Fills, med sprengt gråberg), • Sementerte tilslagsfyllinger (CAF- Cemented Aggregate Fill, med knust gråberg), • Sementerte hydrauliske fyllinger (CHF), • <i>Paste fill</i> (PF) og • Sementerte <i>paste fill</i> (CPB).
Usementerte tilbakefyllinger inkluderer: • Hydrauliske fyllinger (HF), • Steinfyllinger (RF- med sprengt gråberg), • Tilslagsfyllinger (AF- med knust gråberg), • Sandfyllinger (SF).

Figur 2.3 Ulike typer tilbakefyllingsløsninger for avfallsmaterialer.

For formålet med foreliggende rapport legger SINTEF til grunn følgende forståelse ut fra stilte spørsmål:

- **"Paste back fill"**, forstås som *sementert paste fill* (CPB), dvs. avgang med tilsats av sement, som medfører at tilbakefyllingen vil representere en herdet masse (betong).
- **Ren jordvåt avgangsmasse**, forstås som *paste fill* (PF), dvs. avgang uten tilsats av sement, som medfører at avgangen vil representere en ikke-herdet løsmasse.

Sementert paste fill – CPB, er en metode som brukes i underjordsgruver for å fylle ut strosserom etter at malmuttaket er avsluttet. Dette innebærer å blande sement med prosesseringsavfall (avgang) for å danne en pastalignende substans som pumpes eller flyter på selvføll inn i de utvinnede områdene. Noen fordeler og ulemper med bruk av CPB i underjordsgruver er:

Fordeler:

- Stabilitet og forsterkning: CPB gir stabilisering og støtte til gruvegangene. Ved å tilbakefylle etter at gravedriften er avsluttet, bidrar sementert tilbakefylling til å redusere deformasjoner i gruvegangene og slik forhindre kollaps og videre sikre at gruveområdet overordnet er stabilt.
- Tilbakefyllingen bidrar til forsterke pilarene, som vist i **figur 2.1**. Pilarer er kritiske for å opprettholde stabilitet og sikkerhet i en underjordisk gruve. De gir strukturell styrke og forhindrer uønsket sammenbrudd av tak, vegger og overliggende fjell. I en underjordgruve finnes det kronpilarer, vertikale og horisontale pilarer, **figur 2.1** og **figur 2.2**.
- Avfallshåndtering: Prosessavfall (avgang) kan blandes med sement for å danne en slik "paste back fill". Dette bidrar til å redusere avfallsmengden fra gravedriften og gir en mer effektiv håndtering av gruveavfallet.

Ulemper:

- Høye kostnader: Implementering av CPB kan være kostbart på grunn av behovet for å bruke sement eller andre bindemidler, samt tilhørende utstyr og materialhåndtering. Dette kan øke de totale driftskostnadene for gruen.
- Behov for tilstrekkelig tilgang til vann: For å blande og pumpe CPB kreves tilstrekkelig tilgang til vann. Dette kan være utfordrende i områder med begrenset tilgang på vann eller i gruver der vanninntrengning kan være et problem.
- Kompleks materialhåndtering: CPB-materialer kan være tyktflytende og tungt, noe som kan medføre kompleks materialhåndtering og tunge pumpeprosesser. Dette kan kreve spesialisert utstyr og nøye planlegging for effektiv distribusjon og påføring av CPB i gruen.

Paste fill (PF), er som nevnt en type tilbakefylling som består av en blanding av finmalt malmslam eller annet finkornet materiale, vanligvis prosesseringsavfall/avgang og vann.

Fordeler:

- Bruken av PF kan være mer praktisk og enklere å implementere sammenlignet med CPB, og vil ikke ha sement som fordyrende ledd. Det har også avfallshåndterings- og miljøfordeler, blant annet redusert CO₂-avtrykk som følge av at tilbakefyllingen er uten sement.

Ulemper:

- Redusert eller manglende styrke: PF har vanligvis svært lav eller manglende trykkstyrke sammenlignet med CPB. Dette kan begrense bruken av PF i områder der høy styrke er nødvendig for å opprettholde stabilitet og sikkerhet.
- Potensiell instabilitet: PF kan være mer utsatt for deformasjon og instabilitet over tid sammenlignet med CPB. Dette kan være spesielt relevant i områder der det er behov for langvarig stabilitet.
- Langsom herdeprosess: PF har vanligvis en langsom herdeprosess sammenlignet med CPB. Herdetiden kan variere avhengig av sammensetningen og egenskapene til paste fill-materialet.

Styrken og de mekaniske egenskapene til tilbakefyllingen er nært knyttet til gruvemetoden, dens sekvens og muligheten for å utvinne pilarer. Generelt kan man si at PF gir betydelig mindre støtte til taket enn CPB, skaper inntetting av pilarene og overbelaster også for lavere nivåer. Det er ingen mulighet for å utvinne horisontale pilarer med denne tilbakefyllingsmetoden, hvis gruvesekvensen er fra topp til bunn. Ved en gruvesekvens fra bunn til topp, vil muligheten til utvinning av en del av de horisontale pilarene avhenge av de mekaniske egenskapene til PF.

Tilbakefylling av strosser med paste fill (PF) gir en ekstra belastning som pilarene må bære, i tillegg til pilarenes vektbelastning fra den omkringliggende bergmassen. Selv om det sees som mulig å utvinne den samme mengden malm ved tilbakefylling av avgangsmasser uten noen stabiliseringseffekt av betydning (PF), som ved en situasjon uten tilbakefylling, så må denne ekstra belastningen hensyntas fordi dette kan påvirke pilarenes integritet og dermed sikkerheten ved gruedriften.

Valget mellom bruk av sementert back fill (CPB) og usementert back fill (PF) i gruedrift generelt vil avhenge av en grundig evaluering av både tekniske og økonomiske faktorer. Mens CPB kan gi bedre støtte til pilarene og gruvestrukturen, kan det også medføre ekstra kostnader knyttet til produksjon, installasjon og kontroll av sementert fylling. På den annen side kan paste fill være mer kostnadseffektivt, men det krever nøye overvåking for å sikre stabiliteten i gruen.

2.1.2 Uttaksmetode

En Long Hole Open Stopping (LHOS)-utvinning er en form for fler-nivå strossedrift som involverer malmutvinning gjennom en serie horisontale eller sub-horisontale nivå (stopes). Før utvinning begynner, gjennomføres grundige geologiske undersøkelser og gruveplanlegging. Dette inkluderer vurdering av bergartsegenskaper, stabilitet, mineralressurskvalitet og utvikling av en driftsplan. I driftsfasen skjer utvinning av malm ved hjelp av langhullsboring. Dette innebærer boring av vertikale hull ned i bergmassen fra toppen av strossen. Etter at borehullene er fullført, sprenges berget og malmen lastes ut slik at det dannes en strosse. Utvunnet malm transporteres ut av gruva for videre prosessering eller deponering (gråberg). Etter at strossen er utvunnet, kan tilbakefylling utføres for å fylle det tomme rommet. Gruvedriften fortsetter i henhold til driftsplanen, med regelmessig utvinning av nye strosser, tilbakefylling og vedlikehold av gruveinfrastruktur. I en LHOS-gruve er det nødvendig med grundig planlegging, overvåking og sikkerhetstiltak for å sikre at gruedriften utføres på en effektiv og sikker måte.

Gruvedrift innrettes og prosjekteres normalt med sikte på å utvinne rikere områder i tidlige stadier av gruven for å maksimere netto nåverdi (NPV), ha en raskere avkastning på investeringen (ROI) og minimere investeringene som brukes til å utvikle infrastruktur for å nå dypere deler av forekomsten.

Utvinningssekvensen må ta hensyn til den ikke-homogene fordelingen av malmen i forekomsten. I mange tilfeller er malmen ikke jevnt fordelt i hele forekomsten, og noen deler av gruven kan inneholde høyere eller lavere konsentrasjoner av verdifulle mineraler. Dette kan påvirke utvinningsplanen betydelig, da det kan være mer kostnadseffektivt å utvinne de rikeste områdene først for å maksimere malmutbyttet og NPV. Imidlertid kan dette føre til ujevn utvinning og tømning av gruven, og det kan være nødvendig å tilbakefylle visse områder for å sikre stabilitet og sikkerhet i gruven. Den økonomiske vurderingen av gruveutvinningen må derfor ta nøye hensyn til den ikke-homogene fordelingen av malm og balansere mellom å utvinne de mest lønnsomme områdene først og opprettholde en trygg og stabil gruvestruktur. Integreringen av både tekniske og økonomiske hensyn, sammen med den geologiske fordelingen av malmen, vil derfor være avgjørende for å utvikle en vellykket underjordsgruveutvinningssekvens.

2.2 SINTEFs vurdering av spørsmål stilt mandat

2.2.1 Alternative løsninger til "Paste back fill"

Av de rapportene som SINTEF har hatt tilgjengelig [1-12], fremgår det ikke for SINTEF entydig hva som er den overordnede utvinningssekvensen for underjordsdriften i Engebøfjellet. Hatch-rapporten "Underground-Only Mining: Backfill Evaluation" [2] nevner på side 20 følgende: *"A LHOS with backfill approach could also possibly improve the mining sequence flexibility in targeting higher grade areas. The overall mining extraction sequence is still bottom-up, which does however still limit the total mining"*. I Nordic Minings² avfallshandteringsplan [1] klarlegges at *"...slik Engebøressursen er danna ligger det spesielt rik malm heilt i overflata på toppen av forekomsten"*.

Det fremkommer ikke klart ut fra den gitte bakgrunnsinformasjonen forløpet for utvinningssekvensen for underjordsdriften. SINTEF tolker fra den oppgitte informasjonen og fra den generelle betraktningen over, at den overordnede gruvesekvensen er fra topp til bunn, mens utvinningen av hver strosse skal skje i en nedenfra og opp-sekvens.

Ut fra SINTEFs vurdering er bruk av CPB i både "ovenfra-og-ned" og "nedenfra-og-opp" utvinningssekvensen teknisk gode løsninger.

For PF som tilbakefylling, må man etter SINTEFs mening vurdere:

- "Ovenfra og ned": Pilarene i de nedre nivåene må være større enn for de ovenforliggende pilarene for å håndtere den økende belastningen fra de øvre nivåene og mot dypet. Dette for å ta hensyn til den reduserte eller manglende styrkekapasiteten som PF-tilbakefyllingen har. Samtidig vil PF legge til en ekstra belastning på pilarene i form av vekten av fyllingsmaterialet kontra luftfylte strosserom. Dette kan føre til strosser- eller pilarstørrelser som ikke gjør utvinningen teknisk gjennomførbar eller økonomisk forsvarlig.

Det er teknisk mulig å fylle opp alle strosserommene helt ved slutten av den underjordiske gruven levetid, men dette alternativet krever et midlertidig lagringssted for avgangsmassene. En økonomisk vurdering av et slikt alternativ ligger utenfor rammen av denne rapporten.

² SINTEF bruker selskapsnavnet Nordic Rutile videre i rapporten

- "Nedenfra og opp": Etter SINTEFs vurdering er det i dette tilfellet teknisk mulig å implementere en slik løsning. Utvinningsgraden vil være omtrent den samme som alternativet med ikke å bruke tilbakefylling i det hele tatt, dvs. at man ikke kan fjerne pilarene og slik få økt malmutvinning. SINTEF besitter i dag ikke detaljert kunnskap om de mekaniske egenskapene til PF, og vi kan derfor på generell basis ikke si at den tillater helt eller delvis fjerning av de horisontale pilarene.

2.2.2 Alternative løsninger for tilbakefylling av avgang

For Engebøfjellet er det valgt en drivemetode under jord som betegnes som Long Hole Open Stopping (LHOS) [1, 2]. Utdrevet malm er planlagt ført i styrtstakt ned til primærknuser inne i fjellmassivet [1]. Valg av tilbakefyllingsmetode for en LHOS-gruve av den typen som er planlagt for Engebøforekomsten, avhenger av flere faktorer, inkludert lokale forhold (geologi, bergspenninger, grunnvann), tilgjengelighet av materialer (malmdistribusjon), økonomiske hensyn og prosjektkrav.

Den foreslåtte metoden for tilbakefylling ved Engebøfjellet er å pumpe våt avgangsmasse opp fra prosessanlegget til et serviceområde på toppen av fjellet, med et anlegg for av-vanning, tilsetning av sement og deretter pumping ned i gruverom [1]. Etter SINTEFs vurdering kan dette være en effektiv løsning. Ved å pumpe opp avgangsmassen i en suspensjon med vann opp til tilbakefyllingsnivået, kan massene lettere flyte gjennom rørledninger eller kanaler dit den skal anvendes. Denne metoden kan være praktisk og effektiv for transport over lengre avstander eller til områder som er vanskelig tilgjengelige. Hvordan man innretter dette ved Engebøfjellet blir en balanse mellom kostnadene for høytrykkspumping og ulempen med å utføre dette fjernt fra resten av oppredningsanlegget. Fordelene ved å pumpe opp avgangsmassen med vann før avvanning inkluderer enklere håndtering og transport av materialet. Ved å opprettholde en flytende tilstand, kan avgangsmassen enklere flyte gjennom rørledninger og tilpasses ulike topografier og hindringer.

SINTEF vurderer at det også er andre mulige tilnærminger som kan vurderes med hensyn til løsninger for tilbakefylling:

- Bruk av stabilisatorer: I stedet for sement kan alternative tilsetningsstoffer eller bindemidler vurderes for å forbedre styrken og stabiliteten til tilbakefyllingen. Dette kan være et alternativ for å redusere kostnader forbundet med sementtilsetning. Den resulterende tilbakefyllingen må ha mekaniske egenskaper egnet for gruvesekvensen og kapasiteten som forsterkningen skal bidra med. Slik evaluering krever laboratorietesting og numerisk modellering og ligger utenfor rammen av SINTEFs mandat her.
- Undersøkelse av detaljerte geologiske forhold: En grundig undersøkelse av de lokale, geologiske forholdene kan bidra til å planlegge i detalj den tilbakefyllingsmetodene som best tilpasser de spesifikke forholdene i LHOS-gruven på detaljstudie-nivå. Dette kan inkludere vurdering av grunnvannsnivå, konsistensen av avgangsmassen, mekaniske egenskaper av tilbakefyllingen, bergartsegenskaper og andre relevante faktorer. Den gitte informasjonen er på nivå med et forstudium ("feasibility engineering"). Mens forstudien gir en overordnet vurdering av prosjektets levedyktighet basert på tilgjengelig informasjon, gir detaljprosjekteringen en mer grundig og nøyaktig plan for implementeringen av prosjektet, basert på grundige analyser og mer pålitelige data.

Det vil kreve en grundig teknisk og økonomisk analyse for å vurdere de forskjellige tilbakefyllingsmetodene og velge den mest hensiktsmessige og kostnadseffektive løsningen. Det understrekes at selv om en løsning

kan være teknisk mulig, betyr ikke det at den ubetinget vil være økonomisk gunstigst, den kan for eksempel redusere netto nåverdi eller til og med gjøre den negativ.

Man kan også vurdere muligheten for å pumpe opp pasta. Dette er igjen avhengig av teknisk og økonomisk gjennomførbarhet. LKAB Svappavaara jernmalmgruve i Sverige valgte Flowrox LPP-T100 overføringspumper til sitt pelletiseringsanlegg. Pumpene er beskrevet å kunne gå tørre og drives kontinuerlig, noe som er angitt potensielt å redusere energiforbruket, og i stand til å håndtere opptil 76 % tørrstoff.³

Man kan også vurdere å endre gruvesekvensen og få tilgang til malmforekomsten fra havnivå med en adkomsttunnel. Adkomsttunnelen kan brukes til å transportere avgang på bil inn i gruen. En pumpemekanisme forventes å være nødvendig for å tømme lastebilene og fylle de tomme strossene. Endring i uttaksrekkefølgen som en slik drift medfører, kan muligens føre til en annen NPV som ikke vil gjøre prosjektet økonomisk gjennomførbart (som beskrevet i kap. 2.1.2).

Åpning av en tunnel ved havnivå kan sannsynligvis endre netto nåverdi til prosjektet. Vurderingen av tunneldriving kontra pumping-alternativet ligger utenfor omfanget av SINTEFs oppdrag og vil kreve en egen og grundig teknisk og økonomisk evaluering.

2.2.3 Tilbakefyllingsmengder av avgang

Svaret på denne problemstillingen krever masse- og volumbalanse-betraktning, på grunn av den endrede sammensetningen av de to ulike utfyllingsalternativene og mengden malm som utvinnes fra gruen i begge tilfeller. I begge tilfeller er tonnasje og volumene som kommer fra dagbruddet de samme. Derfor er følgende estimat kun gjeldende for den underjordiske delen av gruen.

Basert på egenskapen til de ulike tilbakefyllingsalternativene, kan tilfellet uten tilbakefylling (altså kun luftfylte strosserom) sidestilles med tilbakefylling med PF. Dette betyr at totalt 27,4 millioner tonn (Mt) malm kan utvinnes i prosjektet. SINTEF vil påpeke at dette alternativet krever vurdering av en passende gruvesekvens for optimal utnyttelse av slik tilbakefylling. Tonnasjen på avgangsmassene for dette alternativet er ikke funnet i de fremlagte dokumenter [1-12].

Bruk av sementbasert tilbakefylling (CPB) tillater potensiell utvinning av malm fra de vertikale pilarene mellom strossene og de horisontale pilarene. Dette alternativet gir muligheten til å utvinne 33,3 [Mt] malm. Den totale tonnasje av avgangsmasser for dette alternativet er 28,2 [Mt]. Forutsatt samme forhold mellom utvunnet malm og avgangsmasse, er det mulig å estimere total avgangsmasse for PF-alternativet. Dette er vist i **Tabell 2.1**.

Tabell 2.1: Utvunnet malm og avgangsmasse til det to forskjellige alternativer.

	CPB	PF	
Utvunnet malm	33,3	27,4	[Mt]
Avgangsmasse	28,2	23,3	[Mt]

³ <https://www.valmet.com/insights/articles/flow-control/pumping-rock-solids-with-flowrox-hose-pumps/>

Tatt i betraktning at alle strosserommene kan fylles (33,3 Mt), og med en malmtetthet på 3,5 [t/m³], betyr dette at totalt tilgjengelig volum for tilbakefylling er 9,4 millioner [m³]. Bruker man en fyllingsfaktor på 95 %, er det effektive tilgjengelige volumet for tilbakefylling 8,9 millioner [m³].

Etter hvert som malmen utvinnes og bearbeides, vil de resulterende avgangsmassene ha en annen tetthet. Utdeling i vekt av avgangsmassene er spesifisert i tabell 7 (side 33) i Nordic Rutils avfallshåndteringsplan [1]: 72 % avgangsmasse, 6 % sement og resten er vann. Tettheten av avgang (talings) er 2,06 [t/m³]. Dette resulterer i en effektiv tilbakefyllingskapasitet på rundt 13,1 [Mt] (som rapportert i tabell 9, side 34 i [1]). Dette betyr at 46 % av det uttatte materialet (33,3 Mt) kan tilbakefylles i gruen.

Etter samme resonnement er det mulig å anslå den totale tonnasjen som kan tilbakefylles i gruen for PF-alternativet. I dette tilfellet kan alle strossene fylle 27,4 [Mt], som betyr at totalt tilgjengelig volum for utfylling er 7,7 millioner [m³]. Brukes en fyllingsfaktor på 95 %, er effektivt, tilgjengelig volum for utfylling 7,3 millioner [m³]. For å fylle dette volumet antar SINTEF at all sementfraksjonen til CPB-alternativet (6 % i vekt) erstattes med avgangsmasser.

For å forenkle beregningen, tar SINTEF utgangspunkt i en base på 1000 [kg] pastafyll. I CPB-tilfellet tilsvarer dette 720 [kg] avgangsmasse, 60 [kg] sement og 220 [kg] vann (1000 [kg] totalt). Når sementfraksjonen byttes ut, avhenger ekvivalentvekten av pastafyll som kan tilsettes av tettheten til sement og avgangsmasse. Forutsatt en tetthet av bulksement på 1,44 [t/m³], tilsvarer volumet brukt av 6 % sementfraksjonen [41,7 m³]. Dette volumet, når det er fylt med avgangsmasse, veier 85,8 [t]. Den resulterende PF har en høyere tetthet enn CPB. Dette betyr at i samme volum som brukes av 1000 [kg] CPB, kan man romme 1025 [kg] PF. Sammensetningen vil være den samme 220 [kg] vann pluss 85,8 [kg] avgangsmasse (de originale 720 [kg] pluss de 85,8 [kg] som erstattet sementen). I vektfraksjoner er dette 79 % avgangsmasse og 21 % vann.

Til slutt er det mulig å anslå at det effektive volumet på 7,3 [m³] kan lagre opptil 11,9 [Mt] PF. I dette tilfellet er den totale tonnasjen som kan tilbakefylles med PF i gruen lavere enn med CPB. Ikke desto mindre øker den totale tilbakefyllingsandelen fra 46 % (CPB) til 51 % (11,9 [Mt] PF over 23,3 [Mt] avgangsmasse). Disse prosentene er uavhengige av utvunnet volum.

Det er viktig å understreke at denne vurderingen ikke tar hensyn til de økonomiske implikasjoner av en slik beslutning. På en generell basis kan anføres at kostnadene ved å pumpe opp et materiale med høyere egenvekt vil være høyere enn et annet med lavere egenvekt (som tilfellet er med PF og CPB). Pumping av materiale med høyere egenvekt, som i tilfellet med PF, kan kreve mer energi og kostbare infrastrukturløsninger for å flytte og pumpe massene tilbake i gruen. Dette kan medføre økte driftskostnader og investeringsutgifter i forbindelse med pumpe-systemer og andre tilhørende utstyr. Samtidig kan PF tilbakefylling ha lavere materialkostnader enn CPB på grunn av mindre bruk av bindemidler som sement.

2.2.4 Malmutbytte fra pilarer

Den nøyaktige mengden utvinnbar malm vil variere avhengig av de spesifikke forholdene i gruen. Grundige tekniske studier og modellering må gjennomføres for å vurdere den optimale mengden malm som kan utvinnes basert på den tilbakefyllingsmetoden som blir valgt i Engebøfjellet. Generelt kan følgende slås fast:

Paste fill (PF): Ved bruk av PF som tilbakefyllingsmateriale, kan det være begrensninger når det gjelder hvor mye malm som kan utvinnes. PF har betydelig mindre styrke enn CPB, og det kan være risiko for kollaps eller forskyvning av tilbakefyllingen hvis den utsettes for stor trykkbelastning. Derfor kan det være en risiko for at malmutvinningsgraden må begrenses for å opprettholde gruvas stabilitet.

Sementert Back Fill (CPB): CPB er en stabil og sterk form for tilbakefylling, som ut fra dette kan tillate en høyere grad av utvinning av malm sammenlignet med PF. CPB vil gi støtte til gruvestrukturen og tillate høy utvinningsgrad av malm i pilarene uten en akselerert risiko for sammenbrudd.

Utvinning uten tilbakefylling kan sidestilles med utvinning og tilbakefylling med bruk av PF. I begge tilfeller vil det kunne utvinnes totalt 27,4 millioner tonn fra UG-gruven. PF-alternativet krever som påpekt foran spesiell vurdering av en passende gruvesekvens.

Bruk av CPB tillater potensiell utvinning av malm fra de vertikale pilarene mellom strosser og fra horisontale pilarer. Dette alternativet er evaluert for å utvinne 33,3 millioner tonn malm, dvs. en malmutvinning som er 5,9 millioner tonn høyere ved tilbakefylling av avgang ved CPB enn PF.

3 Alternativ anvendelse av restmasser – gråberg og avgang

Nordic Rutile planlegger å utvinne rutil og granat fra eklogittmalm fra Engebø. Eklogittavgang er restmasser fra prosessen hvor mineralene rutil og granat er fjernet ved oppredning.

SINTEF bes om mulige markeder for avsetting av Nordic Rutiler avgangsmasser.

SINTEFs hovedinnspill vedrørende alternativ anvendelse av gråberg og avgang

I det følgende oppsummeres SINTEFs hovedinnspill vedrørende mulig anvendelse av restmasser fra Engebøfjellet, basert på vår forståelse av gjennomgåtte dokumenter [1-12], og med forbehold om manglende kjennskap til restmassenes tekniske, mineralogiske og kjemiske kvalitet. Detaljvurderinger og -opplysninger er gitt i kap. 3.1, 3.2 og 3.3 og Vedlegg 1, 2 og 3.

Gråberg

Tilgjengelig gråbergmengde er 18,9 millioner tonn de første 15 årene, eller gjennomsnittlig 1,26 [Mt] gråberg pr. år som potensielt kan anvendes til andre formål enn deponering i planlagt gråbergsdeponi på land, som er angitt å ha mulighet for deponering av 27 [Mt] gråberg (15 millioner m³).

Gråberg forventes av SINTEF å kunne tilfredsstille tekniske krav til flere formål til offshore- og bygg- og anleggsindustri. SINTEF vurderer at gråberget fra Engebøfjellet er potensielt spesielt interessant med tanke på bruk til utbyggingsspesifikke offshoreformål og til bygg- og anleggsformål der høy egenvekt og styrke er fordelaktig. Høy egenvekt og egnethet for båttransport kan muligens være et konkurransefortrinn overfor andre, norske leverandører. SINTEF vurderer at det kan ligge et eksportpotensiale til slike formål for gråberget. Vestland fylke har et årlig forbruk på rundt 11 [Mt] knust stein og en egenproduksjon på rundt 4 [Mt], der rundt 40% går til veiformål.

Avgang

Virksomheten til Nordic Rutile AS ved Engebøfjellet vil generere gjennomsnittlig 1,15 [Mt/år] avgang/år i perioden for planlagt dagbruksdrift/ingen mulighet for tilbakefylling og gjennomsnittlig 1,35 [Mt/år] avgang samlet over en driftsperiode på 39 år. Avgangen karakteriseres som inert, med lavt innhold av tungmetaller. Utlekkingspotensial av tungmetaller til vann karakteriseres som lavt, og sur avrenning av tungmetaller er ikke forventet. Avgangen er angitt å ha kornstørrelse opp til ca. 0,45 mm og forventes å ha en høy egenvekt.

SINTEF vurderer at avgangen kan anvendes som fyllmasse i anleggsindustrien lokalt eller regionalt. Høy egenvekt kan være fordelaktig i forhold til eklogittens virkning/funksjon som tildekkingsmasse forutsatt tilfredsstillende miljøegenskaper, men avsetningsmulighetene forventes være ujevne. Eklogitt-avgangens egenskaper som jordforbedringsmiddel er uavklart. Avsetningsmulighetene til betongformål forventes å være relativt liten fordi det er andre lett, tilgjengelige materialer med bedre egenskaper med hensyn til fasthetsutvikling i betong. Avgangen forventes ikke egnet til bruk som delvis sementerstatning da den forventes ikke gi noe bidrag til styrkeutvikling. SINTEF erfarer at det pågår forskning og utvikling rettet mot flere anvendelser av gruveavgang nasjonalt og internasjonalt som er interessant med tanke på avgang fra Engebøfjellet, blant annet geopolymere og karbonmineralisering. SINTEF vurderer at det kan være en mulighet for at eklogitt-avgang fra Engebøfjellet kan brukes som utgangsmateriale til slike formål. Slike anvendelsesområder er lovende, men er i utviklingsstadiet og utgjør sannsynligvis ikke mulige anvendelser innen de nærmeste årene. SINTEF vurderer det som sannsynlig at det vil komme flere forskningsresultater på dette området i de kommende år.

3.1 Tonnasjer

Vedlegg 1, Tabell 1.2 sammenstiller angitte mengder restmasser fra planlagt rutil- og granatutvinning i Engebøfjellet av Nordic Rutile, basert på 39 års drift av målte og indikerte ressurser gjennom kombinert dagbruddsdrift (15 år), underjordsdrift (18 år) og utvinning av malmlager lagt på land (6 år).

De 15 første årene, dvs. før tilbakefylling under jord er mulig, er det angitt en tilgjengelig avgangsmengde på 17,2 [Mt], eller gjennomsnittlig 1,15 [Mt] avgang pr. år, som potensielt kan anvendes til andre formål enn deponering i sjø. Tilgjengelig gråbergmengde er 18,9 millioner tonn de første 15 årene, eller gjennomsnittlig 1,26 [Mt] gråberg pr. år som potensielt kan anvendes til andre formål enn deponering i planlagt gråbergsdeponi på land. I tillegg kommer potensial anvendelse av avgang og gråberg som genereres ved underjordsdriften. Miljødirektoratet har gitt tillatelse til sjødeponering av maksimalt 170 millioner tonn avgang ut fra en tolket malmtonnasje på 387,5 millioner tonn [10, 11, 12].

Gråberget er planlagt deponert på land i Engebødalen [1], og landdeponiet er angitt å ha maksimalt oppfyllingsvolum 15 millioner m³ gråberg [1 og 12]. Anslagsvis gir dette mulighet for deponering av ca. 28 [Mt] gråberg⁴. Det er for SINTEF ikke klart hvilke mengder gråberg som forventes ved eventuell utvinning av tolkede ressurser.

Nordic Rutile AS har i sin avfallshåndteringsplan [1] pekt på alternativ bruk av gråberg og avgang gjennom bruk til interne og eksterne formål. SINTEF har i det følgende vurdert gråberg og avgang med tanke på alternativ anvendelse.

3.2 Materialer og materialkvaliteter

3.2.1 Gråberg

Nordic Rutile vurderer det som sannsynlig at gråberg over tid vil være en salgbar ressurs, og at gråbergdeponeringen kun vil være midlertidig [1].

Gråberg er for Engebøfjellet definert som eklogitt med mindre enn 2% rutil, betegnet Leuco-eklogitt. I tillegg klassifiseres amfibolitt, gneis og soner med vekslinger mellom eklogitt og andre bergarter (betegnet "alternerende") som gråberg. I all hovedsak er gråberget angitt å genereres ved dagbruddsdriften.

Gråberget er klassifisert som inert og ikke-farlig avfall ved deponering i henhold til [1] og [3], og i henhold til [3] er innholdet av tungmetaller i prosessavgang lavere enn normverdier for forurenset grunn i henhold til Forurensningsforskriften⁵. Utlekkingspotensial av tungmetaller til vann karakteriseres som lavt, og sur avrenning av tungmetaller er ikke forventet i henhold til [3]. Asbestinnholdet i gråbergs-variantene er i henhold til [3] under oppsatt grenseverdi (< 1%) og under grensen for krav til merking (<0,1%). Tiltak for kontroll med plast fra sprengstoff er kommentert i [1]. Disse nevnte forholdene vurderes av SINTEF som fordelaktige med tanke på mulig alternativ anvendelse.

⁴ For bergarter med egenvekt rundt 2,65 t/m³ anvendes typisk etter sprengning en egenvekt på 1,6 t/m³. Tilsvarende forhold er brukt for gråberg ved Engebøfjellet, som har egenvekt rundt 3,1 t/m³ og forventet egenvekt i utsprengt form på 1,85 t/m³ (dvs. 15 mill. m³ * 1,85 tilsvarer 27,75 Mt knust gråberg).

⁵ <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931>

I **Vedlegg 2, Tabell 2.1** er mineralogisk og kjemisk sammensetning for gråberget oppsummert, og i **Vedlegg 2, Tabell 2.2** er tekniske egenskaper for gråberget oppsummert basert på opplysninger gitt i rapportene gjennomgått som en del av SINTEFs oppdrag [1-12].

3.2.2 Avgang

Ved prosessanlegget er skissert fremstilling av rutilkonsentrat med 95% TiO₂, granatkonsentrat med renhet 92 % og et pyrittkonsentrat [1]. Avgangen representerer ulike massefraksjoner og -mengder fra tørr- og våtseparering og flotasjon.

Avgangen fra prosessanlegg og sedimenter i sedimentasjonsanlegg for gråbergsdeponi karakteriseres som inerte og ikke-farlig avfall i henhold til [1] og [3], og i henhold til [3] er innholdet av tungmetaller i prosessavgang lavere enn normverdier for forurenset grunn i henhold til Forurensningsforskriften. Utlekkingspotensial av tungmetaller til vann karakteriseres som lavt, og sur avrenning av tungmetaller er ikke forventet. Metallinnhold, sum PAH16 og totalt organisk karbon er innenfor gitte anbefalinger i henhold til [1] og [3]. Disse, nevnte forholdene vurderes av SINTEF som fordelaktige med tanke på mulig alternativ anvendelse av avgang fra prosessanlegg og eventuelt fra sedimentasjonsanlegg.

I **Vedlegg 2, Tabell 2.3** er sammensetning og egenskaper for prosessavgang oppsummert, basert på opplysninger gitt i rapportene gjennomgått som en del av SINTEFs oppdrag [1-12]. Data fra sedimenter i sedimentasjonsbasseng er inkludert.

3.3 Vurdering av alternative anvendelser og markedsmuligheter for restmasser

3.3.1 Gråberg

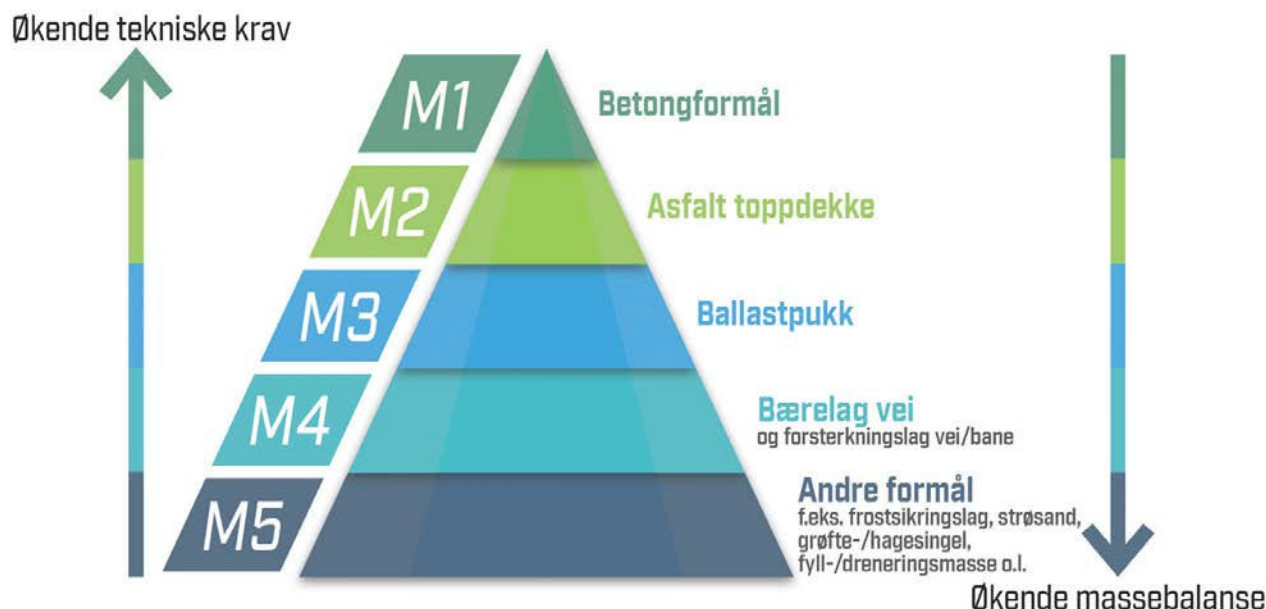
En anbefalt, generalisert tilnærming til bruk av overskuddsmasser fra bergverk og anleggsprosjekter er skissert i **figur 3.1**. På generelt grunnlag vil SINTEF anføre at det er viktig å vurdere kvaliteten på overskuddstein tidlig, for i størst mulig grad være i stand til å utnytte restmassen best mulig ut fra en sirkulærøkonomisk tilnærming [13].

Gråberget fra Engebøfjellet representerer utsprengt berg primært fra dagbruddsdrift og med angitt 50% av steinstørrelsen under 200 mm og rundt 20 % over ca. 350 mm [1]. SINTEF vurderer derfor at det i første rekke er som knuste produkter/byggeråstoff at gråberget kan finne anvendelse, gjennom leveranse til eksternt eller etablering av eget knuse-, sikte- og sorteringsanlegg i bruddområdet. Bærekraftig utnyttelse av primære og sekundære ressurser nødvendiggjør etter SINTEFs erfaring en helhetlig produksjonsstrategi [14]. Hovedandel av gråberget i Engebøfjellet er leuco-eklogitt. Nødvendigheten av sortering og separat lagring av de forskjellige litologiene vil avhenge av anvendelsesområde og materialkvaliteten til hver av dem. For produksjon av store mengder knuste produkter mot anvendelser mot få, tekniske krav, er en anbefaling fra prosjektet kortreist stein en såkalt kaskade-design, der ferdige, knuste tilslagsprodukter sorteres ut etter hvert knusestrinn⁶.

Det stilles både geometriske, fysiske og i en viss grad kjemiske krav til knuste steinmaterialer som skal brukes i ubunden eller bunden form. Geometriske krav omfatter gjerne kornfordelingskurve, kornform, inkl. flisighetsindeks og finstoffinnhold. Fysiske krav omfatter typisk motstand mot knusing (Los Angeles-test), motstand mot slitasje (micro deval-test) og motstand mot piggdekkslitasje (kule mølle-verdi) [15]. Kjemiske krav omfatter i hovedsak innhold av spesielle kismineraler eller tungmetaller. I **Vedlegg 3, Tabell**

⁶ IPN-prosjektet Kortreist stein. <https://www.sintef.no/projectweb/kortreist-stein/>

3.1 har SINTEF gjort en sammenstilling av alternative anvendelser av større blokk og knust berg med tilhørende kvalitetskrav, aktuelle spesifikasjoner og produktstandarder.



Figur 3.1 Optimal anvendelse av gråberg kan innebære å utnytte de teknisk beste materialene der gode funksjonsegenskaper er spesielt viktige, det vil si bunden bruk og bruk som stiller strenge materialkrav (M1-M3 i figur), mens øvrige masser utnyttes til andre formål (M4-M5 i figur). Kilde/Illustrasjon: [14].

Gjennomgåtte dokumenter [1-12] mangler opplysninger om mineralsammensetning og mikrostruktur som vil være av betydning for enkelte bruksområder, og oppgitte, tekniske egenskaper er mangelfulle for vurdering av egnethet til flere formål. I tillegg til mineralogiske, kjemiske og/eller mekaniske egenskaper så vil egnetheten også avgjøres av produksjonsprosess og produktenes kornstørrelsesfordeling, kornform, finstoffinnhold, -type osv. Dette er ikke nærmere berørt. Dette gjør det kun mulig for SINTEF å indikere mulige bruksområder for og markedsmuligheter for gråberg. Gråberget kjennetegnes ved høy egenvekt. Transportavstand av materialet vil derfor generelt være kostnadsdrivende, så frem ikke nettopp materiale med høy egenvekt er ønsket. Med forbehold gitt over, vurderer SINTEF at gråberget (primært leuco-eklogitt) vil kunne tilfredsstille tekniske krav til de aller fleste av formålene listet i Vedlegg 2, dvs. dekkende:

- **Offshoreindustri (fraksjon 0-450 mm):**
 - Oljeinstallasjoner – beskyttelse og dekningsmasse til rørledninger, neddykkede installasjoner o.a. på havbunnen.
 - Vindmøller - beskyttelse og dekningsmasse rundt offshore-vindmølle-fundamenter med effekt å motvirke erosjon samt gi konstruksjoner og installasjoner beskyttelse.
 - Betongformål
- **Bygg- og anleggsindustri:**
 - Veiformål (ubunden bruk, fraksjoner fra 0-500mm)
 - Jernbaneformål (Ubunden bruk, fraksjoner 0-500 mm))
 - Betongformål (konstruksjonsbetong, sprøytebetong, fraksjoner 0-32 mm)
 - Asfaltformål (Bærelag og toppdekker, bunden bruk, fraksjoner 0-32 mm)
 - Ballastmateriale til havneutbygging
 - Knuste masser til næringstomter, fritidsanlegg og lokal infrastrukturutbygging (maskinkult 22/125 o.a.)

- Grøfte-/hagesingel (6-22mm)
- Strøsand (2-8 mm)
- Jordforbedring (0-4 mm)

Dette er i samsvar med mulige bruksområder som Nordic Rutile har skissert [1].

Plastring, erosjonssikring, forstøtning etc. - Blokkformater

Anvendelser som dette vil dra nytte av bergarter med høy styrke, egenvekt og blokkstørrelse. Eklogittens høye egenvekt, stivhet, trykkstyrke og motstand mot nedknusing (LA-verdi) er egenskaper som er gunstig til formål som erosjonssikring, havneutbygging, vassbyggingsstein etc. SINTEF anser det som sannsynlig at leuco-eklogitten har lav vannopptaksevne og god motstand mot sykliske salt- og frostpåkjenninger, og at gråberget samlet sett vil ha gunstige egenskaper for bruk til formål der vekt og bestandighet er viktig. Blokkformater av gråberget forventes imidlertid i liten grad å være tilgjengelig fra skissert utvinning.

Offshoreindustri - dekningsmasser over rørledninger etc.

Gråberg fra Engebøfjellet forventes av SINTEF å kunne anvendes innenfor offshoreindustrien. Det er stort bruksområde for materialer med høy egenvekt (HD) i offshoreindustrien. SINTEF vurderer at følgende bruk er relevant:

- Ballastmateriale for offshorekonstruksjoner, som betong- og stålplattformer, brofundamenter etc.
- Erosjonsbeskyttelse rundt offshorekonstruksjoner og strandlinjer
- Beskyttelse av rørledninger og elektriske kabler
- Materiale i betongkonstruksjoner for offshore tunneler (for betong – se under).

Trykkstøt i gassrørledninger på sjøbunnen kan føre til at rørledningen bukler seg oppover eller sideveis. For å hindre denne uønskede situasjonen brukes ofte stein med høy egenvekt som omfylling av rørledningen. Eklogitt er den mest vanlige steinen å bruke. Vanligvis er dette ca. 7,6-22,8 mm (3"-9") størrelse på stein. Med bruken av eklogitt anser SINTEF at man kan oppnå reduksjon av steinstørrelse, volum, tonnasje og segregering. I tillegg vil en konstruksjon få en bedre stabilitet. Brukseksempler er gitt i **figur 3.2**.

Norock & Co – Eksempler på bruk:

- I 2009 fraktet Norock 190.000 tonn 3"-9" eklogitt i fem ca. 40.000 tonns skip fra Norge til Filippinene. Eklogitt ble brukt som den eneste holdbare løsningen for å stabilisere Shells offshore-rørledning.
- I 2018 ble ytterligere 75 000 tonn transportert for ytterligere å sikre kontinuerlig stabilitet.
- Norock har også levert til rørledningsdekkemateriale til rørledninger i Nordsjøen: Mest kjent blant dem er Ormen Lange.

Kilde: <https://www.norock.com/project-2>

Visnes kalk AS – Eksempel på bruk:

Selskapet har i tillegg til sitt hovedprodukt av malt kalkspatmarmor til jordbruk, industri og bygg, i en rekke år levert knust eklogitt blant annet til oljeinstallasjoner og vindmøller.

- Oljeinstallasjoner: Selskapet anfører at eklogittens høye egenvekt gjør den velegnet som dekkmasse over forskjellige installasjoner på havbunnen, enten til beskyttelse av vitale komponenter mot vannstrømmer eller som skjerming mot andre uønskede påvirkninger.
- Vindmøller: Selskapet anfører at eklogitten anvendes som dekningsmasse rundt fundamentene til offshore-vindmøller med effekt å motvirke erosjon samt gi konstruksjoner og installasjoner beskyttelse. Ønsket gradering er mellom 0-450 mm.

Kilde: <https://www.visneskalk.no/>

Figur 3.2 Eksempel på offshore bruk av tunge bergarter.

Vei- og jernbaneformål – Ubunden bruk

Eklogitt fra Engebøfjellet har en oppgitt LA-verdi som er godt innenfor krav til både bære- og forsterkningskrav. Forutsatt at slitasjemotstand (MD-verdi) og flisighetsindeks også er innenfor kravene, noe SINTEF forventer, vil leuco-eklogitt være teknisk egnet til veiformål. Mekaniske egenskaper til de andre bergartsvariantene må bestemmes for å vurdere egnethet. Alle gråbergsvariantene vil potensielt kunne anvendes til frostsikringslag i vei, med utgangspunkt i at her stilles det ikke tekniske egenskapskrav. En tofelts vei i Norge som bygges etter Statens vegvesens normaler, vil kreve opp mot 50 tonn steinmaterialer per meter [16].

For jernbaneformål stilles ikke mekaniske krav til forsterknings- og frostsikringslag. For bærelag/ballastpukk anser SINTEF samme resonnement vil gjelde for gråbergslitologiene som angitt over. Det forventes omtrent samme materialbehov som for vei.

Gråbergets egenvekt er ikke fordelaktig med tanke på bruk til veiformål, siden dette vil påvirke transportkostnadene. Transport av pukk utgjør en stor del av sluttprisen på produktet. Dersom transportavstanden overstiger 30-40 km, kan erfaringsmessig transportkostnadene bli større enn verdien på byggeråstoffet [17]. Mulighet for båttransport, og det forholdet at det er knapphet på byggeråstoffer (grus og pukk) spesielt i de bynære områdene og som nødvendiggjør lengre transportavstander for entreprenører innen bygg og anlegg, kan tale til fordel for en alternativ anvendelse av gråberget fra Engebøfjellet til veiformål.

Tunge bergarter er generelt fordelaktig til jernbaneformål. SINTEF forventer at eklogitt med høy egenvekt potensielt vil kunne ha god stabilitet og motstand mot solslyng o.a. I henhold til [18] krever leveranse av ballastpukk gyldig rammeavtale med BaneNOR. SINTEF har ikke fremskaffet informasjon om hvilke pukkverk som leverer til f.eks. Sørlands- og Bergenbanen, og hvilken årstonnasje som leveres. Oppgitt tungmetallinnhold i gråberg (leuco-eklogitt og amfibolitt) fra Engebøfjellet (Vedlegg 2, tabell 2.1) overskrider oppsatte kjemiske krav til krom og nikkel i henhold til [32].

Betongformål - Bunden bruk (tilslag)

SINTEF forventer at eklogitten/leuco-eklogitten er ikke-alkalireaktiv. Knuste tilslag av alkali-silika-reaktive bergarter krever spesiell oppmerksomhet ved betongproporsjonering ved valg av type og mengde bindemiddel (flyveaske, slagg, mikrosilika). Lav flisighet /høy kubisitet vil virke positivt på betongens støpelighetsegenskaper. Glimmer påvirker støpelighetsforholdene til betong. Høyt glimmerinnhold kan øke betongens vannbehov. Ved prosesseringen av eklogitten er skissert fremstilling av et pyrittkonsentrat. Det er ikke angitt mengde pyritt i gråbergs-litologiene eller hvorvidt noen av bergartene inneholder magnetkis, som vil være negativ med tanke på betongens bestandighet. Svovelinholdet i gråberget må klarlegges med tanke på betongformål.

Eklogittens egenvekt er tyngre enn det som ofte brukes som normaltilslag i betong, men dette kan muligens være fordelaktig for bruk av grovt og fint tilslag (granatrik sandfraksjon) til betongformål der tung betong er ønsket, f.eks. konstruksjoner i vann.

Asfaltformål – Bunden bruk (tilslag)

Med forbehold om begrensninger som ligger i manglende materialdata, så forventer SINTEF teknisk egnethet for gråberg; leuco-eklogitt i form av tilslag til bærelag med asfaltgrus og -pukk (Ag og Ap) og til toppdekke (binde- og slitelag). Eklogitt vurderes i henhold til NGU [19] som en av de bergartstypene som vil ha meget god egnethet som bærelag og toppdekke i vei, basert på analyse av mekaniske egenskaper av eklogittprøver samlet inn fra ulike lokaliteter i landet. Høyt glimmerinnhold er ikke ønskelig i de steinstørrelsene som brukes i asfalt, og gir en usikkerhet i forhold til dette bruksformålet.

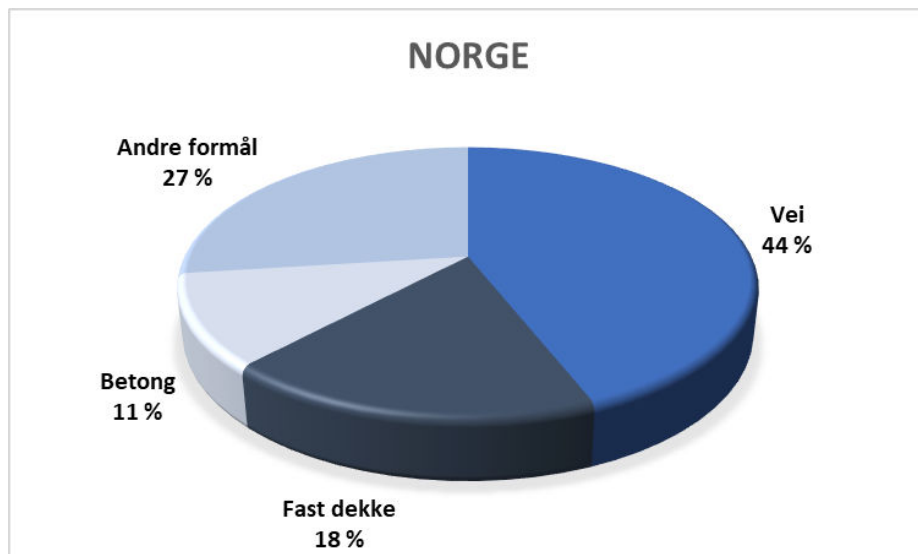
Noen markedsbetraktninger

De største forbrukerne av knust berg i Norge er bygg- og anleggsbransjen. Det ble i henhold til [20] solgt 77 millioner tonn knust berg i 2021, til en gjennomsnittspris på 77,0 kroner per tonn, og med en fordeling mellom bruksområder som gitt i **figur 3.3**.

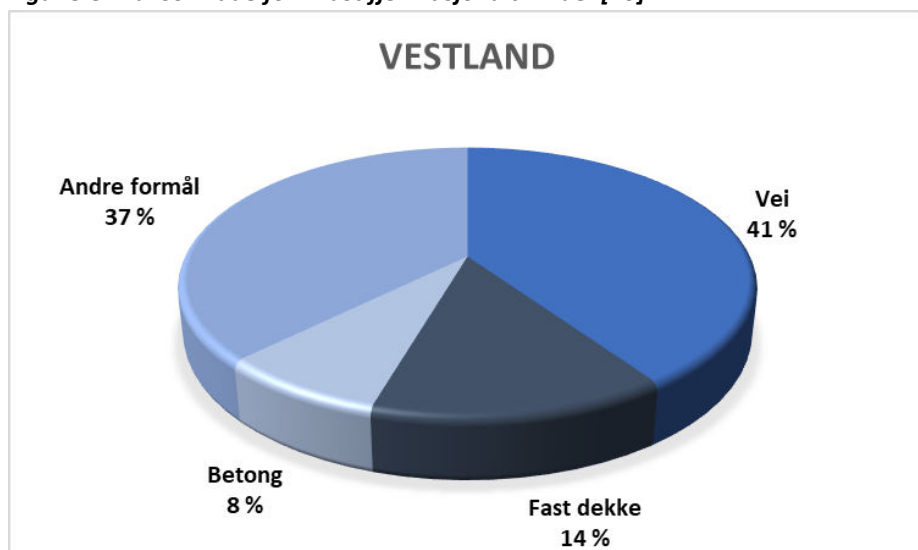
I Vestland fylke var det 79 pukkuttak som solgte til sammen ca. 3,6 Millioner tonn i 2021, og der 63 % gikk på båt, resten bil [20]. Tilsvarende rapporterer Direktoratet for Mineralforvaltning (DFM) et forbruk i fylket samme år på 11 millioner tonn knust stein, med forbruk som skissert i **figur 3.4**. I henhold til DMFs ressursregnskap for byggeråstoff [21 og 22], har Vestland fylke en god ressursituasjon når det gjelder knust berg, med noe mindre levetid på registrerte uttak av sand og grus, som gjengitt i **figur 3.5**. Kartene er basert på tall fra DMFs rapport Levetidsanalyse av byggeråstoff i Norge, hvor data fra uttakens årlige driftsrapportering til DMF ligger til grunn.

På landsbasis eksporteres rundt 30% av solgte tonn byggeråstoff, eller rundt 23 millioner tonn knust berg. Rogaland og Vestland står for 90,8 % av samlet solgte tonn byggeråstoff [20]. Dagens eksport besørges av rundt 25 store pukkverk. Gjennomsnittlig transportavstand til Europa for de ti største norske produsentene er ca. 950 km. Norsk Stein, Jelsa er det største steinbruddet i Europa med ca. 280 sysselsatte og med en årlig produksjon på 10-12 millioner tonn hvor 99 % av produktene eksporteres til Europa [19]. En kommersiell virksomhet basert på gråberget fra Engebøfjellet vil komme i konkurranse med store, veletablerte pukkverk på Vestlandet.

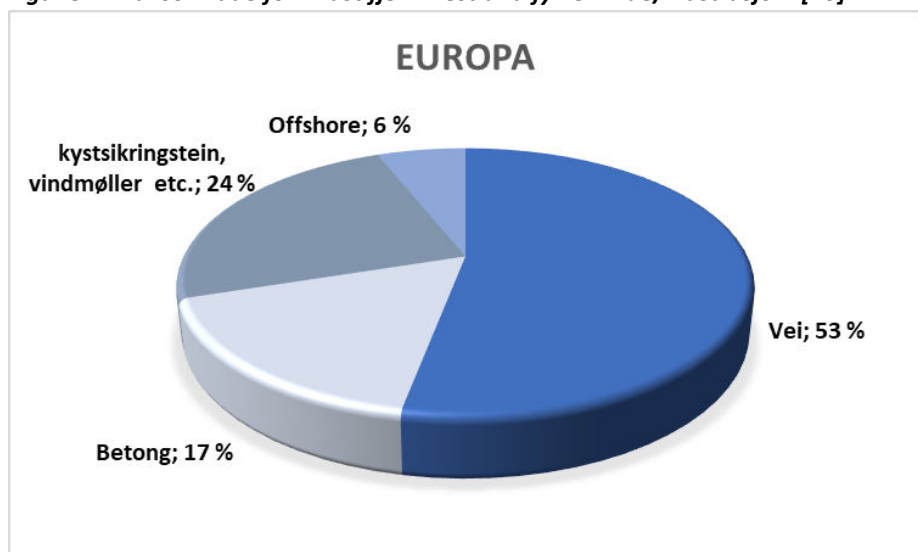
Nærhet til sjø og til store europeiske markeder er generelt et vesentlig konkurransefortrinn spesielt for pukk til byggeråstoff for kystområdene våre, og for virksomheten ved Engebøfjellet. NGU peker i [19] på at økende internasjonal etterspørsel etter byggeråstoffer og skjerpede miljøkrav på kontinentet, kan gjøre Norge til en enda viktigere leverandør av byggeråstoffer til Europa fremover. I henhold til NGU [19] er de viktigste mottakerlandene for norske byggeråstoffer Tyskland, Danmark, Nederland, Storbritannia, Russland, Polen og Baltikum, **figur 3.6**. I henhold til [20] antas at eksporten i hovedsak gjelder byggeråstoff med særskilte krav til kvalitet. NGUs kartlegging fra 2018 [19] fordelte det europeiske forbruket som angitt i **figur 3.7**. De europeiske landene har et forbruk/behov på over 3 milliarder tonn byggeråstoffer [23].



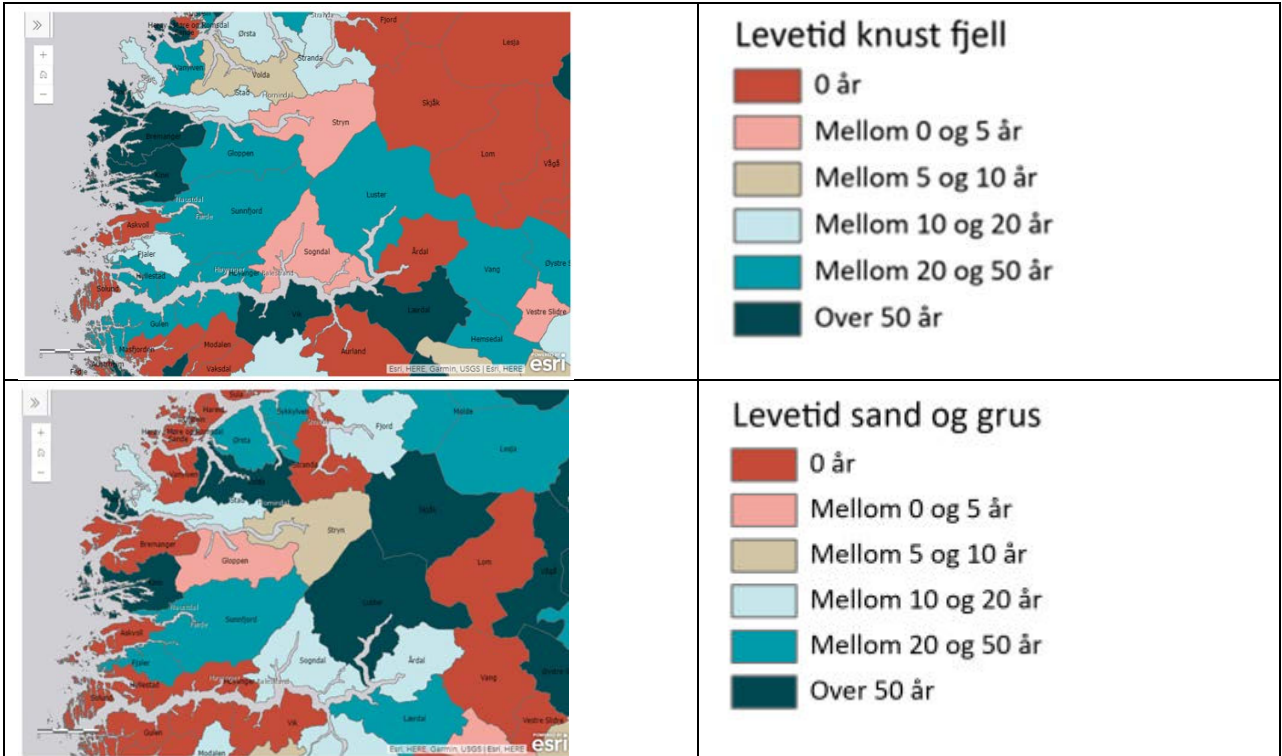
Figur 3.3 Bruksområde for knust fjell nasjonalt. Kilde: [20].



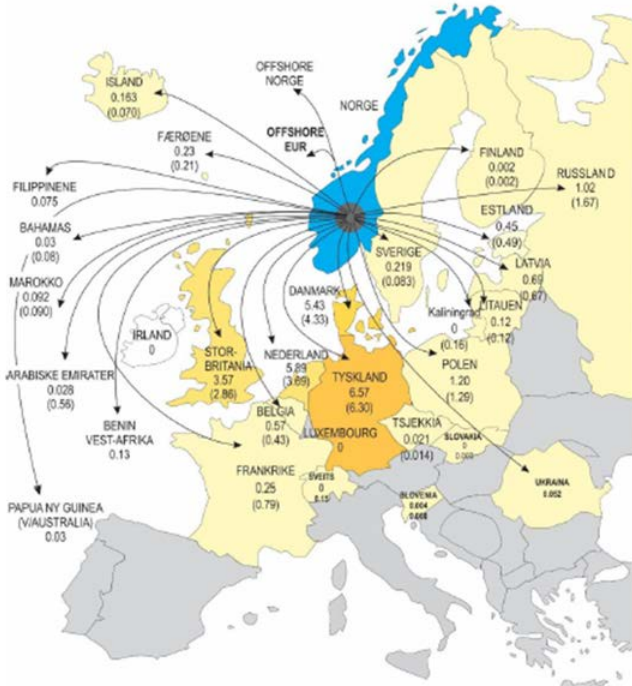
Figur 3.4 Bruksområde for knust fjell i Vestland fylke. Kilde/Illustrasjon: [20].



Figur 3.7 Bruksområde for byggeråstoffer i Europa. Kilde: [19].



Figur 3.5. DMFs levertidskart for henholdsvis knust berg (a) og sand og grus (b), viser hvor mange år hver enkelt kommune vil ha tilgang på egenprodusert knust fjell, sand og grus før de går tom for ressurser [21, 22].



Figur 3.6 Eksport av grus og pukk i millioner tonn til land i Europa og andre land i 2018. Kilde: [19].

Generelt anføres jevn, mekanisk kvalitet, lavt innhold av kvarts, gode friksjonsegenskaper og lav densitet som viktige kriterier NGU legger til grunn med tanke på potensiale til kystnære pukkeforekomster. Videre at bergarter med lav egenvekt vil være spesielt gunstig for sjøtransport, mens tyngre bergarter som eklogitt anses egnet til kystsikringstein/moloer og offshoreanlegg [19].

SINTEF vurderer at gråberget fra Engebøfjellet er potensielt spesielt interessant med tanke på bruk til utbyggingsspesifikke offshoreformål og til bygg- og anleggsformål der høy egenvekt og styrke er fordelaktig. Høy egenvekt kan muligens være et konkurransefortrinn overfor andre, norske leverandører. SINTEF vurderer at det kan ligge et eksportpotensiale til slike formål for gråberget.

Nordic Rutile har angitt samarbeid med fylke/kommune om bruk av gråberg, og knuste fraksjoner om vil kunne bidra til å dekke lokalt/regionalt behov.

3.3.2 Avgang

Avgangen fra prosessanlegget er angitt å ha kornstørrelse opp til ca. 0,45 mm, og forventes som gråberget å ha en høy egenvekt. I **Vedlegg 2, Tabell 2.2** har SINTEF gjort en sammenstilling av alternative anvendelser av slik finfraksjon av bergartsmateriale, med opplysninger om vanlige kornfraksjoner, egenskaper og forhold som er viktige for anvendelsene, aktuelle spesifikasjoner og produktstandarder, der slike finnes.

Gjennomgåtte dokumenter [1-12] mangler opplysninger om kjemisk sammensetning (hovedelementer), partikkelstørrelsesfordeling, partikkelform og tekniske egenskaper som vil være av betydning for alternative anvendelser. I det følgende har SINTEF med forbehold om manglende informasjon indikert og kommentert de forventet mest aktuelle, mulige anvendelses- og markedsmuligheter for avgangsmassene, og pekt på noen fremtidige mulighetsbilder.

- **Fyllmasser til bygg og anlegg**

SINTEF forventer som Nordic Rutile har anført [1], at større mengder avgangsmasse kan anvendes som fyllmasser i anleggsindustrien, men at dette vil ha primært et lokalt eller regionalt marked som følge av transportkostnader.

- **Miljøformål - tildekking av forurenset sjøbunn og til jordforbedring.**

Tildekking av forurensete sjøbunnsedimenter er et tiltak for å redusere risiko for negative miljøeffekter ved å dekke til de forurensete sedimentene med egnede masser for å forhindre spredning og transport av miljøgifter fra sedimentene til omgivelsene. Tiltaksmetoden har blitt benyttet på forurensete sedimenter siden 1970/80-tallet, og den mest vanlige tildekkingsmetoden er å bruke mineralske masser og tildekkingsstykker fra noen få cm og opp til 0,5 m. Tildekkingsarealene varierer fra noen få tusen m² tildekket sjøbunn til ca. 1 km². I Norge har de fleste tildekkingsprosjekter foregått i marint miljø (havner og fjorder). Internasjonalt er en rekke tildekkingsprosjekter også gjennomført i elver og ferskvann. Utenom Norge er de fleste beskrevne tildekkingsprosjektene utført i USA⁷.

Avgangsmassene er vurdert som egnet til tildekking av forurenset sjøbunn av [3], med anbefaling om at det bør tas prøver og vurderinger av reell avgang når produksjonen er igangsatt. SINTEF forstår denne anbefalingen dithen at potensialet for anvendelse er godt, men at testing av reell avgang er viktig for vurderings- og dokumentasjonsformål.

⁷ <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M502/M502.pdf>

SINTEF vurderer at avgangens høye egenvekt kan være fordelaktig i forhold til eklogittens virkning/funksjon som tildekkingsmasse forutsatt tilfredsstillende miljøegenskaper, men at avsetningsmulighetene trolig vil være ujevne til slikt formål.

Miljøformål - Jordforbedring

Steinmel som jordforbedringsmiddel har typisk kornfraksjon < 0,5 mm, og steinmel med friske bruddflater kan gi positive gjødsel- og jordforbedringseffekter, særlig i næringsfattig morenejord, sand- og myrjord. Steinmel frigir næringsstoff i varierende mengde, avhengig av mineralsammensetningen og finmalingsgraden, samt surhetsgraden (pH) i jorda.

Steinmel av silikatbergarter brukes først og fremst fordi en ønsker å forbedre jordas fruktbarhet, men blir i økologisk landbruk også brukt i andre sammenhenger⁸. Tilførsel av steinmel av lett nedbrytbare silikatbergarter som gabbro og basalt rapporteres kan øke tilgjengeligheten av silisium betydelig i myrjord, men at effekten er usikker i norsk mineraljord. Oppførselen til avgang av eklogitt i forhold til gabbro og basalt er ukjent for SINTEF, men det kan forventes en lavere nedbrytbarhet av eklogitt.

På grunn av transportkostnader er det mest aktuelt å bruke steinmel der det er tilgang på båttransport langs kysten, eller der egnet steinmel er tilgjengelig fra lokale pukkverk, og at på grunn av energikostnadene ved å knuse stein ned til steinmel er det mest aktuelt å bruke avgang (steinstøv) fra eksisterende pukkverk⁹. Avgang fra prosessanlegg, eventuelt finstoff fra et knuseverk knyttet til utvinningsvirksomheten på Engebøfjellet vil ha relative fortrinn i forhold til dette. SINTEF anser ikke at dette bruksområdet vil ha stort markedspotensial, men muligens kunne finne noe avsetning lokalt.

Fint tilslag eller fyllstoff i betong og asfalt

Avgangsmateriale fra Engebøfjellet forventes å møte kravene i henhold til gjeldende standarder til bruk som fint tilslag eller fyllstoff i betong og asfalt [4]. SINTEF forventer at det er mulig å tilsette eklogitt som fyllstoff (<5% av sementmengde) i betong, men at bruksområdet vil være relativt lite siden andre lett tilgjengelige, inerte materialer, som kalkstein, har vist bedre egenskaper til fasthetsutvikling i betong.

Delvis sementerstatning

En gjennomført test på hydraulisk/pozzolansk aktivitet (R^3 -test iht. ASTM C1897-20) og mørteltest viste at eklogitten ikke er reaktiv, altså fungerer som et inert materiale ved en pH som er vanlig for poreløsning i sementbaserte byggematerialer [4]. Dette betyr at eklogitten ikke er egnet til bruk som delvis sementerstatning da den ikke vil gi noen bidrag til styrkeutvikling.

3.3.2.1 Nye markedsmuligheter for avgang – Noen betraktninger

SINTEF erfarer at forskningsaktiviteten rundt bærekraftig mineralutvinning og optimal råstoffutnyttelse og alternativ anvendelse av restmasser fra mineral- og prosessindustri er i fokus internasjonalt, og at dette er styrt både av økt etterspørsel etter kritiske råmaterialer til bruk i grønn teknologi, og økt behov for tiltak i forhold til verdens klimakrise og bærekraftsbehov. Råvareforsyning og bærekraftig mineralutvinning står høyere enn noensinne på den politiske agendaen. I mars 2023 la EU-kommisjonen frem sin Critical Raw Materials Act¹⁰ (CRMA) som skal styrke bærekraftig mineralproduksjon og øke EUs selvforsyning. Tilgang av kritiske råmaterialer kan sikres gjennom både primære (gruvedrift) og sekundære (avfall) kilder. Gjennom CRMA vil EU-kommisjonen redusere trykket på primære ressurser ved å styrke opptaket av resirkulerte materialer i nye produkter, og det økte behovet for en rekke metaller og mineraler i det

⁸ <https://www.agropub.no/fagartikler/steinmjol>

⁹ <https://www.agropub.no/fagartikler/steinmjol>

¹⁰ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1661

grønne skiftet har økt interessen for kartlegging av avgangsmasser og alternative anvendelser. CRMA skal også styrke forskning- og utvikling, innovasjon og kompetanse. Horizon Europe har pågående flere programmer og utlysninger mot bergindustri og spesielt mot kritiske råmaterialer, bærekraft, sirkulærøkonomi og resirkulering. SINTEF er med i flere Europeiske prosjekter blant annet rettet mot utnyttelse av overskuddsmasser fra mineral- og prosess industri (f.eks. ^{11,12,13,14,15,16}).

Det globale bildet gjenspeiles nasjonalt. Gjennom den nye Mineralstrategien¹⁷, som ble lagt frem 21. juni i år, er Regjeringens overordnede ambisjon at Norge skal utvikle verdens mest bærekraftige mineralnæring. Strategien fremhever fem satsingsområder for en fremtidsrettet mineralpolitikk, blant annet at norsk mineralnæring skal bidra til den sirkulære økonomien og bli mer bærekraftig. En uttalt forutsetning for dette er at omfanget av overskuddsmasser minimeres innenfor rammen av hva som er mulig ifølge mineralstrategien. SINTEF erfarer at norsk bergindustri har fokus på dette, blant annet gjennom å ha tatt i bruk det canadiske bransjesystemet for bærekraftig mineralutvinning "Towards Sustainable Mining" (TSM)^{18,19}. Basert på dagens kunnskapsgrunnlag, så anser SINTEF at det er nødvendig med en økt, nasjonal FoU-innsats i de kommende årene for at Norge skal kunne bli ledende på bærekraftig utvinning. Mineralstrategien peker også på dette; "Den norske forskningsporteføljen innenfor tradisjonell mineralindustri er relativt liten i dag. Forskningsrådet har noen relevante ordninger, men mineralprosjekter er svakt representert i Forskningsrådets portefølje...". SINTEF er kjent med, og er selv partner i noen nasjonale prosjekter rettet mot anvendelse av restmasser fra anleggs-, mineral- og prosessindustri (f.eks. ^{20,21,22}), og ser muligheter som økt, nasjonal aktivitet på dette området kan gi i kommende år.

I det følgende presenteres to områder som SINTEF forventer vil få økt forsknings- og industrioppmerksomhet i fremover.

Geopolymer

SINTEF vurderer at det kan være en mulighet for at eklogitt fr Engebøfjellet kan brukes som utgangsmaterial i alkali-aktiverte bindemidler, også kalt geopolymer. Dette er sementfrie bindemidler der et finmalt material blir løst opp i en høyalkalisk veske (KOH, NaOH etc.), ofte med pH mellom 14-15, for så å danne en amorf (polymer) fast struktur under herdeprosessen. Om et material er egnet er hovedsakelig avhengig av SiO₂ og Al₂O₃ innhold og hvor lett løselig komponentene er.

Nasjonalt har firma Saferock AS²³ lagt ned stor innsats i dette området. For tiden jobber selskapet med å lage en geopolymer betong basert på norittavgang fra Titania²⁴. SINTEF tolker av [1] at Nordic Rutile har etablert kontakt med Saferock. Løsningen til Saferock bygger på en idé og patent som er utviklet av

¹¹ Carbon4minerals (<https://www.carbon4minerals.eu/>)

¹² DINAMINE (<https://cordis.europa.eu/project/id/101091541>),

¹³ REPRODUCE (<https://cordis.europa.eu/project/id/101091541>)

¹⁴ HARARE (<https://h2020harare.eu/>)

¹⁵ DIG_IT (<https://cordis.europa.eu/project/id/869529>)

¹⁶ RESOURCE (<https://cordis.europa.eu/project/id/101058310>)

¹⁷ <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/norges-mineralstrategi/id2986278/?ch=4>

¹⁸ <https://tsminitiative.com/>

¹⁹ <https://www.norskbergindustri.no/nyheter2/2021/gledelig-tilskudd-til-tsm/>

²⁰ Slag2Value (<https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/310153>)

²¹ ZeroCarbCon (<https://www.sintef.no/prosjekter/2022/zerocarbcon/>)

²² Sirkulær masseforvaltning (<https://feiring.no/aktuelt/masseforvaltning/>)

²³ <https://saferock.no/>

²⁴ <https://doi.org/10.1155/2017/6849139>

Mahmoud Khalifeh og Helge Hodne gjennom doktorgradsarbeide og PhD-avhandling fra 2016²⁵. Oljebransjens behov for bedre materialer innen brønnplugging var et viktig startpunkt, og sammen med industripartnere er det blitt gjennomført forskning for å utvikle en brønnsement som skal tette oljebrønner²⁶. Saferock AS har søkt om etablering av pilotanlegg for produksjon av geopolymer hos Velde Industri AS, Sandnes kommune. Enova har gitt økonomisk støtte til pilotanlegget²⁷. Anlegget vil bestå av en mølle til nedmaling av avgangsmasser/steinmasser og lagringsfasiliteter. Produktet vil være geopolymerpulver som blandes med en aktivator og tilslag for å lage geopolymerbetong. Blanding av geopolymerpulver, aktivator og tilslag vil foregå i Veldes eksisterende betongblander. Hovedingrediensen i geopolymerpulver vil være avgangs-masser fra Titania²⁸. Ved full drift vil anlegget produsere opptil 17 tonn geopolymerbetong per dag. Saferock forventer at geopolymer vil være litt dyrere enn tradisjonell sement, men selskapet mener at geopolymerbetong vil ha 70-80 % lavere CO₂-utslipp sammenlignet med betong med ordinær portlandsement. Produktkvaliteten skal testes ut i samarbeid med Universitetet i Stavanger, og Saferock har pågående et innovasjonsprosjekt med støtte fra Forskningsrådet²⁹. Ambisjonen for Saferock er at teknologien skal kunne bli egnet for utstrakt, internasjonal bruk i bygg- og anleggsindustrien³⁰.

Kjemisk sammensetning av noritt (hovedmineraler pyroksen (hypersten) og plagioklas) og ferro-eklogitten fra Nordic Rutile AS er relativ lik, se **tabell 3.1**. Hvis Saferock lykkes med å aktivere noritt er det gode muligheter for at det kan lykkes med eklogitt også. SINTEF vurderer at for aktivering er det sannsynlig at materialet må nedmales til en d₉₀ på minst 50 µm. Geopolymer av eklogitt er interessant for selve utvinningsaktiviteten ved Engebøfjellet, og hvorvidt man kan finne egnethet for avgangen som sementerstatning i tilbakefyllingssammenheng.

Internasjonalt pågår forskningsaktivitet på dette området. I en forskningsartikkel fra 2022 gis en oppsummering av "State of the art of geopolymers". Artikkelen lister opp flere bruksmuligheter for geopolymerer, blant annet termiske isolasjonsmaterialer, støpeformer, overflatebehandling før å øke styrke, og som sementerstatning i betong. Det pekes på at det er primært innen sistnevnte at det har vært noe kommersiell produksjon/anvendelse. Artikkelen konkluderer med at geopolymerer har et stort potensial som erstatning for f.eks. tradisjonell betongteknologi, men at det nødvendig med videre forskning for å bestemme gjennomførbarhet i industriell skala, samt at flere pilotanlegg er nødvendig for å utvikle flere anvendelser for geopolymerer basert på gruveavgang og andre kilder for aluminosilikater. Teorien rundt geopolymerer er vel kjent, men for gruveavgang er det spesielt forskning og studier rundt aktiveringsprosesser, miljøfotavtrykk etc. for høykrystalline avgangsmasser som trengs videre fokus. SINTEF vurderer det som sannsynlig at det vil komme flere forskningsresultater og kommersielle løsninger på dette området i de kommende år.

Tabell 3.1 Hovedelementer i noritt fra Titania [24] og malm (ferro-eklogitt) fra Engebøfjellet [3].

Vekt %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
Noritt -Titania	45-49	14-16	12-18	8-10	6-8	0-1	2-3	1-4
Ferro-Eklogitt Engebøfjellet (malm)	45	11	18	10	6	0	2	4

²⁵ https://uis.brage.unit.no/uis-xmllui/bitstream/handle/11250/2396282/Khalifeh_Mahmoud.pdf?sequence=1&isAllowed=y

²⁶ <https://www.uis.no/nb/forskning/saferock-hvordan-endre-betongindustrien>

²⁷ <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/115-millioner-til-saferock-enova-stotter-nytt-pilotanlegg-for-produksjon-av-mer-klimavennlig-betong?publisherId=17848299&releaseId=17941974>

²⁸ <https://www.statsforvalteren.no/rogaland/hoyringar/2022/09/soknad-midlertidig-tillatelse-pilotanlegg-for-produksjon-geopolymer--saferock-as/>

²⁹ Geopolymer Concrete Based on Mining Residues. 2021-2023. <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/321486>

³⁰ <https://www.mn.uio.no/geo/forskning/aktuelt/aktuelle-saker/2015/pgp-olivin-drivhusgass.html>

Karbonmineralisering (Carbon mineralization)³¹

I henhold til FNs klimapanel, må en betydelig mengde karbondioksid (CO₂) fjernes fra atmosfæren for at verden skal kunne nå sine klimamål. Forvitring av stein og mineraler er en naturlig prosess i kontakt med fukt og CO₂ fra luft som skjer over millioner av år. I de siste årene har det blitt fornyet fokus på å akselerere denne prosessen og bruke det til permanent lagring av CO₂ i mineraler. Mineraler med høyt innhold av CaO og eller MgO kan brukes til å reagere med CO₂ (enten direkte fanget fra luft eller som avgass fra andre industrier) til å danne karbonatmineralene kalsitt eller magnesitt. NGU har inkludert eklogitt som en av flere potensielt egnete norske bergartstyper for dette formålet³².

Tematikken med CO-fjerning ved karbonmineralisering, der CO₂ bindes til mineraler og danner karbonater, er lovende, men har internasjonalt og nasjonalt blitt viet mindre forskningsoppmerksomhet enn andre former for karbonlagring. I henhold til World Resources Institute³³, og et oppslag i juni 2023³⁴, representerer karbonmineralisering et betydelig potensial for CO₂-fjerning i de kommende tiår. Forskere ved ICEP (Innovation for Cool Earth Forum)³⁵, estimerer at ved en sterk, global politisk forankring og støtte, så vil karbonmineraliseringsprosesser kunne fjerne 1 milliard tonn CO₂ pr. år fra atmosfæren innen 2035 og 10 milliarder tonn CO₂ pr. år innen 2050. Til sammenlikning var det globale utslippet av CO₂ på 37,5 milliarder tonn i 2022³⁶. I begge forskingsmiljøene pekes imidlertid på at det er nødvendig med mer forskning og uttesting for å adressere usikkerheter og risiko, og for å optimalisere og monitorere prosessene med tanke på effektivitet og miljømessige forhold.

ICEP peker videre på at karbonmineralisering tilknyttet gruvevirksomhet og avgang (ultramafisk) er spesielt interessant globalt på grunn av at dette er en av få industrier som utvinner og deponerer relevante avgangsmasser i størrelsesorden milliarder tonn/år, at avgangen krever minimalt med energi til prosessering (allerede nedmalt) og at visse typer avgang vil generere vannløsninger som er effektiv med tanke på å løse opp CO₂ fra lufta. Det refereres til at karbonmineralisering vies oppmerksomhet globalt av flere gruveselskap som et mulig virkemiddel i å nå egne klimaambisjoner, at gjennomført forskning og uttesting er på TRL-nivå på 6-7, og at det er nødvendig med videre studier av flere forhold. SINTEF vurderer det som sannsynlig at det vil komme flere forskningsresultater på dette området i de kommende år.

Aktiviteter i tilknytning til havbunnsmineraler

Havbunnsmineralloven trådte i kraft 1. juli 2019, og våren 2020 ble det igangsatt en åpningsprosess for mineralvirksomhet på deler av norsk kontinentalsokkel. Forslag til konsekvensutredningsprogram ble sendt på høring i januar 2021 og fastsatt i september samme år. I juni 2023 ble det lagt frem en stortingsmelding om åpning av område på norsk kontinentalsokkel for mineralvirksomhet og strategi for forvaltning av havbunnsmineralressursene [25]. Hvorvidt slik virksomhet vil gi behov for inerte masser for tildekking av sjøbunn etter malmuttak eller liknende er et åpent spørsmål.

³¹ <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2019.00009/full>

³² <https://geo365.no/ny-norsk-milliardindustri-med-bruk-av-co2/>

³³ <https://www.wri.org/>

³⁴ "5 things to know about Carbon Mineralization As a Carbon Removal Strategy", <https://www.wri.org/insights/carbon-mineralization-carbon-removal>

³⁵ "World Carbon Mineralization Roadmap", https://www.icef.go.jp/pdf/summary/roadmap/icef2021_roadmap.pdf

³⁶ <https://energiogklima.no/klimavakten/global-utslipp/>

4 Konklusjon

SINTEF AS, representert ved forskningsinstituttet SINTEF Community, har gjennomført en uavhengig vurdering av spørsmål stilt av SINTEFs oppdragsgivere tilknyttet tilbakefylling og anvendelse av avgangsmasser fra planlagt mineralutvinning av Nordic Rutile AS i Engebøfjellet, Vestland. SINTEF's mandat dekker følgende problemstillinger og spørsmål:

Problemstilling 1: Infrastruktur og driftsopplegg ved underjordsdrift

- Nordic Rutile skisserer «paste back fill», dvs. innblanding av avgangsmasse i betong. Er dette teknisk nødvendig, eller fins det andre alternativer (for eksempel tilbakefylling av ren jordvåt avgangsmasse)?
- Nordic Rutile skisserer at våt avgangsmasse pumpes opp til tilbakefyllingsanlegg over gruverom, avvanning og tilsetting av sement, før pumping ned i gruverom. Er dette en nødvendig og kostnadseffektiv løsning, eller fins det andre tilstrekkelige og rimeligere løsninger?
- Dersom en løsning med tilbakefylling av jordvåt avgangsmasse er et alternativ – vil dette gi mulighet til tilbakefylling av større eller mindre mengder enn skissert av Nordic Rutile? Anslag?
- Hvor mye mindre malm kan tas ut ved tilbakefylling med jordvåt masse vs. paste (ref. behovet for bergstøtter)?

Problemstilling 2: Aktuelle markeder for Nordic Rutiles avgangsmasser

Nordic Rutile planlegger å utvinne rutil og granat fra eklogittmalm fra Engebø. Eklogittavgang er restmasser fra prosessen hvor mineralene rutil og granat er fjernet ved oppredning.

- SINTEF bes angi mulige markeder for avsetting av Nordic Rutiles avgangsmasser.

SINTEFs vurdering er basert på et utvalg dokumenter og rapporter som er gjort tilgjengelig fra oppdragsgiver. Oppdraget har bestått i å gå gjennom dokumenter gitt i referanseliste, gjennomføre møter, analysere spørsmål basert på SINTEFs kunnskap og erfaring og fremsette SINTEFs funn, kommentarer og konklusjoner i foreliggende, åpne SINTEF-rapport. SINTEFs arbeid er gjennomført av en intern prosjektgruppe med forskere fra SINTEF Community.

SINTEF tar ikke ansvar for opplysninger, vurderinger og resultater gitt i dokumenter forfattet av andre. SINTEF reserverer seg i forhold til om det skulle foreligge dokumenter som SINTEF burde ha hatt tilgang til, men ikke har fått tilgang til, for å vurdere gitt tema, problemstillinger og spørsmål.

Innledningsvis i rapporten er gitt et oppsummeringskapittel, og i Kap. 2 (Tilbakefylling av avgang) og i Kap. 3 (Alternativ anvendelse av avgang) er SINTEFs hovedinnspill til oppdragets problemstillinger oppsummert og beskrevet i detalj. En kortfattet oppsummering er gitt i det følgende.

Tilbakefylling av avgang

SINTEF vurderer at tilbakefylling med sementert avgang er en av flere, tekniske løsninger for avgangstilbakeføring i bergrom. Tilbakefylling av avgang uten sement, vil ved en underjordsdrift fra topp til bunn kreve at pilarene i de nedre nivåene må være større enn ovenforliggende pilarer for å sikre stabilitet. Dette kan etter SINTEFs vurdering føre til strosse- eller pilarstørrelser som ikke gjør utvinningen teknisk gjennomførbart. SINTEF vurderer at også andre mulige tilnærminger enn CPB og PF kan vurderes, inklusive bruk av stabilisatorer (alternativ til sement), tilbakeføring av avgang i pastaform og undersøkelser av lokale geologiske forhold. Utvinning uten tilbakefylling og bruk av paste fill (PF) gir en samlet utvinning på 27,4 millioner tonn malm, mens tilbakefylling med bruk av sementert back fill (CPB) tillater utvinning av 33,3 millioner tonn malm. PF har begrensninger på grunn av lavere styrke og stabilitet sammenlignet med CPB.

Anvendelse av avgang

SINTEF vurderer at høy egenvekt og nærhet til sjø og til europeiske markeder kan være konkurransefortrinn for gråberg og avgang. Avgangen bør ha avsetningsmuligheter lokalt som fyllmasse til bygg og anlegg, og som tildekkingsmasse over forurenset sjøbunn i spesifikke prosjekter. Massen forventes å møte krav til bruk som fint tilslag og fyllstoff i betong og asfalt, men trolig med lavt markedspotensialet pga. konkurrerende masser. Rapporten peker på geopolymere og karbonmineralisering som to mulige, nye og fremtidige markedsmuligheter for avgang.

SINTEF vurderer at gråberg bør være interessant for utbyggingsspesifikke offshore-formål og til bygg- og anleggsformål der høy egenvekt og styrke er fordelaktig. Det kan være et eksportpotensiale til slike formål.

5 Kilder og referanser

5.1 Kildeliste over rapporter og dokumenter for SINTEFs oppdrag

- [1] Nordic Mining ASA (2023): ENG-002-001-003: Avfallshandteringsplan. Engebø Rutile and garnet, Nordic Mining, 2023-03-26, (116 s).
- [2] Hatch (2023): Underground – Only Mining Backfill Evaluation, (48 s).
- [3] Biologge (2010): Vurdering av eklogittavgang som tildekkingsmasse over forurensede sedimenter. Rapport B08-12-02/1, versjon 2, (15 s).
- [4] SINTEF (2021): Analysis of AMR tailings. Potential as fine aggregate or filler in construction applications. Report 2021:00663- Restricted, (32 s).
- [5] Asplan Viak (2021): Engebøfjell landdeponi, (10 s).
- [6] Asplan Viak (2022a): Waste Rock Deposit, (21 s).
- [7] Hatch (2023): Engebø Rutile and Garnet. Updated Definitive Feasibility Study. Executive Summary , (60 s).
- [8] Miljødirektoratet (2021): Utslippstillatelse. Revidert utslippstillatelse til gruvevirksomhet i Engebøfjell. 2021-01-18, (7s).
- [9] Miljødirektoratet (2021): Utslippstillatelse. Vilårsdel. Revidert utslippstillatelse til gruvevirksomhet i Engebøfjell. 2021-01-18, (22s).
- [10] Miljødirektoratet (2023): Godkjenning av avfallshandteringsplan og vedtak om revidert tillatelse. 2023-06-23, (5s).
- [11] Miljødirektoratet (2023): Tillatelse til virksomhet etter forurensingsloven. Tillatelse sist endret: 2023-06-23, (19s).
- [12] Nordic Rutile AS (2023): Tilleggsinformasjon vedrørende det totale ressursgrunnlaget for Engebøfjell. Brev signet av Kenneth Nakken Angedal, Operations Director (ikke datert), (3 s).

5.2 Andre referanser

- [13] Aasly, K.A., Margreth, A., Erichsen, E., Rise, T., Alnæs, L. (2019): Forundersøkelser og bruk av kortreist stein. En geologisk veileder. SINTEF Fag 62, ISBN: 978-82-536-1645-2, (27 s).
- [14] T Rise, T., Alnæs, L., Rambæk, I. (2019): Kortreist stein. Oppnådde resultater (2016–2019). ISBN 978-82-536-1643-8, (33s).
- [15] Statens vegvesen / Vegdirektoratet, «Håndbok R210. Laboratoriemetoder» 2016
<https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r210-laboratorieundersokelser-2016.pdf>
- [16] 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). www.mineralproduksjon.no

- [17] Rise, T., Simoni, M.U., Margreth, A. Hausmann, F., Gjerde, T.M., Håkonsen, J.G, Rudberg, E. (2022): Sirkulær masseforvaltning. Materialstrømsanalyse av overskuddsmasser fra bygg- og anleggsnæringen. SINTEF Fag 94. ISBN 978-82-536-1769-5 (pdf)
- [18] BaneNOR (2017): Ballastveileder for BaneNOR. Versjon 1.0: Roar Nåsund, 10. mai 2017
https://proing.banenor.no/wiki/veiledere/ballast_entreprenor.
- [19] NGU (2019): Rapport nr.: Kystnær kartlegging av bergarter som ressurs for byggeråstoffer i Norge og eksport til Europa. NGU-rapport 2019.021. ISSN: 0800-3416 (trykt). ISSN: 2387-3515 (online), (22s).
- [20] Direktoratet for mineralforvaltning (2021): Mineralstatistikk 2021. Harde fakta om mineralnæringen 2021, (64 s).
- [21] Direktoratet for mineralforvaltning (2022): Ressursregnskap for byggeråstoffer.
<https://www.dirmin.no/tema/ressursforvaltning/dmfs-ressursregnskap-byggerastoff/vestland>.
- [22] Direktoratet for mineralforvaltning (2022): Levetidskart for byggeråstoffer.
<https://www.dirmin.no/tema/ressursforvaltning/levetidskart-byggerastoff>.
- [23] Aggregates Europe – UEPG (2023): Biodiversity, monitoring with available resources. Innlegg ved Bergindustridagene, 17.-19. April, 2023, Norsk Bergindustri.
- [24] Khalifeh, M. (2017): Development and Characterization of Norite-Based Cementitious Binder from an Ilmenite Mine Waste Stream. Alternative Cementitious Materials and Their Composites. Volume 2017 | Article ID 6849139 | <https://doi.org/10.1155/2017/6849139>
- [25] Olje- og energidepartementet (2023): Mineralverksemd på norsk kontinentalsokkel – opning av areal og strategi for forvaltning av ressursane. Meld. St. 25 (2022–2023), (82 s).
- [26] Trinh, N., Macias, J., Holmøy, K.H. (2017): Engebøfjellet Mine – Numerical model for underground stopes- Stress study. SINTEF-rapport SBF2017F0109, (16 s).
- [27] Statens vegvesen / Vegdirektoratet, «Håndbok R672 Prosesskode 2 Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier,» 2018. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r762-prosesskode-2-05072018.pdf>
- [28] Norsk betongforening, «Publikasjon 21: Bestandig betong med alkalireaktivt tilslag,» 2017.
<https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/21-b Bestandig-betong-alkalireaktivt-tilslag-2004-gratis-nedlasting-vedlegg-c-addendum-klikk/>.
- [29] Norsk betongforening, «Publikasjon nr. 7: Sprøytebetong til bergsikring,» 2011.
<https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/07-sproytebetong-bergsikring-2022/>
- [30] Statens vegvesen (2022): N200 Vegbygging.
<https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n200/>
- [31] BaneNOR (2022): Overbygning/Prosjektering/Ballast.
<https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Ballast>
- [32] Klima- og miljødepartementet (2004): Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften). Vedlegg 1. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_1-2-1#KAPITTEL_1-2-1.

Tonnasjemengder for malm, avgang og gråberg
SINTEFs forståelse for de ulike løsningene for dagbrudds- og underjordsdrift
som fremkommer av [1] og [2].

OP: Dagbrudd, UG: Underjordsdrift, OP2: Midlertidig lagring i dagbruddsdeponi.

Tabell 1.1 – Grunnlagsdata anvendt av SINTEF basert på opplysninger i [1] og [2].

UG/OP					Backfill		Non-backfill		Backfill		Non-backfill	
					UG/OP	Non-backfill	UG/OP	Non-backfill	UG Only	UG/OP	UG/OP	Non-backfill
Paste backfill density	2.06 [t/m³]	OP total ore extracted	29.7	29.7 [Mt]	UG backfill	-	0.3 [M US\$]	Stope width	20 [m]	WASTE		
Average fill volume	403 000.00 [m³/year]	OP total tailings	25.1	25.1 [Mt]	OP + UG non-backfill	491.0	[M US\$]	Stope length	20 [m]	UG	3 141 420	1 759 766
Peak fill volume	435 000.00 [m³/year]	UG total ore extracted	33.3	27.4 [Mt]	UG Cost	15.5	[US\$/t]	Stope height	40 [m]	Non-backfill	-	18 895 000
Fill factor	99.00 [%]	OP total tailings	25.2	25.3 [Mt]				Stope volume	16 000 [m³]	UG	3 141 420	20 654 766
Backfill tailings	72.00 [%]	TOTAL ore OP + UG	63.0	77.1 [Mt]	20.4			Stope tonnage	56 000 [t]	ORE	-	20 346 212
Cement fraction	6.00 [%]	TOTAL tailings OP + UG	53.3	48.4 [Mt]	17.2	augensmasse feiste 15.8t				UG	59 555 739	33 250 000
Backfill proportion	46.00 [%]	UG Backfill capacity	13.1	13.8 [Mt]	1.15			Pillar width	10 [m]	UG	16 958 783	9 500 000
Fjord deposit proportion	54.00 [%]	TOTAL Backfill capacity	13.6	13.6 [Mt]				Sill pillar height	10 [m]	OP	-	29 651 000
		UG Backfill proportion	26.7	23.4 [Mt]						UG	-	8 985 152
Ore density	3.50 [t/m³]	Backfill Proportion UG	51	46 [%]						Non-backfill	59 555 739	62 905 000
Waste Density	3.10 [t/m³]	Backfill Proportion OP	54	54 [%]						TOTAL	16 958 783	18 485 152
Volumetric conversion	0.60									Backfill	-	16 819 437
Bulk cement density	1.44 [t/m³]	Volume	9.37	7.72						UG	15 719 497	6 359 223
		With fill factor	8.90	7.34						OP	-	8 955 550
		Tailings	6.41	5.76 [m³]						Non-backfill	10 719 497	15 719 497
			13.20	11.87 [t]						TOTAL backfill	15 719 497	34 739 737
										NET BACKFILL CAPACITY	-	14 399 737
Tailings	1 000.00 [kg]	Life of OP Mine	15	15 [year]						UG	11 599 807	6 488 000
Cement	60.00 [kg]	Life of UG Mine	24	19 [year]						OP	23 895 603	13 385 880
Water	230.00 [kg]	Stockpile phase	6	6 [year]						Non-backfill	-	11 958 724
		Life of Mine	45	40 [year]						UG	-	6 447 996
Cement	41.67 [m³]	Rutile production	35	35 [t/year]						OP	-	6 447 996
Equivalent in Tailings	85.83 [t]	Garnet production	180	180 [t/year]						Non-backfill	35 282 873	13 282 873
										TOTAL backfill capacity	11 599 807	12 945 996
Tailings	805.83	29 %								UG	11 599 807	12 253 203
Water	220.00	21 %								Non-backfill	23 895 603	25 441 595
	1 025.83	Increase in tonnage	5.83 [Mt]							Backfill proportion	-	24 [%]
		Capital cost backfill plant	47.20 [M US\$]							UG	-	58.83 [Mt]
		Operating cost backfill	8.05 [US\$/t]							OP	-	47.20 [M US\$]
			16.66 [US\$/t]							Non-backfill	-	8.05 [US\$/t]

Tabell 1.2 Oppsummering av tonnasetall for gråberg og avgang basert på opplysninger i [1] og [2].

Kombinert dagbruddsdrift og underjordsdrift med tilbakefylling (PF)	
År	39 (15 OP +18 UG +6 OP2)
Avgang [Mt]	48,6 (25,3 OP + 23,3 UG)
Avgang potensielt tilbakefylt [Mt]	25,4 (11,8 UG + 13,6 OP)
Avgang planlagt til sjødeponi/ alternativ anvendelse [Mt]	22,9
Avgang - Gjennomsnittlig, årlig massetilgang [Mt/år] * Regnet over angitt levetid for dagbrudd (15 år), dvs. før tilgang til strosserom for mulig tilbakefylling, og avgangsmengde 17,2 [Mt] (tilsvarer samme forhold som "OP total ore extracted" og "OP total tailings" gitt i tabellen over).	1,15 *
Gråberg [Mt]	19,68 (18.9+0,78)
Gråberg planlagt til landdeponi/ alternativ anvendelse [Mt]	19,68
Fordeling mellom gråbergslitologiene [Mt]	
Leuco-eklogitt (87,5 %)	Ca. 17,2
Ambifolitt (10,5 %)	Ca. 2,1
Gneis (1,5 %)	Ca. 0,3
Alternerende (0,5 %)	Ca. 0,1
Gråberg - Gjennomsnittlig, årlig massetilgang [Mt/år] ** Regnet over angitt levertid for dagbrudd (15 år) og gråbergsmengde 18,9 [Mt]	1,26**

Restmasser – Materialer og materialkvaliteter

Tabell 2.1 Oppsummering av mineralogiske og kjemiske data for gråberg. Data hentet fra [1] og [3]

	Leucoeklogitt	Amfibolitt	"Alternerende"	Gneis	
Gjennomsnittlig kornstørrelse bergartsmineraler	< 0,5 mm	< 2 mm	< 0,5 mm	< 10 mm	
Hovedmineraler					
Mengdefordeling ikke angitt i gjennomgåtte oppdragsdokumenter [1-12]	Pyroksen Granat, Amfibol Kvarts Glimmer Rutil Karbonat	Amfibol Glimmer Feltspat Karbonat	Pyroksen Kvarts Granat Glimmer Amfibol	Kvarts Feltspat Glimmer	
Spormineraler/aksessoriske mineraler (< 1 vekt%)					
Mineraler eller mengdefordeling ikke angitt i gjennomgåtte oppdragsdokumenter [1-12]					
Hovedelementer (%)					
SiO2	49	50	56	73	
Fe2O3	12	11	9	3	
Al2O3	16	10	15	13	
CaO	8	10	6	2	
MgO	8	11	6	1	
Na2O	3	2	3	2	
TiO2	1	1	1	0	
K2O	1	1	1	3	
SO3	0,4	0,4	0,3	0,0	
Sporelementer/Tungmetaller (mg/kg) (Tabell 21, side 63 i [1])					
NPR (Nøytraliserende potensiale forhold)	>3	6,4	6,0	7,3	674,7
Arsen (As)	8	1,3	1,7	1,2	0,7
Kadmium (Cd)	1,5	0,1	0,2	0,1	0,1
Krom tot (Cr)	50	109	509	64	28
Krom Cr (6+)	2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Kobber (Cu)	100	47	81	41	22
Nikkel (Ni)	60	104	203	54	14
Bly (Pb)	60	7,4	6,9	14,4	21,1
Sink (Zn)	200	113	117	84	55
Kvikksølv (Hg)	1	0,01	0,01	-	-

Tabell 2.2 Oppsummering av tekniske egenskaper til gråberg. Data hentet fra [1] og [26].

Bergartsegenskaper	Leuco-eklogitt	Amfibolitt	"Alternerende"	Gneis
Densitet (g/cm ³)	3,2	3,2	3,0	2,8
Enaksiell trykkfasthet (MPa) [26]	158*	-		
E-modul (GPa) [26]	119*	-		74
Poissons forhold [26]	0,16*	-		0,19
*Snitt av målinger på ferro- og trans-eklogitt				
Steinstørrelse - gråberg	Gråberg (ikke spesifisert)			
Bulktetthet (tonn/m ³)	2,0			
D50 (mm)	200			
D80 (mm)	345			
Egenskaper laboratorieknust materiale	Eklogitt Engebøfjellet (ikke spesifisert)			
Los Angeles-verdi	11,1			
Micro-Deval	-			
Flisighetsindeks	1,36			
Kulemølleverdi	7,8			

Tabell 2.3 Oppsummering av mineralogiske og kjemiske data for avgang fra prosessanlegg og i sedimentasjonsanlegg. Data hentet fra [1] og [3]

		Prosessavgang (fra ferroeklogitt)	Avgang i sedimentasjons-basseng
Kornstørrelse / D ₁₅		0-450 µm / 25 µm	Ikke angitt i gjennomgåtte oppdragsdokumenter [1-12]
Permeabilitet		10 ⁻⁴ cm/s	
Typisk mineral i avgang (Vekt%)		40-45 vekt% Omfacitt (klinopyroksen) 30-35 vekt% Granat 5-10 vekt% Amfibol 5 vekt% Kvarts 2 vekt% glimmer 1 vekt% rutil 5 vekt% andre mineraler (typisk silikat)	
Spormineraler/aksessoriske mineraler (< 1 vekt%)		Ikke angitt i gjennomgåtte oppdragsdokumenter [1-12]	
Sporelementer/Tungmetaller (mg/kg) (Tabell 26, side 66 og Tabell 24, side 65 i [1])			
NPR (Nøytraliserende potensiale forhold)	>3	4,1	9,3
Arsen (As)	8	0,6	0,9
Kadmium (Cd)	1,5	0,2	0,1
Krom tot (Cr)	50	28	73,1
Krom Cr (6+)	2	-	< 0,3
Kobber (Cu)	100	36	38,0
Nikkel (Ni)	60	21	57,3
Bly (Pb)	60	3,8	6,0
Sink (Zn)	200	171	123,9
Kvikksølv (Hg)	1	0,0	0,0

Restmasser – Mulige bruksområder

Tabell 3.1 Mulige bruksområder og vanlige steinstørrelser for knuste overskuddsmasser.

Opprettet med bakgrunn i [13].

Bruksområder	Vanlig steinstørrelse/ mest aktuelle sorteringer (mm)	Materialkrav – utvalg Egenskaper som må dokumenteres	Aktuelle produktstandarder og spesifikasjoner
Betongformål (tilslag) [13], [29]			
Konstruksjons- betong	0/32 (0/8, 8/16, 16/22)	Los Angeles-verdi ≤ 35 – B45 Los Angeles-verdi ≤ 30 – B55** Flisighetsindeks ≤ 35 Flisighetsindeks ≤ 20 Krav til korndensitet Krav til max mengde finstoff Trykkfasthet Vannabsorpsjon: v/ < 8mm: max 1,5 vekt% v/ > 8mm: max 1,2 vekt% Trykkfasthet Frostmotstandsevne: Test ikke nødvendig ved vannabsorpsjon ≤ 1 vekt% Alkali-silika-reaktivitet Klorider: Må deklarerer. < 0,01 % Totalt Svovel: < 0,1 % (ved tilstedeværelse av magnetkis) Fritt glimmer	NS-EN 12620:2002 +A1:2008+NA:2016 Tilslag for betong NS-EN 206:2013+NA:2014 Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar [15], [27], [28]
Sprøytebetong	0/8	Ingen krav til mekaniske egenskaper Krav til gradering (0/8mm) Max . 10 vekt% større enn 8 mm	
Asfaltformål (tilslag) [30]			
Toppdekke (Binde- og slitelag)	<16	<u>ÅDT < 5000:</u> Los Angeles-verdi ≤ 40 til ≤ 30 Kulemållverdi ≤ 19 til ≤ 14 Flisighetsindeks: ≤ 25 til ≤ 20 <u>ÅDT > 5000:</u> Los Angeles-verdi ≤ 30 til ≤ 20 Kulemållverdi ≤ 10 til ≤ 7 Flisighetsindeks: ≤ 20	NS-EN 13043:2002 + NA 2008, Tilslag for bituminøse masser og overflate- behandlinger for vegger, flyplasser og andre trafikkarealer

Bærelag med asfaltgrus (Ag) og asfaltpukk (Ap)	Knust berg i fraksjon 0/32 mm	ÅDT < 5000: Los Angeles-verdi ≤ 40 til ≤ 35 Micro-Deval-koeffisient ≤20 til ≤ 15 Flisighetsindeks: ≤ 25 til ≤ 20 ÅDT > 5000: Los Angeles-verdi ≤ 30 Micro-Deval-koeffisient ≤ 15 Flisighetsindeks: ≤ 20	NS-EN 13108-1:2006 + NA:2007, Bituminøse masser. Materialspesifikasjoner, del 1: Asfaltbetong (AC) NS-EN 13108-21, Bituminøse masser, Materialspesifikasjoner, 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
Jernbaneformål [18], [31]			
Ballast(-pukk)	31,5/63 Lagtykkelse 350 mm	Los Angeles-verdi ≤ 24* til ≤ 20 Micro-Deval-koeffisient ≤15 *Tillates for strekninger med hastighet < 160 km/h og årlig trafikkbelastning årlig trafikkbelastning < 5 MGT	NS-EN 13450:2002+NA:2009 Tilslag for jernbaneballast Kjemiske krav: Innhold av Arsen og tungmetaller skal ikke overstige normverdier gitt i Forurensningsforskriften kapittel 2, vedlegg 1 [32]
Forsterkningslag	0/300 alt. 22/150 Lagtykkelse min 700 mm	Ingen krav til mekaniske egenskaper	
Frostsikringslag	0/500 alt. 22/150 Lagtykkelse 1450 mm eller annet avh. av klimaforhold		
Vegformål [30]			
Grusdekker	Knust berg 0/11 eller 0/16 mm	Los Angeles-verdi ≤ 35 Micro-Deval-koeffisient ≤15 Flisighetsindeks ≤ 25	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
Bærelag	Knust berg 0/32, Lagtykkelse 100-200	Los Angeles-verdi ≤ 35 Micro-Deval-koeffisient ≤15 Flisighetsindeks ≤ 25 Krav til mengde finstoff < 0,063 mm og andel overstørrelser	
Forsterkningslag	Knust berg (f.eks. kult 22/125 mm eller pukk 11/90 eller 0/90 mm) Tykkelsen varierer, avhengig av undergrunnens beskaffenhet, fra	Los Angeles-verdi ≤ 40* til ≤ 35 Micro-Deval-koeffisient ≤ 25* til ≤ 15 *Trafikkklasse A For adkomstveier, P-plasser og G/S-veier kan materialer med LA ≤ 40 brukes. Krav til mengde finstoff < 0,63 mm og andel overstørrelser	

	rundt 300 mm og økende ved dårlige grunnforhold		anleggsarbeid – Spesifikasjon
Frostsikringslag	0/500 (<90 mm min. 30%). Største steinlengde skal være mindre enn halve lagtykkelsen. Maks tykkelse overbygning (inkl. slitelag): 1800-2400.	Ingen krav til mekaniske egenskaper Fraksjon 0,063 mm 2%-15%	
Plastring, erosjonssikring, forstøtning, utbygging etc. - Vassbyggingsstein o.l. [27]			
Vassbyggingsstein Områdesikring og -stabilitet, havneutbygging, erosjonssikring, forstøtninger, murer etc.	Blokkstørrelse 1,5-450 kg	Vassbyggingsstein: Dokumentasjonskrav knyttet til bl.a. steinstørrelsesfordeling og geometrisk form på stein, egenvekt, trykkfasthet, vannabsorpsjon, frostmotstand, saltmotstand (ikke nødvendig ved vannopptak < 0,5 vekt%). Innhold av farlige bestanddeler. For masser under og inntil konstruksjoner over vann gjelder følgende, mekaniske krav: Los Angeles-verdi ≤ 35 Micro-Deval-koeffisient ≤15 Humus ≤ 3% Mengde finstoff: under 0,020 mm ≤ 3% under 0,063 mm ≤ 7% (regnet av materiale som passerer 22,4 mm)	NS-EN 13383-1:2002 Vassbyggingsstein - Del 1: Spesifikasjoner - (innbefattet rettelsesblad AC:2004) 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 –
Dekningsmasse rørlødnings, vindturbiner, offshore installasjoner etc.	0-450 o.a.	Ingen krav	
Ubunden bruk, f.eks. nærings-tomter, fritids-anlegg og infrastruktur o.l.	Maskinkult 22/125 o.a.	Ingen krav	
Andre anvendelser (finfraksjoner fra knuseverk)			
Grøftesingel/hagesingel	6/16, 16/22	Ingen krav	Ingen standarder eller spesifikasjoner
Strøsand	4/8, 2/6		
Jordforbedring	0/4		

Tabell 3.2 Mulige bruksområder og vanlige steinstørrelser for avgang.

Bruksområder	Vanlig steinstørrelse/ mest aktuelle sorteringer (mm)	Materialegenskaper - krav	Kommentarer vedr. egenskaper/ egnethet
Miljøformål, Tildekking av forurenset sjøbunn o.l. [3]			
Tildeckingsmasse over forurensete sedimenter	D15 er ca. 0,025 mm i henhold til [3]. Materialet skal være relativt finkornet for å hindre spredning, og ikke så grovkornet at forårsaker utvasking. Materialet skal på samme tid være tilstrekkelig permeabelt	Viktige egenskaper og forhold å vurdere: Material; Radioaktive elementer Tungmetaller Organisk materiale Restinnhold av flotasjonskjemikalier og flokkuleringsmidler Felles krav til opplysninger for alle kategorier/typer tildeckingsmasser er: • Kornfordeling • Egenvekt • Materialets geografiske opphav • Massens mineralsammensetning • Kjemisk karakterisering ○ pH ○ Totalt innhold av uorganiske elementer; jern, mangan, kadmium, kvikksølv, bly, sink, nikkel, kobber, krom og arsen må være inkludert i bestemmelsen ○ Totalt organisk karbon (TOC) Oppførsel: Geoteknisk stabilitet Egnete filtreringsegenskaper Riktig erosjonsbestandighet	• Hvilken aktivitet har funnet sted på lokaliteten materialet er hentet fra • Er det grunn til å forvente at massene er forurenset og i så fall hvilke forurensningskomponenter som mistenkes. For prosesserte masser inngår beskrivelse av prosessen med hensyn på mulige faseforandringer og eksponering for ulike væsker, gasser og kjemikalier
Miljøformål, steinmel til jordforbedringsformål			
Steinmel som jord-	Fraksjon < 0,5 mm og 50% < 0,1 mm	Mineralsammensetning Kjemisk analyse og analyse av syreløselig kalium, magnesium, silisium.	

forbedrings- middel ¹		
Fint tilslag eller filler i betong eller asfalt		
Korngradering etter NS EN 933-10: Fine tilslag definert som kornstørrelse $\leq 6,3$ mm etter NS-EN 13242. Fines $< 0,063$ mm ihh til NS EN 13242 Fine tilslag definert som kornstørrelse ≤ 4 mm etter NS EN 12620	Krav: hovedandelen passerer sikt 0,063 mm 70-90% $< 0,063$ mm 85-100% < 125 mm 100 % $< 2,0$ mm Vanninnhold ≤ 1 % Skal deklarerer: Skadelige finstoff Korndensitet Innhold av hulrom "Ball test" Vannløselighet Vannsensitivitet Krav til fint tilslag ii henhold til NS EN 13242 (og ikke dekket av NS EN 13043): Syreløselig sulfat: maks $\leq 0,2$ % Vannløselig sulfat $\leq 0,2$ % Totalt svovel $< 1\%$	Mulig egnethet for bruk som filler eller fint tilslag i asfalt eller betong NS-EN 13179-1:2013 (Filler i asfalt): Tests for filler aggregate used in bituminous mixtures — Part 1: Delta ring and ball test NS-EN 12390-3:2001 Prøving av herdnet betong - Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet NS-EN 12350-2:2019 Prøving av fersk betong - Del 2: Synkmål For tilslag til betong må forhold som partikkelstørrelse, motstand mot nedknusning for grovfraksjonen og mostand mot slitasje gjennomføres for deklarerer. Filler for asfalt og betong må sertifiseres av Kontrollrådet. Filler eller fint tilslag i betong deklarerer i henhold til NS-EN 12620 Fillersand skal deklarerer i henhold til NS-EN 13242:2002+A1:2007+NA:2009 Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging.

¹ <https://www.agropub.no/fagartikler/steinmjøl>