

Til: Glencore Nikkelverk AS  
v/ Kjersti Berge  
Kopi til: Anders Hutcheson, Jarl Sandnes, Arild Vatland  
Dato: 2024-06-24  
Rev.nr. / Rev.dato: 0  
Dokumentnr.: 20230631-01-TN  
Prosjekt: Glencore Nikkelverk AS  
Prosjektleder: Simon R. Stenger  
Utarbeidet av: Andreas B. Smebye (NGI), Mehrad G. Mooselu (NORSUS), Kari-Anne Lyng (NORSUS), Simon R. Stenger (NGI)  
Kontrollert av: Gøril Aa. Slinde (NGI)

---

## Bærekraftsvurdering av ombruks- og avfallsløsninger for Fe-2-slam

### Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>2</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>4</b>
<b>2 Definerings av mål og omfang av studien</b>	<b>4</b>
<b>3 Data og forutsetninger</b>	<b>7</b>
3.1 Scenario 1 - Ingen stabilisering	7
3.2 Scenario 2 – Kjemisk stabilisering	8
3.3 Scenario 3 – Ombruk som råvare	11
3.4 Vurdering av miljøpåvirkning	12
<b>4 Resultater</b>	<b>12</b>
<b>5 Konklusjon</b>	<b>15</b>
<b>6 Videre arbeid</b>	<b>15</b>
<b>7 Referanser</b>	<b>17</b>

### Vedlegg

Vedlegg A            Prosessbeskrivelse for konstruksjon av fjellhaller  
Vedlegg B            Prosessbeskrivelse for sparte utslipp ved erstatning av jomfruelig råvare

### Kontroll- og referanseside

## Sammendrag

Glencore Nikkelverk i Kristiansand ønsker en bærekraftsvurdering for ulike ombruks- og avfallsløsninger for Fe-2-slam fra produksjonen. NGI og NORSUS har i samarbeid sammenliknet klimagassutslipp i en livsløpsanalyse for tre alternativer:

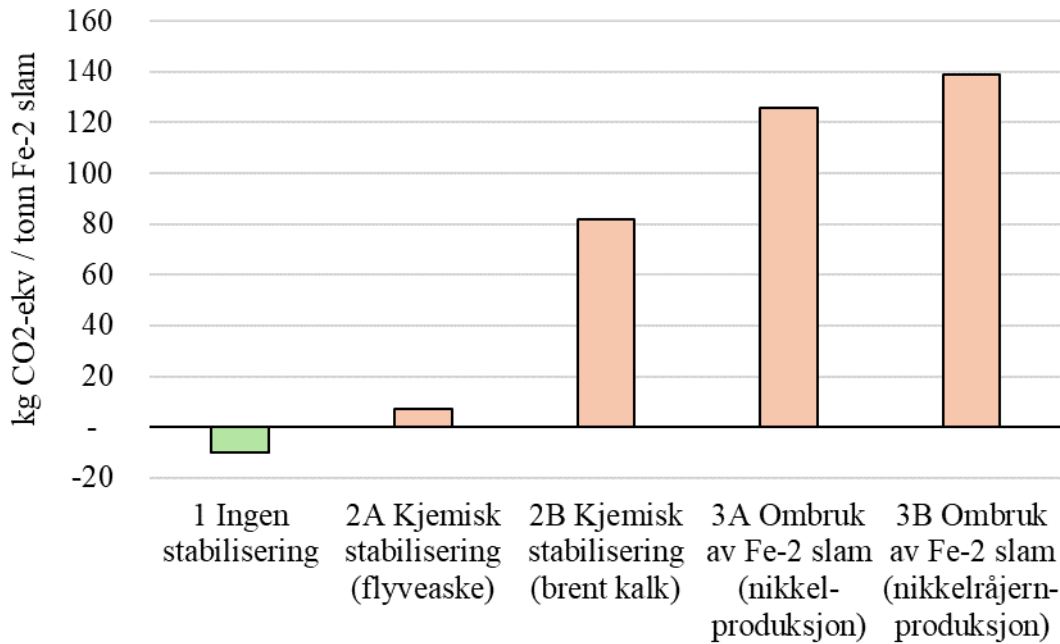
1. Deponering i fjellhall uten stabilisering (nåværende løsning)
2. Deponering i fjellhall med stabilisering, enten A: flyveaske, eller B: brent kalk
3. Ombruk som råvare for produksjon av enten A: nikkel i Australia eller B: nikkelråjern i Indonesia.

Resultatene er oppsummert på figurene på neste side. Deponering av Fe-2-slam i fjellhall uten kjemisk stabilisering gir laveste netto klimapåvirkning. Dette skyldes at gjenværende nikkel i Fe-2-slam (og andre verdifulle metaller) vil lekke ut, samles opp og benyttes som en sekundær råvare inn til produksjon hos Glencore Nikkelverk og dermed gir betydelige sparte utslipp. Disse sparte utslippene overstiger utslippene fra blant annet konstruksjonen og drift av deponiet og gir en netto klimagevinst på 10 kg CO<sub>2</sub>e<sup>1</sup>/ tonn Fe-2-slam. Dersom Fe-2-slam stabiliseres før deponering vil ikke slammet gi noen utlekking av metaller og dermed heller ingen sparte utslipp. Netto klimapåvirkning øker derfor ved stabilisering av slammet, og vil ved bruk av avfallsfraksjonen flyveaske gi en netto klimabelastning på 7 kg CO<sub>2</sub>e/tonn Fe-2-slam og ved bruk av brent kalk være 82 kg CO<sub>2</sub>e/tonn Fe-2-slam. Ombruk av Fe-2-slam som råvare for ytterligere nikkel- eller nikkelråjernproduksjon gir sparte utslipp ved at slammet erstatter annen råvare (bearbeidet latteritt-malm). Store utslipp knyttet til transport og forbehandling av slammet gir imidlertid en netto klimabelastning på 126 kg CO<sub>2</sub>e/tonn Fe-2-slam for nikkelproduksjon ved Murrin Murrin i Australia, og 139 kg CO<sub>2</sub>e/tonn Fe-2-slam for nikkelråjernproduksjon i Indonesia.

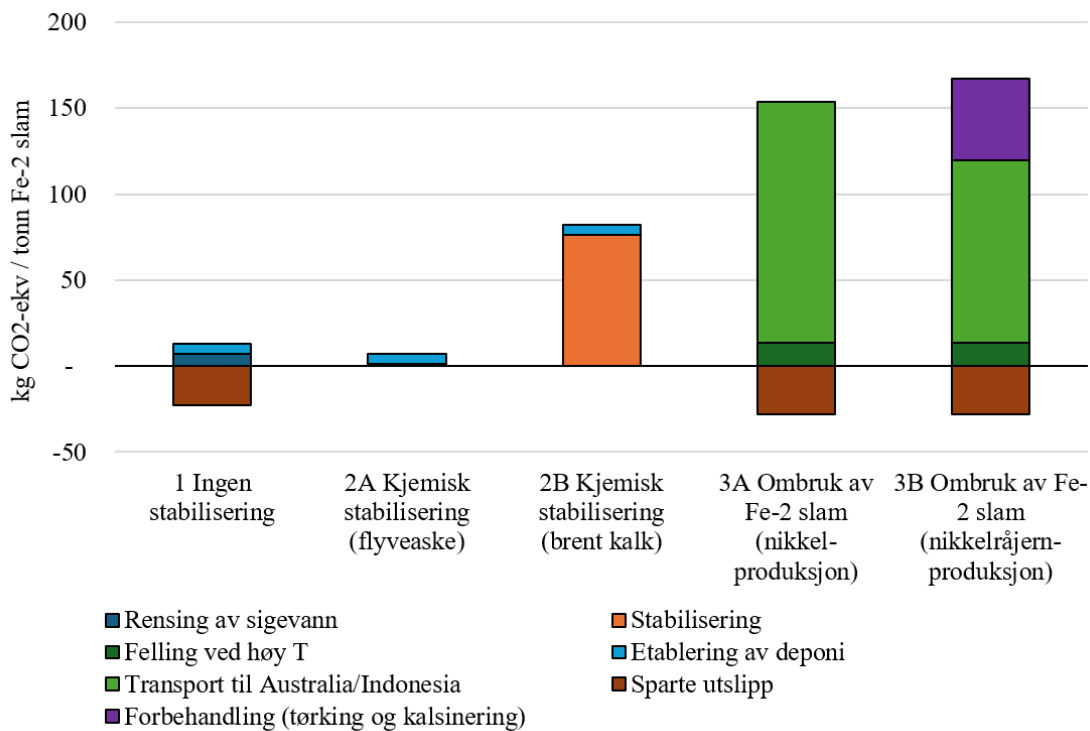
Klimapåvirkning bør imidlertid alltid vurderes opp mot andre miljøpåvirkninger, som belastning på human helse og økotoksikologi. Klimagevinster må ikke medføre andre utilsiktede miljøbelastninger.

---

<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>e = CO<sub>2</sub>-ekvivalenter



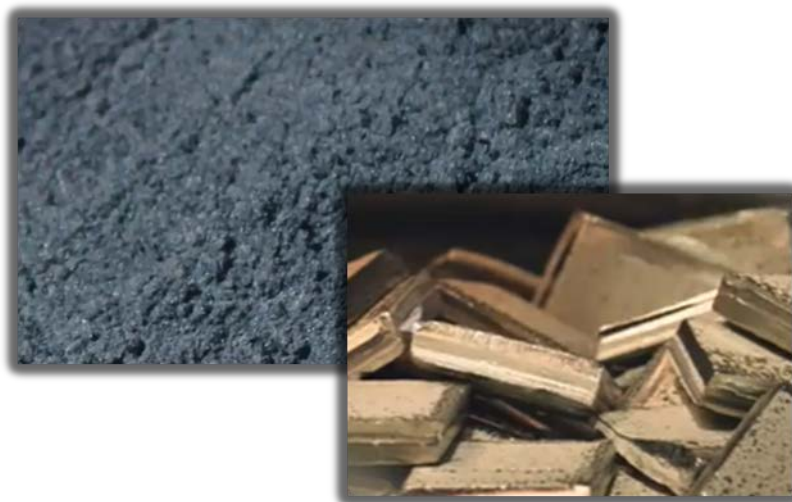
Netto klimapåvirkning for ulike ombruk- og avfallsløsninger for Fe-2-slam. Klimabelastninger er skravert med rød farge, mens klimagevinster med grønn farge.



Klimapåvirkningen per livsløpsfase for ulike ombruks- og avfallsløsninger for Fe-2-slam.

## 1 Innledning

Glencore Nikkelverk i Kristiansand ønsker en bærekraftsvurdering for ulike ombruks- og avfallsløsninger for Fe-2-slam fra sin produksjon. Fe-2-slam deponeres i dag i fjellhaller uten kjemisk stabilisering. Uten stabilisering vil nikkel og andre verdifulle metaller lekke ut fra avfallet etter deponering. Sigevannet samles opp og ledes tilbake inn i prosessen for bruk som en sekundær råvare. Dersom man ønsker å hindre utlekking kan Fe-2-slam tilsettes syrenøytraliserende materialer før det deponeres. Alternativt kan Fe-2-slam også benyttes som råvare for videre produksjon av nikkel eller nikkelråjern ved fabrikker andre steder i verden fremfor deponering. NGI og NORSUS har i samarbeid sammenliknet klimagassutslipp for disse ulike ombruks- og avfallsløsningene for Fe-2-slam i en livsløpsanalyse. Denne analysen gir Glencore Nikkelverk en innledende beslutningsstøtte for å identifisere hvilken løsning som gir lavest klimapåvirkning, og samtidig mulighet for å identifisere hvilke prosesser og livsløpsfaser som bidrar mest.



*Figur 1 Råvaren matte (øverst) som benyttes for å produsere ren nikkel ved Glencore Nikkelverk i Kristiansand (bildene er hentet fra glencore.com)*

## 2 Definerings av mål og omfang av studien

Hensikten med denne studien er å vurdere klimapåvirkning ved ulike ombruks- og avfallsløsninger for Fe-2-slam fra nikkelproduksjon hos Glencore Nikkelverk i Kristiansand.

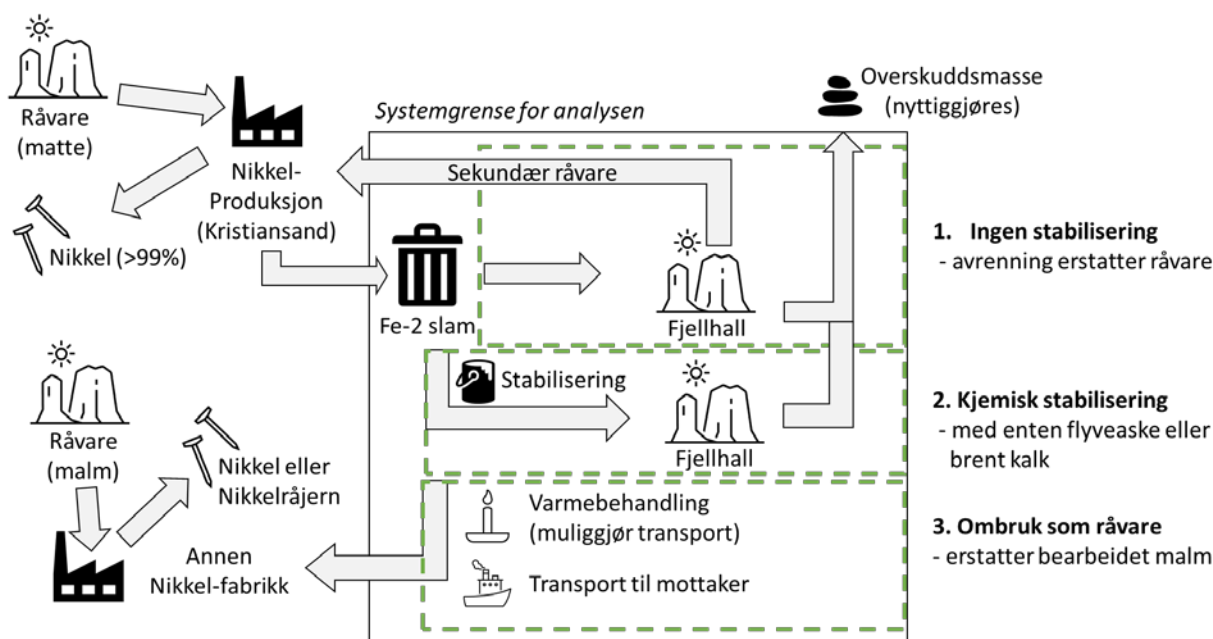
I en LCA kvantifiseres miljøpåvirkningen for en funksjonell enhet. En funksjonell enhet er en kvantifisert enhet som reflekterer funksjonen som produktet eller tjenesten yter. Den funksjonelle enheten i denne studien er definert som behandling av 1 tonn Fe-2-slam fra nikkelproduksjon.

Studien inkluderer både de potensielle klimabelastningene knyttet til håndtering av Fe-2 slam, i tillegg til potensielle klimagevinster ved at Fe-2-slam i noen av scenariene brukes som råvare inn i en annen prosess. Disse er inkludert som negative (sparte) utslipp som kan oppnås ved at bruk av Fe-2-slam erstatter uttak av andre råvarer til eksempelvis nikkelproduksjon. Ved å summere belastninger og sparte utslipp, får en netto klimapåvirkning.

Følgende ombruks- og avfallsløsninger for Fe-2-slam er inkludert i analysen (Figur 2):

1. **Ingen stabilisering:** Deponering i fjellhall uten kjemisk stabilisering
2. **Kjemisk stabilisering:** Deponering i fjellhall med kjemisk stabilisering
  - a. Stabilisering med avfallsfraksjonen flyveaske
  - b. Stabilisering med kommersielt tilgjengelig brent kalk
3. **Ombruk som råvare** for ytterligere produksjon av nikkel eller nikkelråjern<sup>2</sup>
  - a. Ombruk ved nikkelproduksjonen i Australia
  - b. Ombruk ved nikkelråjernproduksjon i Indonesia

Tidligere har det også blitt vurdert å benytte Fe-2-slam til blant annet produksjon av stål. Dette er ikke inkludert i analysen grunnet lav kost/nytte-verdi, da klorid-innholdet i slammet gjør at det må kalsineres før det kan inngå i produksjonen.



Figur 2 Beskrivelse av masseflyt og prosesser for ulike ombruks- og avfallsløsninger for Fe-2-slam.

<sup>2</sup> Nikkelråjern (på engelsk: nickel pig iron) er et mellomprodukt til produksjon av stål. Det eksisterer ikke et marked for det i Europa, men produksjonen og anvendelsen er utbredt i særlig Kina og Indonesia.

Ved deponering i fjellhall uten stabilisering (scenario 1) transporteres Fe-2 slam inn i en fjellhall spesielt utformet for å kunne lagre Fe-2-slam i nærhet til industriområdet til Glencore Nikkelverk i Kristiansand. Klimabelastningen fra konstruksjonen av fjellhallen inkluderes i klimapåvirkningen (ligger innenfor systemgrensen). En antar videre at overskuddsmassene fra bergkonstruksjonen nyttiggjøres etter at de har blitt transportert ut av deponiet. Nyttiggjøring av overskuddsmassene ligger imidlertid utenfor systemgrensene for denne studien, og vurderes ikke som del av klimapåvirkningen. Det forventes at overskuddsmassene vil være godt egnet for nyttiggjøring ettersom berget er av høy kvalitet, noe som er bekreftet gjennom bergmekanisk testing, og ved at det finnes aktive masseuttak i umiddelbar nærhet som produserer pukkm. fra samme bergart.

Ettersom Fe-2-slam ikke er stabilisert, vil nikkel og andre metaller i porevannet lekke ut og inngå i sigevannet fra deponiet. Sigevannet renses og metallene tas tilbake inn i produksjonen som en sekundær råvare. Verdifulle metaller fra sigevannet erstatter dermed matte som ellers benyttes som råvare. Det er i denne analysen kun tatt hensyn til utvinning av nikkel fra sigevannet og ikke andre verdifulle metaller, herunder kobolt og kobber. I 2021-2023 inneholdt sigevannet 4-8 tonn av hver av de sistnevnte metallene. De sparte utslipp ved utvinning av disse to metallene er ikke hensyntatt i denne analysen.

Ved deponering i fjellhall med kjemisk stabilisering vil ikke det deponerte Fe-2-slam gi noen utlekking av betydning. Dette skyldes at stabilisering med enten avfallsfraksjonen flyveaske (scenario 2A) eller kommersielt tilgjengelig brent kalk (scenario 2B) begrenser løseligheten til blant annet nikkel. Tilsetningen av et stabiliseringsmateriale vil samtidig medføre at kapasiteten for deponering av slam reduseres ettersom stabiliseringsmateriale også vil oppta plass i fjellhallen. Sparte utslipp ved at man slipper å deponere flyveaske i et annet deponi er ansett å være utenfor systemgrensene for denne studien.

Ved ombruk av Fe-2-slam som råvare for enten nikkelproduksjon i Australia (scenario 3A) eller nikkelrånproduksjon i Indonesia (scenario 3B) må felling av Fe-2-slam skje ved høyere temperatur for å kunne transporteres. Transporten til Indonesia forutsettes utført ved bulktransport med skip. Transporten til fabrikkene i Australia vil i tillegg til båttransport forutsette en betydelig transport via jernbane ettersom man antar ombruk ved Murrin Murrin som ligger langt inne på kontinentet. Ved de mottakende fabrikkene vil Fe-2-slam erstatte bearbeidet lateritt-malm som ellers ville vært benyttet som råvare. Før ombruk ved nikkelrånproduksjon antas det at Fe-2-slam også må tørkes og kalsineres før det kan benyttes som råvare.

### 3 Data og forutsetninger

For å kunne beskrive de ulike prosessene som inngår i ombruks- og avfallsløsningene er det benyttet steds spesifikke data for Glencore Nikkelverk i Kristiansand, vitenskapelig litteratur, nasjonale livsløpsanalyseverktøy (VegLCA) og internasjonale livsløpsdatabaser (ecoinvent). Prosesser hentet fra ecoinvent-databasen er gjengitt med engelske navn i for å sikre sporbarhet.

#### 3.1 Scenario 1 - Ingen stabilisering

Følgende livsløpsfaser inngår i scenario 1 - deponering i fjellhall uten kjemisk stabilisering:

- Oppsamling av sivevann i fjellhall (Tabell 1),
- Deponering av Fe-2-slam (inkludert konstruksjon og drift av fjellhaller; Tabell 2)
- Sparte utslipp ved at sivevann benyttes i nikkelproduksjon (Tabell 3).

Utslipp ved produksjon av utstyr som må benyttes for å samle sivevann er utelatt ettersom man antar at disse er neglisjerbare sammenliknet med utslippene fra bruken. For konstruksjonen av fjellhaller er det kun arbeid og mengder tilknyttet prosessene med antatt størst bidrag til klimapåvirkning inkludert. Disse prosessene omfatter:

- Etablering av fjellhaller (sprengning av bergrom og transport av sprengstein)
- Bergsikring (boring, sprøytebetong og bolter)
- Berginjeksjon for å redusere innlekkasje av grunnvann.
- Transport av Fe-2-slam til deponiet.

Mengdene benyttet i beregningene er hentet fra beskrivelsen for konstruksjonen av fjellhall 9 ved Glencore Nikkelverk i Kristiansand.

Tabell 1 Prosesser som inngår oppsamling og rensing av sivevann i fjellhall i scenario 1.

Oppsamling og rensing av sivevann i fjellhall			
Prosess	Verdi	Enhet	Valgt prosess
Bruk av elektrisitet rørsystem og pumper	0,48	kWh / tonn Fe-2-slam	High voltage, electricity, Norway
Bruk av NaOH	5,4	kg / tonn Fe-2-slam	Sodium hydroxide, in 50% solution state
Felling og produksjon av filterkake	0,75	kWh / tonn Fe-2-slam	High voltage, electricity, Norway

Tabell 2 Prosesser som inngår i deponering av Fe-2-slam (inkludert konstruksjon og drift av fjellhaller) i scenario 1.

Deponering av Fe-2-slam (inkludert konstruksjon og drift av fjellhaller)			
Prosess	Verdi	Enhet	Valgt prosess
Elektrisitetsforbruk for drift av deponi	64,94	kWh / tonn Fe-2-slam	High voltage, electricity, Norway, antatt etterdrift i 100 år, forbruk estimert fra tall for fjellhall 1-9
Etablering av fjellhall (sprengning og massetransport)	3,12	kg CO <sub>2</sub> e / tonn Fe-2-slam	Antatt berg av høy kvalitet. Prosesser er hentet fra VegLCA, se vedlegg A for ytterligere detaljer og forutsetninger.
Etablering av fjellhall (bergsikring)	1,24	kg CO <sub>2</sub> e/ tonn Fe-2-slam	
Etablering av fjellhall (berginjeksjon)	0,40	kg CO <sub>2</sub> e/ tonn Fe-2-slam	
Sum etablering av fjellhall	4,75	kg CO <sub>2</sub> e/ tonn Fe-2-slam	
Transport med hjullaster	0,625	m <sup>3</sup> / tonn Fe-2-slam	Skid steer loader. 1000 kg Fe-2-slam til deponi, med antatt tetthet: 1600 kg/m <sup>3</sup> .

Tabell 3 Prosesser som inngår i sparte utslipp ved erstatning av jomfruelig råvare i scenario 1.

Sparte utslipp ved erstatning av jomfruelig råvare			
Prosess	Verdi	Enhet	Valgt prosess
Ombruk av sigevann som råvare for nikkelproduksjon	23	kg CO <sub>2</sub> e / tonn Fe-2-slam	Fordeling av klimapåvirkning fra ulike prosesser i nikkelproduksjonen er hentet fra Nickel Institute, for detaljer se vedlegg B. Det er antatt at nikkelproduksjon i sigevannet erstatter matte, som er den viktigste råvaren ved Glencore Nikkelverk i Kristiansand.

## 3.2 Scenario 2 – Kjemisk stabilisering

Følgende livsløpsfaser inngår i scenario 2, deponering i fjellhall med kjemisk stabilisering med enten flyveaske eller brent kalk:

- Stabilisering av Fe-2-slam (Tabell 4 og Tabell 6)
- Etablering og drift av fjellhall og deponering av stabilisert Fe-2-slam (inkludert konstruksjon og drift av fjellhaller, Tabell 5 og Tabell 7).

Tabell 4 Prosesser som inngår i stabilisering av Fe-2-slam med avfallsproduktet flyveaske i scenario 2A.

<b>Scenario 2A: Stabilisering av Fe-2-slam med avfallsproduktet flyveaske</b>			
Prosess	Verdi	Enhet	Valgt prosess
Tilsatt mengde flyveaske	445	kg/tonn Fe-2-slam	Flyveaske er et avfallsprodukt og utslipp knyttet til produksjon av flyveaske er derfor ikke inkludert i studien, mengden antas å tilsvare en volumprosent på 10% etter innblanding
Gjennomsnittlig transportavstand flyveaske	8	km	Transport, freight, lorry 16-32 ton (Euro 6)
Utslipp fra stabiliseringsprosess	0,34	kg CO <sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam	Estimater fra gassdannelsestester, mengden H <sub>2</sub> som dannes er trolig mindre enn teoretisk maksimum.
Energibruk stabilisering	2	kWh/tonn Fe-2-slam	High voltage, electricity, Norway

Tabell 5 Prosesser som inngår i deponering av Fe-2-slam (inkludert konstruksjon og drift av fjellhaller) i scenario 2A.

<b>Scenario 2A: Deponering av Fe-2 slam (inkl. konstruksjon og drift av fjellhaller)</b>			
Prosess	Verdi	Enhet	Valgt prosess
Elektrisitetsforbruk for drift av deponi	21,66	kWh/tonn Fe-2-slam	High voltage, electricity, Norway, antatt etterdrift i 30 år, forbruk estimert fra tall for fjellhall 1-9
Etablering av fjellhall (sprengning og massetransport)	3,46	kg CO <sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam	Antatt berg av høy kvalitet. Prosesser er hentet fra VegLCA, se vedlegg A for ytterligere detaljer og forutsetninger. Merk at klimapåvirkningen økes pga. redusert deponeringskapasitet ettersom det tilsettes stabiliseringsmateriale, det er forutsatt samme total kapasitet som for scenario 1.
Etablering av fjellhall (bergsikring)	1,37	kg CO <sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam	
Etablering av fjellhall (berginjeksjon)	0,45	kg CO <sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam	
Sum etablering av fjellhall	5,28	kg CO <sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam	
Transport av slam med hjullaster	0,687	m <sup>3</sup> /tonn Fe-2-slam	Skid steer loader. 1000 kg Fe-2-slam og 445 kg flyveaske til deponi, med antatt tetthet: 1600 kg/m <sup>3</sup> .

Tabell 6 Prosesser som inngår i stabilisering av Fe-2-slam med kommersielt tilgjengelig brent kalk i scenario 2B.

<b>Scenario 2B: Stabilisering av Fe-2-slam med kommersielt tilgjengelig brent kalk</b>			
Prosess	Verdi	Enhet	Valgt prosess
Tilsatt mengde brent kalk	60	kg/tonn Fe-2-slam	Quicklime milled packed, mengden antas å tilsvare en volumprosent på 1% etter innblanding
Transport av kalk på vei	250	km	Produseres i Faxe, distribueres fra Stuppertup eller Vejle. Transport, freight, lorry 16-32 tonn (Euro 6)
Transport av kalk på båt	136	km	Transport, freight, sea, ferry
Energibruk stabilisering	2	kWh/tonn Fe-2-slam	High voltage, electricity, Norway

Tabell 7 Prosesser som inngår i deponering av Fe-2-slam (inkludert konstruksjon og drift av fjellhaller) i scenario 2B.

<b>Scenario 2B: Deponering av Fe-2-slam (inkl. konstruksjon og drift av fjellhaller)</b>			
Prosess	Verdi	Enhet	Valgt prosess
Elektrisitetsforbruk for drift av deponi	19,68	kWh/tonn Fe-2-slam	High voltage, electricity, Norway, antatt etterdrift i 30 år, forbruk estimert fra tall for fjellhall 1-9
Etablering av fjellhall (sprengning og massetransport)	3,15	kg CO <sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam	Antatt berg av høy kvalitet. Prosesser er hentet fra VegLCA, se vedlegg A for ytterligere detaljer og forutsetninger. Merk at klimapåvirkningen økes pga. redusert deponeringskapasitet ettersom det tilsettes stabiliseringsmateriale, det er forutsatt samme total kapasitet som for scenario 1.
Etablering av fjellhall (bergsikring)	1,25	kg CO <sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam	
Etablering av fjellhall (berginjeksjon)	0,41	kg CO <sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam	
Sum etablering av fjellhall	4,80	kg CO <sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam	
Transport med hjullaster	0,631	m <sup>3</sup> /tonn Fe-2-slam	
			Skid steer loader. 1000 kg Fe-2-slam og 60 kg brent kalk til deponi, med antatt tetthet: 1600 kg/m <sup>3</sup> .

### 3.3 Scenario 3 – Ombruk som råvare

Følgende livsløpsfaser inngår i scenario 3, Ombruk som råvare for ytterligere produksjon av nikkel i Murrin Murrin, Australia eller til produksjon av nikkelråjern i Indonesia:

- Forbehandling før transport
- Transport til mottaker
- Forbehandling før ombruk (Tabell 8 og Tabell 9)
- Sparte utslipp ved erstatning av jomfruelig råvare (Tabell 10)

Tabell 8 Prosesser som inngår i ombruk som råvare i scenario 3A.

Scenario 3A: Ombruk ved Murrin Murrin i Australia			
Prosess	Verdi	Enhet	Valgt prosess
Bruk av elektrisitet til høytemperatur felling av Fe-2-slam	1000	kWh/tonn Fe-2-slam	High voltage, electricity, Norway. Antar at prosessen reduserer vekten av Fe-2-slam med 10% grunnet redusert vanninnhold.
Båttransport til Australia	19200	km	Fra Kristiansand til Esperance, Australia. Transport, freight, sea, bulk carrier. Antar 10% vektreduksjon og at mengden som transporteres er 900 kg/tonn Fe-2-slam.
Transport fra havn til Murrin Murrin	550	km	Freight train, rest of the world (RoW)

Tabell 9 Prosesser som inngår i ombruk som råvare i scenario 3B.

Scenario B: Ombruk i Indonesia			
Prosess	Verdi	Enhet	Valgt prosess
Bruk av elektrisitet til høytemperatur felling av Fe-2 slam	1000	kWh/tonn Fe-2-slam	High voltage, electricity, Norway. Antar at prosessen reduserer vekten av Fe-2-slam med 10%.
Båttransport til Indonesia	16500	km	Fra Kristiansand til Indonesia. Transport, freight, sea, bulk carrier. Antar 10% vektreduksjon og at mengden som transporteres er 900 kg/tonn Fe-2-slam.
Forbehandling ved tørking	370	kWh/tonn Fe-2-slam	Elektrisitet, antatt utført ved mottakende fabrikk i Indonesia før Fe-2-slam kan benyttes som råvare. Testverdier for ikke-tørket Fe-2-slam er benyttet.
Forbehandling ved kalsinering	150	kWh/tonn Fe-2-slam	Naturgass, antatt utført ved mottakende fabrikk i Indonesia. Verdier for ikke-tørket Fe-2-slam er benyttet.

Tabell 10 Sparte utslipp som inngår i ombruk som råvare i scenario 3.

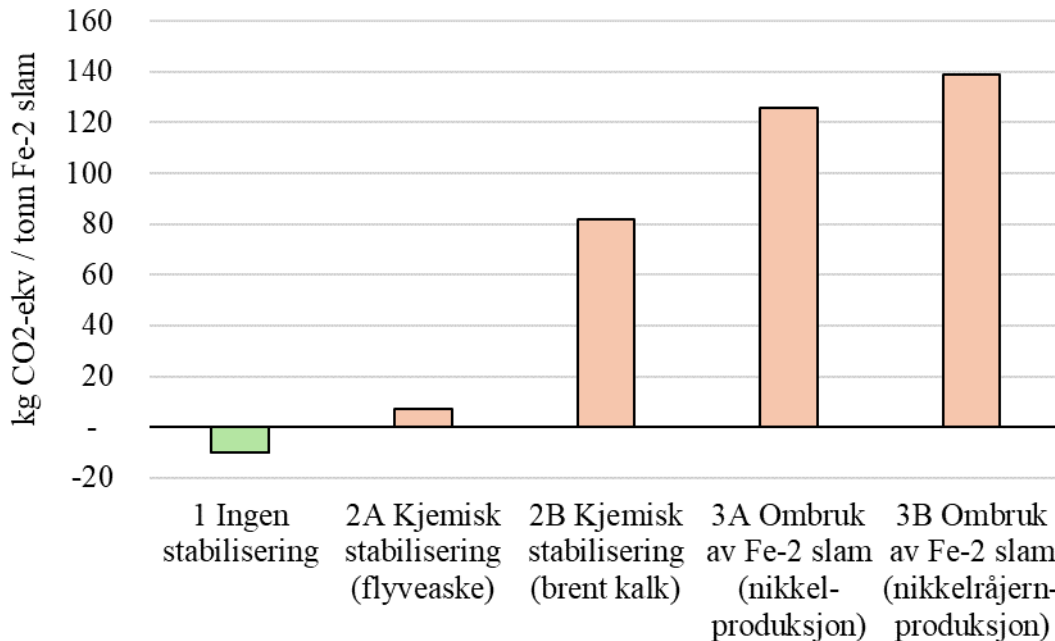
Sparte utslipp ved erstatning av jomfruelig råvare			
Prosess	Verdi	Enhet	Valgt prosess
Ombruk av Fe-2-slam som råvare for produksjon av nikkell eller nikkellråjern	28,14	kg CO <sub>2</sub> e / tonn Fe-2-slam	Fordeling av klimapåvirkning fra ulike prosesser i nikkellproduksjonen er hentet fra Nickel Institute, for detaljer se vedlegg B. Det er antatt at nikkell i Fe-2-slam erstatter bearbeidet lateritt-malm, som er råvaren som benyttes til produksjon av nikkell ved Murrin Murrin, Australia og nikkellråjern i Indonesia.

### 3.4 Vurdering av miljøpåvirkning

Studien fokuserer på potensiell påvirkning på miljøpåvirkningskategorien klimaendringer, og ser derfor ikke på indikatorer som adresserer andre miljøproblemer. Potensiell klimapåvirkning inkluderer utslipp av alle klimagasser i hele livsløpet, og kvantifiseres som kg CO<sub>2</sub>e / tonn Fe-2-slam. Det er benyttet et 100-års perspektiv.

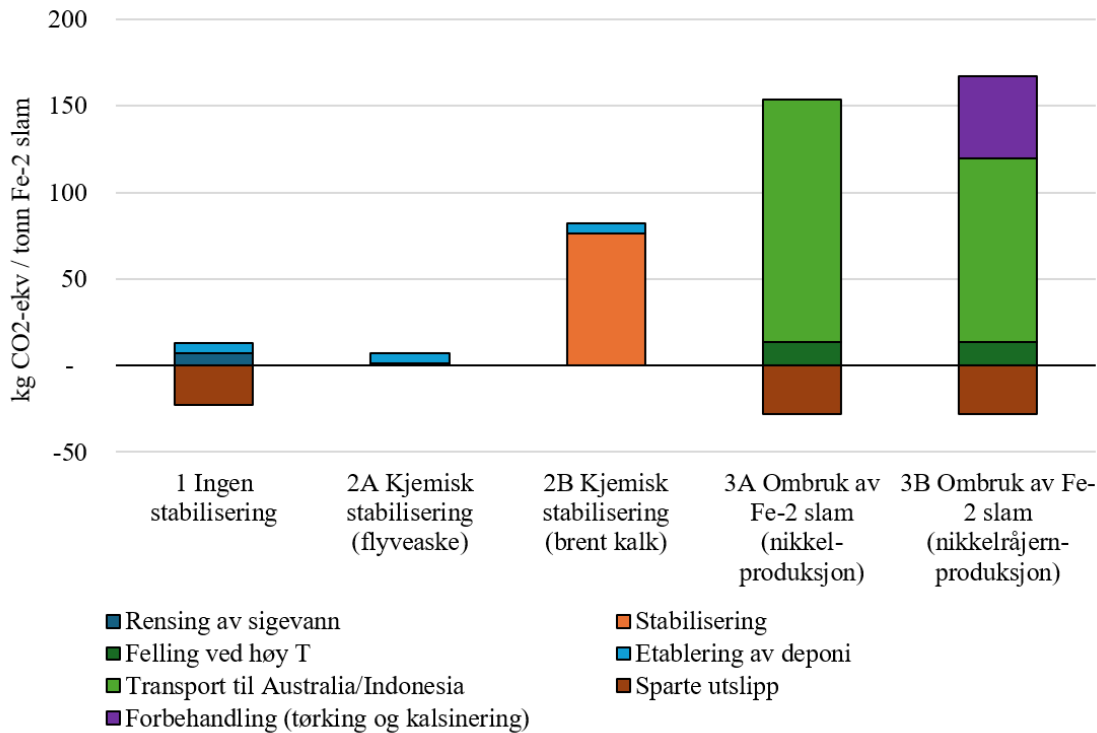
## 4 Resultater

Deponering uten stabilisering gir laveste netto klimapåvirkning (scenario 1), beregnet ved å summere utslipp og sparte utslipp. Ettersom gjenværende nikkell i Fe-2-slam lekker ut og kan samles opp og benyttes som en sekundær råvare for videre nikkellproduksjon er de sparte utslippene så høye at de overstiger utslippene. Dersom Fe-2-slam stabiliseres (Scenario 2A og 2B) vil alt gjenværende nikkell (og andre verdifulle metaller som kobolt og kobber) i slammet sendes til deponi, og det oppnås ingen sparte utslipp. Ved bruk av avfallsfraksjonen flyveaske (scenario 2A) gir ikke produksjonen av stabiliseringsmateriale noe utslipp, noe som bidrar til 12 ganger lavere klimapåvirkning enn ved stabilisering med kommersielt tilgjengelig brent kalk (scenario 2B). Ombruk av Fe-2-slam som råvare for ytterligere produksjon av nikkell (scenario 3A) eller nikkellråjern (scenario 3B) gir stor klimapåvirkning i samme størrelsesorden som ved stabilisering med brent kalk.

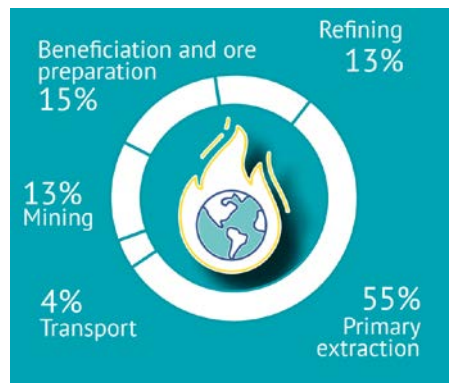


Figur 3 Netto klimapåvirkning for ulike alternativer for deponering og ombruk av Fe-2-slam. Klimabelastninger er skravert med rød farge, mens klimagevinster med grønn farge.

De store sparte utslippene for livsløpsfasene vist i Figur 4 skyldes at Fe-2-slam kan erstatte annen råvare for nikkelproduksjon i enkelte av ombruks- og avfallsløsningene. Gruvedrift tilknyttet nikkelproduksjon medfører store klimapåvirkning ettersom store mengder malm må utvinnes og bearbeides ved bruk av betydelig mengder energi. En stor andel av disse utslippene (83%) skjer i bearbeidingen før bearbeidet nikkelmalm (matte) leveres til Glencore Nikkelverk i Kristiansand (Figur 5). Spesielt gruvedriften og den primære ekstraksjonen medfører store utslipp. For å minimere klimapåvirkningen gir det derfor store sparte utslipp dersom man klarer å benytte noe av det gjenværende nikkelt i Fe-2-slam for videre nikkelproduksjon. Slike sparte utslipp observeres både når avrenning fra Fe-2-slam deponert uten stabilisering benyttes som sekundær råvare eller når Fe-2-slam ombrukes for ytterligere nikkelt- eller nikkeltåjernproduksjon.



Figur 4 Klimapåvirkningen per livsløpsfase for ulike ombruks- og avfalls løsninger for Fe-2-slam.



Figur 5 Fordelingen av klimagassutslipp for produksjon av rent nikkel (illustrasjon hentet fra Nickel Institute, 2020)

Utslippene for livsløpsfasene vist i Figur 4 domineres av produksjonen av stabiliseringsmateriale (brent kalk), forbehandling av Fe-2-slam og båttransport til annen fabrikk for ombruk. De store utslippene tilknyttet båttransport er en naturlig følge av at Fe-2-slam har en høy vekt per kg nikkel og transportavstandene er store. Produksjonen av brent kalk gir høye utslipp ettersom selve produksjonen frigir CO<sub>2</sub> og samtidig krever mye energi. Dette står i kontrast til stabilisering med flyveaske der bakenforliggende produksjonsutslipp kan neglisjeres ettersom flyveaske er et avfall. Nyttiggjøring av flyveaske kan også potensielt gi sparte utslipp ved at behovet for deponier som normalt

mottar slikt avfall reduseres. Samtidig er det HMS-utfordringer forbundet med håndtering av flyveaske, samt risiko for gassdannelse etter deponering. Disse problemstillingene er imidlertid ansett å være utenfor systemgrensene og omfanget av denne studien.

## 5 Konklusjon

Deponering av Fe-2-slam i fjellhall uten kjemisk stabilisering gir laveste netto klimapåvirkning. Dette skyldes at nikkell som lekker ut fra Fe-2-slam samles opp og benyttes som en sekundær råvare for videre nikkellproduksjon og dermed gir betydelige sparte utslipp. Disse sparte utslippene overstiger utslippene fra blant annet konstruksjonen av fjellhaller og gir en netto klimagevinst på 10 kg CO<sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam. Dersom Fe-2-slam stabiliseres før deponering øker klimapåvirkningen markant, og vil ved bruk av avfallsfraksjonen flyveaske gi en netto klimabelastning på 7 kg CO<sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam. Ved bruk av kommersielt tilgjengelig brent kalk vil netto klimabelastning være 82 kg CO<sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam. Ombruk av Fe-2-slam som råvare for ytterligere nikkellproduksjon eller til produksjon av nikkellråjernproduksjon gir sparte utslipp ved å erstatte annen råvare, men store utslipp tilknyttet forbehandling og transport gir en netto klimabelastning på 126 kg CO<sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam for nikkellproduksjon ved Murrin Murrin i Australia, og 139 kg CO<sub>2e</sub> / tonn Fe-2-slam for nikkellråjernproduksjon i Indonesia. Klimapåvirkning bør imidlertid alltid vurderes opp mot andre miljøpåvirkninger, herunder belastning på human helse og økotoksikologi.

## 6 Videre arbeid

Denne studien av ulike ombruks- og avfallsløsninger for Fe-2-slam gir nyttig innsikt i klimapåvirkning, men ingen øvrige miljøpåvirkninger. De ulike materialene og prosessene i systemet i studien vil ha betydelig påvirkning på effektkategorier utover klimapåvirkning, som for eksempel miljøtoksikologi, human helse, biodiversitet og arealbeslag. Analysen kan derfor gi et bredere beslutningsgrunnlag dersom den videreutvikles ved å inkludere ytterligere effektkategorier for å gi en mer holistisk vurdering av miljøgevinstene og miljøbelastningene.

Livsløpsanalysen kan også utvides til å inkludere konkrete bruksområder for over-skuddsmasser/sprengstein, eksempelvis utfylling i sjø for å vinne nytt land. Bruk av lokale masser kan gi store klimagevinster, men må utføres med varsomhet dersom det medfører arealbeslag som kan true lokal biodiversitet. En livsløpsanalyse kan benyttes for å gi en holistisk sammenstilling der slike ulike effekter kan sammenliknes.

Livsløpsanalysen viser at nyttiggjøring av Fe-2-slam har høy klimapåvirkning relativt til de andre scenarier. Dette skyldes i hovedsak utslipp knyttet til forbehandling og transport. I det videre arbeid med å identifisere en egnet nyttiggjøringsløsning anbefales det derfor å fokusere på løsninger:

- Som kan realiseres lokalt eller som minimum i Nord-Europa.
- Som ikke krever forbehandling.
- Der forbehandling (tørking og kalsinering) kan gjennomføres før transport. Dette vil redusere mengden Fe-2-slam som skal transporteres og dermed både kostnader og klimagassutslipp forbundet med transporten.

## 7 Referanser

Djouani, R. D. D. (2022). Advanced study on the extraction of Nickel from its ores. Hal Open Science. HAL Id: hal-03637893, <https://hal.science/hal-03637893>.

Mistry, M., Gediga, J., Boonzaier, S. (2016). Life cycle assessment of nickel products. Int J Life Cycle Assess (2016) 21:1559–1572. DOI 10.1007/s11367-016-1085-x.

Nickel Institute (2020). Nickel metal - LIFE CYCLE DATA. Fakta ark hentet fra: <https://nickelinstitute.org/en/policy/nickel-life-cycle-management/nickel-life-cycle-data/>

Huang, L., Bohne, R. A., Bruland, A., Jakobsen, P. D., Lohne, J. (2014). Environmental impact of drill and blast tunnelling: life cycle assessment. Journal of Cleaner Production, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.083>.

# Vedlegg A

## PROSESSBESKRIVELSE FOR KONSTRUKSJON AV FJELLHALLER

# 1 Prosessbeskrivelse for konstruksjon av fjellhaller

For å kunne beregne klimapåvirkningen fra konstruksjon av fjellhaller for deponering av slam er forutsetninger og utslippsfaktorer fra VegLCA beskrevet i tabellene under benyttet. Det er i tillegg benyttet mengder beskrevet i beskrivelsen for fjellhall 9 ved Glencore Nikkelverk i Kristiansand.

Tabell 1 Forutsetninger lagt til for konstruksjon av fjellhaller for deponering av jernslam.

Parameter	Verdi	Enhet	Kommentar
Deponikapasitet i fjellhall 9	100 800	m <sup>3</sup> Fe-2 slam	Kilde: beskrivelse for fjellhall 9
Volumet av totalt bergrom inne i fjellhall 9	113 000	m <sup>3</sup>	
Tetthet av Fe-2 slam	1,6	Ton / m <sup>3</sup>	Basert på opplysninger fra Glencore Nikkelverk
Tørrstoffprosent for Fe-2 slam	58%	-	
Distanse transport fra stuff til tunnelåpning	0,50	Km	Kilde: beskrivelse for fjellhall 9
Distanse transport tunnelåpning til mellomlager	0,50	Km	
Transportavstand for sprøytebetong inn til prosjektet	50,00	Km	Verdier hentet fra VegLCA
Transportavstand for materialer inn til prosjektet (sprengstoff etc.)	500,00	Km	
Sprøytebetong	450	m <sup>3</sup>	Kilde: beskrivelse for fjellhall 9, antatt lav mengde pga. kun sprøytebetong i tunnelens heng
Sikringsbolter, endeforankret med ekspansjonshylse, Ø25	700	stk.	Kilde: beskrivelse for fjellhall 9
Sikringsbolter, endeforankret med polyester, Ø20	1700	stk.	
Sikringsbolter, fullt innstøpt, Ø32	150	stk.	
Sikring med bergbånd	300	m	
Boring av hull for injeksjon	170	stk.	Kilde: beskrivelse for fjellhall 9, antatt 18 m dype
Injeksjonsmiddel standard injeksjonssement	61 200	kg	Estimert ved å anta 20 kg per meter borhull
Injeksjonsmiddel spesialsement	2 000	kg	Kilde: beskrivelse for fjellhall 9
Injeksjonsmiddel polyuretan	500	kg	

Tabell 2 Beregningsfaktorer hentet fra VegLCA benyttet for å beregne mengder og forbruk for ulike prosesser ( $l m^3$  indikerer løse kubikk, mens  $f m^3$  indikerer faste kubikk).

Parameter	Verdi	Enhet
Elektrisitet driving av tunneler (borerigg, ventilasjon, belysning, annet)	6,6	kWh/ $f m^3$
Omregningsfaktor fast berg til sprengstein	1,6	Fraksjon
Sprengstein	1,66	tonn/ $l m^3$
Sprengstoff forbruk, Fjell, Klasse 1	1,8	kg/ $f m^3$
Elektrisitet driving av tunneler (borerigg, ventilasjon, belysning, annet)	6,6	kWh/ $f m^3$
Gravemaskin	0,26	liter diesel/ $l m^3$
Sprengstein	1,66	tonn/ $l m^3$
Betong	2,4	tonn/ $m^3$
Bergbånd	0,57	kg/m
Steinsprangnett	1,72	kg/ $m^2$
Sikringsbolter $\varnothing$ 16 mm	1,2	kg/m
Sikringsbolter $\varnothing$ 20 mm	2,47	kg/m
Sikringsbolter $\varnothing$ 25 mm	3,92	kg/m
Sikringsbolter $\varnothing$ 32 mm	6,43	kg/m
Stål, bolter av kamstål, materialavstand	1600	Km
Hullboring	0,6	liter diesel/m

Tabell 3 Utslippsfaktorer hentet fra VegLCA benyttet for å beregne klimapåvirkningen fra mengder og forbruk for ulike prosesser som inngår for å konstruere bergrom ( $l m^3$  indikerer løse kubikk, mens  $f m^3$  indikerer faste kubikk).

Prosess/mengde	Enhet (prosess)	kg CO <sub>2e</sub>	Kilde
Stål, bolter av kamstål	kg	0,87	Gjennomsnitt av 12 EPDer publisert hos EPD-Norge i 2021
Sprøytebetong, B35, Bransjereferanse	$m^3$	330	Tilsvarende normalbetong, B35, bransjereferanse.
Sprøytebetong, B35, Lavkarbon	$m^3$	280	Tilsvarendenormalbetong, B35, lavkarbonklasse B.
Sprøytebetong, B35, Bransjereferanse, med tilsetning av stålfiber	$m^3$	347,32	Tilsvarendenormalbetong, B35, bransjereferanse. Forutsatt 20 kg stål per $m^3$ (4D-fiber)
Sprøytebetong, B35, Lavkarbon, med tilsetning av stålfiber	$m^3$	297,32	Tilsvarende normalbetong, B35, lavkarbonklasse B. Forutsatt 20 kg stål per $m^3$ (4D-fiber)

Prosess/mengde	Enhet (prosess)	kg CO <sub>2</sub> e	Kilde
Sprengstoff	kg	1,26	Gjennomsnitt av 10 EPDer for sprengstoff på det norske markedet
Materialtransport (transport av materialer inn til prosjektet)	tkm	0,16	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER}  market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5   Cut-off, U
Massetransport (diesel for veitransport)	tkm	0,05	Snitt forbruk: 0,45 l/km. Tetthet fjell: 2,7 tonn/pfm <sup>3</sup> . Kapasitet: 25 tonn/lass eller 9,3 pfm/lass. Slittasje lastebil: fra ecoinvent: 0,022702852 kg CO <sub>2</sub> e/tkm. Antar 1/3 av dette for å justere maskinslittasje til ca 10%
Massetransport, helning > 5 % (diesel for veitransport)	tkm	0,22	425 % økt drivstofforbruk for tungtrafikk som kjører i oppoverbakker med helning over 5 %. Økningen i drivstofforbruket er basert på et Britisk studie, ARTEMIS
Massetransport (anleggsdiesel)	tkm	0,06	Snitt forbruk: 0,45 l/km. Tetthet fjell: 2,7 tonn/pfm <sup>3</sup> . Kapasitet: 25 tonn/lass eller 9,3 pfm/lass. Slittasje lastebil: fra ecoinvent: 0,022702852 kg CO <sub>2</sub> e/tkm. Antar 1/3 av dette for å justere maskinslittasje til ca 10%
Elektrisitet - Anlegg	kWh	0,05	"Klima: Utslippsfaktorer er utarbeidet med utgangspunkt i samme datagrunnlag som er benyttet i NS3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger; som er basert på statistikk fra Eurostat, EEA, SSB og EUs Roadmap 2015.
Anleggsdiesel: Innblanding biodiesel basert på omsetningskrav, B0	l	3,24	EN 16258
Sement, CEM I	kg	0,81	Gjennomsnitt av publiserte EPDer for sement, CEM I
Sement, CEM II	kg	0,64	Gjennomsnitt av publiserte EPDer for sement, CEM II
Sement, CEM III	kg	0,30	Gjennomsnitt av publiserte EPDer for sement, CEM III
Polyuretan	kg	4,68	Ingen kildehenvisning i VegLCA

*Tabell 4 Aggregerte utslippsfaktorer for ulike prosesser for konstruksjon av fjellhaller for deponering. Utslippene vil øke ved stabilisering av Fe-2-slammet ettersom noe av deponi-kapasiteten vil opptas av stabiliseringsmateriale.*

<b>Parameter</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>e / tonn jernslam uten stabilisering (scenario 1)</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>e / tonn jernslam ved stabilisering med flyveaske (scenario 2A)</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>e / tonn jernslam ved stabilisering med brent kalk (scenario 2B)</b>
Sprengning og massetransport	3,12	3,46	3,15
Bergsikring	1,24	1,37	1,25
Berginjeksjon	0,40	0,45	0,41
Sum	4,75	5,28	4,80

# Vedlegg B

PROSESSBESKRIVELSE FOR SPARTE  
UTSLIPP VED ERSTATNING AV  
JOMFRUELIG RÅVARE

# 1 **Prosessbeskrivelse for sparte utslipp ved erstatning av jomfruelig råvare**

For å kunne beregne de sparte utslippene fra erstatning av jomfruelig råvare ved nikkelproduksjon er det benyttet data fra en livløpsanalyse utarbeidet av Nickel Institute (2020) og beskrivelse av ulike prosesser i nikkelproduksjon i en masteroppgave (Djouani, 2022). Ved å sammenstille disse dataene kan man beregne massebalansen og de tilhørende utslippene for ulike prosesser i nikkelproduksjon. Det antas at nikkeli i sigevann fra deponert Fe-2 slam erstatter matte som er den primære råvaren til Glencore Nikkelverk i Kristiansand. Dersom Fe-2 slam benyttes som råvare for videre produksjon av nikkeli eller nikkellråjern antas det at nikkeli i Fe-2-slam erstatter bearbeidet laterittmalm (produktet fra beneficiation and ore preparation), som er felles råvare for både produksjon av nikkeli eller nikkellråjern.

Tabell 1 Fordelingen av utslipp og massebalanse for ulike prosesser ved nikkelproduksjon. Transportutslipp er splittet på gruvedrift (mining) og primary extraction da mengden og dermed vekten av råvare er betydelig høyere enn ved eksempelvis raffinering

Process	Raw material input (kg)	%Ni in raw material	Ni Input (kg)	Ni in Product (%)	Ni in Product (kg)	Product (kg)	Loss of Ni in process (% of input)	% Emission of total	kg CO <sub>2</sub> / kg Ni Prod
Mining	47.1	3.00%	1.4	3%	1.27	42.43	10%	13%	1.69
Transport1								2%	0.26
Benefication and ore preparation	42.4	3.00%	1.3	18%	1.15	6.36	10%	15%	1.95
<b>Sum Mining, benefication and ore preparation</b>								<b>30%</b>	<b>3.9</b>
Transport2								2%	0.26
Primary Extraction	6.4	18.00%	1.1	40%	1.03	2.58	10%	55%	7.15
<b>Sum Mining, Benefication, Ore Preparation, Primary Extraction, Transport</b>								<b>87%</b>	<b>11.31</b>
Refining	2.6	40.00%	1.0	100%	1.00	1.00	3%	13%	1.69
<b>Sum All Processes</b>								<b>100%</b>	<b>13.00</b>

Tabell 2 Utslippsfaktorer beregnet for bearbeidet malm, matte og rent nikkelprodukt.

Emission factor	Value	Unit
Raw material for Ni primary extraction (processed ore)	0.61	kg CO <sub>2</sub> eq / kg raw material (processed ore)
Raw material for Ni refining (matte)	4.39	kg CO <sub>2</sub> eq / kg raw material (matte)
Ni product (99.99%)	13.00	kg CO <sub>2</sub> eq / kg Ni Prod

Tabell 3 Sparte utslipp ved ombruk av nikkell i sivevann fra deponert jernslam.

Parameter	Value	Unit	Comment
Total amount of Ni in seepage over 100 years	208000	kg Ni	Based on 100-years integral of exponential extrapolation fluxes recorded from hall 5 +7 (data from 5 years)
Total amount of Fe-2-slam	99200	tons of Fe-2 slam	Total amount of Fe-2-slam in hall 5
Amount of Ni in seepage relative to Fe-2 slam	2.10	kg Ni / ton Fe-2 slam	
Ni amount in raw material (matte)	40%		
Amount of raw material (matte) replaced by seepage (kg)	5.24	kg matte / ton Fe-2 slam	
Emission factor raw material (matte) production	4.39	kg CO <sub>2</sub> e / kg matte	
<b>Avoided emission from using Fe-2 slam as alternative raw material for refining</b>	<b>23.00</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>e / ton Fe-2 slam</b>	

Tabell 4 Sparte utslipp ved ombruk av nikkell i jernslam ved enten nikkellproduksjon eller nikkellråjernproduksjon der bearbeidet malm benyttes som råvare.

Parameter	Value	Unit	Comment
Ni in Fe-2 slam	1.5%	(dry weight)	
Irreversible bound Ni in Fe-2 slam (unavailable for reuse)	5.0%	(dry weight)	Based on best guess in dialogue with Glencore
Dry weight percentage for Fe-2 slam	58%		Average values based on timeseries from Glencore
Ni amount in 1 ton of Fe-2 slam	8.27	kg Ni / ton Fe-2 slam	
Ni amount in processed ore	18.0%	kg Ni / kg Fe-2 slam	
Amount of raw material (processed ore) replaced by Fe-2 slam	45.92	kg ore / ton Fe-2 slam	
Emission factor raw material (processed ore)	0.61	kg CO <sub>2</sub> e / kg processed ore	
<b>Avoided emission from using Fe-2 slam as alternative raw material for primary extraction</b>	<b>28.14</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>e / ton Fe-2 slam</b>	

## 2 Referanser

Djouani, R. D. D. (2022). Advanced study on the extraction of Nickel from its ores. Hal Open Science. HAL Id: hal-03637893, <https://hal.science/hal-03637893>.

Mistry, M., Gediga, J., Boonzaier, S. (2016). Life cycle assessment of nickel products. Int J Life Cycle Assess (2016) 21:1559–1572. <https://10.1007/s11367-016-1085-x>

Nickel Institute (2020). Nickel metal - LIFE CYCLE DATA. Faktaark hentet fra: <https://nickelinstitute.org/en/policy/nickel-life-cycle-management/nickel-life-cycle-data/>

<b>Dokumentinformasjon/Document information</b>		
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Bærekraftsvurdering av ombruks- og avfallsløsninger for Fe-2-slam		<b>Dokumentnr./Document no.</b> 20230631-01-TN
<b>Dokumenttype/Type of document</b> Teknisk notat / Technical note	<b>Oppdragsgiver/Client</b> Glencore Nikkelverk AS	<b>Dato/Date</b> 2024-06-24
<b>Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/Proprietary rights to the document according to contract</b> Oppdragsgiver / Client		<b>Rev.nr. &amp; dato/Rev.no. &amp; date</b> 0
<b>Distribusjon/Distribution</b> INGEN: Distribueres kun til oppdragsgiver (utvidet konfidensialitet, X prosjekter) / NO: Distribution to client only (extended confidentiality, X projects)		
<b>Emneord/Keywords</b> Bærekraft, LCA, SimaPro, avfall, deponi, nyttiggjøring		

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

<b>Dokumentkontroll/Document control</b>					
<b>Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001</b>					
<b>Rev/Rev.</b>	<b>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</b>	<b>Egenkontroll av/Self review by:</b>	<b>Sidemanns-kontroll av/Colleague review by:</b>	<b>Uavhengig kontroll av/Independent review by:</b>	<b>Tverrfaglig kontroll av/Inter-disciplinary review by:</b>
0	Originaldokument	2024-05-02 A.B. Smebye	2024-06-19 Gøril Aasen Slinde		

<b>Dokument godkjent for utsendelse/Document approved for release</b>	<b>Dato/Date</b> 24. juni 2024	<b>Prosjektleder/Project Manager</b> Simon Ross Stenger
---	-----------------------------------	--

NGI – Norges Geotekniske Institutt - er et uavhengig forskningsinstitutt innen geoteknikk og andre ingeniørrettede geofag.

Vi kombinerer geokunnskap og teknologi for å utvikle smarte og bærekraftige løsninger innen infrastruktur på land og til havs, innen miljøteknologi, forurenset grunn og naturfarer som jord- og snøskred. Forskningen vår leverer kunnskap som bidrar til å løse noen av de viktigste utfordringene verden står overfor innenfor klima, miljø, energi og samfunnsikkerhet.

Samfunnsoppgaven vår er å utvikle geofagene og fremskaffe kunnskapsgrunnlaget for å bygge, bo og ferdes på sikker grunn. Dette løser vi ved å la forskning og rådgivning gå "hånd i hånd" og være brobygger mellom akademia, næringsliv og det offentlige.

Vi har kontorer i Norge, USA og Australia og vi har internasjonalt anerkjente laboratorier.

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

NGI – The Norwegian Geotechnical Institute – is an independent research centre in the field of geotechnical engineering and the engineering geosciences.

We combine geotechnical knowledge and technology to develop smart and sustainable solutions in infrastructure on land and at sea, in environmental technology, contaminated soil and natural hazards such as landslides and avalanches. Our research provides knowledge that contributes to solve some of the most important challenges the world faces with regards to climate, the environment, energy and societal security.

Our societal mission is to develop the geosciences and produce the knowledge basis to build, live and travel on safe ground. We solve this by combining research and consulting hand-in-hand and being a bridge-builder between academia, industry and the public sector.

We have offices in Norway, the US and Australia, including internationally recognised laboratories.

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

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

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

