

Prosjektpartnere

Prosjektansvarlig

Prosjektansvarlig	
Institusjon / bedrift	NOAH AS
Adresse	Postboks 317
Postnummer	3081
Poststed	HOLMESTRAND
Land	Norge
E-post til postmottak	post@noah.no
Internettadresse	
Organisasjonsnummer	825355812
Er prosjektansvarlig et foretak i dette prosjektet jf. statsstøtteregelverket?	Ja
Foretakets størrelse	Middels
Tilhører prosjektansvarlig samme konsern som noen av samarbeidspartnerne?	Nei
Rolle i prosjektet	Både utførende og finansierende

Administrativt ansvarlig

Fornavn	Morten Breinholt
Etternavn	Jensen
Fødselsdato	040475
Personnummer	
Kjønn	Mann
Stilling/tittel	Head of Innovation
Telefon	41518457
E-post	Morten.Jensen@noah.no
	✓ Søknaden er godkjent av

Bekreftelse	prosjektansvarlig
-------------	-------------------

Prosjektleder

Fornavn	Morten Breinholt
Etternavn	Jensen
Fødselsdato	040475
Personnummer	
Kjønn	Mann
Institusjon / bedrift	NOAH AS
Adresse	Postboks 317
Postnummer	3081
Poststed	HOLMESTRAND
Land	Norge
Stilling/tittel	Head of Innovation
Akademisk grad	PhD
Ønsket målform	Bokmål
Telefon	41518457
E-post	Morten.Jensen@noah.no

Samarbeidspartnere og FoU-leverandører

1

Institusjon/ bedrift	Institutt for materialteknologi
Adresse	NTNU
Postnummer	7491
Poststed	TRONDHEIM
Land	Norge
Organisasjonsnummer	
Kontaktperson	Gabriella Tranell
Kontaktperson telefon	98283926
Kontaktperson e-post	gabriella.tranell@ntnu.no

Rolle i prosjektet	Kun utførende
Er samarbeidspartneren et foretak i dette prosjektet jf. statsstøtteregelverket?	Nei

2

Institusjon/ bedrift	Institutt for geovitenskap og petroleum
Adresse	NTNU
Postnummer	7491
Poststed	TRONDHEIM
Land	Norge
Organisasjonsnummer	
Kontaktperson	Erik Larsen
Kontaktperson telefon	92285014
Kontaktperson e-post	erik.larsen@ntnu.no
Rolle i prosjektet	Kun utførende
Er samarbeidspartneren et foretak i dette prosjektet jf. statsstøtteregelverket?	Nei

3

Institusjon/ bedrift	KRONOS TITAN AS
Adresse	Postboks 1415
Postnummer	1602
Poststed	FREDRIKSTAD
Land	Norge
Organisasjonsnummer	948616491
Kontaktperson	Jan Klauset
Kontaktperson telefon	48192195
Kontaktperson e-post	jan.klauset@kronosww.com
Rolle i prosjektet	Både utførende og finansierende

Er samarbeidspartneren et foretak i dette prosjektet jf. statsstøtteregelverket?

Foretakets størrelse

Tilhører samarbeidspartneren samme konsern som prosjektansvarlig og/eller noen av samarbeidspartnerne?

Ja

Stor

Nei

Prosjektdeltagere

Fornavn	Etternavn	Institusjon/Bedrift
Morten Breinholt	Jensen	NOAH AS
Kai Erik	Ekstrøm	NOAH AS
Gabriella	Tranell	Institutt for Materialteknologi, NTNU
Erik	Larsen	Institutt for Geovitenskap og Petroleum, NTNU

Prosjektinformasjon

Prosjekttittel

Prosjekttittel

Askepott - Utnyttelse av verdiskapingspotensialet i flyveaske og avfallssyre

Prosjektets hovedmål og delmål

Hovedmålet til prosjektet vil være å systematisk utvikle økonomisk bærekraftige metoder innen mineralforedling og ekstraktiv metallurgi for gjenvinning av avfallssyre og materialfraksjoner fra flyveaske og lokal kalkstein.

Dette innebærer følgende etterprøvbare delmål:

- Etablere metoder for separasjon og rensing av kalkforbindelser og andre verdifulle mineraler fra flyveaske og lokal kalkstein.
- Etablere en eller flere økonomisk bærekraftige metoder for å ekstrahere metaller og/eller metallkonsentrater fra flyveasker.
- Etablere en forbehandlingsmetode for avfallssyre med mål om å produsere ren hvitgips.
- Produsere salgbar hvitgips fra avfallssyre og kalk hentet fra lokal kalkstein og/eller flyveaske, samt optimalisere utbyttet av hvitgips mot forurenset rødgips.
- Gjennomføre og evaluere industrielle tester av produsert gips mot ekstern bedrift innen gips og/eller sementbransjen.
- Gjennomføre «pre-feasibility» studier på valgte tekniske løsninger

Prosjektsammendrag

NOAH behandler i dag farlig uorganisk avfall på en trygg og forsvarlig måte. NOAHs ambisjoner om å gjenvinne en fjerdedel av av massene som mottas innen 2025 svarer godt til FNs bærekraftmål, og som medlem av UN Global

Compact Norge så forplikter NOAH seg til å følge FNs 10 prinsipper for ansvarlig næringsliv som blant annet innebærer økt satsing på sirkulære løsninger.

Uorganiske avfallsfraksjoner som flyveasker inneholder betydelige mengder med verdifulle og utnyttbare mineraler og metaller. Dagens gjenvinningsløsninger er dog ofte kostbare og lite økonomisk bærekraftige, og det er knyttet stor usikkerhet til sammensetningen av fremtidens flyveasker. For å legge til rette for økt gjenvinning vil det derfor være nødvendig å utvikle nye kostnadseffektive behandlingsløsninger som er robuste mot endringer i kjemisk sammensetning. Prosjektet har som målsetning å gjenvinne materialfraksjoner fra avfallssyre, flyveaske og lokal kalkstein ved å skreddersy kostnadseffektive, miljøvennlige og robuste metoder basert på metoder innen mineralforedling og ekstraktiv metallurgi, og vil fokusere på:

1. Gjenvinning og rensing av avfallssyre som salgbar gips.
2. Gjenvinning og rensing av kalk og andre mineralfraksjoner fra flyveaske og lokal kalkstein.
3. Ekstraksjon og videreforedling av salgbare metaller og metallkonsentrat fra flyveasker.

Prosjektets gjennomføres i samarbeid med Kronos Titan og fagmiljøene ved Institutt for Materialteknologi og Institutt for Geovitenskap og Petroleum ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim.

Virkninger og effekter

- Sikre fortsatt mottakskapasitet for farlig uorganisk avfall for Norsk industri.
- Mer bærekraftig håndtering av farlig avfall.
- Gjenvinning av ressurser, og derav forsyne industri med gips og andre gjenvunnede råvarer som erstatning for jomfruelige kilder.
- Lokale råvarer som vil redusere CO2 avtrykket for utvinning og transport av naturgips og/eller FGD gips fra Europa.
- Vil legge grunnlaget for mulig fremtidig nøytralisering av farlig avfall med CO2-fangst.
- Svarer til NOAHs ambisjoner om økt gjenvinningsgrad og FNs bærekraftmål.

Plassering

Plassering - informasjon fra søker

Program / aktivitet	IPNÆRINGSLIV21
Søknadstype	Innovasjonsprosjekt

Tema

Temaområde	Tema
Industri og tjenestenæringer	Prosess- og foredlingsindustri

Fagkoder

Filtrer på fagområde	Filtrer på fag	Disiplin
Teknologi	Berg- og petroleumsfag	Berg- og petroleumsfag
Teknologi	Materialteknologi	Metallurgi

Filtrer på fagområde	Filtrer på fag	Disiplin
Teknologi	Materialteknologi	Materialteknologi
Teknologi	Miljøteknologi	Miljøteknologi

Andre relevante utlysninger

Prosjektnr. v/ tilleggssøknad

Er søknaden relatert til andre søknader eller pågående prosjekter med støtte fra Forskningsrådet eller annen offentlig finansieringsordning?

Nei

Framdriftsplan

Prosjektperiode

Fra dato (dd.mm.åååå)	01.08.2021
Til dato (dd.mm.åååå)	31.12.2024

Hovedaktiviteter og milepæler i prosjektperioden (år og kvartal)

	Milepæler fordelt over prosjektperioden	Hovedaktivitet / Kategori	Fra	Kvartal	Til	Kvartal
1	Rensing av kalkstein fra Langøya	Industriell forskning	2021	3	2023	4
2	Separasjon av kalk og mineraler fra flyveaske	Industriell forskning	2021	3	2024	2
3	Rensing og produksjon av gips	Industriell forskning	2021	3	2024	2
4	Oppskalering og industrielle forsøk	Eksperimentell utvikling	2023	1	2024	4
5	Metallurgisk gjenvinning av metaller	Industriell forskning	2021	3	2024	4
6	Gjennomførbarhetsstudie	Eksperimentell utvikling	2023	1	2024	4
7	M1.1 Prosess for produksjon av kalsitt	Milepæl	2021	3	2023	1
8	M2.1 Optimalisert separasjonsprosess	Milepæl	2021	3	2023	4
9	M3.1 Parametere for rensing av syre og gips	Milepæl	2021	3	2023	4
10	M4.1 Produsere 100kg med gips for uttesting	Milepæl	2024	1	2024	4
11	M5.1 Valgt pyrometallurgisk fokusområde	Milepæl	2021	3	2022	4

Budsjett

Kostnader pr. prosjektpartner pr. hovedaktivitet (i 1000 kr)

Overskriften i tabellen viser aktivitetsnumrene for hovedaktiviteter slik de er lagt inn i Framdriftsplan (når disse er angitt). I parentes vises valgt kategori.

	1 (IF)	2 (IF)	3 (IF)	4 (EU)	5 (IF)	6 (EU)	Sum
NOAH AS	934	1006	3501	2676	958	1077	10152
Institutt for materialteknologi	0	0	0	0	5007	0	5007
Institutt for geovitenskap og petroleum	3370	3370	1685	0	0	0	8425
KRONOS TITAN AS	0	0	172	167	0	166	505
Totalsum	4304	4376	5358	2843	5965	1243	24089

Kostnadsplan (i 1000 kr)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	Sum
Personal- og indirekte kostnader	1208	2913	2570	2559					9250
Innkjøp av FoU-tjenester	1193	5231	5343	1665					13432
Utstyr	0	0	188	375					563
Andre driftskostnader	94	250	250	250					844
Totalsum	2495	8394	8351	4849	0	0	0	0	24089

Spesifikasjonsfelt

Utstyr:
Leie av pilotskala filtreringsutstyr og flotasjons/separasjonsutstyr fra ekstern leverandør.

Andre driftskostnader:
- Reiser til konferanse, leverandører, partnere.
- Eksterne laboratorieanalyser.

Kostnadssted (i 1000 kr)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	Sum
Næringsliv	1302	3163	3008	3184					10657
Instituttsektor	0	0	0	0					0
UoH-sektor	1193	5231	5343	1665					13432
Andre sektorer	0	0	0	0					0
Utlandet	0	0	0	0					0
Totalsum	2495	8394	8351	4849	0	0	0	0	24089

Finansiering pr. prosjektpartner (i 1000 kr)

	Forsknings- rådet	Egen- finansiering	Annen finansiering	Sum	Spesifikasjon av annen finansiering
NOAH AS	0	10152	0	10152	
KRONOS TITAN AS	0	505	0	505	
Totalsum	0	10657	0	10657	

Finansieringsplan (i 1000 kr)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	Sum
Egenfinansiering	1302	3163	3008	3184					10657
Internasjonale midler	0	0	0	0					0
Offentlig finansiering	0	0	0	0					0
Privat finansiering	0	0	0	0					0
Forskningsrådet	1193	5231	5343	1665					13432
Totalsum	2495	8394	8351	4849	0	0	0	0	24089

Spesifikasjonsfelt

Stipend

Type stipend	Fra dato (dd.mm.åååå)	Til dato (dd.mm.åååå)
Doktorgrad	01.11.2021	01.11.2024
Postdoktorstipendiat	01.11.2021	01.11.2023
Postdoktorstipendiat	01.05.2022	01.05.2024

Vedlegg

Prosjektbeskrivelse

Prosjektbeskrivelse	ES687944_001_2_Prosjektbeskrivelse_20210415
Referanse	ES687944.pdf

Curriculum vitae (CV)

Curriculum vitae (CV)	ES687944_002_1_CV_20210415
Referanse	CV_MBJ.pdf

Curriculum vitae (CV)	ES687944_002_2_CV_20210415
Referanse	CV KEE.pdf

Curriculum vitae (CV)	ES687944_002_3_CV_20210415
Referanse	CV_EL.pdf

Curriculum vitae (CV)	ES687944_002_4_CV_20210415
Referanse	CV_GT.pdf

Partneropplysninger

Partneropplysninger	ES687944_017_1_Bedriftsopplysninger_20210415
Referanse	Partneropplysninger_NOAH.pdf

Partneropplysninger	ES687944_017_2_Bedriftsopplysninger_20210415
Referanse	Partneropplysninger Kronos.pdf

Bekreftelse fra samarbeidspartnere

Bekreftelse fra samarbeidspartnere	ES687944_008_1_AktiveSamarbeidspartnere_20210415
Referanse	Bekreftelsesbrev om samarbeid mellom Kronos Titan AS og NOAH AS.pdf

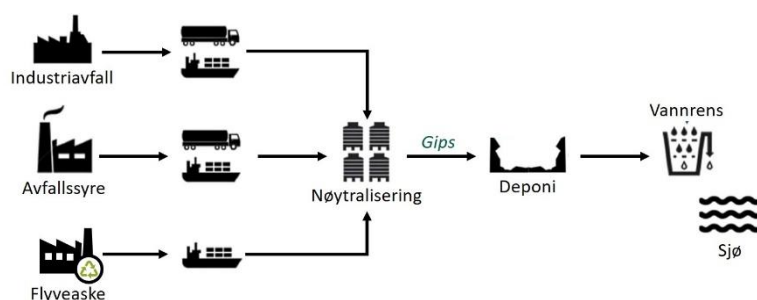
Prosjektbeskrivelse for innovasjonsprosjekt i næringslivet: Askepott – Utnyttelse av verdiskapingspotensialet i flyveaske og avfallssyre

DEL 1: Innovasjonen

1. Overordnet idé

NOAH AS tar imot og behandler farlig uorganisk avfall med opphav hos forbrukere og industri, derav 370 000 tonn med flyveaske fra avfallsforbrenning og 200 000 m³ med avfallssyre fra Kronos Titan, i det tidligere kalksteinsbruddet på Langøya utenfor Holmestrand. Kalk settes til som en del av røykgassrensingen ved forbrenningsverkene og en stor andel av denne kalken følger flyveaskene som NOAH mottar. Kalken legger grunnlaget for dagens behandlingsprosess på Langøya (Figur 1), hvor den høye basisiteten til askene utnyttes til å nøytralisere avfallssyra fra Kronos Titan. Resultatet er en stabil gips som reduserer utlekking av farlige og uønskede forbindelser til omgivelsene.

Med dagens prosess så anslås deponiet å være fullt innen 2029, og det jobbes med ulike løsninger for å sikre nødvendig deponikapasitet også i fremtiden. Samtidig så ser man at dagens prosess er lite forenelig med NOAHs ambisjoner om økt gjenvinning og økt satsing på gjenvinning og sirkulære løsninger, som blant annet reflekteres i **NOAHs medlemskap i UN Global Compact Norge**. Klarer man derimot å legge til rette for økt gjenvinning av avfallssyre og flyveaske, og redusere deponering til kun det mest nødvendige, så vil man også kunne forlenge levetiden på deponiet betraktelig.



Figur 1. I nåværende prosess nøytraliseres avfallssyra fra Kronos Titan mot kalkinnholdet i flyveasker. Uorganiske og organiske forbindelser fra flyveasker og annet industrielt avfall stabiliseres i en gipsmasse som reduserer utlekking til omgivelsene.

I henhold til NOAHs allerede etablerte råvarestrøm og muligheter for gjenopptagelse av kalksteinsutvinning fra bruddet på Langøya så vil det være naturlig å se på muligheter for produksjon av gips som kan selges som råstoff f.eks. til gipsplate- og/eller sementproduksjon. Kommersielle gipsplate- og sementprodusenter bruker i dag syntetisk gips, også kjent som FGD gips, som et rimeligere råstoff til sin produksjon enn edruelig naturgips som utvinnes fra steinbrudd. FGD gips er et rent biprodukt som oppstår ved svovelfrensing av røykgass fra kullkraftverk, men på grunn av en avtagende kullkraftproduksjon i Europa så forventer man at begge vil måtte erstatte en økende andel av råvarestrømmen sin med naturgips allerede om få år. En ønsker derfor å se på muligheter for å produsere et alternativ til FGD gips fra materialstrømmene som NOAH mottar. Prosessen vil være nokså lik NOAHs nåværende prosess, hvor avfallssyre ($\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$) reagerer med en kalkkilde, f.eks. kalsiumkarbonat ($\text{CaCO}_{3(\text{s})}$), til dannelsen av gips ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}_{(\text{s})}$), men for at gipsen skal kunne oppnå en kommersiell renhet så må kalkkilden være betydelig renere enn utgangspunktet.

Kronos Titan AS i Fredrikstad produserer 36.000 tonn TiO_2 pigment årlig fra norsk illmenitt som benyttes i blant annet maling, papir, plast og gummi. Råmaterialer er ilmenittkonsentrat (FeTiO_3) fra søsterselskapet Tiania AS i Hauge i Dalene og konsentrert svovelsyre Boliden AS i Odda. Produksjonen er basert på en sulfatprosess som genererer omtrent 200 000 m³ med forurenset svovelsyre i året med en negativ markedsverdi. I dag leveres svovelsyren til NOAH AS på Langøya der den nøytraliseres med flyveaske og brent kalk.

«Askepott» har derfor som målsetning å utvikle og vurdere følgende løsninger som bidrar til økt gjenvinning og økt verdiskapning for NOAH AS og Kronos Titan:

1. Rensing og produksjon av salgbar hvitgips fra kalkstein og avfallssyre
Prosjektet søker å ta i bruk metoder innen mineraloppredning for å knuse, separere ut og rense $\text{CaCO}_{3(s)}$ fra kalksteinsbruddet på Langøya til tilfredsstillende renhet for produksjon av gips. Det frigjorte volumet vil deretter kunne benyttes for å sikre fremtidig deponikapasitet. **Metoder for å redusere urenheter i både kalksteinen og avfallssyra må utvikles, og kalkens egenskaper må kartlegges og demonstreres i gipsproduksjon.**
2. Gjennvinning av kalsiumkarbonat og andre mineraler fra flyveaske til produksjon av salgbar hvitgips
Som et alternativ til kalkstein så ønsker man å se på muligheter for å ekstrahere kalkholdige forbindelser fra flyveasker. Kalkinnholdet i flyveasker varierer typisk mellom 25 til 55%, og gjennvinning av kalk vil kunne lede til betydelig besparelser i deponivolum og potensielt bidra til økt verdiskapning som innsatsfaktor for gipsindustrien. **Løsninger for å separere kalken fra tungmetaller og andre uønskede komponenter i flyasken må derfor utvikles og den separerte kalkens egenskaper demonstreres i gipsproduksjon.**
3. Separasjon og oppkonsentrering av metallholdige forbindelser fra flyveaske til salgbare produkter
Verdifulle metaller som aluminium (Al), sink (Zn), magnesium (Mg), titan (Ti), bly (Pb) og kobber (Cu) vil være aktuelle for metallgjennvinning fra flyveasken. Prosjektet søker derfor etter å ta i bruk de samme metodene som i pt. 1 sammen med metoder innen ekstraktiv metallurgi for å separere ut og oppkonsentrere metaller til salgbare produkter. Anslåtte mengder av metaller tilstede i de 370 000 tonn med flyveaske som NOAH mottar årlig er oppsummert i **Tabell 1**. Konsentrasjonene i **Tabell 1** tar ikke hensyn til forbrenningsteknologi ved verkene, og det vil være nødvendige å kartlegge metallforekomster i mulighetrom for gjennvinning fra individuelle asker. **Metallforekomster må kartlegges og metoder for ekstraksjon og videreraffinering av metaller fra prosesserte og uprosesserte asker må utvikles.**

Tabell 1. Anslåtte mengder metaller basert på gjennomsnittlig målt konsentrasjon i 370 000 tonn flyveaske.

	Al	Zn	Mg*	Ti*	Pb	Cu
Gjennomsnittlig konsentrasjon [g/kg]	20	13	11	7	3	1
Mengde [tonn]	7 400	4 800	4 100	2 600	1 100	400

* Elementer som er på EUs liste over kritiske råmaterialer.

2. Innovasjonsinnhold

På grunn av sin status som farlig avfall så går flyveasker fra avfallsforbrenning i Norge og andre nærliggende markeder som Sverige, Danmark, England og Tyskland, primært til egnede avfallsdeponier. NOAH har med sin gipsprosess tradisjonelt vært en aktør som tar flyveasker, avfallssyre og andre uønskede miljøgifter ut av kretsløpet for sikker og forsvarlig håndtering i deponiet på Langøya. Uorganiske avfallsfraksjoner som flyveasker inneholder ofte betydelige mengder med verdifulle og gjenvinnbare mineraler og metaller, gjerne med konsentrasjoner som er sammenlignbare med naturlige forekomster, og man ser en økende innsats mot urban gruvedrift og alternative løsninger for flyveasker som med andre avfallsfraksjoner. I mangel på økonomisk bærekraftige metoder så ser man allikevel at gjennvinning fra flyveasker primært er begrenset til kloridsalter og enkelte metallkonsentrater som Zn, og store mengder uutnyttede materialfraksjoner blir dermed etterlatt på deponier. Som ett av få land i Europa så gjenvinnes det omtrent 300 tonn med Zn-plater årlig fra flyveasker i Sveits gjennom FLUWA/FLURC prosessene, men dette er primært drevet av strenge nasjonale forskrifter og anses ikke for å være økonomisk bærekraftig. Restandelen går tilbake på deponi, og i noen tilfeller vil den kunne omklassifiseres til ikke-farlig avfall hvis det lokale regelverket tillater dette. Svenske ScanArc har utviklet en metode for å fraksjonere og gjenvinne metallfraksjoner ved hjelp av plasmasmelting slik at restmaterialet blir rent nok til å kunne brukes som bygningsmateriale og/eller omklassifiseres til ikke-farlig avfall, men som de fleste plasmaprosesser så er metoden svært energiintensiv. Etablerte metoder innen mineraloppredning og metallproduksjon har dog sett begrenset med oppmerksomhet, og «Askepott» vil fokusere på å utvikle økonomisk bærekraftige metoder for gjennvinning av verdifulle mineraler og metaller fra flyveaske ved hjelp av velkjente metoder innen mineraloppredning og ekstraktiv metallurgi. Prosjektet vil også utvikle løsninger for å utnytte avfallssyre fra Kronos Titan sammen med kalkforbindelser fra flyveaske eller kalkstein fra Langøya til produksjon av en salgbar hvitgips. En tilsvarende prosess er etablert ved Kronos sitt anlegg i Canada, men med et høyere forurensingsnivå på avfallssyra i Norge, samt annerledes kjemisk sammensetning på kalkkildene, så vil prosessen måtte tilpasses lokale forhold og råvarer.

Innovasjonen i prosjektet kan derfor sammenfattes som følger:

Nye produkter

- Kalkholdige forbindelser fra flyveaske av en kvalitet som er brukbar for kommersiell gipsproduksjon.
- Salgbare metaller fra flyveaske, hverav noen definerte som kritiske råvarer for EU.
- En salgbar hvitgips produsert fra avfallssyre og kalkstein og/eller kalkforbindelser fra flyveaske.

Nye/endrede metoder eller prosesser

- Nye prosesser for å separere og oppkonsentrere kalk- og metallholdige forbindelser fra flyveaske.
- Skreddersydde oppredningsprosesser for å redusere urenheter i kalkstein fra Langøya.
- Prosesser for ekstraksjon av metaller og/eller mineraler fra flyveaske og avfallssyre.
- Optimaliserte metoder for å forbehandle avfallssyre fra Kronos Titan til bruk mot gipsproduksjon

Med dette så ønsker NOAH å gå over fra å være et rent sluttbeholdningsselskap til et gjenvinningsselskap som skaper nye muligheter for materialfraksjoner som tradisjonelt har blitt avhendet på deponi. Positive resultater fra prosjektet vil kunne by på betydelige endringer i den etablerte prosessen for behandling av flyveasker og avfallssyre på Langøya. «Askepott» vil også bygge videre på grunnlaget NOAH allerede har opparbeidet seg innen alternativ stabilisering av flyveaske, derav karbonatisering, hvor CO₂ kan tas ut av kretsløpet og brukes til å stabilisere farlig avfall. Med optimaliserte metoder for rensing så vil ikke avfallssyre lenger være å betrakte som et avfall, men heller et biprodukt, og vil med det kunne skape nye markeder for Kronos.

3. Verdiskapingspotensial

NOAH: For å legge til rette for økt gjenvinning fra avfallssyre og flyveaske så forventer man å måtte legge om store deler av behandlingsprosessen på Langøya. For NOAH vil det allikevel være viktig å sikre fremtidig drift og deponikapasitet for farlig uorganisk avfall. I tillegg til å utvide deponiet ved ytterligere utvinning av kalkstein så vil gjenvinning av materialfraksjoner, samt påfølgende reduksjon i deponering til kun det mest nødvendige, kunne forlenge levetiden på deponiet betraktelig. Vellykket gjenvinning av avfallssyre som hvitgips vil også åpne opp for alternativ stabilisering av flyveaske som ikke lar seg gjenvinne, f.eks. ved CO₂-fangst i en karboniseringsprosess. Det er allikevel forventet at mindre mengder rødgips/avfallssyre vil måtte deponeres på grunn av oppkonsentrering av forurensinger under gipsproduksjonen, og skulle man ikke klare å finne en mer bærekraftig løsning for rødgipsen så vil den kunne benyttes til å stabilisere annet industrielt avfall som tas imot på Langøya. Totalvolumet til deponi vil i begge tilfeller allikevel være betydelig redusert sammenlignet med dagens situasjon. Gjenvinning av fraksjoner til salgbare produkter som gips, metaller og evt. andre mineraler vil kunne gi økte inntekter til NOAH, men dette vil avhenge av rense- og produksjonskostnader, samt oppnådd renhet på de endelige produktene. En langsiktig og grønnere håndtering av farlig avfall anses å kunne gi NOAH et viktig konkurransefortrinn mot kunder som ønsker mer bærekraftige løsninger for sitt avfall. Med dagens mengder av avfallssyre så vil man kunne produsere opp til 90 000 tonn med hvitgips, en betydelig andel av råvareforbruket til Norsk gipsplateindustri. En oversikt over potensiell merverdi for NOAH utover dagens forretningsmodell, hvis vi lykkes å produsere hvitgips og gjenvinne sink fra flyveaske, vises i Tabell 2. Fjerning av farlige komponenter muliggjør gjenvinning av flyveaske i f.eks. sementindustri. Dette potensialet er ikke tatt med i vurderingen, men vil utgjøre et betydelig beløp.

Kronos: Slik som situasjonen er i dag så er produksjonskapasiteten til Kronos Titan er betinget blant annet av mottakskapasitet for avfallssyre hos NOAH. I tillegg til en grønnere profil vil gjenvinning av avfallssyre også kunne åpne nye muligheter for produksjonen ved Kronos Titan sitt anlegg i Fredrikstad. Det er avgjørende for Kronos Titan AS at det finnes gode løsninger for å håndtere restprodukter fra TiO₂-produksjon også etter at Langøya går full i 2030 for å kunne videreføre virksomheten. Produksjon av kommersiell hvitgips basert på vår svovelsyre er derfor en meget interessant løsning å utvikle i felleskap med NOAH AS.

Tabell 2. Oversikt over nye produkter og pot. økt verdiskapning

Produkt	Mengde Tonn	Enhetspris NOK/tonn	Økt verdiskapning MNOK
Hvitgips	90 000	200	18
Sink fra flyveaske	4800	27 000	130
Kobber fra flyveaske	400	77 000	31

4. Prosjektdeltagere og samarbeidskonstellasjon

4.1. Prosjektpartnere som utfører og/eller finansierer FoU-aktiviteter

a) Bedrifter i Norge som skal utnytte prosjektets FoU-resultater i sin verdiskaping (B1, B2,...).

B1: NOAH AS

NOAH AS behandler farlig uorganisk avfall med opphav hos forbrukere og industri, og er også engasjert i opprydding av forurensede sjø- og landområder. Prosjektet er i tråd med NOAHs ambisjoner om økt satsing på gjenvinning og sirkulære løsninger, og vil bidra til utvikling av fremtidens behandlingsløsninger for farlig avfall. NOAH besitter en unik kompetanse innen karakterisering, håndtering og behandling av uorganisk avfall som flyveasker og avfallssyre, og vil bidra med egeninnsats i form av FoU-personell, administrative oppgaver, laboratorie- og pilotutvikling ved test- og forskningssenteret på Langøya samt organisere slutttester hos ekstern bedrift.

B2: KRONOS Titan AS

KRONOS Titan AS i Fredrikstad er Skandinavias eneste produsent av TiO_2 pigmenter, og produserer omtrent 30 000 tonn med pigment i året fra ilmenitt gjennom sin sulfatprosess. Pigmentene brukes i alt fra maling, plastikkprodukter, bygningsmaterialer, kosmetikk, medisin og mat. Tynnsyre er en av de viktigste biproduktene fra produksjonsprosessen og nøytraliseres i dag mot flyveaske ved NOAHs anlegg på Langøya.

b) FoU-leverandører (F1, F2,...)

F1: IGP (NTNU)

Institutt for geovitenskap og petroleum (IGP) ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) deltar med kompetanse og industrielt og vitenskapelig utstyr innen mineralforedling/oppredning. IGP besitter en unik nasjonal kompetanse og laboratoriefasiliteter innen oppredningstekniske prosesser og analyser, og har spesiell kompetanse innen fagområdet flotasjon og sitter på mye erfaring med blant annet oppredning av karbonater, silikater og sulfider som er spesielt for dette prosjektet. Det vil bli ansatt forsker/postdoc på prosjektet for å jobbe med flotasjonsprosesser og da med hovedfokus på å oppnå selektivt skille mellom ulike Ca-holdige mineraler i de ulike materialene (kalkstein, flyveasker, gips) for å øke produksjonsutbyttet.

F2: IMA(NTNU)

Institutt for materialteknologi (IMA) ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) besitter en unik nasjonal/internasjonal kompetanse, laboratoriefasiliteter og industrielt nettverk innen metallproduksjonsprosesser med fokus på ikke-jern metaller. IMA vil ansette en PhD kandidat på prosjektet for å jobbe med utvikling av skreddersydde, primært pyrometallurgiske prosesser for utvinning av metaller fra flyvasken. Slik grunnleggende tilnærming er viktig for å utvikle robuste løsninger for variable råvarer.

4.2. Annet samarbeid

Som en del av gradsarbeidet så vil vi etterstrebe at PhD kandidaten ved NTNU IMA får et forskningsopphold ved RWTH Aachen i Tyskland, som er en nær samarbeidspartner innenfor pyrometallurgisk behandling av sidestrømmer. Forskningsoppeholdet vil finansieres av INTPART prosjektet EXTREME.

DEL 2: FoU-aktivitetene

5. Forskningsbehovet

Prosjektet består av flere viktige utfordringer som må løses for å kunne etablere alternative og mer fremtidsrettede måter for behandling og valorisering av flyveaske og avfallssyre.

Syre fra Kronos Titan: En prosess for produksjon av hvit- og rødgips fra avfallssyre er allerede i drift hos Kronos Titan i Canada, men råvarer, teknologi og prosedyrer påvirker karakteristikken til avfallssyra og prosessen må derfor tilpasses lokale forhold. Avfallssyra fra Kronos Titan i Fredrikstad er betydelig mer forurenset enn i Canada og stiller dermed høyere krav til rensing. En av hovedutfordringene med selve gipsproduksjonen vil være å holde urenheter løst i væskefasen under utfelling av gips, slik at den vil kunne skilles fra urenheterne med egnede filtreringsmetoder, og det vil være viktig å utvikle metoder som kan oppnå nødvendige renhetskrav til eventuelle mottakere.

Kalk fra flyveaske og kalkstein: Det vil være behov for tilgang på en relativt ren kilde til kalk, og i henhold til NOAHs nåværende råvaretilgang så fokuserer prosjektet på mulighetene i å utnytte kalkstein og flyveaske fra Langøya. Det vil være nødvendig å oppnå gitte renhetsbetingelser, og innebærer at man må utvikle og optimalisere metoder for å separere og rense kalken fra urenheter. Kalksteinen har ikke en like kompleks mineralogi eller like høyt innhold av urenheter som flyveaskene men sammenlignet med flyveaske, som allerede er i partikulær form, så vil man kunne se økte kostnader i form av at kalksteinen vil måtte utvinnes og knuses før videreprosessering. Mineraler responderer ulikt på ulike rense- og separasjonsmetoder, samt eventuelle kjemikalier, og metoder vil dermed måtte velges på bakgrunn av hvilke mineraler som er til stede; hvorav silikater anses å være spesielt utfordrende. Totalbildet for valg og rensing av kalkkilde vil derfor være komplekst, og det vil derfor være behov for en grundig kartlegging og uttesting av teknikker og muligheter.

Metallutvinning fra flyveaske: Ekstraksjon og videreforedling av verdifulle metaller og metallkonsentrater fra avfallsfraksjoner vil være et viktig bidrag til å sikre fremtidig behov etter hvert som tradisjonell utvinning fra malmer avtar. Til tross for at det finnes teknologier for ekstraksjon av metaller fra flyveasken så er ikke disse nødvendigvis økonomisk bærekraftige. Ser vi bort ifra andelen som foreligger som tungtløselige silikater så utgjør metaller som aluminium, titan, magnesium, jern, sink, bly, kobber og kadmium omtrent 7 vekt% av flyveasken. «Askepott» vil fokusere på å skreddersy kostnadseffektive metoder for gjenvinning av metaller fra vandige løsninger av flyveaske, som sementering og elektrodeponering av f.eks. kobber og bly, og pyrometallurgisk reduksjon og/eller utsmelting fra oppkonsentrerte askefraksjoner. Metodene er godt etablert for utvinning fra mer kovensjonelle råvarer men er relativt uprøvde for flyveasker, og en ser et betydelig forskningsbehov.

6. Mål

Hovedmålet til prosjektet vil være å systematisk utvikle økonomisk bærekraftige metoder innen mineralforedling og ekstraktiv metallurgi for gjenvinning av avfallssyre og materialfraksjoner fra flyveaske og lokal kalkstein.

Dette innebærer følgende etterprøvbare delmål:

- Etablere metoder for separasjon og rensing av kalkforbindelser og andre verdifulle mineraler fra flyveaske og lokal kalkstein.
- Etablere en eller flere økonomisk bærekraftige metoder for å ekstrahere metaller og/eller metallkonsentrater fra flyveasker.
- Etablere en forbehandlingsmetode for avfallssyre med mål om å produsere ren hvitgips.
- Produsere salgbar hvitgips fra avfallssyre og kalk hentet fra lokal kalkstein og/eller flyveaske, samt optimalisere utbyttet av hvitgips mot forurenset rødgips.
- Gjennomføre og evaluere industrielle tester av produsert gips mot ekstern bedrift innen gips og/eller sementbransjen.
- Gjennomføre «pre-feasibility» studier på valgte tekniske løsninger

7. FoU-utfordringer og FoU-metode

Miljøvennlig produksjon av kalsittkonsentrat ved flotasjon (H1): Konvensjonell oppredning av kalkstein benytter tradisjonelt amin (kationisk surfaktant) som samler ved separasjon av silikatmineraler fra kalsitt ved flotasjon. Aminer er mer skadelige for miljøet enn anioniske og ikke-ioniske samlere/surfaktanter og et mål er derfor å parallelt utvikle en flotasjonsprosess for kalksteinen på Langøya som er mer miljøvennlig enn dagens konvensjonelle prosess. Fokuset for utviklingsarbeidet er å undersøke bruken av «state-of-the-art» biosurfaktanter og fosfatholdig surfaktant (basert på vitenskapelige publikasjoner ikke eldre enn 2 år og pågående forskning) i tillegg til oljesyre-basert surfaktant, med eller uten bruk av aktivatorer og trykkere (uorganiske kjemikalier som hhv. promoterer og hindrer adsorpsjon av samler), for å oppnå selektivitet mellom kalsitt og silikatmineraler og dermed være i stand til å produsere et rent kalsittkonsentrat som kan benyttes til å lage FGD gips i H4. Ulike kjemikalier og kombinasjoner av disse vil bli undersøkt ved småskala flotasjonsforsøk og resultat sammenliknet med konvensjonell prosess, før evt oppskalering til mindre pilot.

Miljøvennlig metallutvinning fra flyveaske ved flotasjon (H2): Per i dag er det begrenset bruk av relativt rimelige oppredningstekniske løsninger for oppgradering av flyveaske. Flotasjon har blitt benyttet til gjenvinning av ubrent karbon, men ellers er det i hovedsak hvirvelstrømseparasjon og magnetseparering (tørrprosesser) for uttak av hhv. metallisk Al og magnetiske Fe-faser, og oppløsning av lettløselige salter ved

kontakt med vann. En viss andel av de interessante metallene foreligger løst i kontakt med en vandig løsning, mens resten vil foreligge bundet i vann-uløselige faser, og det er disse fasene man ønsker å oppkonsentrere før endelig ekstraksjon i H5 for å unngå høyt forbruk av syrer og/eller energi ved etterfølgende metallurgisk prosessering. Hovedutfordringen når det gjelder flotasjonsdelen av arbeidspakken er at fasene ikke er identifisert og det finnes svært lite direkte forskning på flotasjon av metallholdige komponenter fra flyveaske. Her tar vi derfor i bruk konvensjonelle prosesser og siste forskning på bruk av miljøvennlige kjemikalier med basis i å skille Fe-oksider fra silikater¹. Noen av de samme surfaktantene som benyttes i H1 vil også bli testet her, ved tilsvarende metodikk. Dersom det blir et behov for å skille kalsitt fra forurenset gips for å produsere ren kalsitt fra flyveaske så kan det på sikt bli nødvendig å lisensiere en patentert prosess².

Metallutvinning fra flyveaske (H5): Undersøkelser i prosessanlegget til NOAH viser at Cu og Pb har spesielt høy affinitet til vannfasen, og det er et vedvarende problem at metallionene feller ut og destabiliserer pumper i prosessanlegget. Man anslår at utfellingen eller «senteringen» er forårsaket av forhøyede nivåer av reduktive komponenter, slik som Zn og Al, spesielt når man setter til virvelsjiktsasker i råvareflyten. Utfellingen krever jevnlig vedlikehold og gjenvinning av elementene vil derfor også ha driftsmessige fordeler. I H5 vil vi derfor bruke det samme mekanismene i en prosess for å felle ut metallisk Cu og Pb, dog under kontrollerte forhold. Sinken kan til slutt gjenvinnes ved hjelp av elektrogjenvinning (jf. FLUWA prosessen³) I tillegg ønsker vi å utvikle en alternativ elektrowinningprosess for direkte deponering av Cu og Pb fra væskefasen. Dette er konvensjonelle prosesser men krever dybdestudier for å oppnå optimale elektrokjemiske forhold for de aktuelle sammensetningene og disses variasjoner. Koblingen mellom oppredning av flyveaske i H2 (konsentrasjon av metall-bærende faser) og pyrometallurgisk metallproduksjon fra flyveaske konsentrat er en ny tilnærming til gjenvinning av metaller som krever design av reduksjonforhold for, feks, selektiv reduksjon av elementene i flyveasken. Selektiv reduksjon (i CO/CO₂ og eller S-holdige gasser) og utvinning av metalliske komponenter kan gjennomføres ved lavere temperaturer og kombineres med energieffektive metoder, som feks lavtemperatur elektrolyse/elektrowinning. Forskingen vil gjennomføres gjennom prediktiv modellering, småskale laboratorieforsøk og testing i mindre pilotskala av utvalgte løsninger.

8. Prosjektplan

8 a) Hovedaktiviteter/arbeidspakker i prosjektet

H1: Rensing av kalkstein fra Langøya
FoU kategori: Industriell FoU Ansvarlig partner: NTNU
Aktiviteter/faglig innhold
Mineralogisk karakterisering og frimalingsanalyser av kalkstein: I arbeidet inngår mineralogisk og morfologisk karakterisering av kalkstein ved bruk av automatisert mineralogisk analyse og XRD for å bestemme en optimal øvre partikkelstørrelse på inngående til separasjonsundersøkelser. Partikkelreduksjon ved bruk av egnede metoder og utstyr for å unngå overmaling/dødmaling men samtidig fint nok til å oppnå god nok frimaling før separasjonsundersøkelser med sterkt felt magnetseparasjon og flotasjon. Produkter analyseres mineralogisk og kjemisk med hhv. XRD og XRF, og partikkelfordelinger analyseres for spesifikk overflate (BET), kornstørrelse (laserdiffraksjon), overflateladning (zetapotensial) og kontaktvinkel.
Oppkonsentrering av kalsitt ved fysiske separasjonsmetoder: Kalksteinen må være fri for uønskede forbindelser for å kunne lage en salgbar gips. I praksis ønskes kun mineralet kalsitt, som betyr at øvrige mineraler i kalksteinen som kvarts, glimmer, jern-sulfider og grafitt må fjernes gjennom få og lite kostnadskrevende oppredningstekniske operasjoner som f.eks. sterkt felt magnetseparasjon og gravitativ separasjon. Aktiviteten har som mål å bruke fraksjon(er) fra frimalingsarbeidet til å fremstille kalsittkonsentrat for testing i gipsproduksjon i laboratorie- og pilotskala i H3.
Oppkonsentrering av kalsitt ved flotasjon: Separasjon av urenheter fra kalsitt kan også gjøres på grunnlag av ulikheter i overflatekemi, overflateladning og krystallografi. Konvensjonelt benyttes aminer og xantater ved flotasjon av sulfider og silikater fra kalsitt (revers flotasjon), alternativt floterer man kalsitt direkte fra

¹ Sandvik, K.L., Larsen, E. 2014. Iron ore flotation with environmentally friendly reagents. Minerals & Metallurgical Processing, 31, 95-102.

² Filippov, et al. 2014. Patent nr. WO2014095980A1.

³ Laferrière, R., Beaupré, P. 1994. Treatment of waste sulfuric acid by gypsum precipitation in a titanium dioxide process, US Patent Number 5,298,169.

forurensninger (direkteflotasjon) ved bruk av mer miljøvennlige oljesyrer⁴. Målet vil være å utvikle en mest mulig miljøvennlig foredlingsprosess for kalksteinen, og fokuset for arbeidet vil være å undersøke bruken av ulike miljøvennlige samlere og trykkere ved ulike pH. Aktiviteten vil ha som målsetning å bruke fraksjon(er) fra frimalingsarbeidet til å fremstille kalsittkonsentrat inkl. produktanalyser for gipsproduksjon i H3/H4.

Leveranser og milepæler

Milepæl M1.1 Optimalisert prosess for produksjon av kalsittkonsentrat for gipsproduksjon.

Leveranse L1.1: Rapport; mineralogisk analyse og frimalingsanalyse av Langøya kalkstein

Leveranse L1.2: Rapport; produksjon av kalsittkonsentrat ved fysisk separasjon av kalkstein

Leveranse L1.3: Rapport og vitenskapelig publisering i peer-review tidsskrift; produksjon av kalsittkonsentrat ved flotasjon av kalkstein

H2: Separasjon av kalk og andre mineralrike partikler fra flyveaske

FoU kategori: Industriell FoU

Ansvarlig partner: NTNU

Aktiviteter

Mineralogisk karakterisering og frimalingsanalyser av flyveaske og separasjonsprodukter: I arbeidet inngår mineralogisk og morfologisk karakterisering av flyveasker ved bruk av automatisert mineralogisk analyse (AM) og XRD for å bestemme en optimal øvre partikkelstørrelse på inngående til separasjonsundersøkelser og for å identifisere de metallholdige fasene. Partikkelreduksjon ved bruk av egnede metoder og utstyr for å unngå overmaling/dødmaling men samtidig fint nok til å oppnå god nok frimaling før separasjonsundersøkelser med fysiske separasjonsmetoder og flotasjon. Produkter analyseres mineralogisk og kjemisk med hhv. XRD og XRF, og partikkelfordelinger analyseres for spesifikk overflate (BET), kornstørrelse (laserdiffraksjon), overflateladning (zetapotensial) og kontaktvinkel.

Oppkonsentrering av metallholdige faser ved fysisk separasjon: Tørre metoder som svak- og sterkfelt magnetseparasjon, hvirvelstrøm- og elektrostatiske separasjon, samt våte metoder som klassering, våt magnetseparasjon, gravitativ- og sentrifugalgravitativ separasjon står sentralt i arbeidet. Arbeidet har som mål å oppnå høy oppkonsentrering av metaller og/eller metallforbindelser til påfølgende metallurgisk prosessering i H5, samt rene kalkfraksjoner til gipsproduksjon i H3/H4, ved kostnadseffektive fysiske separasjonsmetoder.

Oppkonsentrering av metallholdige faser og kalsitt ved flotasjon: Separasjon og oppkonsentrering av metall- og kalkforbindelser fra flyveasker kan gjøres på grunnlag av ulikheter i overflatekemi, overflateladning og krystallografi. Det vil bli utført flotasjonsforsøk med ulike samlere/surfaktanter, og aktiviteten vil for øvrig ha samme målsetning som aktiviteten på fysisk separasjon.

Leveranser og milepæler

Milepæl M2.1 Prosess flowsheet for selektiv separasjon mellom metallholdige faser og mineraler.

Leveranse L2.1: Rapport; mineralogisk analyse og frimalingsanalyse av flyveasker

Leveranse L2.2: Rapport; produksjon av metallkonsentrat ved fysisk separasjon av flyveaske

Leveranse L2.3: Rapport og vitenskapelig artikkel; produksjon av metallkonsentrat ved flotasjon.

H3: Rensing og produksjon av gips

FoU kategori: Industriell FoU

Ansvarlig partner: NOAH AS

Aktiviteter

Forbehandling av avfallssyre: Avfallssyra til Kronos Titan består av omtrent 25% $H_2SO_{4(aq)}$ som er forurenset med 3 - 4% jern og 0.2 – 0.3% titan. Man vil derfor være nødt til å studere nødvendigheten av å forbehandle syra, f.eks. v/ utfelling, sementering, løsemiddel ekstraksjon og/eller andre hydrometallurgiske metoder, med mål om å forhindre forurensning av den endelige gipsen og evt. gjenvinning av titan.

Produksjon av hvitgips fra rensert kalkstein og kalk fra flyveaske: Aktiviteten vil ta for seg produksjon, rensing og filtrering av gips fra avfallssyre og kalkkilder fra H1 og H2 i laboratorieskala, og inkluderer studier på reaksjonshastighet, urenheters respons på filtrering og andre nødvendige renseseg, videre utnyttelse av den forurensede væskeløsningen og effekten av urenheter på den endelige gipsen.

Leveranser og milepæler

⁴ Dhar, P., Thornhill, M., Rao Kota, H. 2020. An overview of calcite recovery by flotation. Materials Circular Economy, 2:9.

Milepæl M3.1: Kartlegge viktigste parametere for vellykket rensing av avfallssyre og produksjon av gips.
Leveranse L3.1: Rapport; utvikling og kartlegging av metoder og viktige parametre for produksjon av gips fra avfallssyre og kalk hentet fra Langøya kalkstein og/eller flyveasker.
Leveranse L3.2: Konferanseartikkel; Gjenvinning av avfallssyre og kalk fra flyveasker som gips.

H4: Oppskalering og industrielle forsøk (prosessutvikling og -optimalisering)
FoU kategori: Eksperimentell utvikling Ansvarlig partner: NOAH AS
Aktiviteter
Oppskalerte rense- og produksjonsmetoder: Resultater og metoder for rensing og produksjon av hvitgips fra arbeidspakker H1 – H3 vil legges til grunn for oppskalerte pilotforsøk hos prosjektpartner eller ekstern partnerbedrift. Videreutvikling og -optimalisering av prosessen i pilotskala vil gi uvurderlig informasjon angående utfordringer knyttet til endelig industriell prosess. Målet med aktiviteten vil være å produsere minst 100kg med rensed hvitgips for videre vurdering og uttesting hos en eller flere kommersielle mottakere.
Uttesting av hvitgips hos ekstern mottaker: Gipsen som produseres som en del av pilotskalaforsøkene over skal vurderes og testes ut som erstatning for FDG gips hos en eller flere kommersielle mottakere, f.eks. gips- og/eller sementprodusenter. Gipsens brukbarhet og andre resultater dokumenteres i en endelig rapport.
Leveranser og milepæler
Milepæl M4.1: Produsere 100kg med gips for uttesting hos ekstern mottaker.
Leveranse L4.1: Rapport; resultater og videreutvikling av produksjonsprosessen og piloten.

H5: Metallurgisk ekstraksjon og gjenvinning av metaller
FoU kategori: Industriell FoU Ansvarlig partner: NTNU
Aktiviteter
Sementering og Elektrotvinning av Cu og Pb fra ubehandlet flyveaske: Flyveasker inneholder metallforbindelser av Cu og Pb som i varierende grad er løselig i væskefasen når flyveaske slemmes opp med vann. Løseligheten av metallionene avhenger av løsningens pH og kan derfor justeres ved tilsats av syrer og/eller baser. Med basis i observasjoner fra NOAHs prosessanlegg vil vi i denne aktiviteten studere løslighetsgraden av Cu og Pb i ulike vannbaserte løsninger med etterfølgende filtrering (av ikke løst fase) og elektrowinning eller sementering som en måte å gjenvinne Cu og Pb fra asken.
Pyrometallurgisk metallutvinning fra behandlede asker: I denne aktiviteten vil vi arbeide med ikke-kalsitt fraksjonene fra separasjonsaktiviteten i H2. Disse fraksjonene har en høyre andel metaller og er mer egnede til pyrometallurgiske metoder for gjenvinning. Vi vil her benytte metoder som selektiv gas-basert reduksjon og/eller sulfonering for å separere metaller som Al, Cu, Zn, Mg, Ti og Pb i asken med etterfølgende smelting eller elektrowinning.
Leveranser og milepæler
Milepæl M5.1: Valgt pyrometallurgisk prosess/fokusområde for ekstraksjon av metaller.
Leveranse L5.1: Rapport og vitenskapelig artikkel; Hydrometallurgisk utvinning av Cu/Pb fra flyveaske
Leveranse L5.2: Rapport og vitenskapelig artikkel; Pyrometallurgisk metallproduksjon fra flyveaske
Leveranse L5.3: PhD avhandling

H6: Gjennomførbarhetsstudie
FoU kategori: Eksperimentell utvikling Ansvarlig partner: NOAH AS
Aktiviteter
Med dette prosjektet så ønsker NOAH å bygge videre på ambisjonen om å gå over fra å være et rent sluttbeholdningsselskap til et gjenvinningsselskap. Prosjektet vil potensielt kunne lede til store endringer i den etablerte prosessen på Langøya, med målsetning om å gjenvinne flere viktige mineraler og metaller til salgbare produkter, og kunne lede til positive ringvirkninger i miljøprofilen til NOAH og kunder. Aktiviteten vil derfor fokusere på å samle prosjektet målsetninger og resultater, samt påfølgende muligheter og fremtidige strategier i et tekno-økonomisk gjennomførbarhetsstudie i samarbeid med Kronos Titan
Leveranser og milepæler
Leveranse L5.1: Rapport; Gjennomførbarhetsstudie

8 b) Prosjektets kostnadsbudsjett fordelt på hovedaktiviteter

Tabell 8 b)

Nr.	Tittel på hovedaktivitet/arbeidspakke	Kostnads- budsjett (1000 kr)	Kostnad: Industriell FoU	Kostnad: Eksperimentell utvikling
H1	Rensing av kalkstein fra Langøya		4 304	
H2	Oppredning av flyveaske		4 376	
H3	Rensing og produksjon av gips		5 358	
H4	Oppskalering og industrielle forsøk			2 843
H5	Metallurgisk behandling av flyveaske		5 965	
H6	«Pre-feasibility»/gjennomførbarhetsstudie			1 243
Sum	Hele prosjektet	24 089	20 003	4 086

8 c) Kritiske milepæler for FoU-aktiviteten

De viktigste milepælene vil være 1) å få på plass bærekraftige oppredningsprosesser for utvinning av kalk og metaller fra kalkstein og/eller flyveaske, og 2) produksjon av hvitgips for uttesting hos kommersiell aktør.

8 d) Organisering og styring av prosjektet

Prosjektet ledes av NOAH AS med Kronos Titan som partner og NTNU som FoU leverandør i prosjektet. Prosjektleder vil bli Morten Jensen i NOAH AS som vil rapportere til en styringskomite med representanter fra partnere og FoU leverandører. Styringskomiteen vil møtes to ganger per år. I tillegg vil arbeidspakkelederne Erik Larsen (H1 og H2), Kai Erik Ekstrøm (H3 og H4), Prof. Gabriella Tranell (H5) og Morten Jensen (H6) ha regelmessige fremdriftsmøter.

Tabell 8d) Fordeling av oppgaver og ansvar i prosjektet

Partner	Navn på partner/FoU leverandør	Ansvarlig for hovedaktivitet:	Deltar også i hovedaktivitet:
B1	NOAH AS	H3, H4, H6	H1, H2, H5
B2	Kronos Titan AS		H3, H4, H6
F1	NTNU-IGB	H1, H2	H3, H4, H5
F2	NTNU-IMA	H5	H1, H2

9. Finansiering

Partner	Egen FoU-innsats	Kontanter	Totalt
B1: NOAH AS	10 152	0	10 152
B2: Kronos Titan AS	505	0	505
Bedriftspartnere samlet	10 657	0	10 657
Søkt Forskningsrådet	0	13 432	13 432
Sum Finansiering	10 657	13 432	24 089

DEL 3: Plan for implementering og utnyttelse av FoU-resultater

10. Realisering av verdiskaping hos prosjektansvarlig og samarbeidspartnerne

Dagens løsning med å benytte svovelsyre fra Kronos Titan til å behandle flyveaske er gjennom tidligere prosjekter ansett å gi et produkt som ikke lar seg gjenvinne. Til det er den kjemiske sammensetningen for kompleks. For å møte nasjonale og internasjonale krav om økt gjenvinning, samt kunders ønske om langsiktige og robuste grønne løsninger, er det derfor en forutsetning å finne nye behandlingsløsninger for svovelsyre og flyveasken. Det er helt sentralt at syren kan omdannes til industriell anvendbar gips, da andre gjenvinningsløsninger som er vurdert er ansett som økonomisk lite attraktive. Gjennom omsøkte prosjekt skal vi se på mineraloppredning og metallurgiske gjenvinningsprosesser for flyveaske som vi ikke har hatt kapasitet til å vurdere tidligere, slik at vi ser det som meget sannsynlig at vi skal klare å utvikle nye og mer sirkulære løsninger for flyveaske. Med dagens prosess så anslås deponiet på Langøya å være fullt i 2029, og vår målsetning er derfor å at vi skal ha på plass nye sirkulære løsninger for syren og flyveasken fra 2030. De sirkulære løsningene vil kreve mindre deponikapasitet sammenlignet med dagens prosess, og evt. produkter som ikke lar seg gjenvinne kan deponeres i volumet som uttak av kalkstein på Langøya til gipsproduksjonen skaper. En overordnet plan for etablering av nye løsninger frem mot 2030 sees i Tabell 10. Det vil være kritisk å finne en løsning for avfallssyren fra Kronos slik at både Kronos og NOAH kan videreføre sine virksomheter ut over 2030. Det er et tett samarbeid mellom NOAH og Kronos Titan, og immaterielle rettigheter for produksjon av hvitgips er avklart i avtaler. Prosjektet vil også legge grunnlaget for en ny nasjonal

samarbeidskonstellasjon som knytter FoU-miljøene til NOAH og KRONOS tettere sammen med forsknings- og universitetsmiljøet i Trondheim. Den totale overordnende lønnsomhetsvurderingen av prosessene i Tabell 10 er lovende selv med dagens priser som er lagt til grunn. Dagens forretningsmodell gir inntekter fra mottak av avfall, men nye sirkulære forretningsmodeller vil også kunne gi inntekter ved salg av produkter og ved bruk av CO₂ som innsatsfaktorer for behandling av flyveaske. Den største usikkerheten i lønnsomhetsbetraktningene er prisen for fremtidig mottak og behandling av flyveaske. Markedsanalyser viser at prisen for flyveaske vil stige fram mot 2030 basert på konkurransesituasjon og krav om økt gjenvinning. Prisøkning for behandling og gjenvinning av flyveaske vil redusere risikoen i prosjektene skissert over betydelig.

Tabell 10. Oversikt over utviklingsløp og tidspunkt for implementering av fullskalaprosesser for hhv. produksjon av hvitgips og behandling og gjenvinning av flyveaske.

Kronossyre	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
R&D – hvitgips										
Pilot- hvitgips										
Delproduksjon av hvitgips										
Fullproduksjon av hvitgips										
Flyveaske	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
R&D - flyveaske										
Pilot - flyveaske										
Valg av beste teknologi										
Bygging av prosessanlegg										
Gjenvinning av flyveaske										

11. Samfunnsøkonomisk nytteverdi og bidrag til bærekraftig samfunnsutvikling

NOAH mottar industriavfall fra ca. 100 norske kunder og norsk prosessindustri er helt avhengig av at det finnes løsninger for behandling og/eller deponering av industriavfall også etter 2030. Løsningene vil sørge for at NOAH er mottaksdyktige av syre fra Kronos Titan, flyveaske og annet industriavfall og dermed sikre fremtiden til den delen av norsk industri som er genererer farlig avfall i sin produksjon.

Gjenvinning vil være viktig for å sikre fremtidig tilgang på metaller og mineraler og redusere behovet for utvinning fra jomfruelige kilder gjennom gruvedrift, spesielt for metaller regnet som kritiske for Norge/EU. Prosjektet svarer derfor godt til FNs bærekraftsmål, og lykkes man med prosjektet vil NOAH og Kronos i samarbeid også kunne forsyne gipsplate- og/eller sementbransjen med en betydelig mengde hvitgips i framtiden. Det er knyttet betydelige CO₂-utslipp med utvinning og transport av naturgips over lange avstander, slik at kortreist hvitgips fra Langøya vil være betydelig mer miljøvennlig for det norske markedet. NOAH ser også på andre behandlingsmetoder for flyveaske der CO₂-benyttes som innsatsfaktor. Disse metodene er vurdert til å være CO₂-negative der hele verdikjeden er inkludert, men en forutsetning for å implementere disse prosessene er at vi lykkes med å utvikle gjenvinningsløsninger for syre fra Kronos Titan.

12. Formidling og kommunikasjon

Samarbeid og kommunikasjon mellom bedriftspartnere og FoU leverandører gjennomføres ved månedlige møter og workshops. Resultater fra prosjektet vil formidles på nasjonale og internasjonale konferanser og møter, i fagfelleverderte tidsskrifter og i sosiale medier.

DEL 4: Øvrige opplysninger

13. Etikk og samfunnsansvar

Det forventes ingen negative etiske aspekter eller konsekvenser ved gjennomføring av prosjektet. Det er tvert imot forventet positive miljø- og samfunns effekter ved en økt resursutnyttelse og mindre deponi. Prosjektet bidrar også til økt gjenvinning av kritiske råvarer, og kombinerer derved økt samfunnsansvar og verdiskaping.

14. Rekruttering av kvinner, kjønnsbalanse og kjønnsperspektiv

Avfallhåndteringsbransjen er tradisjonelt mansdominert og vi vil derfor legge til rette for kjønnsbalanse i prosjektet gjennom rekruttering av kvinnelige kandidater til PhD og forskerstillingene der to kandidater har samme kvalifikasjoner. Gjennom prosjektets fremtidsrettede natur vil NOAH og Kronos fremstå om attraktive arbeidsplasser for en økende andel kvinner.

15. Utlysningsspesifikke tilleggsopplysninger

Ingen

Curriculum vitae

* ROLE IN THE PROJECT

Project manager ☒ Work package leader ☐
 Project partner ☐ Other (specify) ☐

* PERSONAL INFORMATION

*Family name, First name:	Jensen, Morten Breinholt		
*Date of birth:	04.04.1975	*Sex:	Male
*Nationality:	Norwegian		

* HIGHER EDUCATION/OTHER TRAINING

	Subjects/degree/	Name of institution, country
2002	Chemistry/MSc	NTNU
2007	Chemistry/PhD	University of Oslo

* POSITIONS (academic, business, industry, public sector, national or international organisations)

Current Position

	Job title/name of employer/country
2020	Head of Innovation/NOAH/Norway

Previous positions held (list)

	Job title/name of employer/country
2017-2020	R&D Director/N2 Applied/Norway
2012-2017	Head of Technology Development/NOAH/Norway
2011-2012	Senior Project Manager/NOAH/Norway
2009-2011	Senior Technologist – Project Manager/REC Solar/Norway
2006-2009	Technologist/REC Wafer/Norway

PROJECT MANAGEMENT EXPERIENCE (if applicable)

	Project/topic/role in project/funding from
--	--

2014-2015	Utilization of CO ₂ from exhaust gas from cement industry aimed to stabilize fly ash from combustion of household waste/Project Manager - NOAH/Climit Gassnova
2018-2020	Effektiv plasmaprosess for desentralisert nitrogenoksidproduksjon fra luft/Project Manager – N2 Applied/IPN

EXPERIENCE FROM RELEVANT RESEARCH & INNOVATION ACTIVITIES (if applicable)

	Project/type of R&I activity and R&I content /role and tasks/funding from
YYYY-YYYY	

EXPERIENCE FROM NATIONAL/INTERNATIONAL COLLABORATION/NETWORKING (if applicable)

	Activity or project / tasks and responsibilities / context/programme/framework of the collaboration and names of key partners (companies, institutions)
YYYY-YYYY	

Publications

CO₂ sorption on MgO and CaO surfaces. A comparative quantum chemical cluster study. Jensen, M.B.; Pettersson, L.G.M.; Swang, O.; Olsbye, U. Journal of Physical Chemistry B (2005) 109 (35), 16774-16781

Oxygen influence on the dissociative chemisorption of methane on nickel: A quantum chemical cluster study, Jensen, M.B.; Olsbye, U.; Swang, O. Chemical Physics Letters (2006) 432, 94-99

Propane dry reforming two synthesis gas over Ni based catalysts. Influence of support and operating parameters on catalyst activity and stability. Råberg, L.B.; Jensen, M.B.; Olsbye, U.; Daniel, C.; Haag, S.; Mirodatos, C.; Olafsen Sjøstad, A. Journal of Catalysis (2007) 249 (2), 250-260

Mechanistic study of the dry reforming reaction of propane over a Ni / Mg (Al) O catalyst. Jensen, M.B.; Råberg, L.B.; Olafsen Sjøstad, A.; Olsbye, U. Cat. Today (2009) 145 (1-2) 114-120.

FT-IR characterization of supported nickel catalysts: Influence of different supports on the metal phase properties. Jensen, M.B.; Morandi, S.; Prinetti, F.; Olafsen Sjøstad, A.; Olsbye, U.; Ghiotti, G. Cat. Today (2012) 197 (1) 38-49.

Plasma Activated Organic Fertilizer. Graves, D.B.; Jensen, M.J.; Ingels, R. Plasma Chemistry and Plasma Processing (2019) Volume 39, Issue 1, 1–19

Lectures, international conferences etc.

CO₂ Sorption on MgO and CaO Surfaces: A Comparative Quantum Chemical Cluster Study, North American Catalysis Society, 19th North American Meeting, May 22-27, 2005, Philadelphia, USA.

MgO and CaO as CO₂ sorbents: A Comparative Quantum Chemical Cluster Study, 8th International Conference in Carbon Dioxide Utilization, June 20-23, 2005, Oslo, Norway.

Activation of Methane on Reduced and Partially Oxidized Ni, Centre for Materials Science and Nanotechnology meeting, November 29th - December 1st, 2005.

Future Options for the Norwegian Land-Based and Offshore Conversion of Natural Gas, Trial lecture for PhD thesis, 13.04.07, University of Oslo, Norway.

Stabilization of hazardous waste by using CO₂-rich flue gas, International CCS Conference – Norcem CO₂ capture project, May 21-22, 2015, Langesund, Norway

Ny behandlingsmetode av farlig avfall med CO₂-rik røykgass, Farlig avfallskonferansen 2015, September 18-19, Hamar, Norway

Processing and landfilling of Spent Pot Lining – can SPL be valuable resource?, Ildfaste Materialer i Aluminiumindustrien, November 18-19, 2015, Haugesund, Norway

Farlig avfall i den sirkulære økonomien, Farlig avfallskonferansen 2016, September 15-16, Trondheim, Norway

Treatment and recovery of hazardous inorganic waste - an industrial perspective, Hydrometallurgy Seminar March 2017, March 7-8, 2017, Lillestrøm, Norge

Kan flyveaske benyttes til å fange CO₂? Askdagen 2017, April 5, Stockholm, Sweden

New solutions based on CO₂ for effective waste treatment - carbonation of MSWI fly ash by using CO₂-rich flue gas, 10th ISWA Beacon Conference on Waste-to-Energy October 25-26, 2017, Malmö, Sweden

Curriculum vitae

* ROLE IN THE PROJECT

Project manager ☐ Work package leader ☒
 Project partner ☐ Other (specify) ☐

.....

* PERSONAL INFORMATION

*Family name, First name:	Ekstrøm, Kai Erik		
*Date of birth:	07.03.1986	*Sex:	Male
*Nationality:	Norwegian		

* HIGHER EDUCATION/OTHER TRAINING

	Subjects/degree/	Name of institution, country
2012 – 2016	PhD Physical Metallurgy	Norwegian University of Science and Technology, Department of Materials Science and Engineering
2006 - 2012	MSc Chemical Engineering	Norwegian University of Science and Technology, Department of Materials Science and Engineering

* POSITIONS (academic, business, industry, public sector, national or international organisations)

Current Position

	Job title/name of employer/country
2020 -	Senior Chemical Engineer, NOAH AS

Previous positions held (list)

	Job title/name of employer/country
2016-2018	Postdoctoral Researcher, Process Metallurgy, Norwegian University of Science and Technology, Department of Materials Science and Engineering
2016	Researcher, Norwegian University of Science and Technology, Department of Materials Science and Engineering

EXPERIENCE FROM RELEVANT RESEARCH & INNOVATION ACTIVITIES (if applicable)

	Project/type of R&I activity and R&I content /role and tasks/funding from
2018 – 2020	Project participant RemovAl, Recycling of bauxite residue from alumina production, EU Horizon 2020.
2016 – 2020	Participant SFI Metal Production, Recycling of spent potliners from the aluminium industry, The Research Council of Norway
2016 – 2018	Project participant Waste-to-Value, Recycling of waste fraction from nickel, manganese and aluminium industries, The Research Council of Norway

OTHER MERITS RELEVANT TO THE PROJECT

Most relevant publications listed below:

Ekstrøm, K. E., Vadseth, D., Tranell, G., Recovery of nickel and cobalt from a nickel refinery sludge, *Unpublished*.

Ekstrøm, K. E., Dalaker, H., Tranell, G., Addressing chemical variability in thermochemical modelling of spent potlining, *Unpublished*.

Wallin, M., Voll Bugten, A., Tranell, G., Ekstrøm, K. E., Valorization of SiMn-sludge for production of low-phosphorus ferroalloys, *Journal of Sustainable Metallurgy*, *Under review*.

Ekstrøm, K. E., Voll Bugten, A., van der Eijk, C., Lazou, A., Balomenos, E., Tranell, G., Recovery of iron and aluminium from bauxite residue by carbothermic reduction and slag leaching, *Journal of Sustainable Metallurgy*, *Under review*.

Gökelma, M., Storm Aarnæs, T., Maier, J., Renkel, M. F., Ekstrøm, K. E., Friedrich, B., Tranell, G., Behaviour of Al₄C₃ particles during flotation and sedimentation in aluminium melts, *Metallurgical and Materials Transactions B*, *Under review*.

Ekstrøm, K. E., Voll Bugten, A., Tranell, G., Spent potlining: Experimental work and thermochemical modelling in SFI Metal Production, Internal report, NTNU, 2020.

Kyung Won Solem, C., Ekstrøm, K. E., Tranell, G., Aune, R. E., Evaluation of the Effect of CO₂ Cover Gas on the Rate of Oxidation of an AlMgSi Alloy, *Light Metals*, 2020.

Ekstrøm, K. E., Refining of Metallurgical Silicon by Solidification and Leaching. Short Course on Theory and Processes for Silicon Refining and Solar Grade Silicon Production; 2019-10-16 - 2019-10-17, NTNU.

Dalaker, H., Ekstrøm, K. E., Recovery of manganese from sludge through reduction with spent pot lining from aluminium industry—a modelling study. *Infacon XV*, 2018.

Ekstrøm, K. E., Dalaker, H., Wallin, M., Moosavi-Khoonsari, E., Tranell, G., Extraction of nickel from iron sludge. 15th International Ferro-Alloys Congress, 2018.

Wallin, M., Ekstrøm, K. E., Tranell, G., Production of ferromanganese alloys from silicomanganese sludge and an iron source. Extraction 2018 - Peter Hayes Symposium on Pyrometallurgical Processing, 2018.

Ekstrøm, K. E., Wallin, M., Tranell, G., Red mud and spent potlining as alternative raw materials in pig-iron and ferrosilicon production, Extraction 2018 - Peter Hayes Symposium on Pyrometallurgical Processing, 2018.

Ekstrøm, K. E., Spent potlining and bauxite residue: Combined use in the Elkem process. SFI Metal Production Spring Meeting; 2018-04-18 - 2018-04-19, NTNU.

Curriculum vitae

* ROLE IN THE PROJECT

Project manager ☐ Work package leader ☒
 Project partner ☐ Other (specify) ☐

* PERSONAL INFORMATION

*Family name, First name:	Larsen, Erik		
*Date of birth:	15.08.1974	*Sex:	Male
*Nationality:	Norwegian		

* HIGHER EDUCATION/OTHER TRAINING

	Subjects/degree/	Name of institution, country
1999	Sivilingeniør	NTNU, Norway

* POSITIONS (academic, business, industry, public sector, national or international organisations)

Current Position

	Job title/name of employer/country
2017-	Researcher/NTNU/Norway

Previous positions held (list)

	Job title/name of employer/country
2011-2017	Senior Engineer/NTNU/Norway
2008-2011	Senior Engineer/MainTech/Norway
2005-2008	Process Engineer/Washington Mills/Norway
2000-2005	Scientific Assistant/NTNU/Norway

PROJECT MANAGEMENT EXPERIENCE (if applicable)

	Project/topic/role in project/funding from
2021-2024	Reflux Flotation Cell/Upscaling of a new flotation cell (flotation; characterization)/WP leader/EU (EiT Raw Materials)
2021-2024	Harare/Recycling of H ₂ -reduced bauxite tailings (milling; magnetic separation; flotation; characterization)/WP leader/EU (Horizon 2020)

2020-2021	High purity silica purification (SiQua)/Flotation; Physical separation; Particle size reduction; Recycling; Hydrometallurgy; Upscaling/WP leader/NFR (FORNY)
2020	Utvinning av almandingranat fra eklogitt/Mineral processing; Upscaling/Project coordinator R&D/NFR
2018-2020	High purity silica purification (SiQua)/Flotation; Physical separation; Particle size reduction; Recycling; Hydrometallurgy; Upscaling/Inventor-WP leader/NTNU Discovery
2016-2020	SNOW/Flotation; Physical separation; Particle size reduction; Mineralogical characterization; Hydrometallurgy; Upscaling/WP leader/NFR
2016-2020	Blue Nodules/Mineralogical characterization/Project participant/EU (Horizon 2020)
2011-2020	300+ minor miscellaneous mineral processing projects/Project manager/Industry projects and internal R&D activities
2008-2009	Resource Optimization and recovery in the MAterials industry (ROMA)/Physical separation; Particle size reduction; Mineralogical characterization/Project participant/NFR
2008	FESIL Solar Grade Silicon/Mineralogical Consultant/Project participant/NFR

EXPERIENCE FROM RELEVANT RESEARCH & INNOVATION ACTIVITIES (if applicable)

	Project/type of R&I activity and R&I content /role and tasks/funding from
2021-2024	Reflux Flotation Cell/Upscaling of a new flotation cell (flotation; characterization)/WP leader/EU (EiT Raw Materials)
2021-2024	Harare/Recycling of H ₂ -reduced bauxite tailings (milling; magnetic separation; flotation; characterization)/WP leader/EU (Horizon 2020)
2020-2021	High purity silica purification (SiQua)/Flotation; Physical separation; Particle size reduction; Recycling; Hydrometallurgy; Upscaling/WP leader/NFR (FORNY)
2018-2020	High purity silica purification (SiQua)/Flotation; Physical separation; Particle size reduction; Recycling; Hydrometallurgy; Upscaling/Inventor-WP leader/NTNU Discovery
2016-2020	SNOW/Flotation; Physical separation; Particle size reduction; Mineralogical characterization; Hydrometallurgy; Upscaling/WP leader/NFR

EXPERIENCE FROM NATIONAL/INTERNATIONAL COLLABORATION/NETWORKING (if applicable)

	Activity or project / tasks and responsibilities / context/programme/framework of the collaboration and names of key partners (companies, institutions)
2021-	Reflux Flotation Cell/Upscaling of a new flotation cell (flotation; characterization)/WP leader/EU (EiT Raw Materials)/FLSmidth; KGHM; HZDR; Solvay; Nouryon

2021-	Harare/Recycling of H ₂ -reduced bauxite tailings (milling; magnetic separation; flotation; characterization)/WP leader/EU (Horizon 2020)/SINTEF; ReSiTec; Mytilineos; Aurubis; RWTH Aachen; NTUA; KU Leuven
2020-2021	SiQua/WP leader; Researcher; Innovator/ Purification and fusing of recycled silica/St Gobain Quartz; QSIL
2018-2020	Flotation research/Researcher/ Foaming properties and flotation of various particle shapes/Wroclaw University of Science and Technology
2017-2020	SNOW/WP leader/High purity quartz purification/Washington Mills; SINTEF
2016-2020	Blue Nodules/Task manager/Characterization of seafloor Mn nodules/RWTH Aachen; IHC Mining; Uniresearch; GSR
2017-2020	Invention and industrial-scale implementation of flotation process/Inventor; Researcher/Höganäs; Rana Gruber
2015-2015	Water recycling/Consultant/Water recycling from natural stone processing/Cherkeзов, International Development Norway
2011-2014	Apatite, rutile and gypsum beneficiation/Researcher/Producing mineral concentrates by physical separation and flotation/Clearphos; Nordic Mining; Yara
2011-2012	Invention and industrial-scale implementation of flotation process/Inventor; Researcher/The Quartz Corp
2011-2020	Miscellaneous minor mineral processing projects for institutions/Researcher; Consultant/AGH Krakow, SINTEF, NTNU, NINA, NGU, NIVA, NMBU, IFE
2011-2020	Miscellaneous minor mineral processing projects for companies/Researcher; Consultant/ Hydro Aluminium, Elkem, Yara, Nordic Mining, Sydvaranger, Rana Gruber, Sibelco, Norsk Mineral, Skaland Graphite, Washington Mills, The Quartz Corp, ComexGroup, Eramet, NBTL, KA Rasmussen, Statskog, Statkraft, SNSK, Nussir, LKAB, Titania, Ottem Resirk, AF Decom, Tizir TTI, Franzefoss, Statoil, GeoCem, Flage Maskin, Acciona/Jernbaneverket, ResiTec, Nordic Rutile, Lyse Energi, Minera Skifer, Visnes Kalk

OTHER MERITS RELEVANT TO THE PROJECT

Relevant peer-review publications:

Zawala, J. et al. 2020. Synergism between cationic alkyltrimethylammonium bromides (CnTAB) and nonionic n-octanol in foamability of their mixed solutions. Ind. & Eng. Chemistry Research, 59, 1159-1167.

Larsen, E. et al. 2019. Selective flotation of K-feldspar from Na-feldspar in alkaline environment. Minerals Engineering, 142, 1-9.

Larsen, E. et al. 2019. Non-HF collectorless flotation of quartz. Minerals Engineering, 133, 115-118.

Sandvik, K.L., Tro, M.K., Linder, K., Larsen, E. 2019. The Reflux Classifier as A Hematite Scavenger at Rana Gruber. IMPC Eurasia 2019, 31 okt - 2 nov 2019, Antalya, Tyrkia.

- Larsen, E. et al. 2018. Recovery of Rare Earth Elements from a Norwegian Deposit. ALTA 2018 Conference, Perth (Australia), 2018-05-18 - 2018-05-25.
- Szczerkowska, S. et al. 2018. Kinetics of froth flotation of naturally hydrophobic solids with different shapes. Minerals Engineering, 121, 90-99.
- Larsen, E., Kleiv, R.A. 2016. Flotation of quartz from quartz-feldspar mixtures by the HF method. Minerals Engineering, 98, 49-51.
- Larsen, E., Kleiv, R.A. 2015. Towards a new process for the flotation of quartz. Minerals Engineering, 83, 13-18.
- Sandvik, K.L., Larsen, E. 2014. Iron ore flotation with environmentally friendly reagents. Minerals & Metallurgical Processing, 31, 95-102.
- Larsen, E. 2013. Enhanced gravity separation at the Mineral Processing Laboratory at NTNU. Mineralproduksjon 2013, 3, B15-B19.

Relevant technical reports and presentations:

- Larsen, E. et al. 2018. Recovery of Rare Earth Elements from a Norwegian Deposit. ALTA 2018 Conference, Perth (Australia), 2018-05-18 - 2018-05-25.
- Sandvik, K.L et al. 2018. The role of microscopic magnetite inclusions in magnetic mineral processing highlighted by Norwegian examples. IMPC 2018, Moscow, 2018-09-17 - 2018-09-21.
- Larsen, E. 2014. REE concentration of Rugdevollen pegmatite. NTNU, Dept. of Geoscience and petroleum report, M-RAK 2014:17.
- Larsen, E. 2012. Vertikalt pulserende sterkfelt magnetseparator. Mineralproduksjon, 2, 83-84.
- Larsen, E. 2012. Oppredning av REE-holdig pegmatitt fra Rugdevollen. NTNU, Dept. of Geoscience and petroleum report, M-RAK 2012:25.

Member/participant in networks:

European Raw Materials Alliance; Critical Raw Materials Alliance; Mining Industry Professionals; Rare Earth Elements; Minerals Engineers; Rare Earths Mining and Processing; Froth Flotation; Mineral Processing Chemistry; Mineral Processing Innovation

Curriculum vitae with track record

* **ROLE IN THE PROJECT** Project manager ☐ Work package leader ☒ Project partner ☒

* PERSONAL INFORMATION

*Family name, First name:	Tranell, Maria Gabriella		
*Date of birth:	13.10.1967	*Sex:	Female
*Nationality:	SWEDEN		
Researcher unique identifier(s) (ORCID, ResearcherID, etc.):			
URL for personal website:	https://www.ntnu.edu/employees/gabriella.tranell		

* EDUCATION

	Name of faculty/department, name of university/institution, country
1999	PhD, Materials Science & Engineering, University of New South Wales, Australia
1992	MSc, Geotechnology/ Metallurgical Engineering, Luleå University of Technology, Sweden

* **POSITIONS** (academic, business, industry, public sector, national or international organisations)

Current Position

	Job title/name of employer/country
2015-	Professor, Department of Materials Science and Engineering, NTNU, Norway
2015-	Scientific Director/Deputy Director- SFI Metal Production, NTNU, Norway
2018-	Board, Norwegian government appointed "Process21"

Previous positions held (list)

	Job title/name of employer/country
2009-2012	Deputy Department Head, Materials Science & Engineering, NTNU, Norway
2010-2013	Director, Centre for Renewable Energy
2009-2015	Associate Professor, Materials Science and Engineering, NTNU, Norway
2009-2016	Scientific Advisor, SINTEF Materials and Chemistry, Norway
2013-2017	Program responsible of the Nordic International Master Program in Sustainable Energy Engineering (ISEE).
1999-2008	Senior Scientist, Research Manager, SINTEF Materials and Chemistry, Norway

FELLOWSHIPS, AWARDS AND PRIZES (if applicable)

	Name of institution/country
2006	Dr Mathias Sembs Award/ Norsk Metallurgisk Selskap 2006
1994-1998	Overseas Post Graduate Research Scholarship for PhD studies at University of New South Wales, Sydney, Australia
1992	3 rd Best MSc thesis in Sweden 1992, Lilla Polhemspiset

MOBILITY (if applicable)**Research stays abroad lasting more than three months**

	Name of faculty/department/centre, name of university/institution/country
2018	Visiting Professor, Section for Sustainable Materials, ENEA, Italy

PROJECT MANAGEMENT EXPERIENCE (selected major projects last 5 years at NTNU.)**Projects funded by Research Council of Norway, international research programmes, private or public organisations**

	Project and role, funding from
2020-2024	"H2020 IA project SisAI Pilot" , EC (Project Coordinator) Awarded in 2019, total budget 14.5 M€ over 4 years, 21 partners.
2018-2021	"Researcher project DiamApp" , RCN (Project leader) Awarded in 2017, total budget 10 MNOK over 4 years
2015-2023	"SFI Norwegian Centre for Metal Production" , RCN/Industry (Co-director & RD leader), Awarded in 2015, total budget over 8 years is 260 MNOK.
2018-2021	"RemovAI" EU H2020, (project leader NTNU), Awarded in 2017, NTNU Budget 500k€
2014-2018	"KPN DEMASKUS" RCN/Industry, (Initial Project leader/WP leader.). Awarded in 2015 Total budget 18MNOK.
2013-2016	"REEcover" EU FP7 (Project koordinator). Awarded in 2013, Total budget 9.6 M€
2012-2014	"NORREN" Norwegian Research School in Renewable Energy" (www.norren.no) Ministry of Education Funded programme (Project leader)

SUPERVISION OF GRADUATE STUDENTS AND RESEARCH FELLOWS (if applicable)

	No. of	Master's students/ Ph.D./Postdocs	Name of faculty/department/centre, name of university/institution/country
2009-	47	25/16/6	Dept. of Materials Science and Engineering, NTNU, Norway

TEACHING ACTIVITIES (if applicable)

	Teaching position – topic, name of university/institution/country
--	---

2009-2019	Multiple courses at the Dep. Materials Science and Engineering at NTNU including (major contribution or course responsible): TMT4170 and 4177 Materials Technology 1 and 3 TMT4326 Refining and Recycling of Metals TMT 4345 Materials Production TMT 8214 Metals Production Norren Norwegian
-----------	--

ORGANISATION OF MEETINGS

	Role and name of event/number of participants/country
2001-2019	Multiple conferences/symposia/workshops as a organiser and co-organiser, including: - Organising committee - CSSC 3, Trondheim, June 2009 - Si summer school, chair and co-chair, NTNU/SINTEF Trondheim June 2010, June 2012, Iceland 2014, 2016 (www.ntnu.edu/mse/silicon-for-solar-cells) - Chair and Co-chair, Organiser, Si session, TMS March 2011, March 2012, March 2013 - Scientific Chair, Technoport/Renewable Energy Research Conference, Trondheim, April 2012 (www.technoport.no) - Organising committee - INFACON 16, Trondheim June 2021

MEMBERSHIPS OF ACADEMIES / SCIENTIFIC SOCIETIES / NETWORKS (if applicable)

	Name of academies, scientific societies, networks
2007-	Member of the Minerals Metals and Materials Society (TMS)
2019-	Elected member of NTVA

Track record

Scientific output

Total number of publications:

Published over 70 papers in various journals, 2 book chapters, and > 75 papers in refereed conference proceedings, 3 patents, Over 1100 total citations, *h*-index: 18, source: Google Scholar, Sept. 2019.

Ten Selected Publications (last 3 years):

Gökelma, Mertol; Aarnæs, Trygve Storm; Maier, Jürgen; Friedrich, Bernd; Tranell, Gabriella. (2019) [Behaviour of Aluminium Carbide in Al-melts during Re-melting. *Light Metals*.](#)

Ma, Yan; Jiang, Bo; Moosavi-Khoonsari, Elmira; Andersson, Stefan; Opila, Elizabeth J.; Tranell, Gabriella. (2019) [Oxidation of Liquid Silicon in Air Atmospheres Containing Water Vapor. *Industrial & Engineering Chemistry Research*.](#) vol. 58 (16).

Ma, Yan; Moosavi-Khoonsari, Elmira; Kero, Ida; Tranell, Gabriella. (2018) [Element distribution in the silicomanganese production process. *Metallurgical and materials transactions. B, process metallurgy and materials processing science*.](#) vol. 49 (5).

Smith, Nicholas Albert; Gleeson, Brian; wissam, saidi; Kvithyld, Anne; Tranell, Gabriella. (2018) [Mechanism behind the Inhibiting Effect of CO₂ on the Oxidation of Al–Mg Alloys](#). *Industrial & Engineering Chemistry Research*.

Smith, Nicholas; Kvithyld, Anne; Tranell, Gabriella. (2018) [The Mechanism Behind the Oxidation Protection of High Mg Al Alloys with Beryllium](#). *Metallurgical and materials transactions. B, process metallurgy and materials processing science*. vol. 49 (5).

Ødegård, Ivar Andre; Tranell, Gabriella. (2018) [Formation of Copper–Neodymium Intermetallic Compounds by Carbothermic Reduction of Neodymium Oxide in the Presence of Copper](#). *Industrial & Engineering Chemistry Research*. vol. 57 (40).

Kennedy, Mark William; Tianming, Sun; Yurramendi, Lourdes; Arnout, Sander; Aune, Ragnhild Elizabeth; Tranell, Gabriella. (2017) [Pyrometallurgical Treatment of Apatite Concentrate with the Objective of Rare Earth Element Recovery: Part II](#). *Journal of Sustainable Metallurgy*. vol. 3 (4).

Tianming, Sun; Kennedy, Mark William; Yurramendi, Lourdes; Aldana, Jose; Del Rio, Carmen; Arnout, Sander; Tranell, Gabriella; Aune, Ragnhild Elizabeth. (2017) [Pyrometallurgical Treatment of Apatite Concentrate with the Objective of Rare Earth Element Extraction: Part I](#). *Journal of Sustainable Metallurgy*. vol. 3 (4).

Jakobsson, Lars Klemet; Tranell, Gabriella; Jung, In-Ho. (2016) [Experimental investigation and thermodynamic modeling of the B₂O₃-FeO-Fe₂O₃-Nd₂O₃ system for recycling of NdFeB magnet scrap](#). *Metallurgical and materials transactions. B, process metallurgy and materials processing science*. vol. 48 (1).

Kero, Ida; Grådahl, Svend; Tranell, Gabriella. (2016) [Airborne Emissions from Si/FeSi Production](#). *JOM: The Member Journal of TMS*. vol. 69 (2).

Vedlegg til søknad om Innovasjonsprosjekt i næringslivet, med prosjekttittel:

Partneropplysninger for bedrift

Bedriftens navn:	NOAH AS		
Organisasjonsnr.:	984 902 980	Etableringsår:	2002
Bedriftens nettsted:	http://www.noah.no		
Nøkkeltall, siste regnskapsår (alle beløp skal oppgis i mill. kr). Angi årstall for regnskap:			
Antall ansatte:	68	Antall årsverk utført av egne ansatte:	68
Antall FoU-ansatte:	7	Antall FoU-årsverk utført av egne ansatte:	7
Årlig omsetning:		598 862 000	
Samlet balanse:		852 631 000	
Driftsresultat:		121 207 000	
Samlede FoU-kostnader:		15 000 000	
Opplysninger om eierforhold:			
Har andre foretak eierandel på 25 % eller mer i bedriften? (ja/nei)		Ja	
Har bedriften eierandel på 25 % eller mer i andre foretak? (ja/nei)		Nei	
Inngår bedriften i et konsern? (ja/nei). Hvis ja, oppgi navn på konsernet:		NOAH AS	
Kontakt for årsrapport og årsregnskap, eller nærmere opplysninger om bedriften:			
Kontaktperson, med epost-adresse:		Morten Breinholt Jensen, mbj@noah.no	

I 2021 endret NOAH AS navn til NOAH Solutions AS.

NOAH AS tar imot og behandler farlig uorganisk avfall med opphav hos forbrukere og industri i Skandinavia, og er engasjert i opprydding av forurensede sjø- og landområder. Selskapet har gjennomprøvd og dokumenterte behandlingsløsninger for de fleste typer uorganiske miljøgifter, og tar blant annet imot omtrent 370 000 tonn med flyveaske fra avfallsforbrenning, 200 000 m³ med avfallssyre fra KRONOS Titan, samt annet industriavfall på Langøya utenfor Holmestrand. Avfallet stabiliseres som en gips i deponiet på Langøya, en prosess som reduserer utlekking av uønskede elementer til omgivelsene i henhold til nasjonale retningslinjer og krav.

Gjennom prosjektet så ønsker NOAH å bygge videre på overgangen fra å være et rent sluttbeholdningsselskap til et gjenvinningsselskap som skaper nye og grønnere løsninger for materialfraksjoner som tradisjonelt har blitt sett på som farlig avfall og avhendet på deponi. Gjenvunne fraksjoner som gips, metaller og andre verdifulle mineraler vil deretter kunne selges som råvarer til videreforedlende industri. NOAH besitter en sterk kompetanse innen karakterisering, håndtering og behandling av uorganisk avfall som flyveasker og avfallssyre. Gjennom test- og forskningssenteret på Langøya så har man også bygget kompetanse på alternative behandlingsmetoder for flyveaske, og vil spille en sentral rolle i prosjektet.

NOAH vil ta en aktiv del i prosjektet, både i form av administrative oppgaver og FoU-arbeid, og vil bidra med laboratorier for kjemisk karakterisering, metode- og prosessutvikling, samt design, bygging og gjennomføring av pilotutstyr og -forsøk. NOAH vil også være ansvarlig for å organisere gjennomføring av eksterne forsøk hos potensielle mottakere av gjenvunnet gips og evt. andre materialfraksjoner.

Vedlegg til søknad om Innovasjonsprosjekt i næringslivet, med prosjekttittel:

Partneropplysninger for bedrift

Bedriftens navn:	Kronos AS		
Organisasjonsnr.:	948 616 491	Etableringsår:	1916
Bedriftens nettsted:	https://kronostio2.com/en/manufacturing-facilities/fredrikstad-norway		
Nøkkeltall, siste regnskapsår (alle beløp skal oppgis i mill. kr). Angi årstall for regnskap:			2019
Antall ansatte:	178	Antall årsverk utført av egne ansatte:	178
Antall FoU-ansatte:	0	Antall FoU-årsverk utført av egne ansatte:	0
Årlig omsetning:		1 076 583 000	
Samlet balanse:		679 568 000	
Driftsresultat:		16 381 000	
Samlede FoU-kostnader:		0	
Opplysninger om eierforhold:			
Har andre foretak eierandel på 25 % eller mer i bedriften? (ja/nei)		Nei	
Har bedriften eierandel på 25 % eller mer i andre foretak? (ja/nei)		Nei	
Inngår bedriften i et konsern? (ja/nei). Hvis ja, oppgi navn på konsernet:		KRONOS Worldwide, Inc.	
Kontakt for årsrapport og årsregnskap, eller nærmere opplysninger om bedriften:			
Kontaktperson, med epost-adresse:		Jan Klauset - jan.klauset@kronosww.com	

Kommentar til FoU-kostnader og -ansatte: Selskapets FoU-virksomhet gjennomføres hos Kronos Titan Gmbh i Leverkusen i Tyskland.

Kronos Titan AS i Fredrikstad er Skandinavias eneste produsent av titandioksidpigmenter (TiO₂). TiO₂ benyttes som hvitt fargepigment i blant annet maling, papir, plast og gummi. Kronos Titan AS i Fredrikstad produserer ca. 30 000 tonn TiO₂ pr år, har en omsetning på ca. en milliard pr år og har i underkant av 200 ansatte. Kronos Titan AS produserer også betydelige mengder jernsulfat (FeSO₄) som benyttes som fellingskjemikalie i kommunale vannrenseanlegg i hele Skandinavia.

Titandioksidpigmenter produseres via sulfatprosess i Fredrikstad. Råmateriale til framstilling av TiO₂ er ilmenitkonsentrat (FeTiO₃) fra søsterselskapet Titania AS i Hauge i Dalene i Sokndal kommune og konsentrert svovelsyre som kjøpes inn fra Boliden AS i Odda. Under fremstillingen av TiO₂, så dannes det ca. 200 000 m³ (23 vekt-% H₂SO₄) forurenset svovelsyre som har en negativ markedsverdi. I dag leveres svovelsyren til NOAH AS på Langøya der den nøytraliseres med flyveaske fra forbrenning av husholdningsavfall og brent kalk. Det er avgjørende for Kronos Titan AS at det finnes gode løsninger for å håndtere restprodukter fra TiO₂-produksjon også etter at Langøya går full i 2030 for å kunne videreføre virksomheten. Produksjon av kommersiell hvitgips basert på vår svovelsyre er derfor en meget interessant løsning å utvikle i fellekskap med NOAH AS.

Vårt søsterselskap i Canada, Kronos Canada, Inc, håndterer i dag svovelsyren fra produksjon av TiO₂ ved å danne hvitgips og det finnes derfor mye kunnskap rundt produksjon av gips fra forurenset svovelsyre i Kronossystemet. Kalksteinråstoffet som er avgjørende for å produsere hvitgips er betydeligere renere i Canada sammenlignet med kalksteinforekomsten på Langøya, slik at produksjon av hvitgips vil kreve betydelig utvikling for at den skal ha en kvalitet markedet krever. Kronos vil bidra med prosess- og markeds kunnskap rundt hvitgips i prosjektet.

Kronos Titan AS sin hovedinteresse i prosjektet er å sikre at det eksisterer en god og sirkulær løsning for restsyren fra vår produksjon også etter Langøya går full i 2030. Uten en løsning vil det ikke være mulig å opprettholde produksjonen i Fredrikstad.

Bekreftelsesbrev om samarbeid mellom Kronos Titan AS og NOAH AS

Dette brevet bekrefter at Kronos Titan AS og NOAH AS har intensjon om å samarbeide for å utvikle en prosess for å omdanne avfallssyre fra Kronos Titan AS til kommersiell gips. Avfallssyre (svovelsyre) er et biprodukt som oppstår hos Kronos Titan AS under produksjon av TiO_2 . Denne syren sendes i dag til NOAHs anlegg på Langøya for behandling og påfølgende deponering. Partene skal i samarbeid utvikle en prosess for produksjon av kommersiell gips basert på avfallssyre fra Kronos Titan og kalkholdige avfallsfraksjoner eller kalkstein fra NOAH.

Kronos Titan AS vil bidra med prosesskunnskap og interne timer i omsøkte prosjekt. NOAH vil bidra med interne timer og direkte kostnader til FoU, pilotering og labforsøk.

Kronos Titan AS

Fredrikstad 15.04.2021

Jan Klauset - CEO

NOAH AS

Oslo 15.04.2021

Anders Lægreid - CEO

Verifikasjon

Transaksjon 09222115557445259251

Dokument

Bekreftelsesbrev om samarbeid mellom Kronos Titan AS
og NOAH AS

Hoveddokument

1 side

Initiert på 2021-04-15 10:32:16 CEST (+0200) av Trude
Kjørstad (TK)

Ferdigstilt den 2021-04-15 12:40:32 CEST (+0200)

Initiativtaker

Trude Kjørstad (TK)

NOAH AS

Organisasjonsnr. 825355812

tkj@noah.no

+4791756163

Signerende parter

Anders Læg Reid (AL)

NOAH AS

anders.lagreid@noah.no

Signert 2021-04-15 12:40:32 CEST (+0200)

Jan Klauset (JK)

Kronos Titan AS

jan.klauset@kronosww.com

Signert 2021-04-15 10:36:09 CEST (+0200)

Denne verifisering ble utstedt av Scrive. Informasjon i kursiv har blitt verifisert trygt av Scrive. For mer informasjon/bevis som angår dette dokumentet, se de skjulte vedleggene. Bruk en PDF-leser, som Adobe Reader, som kan vise skjulte vedlegg for å se vedleggene. Vennligst merk at hvis du skriver ut dokumentet, kan ikke en utskrevet kopi verifiseres som original i henhold til bestemmelsene nedenfor, og at en enkel utskrift vil være uten innholdet i de skjulte vedleggene. Den digitale signeringsprosessen (elektronisk forsegling) garanterer at dokumentet og de skjulte vedleggene er originale, og dette kan dokumenteres matematisk og uavhengig av Scrive. Scrive tilbyr også en tjeneste som lar deg automatisk verifisere at dokumentet er originalt på: <https://scrive.com/verify>

