NFR-340939 /Adepth Minerals AS

GRØNN PLATTFORM – EMINENT sluttrapport (2023-2025 prosjekt)

DEL 1 – FAKTA OG OPPSUMMERING

PROSJEKTINFORMASJON

Prosjekttittel:	EMINENT (Havbunnsmineraler akselererer energiomstillingen)
Prosjektansvarlig org.:	Adepth Minerals
Prosjektleder:	Anette Broch Mathisen Tvedt
Totalbudsjett (MNOK):	122
Tildelt offentlig støtte (MNOK):	60
PARTNERE:	GCE Ocean Technology
	Future Materials katapult-senter
	Shearwater (Reflection Marine Norge AS)
	NOV (National Oilwell VARCO Norway AS)
	Seabed Solutions
	Aker BP
	DeepOcean
	Aanderaa/Xylem
	NORCE
	Universitetet i Bergen
	NTNU
	Universitetet i Tromsø - Norges arktiske Universitet
	Akvaplan-Niva
	Geoprovider

OPPSUMMERING:

EMINENT prosjektets ("EMINENT") mål var å bygge et solid kunnskapsgrunnlag for en ansvarlig verdikjede for havbunnsmineralressurser på norsk sokkel som støtter den grønne energiomstillingen, styrker Norges råvareberedskap og bidrar til nye verdikjeder, arbeidsplasser og verdiskaping. Kritiske mineraler som kobber, kobolt og sink er nødvendige for batterier, fornybar energi, elektrifisering og moderne infrastruktur, samtidig som global etterspørsel øker kraftig og landbaserte ressurser blir stadig mer krevende å utvinne. Havbunnsmineraler representerer derfor som en strategisk viktig ressurs.

EMINENT har dokumentert at det er mulig å utvinne havbunnsmineraler på en måte som er teknologisk gjennomførbar, mer skånsom for naturen enn tradisjonell gruvedrift og med sannsynlighet for høy lønnsomhet basert på stort ressursgrunnlag og tilpasning av moden teknologi fra offshoreindustrien.

EMINENT har etablert et omfattende kunnskapsgrunnlag om norske sulfidforekomster. Funnet av "Deep Insight" i 2023, den første utdødde sulfidforekomsten i Norskehavet var bærebjelken som ga en helt ny forståelse av et omfattende ressursgrunnlag på kun 1200 meters dyp med bruk av moden teknologi. EMINENT var opprinnelig basert på én ekspedisjon, men oppdagelsen utløste to nye forskningstokt i 2024 og 2025, som påviste enda høyere mineralkonsentrasjoner. Toktene samlet inn store mengder geologiske, biologiske, miljømessige og geokjemiske data, og ga samtidig grunnlag for uttesting av tilpasset teknologi og kostnadseffektive operasjonsmetoder med lavt miljøavtrykk. Til sammen gir EMINENT et solid grunnlag for vurderinger av ressurser, miljøpåvirkning, teknologisk modenhet og industrialisering og lønnsomhet.

Prosjektet har etablert et proof-of-concept for en komplett verdikjede for utvinning av havbunnsmineraler på norsk sokkel. En sentral del har vært utvikling og testing av teknologi for leting og uttak fra utdødde sulfidforekomster. Partnerne har utviklet, testet og kommersialisert prøvetakingsverktøy, inkludert Flexicore™ kjerneboringssystemet. Teknologiene muliggjør både lavere miljøpåvirkning og vesentlig lavere kostnader sammenlignet med tidligere etablerte metoder.

Miljøansvar har vært en hovedprioritet. EMINENT har dokumentert hvordan miljøpåvirkning kan reduseres gjennom hele verdikjeden – fra leting til produksjon. Ikke-invasiv miljøkartlegging, inkludert eDNA-analyse og AI-basert videoklassifisering, gjør det mulig å overvåke økosystemer uten inngrep. Prosjektet har utviklet en stegvis utforskningsstrategi som integrerer miljødata, teknologi, risikoanalyser og regulatoriske krav for å redusere risiko og sikre metodisk og transparent miljø- og ressurskartlegging før beslutninger om eventuell utvinning. Det er også utviklet et lukket konsept for vertikal transport av malm, samt løsninger for sedimenthåndtering som reduserer eller eliminerer sedimentskyer.

EMINENT viser at prosessering kan skje med produksjon av kobbermetall med høy ressursutnyttelse, både gjennom konvensjonelle og karbonfrie, hydrogenbaserte prosesser med lavere energibruk. Prosjektet har også testet bioutluting, som viser svært lovende resultater og kan gi store gevinster innen ressursutnyttelse, miljøpåvirkning og kostnader.

Samlet demonstrerer EMINENT at en komplett verdikjede for havbunnsmineraler er gjennomførbar, og at Norge kan utvikle en fremtidig grønn mineralnæring til havs som kombinerer teknologisk gjennomførbarhet, lavt miljøavtrykk, høy verdiskaping og sterk kunnskapsbase. Resultatene gir et viktig faktagrunnlag for videre ressursforvaltning og viser hvordan Norge kan styrke strategisk sikkerhet, bidra i energiomstillingen og ta en posisjon som leverandør av bærekraftige mineraler i et globalt marked der det pågår et kappløp om å sikre seg de strategisk uunnværlige byggesteinene.

HOVEDRESULTATER

Teknologiutvikling, forskning og innovasjon

FoU-resultatene fra EMINENT-prosjektet har levert en bred portefølje av teknologi, nye metoder, forskningsresultater og samarbeidsstrukturer som samlet sett bidrar til å modne en ansvarlig og helhetlig verdikjede for havbunnsmineraler. Prosjektet har utviklet både konkrete teknologiske løsninger og nye vitenskapelige metoder som nå er tatt i bruk i forskning, industri og forvaltning.

Samarbeidsdimensjonen har vært en av prosjektets største styrker. EMINENT har etablert et betydelig antall nye samarbeidsrelasjoner både nasjonalt og internasjonalt. Prosjektet har også bidratt til utvikling av rammeverk og metoder som kan inngå i fremtidige reguleringer, standarder og beslutningsgrunnlag.

FoU-aktiviteten i prosjektet har også gitt betydelig faglig avkastning i form av vitenskapelige publikasjoner publisert eller planlagt publisert, samt bidrag til utdanning gjennom master-, PhD-prosjekter. Til sammen viser bredden av FoU-resultater at EMINENT ikke bare har løst sine opprinnelige mål, men også har etablert ny kunnskap, teknologi og samarbeidsstrukturer som vil ha varig verdi for norsk forskning, industri og forvaltning.

FoU-resultater	Antall	Eksempel
Nye produkter, tjenester, og/eller prosesser tatt i bruk	316	Produksjonskonsepter
Nye patenter eller patenterbare løsninger utviklet	1	Bioluting metodikk
Prototyper og/eller piloter utviklet	4	FlexiCore™ kjerneboringssystem, grunt kjernesystem, plume-overvåkingsverktøy
Nye tilgjengelige testfasiliteter/katapult-tilbud	1	
Spinn-off prosjekter	10	Nye FoU-løp innen prosessering, geologi, miljømetodikk, modellering
Nye selskaper/oppstartsselskaper	0	
Nye samarbeidsrelasjoner etablert	50	Nye institusjonelle samarbeid mellom industri, forskning og forvaltning
Nye internasjonale relasjoner	33	Samarbeid med EU-prosjekter, forskningsmiljøer og teknologileverandører
Rammevilkår/reguleringer/avtaler/standarder	4	Bidrag til metodegrunnlag for regulering, data-rammeverk,
Vitenskapelige publikasjoner	28	Artikler om geologi, miljøkartlegging, prosessering, teknologi
Phd/Post doc,/Master	13	Kandidater som har benyttet EMINENT-data og resultater

Økonomiske gevinster og verdiskaping

Realiseringen av det store økonomiske potensialet for en norsk havbunnmineralnæring avhenger av politiske beslutninger herunder igangsettelse av lisensrunder.

Rystad Energy sin analyse fra 2020 etablerte det første helhetlige anslaget for hva en norsk havbunnsmineralnæring kan bidra med av verdiskaping. Rapporten, som bygget på rundt 20 års tilgjengelig geologisk kunnskap fra forskningstokt, viste at en modnet industri kunne gi inntil USD 20 milliarder i årlige inntekter og inntil 21 000 arbeidsplasser i et høyscenario. Usikkerheten var imidlertid betydelig, særlig knyttet til ressurspotensial, malmkvalitet, miljøpåvirkning og teknologisk gjennomførbarhet.

EMINENT-prosjektet har på tre år samlet inn mer data enn det som har vært tilgjengelig fra norsk sokkel de siste 25 årene. Dette gir et langt bedre empirisk fundament enn det Rystad hadde tilgang

til. De nye dataene viser mye større og mer konsentrerte ressurspotensialer enn tidligere antatt, inklusive høyere malmgrader og mer presise volumberegninger. Dette reduserer geologisk usikkerhet og øker sannsynligheten for at de økonomiske scenarioene fra 2020 faktisk er realiserbare.

Samlet sett tyder EMINENT resultatene på at verdiskapingspotensialet som Rystad beskrev i 2020 heller er konservativt enn optimistisk der sannsynligheten for en industriell realisering er betydelig større enn i 2020 da risiko ift. geologi, miljø, teknologi og prosessering er lavere. Prosjektet har også tydeliggjort hvordan hele den norske offshore verdikjeden kan bidra til og dra nytte av en framtidig havbunnsmineralnæring. Dette styrker det industrielle og eksportmessige potensialet betydelig.

Hvis lisensrundene ikke kommer i gang, vil den økonomiske verdiskapingen knyttet til havbunnsmineraler være begrenset og i hovedsak knyttet til eksport av teknologi og kompetanse til et globalt marked som nå beveger raskt der de store landene USA, Japan, Kina og India leder an. Dersom lisensrunden faktisk gjennomføres har Norge nå et robust kunnskapsgrunnlag for å vurdere en lønnsom og ansvarlig mineralnæring til havs.

Indikatorer	Enhet	Måltall (prosjekt)	Prognose		**Eksempler / forutsetninger**
			2030	2050	
Reduserte kostnader	USD/kg CuEq	Kostnad baseline etablert for type-prosjekt	Ikke tallfestet (avhenger av portefølje og læring)	Lavere enn baseline ved skalering (ikke tallfestet)	Type-prosjekt: enhetskost 2.0 USD/kg CuEq - løftekost 1.4 USD/kg CuEq
Økte (eksport) inntekter	NOK pr år	Realisering styrket gjennom datagrunnlag og konseptmodning	Avhenger av lisens/oppstart (kan være 0)	> USD 20 milliarder	Rystad: «most constructive scenario» opp til NOK 200 mrd. pr år og ~21 000 FTE[1]; EMINENT indikerer høyere ressurspotensial enn gjeldende anslag
Private investeringer (CAPEX)	NOK	Konseptstudier og industrialiseringsløp dokumentert	Avhenger av utbyggingsløsning og volum basert på pilotproduksjon	-Ikke tallfestet her	-Typeprosjekt: CAPEX på NOK 10 milliarder pr produserende lokasjon (offshore aktivitet)
Offentlige investeringer	NOK	Styrket kunnskapsgrunnlag og datastrukturering	Moderat (data, miljø, regulering)	Behovstyrt men antas avtagende per prosjekt	Miljø- og datarammeverk inkl. CSRD -tilpasning
Samfunnsøkonomiske effekter	NOK	Grunnlag for senere analyse etablert	Ikke tallfestet her	Ikke tallfestet her	Skatt, ringvirkninger og eksport krever egen samfunnsøkonomisk modell
Internasjonal vekst / eksport	NOK	Teknologi og kompetanse demonstrert (eksportbar)	Mulig (tjeneste/teknologi)	Betydelig potensial (ikke tallfestet)	Leverandør-/serviceeksport analogt deepwater olje og gass
Sysselsetting og arbeidsplasser	# (FTE)	Kompetansebygging i konsortiet	Avhenger av utviklingsløp	> ~21 000 FTE	Rystad: opp til ~21 000 FTE i konstruktivt scenario

Bærekraft, klima og miljø

Indikatorer - FN's bærekraftsmål (SDG'ene):

En bærekraftig verdikjede for havbunnsmineraler omfatter hele prosessen fra leting, via produksjon til prosessering og bruk av mineralene. Målet er minimere miljøpåvirkning, sikre sosialt ansvar og bidra til langsiktig økonomisk bærekraft. EMINENT-prosjektet viser at dette er mulig gjennom bruk av moden teknologi, begrenset inngripende metoder, og dokumenterbare forbedringer i miljøpåvirkning.

Prosjektet vurderes å bidra til ni av FNs bærekraftsmål, særlig knyttet til redusert miljøavtrykk, styrket kunnskapsgrunnlag, innovasjon, ansvarlig produksjon og partnerskap.

Bakgrunn - status og utvikling

Strengere internasjonale og nasjonale krav, inkludert EUs Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), gjør at utviklingen av en ansvarlig havbunnsmineralnæring må være transparent, kunnskapsbasert og i tråd med etablerte bærekraftsprinsipper. EMINENT svarer på dette ved å utvikle metoder og teknologi som gir lavere miljøpåvirkning og bedre beslutningsgrunnlag enn tidligere tilgjengelig.

Prosjektet viser at havbunnsmineraler kan utvinnes og prosesseres med vesentlig lavere miljøavtrykk sammenlignet med tradisjonell landbasert gruvedrift, og at denne utviklingen understøtter global etterspørsel etter kritiske mineraler til energiomstilling.

Prosjektets bidrag til bærekraftsmålene og kvantifiserbare effekter:

SDG målene	Indikator (enhet)	Kvantifisert bidrag	Fremtidig potensial		Eksempler
			2030	2050	
	- Reduksjon i miljøpåvirkning: Lavere inngrep gjennom målrettet prøvetaking, lukket vertikal transport og modellerte sedimentskygrenser.	Redusert forstyrrelse av sjøbunn	- Bedret monitorering og kontroll - Redusert forstyrrelse av sjøbunn - Redusert forsuring av sjøvann		- Lav-påvirknings kartlegging - Renere operasjonell aktivitet - Avfallshåndteringsprosedyrer
	- Sikkerhet og menneskerettighets kontroll - Forvaltning og transperens langs hele verdikjeden - Helseforebygging	- Ferre (kritiske) hendelser	- Sterk sikkerhetskultur - Sterkere forvaltning		- Sikkerhetstrening - Dialog med deltagere/påvirkede.
	- Andel fornybar energi - Teknologisk Effektivitet - Parterskap: Nasjonalt og internasjonalt; Forskning, industri og forvaltning		- Implementering av ny teknologi - Mer fornybar energi - Reduksjon I karbon		- Elektrifiserte fartøy - Delte datasystemer.

Indikatorer - EU-taksonomi:
EMINENT-prosjektet støtter EUs taksonomi ved å videreutvikle teknologier som reduserer miljøpåvirkningen gjennom hele verdikjeden for mineraler fra havbunnen. Prosjektet demonstrerer et lavere fotavtrykk enn landbasert gruvedrift gjennom skånsom leting, parallelle operasjoner og forbedrede prosesseringskonsepter.

Prosjektet styrker klimamitigasjon ved å utvikle lavenergi-utvinningsteknologi og prosesseringsløsninger. Bio-Leaching viser lovende utsikter for grønnere metallutvinning ved bruk av bakterier i stedet for høyenergi- og kjemiske metoder. Disse løsningene reduserer energibruk og senker utslipp fra konvensjonelle metallurgiske prosesser. Målrettet prøvetaking og parallelle operasjoner reduserer i tillegg forstyrrelser og påvirkning av sjøbunn og øker både kostnads- og energieffektiviteten.

Klimatilpasning støttes gjennom prediktive miljømodeller som vurderer klimafølsomme offshore-aktiviteter. Simuleringer av sedimentskyer viser partikkelatferd under operasjoner, noe som muliggjør bedre planlegging og sikringstiltak. Disse modellene reduserer usikkerhet og bidrar til å tilpasse aktivitetene til lokale marine forhold. Miljøbaselinjer styrker adaptiv beslutningstaking.

Bærekraftig beskyttelse av marine ressurser støttes gjennom høyoppløselig habitatavbildning, ROV-undersøkelser i verdensklasse, KI-tolkning og eDNA-analyser. Disse teknologiene kartlegger havbunnen med minimal forstyrrelse og gir solide miljøbaselinjer. De støtter ansvarlige beslutninger og reduserer risikoen for sårbare økosystemer.

Sirkulærøkonomiske prinsipper styrkes gjennom lavenergi-prosessering og mulig gjenbruk av biprodukter. Den foreslåtte Bio-Leaching metoden gir renere materialstrømmer og reduserer skadelig avfall. Prosjektet identifiserer muligheter for å bruke restmasse i klimavennlige materialer. I tillegg kan enkelte offshore-installasjoner og teknologier tilpasses havbunnsmineralvirksomhet, noe som forbedrer ressursutnyttelsen av eksisterende infrastruktur.

Forurensningsforebygging støttes gjennom lukkede kretsløpskonsepter som begrenser sedimentforstyrrelser. Det foreslåtte konseptet reduserer energibruk og kan lagre eller generere energi. Disse tiltakene vil bidra til å opprettholde vann- og luftkvalitet. Sanntidsovervåking muliggjør raske korrigerende tiltak.

Beskyttelse av biodiversitet styrkes gjennom detaljerte miljøundersøkelser som forbedrer forståelsen av dyphavsøkosystemer. Resultatene indikerer likeartede økosystemer på tvers av flere undersjøiske fjell og ingen bevis for endemiske arter på de undersøkte lokalitetene. Bruken av avanserte teknologier, inkludert KI, vil ytterligere forbedre kunnskapsgrunnlaget, støtte risikoreduserende tiltak og muliggjøre mer effektive forvaltningstiltak. Samlet sett forbedrer disse innsiktene risikovurderinger for biodiversitet og gir et bedre grunnlag for robuste vurderinger av havbunnen.

Ansvarlig ressursbruk fremmes gjennom integrert overvåking og teknologiutvikling. Denne tilnærmingen reduserer kumulative risikoer, forbedrer datatransparens og støtter ansvarlig beslutningstaking samtidig som langsiktig usikkerhet reduseres.

De anvendte metodene støtter en **komplett verdikjede** i tråd med det grønne skiftet ved å muliggjøre skånsom leting og alternative prosesseringsløsninger med redusert fotavtrykk. Dette bidrar til en mer bærekraftig tilførsel av kritiske mineraler som trengs for avkarbonisering.

Løpende miljøevaluering sikrer at planlegging og innovasjon svarer effektivt på nye risikoer. Avansert kartlegging, overvåking, skånsomme teknologier og samarbeid med industri, universiteter og forskningsinstitutter styrker kunnskapsgrunnlaget og økosystembeskyttelsen.

Oppsummert er EMINENT-prosjektet i tråd med målene i EUs taksonomi ved å støtte klima-mitigering, klimatilpasning, marin beskyttelse, sirkulær ressursbruk, forurensningsforebygging og styrket biodiversitet. Resultatene styrker bærekraftig beslutningstaking og reduserer usikkerhet knyttet til fremtidig utvikling av mineraler på havbunnen.

EU-Taksonomi (6 mål)	**Indikator (enhet)**	**Kvantifisert bidrag**	**Fremtidig potensial**		**Eksempler**
			2030	**2050**	
Møte klimaendringene	Redusere energibruk og bidra til energiomstilling	Lavenergirik utvinning Lavt utslipp av CO2, NOx, SOx og CH_4 80% av CO2-utslipp	Moderat	Høy	Lavere fotavtrykk
Klimatilpassing	Risiko modellering	Støvskymodeller reduserer risiko	Høy	Høy	Plume modelling Alternative fuel
Bærekraftig bruk og beskyttelse av vann og marine ressurser	Miljødata – kartlegging og baselinje	Høyoppløselig kartlegging	Høy	Høy	ROV kartlegging & KI Analyser
Omstilling til sirkulær-økonomi	Avfallsreduksjon	Processing & Bioleaching reduces waste	Moderat	Høy	Gjenbruk/bruk av avgangsmasser
Forebygging og kontroll av forurensning	Ingen utslipp og redusert sedimentsky	Lukkede tilbakekoblingsløkker	Høy	Høy	Sedimentsky-reduksjon
Beskyttelse av biologisk mangfold og gjennomrettelse av økosystem	Økosystem-Kunnskap	Kartlegginging viser mønstre	Høy	Høy	ROV økosystem-kartlegging

DEL 2: MÅLOPPNÅELSE, VIRKNINGER OG EFFEKTER

Mål og gjennomføring

EMINENT hadde som overordnet ambisjon å etablere et helhetlig grunnlag for en ansvarlig og bærekraftig norsk verdikjede for havbunnsmineraler. Dette inkluderte både nye teknologiske løsninger, nye miljømetoder og et mer omfattende kunnskapsgrunnlag:

1. Etablere et nasjonalt referansegrunnlag for geologi, miljø og ressurser gjennom omfattende karakterisering av norske sulfidforekomster, spesielt Deep Insight Hill.
2. Utvikle teknologi og metodikk for utforskning og uttak med minimalt miljøfotavtrykk, særlig innen prøvetaking, sedimentspredning og vertikal transport.
3. Kartlegge miljøpåvirkning og utvikle verktøy for overvåkning og risikovurdering, inkludert eDNA, AI-basert videoklassifisering og plume-modellering.
4. Bygge verdikjedeforståelse og prosesskunnskap som viser hvordan ressursene kan inngå i norsk industri på en bærekraftig måte.

Prosjektet ble gjennomført som et tverrfaglig samarbeid mellom industri, forskning og forvaltning. For å sikre fremdrift og kvalitet gjennom hele prosjektperioden ble det gjennomført månedlige arbeidspakkemøter, møter annenhver uke mellom arbeidspakkelederne og tverrfaglige, fysiske workshops for hele konsortiet gjennom prosjektløpet 2-3 ganger i året. Dette forhindret siloarbeid og sikret integrasjon mellom geologi, teknologi, miljø og prosessering, og bidro til at resultater fra felt, analyse og modellering kunne kobles effektivt sammen for en helhetlig utvikling av verdikjeden.

Det var viktig for oss å få fysiske data og teste metodikk og teknologi tidlig, slik at vi fikk mulighet til å forbedre og videreutvikle ulike prosesser og teknologier. Tre omfattende tokt samlet inn mer data enn det som har vært tilgjengelig de siste 25 årene. Toktene inkluderte ROV-kartlegging, kjerneprøvetaking med FlexiCore™, video- og eDNA-basert miljøkartlegging, innsamling av miljødata som f.eks. strømdata og sedimentspredning, og da med fokus på parallelle operasjoner lavt fotavtrykk og effektivisering. Det ble også utviklet/modnet/testet nye verktøy for miljøkartlegging og påvirkningsanalyse som eDNA-metodikk for artsdeteksjon, AI-basert klassifisering av fauna, modell for sedimentspredning, baseline-kartlegging av habitater. Metodene gir et mer robust grunnlag for fremtidig regulering og konsekvensutredning.

Prosjektet piloterte og videreutviklet og bl.a. FlexiCore™-kjerneboringsrigg, utviklet konsept for lukket produksjonsstrøm uten returvann, lukket vertikalt energieffektivt transportsystem. Teknologiene ble testet og demonstrerte lavere miljøpåvirkning enn tidligere praksis. Vi gjorde en rekke laboratorietester i større og mindre skala, spesielt innen for prosessering. Foreløpige resultater viser at norsk industri kan behandle malmen med høye utvinningsrater (80–90 %), og prosjektet etablerte tidlige konsepter for hydrogenbasert og biologisk prosessering.

EMINENT har hatt faglig synergi med tilknyttede KSP-prosjekter, særlig innen miljømetodikk, modellering, overvåkning og vurdering av økologiske sårbarheter. Dette har styrket analysegrunnlaget og gjort metodene bedre tilpasset fremtidig regulering.

Resultater og diskusjon

EMINENT-prosjektet har i hovedsak levert på, og overgått de opprinnelige målsettingene som ble satt for prosjektperioden. Prosjektets hovedambisjon var å etablere et helhetlig, kunnskapsbasert fundament for en ansvarlig og miljømessig forsvarlig verdikjede for havbunnsmineraler for mulig framtidig mineralnæring på norsk sokkel. Dette inkluderte både utvikling av teknologi, oppbygging av miljøkunnskap, styrking av datagrunnlaget og etablering av en verdikjede for havbunnsmineraler. Samlet har prosjektet levert resultater som styrker alle disse dimensjonene og gir Norge et betydelig bedre grunnlag for kunnskapsbaserte politiske og industrielle beslutninger.

1. Måloppnåelse innen kunnskapsgrunnlag og geologisk kartlegging

Prosjektet har etablert den mest omfattende karakteriseringen til nå av en norsk sulfidforekomst, gjennom det systematiske arbeidet på Deep Insight Hill. Dette inkluderer geologiske, geofysiske, geokjemiske og biologiske data av høy kvalitet, som samlet danner et referansegrunnlag for beslutninger om havbunnsmineraler. Der opprinnelig prosjektplan la opp til én ekspedisjon, klarte konsortiet å mobilisere til tre fullskala forskningstokt, noe som representerer en betydelig overoppnåelse. Disse toktbaserte datasettene muliggjør en tverrfaglig og helhetlig forståelse av sulfidforekomster på en måte som ikke tidligere har vært tilgjengelig i Norge.

Prosjektet har dermed levert langt mer robuste data enn forutsatt. Dette gjelder både mineralpotensial, miljøforhold, biologisk mangfold og operasjonelle forhold, og gir norske myndigheter og industri et kvantitativt grunnlag som var fraværende før prosjektstart.

2. Måloppnåelse innen teknologiutvikling og operasjonelle metoder

Et hovedmål var å utvikle teknologier som muliggjør leting og uttak med betydelig lavere miljøpåvirkning enn tidligere metoder. Dette målet er i stor grad nådd gjennom:

- Pilotering, videreutvikling og kommersialisering av FlexiCore™ kjerneboringssystem
- En sedimentsky-spredningsmodell som kvantifiserer sedimentutbredelse og viser at påvirkningen kan holdes på et meget begrenset nivå.
- Lukkede produksjonskonsepter for vertikal transport, som potensielt eliminerer returvannsutslipp og reduserer energibruk ved massehåndtering.
- Etablering av eDNA-baserte overvåkingsmetoder og AI-analyse av ROV-video, som samlet representerer en ny standard for ikke-invasiv miljøkartlegging.
- Prosjektet har demonstrert at malm fra utdødde sulfidforekomster kan prosesseres med gode utvinningsrater i eksisterende norske prosessanlegg. Dette er et viktig resultat, da det direkte knytter marine mineraler til norsk industriell kapasitet.
- I tillegg viser bioluting-eksperimenter lovende resultater. Selv om metodene ikke er klare for fullskala bruk, representerer de et mulig lavutslipps- og lavenergispor for framtiden. Dette er en betydelig styrking av målsettingen om å utrede miljøvennlige behandlingsmetoder.

Disse teknologiske komponentene utgjør til sammen et *proofofconcept* for en helhetlig, skånsom og teknologisk gjennomførbar verdikjede. Samtidig er flere teknologier fortsatt på prototype- eller pilotstadiet, som forventet i et forsknings- og innovasjonsprosjekt som dette.-*of-concept*

3. Måloppnåelse innen miljøforståelse, økosystemdata og risiko

EMINENT har levert et langt mer omfattende miljødatagrunnlag enn opprinnelig planlagt. Prosjektet har:

- etablert baseline-data for biologisk mangfold ved hjelp av eDNA
- klassifisert fauna og habitater med AI-baserte analyseverktøy
- dokumentert hydrografiske forhold og lave strømforhold i området
- studert og modellert sedimentspredning ved operasjonelle inngrep
- utviklet en stegvis utforsknings- og beslutningsstrategi som kobler miljø, teknologi, risiko og regulering

Det bidrar direkte til vurderinger av hvorvidt framtidig aktivitet kan gjennomføres innenfor miljømessig forsvarlige rammer.

4. Avvik mellom mål og oppnådde resultater

De viktigste avvikene handler ikke om underprestasjon, men om eksterne rammebetingelser. Den politiske situasjonen og uavklarte forhold rundt konsesjonsregimet påvirker videre fremdrift. Dette ligger utenfor prosjektets kontroll, men gjør at enkelte FoU-løp ikke kan tas videre mot industriell modning før rammebetingelsene klargjøres.

På grunn av tids- og værmessige begrensninger har ikke alle teknologier fått full feltvalidering. Dette er ikke uvanlig i offshoreprosjekter, men innebærer at noen teknologikomponenter bør videreutvikles før de kan skaleres opp til industriell bruk.

5. Hva kunne vært gjort annerledes?

Prosjektet kunne hatt nytte av:

- Lengre testvinduer i felt, for å validere prototyper under flere typer driftsforhold.
- Direkte involvering av regulatoriske aktører i prosjektet, for å sikre at tekniske løsninger og datainnsamling svarer direkte på framtidige krav (selv om dette delvis ble løst gjennom tett dialog underveis).
- Økt involvering av industripartnere fra prosess- og metallurgisiden, også innen tidligfaseutvikling av bioluting og lavutslippsprosesser.

Likevel vurderes disse avvikene som moderate og naturlige i et pionérprosjekt.

6. Effekter på verdikjeden

EMINENT har levert resultater som styrker største delen av verdikjeden:

Sterk verdikjededekning:

- **Datainnsamling:** nye metoder, bedre geologiforståelse, og forbedret datagrunnlag
- **Miljøkartlegging:** eDNA, AI-video, sedimentsky-modellering
- **Utforskning og produksjonsteknologi:** FlexiCore™, collector-konsepter, vertikaltransport, lukkede systemer med lavt energiforbruk
- **Prosessering:** proof-of-concept for integrasjon i norsk industri

Gjenstående hull i verdikjeden:

- fullskala demonstrasjon av uttak
- energiinfrastruktur for storskala drift
- logistikkoptimalisering i arktiske forhold
- langsiktige overvåkingssystemer for økosystempåvirkning
- klarhet i regulatorisk rammeverk og operasjonelle krav
- kommersialiseringsstrategier og industrikonsortier

Prosjektets resultater er derfor ikke kun av interesse for enkeltaktører, men for hele verdikjeden, inkludert forvaltning, myndigheter, teknologiutviklere, industri og forskningsmiljøer.

7. Samlet vurdering

EMINENT prosjektet har oppfylt og - på flere områder - overgått sin opprinnelige målsetting. Prosjektet har levert ny kunnskap, ny teknologi, nye metoder og nye modeller som vil være sentrale i videre vurdering av realisering av havbunnsmineraler i Norge. De oppnådde resultatene styrker både nasjonal beredskap, kunnskapsgrunnlaget for politiske beslutninger, og fremtidig industriell kapasitet gir et solid grunnlag for videre utvikling av en robust, lønnsom og bærekraftig verdikjede for havbunnsmineraler. Prosjektet har levert ny kunnskap, ny teknologi, nye metoder og nye modeller som vil være sentrale i videre vurderinger av havbunnsmineraler i Norge. De oppnådde resultatene styrker både nasjonal beredskap, kunnskapsgrunnlaget for politiske beslutninger, og fremtidig industriell kapasitet

Resultatutnyttelse og spredning

Resultatene fra EMINENT-prosjektet forventes å ha stor betydning både for forskningsfeltet, næringslivet og samfunnet, gitt at havbunnsmineralindustrien kommer i gang. Prosjektet har bidratt til å etablere et nytt kunnskapsgrunnlag for ansvarlig kartlegging og vurdering av marine mineralressurser, med integrerte metoder for miljøkartlegging, ressursvurdering og risikomodellering. Dette styrker Norges posisjon innen dyphavsforskning og gir et faglig fundament for framtidige beslutninger om forvaltning av havbunnsmineraler. For næringslivet har prosjektet lagt grunnlaget for utvikling av nye eksportrettede teknologier og tjenester, blant annet gjennom FlexiCore™, og miljøovervåkningstjenester, med betydelig verdiskapingspotensial. Samfunnsmessig bidrar prosjektet til økt forsyningssikkerhet av kritiske

mineraler, redusert globalt miljøfotavtrykk fra mineralutvinning og styrket nasjonal kompetanse innen grønn industri og offshore-teknologi. Samlet sett gir prosjektet et viktig bidrag til den grønne omstillingen gjennom kunnskapsbasert, ressursutnyttelse med lavt fotavtrykk.

Partnerne i konsortiet vil både formidle og videre utnytte noe av prosjektets resultater. Formidlingen vil fortsette gjennom vitenskapelige publikasjoner, konferansebidrag og dialog med myndigheter. Flere av prosjektets teknologiske løsninger, særlig FlexiCore™ vurderes som kommersielt modne for andre virksomheter.

Noen av partnerne planlegger videre FoU-aktivitet gjennom nasjonale og internasjonale finansieringsprogrammer, inkludert Horizon Europe og Forskningsrådets prosjekter, men da med begrenset aktivitet på Norsk sokkel.

Virkninger og effekter på grønn omstilling

Prosjektet har bidratt til grønn omstilling i sektoren ved å utvikle kunnskap, metoder og teknologiske konsepter som legger til rette for en mer miljømessig forsvarlig og kunnskapsbasert tilnærming til eventuell fremtidig utforskning og utvinning av havbunnsmineraler. Gjennom utviklingen av teknologikonsepter som FlexiCore™ og GridBox, forbedrede miljømodeller og integrerte dataplattformer, samt videreutvikling av bioleaching som en potensiell lavutslippsmetode for prosessering, har prosjektet styrket grunnlaget for å redusere miljøpåvirkning og energibruk sammenlignet med mer tradisjonelle og mindre målrettede løsninger. Prosjektet har også gitt ny innsikt i dyphavsøkosystemer og sedimentdynamikk, noe som muliggjør bedre risikovurderinger og mer skånsom operasjonell praksis. Dette bidrar til å etablere en mer bærekraftig verdikjede for kritiske råmaterialer som er nødvendige i den grønne omstillingen, blant annet innen fornybar energi, elektrifisering og batteriteknologi.

Ved prosjektstart var ambisjonen å etablere en helhetlig, forskningsbasert kunnskapsplattform som dekker hele verdikjeden fra leting og miljøgrunnlag til produksjon og prosessering, samt å utvikle teknologikonsepter med potensial for videre industrialisering. Resultatene dokumentert i Del 1 viser at prosjektet i stor grad har innfridd disse forventningene. De planlagte teknologikonseptene er utviklet og testet, det er etablert miljømodeller for flere forekomster, og det er utviklet metoder for datainnsamling og integrasjon. Prosjektet har også resultert i vitenskapelige publikasjoner og åpne datasett som styrker det nasjonale kunnskapsgrunnlaget. Samtidig var det ved prosjektstart forutsatt at videre kommersialisering og oppskalering ville være avhengig av at første konsesjonsrunde kommer i gang, noe som nå er utsatt med fire år.

Prosjektet legger til rette for og kan gi positive effekter for klima og miljø når industrien kommer i gang, ved at bedre miljøovervåking, mer presis teknologi og mer effektive prosesser reduserer risiko for unødvendige naturinngrep og bidrar til lavere utslipp per produsert enhet. Prosjektet styrker grunnlaget for nye markedsmuligheter, arbeidsplasser og videre kompetansebygging i norske forskningsmiljøer og leverandørindustri.

For å realisere disse effektene fullt ut er det avgjørende med tydelige og forutsigbare politiske og regulatoriske rammer. Regjeringens utsettelse av endelig beslutning om åpning for ordinære konsesjonsrunder innebærer at videre industrialisering og feltbasert oppskalering foreløpig er avhengige av fremtidige avklaringer. Inntil slike rammebetingelser er på plass, vil prosjektets resultater primært fungere som et styrket beslutningsgrunnlag og en teknologisk beredskap for en eventuell framtidig, ansvarlig utvikling.

Videre planer for konsortiet

Konsortiet i EMINENT-prosjektet har gjennom prosjektperioden utviklet et solid faglig, teknologisk og operasjonelt fundament som i utgangspunktet la til rette for videre samarbeid og modning av flere av de mest lovende teknologiene og metodene. Under normale omstendigheter ville partnerne hatt en klar ambisjon om å videreføre dette samarbeidet inn i nye forsknings- og innovasjonsløp, særlig knyttet til teknologidemonstrasjon, miljømetodikk, datainnsamling og integrerte beslutningsverktøy.

Utsettelsen av første konsesjonsrunde for havbunnsmineraler med fire år har imidlertid betydelige konsekvenser for videre arbeid. Flere av de forsknings- og innovasjonsaktivitetene som var planlagt som oppfølging av EMINENT forutsetter en forventet regulatorisk progresjon og et tidsvindu hvor teknologi, miljødata og industribehov modnes parallelt. Den nye tidslinjen skaper derfor et strukturelt gap mellom forskningsberedskap og muligheten for praktisk anvendelse og industrialisering. Dette reduserer konsortiets mulighet til å videreføre flere av de opprinnelige aktivitetsløpene på kort sikt.

Likevel vurderer konsortiet at resultatene fra EMINENT, innen miljøkartlegging, sedimentsky-modellering, prøvetakingsmetodikk, verdikjedeanalyse og utvikling av teknologiske konsepter som FlexiCore™ og GridBox, representerer et viktig kunnskapsgrunnlag som det er nødvendig å bevare og videreutvikle frem mot en lisensrunde. Flere partnere vurderer derfor muligheter for å holde fagmiljøene aktive gjennom mindre, målrettede prosjekter, blant annet innen kartlegging, miljøteknologi og prosessering.

Flere partnere i konsortiet følger utviklingen tett og vil vurdere nye søknader om finansiering når det foreligger en tydeligere forutsigbarhet for videre aktivitet. Dette inkluderer potensielle søknader til Forskningsrådets tematiske utlysninger og relevante EU-programmer som Horizon Europe, spesielt innen klima, miljø og marin teknologi. Det pågår også dialog om å videreføre samarbeidet gjennom nye partnerskap som kan styrke Norges beredskap for en fremtidig mineralnæring, med særlig vekt på miljøstandarder, teknologiutvikling og samfunnsansvar.

Konsortiets overordnede vurdering er at EMINENT har bidratt til et sterkt økosystem av forsknings-, industri- og forvaltningsaktører. Selv om tidsforskyvningen påvirker evnen til umiddelbar videreføring, er samarbeidsstrukturen, metodene og resultatene et viktig utgangspunkt for fremtidige satsinger nasjonalt og internasjonalt.

DEL 3: ERFARINGER OG ANBEFALINGER

Erfaringer med gjennomføringen

Samlet vurderer partnerne nytten av prosjektet som svært høy, både faglig, strategisk og industrielt. Prosjektet har vært en viktig arena for å samle hele verdikjeden for havbunnsmineraler og har integrert miljøfag, geologi, teknologiutvikling og prosessering i én felles ramme. En sentral styrke har vært det tverrfaglige og samarbeidet mellom akademia, industri og offentlige aktører. Prosjektet har også bidratt til betydelig kompetansebygging, styrket relasjoner mellom aktører og økt intern kunnskapsdeling, samtidig som enkelte partnere har opplevd økt synlighet og nye samarbeidsmuligheter.

Gjennomføringen beskrives i hovedsak som effektiv og godt organisert. Tydelig prosjektledelse, en konsortiestruktur som dekker hele verdikjeden og en industri- og behovsdrevet tilnærming

trekkes frem som viktige suksessfaktorer. At sentrale aktører med operativ og kommersiell forståelse har hatt en tydelig rolle, har bidratt til relevans, fremdrift og eierskap i konsortiet. Flere partnere mener at ambisjonene i prosjektet i stor grad er nådd eller overgått, og at fleksibilitet underveis har styrket resultatene.

Det har likevel vært enkelte avvik mellom planlagte og faktiske aktiviteter. Begrenset tilgang på prøvemateriale fra første tokt førte til forsinkelser og redusert omfang av eksperimentelt arbeid i en periode. Dette påvirket fremdriften, men ga samtidig økt kompetanse og bedre forberedelse til senere arbeid da nytt og bedre materiale ble tilgjengelig. Det ble også erfart at planlegging av feltarbeid og geofysiske undersøkelser kunne vært enda mer detaljert, og at bedre forståelse av lokale forhold ville gitt mer presise eksperimenter. Avhengighet av prøvetaking, begrenset sporbarhet i håndtering og lagring av materiale samt mangel på enkelte grunnlagsdata skapte faglige og logistiske utfordringer. I tillegg krevde koordinering mellom mange disipliner og store partnere betydelig administrativ innsats, og det var til tider krevende å samordne forventninger knyttet til miljøhensyn og kommersiell modenhet.

De viktigste læringspunktene er behovet for tidlig og tydelig avklaring av mål, ansvar og forventninger, særlig i prosjekter som kombinerer miljøfaglige og industrielle ambisjoner. Prosjektet har også vist at arbeid i nye og komplekse havmiljøer krever tilpassede metoder og ikke kan baseres direkte på erfaringer fra eksempelvis olje- og gassvirksomheten eller konvensjonell mineralprosessering. Det fremheves at åpen kunnskapsdeling, tett samarbeid mellom forskning og industri og en fleksibel gjennomføring som avgjørende for suksessen. Til tross for utfordringer vurderes prosjektet samlet som svært vellykket og som et viktig fundament for videre utvikling av havbunnsmineralindustrien.

Grønn plattform ordningen

Samlet sett vurderes Grønn plattform-ordningen som et viktig og velfungerende virkemiddel som i stor grad har oppfylt sine intensjoner. Flere partnere fremhever at ordningen har gjort det mulig å gjennomføre langsiktige, ambisiøse og tverrfaglige prosjekter som kombinerer teknologiutvikling, miljøkunnskap, regulatorisk innsikt og strategisk planlegging. Finansieringsmodellen har lagt til rette for reelt samarbeid mellom akademia, industri og offentlige aktører og har styrket verdikjedetenkning og systemforståelse innen et nytt og komplekst bærekraftsområde. Ordningen har bidratt til økt samhandling i hele verdikjeden, styrket kompetanse og gitt både intern og ekstern oppmerksomhet rundt utviklingen av en ny industri.

Utlysningen oppleves som relevant og godt tilpasset ambisiøse samarbeidsprosjekter. Forenklingen til én samlet søknad, sammenlignet med tidligere runder, trekkes frem som en forbedring. Flere mener samtidig at industridrevne prosjekter gir særlig høy effekt innenfor denne typen ordning, fordi de kobler forskning tettere til konkrete behov og markedspotensial.

Når det gjelder søknadsbehandling og prosjektoppfølging, vurderes ordningen overordnet som profesjonell og konstruktiv. Kompetanseprogrammet Kommersialisering i konsortier, inkludert prosjektledersamlinger, webinarer, workshops, oppleves som nyttig og relevant, samtidig som det er bedre tilpasset prosjekter der verdikjeden er mer moden/det ikke ligger politiske beslutninger i veien for verdiskapning. Det etterlyses en enda tydeligere sektorspesifikk tilpasning, særlig knyttet til bærekraftsutfordringer i reguleringsmessig usikre markeder og kommersialisering innen miljøsensitiv virksomhet. Det pekes også på at ordningen kunne hatt

tydeligere rammer for hvordan grønn effekt skal måles og rapporteres, spesielt i tidligfaseprosjekter der direkte klimaeffekt ikke er umiddelbart kvantifiserbar.

Den største utfordringen som trekkes frem er knyttet til administrasjon og økonomistyring. Flere partnere opplever at det er krevende å forholde seg til ulike kontrakter, rapporteringskrav og formater, særlig når egeninnsats fra industripartnere skal dokumenteres separat. For enkelte har forskjeller mellom Grønn plattform og andre finansieringsordninger skapt praktiske utfordringer i økonomihåndteringen. Det foreslås derfor bedre samordning av maler, kontrakter og rapporteringsrutiner i fremtidige utlysninger for å redusere administrativ belastning, særlig for mindre aktører.

Noen partnere peker også på at prosjektperioden på tre år kan være kort for komplekse nye verdikjeder og industrier, og foreslår modeller med mulighet for forlengelse i trinn basert på dokumenterte resultater.

Til tross for disse forbedringspunktene er den samlede vurderingen at Grønn plattform har fungert godt, stimulert til ambisiøse samarbeid og bidratt til strategisk kunnskaps- og næringsutvikling. Flere uttrykker et tydelig ønske om videreføring av ordningen for å sikre kontinuitet og langsiktig effekt.