



Miljødagen 2019
Overskuddsmasser fra bergindustrien

Sjødeponi – NYKOS og veien videre

Sjødeponi – NYKOS og veien videre

Mineralnæring og deponering av avgangsmaterialer

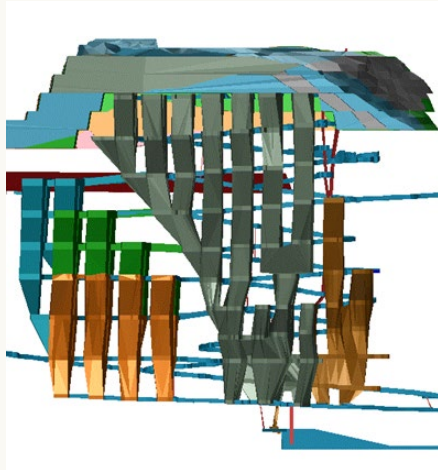
Håndtering av avgangsminerale

All deponering har en miljøeffekt – mål å redusere negative effekter

Alternativ bruk



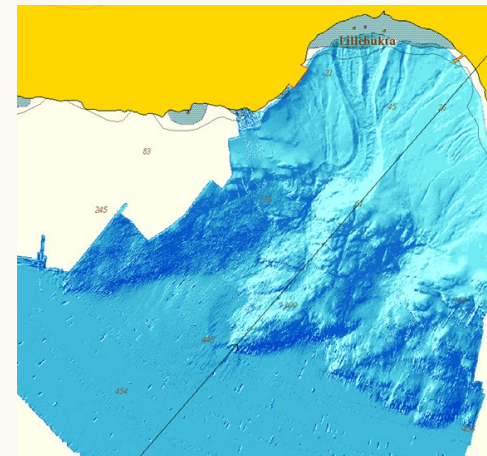
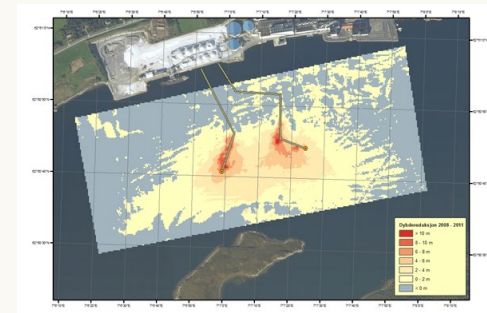
Tilbakefylling



Land deponi



Sjødeponi



Beste alternativ

Nødvendig alternativ

Sjødeponi – NYKOS og veien videre

Sjødeponi i Norge

Aktive sjødeponi i 5 fjorder

- Stjernesund - Sibelco
- Bergsfjorden – Skaland Graphite
- Tysfjord – Quartz Corp , Norcem Kjøpsvik
- Ranfjorden – Rana Gruber
- Frænfjorden – Hustadmarmor (OMYA)

Planlagte sjødeponi i 2 fjorder

- Repparfjord - Nussir
- Førdefjorden – Nordic Mining

Historiske sjødeponi i 18 områder

Eks

- Jøssingfjorden og Dyngadjuvet – Titania
- Bøkfjorden - Sydvaranger



What are mine tailings?

Waste type	Description
Sulphide waste	Not all sulphide minerals are extracted when processing massive sulphide ores (which may contain copper, lead, zinc, gold and other minerals). When this residue of sulphide minerals is exposed to the atmosphere and groundwater in the tailings dam, it oxidizes to form acidic sulphate-rich drainage, commonly referred to as acid mine drainage (AMD).
Heavy metal waste	Depending on the type of mine, the tailings can contain various heavy metals. For example, gold mine tailings may contain elevated concentrations of metals such as arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), cobalt (Co), copper (Cu), lead (Pb), manganese (Mn), nickel (Ni), and zinc (Zn).
Cyanide waste	Cyanide waste is generated primarily in the extraction of gold and silver. This waste will occur in the form of heap-leach residues, tailings and spent process water.
Radioactive waste	Radioactive elements are found in tailings generated in the extraction of uranium, some copper deposits and the processing of placer and mineral sands deposits. Uranium extraction is selective and therefore, up to 87% of the radioactivity can remain in the tailings (Mudd 2000).
Phosphate waste	Phosphate waste is generated from mining potash and phosphate ores. The major waste products are brine solution and tailings consisting of salts, clay, sulphides, oxides and evaporative salts.
Bitumen waste	Bitumen waste is generated from oil-sand mining. It can contain elevated concentrations of salts, metals (arsenic, cadmium, chromium, copper, lead and zinc), polycyclic aromatic hydrocarbons, naphthenic acids and solvents that are added during the separation process. Naphthenic acids are toxic to aquatic organisms (Grant et al. 2013).




Table 1. Examples of potentially harmful substances that can be found in tailings

Sjødeponi – NYKOS og veien videre

Sjødeponi i Norge

Kostholdsråd og sjødeponi

Den eneste fjorden med aktivt deponi hvor kostholdsråd er aktuelt er Ranfjorden

Her er kostholdsrådet på PAH (Polysykliske aromatiske hydrokarboner), som ikke er relatert til avgangsdeponering i sjø fra bergindustrien.

Ranfjorden blir renere etter hvert som deponimasser fra Rana Gruber dekker til forurenset sjøbunn etter gammel industriforurensning

Global gruvedrift
≠
Norsk mineralnæring



Fjorder med kostholdsråd

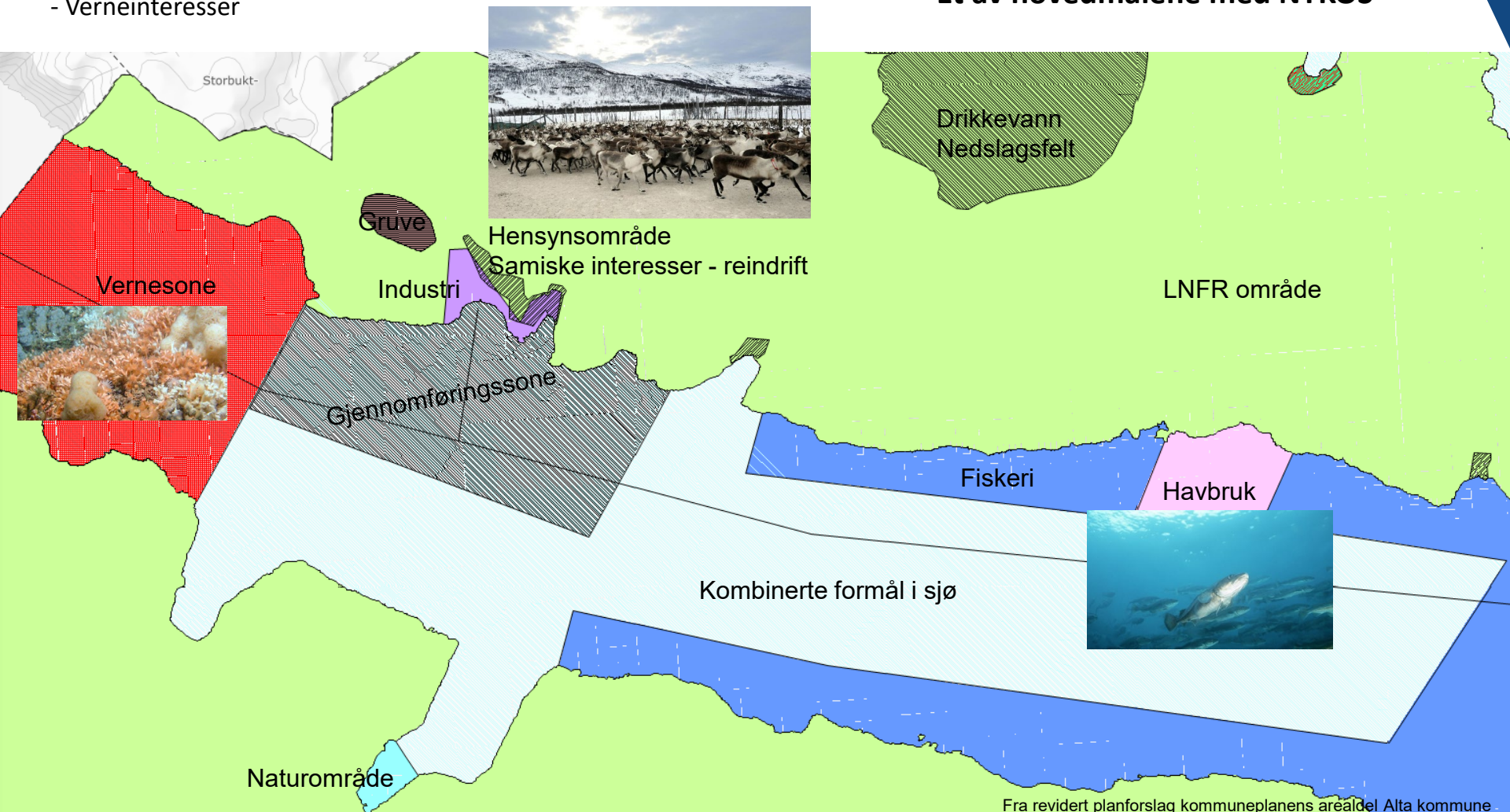
Sjødeponi – NYKOS og veien videre

Sjødeponi i Norge

Mål for mineralnæringen i Norge: Sameksistens med andre næringer

- Fiskeri og havbruk
- Reiseliv
- Reindrift
- Verneinteresser

Et av hovedmålene med NYKOS



Kompetanseprosjekt (2014-2019) i Norges forskningsråds BIA program (Brukerstyrt Innovasjons Arena)

Deltakende bedrifter:

Nordic Mining
Nussir
Omya Hustadmarmor
Rana Gruber
Sibelco Nordic
Sydvaranger Gruve
Titania

Forskningspartnere

NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning
NGU - Norges geologiske undersøkelse
NTNU - Institutt for geovitenskap og petroleum
SINTEF - SINTEF Industri og SINTEF Ocean
UiT - Norges Arktiske Universitet / Institutt for geologi

Hovedmålsettingen med KPN NYKOS var å:

- Øke forståelsen for hvordan man på en optimal måte kan:
 - Deponere gruveavfall til marint miljø
 - Overvåke deponiet over tid
- Øke kunnskap om hvordan økosystem påvirkes
- Øke kunnskap om hvordan man kan forsikre at fjordsystemer gjenopprettes så raskt som mulig etter avslutning av gruedrift





Perspektiver om sjødeponering av gruveavfall

Miljøringen/Vannforeningen, Trondheim 28. oktober 2019
 Berging./Siv. ing., Arnstein Amundsen. Tidl. Titania AS og Omya Hustadmarmor AS
 Presentasjonen inneholder deler av et innlegg av Roar Sandøy, sjefsgeolog ved Sibelco Nordic, 14.5.2019



Alle rapporter som er benyttet i presentasjonen finnes på:
www.sintef.no/projectweb/nykos/

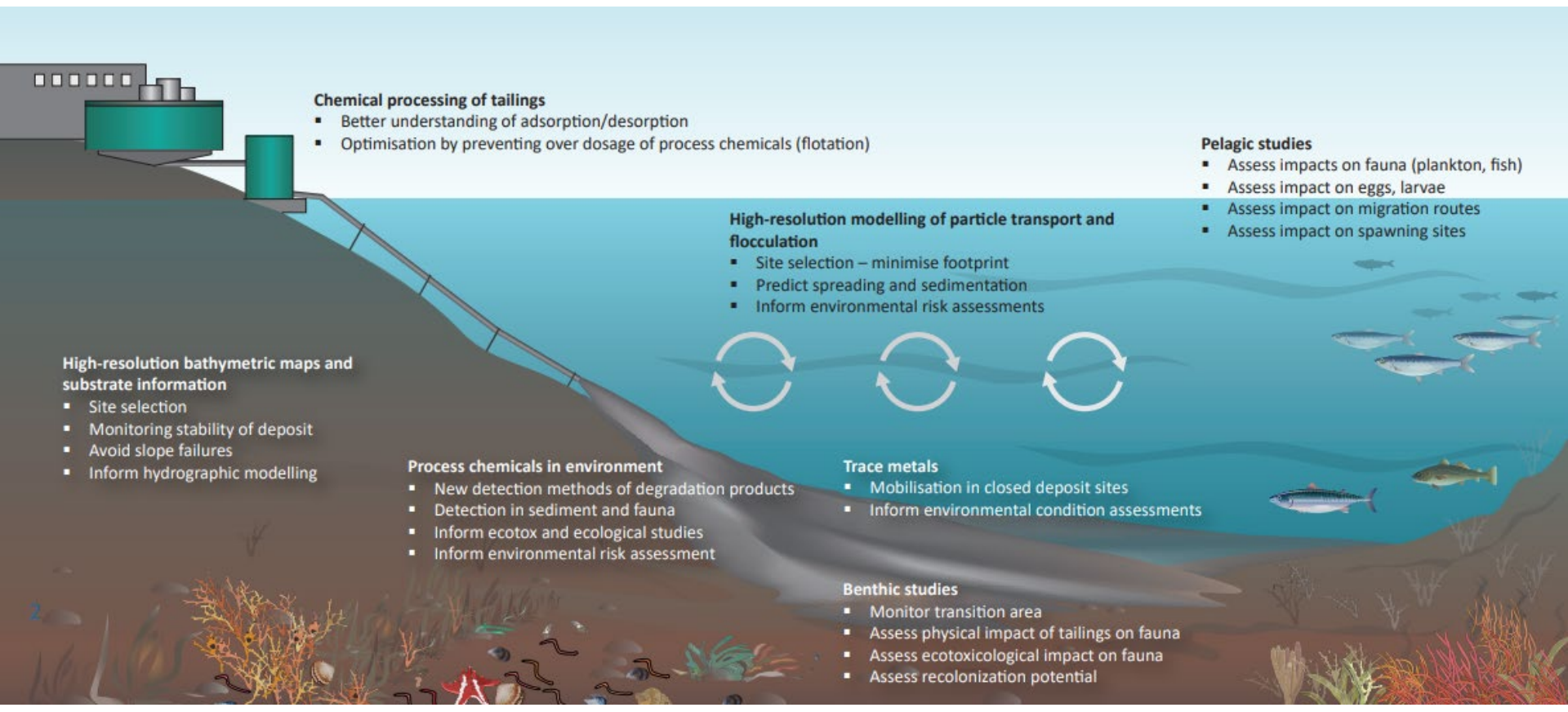
Avgangskarakterisering og avgangsforbedring

Effekter av gruveavgang og kjemikalier på marine bunnsamfunn

Best tilgjengelig teknologi for sjødeponi

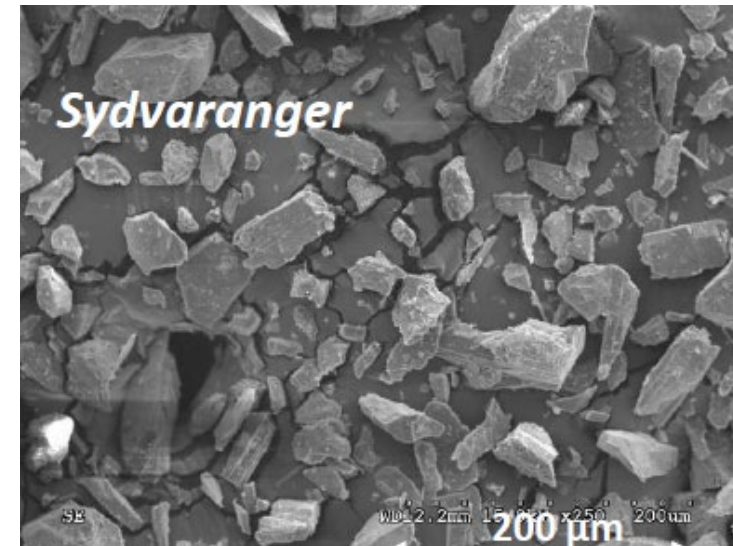
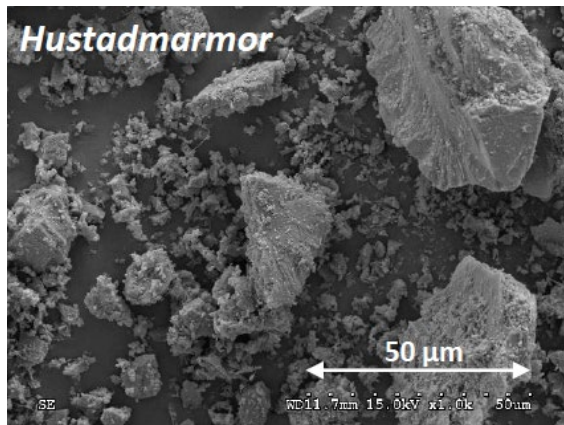
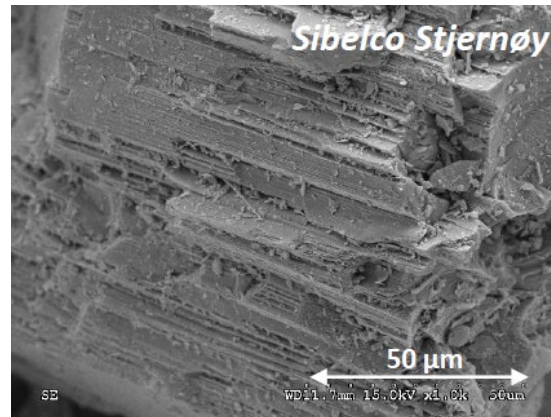
Maringeologisk kartlegging

Modellering, akseptkriterier og risikoforhold



Avhengig av forekomst og oppredningsprosess:

- Form- og partikkelstørrelse (stenglige mineraler , skarpe partikler, runde partikler)
- Ustabile mineraler (spesielt sulfider)
- Rester av kjemikalier



Generell kompetanseheving innen:

- Avgangskarakterisering (hva består avgangen av)
- Kjennskap til oppførselen av eventuelle kjemikalier som følger avgangen
- Fokus på om avgangens egenskaper kan forbedres for å oppnå et mer miljøvennlig utslipp

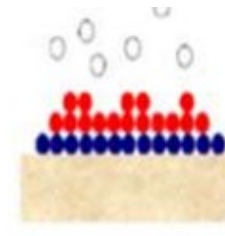
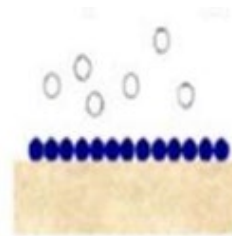
Noen konkrete resultater:

- Utvikling og validering av raske, enkle og billige kjemiske analysemetoder for flotasjonskjemikalier (kationiske og anioniske samlere) basert på UV-spektroskopi
- Metodene har overføringsverdi til andre kjemikalie
- Analysemtdoden ble brukt til å undersøke adsorpsjon, desorpsjon og nedbryting av kjemikalier på mineraloverflater i sjøvann
- Vil kjemikaliene adsorbent på mineralene kunne frigjøres når avgangen blandes med sjøvann ?

→ Flotasjonsammlere desorberes i mindre grad enn først antatt gitt at kjemikaliedoseringen i prosessen ikke er unødvendig høy.

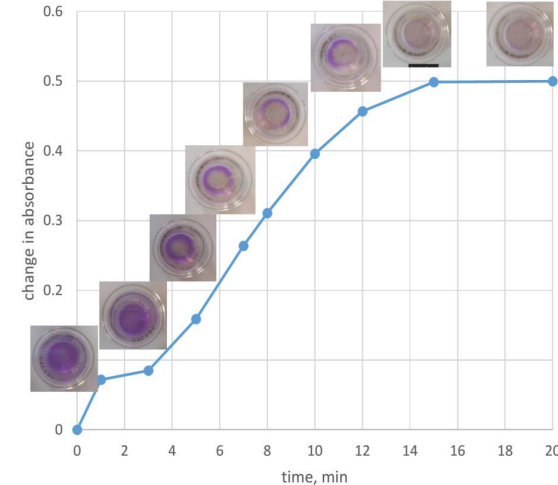
Monolag viser sterk adsorpsjon, som i liten grad vil frigis, mens overdosering gir multilagsadsorpsjon, som lettere vil frigi kjemikaliene i sjøvann.

- Unngå overdosering



→ Nedbryting av kjemikaliene akselereres i sjøvann

(Kan benyttes til akselerert nedbryting før utslipp hvis nedbrytningsproduktene er mer miljøvennlige)



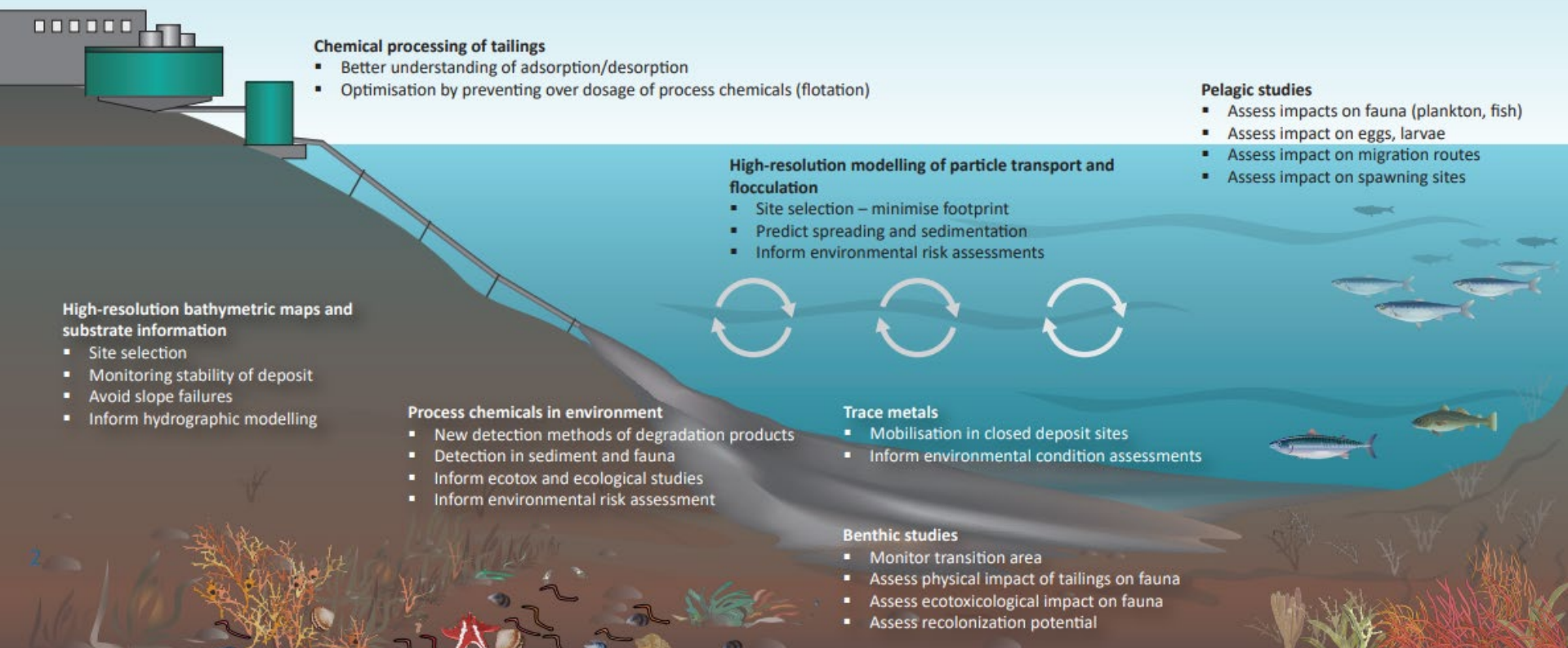
Avgangskarakterisering og avgangsforbedring

Effekter av gruveavgang og kjemikalier på marine bunnsamfunn

Best tilgjengelig teknologi for sjødeponi

Maringeologisk kartlegging

Modellering, akseptkriterier og risikoforhold



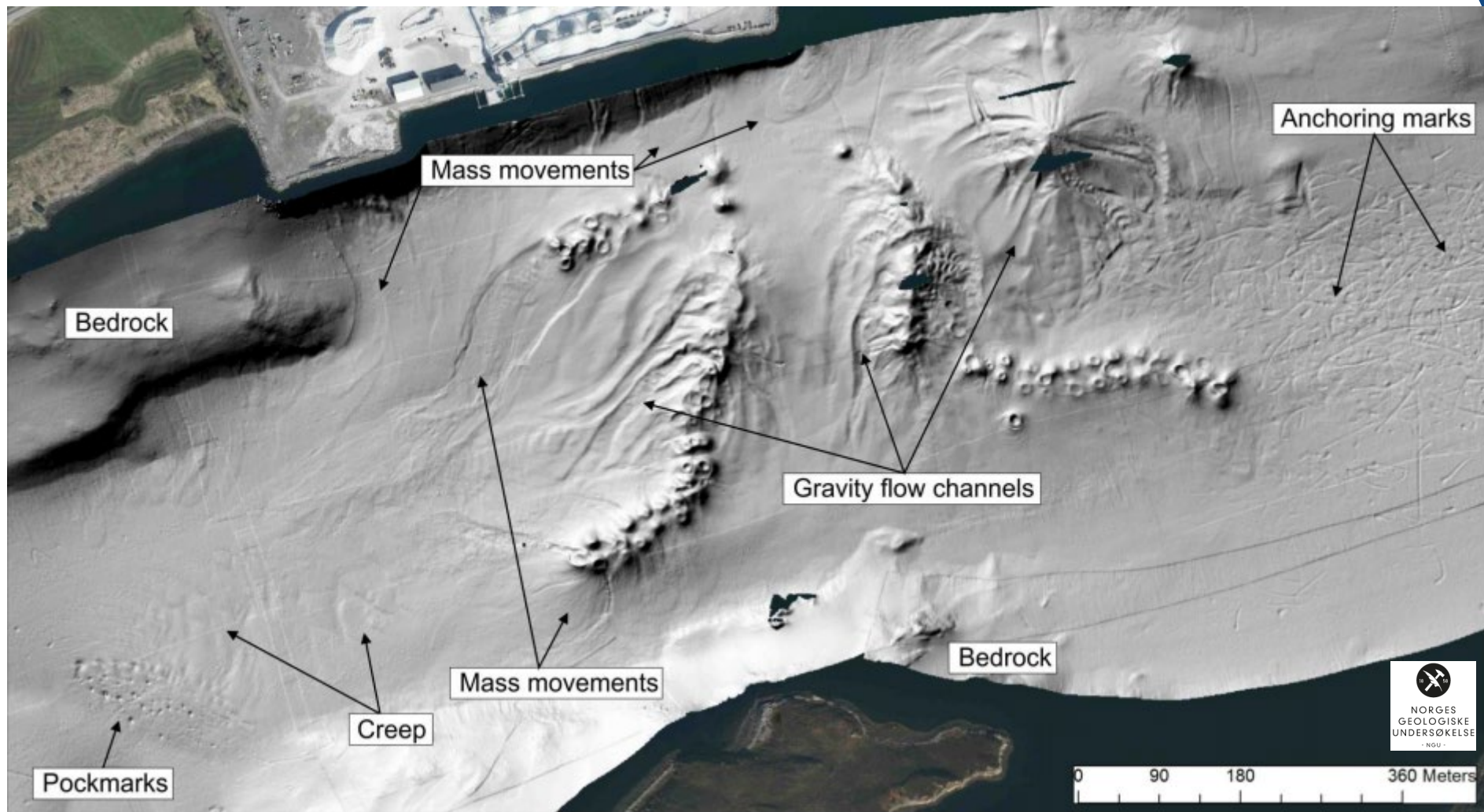
Generell kompetanseheving innen:

- Produksjon og bruk av høy oppløselige marine grunnlagskart som kobler batymetri og sediment data til bruk som
 - Inngangsdata til partikkelspredningsmodellering
 - Beslutningsgrunnlag for plassering av sjødeponi
 - Overvåkning og evaluering av stabilitet av avgangsmassene

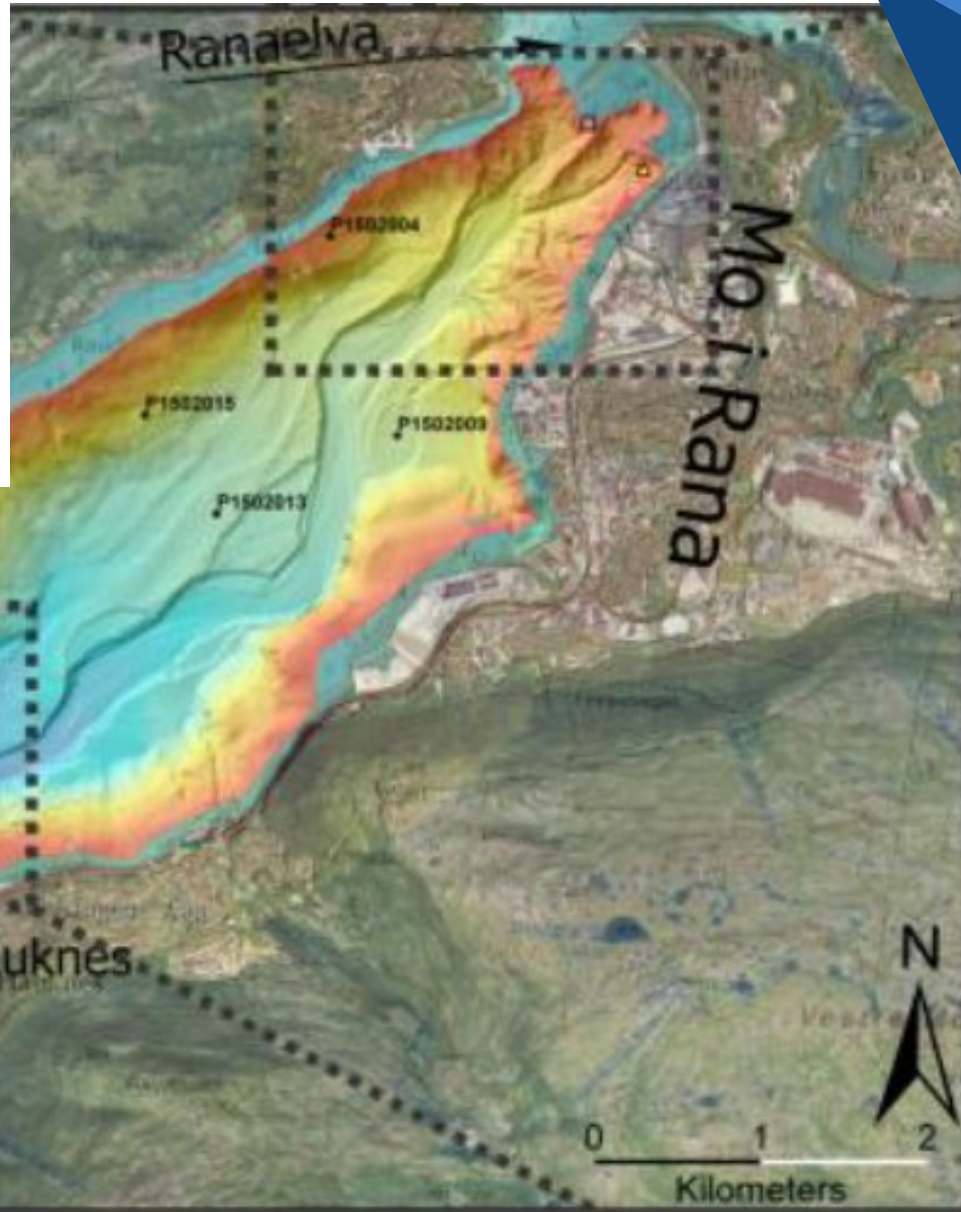
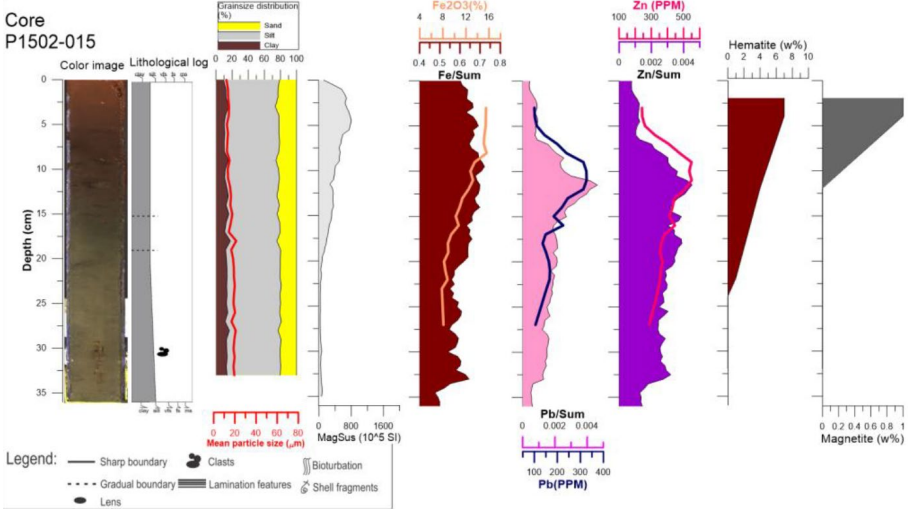
Noen konkrete resultater:

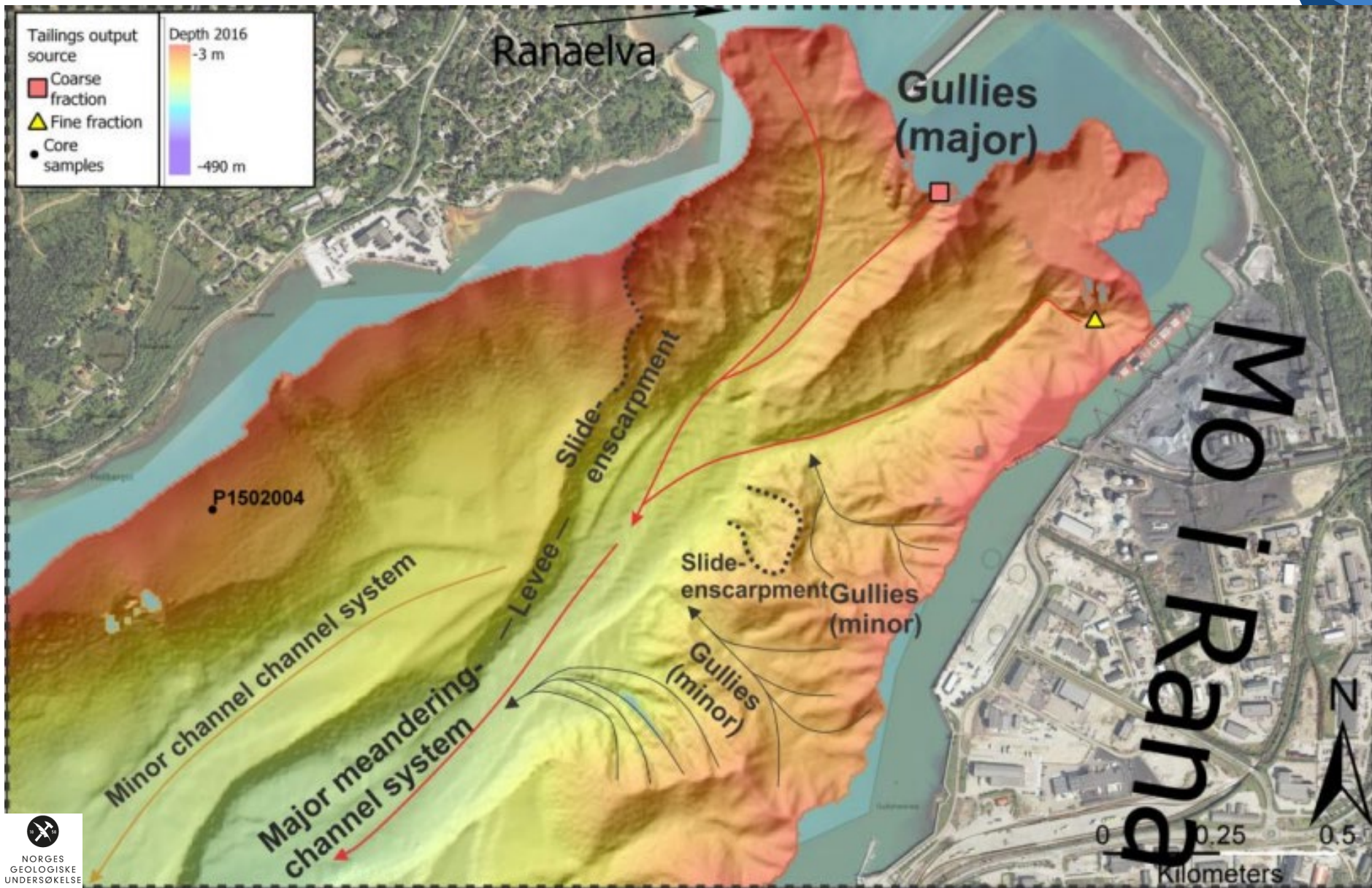
- Høyoppløselige marine grunnlagskart produsert for 4 norske sjødeponier
 - Multistråle sonar (Multibeam echo-sounder)
 - Høy-oppløselig seismikk (TOPAS Sub-bottom profiles)
 - Sediment prøveaking (grab og kjerner)
 - Frænfjorden
 - Ranfjorden
 - Lillebukt-Stjernesund
 - Bøkfjorden
- Justert verktøyene til å fungere på store dyp (opptil 500 m)
 - Utvikling av modeller for sedimentasjon av avgang og naturlige sedimenter
 - Samvirke mellom avgang og naturlige sedimenter
 - Sedimentære prosesser (hvordan avsettes avgangen)
 - Hvor spres avgangen

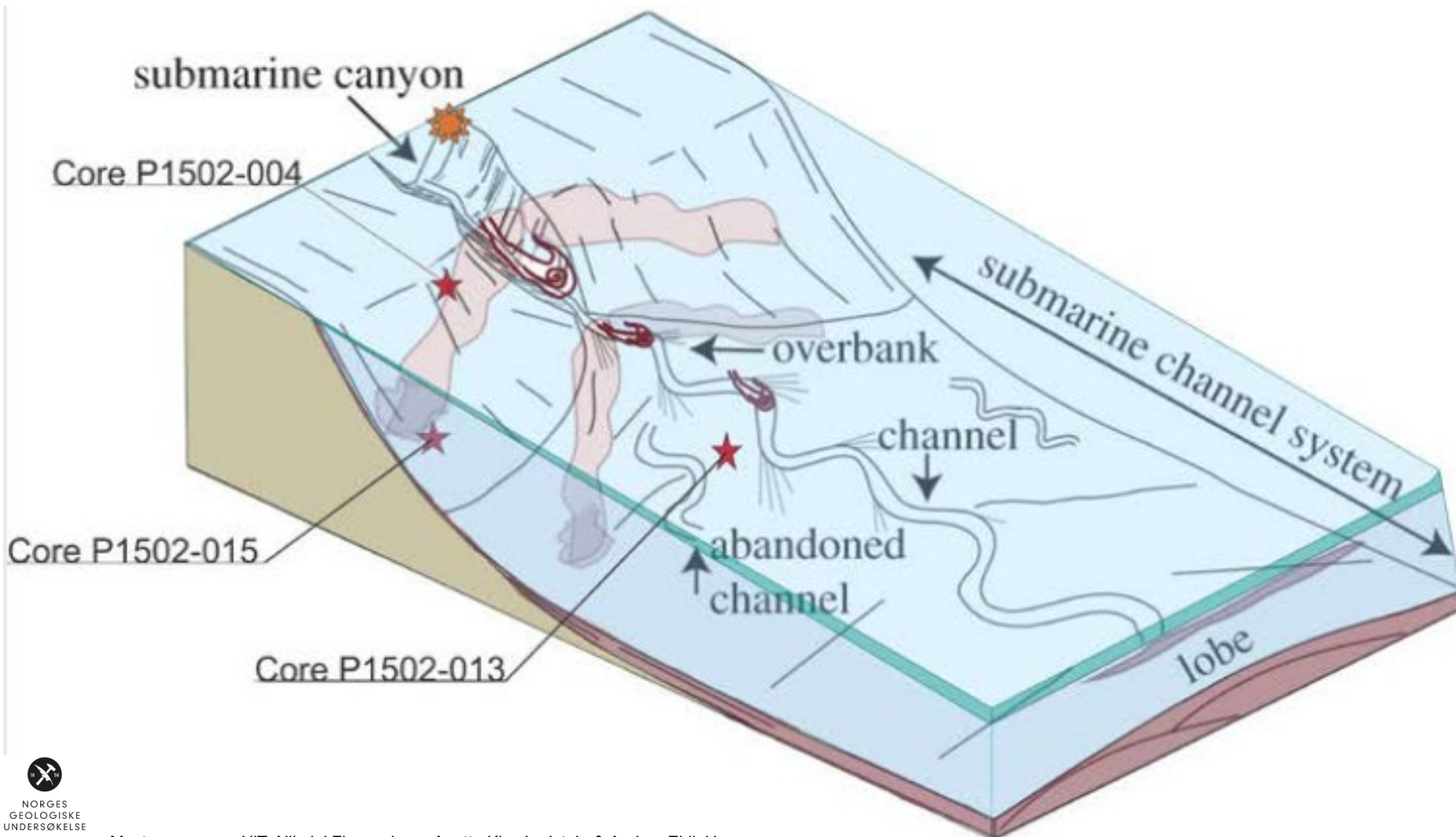


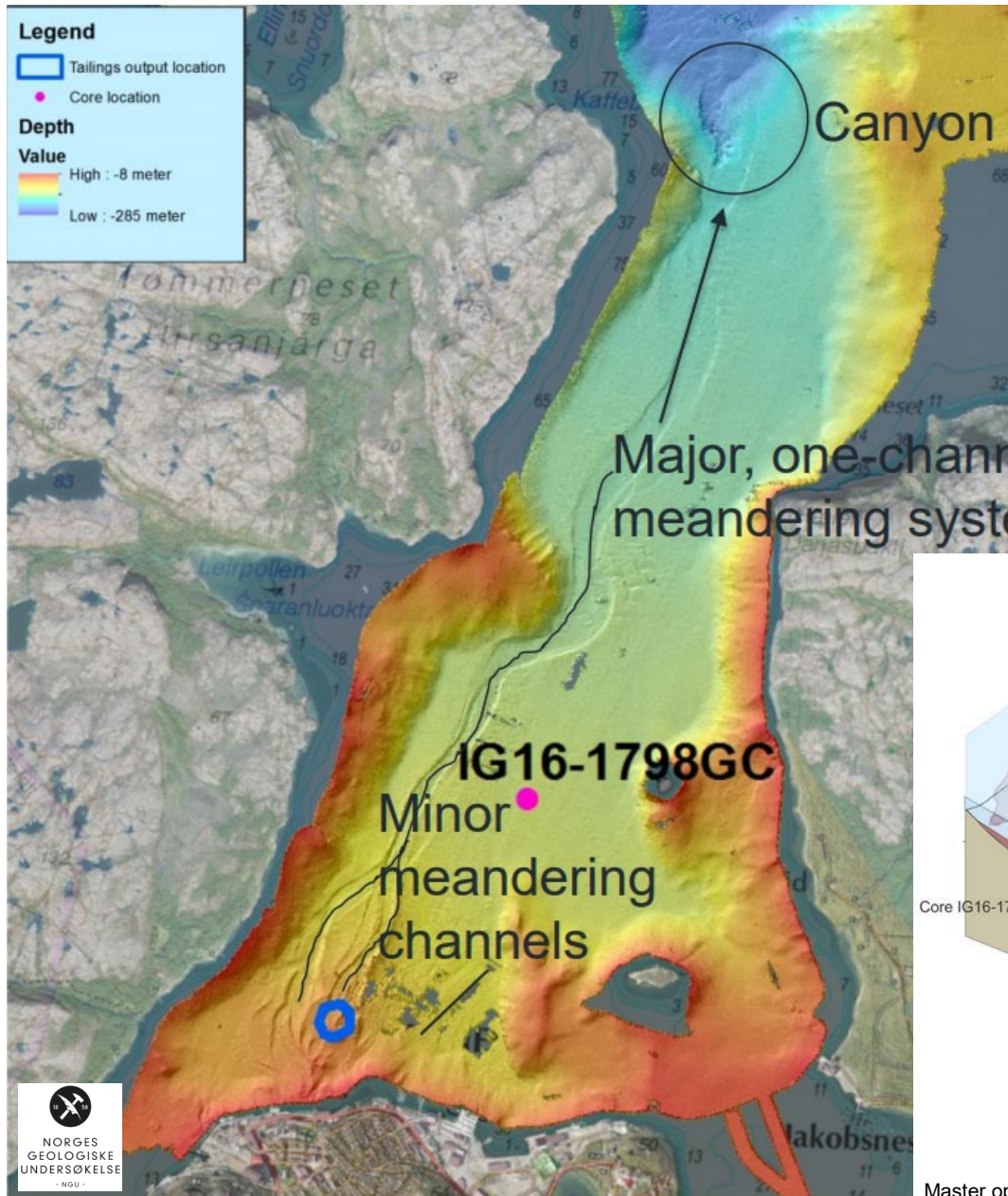


Maringeologisk kartlegging - Ranfjorden



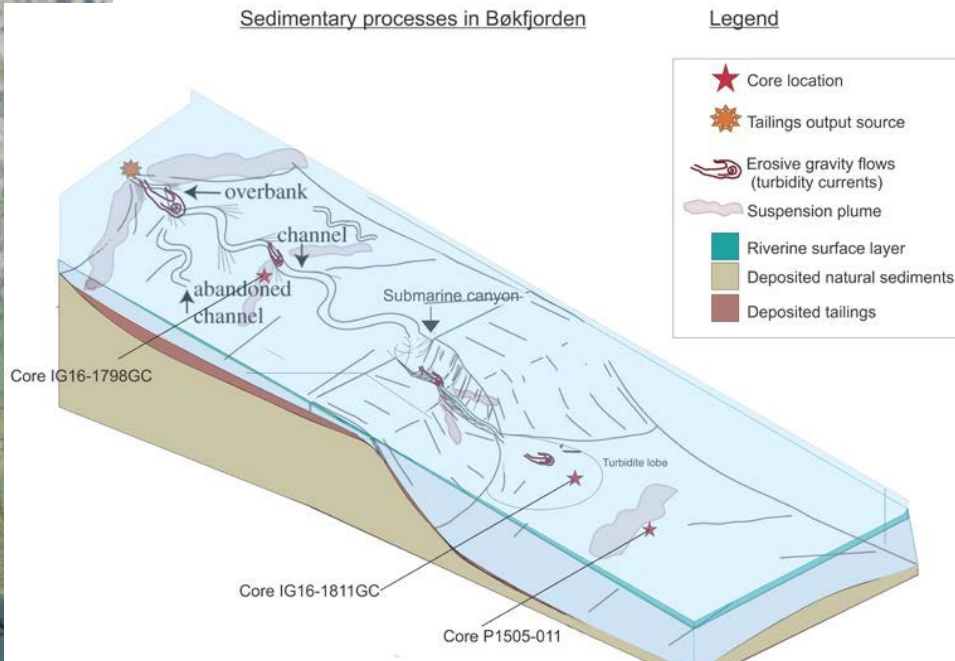


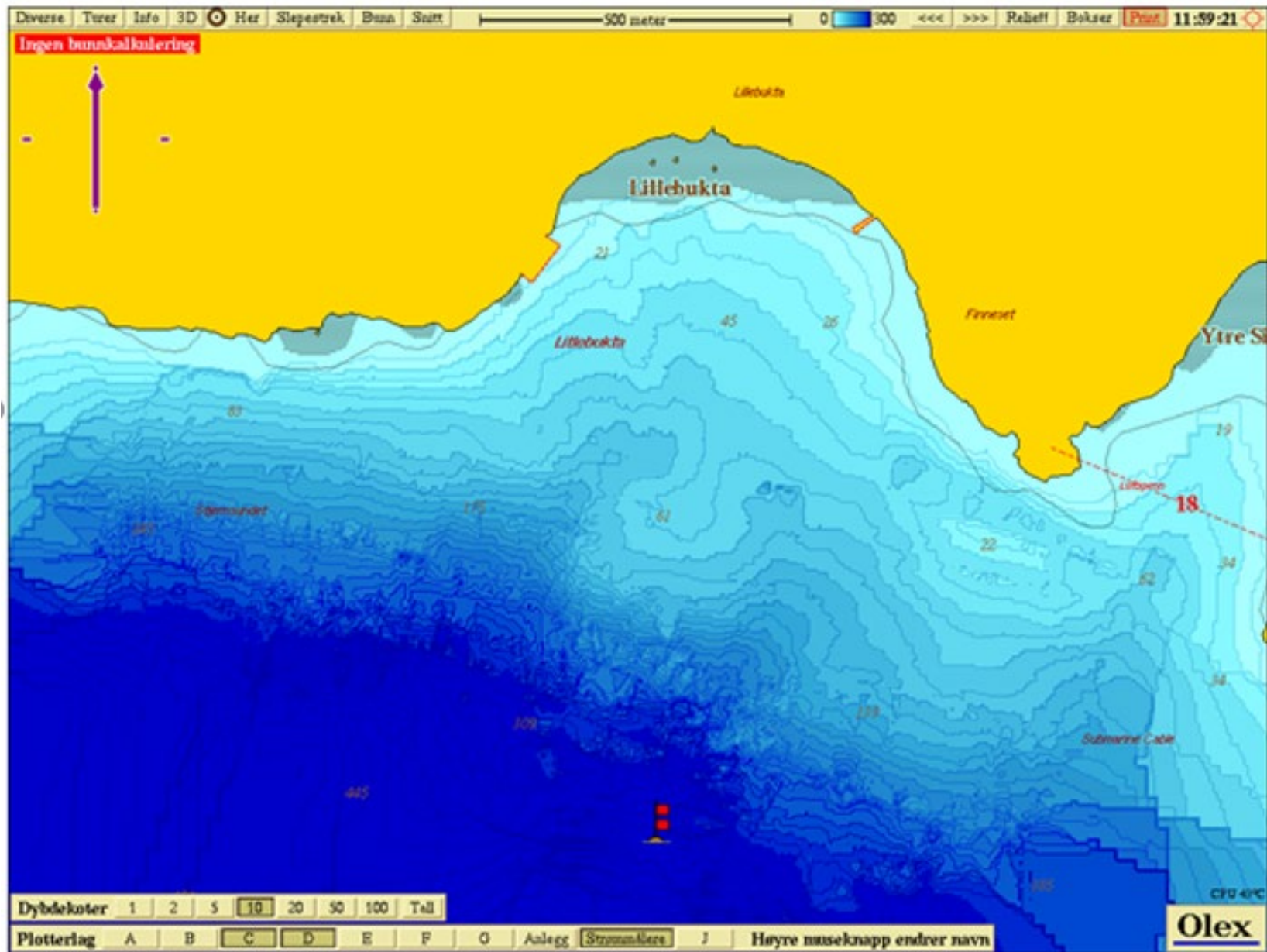


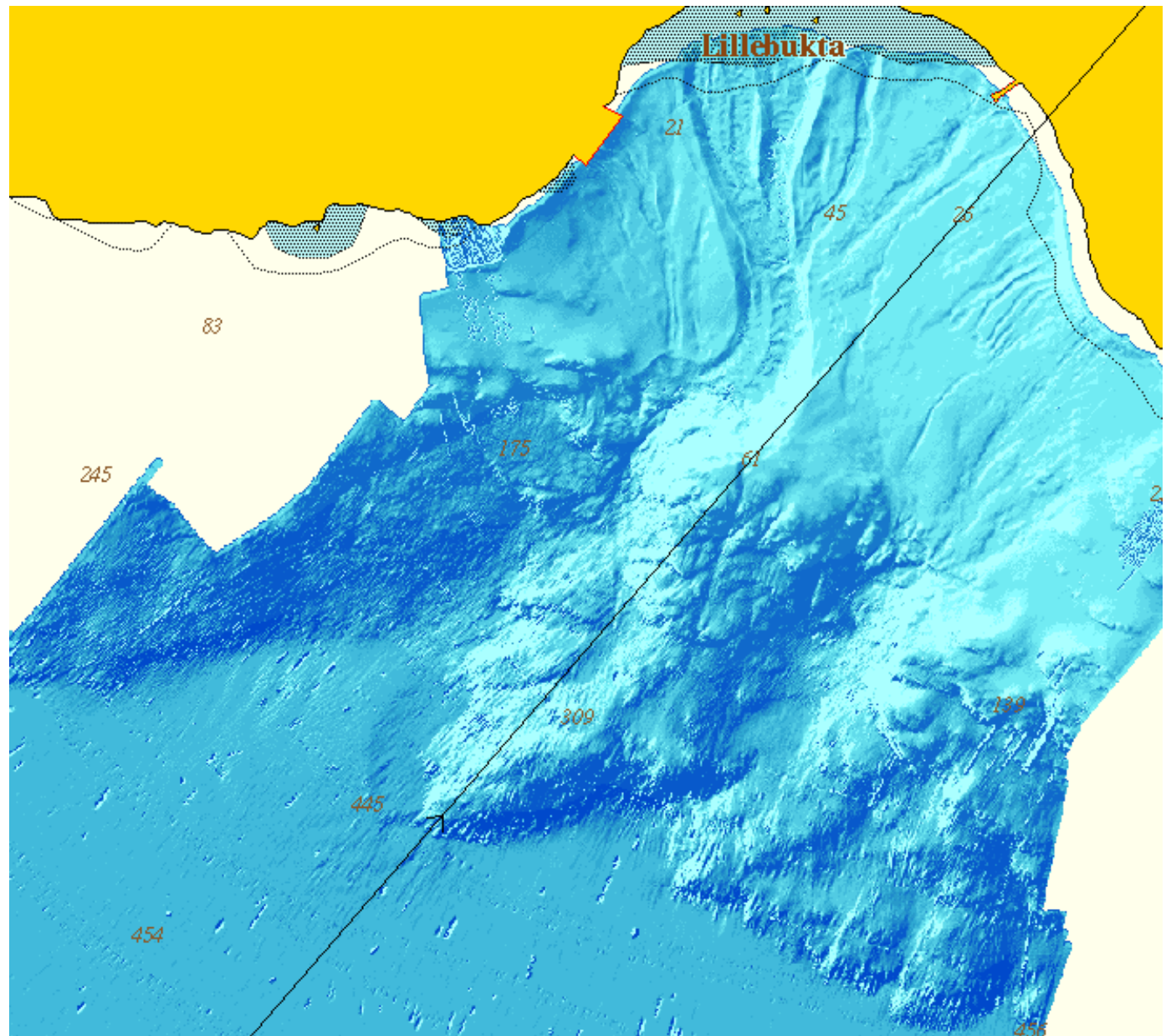


Meanderende kanaler

- Grov-kornet sediment i kanalene
- Fin-kornet utenfor kanalene



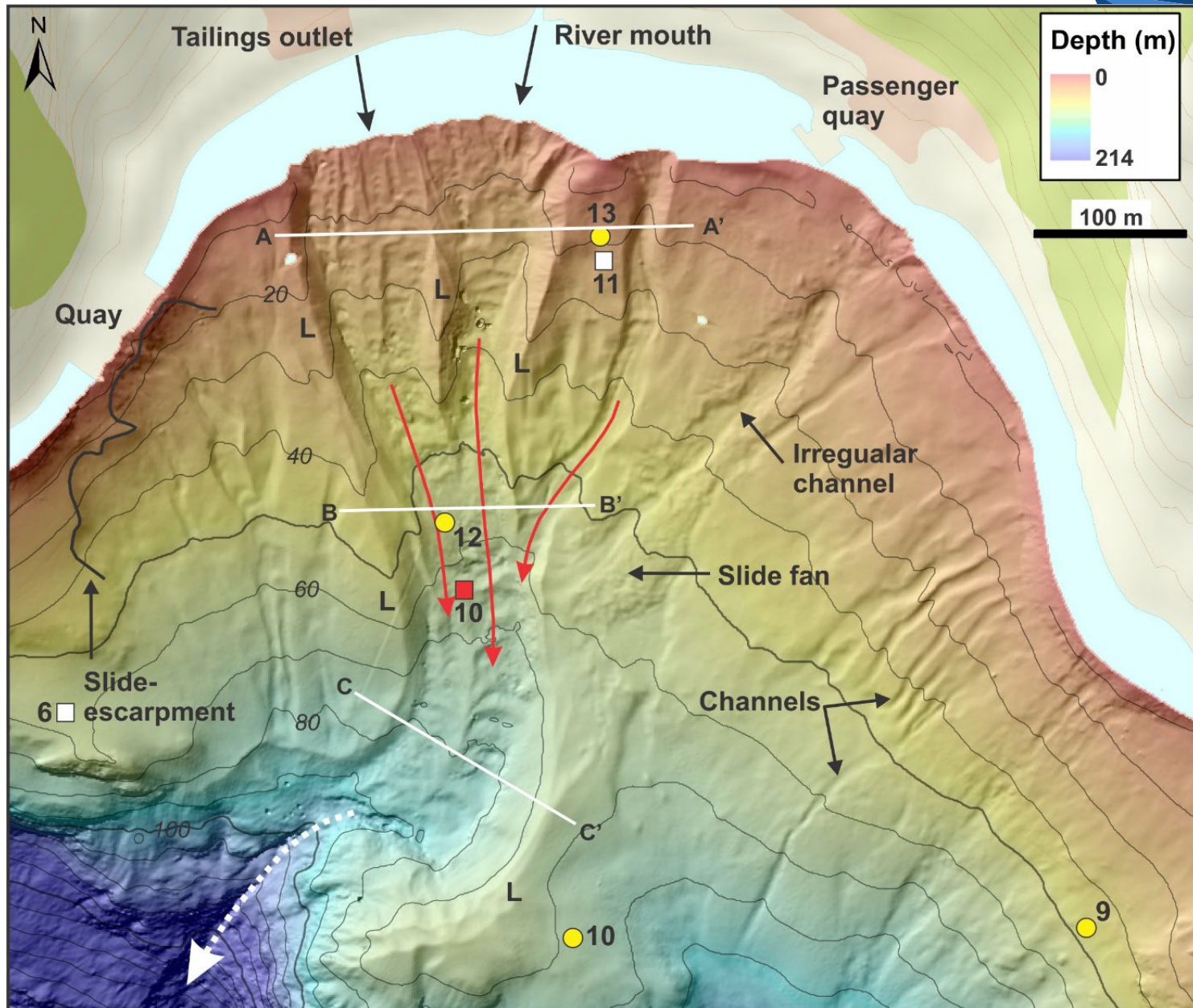




Avgangstransport:

Finstoff
- Deponeres i Lillebukt

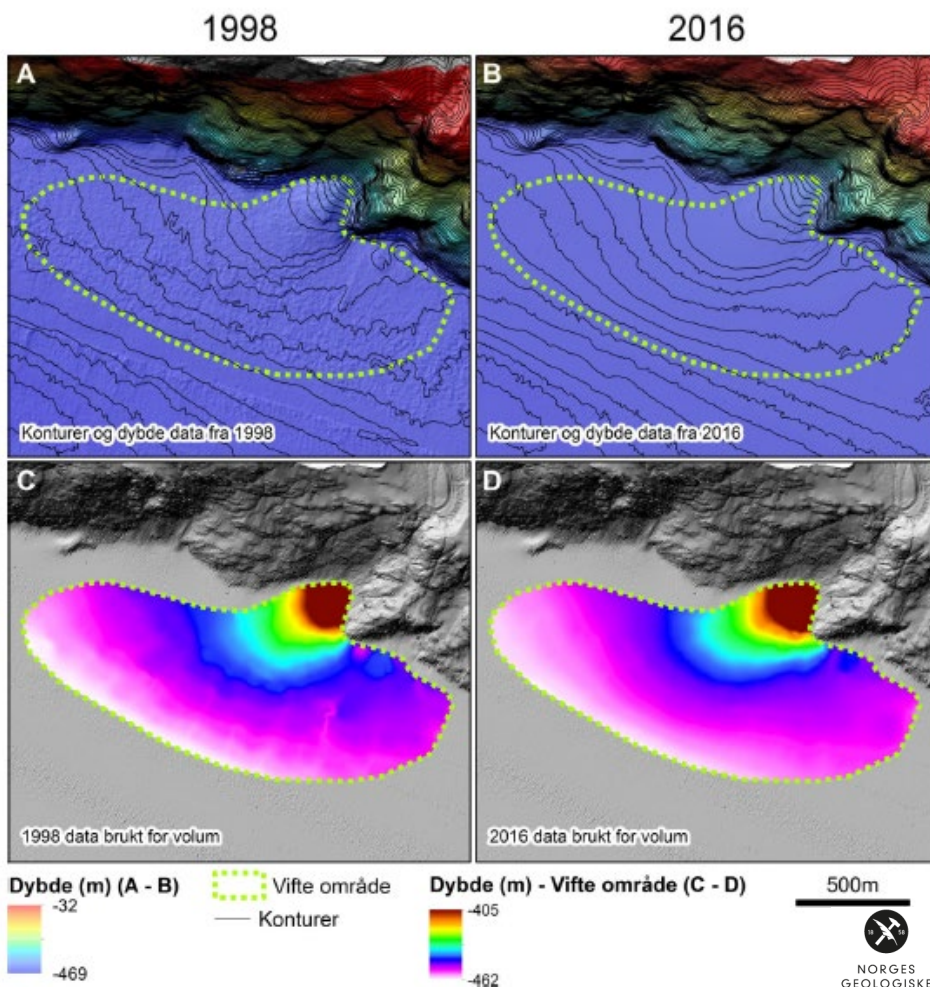
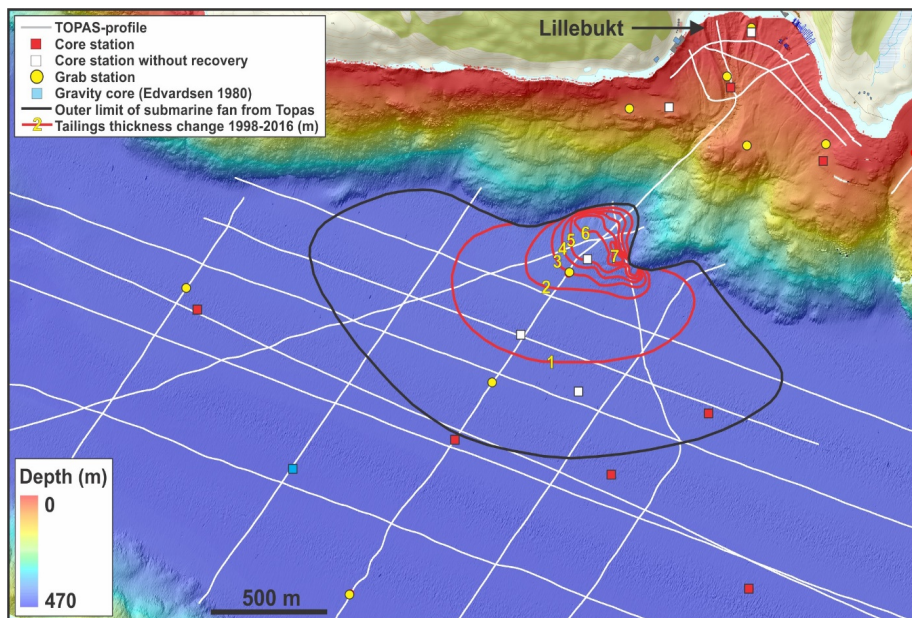
Grovere masser +
en del finmateriale
- Raser videre ned i
Stjernesund



Sammenligning med militært havbunnskart fra 1998

Mesteparten av avgangen som er sluppet ut i Lillebukt mellom 1998 og 2016 er avsatt i avsetningsviften på bunnen av Stjernsund.

De røde kotene angir økt deponitykkelse i perioden 1998 – 2016.



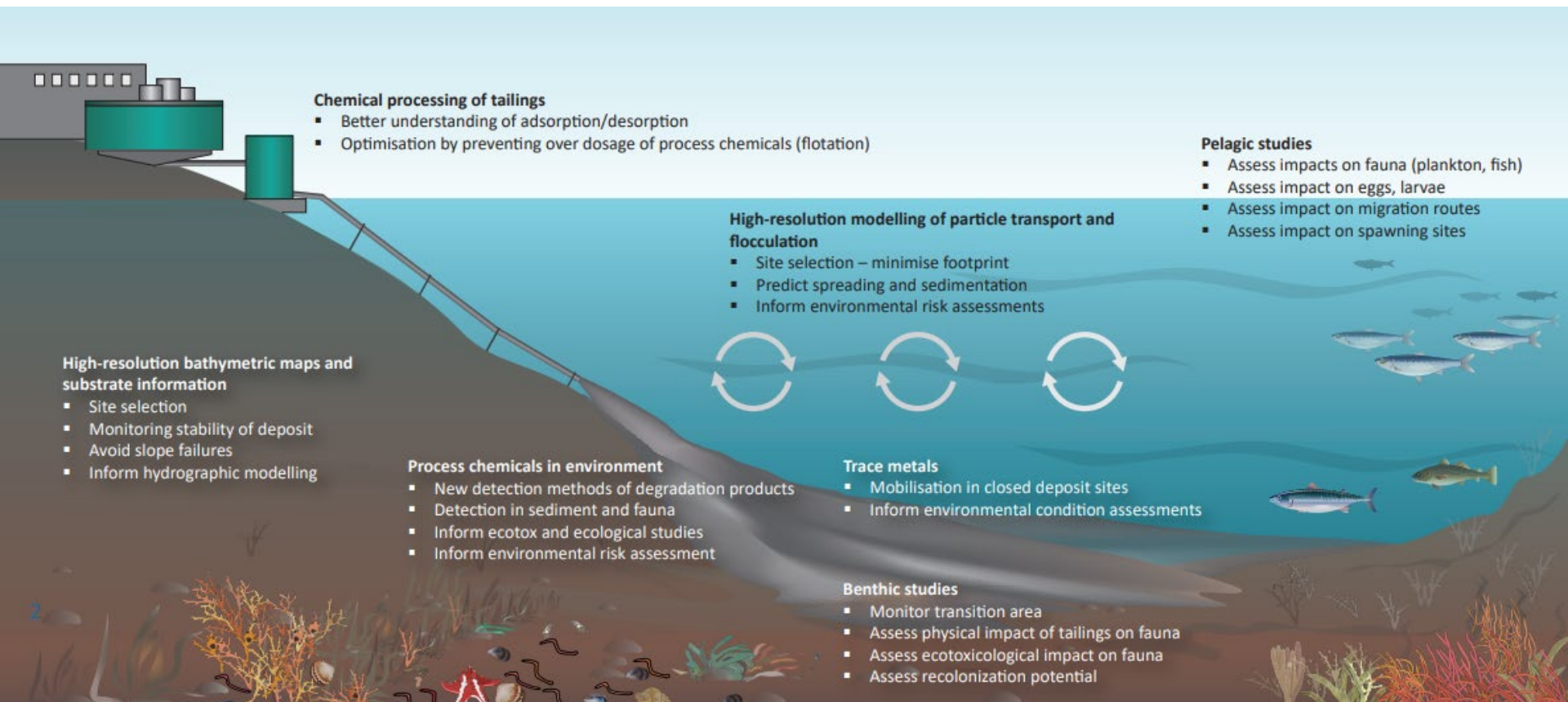
Avgangskarakterisering og avgangsforbedring

Effekter av gruveavgang og kjemikalier på marine bunnsamfunn

Best tilgjengelig teknologi for sjødeponi

Maringeologisk kartlegging

Modellering, akseptkriterier og risikoforhold



Generell kompetanseheving innen:

Miljøeffektstudier av avgang på artsmangfold og funksjonsmangfold på bunnsamfunn (på flere nivå)

Feltstudier: Avgangens effekt på livet på bunnen i

- aktive sjødeponi (Frænfjorden)
- gamle sjødeponi (Repparfjorden og Jøssingfjorden – begge sulfidholdig avgang)

Feltforsøk (koloniseringsforsøk): Effekt på kolonisering av bunndyr på ulike typer tynne avgangslag

- Kun avgang , flokkuleringskjemikalier , flotasjonskjemikalier , sulfidholdig avgang

Mesokosmos forsøk: Effekt av hypersedimentasjon på bunndyr av ulike typer avgang

- Kun avgang , flokkuleringskjemikalier , flotasjonskjemikalier , sulfidholdig avgang

Økotoksikologi tester

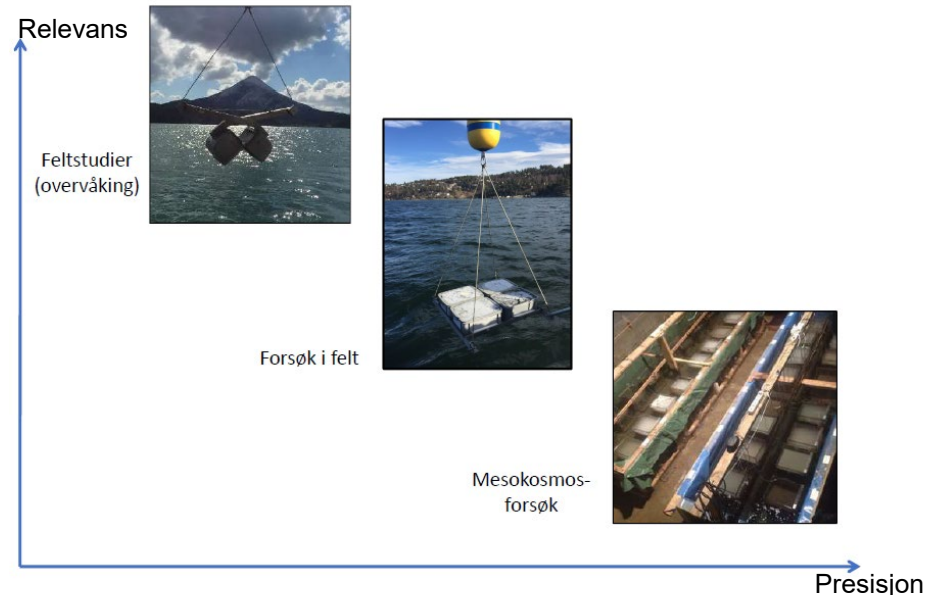
- Laborietetester med standard arter
- Felteksperiment med blåskjell (eksponeringstest)

Mobilisering av tungmetaller fra avgangen

- Verktøy for beregninger av metallutlekking

Flotasjonskjemikalier

- Har vært vanskelig å analysere på prosesskjemikalier
- Analysemetode ble utviklet og anvendt i sedimenter, porevann og organismer



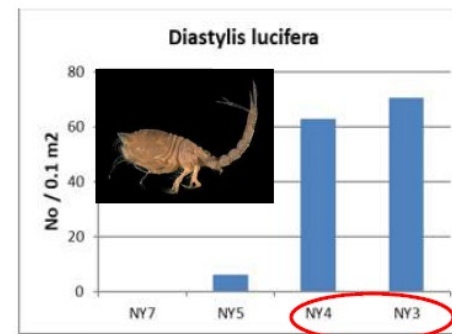
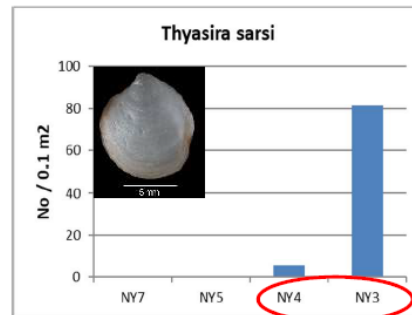
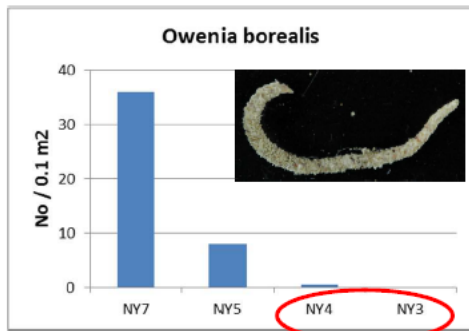
Miljøundersøkelser i felt:

Avgangens effekt på livet på bunnen i

- aktive sjødeponi (Frænfjorden)
- gamle sjødeponi (Repparfjorden og Jøssingfjorden – begge sulfidholdig avgang)

Aktive sjødeponi

- Redusert biologisk og funksjonelt mangfold i deponiet
- Dyr som levde på overflaten av sedimentene var mer sårbare enn dyr som levde i sedimentene
- Alle stasjoner hadde økologisk tilstandsklasse «god» eller bedre
- Rørbyggende og partikkelpisende former mer sårbare enn «Rovdyr» og arter med symbiotiske bakterier
- Utskiftning til et mer miljøvennlig flotasjonskjemikalie hadde en påvist positiv effekt på biodiversiteten



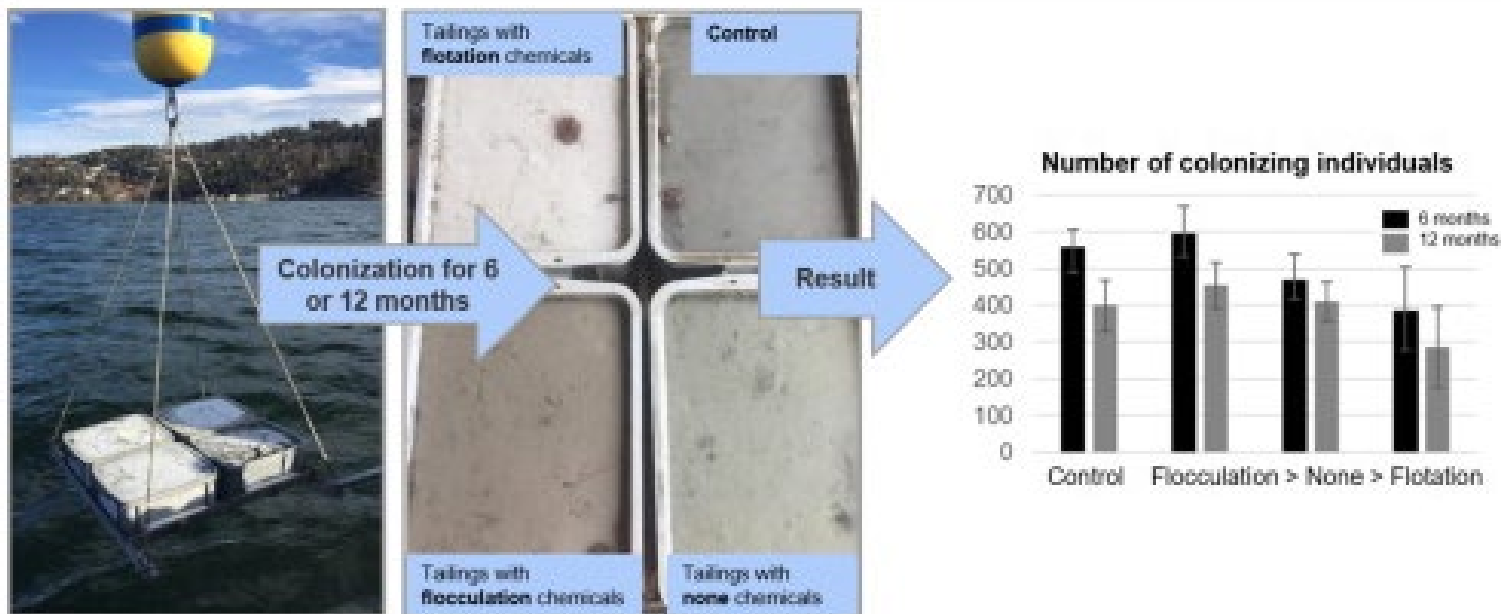
Gamle sjødeponi (Repparfjorden og Jøssingfjorden – begge sulfidholdig avgang)

- Positiv utvikling over tid for fauna (sedimentboende)
- Cu har påvirket faunasammensetningen
- Økologisk tilstandsklasse «god» eller bedre for bløtbunnsfaunaen (men innslag av forurensningstolerante arter)

Koloniseringsforsøk

Effekt på kolonisering av bunndyr på ulike typer tynne avgangslag (feltforsøk)

- Kun avgang , flokkuleringskjemikalier , flotasjonskjemikalier , sulfidholdig avgang



- Rask kolonisering og etablering av artsrike samfunn
- Signifikant forskjellig kolonisering i forskjellige avganger
- Rørbyggende former var mest selektive
- Færre dyr etablerte seg i bokser med sulfidholdig gruveavgang

Hypersedimentasjon

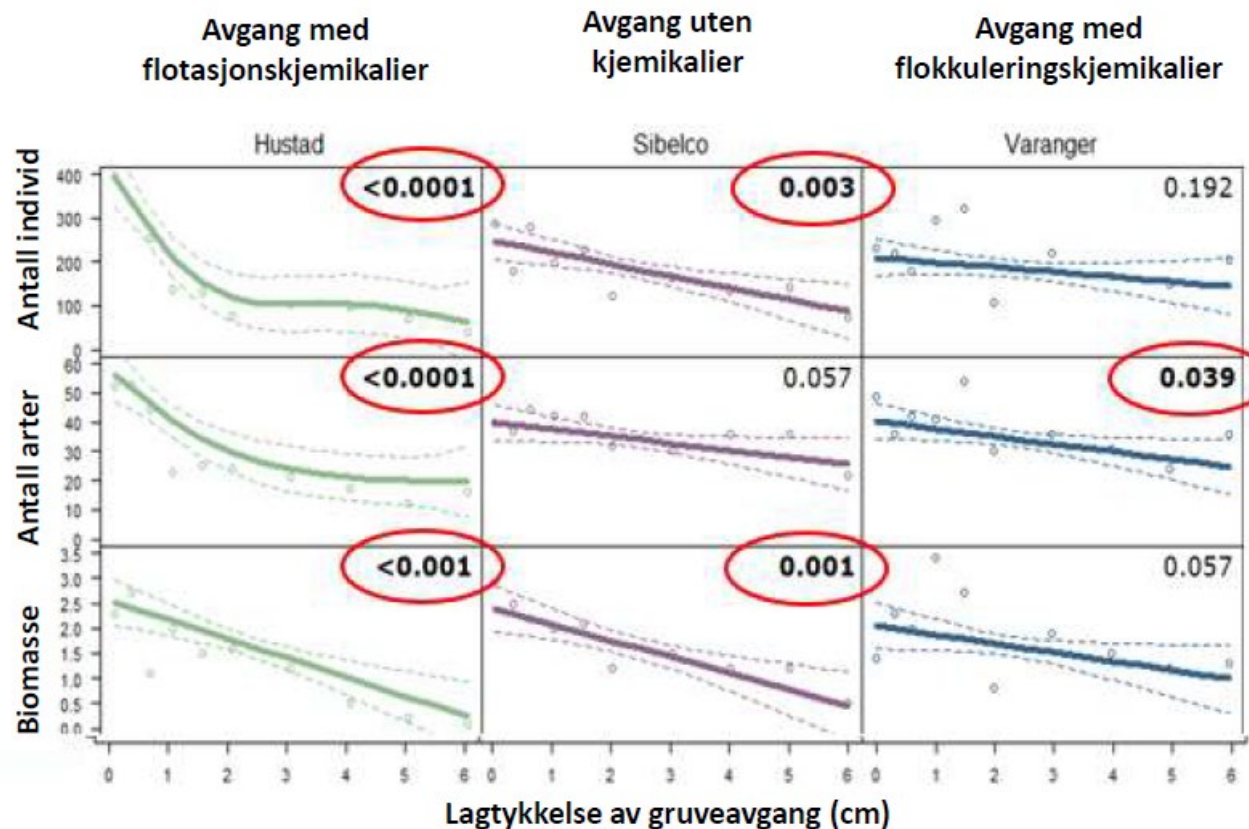
Effekt av hypersedimentasjon (randsonesimulering) på bunndyr av ulike typer avgang (mesokosmos forsøk)

- Kun avgang , flokkuleringskjemikalier , flotasjonskjemikalier , sulfidholdig avgang
- 3 - 60 mm lagtykkelse i løpet av 4 uker

Signifikante effekter av alle avgangsmassene

- Redusert antall arter, individer og biomasse
- Størst endring ved økning av lagtykkelsen fra 0 til 20 mm.
- Partikkelstørrelse og flotasjonskjemikalier var viktige faktorer

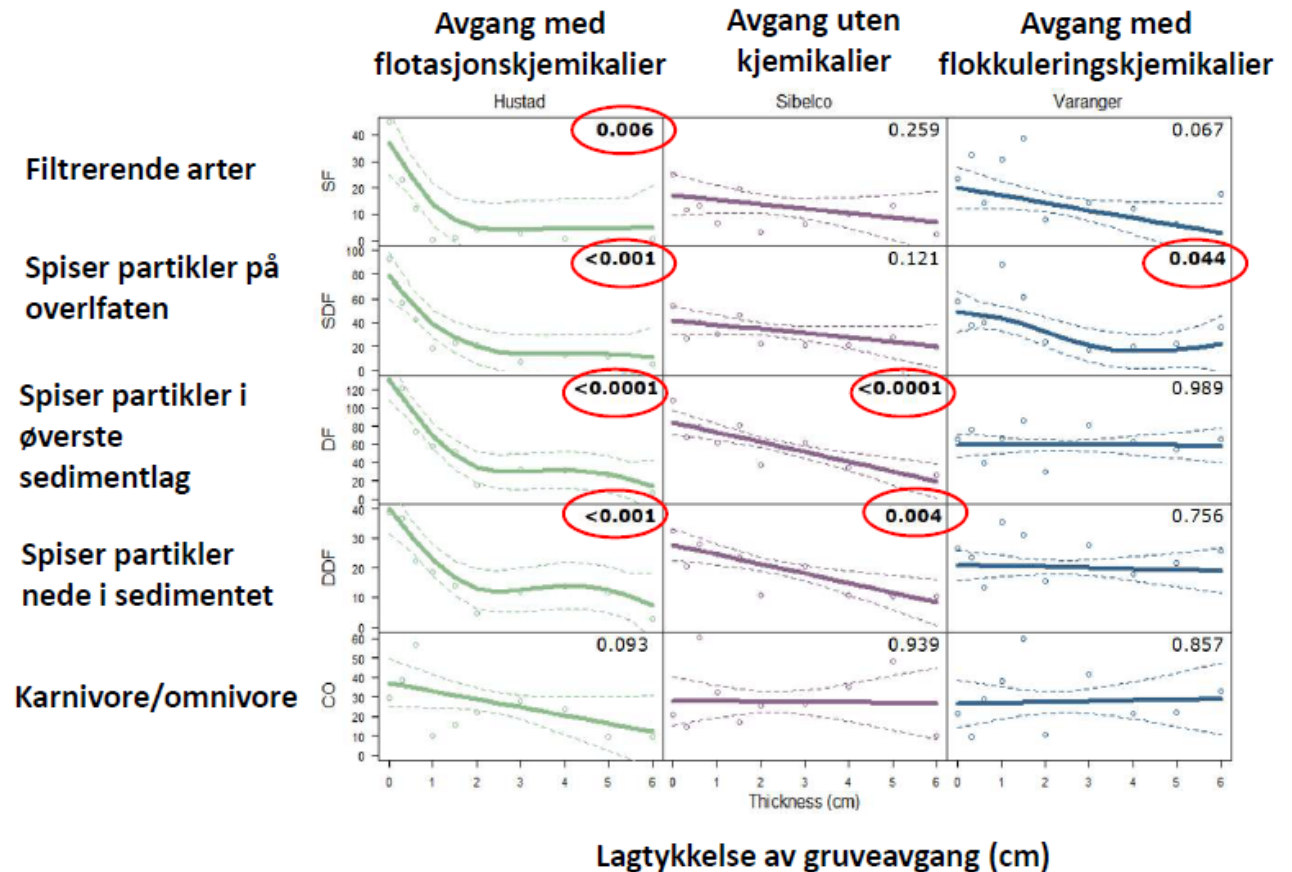
- Størst effekt av finkornet avgang med flotasjonskjemikalier
- Effekt også av «bare» knust stein
- Minst effekt av avgang med flokkuleringskjemikalier



Hypersedimentasjon

Effekt av hypersedimentasjon (randsonesimulering) på bunndyr av ulike typer avgang (mesokosmos forsøk)
 - Kun avgang , flokkuleringskjemikalier , flotasjonskjemikalier , sulfidholdig avgang

- Funksjonell respons:
- Rovdyr/omnivore mest tolerante
 - Partikkelspisere mest sårbare
 - Redusert overlevelse i sulfidholdig avgang, spesielt av partikkelspisende arter



Mobilisering av tungmetaller fra avgangen

Undersøkelse av mobilisering av tungmetaller (Ni, Cu, Co) i Jøssingfjorden og Dyngadjupet

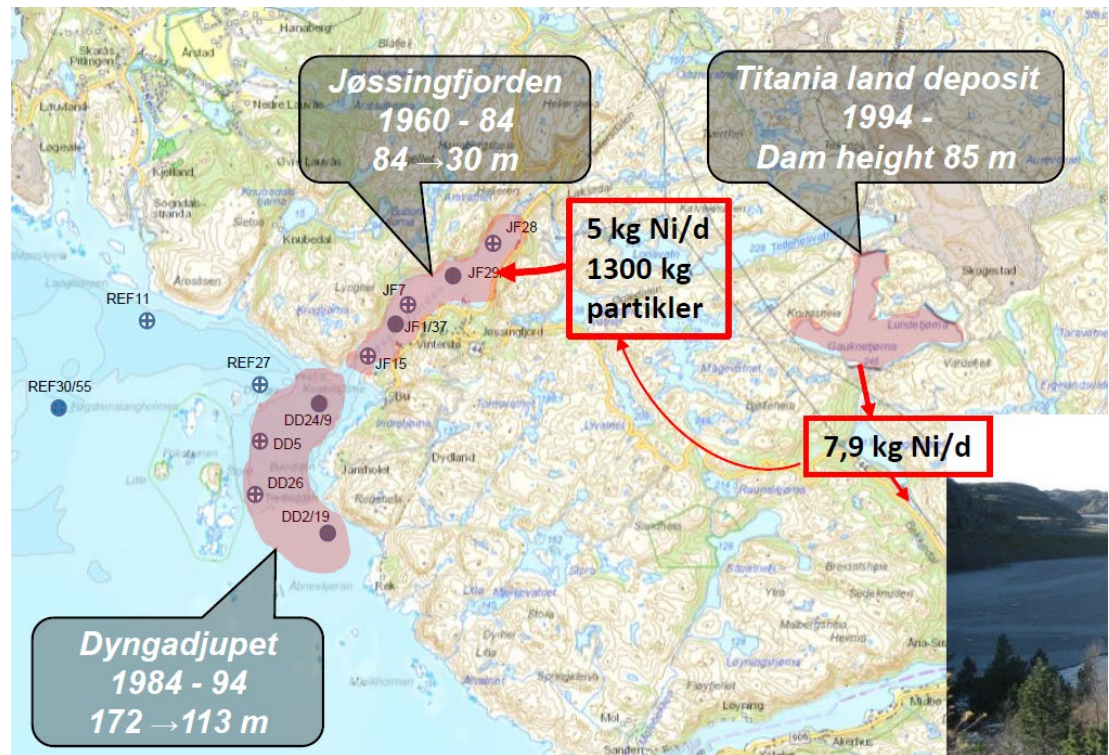
- Ingen diffusjon av Ni, Cu, Co fra dype lag av deponiet
- Bioturbasjon forsyner topplaget med MeS
 $\text{MeS} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Me}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ (Me = Cu, Ni, Co)

Utlekking:

- 391 g løst Ni/dag fra hele sjødeponi-området
- 7,5 kg løst Ni/dag fra land-deponiet

Metaller mobiliseres i topplaget i deponier for sulfidholdig avgang

- Bioturbasjon opprettholder utlekking lenge etter avsluttet deponering
- Utlekkingen er liten (5%) sammenlignet med utlekking fra land-deponi, men stor sammenlignet med vanlig sjøbunn
- Utlekking fra sjødeponi vil avta med tiden



Effekt av flotasjonskjemikalier

Nye analysemetoder

Utvikling av metode for kjemisk analyse av prosesskjemikalier i sedimenter, porevann og organismer

- Væskekromatografi (LC) koplet med massespektrometri (HRMS)



Biomarkør:

Bruk av blåskjell som potensiell biomarkør for miljøpåvirkning

- Blåskjell i bur, 8 uker på 18-20m dyp, i stasjoner 1500, 2000 og 6000m fra utslippspunkt
- Analysering på stress markør (arakidonsyre) for biologisk respons
- Økt konsentrasjon av flotasjonskjemikalie sammenfaller avstand fra utslippspunkt og økt biologisk respons (stress) hos blåskjell.

Avgang fra omvendt flotasjon påvirket helsetilstand hos blåskjell 2 km fra utslippspunktet

Temaer (fordelt over flere arbeidspakker)

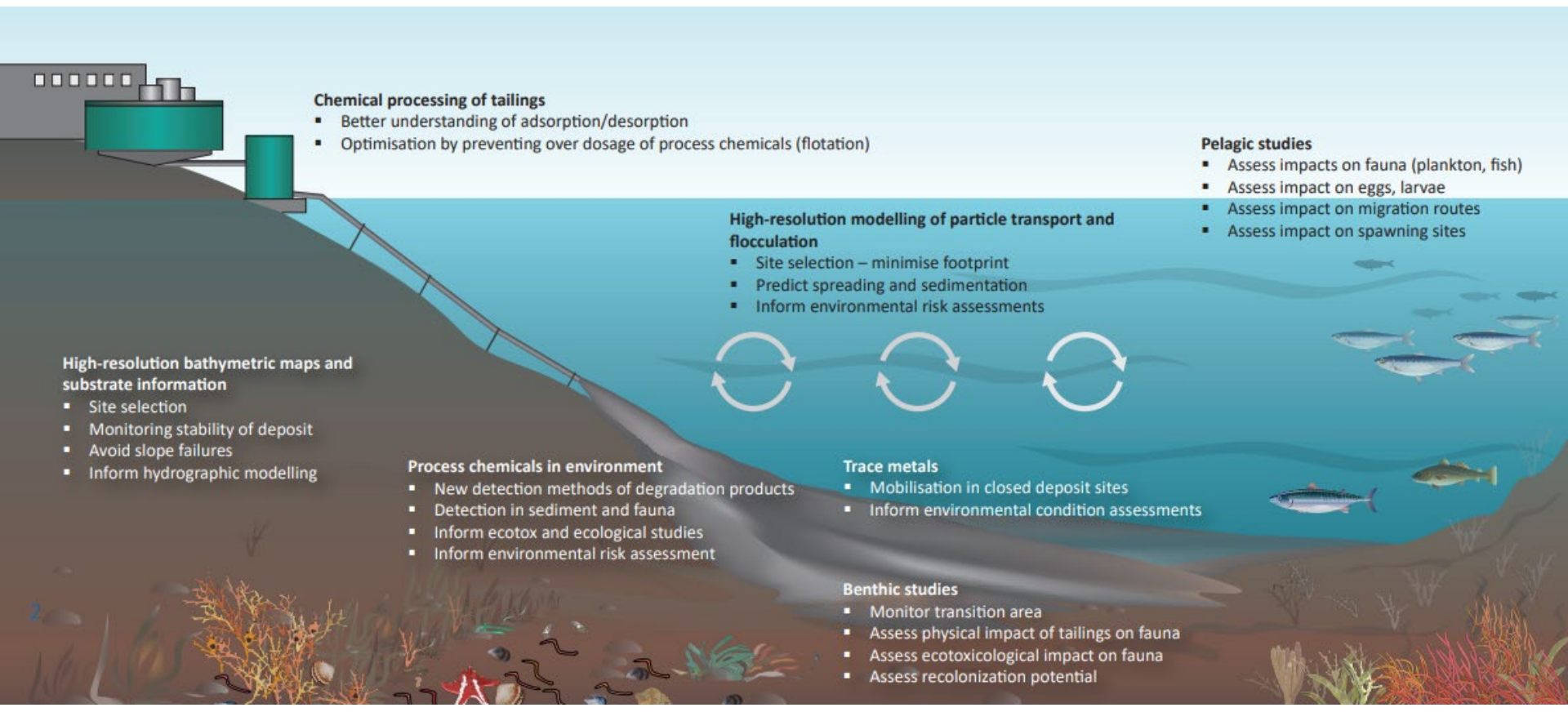
Avgangskarakterisering og avgangsforbedring

Effekter av gruveavgang og kjemikalier på marine bunnsamfunn

Best tilgjengelig teknologi for sjødeponi

Maringeologisk kartlegging

Modellering, akseptkriterier og risikoforhold



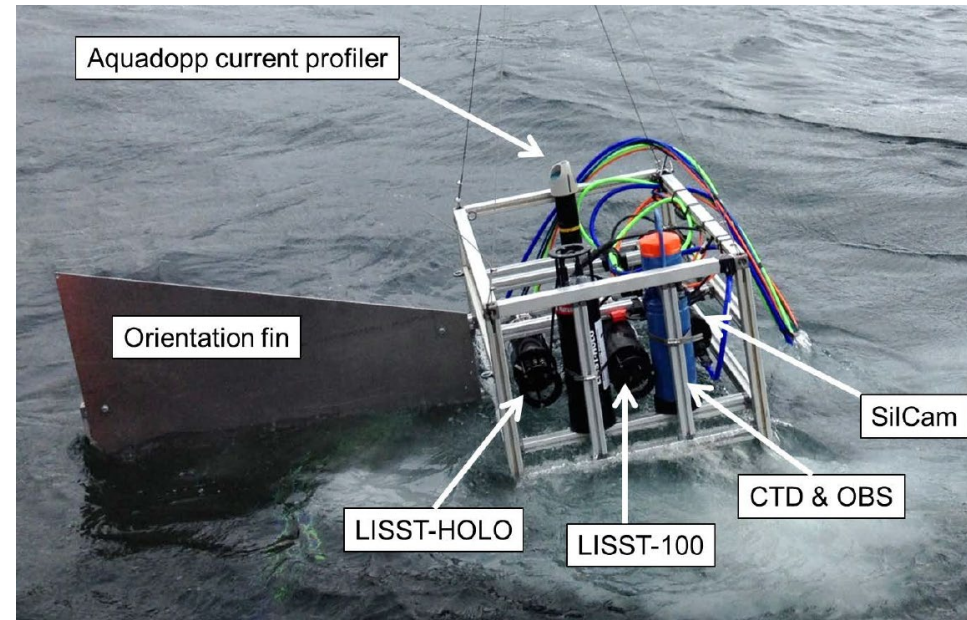
Generell kompetanseheving innen:

- Bruk av verkøty for In-situ partikkel karakterisering i fjorder
- Modellering og simulering av partikkelstransport (med uliek verkøty) for å kunne:
 - Predikere avgangspartikkelens transport, utbredelse og sedimentasjon
 - Nye sjødeponi:
 - Vurdere partikkelspredning og miljøeffekten av ulike deponeringsalternativer (effekt, risiko, sensitivitet)
 - Etablerte sjødeponi:
 - Kalibrerer modellene med faktiske forhold
 - Modellere effekt av endrete deponeringsforhold
 - endrede bunnforhold, utslippspunkt, avgangsegenskaper, vind og strømforhold
 - Overvåke og predikere fremtidig effekt av avgangsdeponeringen
 - Minimere effekten av utslippet ved å justere prosessen
- Forberedelser for bruk av autonome undervannsfarkoster (AUV) til overvåkning

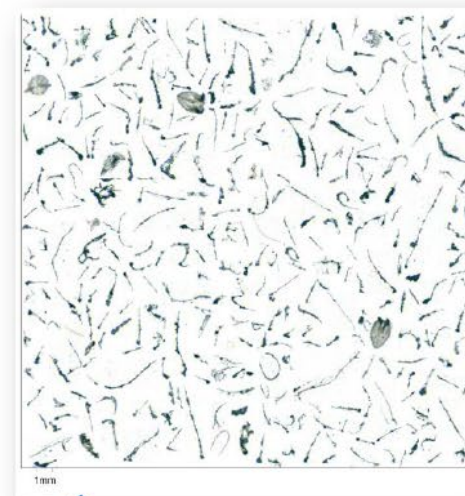
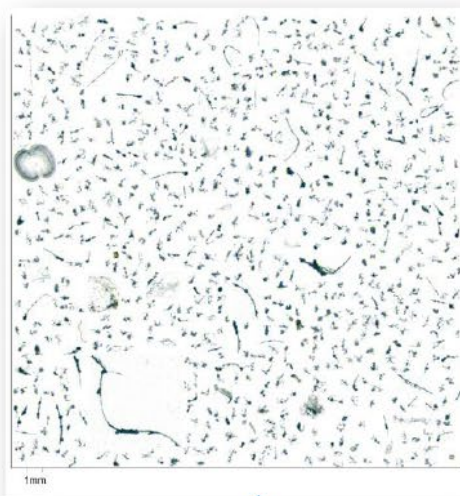


Noen konkrete resultater:

- Fokus på Frænfjorden
- Videreutvikle metoder for in-situ partikkel karakterisering
 - Partikkeltype, partikkelstørrelsesfordeling og konsentrasjon
 - Forstå flokkuleringseffekter
- Videreutvikling av modellering og simuleringstøytøyt for partikkelstransport for å kombinere ulike påvirkninger og effekter
 - Batymetry, strømningsforhold, vindpåvirkning, flokkulering

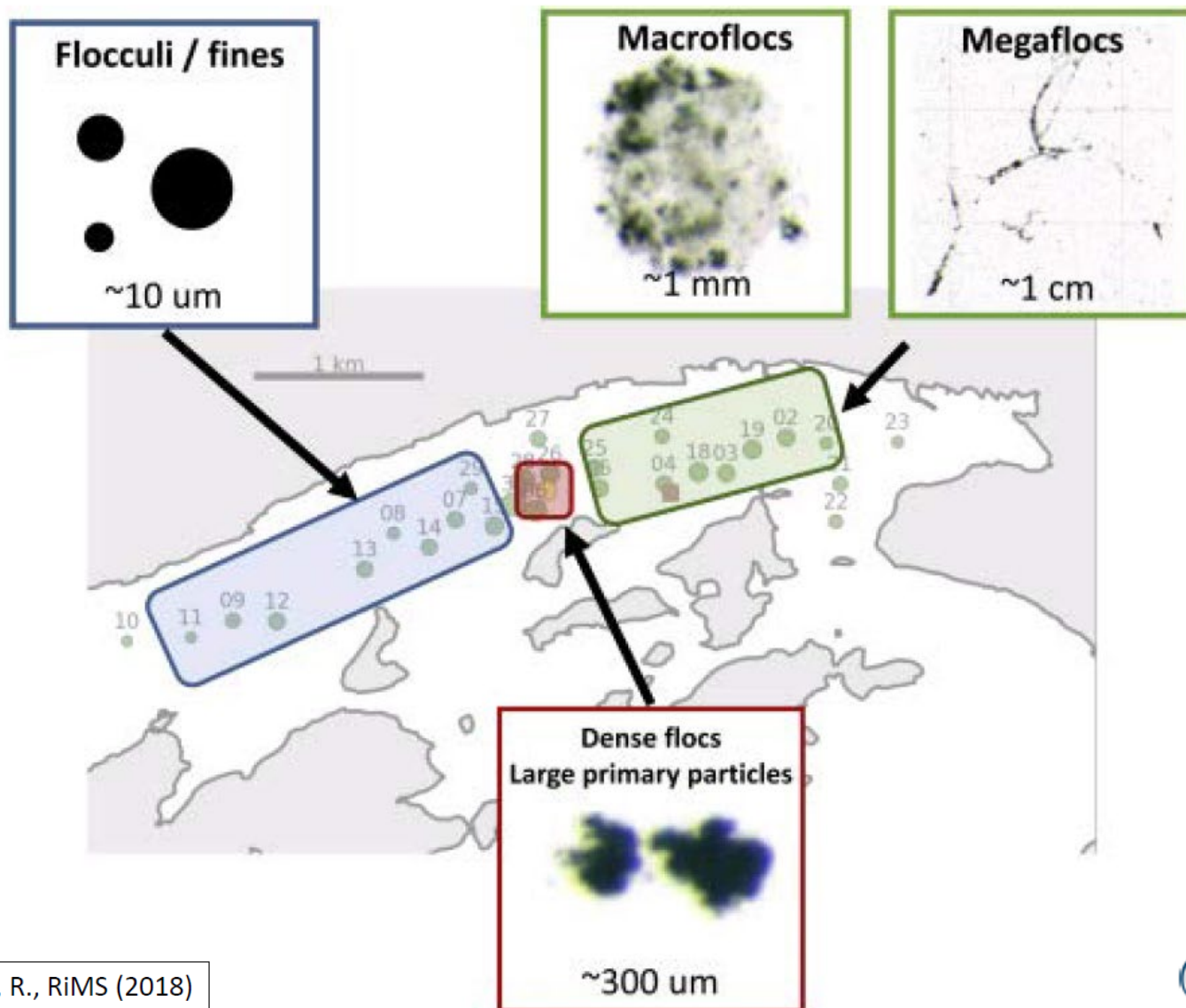


Hva slags partikler består av avgangen av

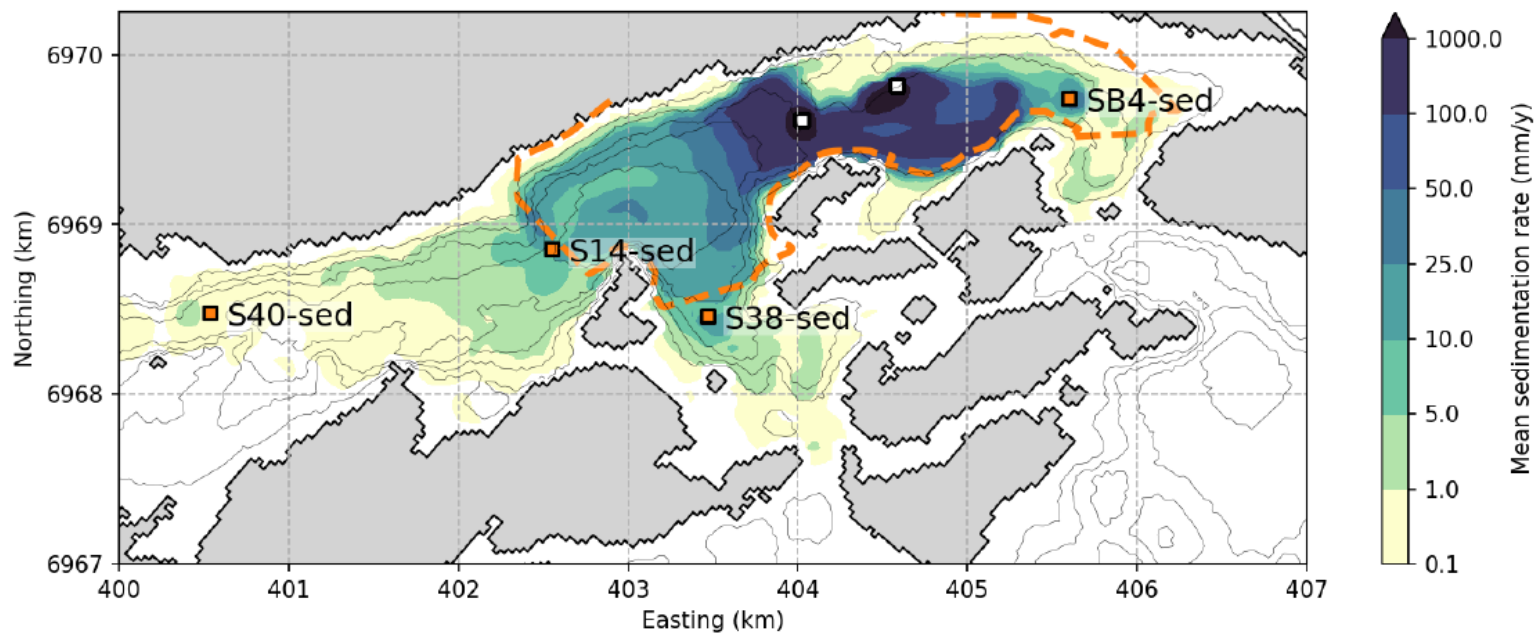


Davies, E., Nepstad, R., RiMS (2018)

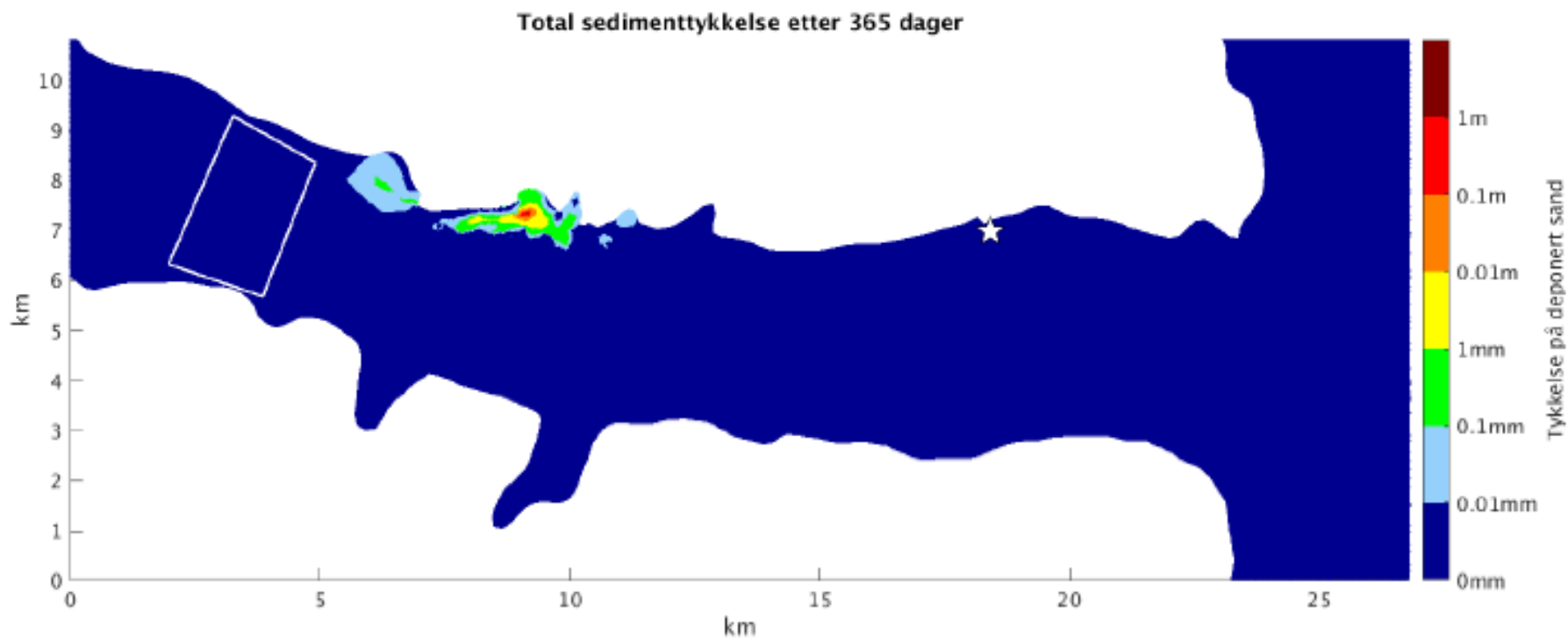
Hvor befinnerde ulike partiklene seg



Modellering av gjennomsnittlig årlig sedimentasjons (mm per år)

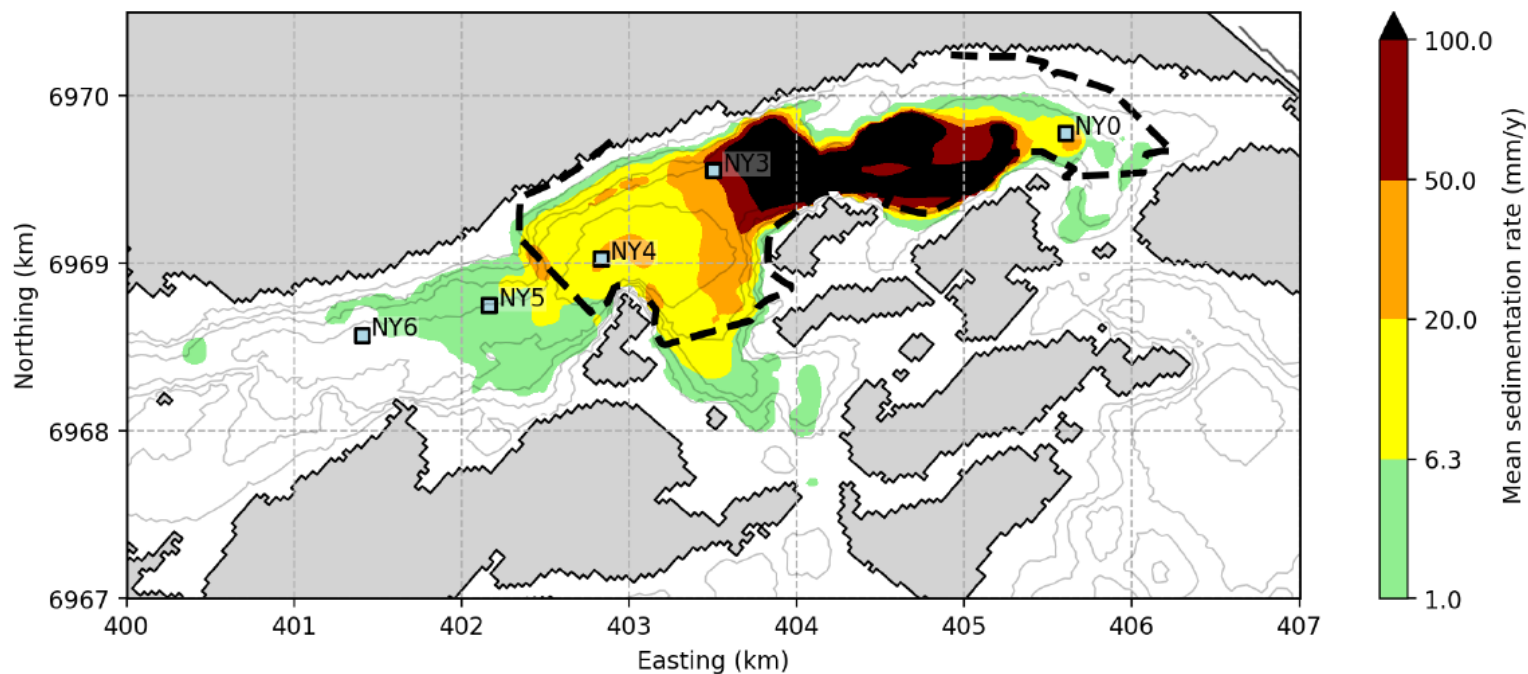


Modellering av gjennomsnittlig årlig sedimentasjons (mm per år)



Modellering av miljøeffekt

Koble sedimentasjonsrate og/eller partikkelkonsentrasjon mot miljøeffekt



(Model predictions and NIVA data)

Temaer (fordelt over flere arbeidspakker)

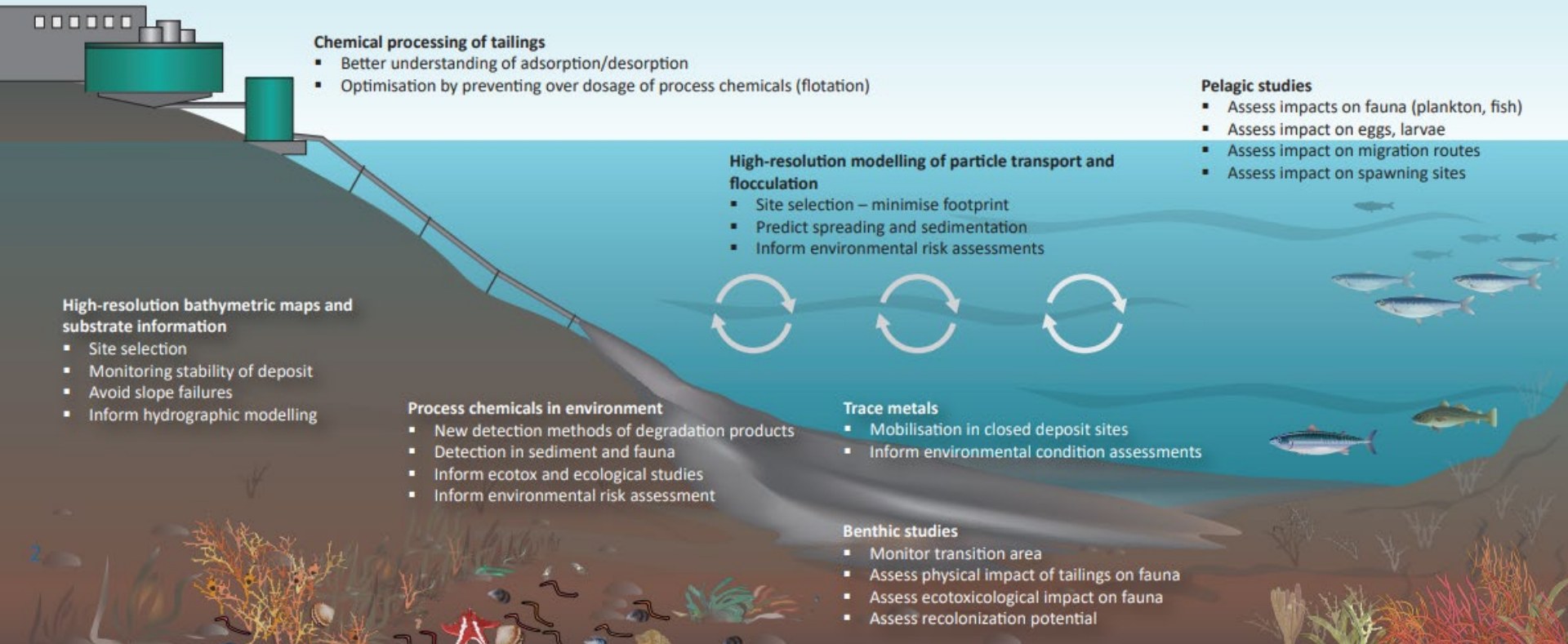
Avgangskarakterisering og avgangsforbedring

Effekter av gruveavgang og kjemikalier på marine bunnsamfunn

Best tilgjengelig teknologi for sjødeponi

Maringeologisk kartlegging

Modellering, akseptkriterier og risikoforhold



I regjeringserklæringen fra Jeløya står det:

- Regjeringen skal ikke gi tillatelser til nye sjødeponi i perioden
- Konsekvensene for miljø og samfunn dersom det innføres et forbud mot nye sjødeponi for avgangsmasser fra mineralutvinning skal utredes

Miljødirektoratet svarer (25.01.2019):

- Gruvedrift medfører behov for å deponere avgangsmasser.
- Det er ikke realistisk å se for seg utvinning av mineraler uten midlertidig eller permanent deponering, i sjø eller på land.
- Et forbud mot deponering i sjø kan i konkrete saker eliminere muligheten for å gi tillatelse til den minst miljøskadelige løsningen.

Miljødirektoratet (14.05.2019):

- Kan sjødeponi vurderes som beste praksis etter KPN NYKOS?
 - Kunnskapsgrunnlaget er styrket
 - I den enkelte sak kan sjødeponi vurderes som beste praksis (men ikke i denne perioden)

→ Det er hensiktsmessig å forsøk å definere best tilgjengelig teknologi for sjødeponi

Guidelines and Best Available Techniques for Submarine Tailings Disposal in Norwegian fjords: Recommendations from the NYKOS project

This report is quality assured in accordance with NIVA's quality system and approved by:

Project Manager

Research Manager

ISBN 978-82-577-XXXX-X
NIVA-report ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning/Norwegian Institute for Water Research.
The publication can be cited freely if the source is stated.

Mål for best tilgjengelig teknologi:

- Velge deponisted for å redusere miljøpåvirkning (batymetriske kart, partikkelspredning og overvåkning)
- Redusere partikkelspredningen
- Redusere miljøpåvirkningen fra prosesskjemikalier
- Redusere ustabiliteter
- Redusere endringer i strømningsforhold som skyldes deponeringen
- Redusere miljøpåvirkningen fra metall utlekking
- Redusere nedslamming
- Evaluere toksisitet av avgangen

Guidelines and Best Available Techniques for Submarine Tailings Disposal in Norwegian fjords: Recommendations from the NYKOS project

This report is quality assured in accordance with NIVA's quality system and approved by:

Project Manager

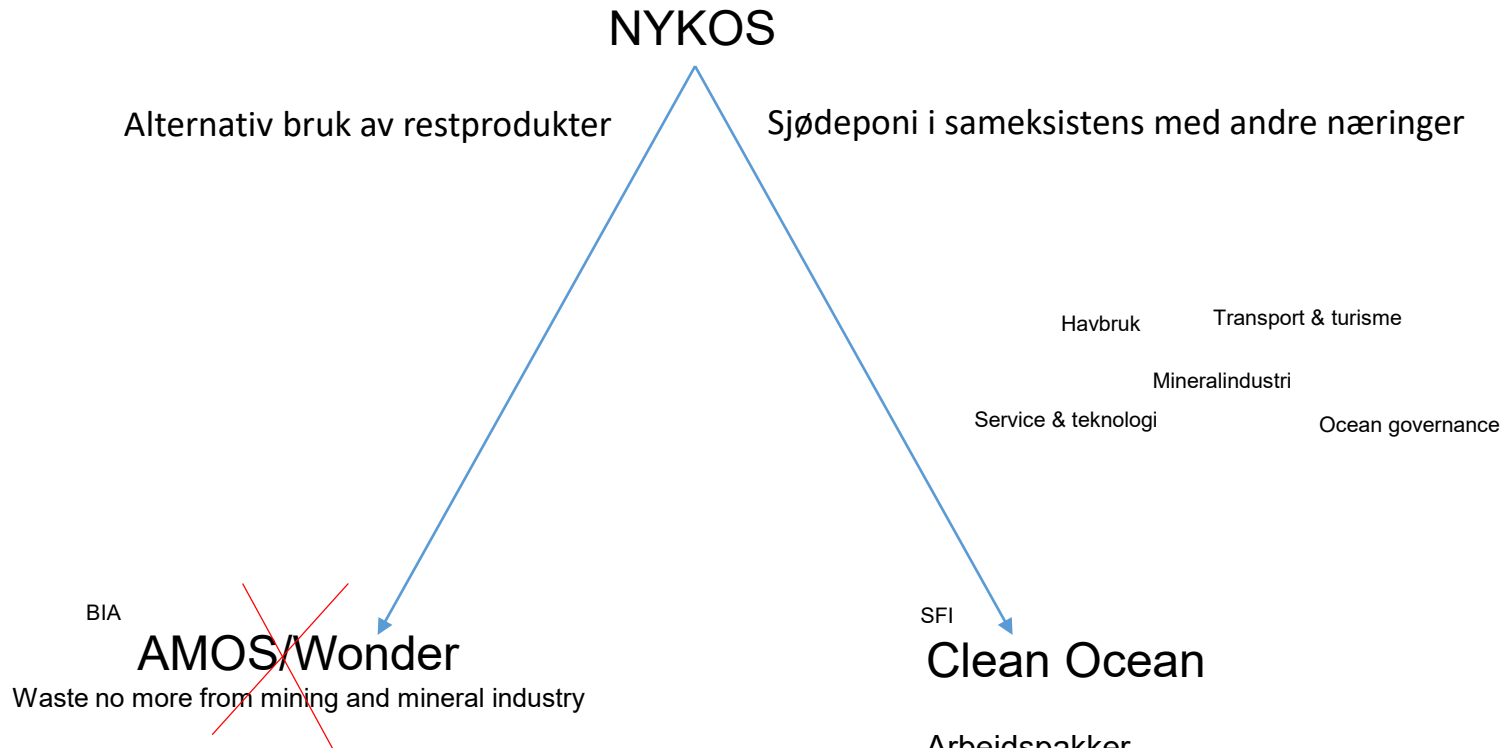
Research Manager

ISBN 978-82-577-XXXX-X
NIVA-report ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning/Norwegian Institute for Water Research.
The publication can be cited freely if the source is stated.

Veien videre

To retninger



Nye produkter fra avgangsmasser i nord

- Råmaterialer for ny produksjon
- Avfallsbaserte produktspektre
- Prøveproduksjon og produktutvikling
- Industrielle konsepter og forretningsmodeller

Arbeidspakker

- "Environment and Risk"
- "Fate and Effect"
- "Monitoring"
- "Communication"
- "The Clean Ocean Innovation Accelerator"



FATE & EFFECT

RISK

MONITORING

MITIGATION



Ambition

To develop a knowledge base to enable Norwegian industry to create and implement innovative solutions to increase ocean health and create growth in a sustainable blue economy.