

NYTT fra NIVA

New waterways: To smarte nederlandske byer involverer innbyggerne i overvannshåndteringen

En studietur til Amsterdam og Rotterdam høsten 2018 viste oss to byer som forberedte seg på å møte klimaendringene som er på gang ved å bruke grønn infrastruktur. I praksis betyr det anlegning av smarte, blågrønne tak og regnvannstønner, regnbed og areal som kan stå oversvømt og dermed holde store vannmengder midlertidig. Tiltakene er flerfunksjonelle, dvs. kan både dempe styrtregn og gi glede for mennesker og dyr. For å få dette til er planlegging nødvendig. Offentlig støtte til private, og egne byggeprosjekter der befolkningen blir inkludert i planleggingen, er arbeidsomme og interessante suksesskriterier. En forutsetning for gode løsninger er at etatene i byene kunne samarbeide for felles måloppnåelse. Dette var krevende i praksis, men gav gode løsninger når det fungerte. Nedbør er en ressurs som kan gjøre kjedelige byer i stål, glass og betong til spennende blå-grønne oaser. Naturen og matproduksjonen tas tilbake til byen, og skaper med det «grønn glede».

Rapporten er en billedkavalkade og kan leses på <https://newwaterways.no/results/>



RAPPORT L.NR. 7382-2019

Hver dråpe teller - Blågrønn infrastruktur i byer. Eksempler på tiltak basert på studietur til Amsterdam og Rotterdam.



Ny kunnskap fra gamle sjødeponier

Fra 1960 til 1994 ble det deponert store mengder gruveavfall i Jøssingfjorden og Dyngadjupet i Rogaland. Nå har forskere undersøkt hvordan livet på sjøbunnen er eksponert mot giftige metaller 20-30 år etter endt deponering av kobberholdig gruveavfall.

Lagring av gruveavfall på sjøbunnen, såkalt sjødeponering, blir av de fleste land i verden ansett som en miljømessig uakseptabel praksis. Både norske og utenlandske fagmiljø har imidlertid i mange år hevdet at lagring på sjøbunnen gir mindre risiko for utlekking av tungmetaller enn lagring på land. Miljødirektoratet har nylig listet opp en rekke andre argumenter for lagring på sjøbunnen; fravær av risiko for dambrudd, lite CO₂ avtrykk forbundet med transport fra prosessanleggene til deponiet, og små kostnader forbundet med reparasjoner og vedlikehold av demninger og dreneringsanlegg etter at virksomheten er avsluttet (1).

Metallsulfider

Den største bekymringen knyttet til deponering av gruveavfall er oppløsning av metallholdige mineraler, slik som metallsulfider (mineraler med metall bundet til svovel), med påfølgende utlekking av metaller. Solid og etablert geokjemisk kunnskap sier at metallsulfider vil være stabile i det oksygenfrie miljøet nede i sjøbunnen. Til sammenligning vil avfall lagret på land ofte være utsatt for regnvann med oppløst oksygen som angriper og løser opp sulfidmineralene.

I Norge er det først og fremst bergverket Titania i Sokndal kommune som har metallsulfider i gruveavgangen og der det ligger til rette for deponering i sjø. I perioden 1960-1994 etablerte de store sjødeponier i Jøssingfjorden og Dyngadjupet i Rogaland. Avgangen inneholder bl.a. kobber og nikkel. Med en årsproduksjon på 2-3 mill. tonn avgang kan utslippene av disse metallene anslås til flere hundre tonn årlig, målt som rent metall. Dette er først og fremst problematisk dersom mineralene går i oppløsning og

metallene blir tilgjengelige for opptak i planter og dyr. Å forhindre dette er derfor sentralt i en miljømessig forsvarlig lagring av denne typen gruveslam.

Erfaringene fra de gamle sjødeponiene ved Titania vil være nyttige for en kunnskapsbasert forvaltning og i vurderingen av nye tillatelser. Undersøkelser utført av NIVA og DNV-GL har vist at bunnfaunaen kom tilbake kort tid etter at deponeringen ble avsluttet (2,3,4). Selv om faunaen fortsatt bærer svakt preg av forstyrrelse 25 år etter at deponeringen ble avsluttet, er det nå etablert et biologisk mangfold tilsvarende «god» tilstand, ifølge kriteriene gitt i vannforskriften som er det regelverket som gjennomfører EUs vanddirektiv i norsk rett. Men denne tilstandsklassifiseringen gir ikke en fullstendig beskrivelse av situasjonen. Det biologiske mangfoldet i bunnfaunaen gjenspeiler først og fremst næringstilstand, bunnsstrat og de generelle livsbetingelsene i området. Det er derimot lite egnet til å avdekke effekter av miljøgifter. Der det er kjent at giftige forbindelser finnes i avfallet, må undersøkelser av disse forbindelsene supplere de biologiske undersøkelsene (6).

Tydelig gradient

I en artikkel i Marine Pollution Bulletin publisert i februar 2019 (2), bekrefter forskere ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA) at den biologiske tilstanden på sjøbunnen er god i de gamle deponiområdene til Titania, iht. kriteriene for fastsettelse av økologisk tilstand gitt i vannforskriften. Samtidig ble det påvist en gradvis endring fra «meget god tilstand» i de åpne og dype sjøområdene utenfor Dyngadjupet til «god tilstand» i de grunnere områdene innerst i Jøssingfjorden. Tilsvarende gradienter er vanlig å finne i norske fjorder, men spesielt for dette området er en tydelig sammenheng mellom faunaens tilstand og økende konsentrasjoner av kobber og finstoff i sjøbunnen inn mot grunnere områder. Disse stoffene er typiske for gruveavfallet i dette området. Samtidig er det flere

Stoff	I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Nikkel	0-30	30-42	42-271	271-533	>533
Kobber	0-20	20-84		147	>147

pågående utslipp fra Titania innerst i Jøssingfjorden som kan være vel så viktige for dagens tilstand i sjøbunnen som påvirkningen fra det gamle sjødeponiet. Mye av metallinnholdet i disse pågående utslippene kommer fra dreneringsvannet fra landdeponiet som ble opprettet etter at sjødeponeringen ble avsluttet i 1994. For å redusere belastningen på bekker og innsjøer nedenfor deponiet resirkuleres mye av dreneringsvannet til bruk i prosessanlegget før det til slutt blir en del av utslippene innerst i Jøssingfjorden.

Overskridelse av grenseverdier

Forekomsten av kobber og nikkel i gruveavfallet fra Titania gjør at sedimentene mange steder både i Jøssingfjorden og Dyngadjupet må klassifiseres til miljøklasse III eller dårligere. Denne klassifiseringen gjøres i forhold til grenseverdier gitt i vannforskriften.

- Per definisjon gir dette «risiko for akutt toksiske effekter» på organismer som befinner seg i eller på sjøbunnen i området», sier Morten Schaanning, seniorforsker i NIVA, og tilføyer at dette påvirker klassifiseringen av økologisk tilstand etter vannforskriften slik at tilstanden justeres ned fra «svært god» eller «god» til klasse III «moderat».

Målingene som ble gjort i Dyngadjupet i 2015 (tabell 1), viser at konsentrasjonen av kobber i det øverste sedimentlaget (0-1 cm) er halvert sammenlignet med avgangen og underliggende sedimentlag, mens konsentrasjonene av nikkel er redusert til om lag en fjerdedel. Dette viser at nikkel avgis raskere til vannmassene enn kobber, noe som også ble også bekreftet av at nikkel viste høyere konsentrasjoner i porevannet presset ut av sedimentene og større utlekking til sjøen over.

Disse endringene i sedimentenes topplag skjer fordi deponiet har ligget åpent i lang tid etter at deponeringen ble avsluttet. Metallsulfidene i topplaget får da god tid til å reagere med oksygen fra sjøvannet slik at de løses ut - først til porevannet og deretter videre ut i sjøvannet. Der fortynnes de raskt til ufarlige nivåer i vannmassene. Dyr som lever i og på disse sedimentene vil imidlertid bli eksponert for metallene og vil kunne ta de opp.

- Dette kunne vært unngått dersom deponiet hadde blitt dekket til med rene masser etter at deponeringen var avsluttet, understreker Schaanning.

Bioturbasjon

Det er en vanlig tommelfingerregel at sedimentene langs norskekysten har en årlig tilvekst i

Tabell 1. Kobber og nikkel i dagens avgang fra Titania sammenlignet med innholdet i sedimenter og porevann i Dyngadjupet. Utlekking fra de samme sedimentene til sjøvannet over er sammenlignet med lokale referansesedimenter og sedimenter fra Ytre Oslofjord som ikke er påvirket av gruveavfall. Verdiene er gjennomsnittstall.

	Nikkel (Ni)	Kobber (Cu)	Ni:Cu
Avgang fra Titania (mg/kg)	310	157	2,0
Deponiet, dype lag (mg/kg)	338	151	2,3
Deponiet, topplag 0-1 cm (mg/kg)	72	77	0,9
Porevann (mg/L)	0,023	0,010	2,3
Utlekking Dyngadjupet (mg/m ² *dag)	0,103	0,036	4,0
Utlekking lokal referanse	0,040	0,012	3,3
Utlekking Oslofjord referanse	0,0011	0,0023	0,5

størrelsesorden 1-2 mm med rene partikler fra naturlige kilder.

- Dette tilsier at vi i dag - 20 år etter at deponeringen ble avsluttet - burde finne 2-4 cm nytt, rent sediment på toppen av deponiene. Siden nedtrengningen av oksygen ikke når lenger ned enn 4-5 mm, skulle dette vært tilstrekkelig til å forhindre at metallsulfidene fra avgangen kommer i kontakt med oksygen fra sjøvannet, sier seniorforsker Hilde C. Trannum i NIVA.

Når forskerne likevel fremdeles finner høye konsentrasjoner og betydelig utlekking av metaller, kan det skyldes to ulike forhold.

Det ene er de pågående utslippene innerst i Jøssingfjorden, men det er lite trolig at de har noen betydning for forholdene ute i Dyngadjuvet. Det andre er at Dyngadjuvet har en rik bunnfauna; her fant forskerne over 50 ulike arter. Blant disse artene ser vi at børstemarken *Heteromastus filiformis* er tilstede i alle prøvene. Denne børstemarken spiser partikler ned til 10-15 cm under sjøbunnen. Partiklene føres opp gjennom tarmen og slippes ut igjen på overflaten etter at marken har nyttiggjort seg den lille næringen som er i disse sedimentene. Siden det er lite næring å hente, må hvert individ spise store mengder for å få nok mat. Slik fungerer denne sammen med mange andre arter i sedimentene som en saktegående «miksmaster» som sørger for at metallsulfider fra de gamle deponimassene kontinuerlig blandes inn i det oksygenholdige topplaget der metallene kan løses ut og avgis til vannmassene eller tas opp i organismer. Denne naturlige prosessen, som kalles bioturbasjon, er en vesentlig årsak til at det kan gå mange ti-år før utlekkingen av metaller vil stoppe.

- Tildekking med 10-20 cm rene masser ville vært tilstrekkelig til å sette en øyeblikkelig stopper for denne prosessen, sier Trannum, og legger til at jo mer disse tildekkingsmassene ligner på det opprinnelige sedimentet, jo større er sjansene for at bunnfaunaen som etablerer seg i det rene topplaget vil ligne på det samfunnet som var der før deponeringen startet.

Utlekking fra sjødeponi kontra landdeponi

Som vist i tabellen var utlekking av nikkel fra deponiet i Dyngadjuvet tre ganger større enn utenfor Dyngadjuvet og 100 ganger større enn utlekking fra sedimenter i Ytre Oslofjord. Forholdet mellom nikkel og kobber tyder på at det er metallsulfider fra avgangspartikler som er kilden til disse metallene både i og utenfor Dyngadjuvet. Spørsmålet er hvor partiklene kommer fra. Gruveavfall kan spres til disse områdene fra gamle deponier både i sjøen og på land eller fra de pågående utslippene innerst i Jøssingfjorden. Selv om denne spredningen er svært liten og knapt gir målbare endringer av konsentrasjonen i sedimentene gir de tydelig forhøyet utlekking av kobber og nikkel fra sjøbunnen sammenlignet med det vi finner i andre områder.

Multipliseres målingene av utlekking med tilhørende arealer, kan det beregnes at det daglig lekker ut 390 g nikkel fra sjødeponiene i Jøssingfjorden og Dyngadjuvet. Dette tilsvarer ca 5% av det som daglig lekker ut med dreneringsvannet fra landdeponiet som ble etablert som alternativ til sjødeponiet.

Konklusjoner og anbefalinger

- Konklusjonen fra dette arbeidet er at det lekker metaller fra sjødeponiene mer enn 20 år etter at deponeringen er avsluttet, sier Morten Schaanning.

Metallinnholdet i sedimentene er fortsatt så høyt at det utgjør en risiko for akutt toksiske effekter på organismer i området og på tross av rikt biologisk mangfold gjør metallinnholdet at den økologiske tilstanden ikke er bedre enn klasse III «moderat». Men Schaanning finner også positive utviklingstrekk:

- utlekkingen fra sjøbunnen er svært liten sammenlignet med utlekking fra landdeponiet,
- det er ikke funnet noen indikasjoner på at metaller fra avgangen lagret nede i deponiene, dvs under bioturbasjonsdyb 10-20 cm under overflaten, lekker ut

- risiko for toksiske effekter vil avta med tiden som følge av naturlig tilførsel av renere sediment
- bløtbunnsamfunnene har, basert på biologisk mangfold, «god» tilstand iht. vannforskriften.

I artikkelen i Marine Pollution Bulletin ble det pekt på to mulige tiltak som kan redusere skadevirkningene fra sjødeponier. For deponier der en ønsker å redusere utlekking av kjemikalier eller giftige metaller vil tildekking av gruveavgangen med rene masser etter avsluttet deponering være et effektivt tiltak. For alle deponier er størst mulig avgrensing av deponiområdet viktig. Dette gjøres først og fremst ved valg av lokalitet før oppstart, men kan også til en viss grad foretas underveis gjennom modifisering av utslippsanordninger. En annen mulighet som har vært lite diskutert er å forbedre eksisterende batymetri ved oppfylling i dyprenner eller andre steder der det er risiko for at partikler vil kunne transporteres ut av deponiområdet.

Selv om det bare er sulfidene i det øverste tynne laget som er ustabile og tilgjengelige for organismer, skal det ikke mer enn noen få mm lagtykkelse til for å opprettholde høy og biologisk relevant utlekking av metaller over lang tid. Det spiller derfor ingen rolle for organismenes tilgang på metaller hvorvidt deponiet er 5 cm eller 50 meter tykt, men den horisontale utstrekningen vil ha betydning for mengden som totalt sett lekker ut. Et ideelt område for etablering av sjødeponi er derfor et område der avgangen kan innlagres i tykke lag over et lite areal. I tillegg er det viktig at de deponerte massene ligger stabilt og uten risiko for spredning som følge av oppvirvling eller slamstrømmer.

Slamstrømmer er et spesielt fenomen der høyt partikkelinnhold kan gjøre vannet så tungt at det synker eller sklir nedover langs en skrånende bunn. Norges Geologiske Undersøkelser (NGU) har nylig påvist hvordan utslipp fra norske gruver kan gi opphav til slamstrømmer langs bunnen omtrent som elver på land (5). Uten fysiske barrierer kan disse strømmene

transportere avgangen mange kilometer bort fra utslippspunktet og ende opp med å spre seg i tynne lag utover et stort område.

- Slike prosesser vil gi et betydelig økt potensiale for utlekking av eventuelle skadelige forbindelser som følger avgangen, avslutter Schaanning.

Den vitenskapelige publikasjonen Benthic community status and mobilization of Ni, Cu and Co at abandoned sea deposits for mine tailings in SW Norway som denne artikkelen bygger på er en del av forskningsprosjektet [NYKOS – Ny kunnskap om sjødeponering](#).

Referanser / videre lesing

1. Forbud mot sjødeponering av avgangsmasser fra gruvevirksomhet. Notat fra Miljødirektoratet, 24.01.2019. 15 s. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/bilder/nyhetsbilder---old/notat-til-kld-om-forbud-sjodeponier-21-januar-2019-endret-dato2.pdf>
2. Schaanning, M.T., Trannum, H.C., Øxnevad, S., Ndungu, K., 2019. Benthic community status and mobilization of Ni, Cu and Co at abandoned sea deposits for mine tailings in SW Norway. Marine Pollution Bulletin 141: 318-331. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.047>
3. Trannum, H.C., Næss, R., Borgersen, G., 2018. Overvåking av marin bløtbunnsfauna for Titania A/S i 2018. NIVA-rapport 7291-2018. 45 s. <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2565675>
4. Olsgard, F., Hasle, J.R., 1993. Impact of waste from titanium mining on benthic fauna. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 172, 185–213.
5. Boe R., Sandøy R., Baeten N.J., Lepland A., Bellec v.K., Chand S., Longva O., Klug M., Plassen L., Schönenberger J., 2018. Marine mine tailings disposal at Lillebukt, Stjernsundet, North Norway. https://njug.ogologi.no/images/NJG_articles/NJG_Vol98_Nr3_Art7_Boe.pdf
6. Jensen, T. og K.Hylland., 2019. Environmental Adaptive Management: Application on Submarine Mine Tailings Disposal. Integr Environ Assess Manag 2019:1–9. DOI: 10.1002/ieam.4134