
Konsekvenser for grundvandskvaliteten ved råstofindvinding under grundvandsspejlet

Mange steder i Danmark betyder mangel på sand og grus, at råstoffer transporteres over store afstande. Der er både en miljø- og samfundsmæssig interesse i, at råstofforekomster udnyttes fuldt ud ved bl.a. at indvinde råstoffer under grundvand. Sand- og grusforekomster udgør også grundvandsmagasiner, hvorfra der indvindes vand til drikkevand. Det er derfor afgørende at kende de potentielle risici for grundvandskvaliteten ved råstofindvinding under grundvandsspejlet.

CAMILLA SULSBRÜCK, LARS G. ERNST,
NIELS PETER ARILDSKOV &
TORSTEN HOLMBOE

I Danmark har det mange steder ikke været almindeligt at indvinde råstoffer som sand og grus under grundvandsspejlet. Ofte er der blevet indvundet råstoffer til 1 meter over grundvandets niveau, dels fordi områderne skulle føres tilbage til landbrugsjord, når råstofindvindingen var afsluttet, og dels fordi myndighederne havde en opfattelse af, at dette indebar mindre risiko for at forurene grundvandet. Tidligere har aktiviteter, som blev placeret i gamle grusgrave eller opfyldning af grusgrave med jord og affald medført forurening af grundvandet, og dermed efterladt det indtryk, at råstofindvinding medfører grundvandsforurening.

Sand- og grusforekomster udgør ofte også grundvandsmagasiner, som anvendes til drikkevandsforsyning, og store mængder råstoffer kan ligge gemt under grundvandsspejlet. Både i Region Hovedstaden og i Region Midtjylland er store arealer udpeget som Områder med Særlige Drikkevandsinteresser, og områderne falder derfor ofte sammen med de arealer, hvor der kan indvindes råstoffer. Når regionerne udpeger nye graveområder, skal der tages hensyn til mange arealinteresser. Med vedtagelsen af regionernes seneste råstofplaner i 2012, står det klart, at udpegningen af

nye graveområder bliver sværere efterhånden, som flere arealinteresser beslaglægger arealer, der medfører, at der ikke kan udpeges nye graveområder og dermed indvindes råstoffer på sigt. Efterlades de dybereliggende kvalitetsråstoffer, kan det betyde, at der må etableres flere nye råstofgrave – der dermed vil udgøre et større pres på landskabet. Nogle steder i Danmark medfører manglen på sand og grus til vej- og anlægsbyggeri, at råstofferne må transporteres over store afstande. Der er derfor en både miljø- og samfundsmæssig interesse i, at råstofferne i de enkelte grave udnyttes fuldt ud ved bl.a. at indvinde råstofferne under grundvandsspejlet, såfremt det kan ske på en miljømæssig forsvarlig måde uden kvalitetsmæssige konsekvenser for grundvandet.

Der findes kun meget lidt publiceret litteratur, der på baggrund af analyser og undersøgelser beskriver og dokumenterer, om råstofindvinding under grundvandsspejlet medfører konsekvenser for grundvandets kvalitet. Region Hovedstaden og Region Midtjylland har derfor, med rådgivningsfirmaet COWI, undersøgt hvilke konsekvenser det har for grundvandskvaliteten at indvinde sand og grus under grundvandsspejlet.

Potentielle risici ved indvinding

Når der indvindes sand og grus fjernes de jordlag, som udgør grundvandsmagasinet naturlige beskyttelse, og det kan medføre risiko for forurening af grundvandet. Når grundvandsspejlet blottes, tilføres der atmos-

færisk ilt til både grundvandet og de råstoffer der indvindes, og det kan påvirke den kemiske sammensætning af vandet i den sø, der dannes.

For at undersøge om grundvandets kemi ændres, er vandet i en række søer opstået som følge af råstofindvinding undersøgt. Projektet er opdelt i to faser. Projektets fase 1 omfatter gennemgang af litteratur om metoder og konsekvenser ved indvinding af råstoffer under grundvandsspejlet. Desuden identificeres en række mulige grundvandsmæssige problemer, der kan være et resultat af råstofindvinding /1/. På baggrund af projektets fase 1 blev det besluttet at undersøge følgende fire risici:

- Oliespild fra maskiner og lignende under råstofindvinding
- Kystnær optrængning af saltvand som følge af sænkning af grundvandsspejlet i forbindelse med vådgravning
- Oxidation af pyrit (FeS_2) på grund af tilgang af atmosfærisk ilt til tidligere vandmættede sedimenter
- Forurening af råstofgravesøer med pesticider pga. overfladeafstrømning fra markarealer.

Der blev i projektets fase 1 peget på yderligere forhold, der kan påvirke grundvandskvaliteten /1/. Disse omfatter kortslutning af grundvandsmagasiner, dvs. at der skabes kontakt mellem et øvre og nedre grundvandsmagasin, udlægning af muld ved efterbehandling

af råstofgrave samt ændringer i grundvandsspejlets niveau. Disse forhold kan være et opmærksomhedspunkt, men er ikke undersøgt i nærværende undersøgelse. Påvirkning af grundvandsspejlets niveau som følge af råstofindvinding er undersøgt på én af de seks lokaliteter, men resultaterne er ikke inddraget i denne artikel.

Undersøgelse af søer i råstofgrave

De fire problemstillinger oliespild, saltpåvirkning, pyritoxidation og pesticidpåvirkning er undersøgt i aktive råstofgravesøer, ældre gravesøer samt et antal referencesøer seks forskellige steder i landet (figur 1). Undersøgelserne omfatter dermed områder med forskellig geologi og råstofgrave med forskellige indvindingsmetoder /2/. Påvirkninger af grundvandet er undersøgt ved kemiske analyser af vandprøver udtaget fra gravesøer af forskellig alder, en række referencesøer, sedimentationsbassiner, udledt vaskevand samt i to borer. Samlet omfatter de vandkemiske undersøgelser 80 boringskontrolanalyser, 21 analyser for pesticider og nedbrydningsprodukter, 48 analyser for BTEXN (benzen, toluen, ethylbenzen, xylener og naftalen) og kulbrinter samt 17 analyser for aluminium. På samtlige lokaliteter er der målt pH og ledningsevne. På figur 2 ses en situationsplan for prøveudtagningen ved råstofgraven ved Kongensbro i Silkeborg Kommune. På hvert prøvetagningssted er der udtaget 3 sæt vandprøver, for at reducere usikkerheden.

Vandprøver viser påvirkning af vandets kemi

De fire risici er undersøgt ved at analysere vandprøver, der viser den kemiske sammensætning af grundvandet i gravesøerne. Vandprøverne er sammenlignet med prøver fra referencesøer, der ikke er påvirket af råstofindvinding og dermed antages at repræsentere den upåvirkede grundvandskvalitet.

Oliespild fra maskiner er undersøgt ved analyse af vandprøverne for kulbrinter og BTEXN. Generel påvirkning af vandkemi, herunder påvirkning fra pyritoxidation og saltoptrængning, er undersøgt ved analyser af de kemiske hovedkomponenter. I 4 af de 6 råstofgrave er vandprøverne desuden analyseret for pesticider og pesticiders nedbrydningsprodukter.

Jernsulfidmineralet pyrit (FeS_2), der findes i iltfrie (reducerede) sedimenter, vil, når det ilttes (oxideres), danne syre og udfælde jern som okker ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Det kan ses ved, at sedimenterne farves kraftig rustbrune. Påvirkningen af vandkvaliteten som følge af pyritoxidation kan bl.a. vurderes ud fra vandprøvernes



Figur 1. Oversigtskort der viser placeringen af de undersøgte råstofgrave i Region Hovedstaden og i Region Midtjylland.

indhold af sulfat. En anden følgevirkning af pyritoxidation er, at der dannes svovlsyre. I kalkholdige lag resulterer det i opløsning af kalk og dermed frigivelse af CO_2 og forhøjede koncentrationer af calcium og magnesium. Hvis der derimod ikke er kalk i jordlagene, er resultatet faldende pH-værdier, der øger opløseligheden af de fleste tungmetaller. Iltning af pyrit og den efterfølgende okkerudfældning går langsomt ved lav pH, og det kan medføre, at okkerudfældningen spredes til vandløb, via afløb fra råstofgrave. Pyrit indeholder endvidere urenheder som nikkel og arsen. Disse metaller frigives til omgivelserne, når pyrit oxideres, og det kan medføre vandkvalitetsproblemer. Alle de nævnte påvirkninger af vandkvaliteten kan identificeres ud fra de anvendte analyseparametre.

Oliespild fra maskiner medfører ikke grundvandsforurening

I ingen af de 6 undersøgte gravesøer er der påvist oliestoffer (kulbrinter) over detektionsgrænsen ($5 \mu\text{g/l}$), og der vurderes ikke at være en påvirkning fra maskineri. I to gravesøer, ved Store Rosenbusk og i Kongensbro, er der påvist mindre mængder BTEXN (max. benzen $0,84 \mu\text{g/l}$ og max. xylener $0,19 \mu\text{g/l}$), hvilket overholder både grundvandskvalitetskriteri-

erne /3/ og de generelle miljøkvalitetskrav for ferskvand /4/. I gravesøen ved Store Rosenbusk er BTEXN fundet i både gravesøer og referencesøer og kan dermed ikke relateres til råstofindvindingen. I råstofgraven ved Kongensbro, er der fundet lave koncentrationer af benzen i gravesøen og i et sedimentationsbassin (max. $0,92 \mu\text{g/l}$, grundvandskvalitetskriterium $1 \mu\text{g/l}$). Kilden vurderes ikke at være et direkte spild af olie i gravesøen, da der ikke er konstateret andre oliekomponenter i vandfasen. En mulig kilde kan være en opstrømsliggende asfaltfabrik.

Undersøgelser af vandprøver fra gravesøerne viser, at råstofindvinding under grundvandsspejlet på de undersøgte lokaliteter ikke giver anledning til uacceptabel påvirkning af grundvandet med oliestoffer fra maskiner.

Optrængning af saltvand i gravesøer

På alle 6 lokaliteter er et eventuelt indhold af havsalt i vandprøverne undersøgt ud fra kloridindholdet. I råstofgravesøerne ved Trekanten på Samsø er eventuel saltvandsoptrængning undersøgt med flere analyser i hele vandsøjlets dybde, da der her indvindes sand og grus under kote 0 m på en smal landtange, som har hav på begge sider ($< 500 \text{ m}$ til kysten, figur 1). Der er dermed



Figur 2. Situationsplan for råstofgraven ved Kongensbro i Silkeborg Kommune og placeringen af de udtagne vandprøver i aktive og ældre gravesøer.

potentielt risiko for, at saltvand kan trænge op i gravesøen, når der fjernes materiale, og skabes en sø nær kysten. Der er imidlertid ikke påvist indikationer på opstigning af saltvand, som følge af råstofindvinding på nogen af de undersøgte lokaliteter. På baggrund af de samlede undersøgelser vurderes saltvandsoptrængning ikke at udgøre en væsentlig risiko ved råstofindvinding under grundvandsspejlet (tabel 1).

Pesticider i grundvandet spredes til gravesøer

På fire af de seks lokaliteter er gravesøer og referencesøer undersøgt for indhold af pesticider og nedbrydningsprodukter /5/. I alle de undersøgte råstofgrave er der fundet pesticider og/eller nedbrydningsprodukter i enten gravesøer eller referencesøer. Der er primært fundet ikke godkendte midler, og i nogle referencesøer er der desuden fundet det godkendte stof glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA (aminomethylphosphorsyre). Der er ikke fundet koncentrationer af pesticider i gravesøer eller referencesøer, der overskrider de ferske miljøkvalitetskrav /3/, men nedbrydningsproduktet BAM (2,6-dichlorbenzamid) overskrider i en enkelt gravesø grundvandskvalitetskriteriet ($0,1 \mu\text{g/l}$ /3/). De målte koncentrationer af pesticider er ikke højere i aktive gravesøer end i referencesøer – snarere tværtimod. På en enkelt lokalitet er pesticiderne kun fundet i referencesøer, og ikke i gravesøerne, og godkendte midler er ikke fundet i gravesøerne, men kun i referencesøerne. Stoffernes godkendelsesperiode

og anvendelse i landbruget er en indikator på, om kilden til pesticider i grundvandet skyldes tilløb af pesticidholdigt overfladevand, eller om det er en grundvandsbåren forurening. De konstaterede fund af pesticider i både referencesøer og gravesøer vurderes således at stamme fra en grundvandsbåren påvirkning.

Undersøgelsen viser, at der er fundet pesticider i gravesøerne i koncentrationer som er på niveau med det generelle baggrundsniveau for grundvandet i området. Pesticiderne findes i grundvandsmagasinet og kan derfor også registreres i gravesøerne. Der kan ikke regi-

streres påvirkning med pesticidholdigt overfladevand fra omkringliggende markarealer til gravesøerne, og råstofindvindingen under grundvandsspejlet medfører ikke en forøget belastning af grundvandet med pesticider på de undersøgte lokaliteter.

Pyritoxidation

Omfanget af pyritoxidation og en eventuel efterfølgende påvirkning af vandkvaliteten i søerne er undersøgt ved analyser af i alt 52 vandprøver fra de 6 lokaliteter, der er sammenholdt med de ferske miljøkvalitetskrav /4/. Kun på lokaliteten Tulstrup i Region Midtjylland, der ligger i et okkerpotentielt område, medfører råstofindvindingen oxidation af pyrit i et omfang, som fører til overskridelser af det ferske miljøkvalitetskrav for nikkel (figur 3 og tabel 1). Pyritoxidationen sker primært i forbindelse med vask af råstoffer og i mindre grad som følge af selve råstofgravningen. Grusvasken findeler sedimentet og gør mineralerne mere reaktive samt medfører optimale forhold for iltning (oxidation). Ved oxidation af pyrit frigives der svovlsyre, der medfører faldende pH og dermed stigende opløselighed af nikkel, der kan måles i højere koncentration i vandet. De målte nikkelkoncentrationer i Tulstrup i Region Midtjylland (op til $180 \mu\text{g/l}$) overskrider i gravesøer og udløbsvand både det ferske miljøkvalitetskrav ($3 \mu\text{g/l}$, /4/) og grundvandskvalitetskriteriet ($10 \mu\text{g/l}$ /3/). Cirkulering af pyritholdigt vaskevand gennem udledningssøen medfører desuden, at sulfat overskrider drikkevandskravet /5/. Nikkelproblemet kan afhjælpes ved at hæve



Figur 3. Indvinding af råstoffer under grundvandsspejlet ved Tulstrup i Region Midtjylland.

Table 1. Vurdering af de kemiske analyser af vandprøver på de seks lokaliteter. Påvirkningerne er vurderet i forhold til de ferske miljøkvalitetskrav, grundvandskvalitetskriterier og drikkevandskrav /3,4,5/.

Lokalitet	Oliespild	Saltvandsoptrængning	Oxidation af pyrit	Pesticider
St. Rosenbusk, Allerød	Ingen påvirkning	-	Ingen påvirkning	Ingen påvirkning
St. Havelse, Halsnæs	Ingen påvirkning	-	Ingen påvirkning	Ingen påvirkning
Tulstrup, Hillerød	Ingen påvirkning	-	Ingen påvirkning	Ingen påvirkning
Kongensbro, Silkeborg	Ingen påvirkning	-	Ingen påvirkning	-
Trekanten, Samsø	Ingen påvirkning	Ingen påvirkning	Ingen påvirkning	-
Tulstrup, Ikast	Ingen påvirkning	-	Påvirkning	Ingen påvirkning

pH, eksempelvis ved at kalke vandet. Sulfat kan ikke umiddelbart nedbringes, men det kan anbefales at hente skyllevandet fra en anden og mindre sulfatholdig sø, end den som det udledes til. En anden afhjælpende foranstaltning kunne være at etablere et sedimentationsbassin med udfældning af finkornede partikler, inden skyllevandet ledes videre til en recipient. Påvirkningen fra pyritoxidation aftager hurtigt, idet der i ældre gravesøer blot få år efter at indvindingen er afsluttet, ikke længere kan konstateres forhøjede sulfatkoncentrationer.

På baggrund af undersøgelsen kan det konkluderes, at pyritoxidation er et relevant opmærksomhedspunkt ved råstofindvinding under grundvandsspejlet på okkerpotentielle lokaliteter. Det anbefales at minimere påvirkningen ved at tilrettelægge indvinding og vask af råstoffer, så risikoen for pyritoxidation reduceres, hvilket kan ske gennem vilkår i indvindingstilladelserne. På lokaliteter, som ikke er okkerpotentielle, vurderes der ikke at være behov for særlige tiltag i forhold til at minimere pyritoxidation.

Anbefalinger på grundlag af undersøgelsen

Undersøgelsen af råstofgravene viser, at indvinding af sand og grus under grundvandsspejlet ikke påvirker grundvandet med olie-

stoffer, salt eller pesticider. I okkerpotentielle områder, kan det være nødvendigt at kalke for at forhindre opløsning af jern og nikkel, der frigives pga. pyritoxidation. Undersøgelsen har ikke påvist andre forhold i relation til grundvandskvaliteten, der generelt taler imod, at der indvindes råstoffer under grundvandsspejlet eller for at råstofindvinding stoppes umiddelbart (1 m) over grundvandsspejlet. Ved at indvinde sand- og grusforekomster under grundvandsspejlet, udnyttes ressourcen fuldt ud, så der ikke efterlades kvalitetsråstoffer, som så ikke vil kunne indvindes efterfølgende. De eksisterende grusgrave får længere levetid, hvilket betyder åbning af færre nye råstofgrave og dermed en mindre belastning af landskabet. Gravesøerne, der dannes som følge af råstofindvindingen, kan med efterbehandlingsplanerne bidrage til mere varierede biotoper til gavn for dyr og planter.

Rapporten for projektet kan findes på Region Hovedstadens hjemmeside www.regionh.dk under Miljø, aktuelle projekter for råstoffer.

Referencer

- /1/ Region Hovedstaden 2013. Konsekvenser for grundvandskvaliteten ved indvinding under grundvandsspejlet, Fase 1. Teknisk notat, COWI, januar 2013.
- /2/ Region Hovedstaden og Region Midtjylland 2014.

Konsekvenser for grundvandskvaliteten ved indvinding under grundvandsspejlet. Rapport, fase 2, COWI, november 2014.

- /3/ Miljøministeriet, Miljøstyrelsen. Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand. Opdateret maj 2014.
- /4/ Miljøministeriet 2010. Bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet. BEK nr. 1022 af 25. august 2010.
- /5/ Miljøministeriet, 2014. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. BEK nr. 292 af 26. marts 2014.

CAMILIA SULSBRÜCK er Cand. scient, naturgeograf, fagkoordinator for råstofplanlægning i Klima og Ressourcer, Center for Regional Udvikling i Region Hovedstaden.
E-mail: cs@regionh.dk

LARS G. ERNST er Cand. scient, geolog og arbejder med råstofplanlægning i Miljø, Center for Regional Udvikling, Region Midtjylland. E-mail: lars.ernst@ru.rm.dk

TORSTEN HOLMBOE er cand. scient, geolog ved COWI A/S, Jens Chr. Skous Vej 9, 8000 Aarhus. E-mail: tohm@cowi.dk

NIELS PETER ARILDSSKOV er civilingeniør og Ph.d. i grundvandskemi hos COWI A/S, Visionsvej 53, 9000 Aalborg. E-mail: npa@cowi.dk