

# Teknisk notat

## Råstofindvindingens kvantitative påvirkning af grundvand.

30.august 2011  
Projekt: 30.5403.14

---

Udarbejdet : Tore Stamp Kirkeby  
Kontrolleret : Jakob Qvortrup Christensen og Jesper Albinus  
Vedlagt :  
Kopi til :

---

### 1 FORMÅL

I forbindelse med den regionale råstofplanlægning har Region Syddanmark ønsket at få beskrevet udvalgte miljøpåvirkninger fra råstofindvinding.

På grundlag af de diskussionspunkter der erfaringsmæssigt opstår ved råstofplanlægningen er der lagt vægt på følgende miljøforhold:

- Råstofindvindingens kvantitative påvirkning af grundvandet,
- Råstofindvindingens kvalitative påvirkning af grundvandet,
- Miljøpåvirkningen fra indvinding af vand til grusvask,
- Risiko for grundvandsforurening i forbindelse med råstofindvinding.

Dette notat omhandler råstofindvindingens kvantitative påvirkning af grundvandet ved gravning under grundvandsspejlet.

### 2 SCENARIER FOR RÅSTOFINDVINDING

Påvirkningen af grundvandet på grund af råstofindvinding vil være forskellig afhængig af en lang række forhold. De geologiske forhold ved råstofgraven har indflydelse på hvordan råstofindvindingen foretages og kan have indflydelse på hvordan råstofgraven efterbehandles efter endt råstofindvinding.

Råstofindvinding kan foregå over og under grundvandsspejl. I sagens natur vil råstofindvinding under grundvandsspejlet have den største indflydelse på grundvandet. Det vil typisk være tilfældet både under og efter endt råstofindvinding.

Indenfor Region Syddanmark findes 4 overordnede landskabselementer hvor der foretages råstofindvinding.

- Hedeslette
- Bakkeø
- Weichsel moræneflade
- Senweichsel smeltevandsflade

Grundvandshydrologisk er der stor lighed mellem hedeslette og senweichsel smeltevandsflade samt mellem bakkeø og weichsel moræneflade. Derfor beskrives hedeslette og senweichsel smeltevandsflade sammen og bakkeø og weichsel moræneflade beskrives sammen.

I det følgende er der derfor opstillet fire scenarier, som beskriver råstofindvindings kvantitative påvirkning af grundvandet. Da risici for påvirkning ændres over tid, er det valgt at beskrive de fire scenarier ved forholdene før, under og efter råstofindvinding.

De fire scenarier er:

	Hedeslette (senweichsel smeltevands- flade)			Weichsel moræneflade (bakkeø)		
	Før	Under	Efter	Før	Under	Før
Kvantitativ påvirkning	O U	O U	O U	O U	O U	O U

Ved "før" eksemplet beskrives baseline, dvs. det som de efterfølgende miljøpåvirkninger skal sammenlignes med. Det er valgt, at anvende en arealanvendelse med landbrugsdrift som "før" eksempel. Det vil i langt de fleste tilfælde svare til den aktuelle arealanvendelse. Der er i scenarierne yderligere antaget at landbrugsdriften i "før" tilfældet er intensiv dyrkning af majs.

Under råstofindvinding er der flere faktorer som spiller ind. Især har det en effekt om råstofindvindingen foregår over eller under grundvandsspejlet. I sagens natur vil råstofindvinding under grundvandsspejlet have den største indflydelse på grundvandet.

Efter endt råstofindvinding skal råstofgraven efterbehandles. Afhængig af hvordan råstofindvindingen er foretaget er der stor forskel på den efterfølgende arealanvendelse. De arealer der udgraves vil oftest være landbrugsarealer, og der er en tendens til at sådanne arealer tilbageføres til landbrugsformål efter at råstofindvindingen er afsluttet. Det skyldes primært:

- Landbrugsjord vil have den største økonomiske værdi, frem for natur/rekreative formål.

- Generelt ønske fra lodsejer om efterfølgende at anvende arealerne til landbrugsdrift.

I nogle tilfælde vil en efterbehandling af et råstofgraveområde betyde en etablering af et naturområde med sø eller en kombination af natur og landbrugsdrift. Det vil typisk ske, hvis der har været gravet under grundvandspejl og der er fjernet store mængder materiale.

I det følgende kapitel beskrives de generelle kvantitative påvirkninger af grundvandet ved råstofgravning, hvorefter der ses på de forskellige typologier som nævnt ovenfor.

### 3 PÅVIRKNING AF GRUNDVANDSKVANTITETEN

Den tilgængelige grundvandsmængde i et givent område afhænger af en lang række faktorer. I forbindelse med råstofindvinding ændres en række af disse faktorer, og forståelsen for hvorledes disse påvirker grundvandet, er derfor en forudsætning for, hvorledes råstofindvinding som aktivitet vil påvirke grundvandet. Indledningsvist beskrives således de betydende faktorer.

Det antages at arealanvendelsen før råstofindvindingen påbegyndes, er konventionelt drevet landbrug. Efter indvindingen vil arealanvendelsen være en kombination af:

- Landbrug
- Natur
- Sø

#### 3.1 Fordampning

De tre typer af arealanvendelse vil have forskellig betydning for den aktuelle fordampning, hvilket vil influere på størrelsen af grundvandsdannelsen.

Den aktuelle fordampning kan i mange tilfælde være højere end reference fordampning (potentiell fordampning). De fleste landoverflader vil i perioder have en fordampning som er 10-20% højere end referencefordampningen. "Referencefordampning defineres som fordampningen fra en udbredt overflade af kortklippet og optimalt vandforsynet græs, som dækker overfladen helt og som er i aktiv vækst." /12/. Den aktuelle fordampning beskriver fordampning fra både jord og vegetation.

For indledningsvis at få en fornemmelse for størrelsesordenen af fordampning er der i nedenstående angivet den samlede fordampning – det vil sige interceptionstabet samt fordampningen fra jord og vegetation for forskellige vegetationer, /12/:

- For gran fordamper typisk 80% af nedbøren.
- For løvskov fordamper typisk 60% af nedbøren.
- For lyng fordamper typisk 40% af nedbøren.
- For landbrugsafgrøder fordamper typisk 45-55% af nedbøren.

Interceptionstabet er nedbør, der fanges af grene og blade eller nåle og fordampes herfra uden at ramme jorden. Interceptionstabet er særligt stort for skov og andre vegetationer med stor overfladeruhed (højde og overflade).

De tre typer arealanvendelse vil kort blive gennemgået i det følgende:

### 3.1.1

#### Landbrug

Der er i oplægget lagt op til at landbrugsdrift svarer til intensiv dyrkning med majs som afgrøde. Majs har en lang vækstsæson.

Dyrkning med majs vil i vækstsæsonen betyde en større fordampning end referencefordampning. I de perioder på året, hvor plantedækket på marken er størst vil fordampningen fra vegetationen også være højest og overfladeruheden størst. I vækstsæsonen vil den aktuelle fordampning overstige referencefordampningen med 5-15% /12/.

### 3.1.2

#### Natur

Natur kan være skov, hede, enge, vådområde og meget andet. De vil hver især have forskellig indflydelse på den aktuelle fordampning.

Skov vil have en større højde (og dermed større overfladeruhed) og er samtidig en permanent vegetation, hvorfra der kan ske fordampning hele året. Skov vil typisk betyde en 10-20% højere aktuel fordampning end referencefordampning. Den aktuelle fordampning vil være størst ved nåleskov og mindre ved løvskov. Særligt interceptionstabet er stort ved skov.

Fordampning fra enge og vådområder er ofte af samme størrelse som eller større (op til 20%) end referencefordampningen. Det skyldes blandt andet, at vandtilgængeligheden sjældent er begrænset og vegetation vil have en større ruhed end referenceoverfladen (kort græs), idet den ofte er højere.

Fordampningen fra tør natur er i samme niveau som fordampning fra uvan-det græs i landbrugsområder /15/, næsten svarende til referencefordampningen.

### 3.1.3

#### Sø

Vandbalancer for søer (i dette tilfælde gravesøer) er præget af stor usikkerhed idet to af parametrene i vandbalancen er svære at vurdere og måle. De to parametre er søens udveksling med grundvand og fordampning fra søen. Udveksling med grundvand kan estimeres ved brug af potentiale- eller seepagemålinger, men idet det er punktmålinger kan det være vanskeligt at overføre til et kvantitativt mål for hele søen. Fordampning fra søen måles ikke, men bliver oftest bestemt som "sidste ubekendte" i en massebalancebetragtning.

Der vil være en tydelig sæsonvariation i fordampningen fra søen, hvor den største fordampning vil ske hen over sommeren og den laveste om vinteren. Fordampningen vil overstige mængden af nedbør i sommerperioden.

Fra søfladen vil der ske en fordampning, som afhænger af flere klimatiske parametre, såsom vind, temperatur, luftfugtighed, men også søens geometri har indflydelse, jo større areal jo større fordampning mv. Miljøprojekt nr. 526 /6/ gennemgår kort en artikel, hvor der er eksempler på fordampning fra grusgravsøer under sammenlignelige klimatiske forhold som i Danmark. Den generelle tendens ifølge Miljøprojektet er, at den årlige fordampning er 10-15% mindre end nedbøren. Svarende til at der fordamper mellem 85-90% af nedbøren.

Der er i en udgivelse af Naturstyrelsen /13/, blevet simuleret en vandbalance for Vedsted sø syd for Haderslev. Søen minder om en gravesø, idet den er uden tilløb eller afløb, men den har dog et mindre kildevæld. Søen har et overfladeareal på 7,7 ha og er op til 12m dyb.

I simuleringen for året 2007 er beregnet en fordampning på ca. 60-70% af nedbørens størrelse. Man skal dog være varsom med at overføre tallet direkte til en gravesø, idet Vedsted sø har et større areal og har nogen vegetation langs søbredden. Vandudvekslingen med grundvandet er ved en naturlig sø typisk lavere, på grund af et naturligt bundlag med en lavere konduktans end tilfældet med en aktiv gravesø under grundvandsspejl.

### 3.1.4 Summering fordampning

For at konkretisere betydningen af fordampning er der udført tre beregnings-eksempler for forskellige arealanvendelser.

Arealanvendelse	Fordampning % af nedbøren	Nettonedbør ved en nedbør på 1000mm/år	Volumen på et 500mx500m areal [m <sup>3</sup> ]
Landbrug, majs	55% (ref./12/)	450 mm	112.500
Natur	40-80% (ref./12/)	200-600 mm	50.000-150.000
Sø	85-90% (ref./6/)	100-150 mm	25.000-37.500

Tabel 3.1. Fordampning og nettonedbør for tre arealanvendelser.

Som det fremgår af Tabel 3.1, ses der er markante forskelle på den beregnede nettonedbør ved forskellige arealanvendelser. Lavest er nettonedbøren for sø og højest for tør lav natur, såsom lyng. I oplægget regnes med at graveområder i Region Syddanmark har et areal på 500mx500m, hvis nettonedbøren fordeles på det areal, ses at der volumenmæssigt kun er en mindre forskel.

Sammenholdes de relativt små forskelle i volumen med de usikkerheder som er forbundet med beregning af nettonedbør, vurderes det at fordampning ingen indflydelse har på vandbalancen for et afgrænset lille graveområde.

### 3.2 Fjernelse af overjord og umættet zone

I forbindelse med råstofindvindingen vil det tynde overjordslag blive skrabet af og lagt i depot inden råstofindvindingen iværksættes. Den umættede zone vil mindskes i takt med råstofindvindingen.

#### 3.2.1 Evapotranspiration og overfladeafstrømning

Mens råstofindvindingen pågår, vil vegetationen i råstofgraveområdet være sparsom, hvilket medfører at fordampningen fra vegetation (evapotranspiration) i vækstsæsonen vil mindskes.

Både den mindskede overjordstykkel og den mindskede evapotranspiration kan medføre en øget grundvandsdannelse.

I Finland anslår /4/ at den mindskede evapotranspiration i graveområder kan betyde at 60-70% af nedbøren går til grundvandsdannelse, sammenlignet med 50-60% i et område uden råstofindvinding. De tal vurderes i store træk at kunne overføres til danske forhold og er samme størrelse. Hvilket betyder en øgning i grundvandsdannelse på 10-20% indenfor det aktive råstofområdet, .

Det vurderes, at den øgede grundvandsdannelse kun vil have meget lille indflydelse på vandbalancen på grund af gravearealets størrelse. I et varmere klima, såsom Florida vil en ændret evapotranspiration være insignifikant i forhold til fordampningen /5/.

Lidt afhængigt af geometrien af råstofgraven kan det også betyde en mindskning af overfladeafstrømning fra området. Fjernelsen af vegetationen vil godt nok øge overfladeafstrømningen, men idet overjorden er fjernet og der graves i området vil råstofgraven virke som dræn.

#### 3.2.2 Vandets transport i den umættede zone

Ved råstofgravning bortgraves den umættede zone helt eller delvist. Hydraulisk vil det have den betydning at opholdstiden i den umættede zone vil mindskes (kortere vej til grundvandsspejlet).

Ved råstofindvinding er det almindeligt, at dele af det opgravede materiale tilbagelægges. På eksempelvis hedesletter er det normalt, at 10-50 % af det opgravede sediment (i form af den mest grovkornede fraktion, grus) indvindes, mens sandfraktionen tilbagefyldes. Efter indvinding vil en del af den mættede zone således bestå af et mere velsorteret og finkornet sediment, hvilket kan medføre en lidt ændret horisontal transport af grundvand. Permeabiliteten vil mindskes og dermed øge opholdstiden i den forstyrrede del af den umættede zone.

Afhængigt af hvor meget materiale som er fjernet fra den umættede zone vil de to påvirkninger have en modsatrettet effekt på opholdstiden, som gør, at opholdstiden kun vil ændres minimalt. Hvis den umættede zone mægtighed er blevet væsentligt mindre vil opholdstiden samlet set mindskes. I den stationære situation vil den ændrede opholdstid dog ikke betyde noget for størrelsen af den årlige grundvandsdannelse.

### 3.3 Etablering af gravesø

Når råstofsøen etableres og under den fortsatte gravning vil vandbalancen omkring søen ændre sig. Det vil have en omgående effekt på grundvandspejlet, når materiale fjernes fra råstofsøen. For hver kubikmeter råstof som fjernes vil der blive plads til  $0,75 \text{ m}^3$  vand ved en effektiv porøsitet på 25%. Ved effektiv porøsitet forstås det porevolumen, der kan afdrænes umiddelbart, dvs. eksklusiv det vand, der er bundet til det bortgravede materiale.

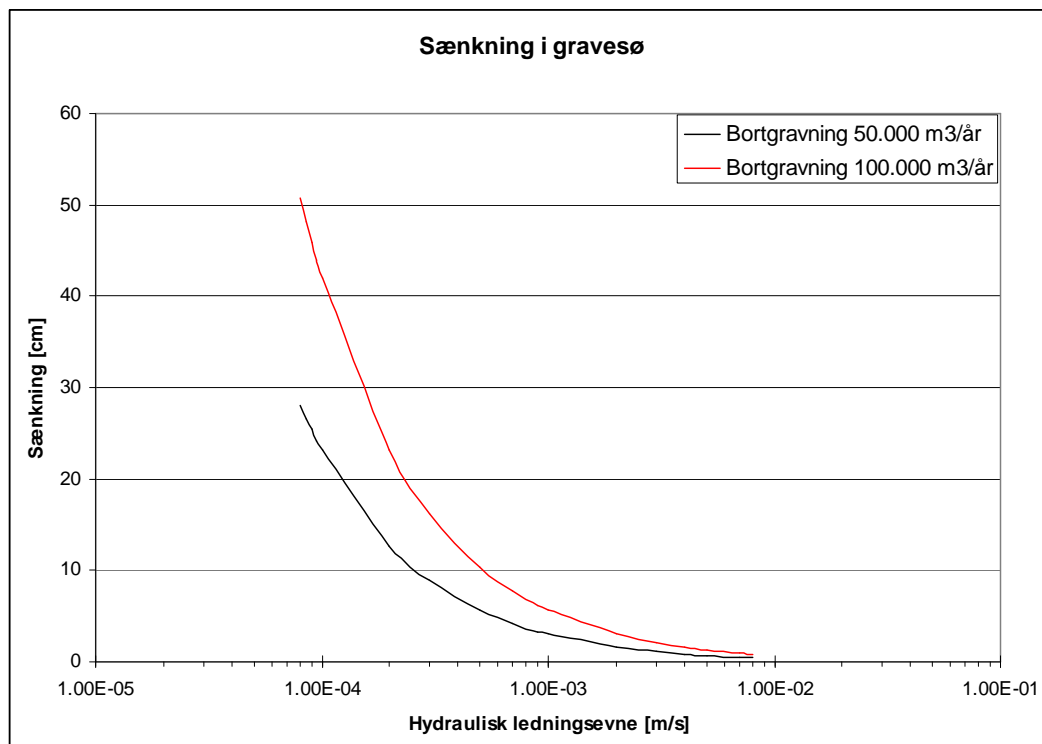
Der er indikation for at påvirkningen vil være størst ved etableringen af råstofsøen. Når råstofsøen er etableret dæmper magazineffekten i søen effekten af fjernelse af materiale /6/.

#### 3.3.1 Under gravning

Under gravning i søen vil der være en tilstrømning af vand fra grundvandsmagasinet til graven langs alle sider, fordi der sker en fjernelse af materiale og dermed en sænkning af søens vandspejl. Det vil indebære en lokal sænkning af grundvandsspejlet omkring råstofgraven. I Miljøprojekt nr. 526, /6/, er opstillet ligninger til beregning af sænkningen i råstofgravesøen og det omkringliggende grundvandsmagasin under gravning. Ligningerne og forudsætninger vil ikke blive gennemgået, men der henvises til Miljøprojektet.

Figur 3.1 viser "den værst tænkelige" sænkning ved forskellige hydrauliske ledningsevner i det bortgravede materiale og ved to forskellige bortgravningshastigheder. Det er forudsat at gravningen starter på et givent tidspunkt og fortsætter til aktiviteten ophører. På figuren er det forudsat at gravningen sker over årets 365 dage, hvilket ikke er helt reelt. Sænkningerne vil være større, hvis bortgravningen af samme mængde sker over kortere tid og i sammenhæng. I praksis vil der være pauser i gravningen, som gør at vandspejlet reetableres helt eller delvist inden gravning starter igen.

Som det fremgår af figuren har den hydrauliske ledningsevne stor indflydelse på sænkningens størrelse i gravesøen. Jo højere ledningsevne grundvandsmagasinet har, jo mindre sænkning vil observeres.



Figur 3.1. Sænkninger i gravesøen ved henholdsvis forskellige ledningsevner og bortgravning af forskellige råstofmængder. Sænkningerne er at betragte som "Worst case" sænkninger. Figuren er beregnet på baggrund af følgende ikke varierede parametre: Tykkelse af vandmættet magasin = 34m, effektiv porøsitet = 0,2.

Sænkningen i det omkringliggende grundvandsmagasin vil på grænsen til gravesøen være den samme som i søen. Sænkningen i grundvandsmagasinet vil mindskes med afstanden til gravesøen. Sænkningen i magasinet er desuden tidsafhængig.

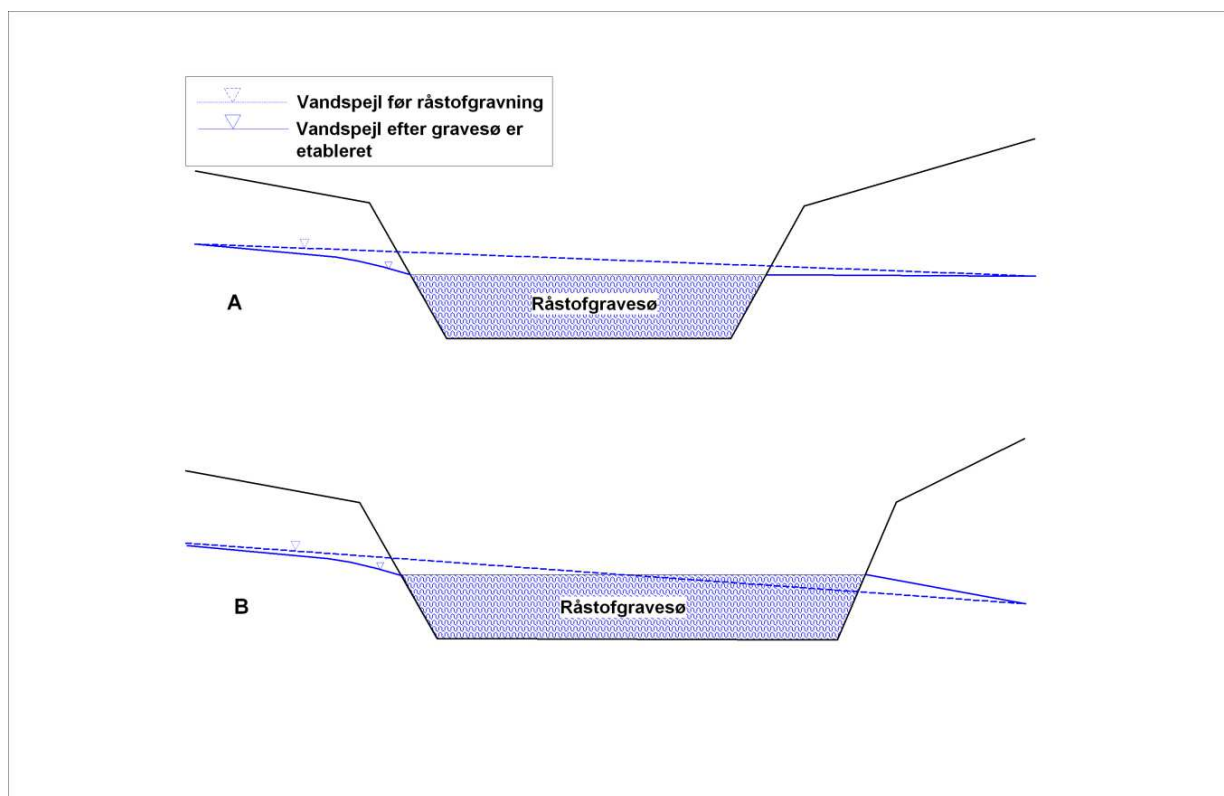
### 3.3.2

#### Pauser i råstofgravning eller afslutning af råstofgravning

Ved pauser i råstofindvinding vil vandstanden i gravesøen helt eller delvist reetableres. Gradienten vil indledningsvis være stejl opstrøms gravesøen og mere flad nedstrøms gravesøen, i forhold til grundvandets gradient før etablering af gravesø. Svarende til at der sker en tilstrømning opstrøms gravesøen og en lille eller ingen udstrømning nedstrøms graven. Se Figur 3.2A.

Ved en fuld reetablering af vandstanden i gravesøen vil vandstanden ideelt set svare til gennemsnittet af grundvandsstanden ved ind- og udstrømningszonen fra før gravesøen blev anlagt /7/. Se Figur 3.2B.





Figur 3.2 To eksempler på udviklingen i grundvandsspejlet ved pauser i gravningen af råstoffer.

Hvis gradienten på grundvandsspejlet er høj eller råstofgraven er lang i grundvandets naturlige strømningsretning eller der kun sker en lille råstofindvinding kan det ske at grundvandsstanden opstrøms graven mindskes (indstrømnings zone). Nedstrøms graven, kan det medføre at gravesøens vandniveau kan komme til at ligge højere end grundvandsspejlet i magasinet, hvorved der kan ske en udstrømning af vand fra graven til grundvandsmagasinet, se Figur 3.2B, (17/, 18/, 19/).

I nogle tilfælde vil efterbehandlingen eller den naturlige proces ved gravningen indebære, at der udlægges/fremkommer et lag med lavere hydrauliske ledningsevne i bunden af søen. Laget vil typisk bestå af udsortet fint materiale fra råstofgraven. Laget vil "isolere" søen fra det omgivende grundvandsmagasin og derved minimere søens indflydelse på potentialet i grundvandsmagasinet. I de fleste tilfælde vil laget udelukkende skabe en forsinkelse i vandudvekslingen mellem sø og grundvandsmagasin. Forsinkelsen kan skabe stejlere gradienter i grundvandsmagasinet tæt ved søen og derved sikre at søens indflydelse på grundvandsspejlet minimeres i større afstand fra søen.

### 3.3.3

#### Nedbørshændelsers påvirkning af vandstanden i råstofgraven

Under nedbørshændelser vil gravesøen modtage nedbør direkte. Uden for gravesøen vil der være en forsinkelse på regnvandet, idet det infiltrerer til grundvandsmagasinet gennem den umættede zone. Derfor vil vandstanden i søen stige og der vil ske en udstrømning ud af søen.

Når nedbøren senere når grundvandsspejlet vil vandstanden i grundvandsmagasinet stige hurtigere end i søen på grund af den lavere porøsitet i grundvandsmagasinet. Grundvand vil derfor løbe mod gravesøen.

### 3.4 **Naturlige fluktuationer af grundvandstanden eller trykniveauet i grundvandsmagasinet.**

Der vil være naturlige fluktuationer i grundvandsstanden/trykniveauet i mange grundvandsmagasiner. Fluktuationerne skyldes forskellige årsager eller kombinationer af årsager.

Der vil ofte være en sæsonvariation over året, som afspejler nedbørsmønstret, og især ændringer i fordamning henover året. I vækstsæsonen og i sommerperioden vil der ske en større fordamning, som vil medføre en lavere grundvandsdannelse. Det medfører, at grundvandstanden eller trykniveauet typisk falder henover sommeren med et minimum omkring september måned. Henover vinteren, hvor fordamningens indflydelse mindskes vil grundvandstanden øges og trykniveauet vil nå et maksimum i løbet af foråret.

Naturlige ændringer i atmosfære tryk vil også påvirke grundvandsmagasineres grundvandstand eller trykniveau. Trykniveauet i pejleboringer i spændte eller artesiske grundvandsmagasiner kan påvirkes ved ændringer i atmosfære tryk. Sammenhængen er invers, idet en stigning i atmosfære tryk vil medføre fald i trykniveau i observationsboringer. Udsvingene kan være op til 20-30 cm.

Ændringer i atmosfære tryk kan også medføre mindre variationer i grundvandstanden i grundvandsmagasiner med frie trykforhold. Ændringerne i frie magasiner vil ofte kun være få centimeter. /14/.

Kraftige nedbørshændelser kan også skabe ændringer i vandstanden i terrænnære grundvandsmagasiner med frie trykforhold. Ofte vil det dog ikke være selve vandmængden, som skaber en højere vandstand i pejleboringer, men mere en øgning i tryk af den indespærrede luft mellem grundvandsspejlet og den våde regnvands front i den umættede zone.

Trykniveauet i grundvandsmagasiner med en beliggenhed tæt på kysten kan være influeret af tidevand. Der vil være en forsinkelse i ændringer, ligesom størrelsen vil afhænge af den hydrauliske kontakt mellem havet og grundvandsmagasin.

## HEDESLETTE

Det er valgt at bruge Tinglev Hedeslette som eksempel. Tinglev Hedeslette er en sydvestjysk proximal hedeslette. Det er typisk i de proximale dele man vil indvinde råstoffer pga. det generelt højere indhold af grus og sten i forhold til indholdet i den distale del af hedesletten. Eksemplet er baseret på KUPA's beskrivelse af sandjorde /1/.

Hedesletten udgøres af sandede jorder med et meget lille lerindhold, hvor podsoller er den dominerende jord-type. Muldlaget vil være op til 30 cm. Overfladen vil endvidere oftest være meget veldrænet, med lav hældning. Magasinets samlede mægtighed kan være mere end 100 meter.

Det primære grundvandsspejl vil findes tæt på terræn, ca. 1-4 mut. Gradienten på grundvandsspejlet er lille, i størrelsen 1-2 promille. Grundvandsmagasinet vil have trykforhold som et frit magasin, med en effektiv porøsitet på omkring 25%. Ændringer i atmosfæretryk kan skabe mindre fluktuationer i grundvandsspejlet. Der vil normalt være naturlige sæsonvariationer på grundvandsspejlet, med det lavest observerede tryk i de tidlige efterårsmåned og de højeste i løbet af vinteren eller det tidlige forår.

Den hydrauliske ledningsevne for hedesletten kan variere fra  $10^{-3}$  til mindre end  $10^{-5}$  m/s. Som et simpelt logaritmisk gennemsnit er anvendt  $10^{-4}$  m/s, svarende til mellemsand. Den anvendte ledningsevne er realistisk, men vurderes til at være i den lave ende for råstofferne på hedesletten. Hvis den hydrauliske ledningsevne er højere i magasinet/råstofgraven vil påvirkningen af grundvandsstanden i magasinet alt andet lige blive mindre og vice versa.

Klimaet er karakteriseret ved en høj årsnedbør på helt op til 1000 mm i gennemsnit. Ca. halvdelen af nedbøren fordamper, så nettonedbøren for området, er ca. 475 mm/år /2/ og /10/. Grundvandsdannelsen på hedesletten varierer afhængigt af kildeangivelse. I basisanalysen for Sønderjyllands amt (2004) angives grundvandsdannelsen til 380 mm ved Tinglev hedeslette, /13/. I data anvendt til trin1 kortlægning for Feldsted-Sundeved og Løgumkloster angives grundvandsdannelsen til et gennemsnit på ca. 250 mm. Begge datasæt bygger på data fra DK-modellen, for grundvandsforekomsten Tinglev Hedeslette, hvor lag 2 er anvendt til at repræsentere det øvre kvartære magasin. I notatet er der anvendt et gennemsnit for grundvandsdannelse på 310 mm/år for hedesletten.

Grundvandsdannelsen vil ofte være negativ i tilknytning til vandløb, idet der ofte vil være en opadrettet gradient ved vandløb på hedesletten. Hedesletten er typisk ikke drænet, men omkring vandløb og vådområder kan der være en stor mængde grøfter/dræn som dræner opsvivende grundvand til vandløbet.

Ved at antage, at et kommende graveareal har dimensionen 500m x 500m, kan der ved brug af Darcys lov beregnes en årlig vandmængde som gennemstrømmer det kommende graveområde.

Der antages: Tykkelse af vandmættet magasin = 34m, hydraulisk ledningsevne =  $1 \times 10^{-4}$  m/s, gradient = 2‰, graveareals bredde på 500m.

Dette vil give en vandmængde på lidt mere end 100.000 m<sup>3</sup>/år som gennemstrømmer magasinet i gravområdets tværprofil.

Før råstofgravning vil der være en grundvandsdannelse i størrelsesordenen 77.000 m<sup>3</sup> på gravearealet. Hvis det omregnes til et vandvolumen som tilføres momentant i jordmatrix vil det svare til ca. 1,2 meter vandmættet magasin på gravearealet, ved en effektiv porøsitet på 0,25.

Grundvandsdannelsen og den mængde vand som gennemstrømmer gravearealet er i samme størrelsesorden. Tallene bruges i det senere kapitel 4.2.

#### 4.1 Hedeslette – råstofindvinding over grundvandsspejl

Arealanvendelsen før og efter råstofgravning vil være intensiv landbrugsdrift.

Det vurderes, at råstofindvinding over grundvandsspejlet ikke vil medføre en hydraulisk påvirkning af grundvandet på hedesletten. Dette er gældende både under og efter endt råstofindvinding.

Tabel 4.1 opsummerer konsekvensen ved gravning over grundvandsspejlet på forskellige hydrauliske og hydrologiske parametre ved en sammenligning med baseline, som er situationen før råstofindvinding.

	<b>Før råstofindvinding / baseline</b>	<b>Under råstofindvinding</b>	<b>Efter råstofindvinding</b>
<b>Mægtighed umættet zone</b>	Lille mægtighed (1-4 m)	Mindskes	Mindsket
<b>Grundvandsspejl niveau</b>	Tæt på terræn (1-4 m.u.t.)	Uændret	Uændret
<b>Grundvandsspejl gradient</b>	Lille gradient	Uændret	Uændret
<b>Grundvandsmagasin trykforhold</b>	Frit	Uændret	Uændret
<b>Evapotranspiration</b>	-	Mindskes, neglicibel	Uændret
<b>Fordampning</b>	-	Uændret *	Uændret *
<b>Vandbalance</b>	-	Uændret	Uændret

\* evt. kan fordampningen stige svagt, når den umættede zone bliver tynd.

Tabel 4.1 *Konsekvens på berørte hydrauliske parametre ved gravning over grundvandsspejlet i tilfældet under og efter råstofindvinding sammenlignet med baseline "før råstofindvinding".*

#### 4.2 Hedeslette – råstofindvinding under grundvandsspejl

##### 4.2.1 Før indvinding

Området vil være præget af intensiv landbrugsdrift.

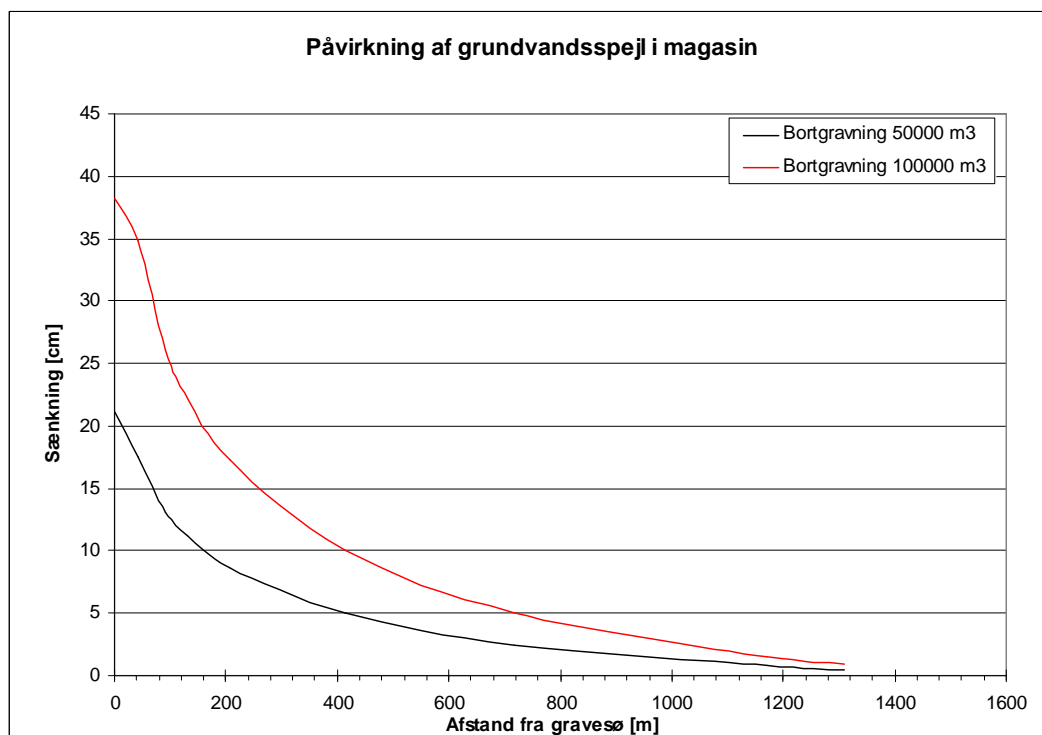
Yderligere beskrivelse ses i ovenstående generelle afsnit om hedesletten.

#### 4.2.2 Under indvinding

Når råstofsøen etableres og under den fortsatte gravning vil vandbalancen omkring søen ændre sig. I afsnit 3.3 er forskellige faktorer gennemgået, som har betydning for ændringer vandstanden i søen og det omkringliggende magasin.

På Figur 4.1 er illustreret to forventede sænkingsforløb ved en kontinuerlig afgravning over et år med to forskellige afgravningsmængder. I realiteten er kurverne udtryk for maksimale sænkninger i grundvandsmagasinet, idet påvirkningen af grundvandsspejlet i magasinet er en funktion af grundvandsstanden i gravesøen. Der er anvendt en "worst case" sænkning i råstofgravesøen, se evt. afsnit 3.3.1. Afstanden 0 meter fra gravesøen svarer til grænsefladen mellem gravesø og grundvandsmagasin.

I den generelle beskrivelse af Hedesletten, afsnit 4, er beregnet den vandmængde som strømmer igennem graveområdet pr. år. Sammenlignes det tal på ca. 100.000 m<sup>3</sup> vand om året med det volumen som skabes ved at fjerne 50.000-100.000 m<sup>3</sup> råstof om året, ses at det bortgravede volumen udgør op til 75% af den årlige grundvandsstrømning. Det medfører, at systemet er følsomt og reetablering af vandstand vil kun ske langsomt. Grundvandsstrømningen vil dog øges lokalt på grund af ændrede gradientforhold tæt omkring søen.



Figur 4.1 Sænkning i grundvandsmagasinet, som funktion af afstanden til gravesøen. Forudsætninger: Råstofmængden fjernes med samme tempo over tiden 1 år. Figuren er beregnet på baggrund af følgende ikke varierende parametre: Tykkelse af vandmættet magasin = 34m, effektiv porøsitet = 0,25, hydraulisk ledningsevne =  $1 \times 10^{-4}$  m/s.

#### 4.2.3 Efter råstofindvinding

Når råstofindvindingen er tilendebragt vil området blive reetableret. Reetableringen vil typisk bestå af en udglatning af terrænet og en tilbagelægning af overjorden. Der er begrænsninger i efterbehandlingen idet det må forventes at der er dele af arealet som kun kan efterbehandles til sø/natur. Andre dele af arealet kan efterbehandles til jordbrugsformål. I oplægget til denne beskrivelse af miljøforhold, er der lagt op til endelig efterbehandling på 50% sø, 10% natur og 40% landbrugsareal med intensiv dyrkning af majs. Det betyder, at den endelige arealanvendelse er ændret i forhold til før råstofindvinding. Dette vil have en konsekvens for de hydrauliske forhold i området. Søens geometri antages at være 250 x 500 m

Generelt vil den umættede zones tykkelse mindskes i forhold til før råstofindvindingen, idet der er fjernet materiale fra graveområdet. Det kan have indflydelse på opholdstiden i den umættede zone jævnfør afsnit 3.2.2.

Søen vil interagere med grundvandsmagasinet og søen vil, som beskrevet ved Figur 3.1 påvirke grundvandsspejlet lokalt. Grundvandsspejlets potentialelinier vil konvergere mod søens grundvandsspejl. Påvirkningen afhænger i høj grad af gradienten på det uforstyrrede grundvandsspejl og råstofgravens geometri, i særdeleshed om råstofgraven er etableret på langs eller tværs af grundvandets strømningsretning. Grundvandstanden i søen vil ideelt set indstille sig naturligt ca. midt trykniveauet mellem baseline trykniveauet ved ind- og udløb af søen (Figur 3.2B). Lavere opstrøms søen (ved indløbet til) søen og højere nedstrøms (ved udløbet fra) søen. Med en gradient på 2 ‰ vil det give 1 meter i forskel over 500m sø (på langs af grundvandets strømningsretning). Det betyder at trykniveauet vil ændres op til en ½ meter ved henholdsvis ind- og udløb fra søen efter endt råstofgravning. Hvis søen anlægges på tværs (250m sø) vil forskellen i stedet være op til ¼ meter ved ind- og udløb fra søen efter endt råstofgravning

Efter endt råstofgravning vil vandbalancen være ændret i forhold til det uberørte areal (baseline). Grundvandsdannelsen må forventes at være lidt mindre, idet arealanvendelsen sø og, i mange tilfælde, natur begge vil øge den aktuelle fordampning i forhold til landbrugsdrift (baseline), se evt. afsnit 3.1. Helt lokalt kan det have en betydning i forhold til eksempelvis følsom natur, men set over en regional vandbalance betragtning har den mindre grundvanddannelse ingen indflydelse.

#### 4.2.4 Opsummering gravning under grundvandsspejl på hedesletten

Imens råstofgravning foretages, må forventes en variation i grundvandstanden i både søen og i grundvandsmagasinet. Observerede sænkninger vil være størst i råstofgravesøen og vil mindskes i grundvandsmagasinet med afstanden til søen. Figur 4.1 viser sænkninger i afstanden 200 meter fra gravesøen på 9 og 17 cm ved henholdsvis en bortgravning på 50.000 og 100.000 m<sup>3</sup> råstof pr år ved en kontinuerlig afgravning. Pauser i råstofgravning vil medføre en udglatning af sænkningerne, idet afbrydelser vil sikre, at grundvandstanden i magasinet og søen delvist vil blive reetableret. Vandstanden vil kun langsomt blive genetableret under gravning, idet grundvandstrømningen igennem graveområdet er i samme størrelsesorden som det volumen som bortgraves.

Trykniveauet i grundvandsmagasinet vil konvergere mod vandstanden i gravesøen. Typisk vil trykniveauet opstrøms gravesøen blive lidt lavere end før råstofgravning og nedstrøms vil trykniveauet blive nær ved eller lidt lavere end trykniveauet fra før etablering af gravesøen.

Efter endt råstofgravning og reetablering af området vil trykniveauet lokalt omkring søen være ændret. Der må forventes ændringer i trykniveau på op til ½ meter ved randen af søen i forhold til baseline.

Tabel 4.1 opsummerer konsekvensen ved vådgravning på forskellige hydrauliske parametre ved en sammenligning med baseline, som er situationen før råstofindvinding.

	<b>Før råstofindvinding/ baseline</b>	<b>Under råstofindvinding</b>	<b>Efter råstofindvinding</b>
<b>Mægtighed umættet zone</b>	Lille mægtighed (1-4 m)	Mindskes, bortgraves helt eller delvis	Mindsket, bortgravet helt eller delvis
<b>Grundvandsspejl niveau</b>	Tæt på terræn (1-4 m.u.t.)	Sænkning observeres og niveau reetableres delvis ved pauser i gravning, reetablering sker langsomt	Sænkning opstrøms søen og stigning nedstrøms søen
<b>Grundvandsspejl gradient</b>	Lille gradient	Påvirkes lokalt	Påvirkes lokalt
<b>Grundvandsmagasin trykforhold</b>	Frit	Uændret	Uændret
<b>Evapotranspiration</b>	-	Mindskes, neglicibel	Mindsket eller uændret
<b>Fordampning</b>	-	Lille stigning, afhænger af geometri på gravesø	Lille stigning, afhænger af geometri på sø
<b>Vandbalance</b>	-	Påvirkning	Lille påvirkning

Tabel 4.2 *Konsekvens på berørte hydrauliske parametre ved vådgravning i tilfældet under og efter råstofindvinding sammenlignet med baseline "før råstofindvinding".*

## 5 WEICHSEL MORÆNEFLADE

Det er valgt at bruge morænefladen ved Bramstrup syd for Odense, som eksempel.

Weichsel moræneflader er præget af stor geologisk variation. De er generelt lerede og kalkholdige. Kalkindholdet ligger mange steder omkring 20% og er udvasket til forskellig dybde.

Ved råstofindvinding graves der op til 5-8 meter overjord af. Mægtigheden af magasinet vil variere fra få meters tykkelse til mere end 10 m.

Det primære grundvandsspejl/trykniveau vil træffes fra terræn, til mere end 8 mut. Gradienten på grundvandsspejlet er i størrelsen 3-5 promille. Trykforholdene på morænefladen vil typisk være under tryk, svarende til artesiske eller spændte forhold. I de stedvise sandede smeltevandsaflejringer kan trykforholdene være frie.

Der vil normalt kun være små naturlige sæsonvariationer på grundvandsspejlet, med det lavest observerede tryk i de tidlige efterårsmåneder og de højeste i løbet af vinteren eller det tidlige forår.

Den hydrauliske ledningsevne for Weichsel sand kan variere mellem  $10^{-3}$  til mindre end  $10^{-4}$  m/s. Som et simpelt logaritmisk gennemsnit er anvendt  $5 \times 10^{-4}$  m/s, svarende til grovsand. Den anvendte ledningsevne er realistisk, men vurderes til at være i den lave ende for weichsel sandet. Hvis den hydrauliske ledningsevne er højere i magasinet/råstofgraven vil påvirkningen af grundvandsstanden i magasinet alt andet lige blive mindre og vice versa.

Normalt vil alle fraktioner fra en råstofgrav på morænefladen udnyttes. Det vil sige der sker ingen tilbagelægning af materialer i grusgraven udover en tilbagelægning af overjord i forbindelse med efterbehandling af råstofgraven.

Klimaet ved Bramstrup er karakteriseret ved en høj årsnedbør på ca. 850 mm i gennemsnit og en referencefordampning på ca. 600 mm (perioden 1990 til 2000). (DMI, 2002) I kildepladsprojekt Lindved /11/, er beregnet en grundvandsdannelse på 185 mm/år til det øverste grundvandsmagasin. Værdien dækker over store udsving indenfor modelområdet, idet grundvandsdannelsen er noget lavere i områder med vandløb. Modelområdet dækker morænefladen ved Bramstrup.

Ved at antage, at et kommende graveareal har dimensionen 500m x 500m, kan der ved brug af Darcys lov beregnes en årlig vandmængde som gennemstrømmer det kommende graveområde.

Der antages: Tykkelse af vandmættet magasin = 10m, hydraulisk ledningsevne =  $5 \times 10^{-4}$  m/s, gradient =  $4 \text{‰}$ , graveareals bredde på 500m.

Dette vil give en vandmængde på lidt mere end 300.000 m<sup>3</sup>/år som gennemstrømmer magasinet i gravområdets tværprofil.

Før råstofgravning vil der være en grundvandsdannelse i størrelsesordenen 45.000 m<sup>3</sup> på gravearealet. Tallene bruges i det senere kapitel 5.2



## 5.1 Weichsel moræneflade – råstofgravning over grundvandsspejl

Arealanvendelsen før og efter råstofgravning vil være intensiv landbrugsdrift.

Det vurderes, at råstofindvinding over grundvandsspejlet ikke vil have en hydraulisk påvirkning af eller på grundvandet på morænefladen. Dette er gældende både under og efter endt råstofindvinding.

Tabel 4.1 opsummerer konsekvensen ved gravning over grundvandsspejlet på forskellige hydrauliske og hydrologiske parametre ved en sammenligning med baseline, som er situationen før råstofindvinding.

	<b>Før råstofgravning/baseline</b>	<b>Under råstofgravning</b>	<b>Efter råstofgravning</b>
<b>Mægtighed umættet zone</b>	Mægtighed (>5-8 m)	Mindskes	Mindsket
<b>Grundvandspejl/tryk-niveau</b>	Fra terræn til mere end 8 m	Uændret	Uændret
<b>Grundvandsspejl gradient</b>	Gradient (3-5 ‰)	Uændret	Uændret
<b>Grundvandsmagasin trykforhold</b>	Spændt/artesisk	Uændret	Uændret
<b>Evapotranspiration</b>	-	Mindskes, neglicibel	Uændret
<b>Fordampning</b>	-	Uændret *	Uændret *
<b>Vandbalance</b>	-	Uændret	Uændret

*Tabel 5.1 Konsekvens på berørte hydrauliske parametre ved gravning over grundvandsspejlet i tilfældet under og efter råstofgravning sammenlignet med baseline "før råstofgravning". \* evt. kan fordampningen stige svagt, hvis den umættede zone bliver tynd, samtidig vil grundvandsdannelsen dog øges svagt.*

## 5.2 Weichsel moræneflade – råstofgravning under grundvandsspejl

### 5.2.1 Før indvinding

Området vil være præget af intensiv landbrugsdrift.

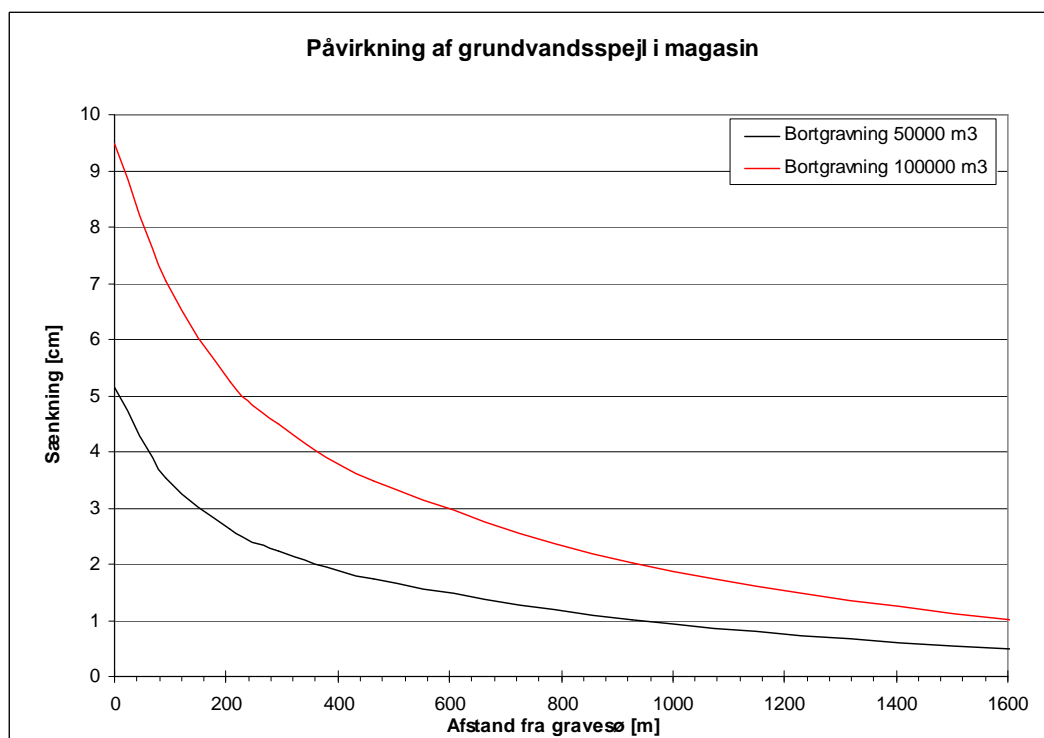
Yderligere beskrivelse ses i ovenstående generelle afsnit om morænefladen.

### 5.2.2 Under indvinding

Der vil oftest være spændte trykforhold på morænefladen. Trykniveauet findes normalt et sted i den overjord som bortgraves inden råstofgravning påbegyndes. Det vil medføre, at trykforholdene vil ændre sig lokalt fra spændte til frie forhold omkring råstofgraven.

Når råstofsøen etableres og under den fortsatte gravning vil vandbalancen omkring søen ændre sig. I afsnit 3.3 er forskellige faktorer gennemgået, som har betydning for vandbalancen og ændringer vandstanden i søen og det omkringliggende magasin.

På Figur 5.1 er illustreret to forventede sænkingsforløb ved en kontinuerlig afgravning over et år med to forskellige afgravningsmængder. I realiteten er kurverne udtryk for maksimale sænkninger i grundvandsmagasinet, idet påvirkningen af grundvandsspejlet i magasinet er en funktion af grundvandsstanden i gravesøen. Der er anvendt en "worst case" sænkning i råstofgravesøen, se evt. afsnit 3.3.1. Afstanden 0 meter fra gravesøen svarer til grænsefladen mellem gravesø og grundvandsmagasin.



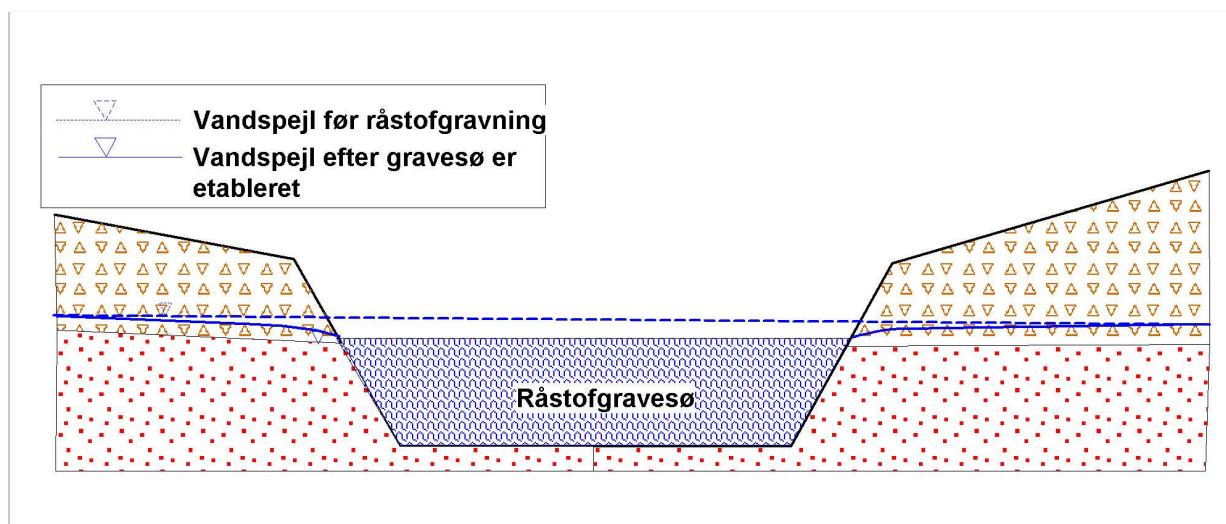
Figur 5.1 Sænkning i grundvandsmagasinet, som funktion af afstanden til gravesøen. Forudsætninger: Råstofmængden fjernes med samme tempo over tiden 1 år. Figuren er beregnet på baggrund af følgende ikke varierede parametre: Tykkelse af vandmættet magasin = 10m, effektiv porøsitet = 0,25, hydraulisk ledningsevne =  $5 \times 10^{-4}$  m/s.

Kurverne på Figur 5.1 er følsomme overfor ændringer i især hydraulisk ledningsevne. Hvis ledningsevnen er mindre end  $5 \times 10^{-4}$  m/s bliver sænkningen større.

I den generelle beskrivelse af Weichsel morænefladen, afsnit 5, er beregnet den vandmængde som strømmer igennem graveområdet pr. år. Sammenlignes det tal på 300.000 m<sup>3</sup> vand om året med det volumen som skabes ved at fjerne 50.000-100.000 m<sup>3</sup> råstof om året, ses at det skabte volumen udgør op til 23% af grundvandsstrømningen.

Det vurderes, at vådgravning på Weichsel morænefladen ikke vil have større effekt på den samlede vandbalance i området. På grund af de antagede gode hydrauliske egenskaber bliver den forventede sænkning lille. Ændringer i trykniveau vil være små, i forhold til naturlige svingninger i trykniveauet. Selve søen danner et område med frie trykforhold, men på grund af kun små fald i trykniveau, vurderes det, at der ikke vil opstå områder omkring råstofgraveområdet, som får frie trykforhold se Figur 5.2. Trykniveauændringer vil forplante sig hurtigere i et spændt magasin end i et frit magasin.

Dette er under forudsætning af, at de hydrauliske strømningsegenskaber svarer til de beskrevne i afsnit 5. Betragtningen er særligt følsom over for den estimerede hydrauliske ledningsevne på  $5 \times 10^{-4}$  m/s for grovsandet.



Figur 5.2 Eksempler på udviklingen i trykniveauet ved gravning af råstoffer i et spændt magasin. Ved pause i gravningen vil grundvandstanden helt eller delvis reetableres.

### 5.2.3 Efter indvinding

Når råstofgravningen er tilendebragt vil graveområdet blive reetableret. Reetableringen vil typisk bestå af bestå af en udglatning af terrænet og en tilbagelægning af overjorden. Der er begrænsninger i efterbehandlingen idet det må forventes, at der er dele af arealet som kun kan efterbehandles til sø/natur. Andre dele af arealet kan efterbehandles til jordbrugsformål.

I oplægget til denne beskrivelse af miljøforhold, er der lagt op til endelig efterbehandling på 25% sø, 5% natur og 70% landbrugsareal med intensiv dyrkning af majs. Det forventes at arealet udlagt til natur vil være i forbindelse med den tidligere råstofsø. Det betyder, at den endelige arealanvendelse er ændret i forhold til før råstofgravning. Dette vil have en konsekvens for de hydrauliske forhold i området.

Generelt vil den umættede zones tykkelse mindskes i forhold til før råstofindvindingen, idet der er fjernet materiale fra graveområdet. Det kan have indflydelse på opholdstiden i den umættede zone jævnfør afsnit 3.2.2.

Søen vil interagere med grundvandsmagasinet og søen vil, som beskrevet ved Figur 3.1 påvirke grundvandsspejlet lokalt. Grundvandsspejlets potentialelinier vil konvergere mod søens grundvandsspejl. Påvirkningen afhænger i høj grad af gradienten på det uforstyrrede grundvandsspejl og råstofgravens geometri, i særdeleshed om råstofgraven er etableret på langs eller tværs af grundvandets strømningsretning. Grundvandstanden i søen vil ideelt set indstille sig naturligt ca. midt trykniveauet mellem baseline trykniveauet ved ind- og udløb af søen (Figur 3.2B). Lavere opstrøms søen (ved indløbet til) søen og højere nedstrøms (ved udløbet fra) søen.

Med en gradient på  $4 \text{ ‰}$  vil det give 2 meter i forskel over en sø anlagt med en sidelængde på 500m på langs grundvandets strømningsretning. Det betyder at trykniveauet vil ændres op til en 1 meter ved henholdsvis ind- og udløb fra søen efter endt råstofgravning. Hvis søen anlægges på tværs (250m sø) vil forskellen i stedet være op til  $\frac{1}{2}$  meter ved ind- og udløb fra søen efter endt råstofgravning. Idet det er forudsat at søen dækker 25% af gravearealet ved reetablering svarer det til et areal på  $62.500 \text{ m}^2$  altså et kvadrat på 250m x 250m eller et rektangel med en kortere og længere sidelængde.

Efter endt råstofgravning vil vandbalancen være ændret i forhold til det uberørte areal (baseline). Grundvandsdannelsen må forventes at være lidt mindre idet arealanvendelsen sø og natur begge vil øge den aktuelle fordampning i forhold til baseline, se evt. afsnit 3.1. Med en 10-20% reduktion i grundvandsdannelse på grund af øget fordampning vil den mindre grundvandsdannelse svare til forbruget fra en mindre markvandsboring (op til  $15.000 \text{ m}^3/\text{år}$ ). Helt lokalt kan det have en betydning i forhold til eksempelvis følsom natur, men set over en regional vandbalance betragtning har den mindre grundvandsdannelse ingen indflydelse.

#### 5.2.4

#### Opsummering gravning under grundvandsspejl på hedesletten

Imens råstofgravning foretages, må forventes en lille variation i grundvandstanden i både søen og i trykniveauet i grundvandsmagasinet. Observerede sænkninger vil være størst i råstofgravesøen og vil mindskes i grundvandsmagasinet med afstanden til søen. Pauser i råstofgravning vil medføre en udglatning af sænkningerne, idet afbrydelser vil sikre, at grundvandstanden i magasinet og søen delvist vil blive reetableret.

Efter endt råstofgravning og reetablering af området vil trykniveauet lokalt omkring søen være ændret. Der må forventes ændringer i trykniveau på op til  $\frac{1}{2}$  meter ved randen af søen i forhold til baseline.

Tabel 4.1 opsummerer konsekvensen ved vådgravning på forskellige hydrauliske parametre ved en sammenligning med baseline, som er situationen før råstofindvinding.

	<b>Før råstofgravning/baseline</b>	<b>Under råstofgravning</b>	<b>Efter råstofgravning</b>
<b>Mægtighed umættet zone</b>	Mægtighed større end 5-8 m	Mindskes, bortgraves helt eller delvis	Mindsket, bortgravet helt eller delvis
<b>Grundvandsspejl niveau</b>	Fra terræn til mere end 8 m	Sænkning observeres og niveau reetableres helt eller delvis ved pauser i gravning	Sænkning opstrøms søen og stigning nedstrøms søen
<b>Grundvandsspejl gradient</b>	Gradient (3-5 ‰)	Påvirkes lokalt, tæt omkring søen	Påvirkes lokalt**
<b>Grundvandsmagasin trykforhold</b>	Spændt/artesisk	Frit magasin i området udlagt til sø	Frit magasin i området udlagt til sø
<b>Evapotranspiration</b>	-	Mindskes, neglicibel	Mindsket, neglicibel
<b>Fordampning</b>	-	Lille stigning, afhænger af geometri på gravesø	Lille stigning, afhænger af geometri på sø
<b>Vandbalance</b>	-	Lille påvirkning	Regionalt ingen påvirkning

Tabel 5.2 Konsekvens på berørte hydrauliske parametre ved vådgravning i tilfældet under og efter råstofgravning sammenlignet med baseline "før råstofgravning". \*\*Kan minimeres ved at "isolere" søen hydraulisk.

## 6 KONKLUSIONER

Det vurderes at råstofudvinding over grundvandsspejl ikke vil medføre nogen kvantitativ påvirkning af grundvandet.

Ved råstofgravning under grundvandsspejlet vil der være en påvirkning på vandspejl/trykniveau, gradient og i vandbalancen for området.

Ændringer i vandspejl vil være størst i den etablerede sø og vil mindskes med afstanden til søen. De største ændringer under gravning er beregnet for hedesletten, hvor faldet i vandstand er beregnet til ½ meter. Når området reetableres vil søen stadig påvirke grundvandsspejlet lokalt med op til ½ meter, påvirkningen afhænger af søens geometri. Påvirkningen på morænefladen er mindre under gravning, men på grund af den større gradient på det oprindelige trykniveau vil påvirkningen blive op til 1 meter.

Ændringerne i vandspejl/trykniveau medfører at gradienten på grundvandsspejlet vil ændre sig under gravning, men også efter reetablering.

Ændringer i vandstand/trykniveau og gradient er i sig selv ikke et problem. Der ses væsentligt større ændringer i eksempelvis gradient omkring indvindingsboringer og kildepladser. Det kan være et problem, såfremt der er følsom natur, som er afhængig af et bestemt vandspejl, idet gradientændringen kan medføre en uacceptabel sænkning af vandspejlet.

Som følge af ovenstående ændringer og en forøget fordampning fra et søareal og i mange tilfælde også natur, så vil vandbalancen for graveområdet også ændres. Der vil være mindre vand til rådighed i området idet grundvandsdannelsen vil falde. Arealet er dog så lille, at det vurderes at være uden betydning.

Gravning under grundvandsspejl vil have en kvantitativ påvirkning på grundvandet, men påvirkningen vurderes til samlet set at være lille. Vurderingen forudsætter at gravens størrelse og hydrauliske parametre ikke er meget anderledes end værdierne anvendt i ovenstående. Særligt følsom er konklusionerne overfor de anvendte hydrauliske ledningsevner, samt afgravningshastigheden.

Ved følsomme naturtyper, som ligger tæt ved et graveområde, kan gravning under grundvandsspejlet have en effekt.

## 6.1 **Best practice og anbefalinger for begrænsning af råstofindvindings kvantitative påvirkninger på grundvandet**

I forbindelse med råstofindvinding under grundvandsspejl er der mulighed for at begrænse den kvantitative påvirkning af grundvandet. Herunder følger en række anbefalinger:

### Variationer i grundvandsspejl

- For at undgå variationer i grundvandsspejlet under gravning bør gravesøen have et stort volumen, idet buffereffekten vil dæmpe en påvirkning. Endvidere skal den indledende gravning under grundvandsspejl foretages langsomt indtil der er etableret et større søvolumen.

### Begrænse gradientændring og ændring i trykniveau

- Problematikken som vist i Figur 3.2 med sænkning af grundvandsspejlet ved den opstrøms ende af gravesøen, kan undgås ved at længdeaksen af råstofgraven er på tværs af gradienten, dvs. længdeaksen er parallel med potentialelinierne. Hvis effekten er stor vil gravning i celler og bevarelse af intakt materiale mellem cellerne også have en effekt på gradienten, da dette vil medføre en gradvis effekt som vil reducere forskellen i hhv. det opstrøms og det nedstrøms ende af gravesøen.

Ved reetablering af området kan der graves flere mindre søer, frem for en stor sø.

### Mindskning af fordampning

- Der vil være en større fordampning fra et søareal sammenlignet med andre arealanvendelser. Fordampningen kan mindskes ved at sikre at vindpåvirkningen og søens overfladeareal minimeres.

### Overvågning

- Det kan være vanskeligt på forhånd at vurdere den kvantitative effekt af råstofindvinding under grundvandsspejlet, især hvis acceptkravene er meget små, f.eks. i forbindelse med særlig følsom natur som højmoser. Det kan derfor blive nødvendigt at opsætte et overvågningsprogram som løbende kan beskrive råstofindvindings kvantitative påvirkning af grundvandet. Programmet skal igangsættes før gravning begynder, for at kunne etablere en baseline.

- For at kunne overvåge effekten af råstofindvinding under grundvandsspejl bør der foretages hyppige registreringer af den opgravede mængde, f.eks. på dags- eller ugebasis. Der bør desuden foretages løbende registreringer af grundvandsspejlet i og omkring råstofgraven. Herunder bør der etableres et referencepunkt som beskriver grundvandets naturlige variation. For at disse målinger kan anvendes til at dokumentere påvirkningen fra råstofindvindingen bør der desuden foretages daglige målinger af nedbøren over råstofgraven.

Andet

For reduktion af vandbehov ved anvendelse af vand til oparbejdning af råstoffer – se notat om miljøpåvirkningen fra indvinding af vand til grusvask.

## 7

### REFERENCER

- /1/ Undersøgelse af smeltevandsaflejringer indenfor proximale, smeltevandsletter: Basisdata fra undersøgelser, på Karup og Tinglev hedeslette. KUPA-rapport nr. 8, GEUS, 2004.
- /2/ Hovedretningslinier for den fremtidige drift. Skov og Naturstyrelsen, 2005. [http://www.sns.dk/Graasten/2005/skovbeskr/torp\\_aartoft\\_drp01.pdf](http://www.sns.dk/Graasten/2005/skovbeskr/torp_aartoft_drp01.pdf).
- /3/ Trin-1 kortlægning af Felsted-Sundeved Kortlægningsområde. Trin 1 kortlægning udarbejdet for Miljøcenter Ribe. Grontmij | Carl Bro, 2010.
- /4/ Effect of gravel extraction on groundwater. Future Groundwater Resources at Risk (Proceedings of the Helsinki Conference, June 1994) IAHS Publ. no 222, 1994 Hatva, Tuomo, 1994.
- /5/ Ground water restoration in mined areas” Garlanger, J.E. og Shrestha, R.K. Mining Engineering 43, s. 1159-1164. 1991.
- /6/ Følgevirkninger af råstofgravning under grundvandsspejlet. Miljøprojekt nr. 526 udført af Nielsen, K.A., Claesson, J og Gustafson, G. Miljøstyrelsen, 2000.
- /7/ The Hydrogeological Behaviour of Flooded Sand and Gravel Pits and its Implications for the Functioning of the Enclosing Aquifers. Gandy, C.J., Younger, P.L. Henstock, J. Gill, T., Wardrop, D. Mineral Industry Sustainable Technology (MIST) Programme. University of Newcastle Upon Tyne, UK. 2004.
- /8/ Impact of Gravel Pits on Ground water: Case study of Gravel Pits near the Mohelnice City, Czech Republic. Kuchovsky, T.; Ricka, A. Cervenkova, J. In Mine Water and the Environment PROCEEDINGS, 10th International Mine Water Association Congress, June 2-5. 2008, Karlovy Vary, Czech Republic. Ostrava : VŠB - Technical University of Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1767-5, pp. 69 - 72. 2008, Karlovy Vary. 2008.
- /9/ Projekt om konflikten mellem grusindvinding og vandindvinding, Fase 1, overblik og problemkonkretisering. Miljøministeriet, 1992.

/10/ Nedbør og Fordampning 1990-2000, Beregningsresultat til belysning af vandbalancen i Danmark. Teknisk Rapport 02-03 af Mikael Scharling og Claus Kern-Hansen DMI, 2002.

/11/ Teknisk rapport for Kildepladsprojekt Lindved. Odense Vandselskab og Watervision, 2006.

/12/ Vandbalance på mark- og oplandsskala, 2002, Finn Plauborg, Jens Christian Refsgaard, Hans Jørgen Henriksen, Gitte Blicher-Mathiasen, Claus Kern-Hansen, samarbejde på tværs af: Danmarks JordbrugsForskning, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser, Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks Meteorologiske Institut (DMI)  
[http://www.geus.dk/dvk/vandbalance\\_paa\\_mark\\_og\\_oplandsskala\\_DJF8.pdf](http://www.geus.dk/dvk/vandbalance_paa_mark_og_oplandsskala_DJF8.pdf)

/13/ Smod – IT-system til kortlægning af udveksling mellem grundvand og overfladevand vha. integreret analyse og modellering, 2011, Jacob Gudbjerg og Jan Gregersen HydroInform for Naturstyrelsen  
<http://www.naturstyrelsen.dk/NR/ronlyres/F7BDA367-8A87-4EFD-8A6A-403A9B1B7D10/124562/SmodFinal.pdf>

/14/ Groundwater, 1979, Allan R Freeze and John A. Cherry, Prentice hall, ISBN 0-13-365312-9

/15/ Vandbalance I Danmark – Vejledning I opgørelse af vandbalance ud fra hydrologiske data for perioden 1990-2010, 2011, Jens Christian Refsgaard, Simon Stisen, Anker Lajer Højberg, Martin Olsen, Hans Jørgen Henriksen, Christen Duus Børgesen, Flemming Vejen, Claus Kern-Hansen, Gitte Blicher-Mathiesen, samarbejde på tværs af: GEUS, DJF-AU, DMI, DMU-AU.  
[http://vandmodel.dk/xpdf/77-2011\\_vandbalance.pdf](http://vandmodel.dk/xpdf/77-2011_vandbalance.pdf)