



3D Sårbarhedszonering

ANVENDELSE AF 3D TYKKELSER AF REDUCET LER I FORBINDELSE MED SÅRBARHEDSZONERING

Introduktion og baggrund

Formålet med nærværende vejledning er at beskrive, hvorledes såkaldte 3D tykkelser af reduceret ler kan anvendes i Miljøstyrelsens sårbarhedszonering i projekter relateret til Grundvandskortlægningen.

Vejledningens anvisninger giver et grundlag for en ensartet behandling af sårbarhedsvurdering hos Miljøstyrelsen, såfremt der inddrages 3D tykkelser af reduceret ler i det enkelte projekt. Metoden kan benyttes for at sikre en målrettet grundvandsbeskyttelse. Beregning af 3D lertykkelser er relateret til beregning af 3D grundvandsdannelse, eller magasin-specifik grundvandsdannelse, som er beskrevet yderligere i /2/.

Den grundlæggende ramme for sårbarhedszoneringen er Miljøstyrelsens Zoneringsvejledning /1/. Heri er det beskrevet, hvordan tykkelsen af beskyttende dæklag med reduktionspotentialer er en vigtig parameter i vurderingen af nitratsårbarhed i forhold til primære magasiner. Således er et af de hyppigst anvendte kriterier i forhold til vurdering af nitratsårbarhed at se på tykkelsen af reducerede (grå) lerdæklag over det pågældende indvindingsmagasin. Dette stammer igen fra Miljøstyrelsens projekt om klassificering af grundvandsressourcen /3/. Baggrunden er, som det står i /3/, at ”Mere end 15 meter reduceret moræneler over et grundvandsmagasin vil have en stor reduktionskapacitet overfor nedsivende nitrat – med mindre tektonisering og/eller usammenhængende lerlag er af væsentlig betydning for infiltrationsmønsteret”.

I en lang række kortlægninger er der, ved afgrænsning af nitratsårbarhed, blevet set på den vertikale tykkelse af reduceret ler over et grundvandsmagasin, dvs. tykkelsen af reduceret ler lige lodret over hvert punkt i magasinet. Dette er i en række redegørelsesrapporter benævnt 2D reduceret lertykkelse. Betydningen af den vertikale (2D) tykkelse af reduceret ler over et magasin er illustreret på **Figur 1**. Her ses den vertikale tykkelse af reduceret ler over kalkmagasinet i punktet A angivet som summen af de fede orange linjestykker. Linjestykkerne viser summen af lerpakken fra redoxgrænsen ned til magasinet. Lertykkelsen over redoxgrænsen medtages ikke, idet leret her er oxideret, og dermed ikke har kapacitet til at reducere infiltrerende nitrat.

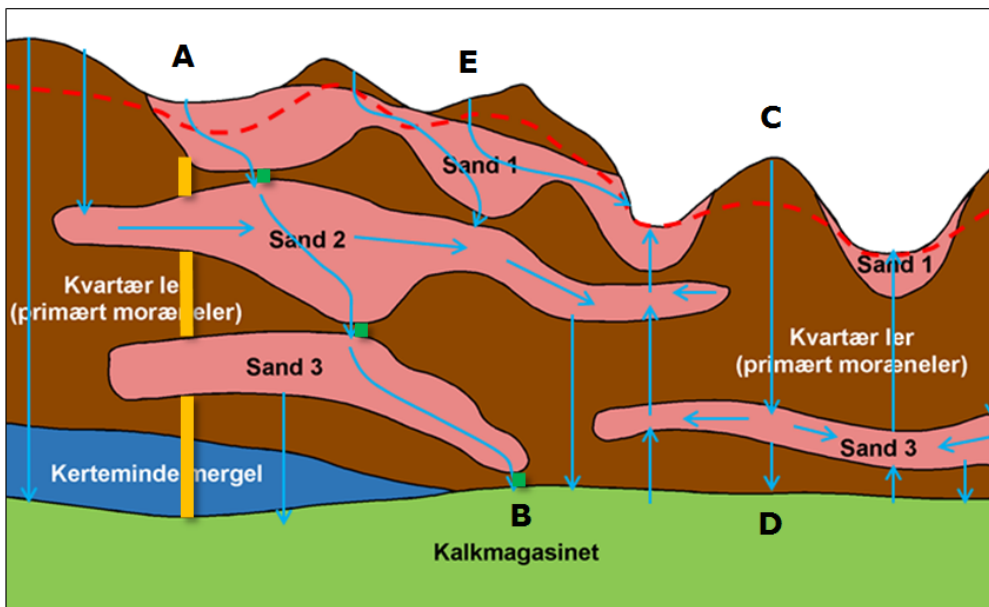
Figur 1 viser også vandets strømningsvej fra overfladen, og til det når de pågældende grundvandsmagasiner. I lerlag har strømningen generelt set en vertikal karakter, mens strømningen i magasinlag oftest har en stærk horisontal komponent. I en geologisk setting med et eller flere sekundære magasiner over indvindingsmagasinet kan det betyde, at vandet ikke bevæger sig fra terræn til indvindingsmagasinet ved simpel lodret nedsivning. I **Figur 1** ses det, at vandet, der infiltrerer i punktet A, når kalkmagasinet ved punktet B efter at have strømmet gennem de overliggende sandmagasiner og gennem tynde lerlag, der adskiller magasinerne. Således gennemstrømmer de vandpartikler, der strømmer fra A til B, langt mindre reduceret ler, end forudsagt ud fra den vertikale 2D tykkelse af reduceret ler. Vandpartiklerne gennemstrømmer kun den mængde reduceret ler, som summen af de fede grønne linjestykker angiver. Summen af de fede grønne linjestykker illustrerer det, der i denne vejledning betegnes som 3D tykkelsen af reduceret ler – dvs. den mængde af reduceret ler, som vandpartiklerne gennemstrømmer, fra de infiltrerer, til de når det pågældende grundvandsmagasin.

Der kan således være forskel på den tykkelse af reduceret ler, man beregner, alt afhængigt af, om man betragter den vertikale (2D) tykkelse af reduceret ler, eller 3D tykkelsen af reduceret ler, og derfor kan dette også få betydning for afgrænsningen af nitratsårbarhed.

Det er dog ikke altid, at der vil være stor forskel - eksempelvis ses på **Figur 1**, at det vand, der infiltrerer ved punktet C, når kalkmagasinet ved punktet D, der ligger umiddelbart nedenunder C i vertikal retning. I dette tilfælde vil der altså ikke være forskel på den tykkelse af reduceret ler, der beregnes som hhv. 2D og 3D tykkelse af reduceret ler. Det forventes især at være i områder karakteriseret ved mange, stakkede sandmagasiner, at beregningen af 2D og 3D tykkelser af reduceret ler kan give større forskelle.

Fordelen ved at inkludere beregninger af 3D tykkelser af reduceret ler over magasiner er således, at der i nogle tilfælde vil opdages strømningsveje, hvor det infiltrerende vand gennemstrømmer mere eller mindre reduceret ler, end de gængse 2D tykkelser af reduceret ler viser. Derved kan man opdage områder, som viser en anden sårbarhed end den som 2D tykkelserne af reduceret ler indikerer.

I det følgende gennemgås, hvordan 3D tykkelser af reduceret ler kan beregnes, samt hvordan 3D tykkelser af reduceret ler kan anvendes i vurderingen af nitratsårbarhed.



Figur 1: Skitse af strømningsveje i et område med stakkede sandmagasiner og et kalkmagasin. Strømningsveje er illustreret med blå pile. Redox-grænsen er illustreret med stiplede rød linje. Den samlede vertikale (2D) tykkelse af reduceret ler over kalkmagasinet ved punkt A er vist med fede orange linjestykker. Som figuren viser, vil det vand, der infiltrerer ved punkt A, imidlertid ikke nedsive lodret til kalkmagasinet men strømme gennem sandmagasinerne for til slut at nå kalkmagasinet ved punkt B. Den samlede tykkelse af reduceret ler, som vandet siver igennem på dets vej fra A til B (3D tykkelse af reduceret ler) er vist med fede grønne linjestykker. Forskellen mellem 2D og 3D tykkelse af reduceret ler er således betydelig i punkt A. Omvendt er der ingen forskel på 2D og 3D tykkelse af reduceret ler i punktet C, idet vandstrømningen her foregår vertikalt fra punkt C til punkt D. Ved punktet E strømmer vandet af via Sand 1-magasinet til et vandløb, og der sker derfor ingen dybere grundvandsdannelse fra punktet E. Der kan kun beregnes 3D tykkelser af reduceret ler fra områder på terrænen, hvor der sker grundvandsdannelse til det pågældende magasin, der er fokus på.

Principper for beregning af 3D tykkelser af reduceret ler

De bedste bud på strømningsveje fra terrænen til magasiner kan beregnes vha. hydrologiske modeller. Grundvandsmodeller opstilles typisk som et led i den nationale grundvandskortlægning og er således tilgængelige for en stor del af Danmark.

Vha. partikelbanesimuleringer med de hydrologiske modeller kan strømningsvejene kortlægges, idet partiklernes 3D placering til bestemte tidspunkter kan gemmes under simuleringerne. Vha. den geologiske model, suppleret med en flade for redoxgrænsens dybde, og partikelbanerne kan det beregnes, hvor meget reduceret ler hver partikel gennemstrømmer i modellen, inden den når et bestemt magasin.

Partiklerne placeres i toppen af den hydrologiske model lige under drænniveau, og følges, indtil de når grundvandsmagasinet. Den samlede tykkelse af reduceret ler er således den akkumulerede mængde ler under redoxgrænsen, som vandpartiklen bevæger sig igennem på sin vej fra terræn til top af grundvandsmagasinet.

Slutresultatet kan afbildes og tematiseres på temakort som 3D tykkelsen af reduceret ler over et magasin, hvor man tematiserer partiklen på det sted, hvor den infiltrerer/starter i simuleringen, og med farver viser, hvor meget reduceret ler, som den pågældende partikel gennemstrømmer, inden den når det grundvandsmagasin, der betragtes.

Den samlede tykkelse af reduceret ler langs partikelbanerne kan kun beregnes for de områder, hvor der sker grundvandsdannelse fra terræn til magasinet. Et eksempel på et område, hvor der ikke sker grundvandsdannelse fra terræn til de nedre sandmagasiner og til kalkmagasinet er markeret med "E" i **Figur 1**. Vand, der infiltrerer her, strømmer horisontalt igennem Sand 1 og drænes til søer eller vandløb, således at der ikke sker grundvandsdannelse til de dybere magasiner fra dette område. Da der ikke sker grundvandsdannelse fra terræn til de dybere magasiner i dette område, kan der ikke beregnes en 3D lertykkelse for de dybere magasiner i dette område.

Anvendelse af 3D tykkelser af reduceret ler i forbindelse med sårbarhedszoner

Som nævnt anvendes tykkelser af reduceret ler i zoneringszoner af områder med lille, nogen og stor sårbarhed overfor nitrat. Der er ofte udelukkende anvendt 2D tykkelser af reduceret ler i adskillige kortlægninger i Danmark. I de tilfælde, hvor der yderligere er blevet beregnet 3D tykkelser af reduceret ler i en kortlægning, er der eksempler på, at 3D tykkelsen af reduceret ler har været anvendt som et supplement til de lertykkelser, som 2D reduceret ler-tilgangen har givet, i forbindelse med afgrænsningen af nitratsårbarhed. Nedenfor gennemgås denne tilgang, med anvendelse af både 2D og 3D lertykkelse. Fremover anbefales det som første prioritet, at tilgangen, hvor både 2D og 3D tykkelser af reduceret ler supplerer hinanden, anvendes. Anden prioritet vil være anvendelse af kun 2D lertykkelse, hvis beregninger af 3D tykkelser af reduceret ler ikke er tilgængelig.

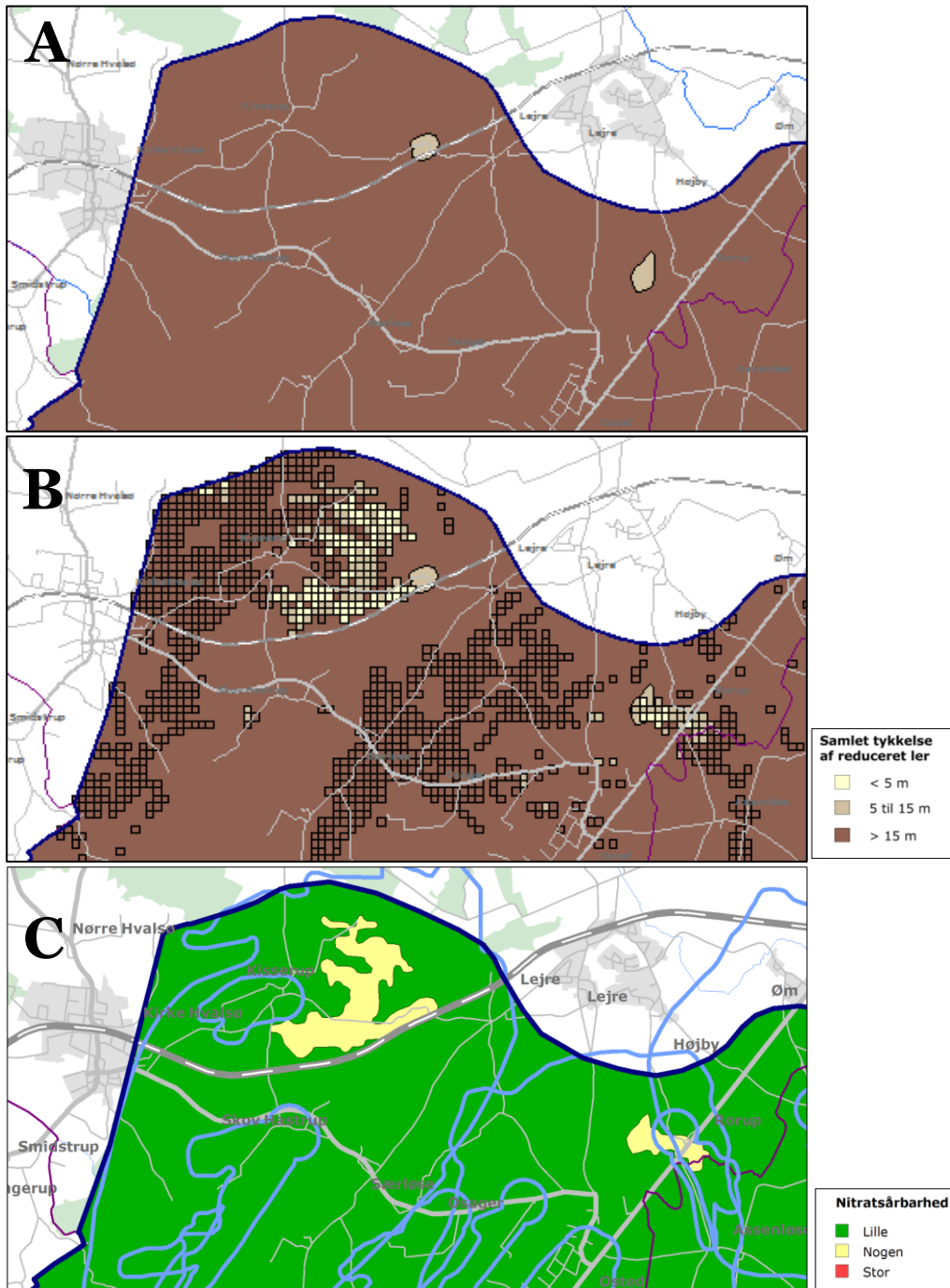
Tilgang: Både 2D og 3D tykkelser af reduceret ler

Når både de vertikale (2D) tykkelser af reduceret ler og 3D tykkelser af reduceret ler anvendes, ved zoneringszoner af nitratsårbare områder er fremgangsmåden, at man vurderer den geologiske sårbarhed efter 3D tykkelser af reduceret ler, hvor det er muligt at beregne (hvor der er grundvandsdannelse til magasinet), og 2D tykkelser af reduceret ler, hvor der ikke er beregnet 3D.

Princippet er illustreret på **Figur 2**. I **Figur 2A** ses den vertikale (2D) tykkelse af reduceret ler over kalkmagasinet i et delområde af Osted kortlægningen /4/. Lertykkelsen er her vist som en kontureret flade med intervaller, der følger Zoneringsvejledningens skelen mellem 0-5 meter, 5-15 meter og >15 m tykkelse af reduceret ler over grundvandmagasin, der oftest bliver til hhv. stor, nogen og lille nitratsårbarhed, såfremt de grundvandskemiske data i området også støtter denne tolkning. **Figur 2B** viser 3D tykkelsen af reduceret ler for samme område, som er lagt ovenpå den 2D konturerede flade. 3D tykkelsen er vist med tematiserede firkantede felter (modelceller). I området nord for jernbanen ses det, at 3D lertykkelsen beregnet vha. partikelbanesimuleringer viser et større område, hvor det infiltrerende vand gennemløber tykkelser af reduceret ler, der er mindre end 15 m, mens den vertikale (2D) tykkelse af reduceret ler i samme område blot

viser et mindre område, hvor tykkelsen af reduceret ler er mindre end 15 m. Området med mindre end 15 m vertikal (2D) tykkelse af reduceret ler ligger øst for den beregnede 3D lertykkelse.

Det samme ses i et område længere østpå, hvor der er et område, hvor både 2D og 3D tilgangen viser, at der er mindre end 15 m reduceret ler over magasinet, men hvor 3D tilgangen samtidigt indikerer, at dette er tilfældet for et større område, end 2D tilgangen indikerer.



Figur 2: Reducerede lertykkelser og nitratsårbarhed. A: Eksempel på 2D tykkelse af reduceret ler over kalkmagasinet (kontureret flade). B: 3D tykkelse af reduceret ler over kalkmagasinet (tematiserede modelceller) lagt oven på billedet fra A. C: Den resulterende sårbarhedszonering, vurderet ud fra både 2D og 3D reduceret lertykkelse (med inddragelse af kemiske data, der ikke er vist på kortene). Eksempel fra Østed kortlægningen /4/.

De to metoder taget i betragtning og som supplement til hinanden vil den resulterende zonerings af nitratsårbarheden være som vist på figur 2C.

3D lertykkelserne bevirker, at området nord for jernbanen, der ud fra 2D lertykkelsen har "nogen nitratsårbarhed" pga. tykkelse af reduceret ler mellem 5 og 15 meter, udvides til at omfatte et større område mod vest, hvor 3D lertykkelsen er mindre end 15 meter. Tilsvarende bevirker 3D tilgangen, at området i øst, som har nogen nitratsårbarhed ud fra de vertikale (2D) tykkelse af reduceret ler, udvides til at omfatte et større område, ud fra 3D lertykkelsen mindre end 15 meter. Grundvandskemiske data i form af vandtyper er også inddraget i sårbarhedsvurderingen i forbindelse med kortlægning (metoden er ikke beskrevet her, ligesom data ikke er vist på figuren).

Anvendelse af 3D lertykkelse i vurdering af sårbarhed kan resultere i en mindre zonerings af nogen og stor nitratsårbarhed og dermed udpegning af NFI, især i tilfælde hvor vandkemien viser overfladepåvirket grundvand. For eksempel, hvis en boring viser overfladepåvirket grundvand i et område med over 15 m reduceret ler, vil beregninger af 3D lertykkelse give en indikation af, hvor vandet stammer fra. Dermed kan det vise sig ikke at være nødvendigt at zonere en 300m zone omkring boringen med nogen eller stor sårbarhed, som det ellers er beskrevet i notatet /5/. Området omkring boringen kan derved zoneret med lille sårbarhed og vil resultere i en mindre afgrænsning af NFI.

Hvornår anvendes 3D lertykkelse som supplement i sårbarhedsafgrænsning

Det anbefales, at der bruges beregnede 3D tykkelse af reduceret ler ved vurdering af nitratsårbarhed i alle områder, hvor der findes et eller flere grundvandsmagasiner, der overlejrer det magasin, som der skal vurderes sårbarhed for. Det er netop i de tilfælde, hvor der kan være en horisontal strømning gennem de overliggende magasiner, der kan betyde, at tykkelsen af 3D reduceret ler vil adskille sig fra tykkelsen af 2D reduceret ler over det pågældende magasin. I den situation, der er illustreret i **Figur 1**, anbefales det, at den beregnede 3D tykkelse af reduceret ler bruges ved zonerings af nitratsårbarheden for Sand 2, Sand 3 og kalkmagasinet, sammen med den almindelige 2D tykkelse af reduceret ler.

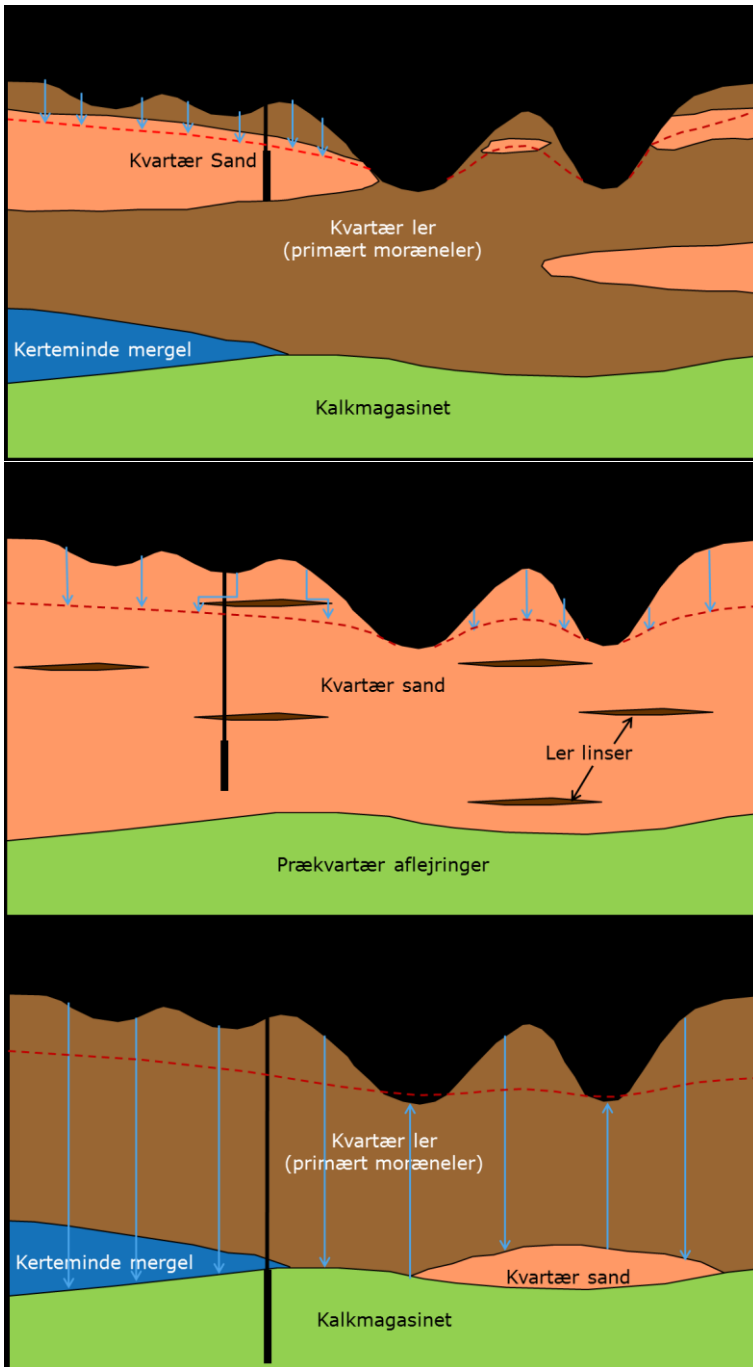
Der er dog nogle tilfælde, hvor der ikke vil være behov for at bruge beregning af 3D tykkelsen af reduceret ler ved vurdering af nitratsårbarheden. Det er i de tilfælde, hvor der stort set kun sker vertikal strømning ned til grundvandsmagasinet fra de overliggende lag. Sådanne tilfælde inkluderer:

Hvis grundvandsmagasinet, der skal sårbarhedsvurderes, er et frit magasin. Her vil der stort set kun ske vertikal strømning ned til magasinet. Dette er illustreret i **Figur 3A**.

Sandmagasiner med tynde, ikke-sammenhængende lerlinser. Der kan være lokalt spændte magasiner, men lerlagene er ikke sammenhængende i horisontal retning, og vandet kan strømme rundt om lerlinserne. Dette er illustreret i **Figur 3B**.

Spændte sand- og kalkmagasiner, hvor det kun er ler, der overlejrer magasinet. Her sker også stort set kun lodret strømning gennem lerlagene. Dette er illustreret i **Figur 3C**.

Den endelig beslutning om, hvorvidt der skal bruges beregninger af 3D tykkelse af reduceret ler, eller om man blot kan nøjes med 2D lertykkelse ved sårbarhedsvurderingen, fortages efter den hydrostratigrafiske model er opstillet. Det er først på dette tidspunkt, at man kan vurdere, om strømningen til magasinet primært vil være vertikal, eller om der også vil være en horisontal strømning gennem lagene, der overlejrer de magasiner, der skal vurderes sårbarhed for.



Figur 3: Tre eksempler, hvor der stort set kun sker vertikal strømning ned til magasinet, der indvindes fra. De lyseblå pile viser grundvandsstrømning, den røde stiplede streg viser beliggenheden af grundvandspejlet eller potentialet, og den sorte streg viser placering af en indvindingsboring og indtag. A viser et eksempel, hvor indvindingsmagasinet er frit. B viser et eksempel, hvor indvindingsmagasinet er et sandmagasin med tynde, ikke sammenhængende lerlinser. C viser et eksempel, hvor der kun er ler over indvindingsmagasinet.

Referencer

- /1/ Miljøstyrelsen (2000). Zonering. Detailkortlægning af arealer til beskyttelse af grundvandsressourcen. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 3, 2000. Miljø- og Energiministeriet.
- /2/ Miljøstyrelsen (2017). Notat: Administrative hydrologiske valg. Afgiftsfinansieret grundvandskortlægning.
- /3/ Miljøstyrelsen (1995). Klassificering af grundvandsressourcen. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, Nr. 6, 1995. Miljø- og Energiministeriet.
- /4/ Naturstyrelsen (2015). Redegørelse for Osted. Afgiftsfinansieret grundvandskortlægning 2015. Rapport ID: 91755.
- /5/ Naturstyrelsen (2014). Notat: Nitratsårbarhed og afgrænsning af NFI og IO. Afgiftsfinansieret grundvandskortlægning. Maj 2014.