

Tätande jordlager – en kunskapssammanställning

Kajsa Bovin, Emil Vikberg & Ida Morén

oktober 2015



SGU-rapport 2015:32



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Omslagsbild: Arbetsplats vid bygget av Skandion-
kliniken i Uppsala. Foto: Kajsa Bovin.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Inledning	4
Bakgrund	4
Grundvattenkartering vid SGU	4
Begrepp	5
Sammanfattning av delprojekt	6
Litteraturstudie	6
Examensarbete på masternivå	8
Examensarbete på kandidatnivå	11
Förstudie om tätande jordlagers inverkan på spridning av vägsalt	12
Förslag till definition av tätande jordlager	12
Finkorniga lager med låg eller obetydlig genomsläpplighet ovanpå grundvattenmagasin	12
Fördröjande lager som kan skydda underliggande grundvatten	14
Diskussion och slutsatser	15
Referenser	15
Bilaga 1. Sammanställning av resultat från litteraturstudie om tätande jordlager	17
Bilaga 2. Trycknivå och makroporer	25
Bilaga 3. Diskussionsfrågor från seminariet	27
Bilaga 4. Tabeller och diagram	29
Bilaga 5. förstudie om tätande jordlagers inverkan på spridningen av vägsalt	32

INLEDNING

Det finns inte någon tydlig definition på vad som anses vara tätande jordlager. Att det inte finns någon definition kan bidra till att grundvattnet ibland felaktigt uppfattas som naturligt skyddat av ovanliggande jordlager. Detta kan medföra att skyddsåtgärder uteblir och att risken för en påverkan på grundvattenkvaliteten ökar.

Sedan hösten 2011 har ett arbete pågått på Sveriges geologiska undersökning, SGU, för att tydliggöra begreppet tätande jordlager. Inledningsvis gjordes en litteraturstudie som senare mynnade ut i ett forskningsprojekt vid SGU. Inom forskningsprojektet har det genomförts två examensarbeten, ett på masternivå och ett på kandidatnivå, av studenter från civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet, samt en mindre studie om vägsalt.

Projektet är dels en del i SGUs arbete med kartläggning av grundvattenmagasin, dels relaterat till miljömålsarbetet *Grundvatten av god kvalitet*. I projektet ingick att ta fram förslag på hur begreppet tätande jordlager bör användas generellt. Men även att förtydliga definitionen för skiktet ”tätande lager ovan magasin” som används i SGUs grundvattenkartor.

Denna avslutande rapport är framtagen för att sammanställa resultaten av projektet. Rapporten är tänkt att användas inom SGUs interna verksamhet som underlag till bland annat grundvattenkartering, remissyttranden och sårbarhetskartor. Rapporten kan även vara av intresse för externa aktörer i frågor som rör tätande jordlager och grundvattenskydd.

BAKGRUND

Begreppet tätande jordlager (tätande lager) består ofta av två komponenter: genomsläpplighet och mäktighet. En finkornig jord, exempelvis lera och silt, har låg genomsläpplighet, vilket innebär att vatten och olika typer av föroreningar tar längre tid att tränga ner i jorden och nå grundvattnet eller mer genomsläppliga jordlager. Mäktigheten, dvs. jordlagrets tjocklek, är också av betydelse, dels eftersom det tar längre tid för en förorening att tränga igenom ett mäktigt lager, dels för att den övre delen av jordlagret ofta är mer uppsprucken varvid föroreningar kan tränga ner i torksprickor och mikrosprickor. Som vi ska se längre fram i denna rapport kan grundvattenytans läge också vara av betydelse. Ett annat sätt att definiera ett tätande jordlager är utifrån transporttid, dvs. den tid som det tar för en förorening att tränga igenom jordlagret.

Begreppet tätande jordlager har historiskt använts i flera olika sammanhang. På SGU används det bland annat vid framtagandet av grundvattenkartor (skiktet tätande lager ovan magasin) för att markera områden med jordarter som har låg genomsläpplighet och begränsad grundvattenbildning (tillförsel av vatten till grundvattenzonen).

Begreppet tätande jordlager förekommer även inom andra delar av SGUs verksamhet, t.ex. sårbarhetskartor och remissyttranden. Andra användningsområden för begreppet, både inom och utanför SGU, är t.ex. i samband med föroreningsspridning och skydd av grundvattentäkter.

Grundvattenkartering vid SGU

Grundvattenkarteringen vid SGU har under åren utförts i olika skalor och med delvis olika metoder. Nedan följer några exempel på hur tätande jordlager har definierats inom grundvattenkarteringen, indelat efter de olika karteringsmetodikerna.

Grundvattenkartering länsvis, skala 1:250 000

Den regionala grundvattenkarteringen genomfördes länsvis i skala 1:250 000. På de tryckta länskartorna anges Grundvattentillgång i sand- och gruslager eller i lucker morän under täta eller svårgenomträngliga jordlager, främst lera i teckenförklaringen. De underliggande grundvattenförande lagrens bedömda vatteninnehåll och möjligheterna till uttag markerades också.

I teckenförklaringen nämns även att sättningar kan uppstå i leran vid avsänkning av grundvattennivån. I beskrivningen till grundvattenkartan förtydligas att detta innebär områden där finkorniga jordarter, såsom lera, mjåla och finmo (idag: grovsilt), täcker grovkorniga grundvattenförande lager, vanligen sand och grus (Pousette m.fl. 1981).

Grundvattenkartering kartbladsvi, skala 1:50 000

Diskussioner kring lerlagars skyddande egenskaper har funnits med i grundvattenkarteringen även tidigare. Under en period utfördes grundvattenkartering kartbladsvi i skala 1:50 000. I grundvattenkartan för Norrköping NV (Fagerlind m.fl. 1977) har Vattenförande lager, fastställda eller antagna, under ytliga, tätande jordlager markerats på kartan. I beskrivningen till kartan står att ”ett lerlager är inte i alla sammanhang ett fullgott skydd mot nedsmutsning av en vattentäkt”.

Det har alltså inte varit fråga om någon kartering av helt täta lager som skyddar underliggande grundvatten, utan syftet har varit att peka ut svårgenomsläppliga lager där grundvattenbildningen är begränsad.

Grundvattenkartering kommunvi, skala 1: 50 000

År 1993 började SGU kartera grundvatten kommunvi. Man karterade fortfarande inte det tätande lagret, utan istället de grundvattentillgångar som låg under.

I teckenförklaringen på kommunkartorna anges grundvattentillgång i sand- och gruslager eller i lucker morän under jordlager som är täta eller har dålig genomsläpplighet, främst lera. Definitionen var alltså fortfarande nästan samma som den som användes för länskartan som nämns ovan. Även i teckenförklaringen till de kommunala grundvattenkartorna nämns att sättningar kan uppstå i leran vid avsänkning av grundvattennivån (Müllern 1996).

Grundvattenkartering magasinvi, skala 1:50 000

I SGUs databas över grundvattenmagasin har fram till och med 2014 följande definition använts: tätande skikt med låg genomsläpplighet (ovan magasin) vilket har förkortats till tätande lager ovan magasin. För att betona att det inte rörde sig om ett tätt lager och att ett visst flöde, om än begränsat, kunde förekomma, ändrades begreppet från täta lager i länskartor och kommunkartor till tätande lager i de lokala grundvattenkartorna (kring år 2005).

Begrepp

Finkorniga sediment

Med finkorniga sediment avses i denna rapport lera och silt. Nedan följer en kortfattad beskrivning av dessa jordarter.

Lera

Lera är en jordart som innehåller mer än 15 % ler, det vill säga mineralpartiklar med en diameter mindre än 2 µm (Eriksson m.fl. 2005). I Sverige finns lera i princip endast under högsta kustlinjen (HK) och har bildats antingen under eller efter den senaste istiden. Glaciala leror kan variera i lerhalt och är ofta varviga. Oftast är de äldre, djupare jordlagren grövre och kan till och med innehålla silt och sandränder. De postglaciala lerorna är generellt mindre mäktiga och innehåller mer organiskt material än de glaciala lerorna (Eriksson m.fl. 2005).

Lerans struktur har en stor inverkan på lerans egenskaper och varierar inte bara med lerhalt utan även lermineral, avsättningsmiljö och belastningshistoria (Larsson 2008). Leror med hög lerhalt som bildats under långsam sedimentation får till exempel en mycket öppen struktur med stora aggregat och stora porer. Leror i Sverige får dessutom stark struktur på grund av regelbunden frysnings och torkning (Messing 1989).

Tabell 1. Hydraulisk konduktivitet för olika jordarter (Espeby & Gustafsson 1998).

Material	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Fingrus	$10^{-1} - 10^{-3}$
Grovsand	$10^{-2} - 10^{-4}$
Mellansand	$10^{-3} - 10^{-5}$
Grovsilt	$10^{-5} - 10^{-7}$
Morän	$10^{-6} - 10^{-9}$
Lerig morän	$10^{-8} - 10^{-11}$
Lera	$<10^{-9}$

Silt

Silt definieras som en jordart med kornstorlek på 0,06–0,002 mm där lerhalten är mindre än 20 viktprocent av det material som är mindre än 0,06 mm. Silt uppkommer under högsta kustlinjen samt vid uppdamda issjöar (Karlsson & Hansbo, 1984).

Hydraulisk konduktivitet

Hydraulisk konduktivitet är ett mått på jordens förmåga att leda vatten. Den beror på porstorleksfördelningen och uppbyggnaden av porsystemet och jordens vattenhalt. Förmågan att leda vatten varierar mellan olika jordarter (tabell 1). Jordarter med stora porer har en god förmåga att leda vatten medan jordarter med mindre porer har en sämre förmåga, till de senare räknas lera och silt (Grip & Rodhe 2003).

Även om lera teoretiskt sett har en hydraulisk konduktivitet på under 10^{-9} m/s har aggregatbildning, sprickor och skiktningar i jorden stor inverkan på genomsläppligheten. I de övre lerlagren bildas ofta så kallad torrskorpelera där sprickor uppkommit genom uttorkning, tjalning eller vittring (Larsson 2008). Förekomsten av större sprickor mellan aggregaten hos leror innehållande mycket silt är svagare och slammar ofta igen (Eriksson m.fl. 2005).

SAMMANFATTNING AV DELPROJEKT

Nedan presenteras en kortsammanfattning över de arbeten som har genomförts inom projektet. SGUs interna rapporter finns med som bilagor till rapporten.

Litteraturstudie

För sammanställning av resultaten från litteraturstudien om tätande jordlager se bilaga 1.

Syfte

I studien undersöktes hur institutioner, myndigheter och forskare i Sverige och i andra länder ser på begreppet tätande jordlager och en jämförelse gjordes med vad SGU har ansett i olika sammanhang. Syftet var att få en bättre helhetsbild av vad som kan anses vara tätande jordlager och vilka ytterligare kunskapsunderlag som behövs.

Resultat

Det visade sig finnas en stor åsiktsspridning om vilka förhållanden som anses nödvändiga för att ett jordlager ska anses vara tätande. Detta beror bland annat på att tidsperspektiven är olika, men även att syftet med att definiera ett tätande jordlagret skiljer sig åt. Ska det skyddas mot en diffus förorening över lång tid, eller snabbt kunna grävas bort vid sanering?

Bland de definitioner som sammanställts i litteraturstudien kan nämnas att man i Danmark anser att ett gott skydd kräver mer än 10 m marin lera (Miljøstyrelsen 2000). På Irland klas-

Tabell 2. Sammanställning över vad olika aktörer har ansett är ett tätande jordlager. För mer utförlig information se litteraturstudien i bilaga 1 (Bovin & Vikberg 2012).

Land eller aktör	Referens	Transporttid	Mäktighet	Jordart i omättad zon	Kommentar
SGU Sverige	SGU 1997		4 m	Lera	Där lerdjupet överstiger 4 m bedöms ett fullgott skydd mot föroreningar finnas.
SGU Sverige	Anderberg 1996		3 m	Lera	Grundvattnets sårbarhet bedöms som liten där mer än 3 m skyddande lerlager förekommer.
SGU Sverige	SGU 1989		3 m	Morän	Risken för infiltration av föroreningar är liten då sand och gruslager överlagras av lera och måttlig till liten för moränlager mäktigare än 3 m.
SGU Sverige	Thorsbrink m.fl. 2009		2 m	Silt-lera	Silt och lera "har mycket låg genomsläpplighet, men för att utgöra ett naturligt skydd bör silt-lerlagret vara åtminstone 2 m tjockt".
Trafikverket, Sverige	Vägverket 1994	10 dygn			Transporttid för sårbarhetsklass 1. Tid för att hinna sanera.
Trafikverket, Sverige	Vägverket 2006		1–2 m	Finkorniga jordar som lera, silt och finkornig morän	
Naturvårdsverket, Sverige	Maxe & Johanson 1998	> 1 år	2–8 m	Lera/silt	Låg sårbarhet vid plötsliga stora vätskeutsläpp: Transporttid > 1 år ned till 5 m djup eller ned till vattenförande lager, lera/silt. Låg sårbarhet vid areellt spridda föroreningar: Mäktighet på 2–8 m i områden med jordmån, > 8 m för områden som saknar jordmån eller vid utsläpp under markytan.
Riksdagen, Sverige	Förordning (2001:512) om deponering av avfall § 19	200 år		"Naturlig geologisk barriär"	Definitionen gäller för farligt avfall.
NGU Norge	Norges Geologiske Undersøkelse 2011		≥ 3 m	Omättad zon	
Finland	Tiehallinto 2009		> 2 m	Lera	
Miljöstyrelsen Danmark	Miljöstyrelsen 2000		10 m/30 m	Marin lera eller glacial-fluvial lera/moränlera	Tar även upp förekomst av uppåtriktad gradient i magasinet.
England	Palmer & Lewis 1998		> 5 m	Lera	Låg sårbarhet.
England	Highways Agency 2009		> 15 m	≤ Finsand, >15 % lermieral	Detta gäller för att uppnå den lägsta riskklassen.
Irland	Daly & Warren 1998		> 8 m (under utsläppspunkt)	Lera eller lerig morän	På en fyrgradig skala över sårbarheten krävs det minst åtta meter lera eller lerig morän under utsläppspunkten för att sårbarheten ska klassas som låg.

sas grundvattnets sårbarhet som låg när det finns minst åtta meter lera eller lerig morän under utsläppspunkten (Daly & Warren 1998). En låg sårbarhet innebär att det finns ett lager som fördröjer en föroreningsspridning ned till grundvattnet. Trafikverkets definition är att ett tätande lager ska ha sådana egenskaper att det skyddar underliggande grundvatten till dess att en förorening hinner saneras, oftast genom bortschaktning (Vägverket 1994, 2006). SGUs ståndpunkt vad gäller vad som anses utgöra ett tätande lager ligger ofta i underkant jämfört med andra aktörers bedömningar (SGU 1989, 1997).

I tabell 2 visas en sammanställning över olika aktörers definition på tätande jordlager baserat på typ av jordart, mäktighet och transporttid. För vissa definitioner ingår flera av dessa tre

faktorer medan det i andra definitioner bara har angetts en faktor. Förutom faktorerna jordart, mäktighet och transporttid har även grundvattnets trycknivå (slutna magasin, artesiska förhållanden) och förekomst av makroporer som viktiga faktorer nämnts i texter kring tätande jordlager.

Slutsatser

Det finns inte någon gemensam syn på vad som kan anses vara ett tätande jordlager, vare sig nationellt eller internationellt. Resultaten skiljer sig mycket åt vilket ofta beror på att olika faktorer vägs in i begreppet tätande jordlager. Detta gör det svårt att jämföra olika definitioner med varandra. De parametrar som kan användas för att definiera tätande jordlager är bland annat:

- Tidsperspektiv: jordlagret kan skydda underliggande grundvatten på kort eller lång sikt.
- Transporttid: hur lång tid det tar för en förorening att transporteras ned till grundvattnet.
- Typ av utsläpp: punktutsläpp eller diffusa utsläpp, var utsläppet sker (ovan eller i marken).
- Typ av förorening: olika ämnen rör sig genom marken på olika sätt.
- Mäktighet på den omättade zonen: den omättade zonen varierar även över året.
- Mäktighet på det tätande lagret.
- Lagrets egenskaper: jordart, hydraulisk konduktivitet.
- Grundvattnets trycknivå.
- Områdets utbredning: det krävs ett större sammanhängande område med finkorniga jordarter för att underliggande grundvatten ska skyddas.
- Grundvattnets flödesvägar: inte enbart vertikal föroreningsspridning utan även horisontell.

Vad gäller mäktighet på det skyddande lagret varierar resultaten mellan 1 och 30 m. Förutom mäktighet, jordart och transporttid används även faktorer som grundvattnets trycknivå och förekomst av makroporer för att definiera tätande lager.

De olika definitionerna och tolkningarna baseras också på olika syften med definitionen av det tätande jordlagret (förhindra plötsligt punktutsläpp eller klara av långsiktig diffus påverkan t.ex.). Andra faktorer som skiljer sig åt mellan de olika definitionerna är vilket tidsperspektiv man har och vilken typ av förorening det rör sig om.

Examensarbete på masternivå

Ett examensarbete med titeln *Lerlagers tätande förmåga och inverkan på transporten av klorerade lösningsmedel i förorenade områden* (Morén 2014) genomfördes inom ramen för projektet.

Syfte

Syftet med examensarbetet var att bidra till att tydliggöra SGUs definition av och förbättra kunskapsläget om tätande jordlager. Detta gjordes genom att undersöka om lera kan förhindra en spridning av klorerade lösningsmedel ned till grundvattnet, samt vid vilka hydrogeologiska förhållanden som lera har störst potential att vara tätande.

Metod och resultat

Data från sju förorenade områden utvärderades och jämfördes (fig. 1). I alla områden hade man hittat klorerade lösningsmedel och alla områden låg inom 750 m från ett grundvattenmagasin som karterats av SGU för skala 1:50 000. Föroreningsspridningen har pågått olika lång tid inom de studerade områdena. Som kortast har föroreningsspridningen pågått i ca 40 år från det att verksamheten påbörjades tills dess att provtagning genomfördes (Bodentvätten).



Figur 1. De sju förorenade områden som ingick i studien.

Föreningsskoncentration och lermäktighet varierar både mellan och inom områdena. Föreningarna har på olika sätt passerat lerskikt i alla områden i studien om än i olika höga koncentrationer. Om man jämför halten av klorerade lösningsmedel i grundvattnet som funktion av djupet ser man inte någon tydlig indikation på att leran skulle stoppa den vertikala transporten. Dock kan lerlagren ha en uppbromsande effekt. Jordprover av leran gav en ännu mer heterogen bild av spridningen än grundvattenprover.

Eftersom leran troligen bromsat men inte helt stoppat transporten nedåt genom jordlagren bör tiden tas med som en parameter i diskussionen kring ett jordlagers tätande förmåga.

I ett av de förorenade områdena tycks leran ha förhindrat en föreningsspridning ned till det undre grundvattenmagasinet (Matadorverken, fig. 1). Här är det ytliga grundvattnet förorenat, men PID-mätningar (fotojonisationsdetektor) på 15 m djup i leran visar att det där är fritt från föroreningar. Föreningarna har troligen i stället spridits horisontellt och avlänkats i det ytligare grundvattnet. I detta område skyddas således det djupare grundvattenmagasinet inte bara av lerlagret utan även av det horisontella flödet i det ytligare grundvattenmagasinet.

Resultaten tyder även på att en vattenmättad lera skyddar bättre än en omättad. Vid det förorenade området IVT har leran gett ett bättre skydd än vid områdena ABL Lights & Nymansbolagen, trots att leran vid IVT är mindre mäktig och ligger relativt ytligt. Grundvattennivån vid IVT ligger vid lerans överkant, men vid Nymansbolagen ligger grundvattenytan flera meter ner vilket innebär att cirka fyra meter av leran varit omättad. En lägre grundvattennivå kan innebära att det finns fler torksprickor. Grundvattennivåerna varierar dock över året och det finns inte mycket data från områdena. Ytterligare studier skulle behövas för att fastställa orsaken till varför leran har skyddat det underliggande grundvattnet olika väl.

Lerlagrets läge under markytan har betydelse för dess påverkan på spridning av klorerade lösningsmedel i grundvatten. Om lerlagret ligger djupare ned har det större potential att vara tätande. Detta beror på att leran i större utsträckning är vattenmättad, innehåller färre makroporer och torksprickor och att risken för antropogen påverkan minskar.

Även mängden av en förorening kan spela roll. Vid Bodentvätten har inte leran skyddat det underliggande grundvattenmagasinet trots att den ligger några meter ner (överlagrad av fyllning, silt och sand) och är vattenmättad, men här var också föroreningsbelastningen större. Klorerade lösningsmedel föredrar preferentiella flödesvägar, t.ex. torksprickor eller transport via husgrunder, borrhål och annan antropogen påverkan. De sprids även via diffusion. Preferentiella flödesvägar kan vara orsaken till föroreningsspridningen både vid Bodentvätten och på andra platser.

Slutsatser

Baserat på de sju områdena förorenade med klorerade lösningsmedel som ingått i studien är examensarbetets slutsatser att:

- Leran har en uppbromsande förmåga men kan inte sägas vara tätande utan att tidsaspekten tas i beaktande. Denna studie kan endast säga något om ett lerlagers tätande förmåga under flera tiotals år, eftersom föroreningsspridningen i de studerade områdena pågått i minst 40 år.
- Lera varvat med silt och sand (svallsediment) kan öka jordlagrens potential att vara tätande genom att bromsa upp och sedan avleda spridningen av klorerade lösningsmedel i vertikal riktning. Detta skyddar endast eventuellt djupt liggande grundvatten och inte det grundvatten som finns ytligt i svallsedimenten.
- Leran har en större potential att verka tätande i områden som förorenats med klorerade lösningsmedel om lerlagret är vattenmättat och beläget en bit ned under markytan.

- I områden med punktutsläpp av klorerade lösningsmedel har de lokala förutsättningarna alltför stor påverkan för att man ska kunna definiera vid vilken mäktighet lera kan sägas vara tätande. Det är inte tillräckligt att endast förlita sig på jordartskartor i skala 1:50 000 eller översiktligare om de inte är anpassade för syftet att bedöma ett områdes sårbarhet.

I examensarbetet konstateras även att det behövs en tydlig definition av vad som menas med ett tätande lager ovan magasin på SGUs grundvattenkartor och i vilket syfte det markerats på kartorna. Sammanfattningsvis bör man generellt använda begreppet tätande jordlager med försiktighet.

Examensarbete på kandidatnivå

Ett examensarbete med titeln *En teoretisk studie av SGUs karterade tätande jordlager: Utvärdering och förslag på definition utifrån beräkningar av ämnestransport* (Broqvist m.fl. 2014) genomfördes.

Syfte

Syftet med examensarbetet var att förtydliga definitionen av begreppet tätande jordlager och att sammanställa information om tätande lager ovan magasin som karterats inom SGUs grundvattenkartering.

Metod och resultat

Med utgångspunkt från ett urval av SGUs karterade grundvattenmagasin i Skåne, Uppland och Västmanland samt från data ur SGUs brunnsarkiv gjordes en genomlysning av begreppet tätande lager ovan magasin samt hur detta har använts inom grundvattenkarteringen.

Resultaten i tabell 2 tyder på att användningen av begreppet tätande lager ovan magasin inom SGUs grundvattenkartering har varierat både över åren och mellan olika karteringsmetoder. I den lokala karteringen bör bedömningen vara säkrare än i de mer översiktliga kartläggningarna. Resultaten i tabell 2 tyder även på att det kan finnas variationer över landet av vad som anses vara tätande jordlager. Därför är det viktigt att ha detta i åtanke när man studerar SGUs grundvattenkartor. Lerans uppmätta medelmäktighet skiljer sig åt mellan de olika karteringsmetoderna och även mellan länen (tabell 3).

I examensarbetet gjordes även teoretiska beräkningar på genombrottstider för olika ämnen genom olika mäktiga lerlager. Genombrottstid innebär hur lång tid det tar från att ett utsläpp sker tills dess att ämnet uppnår en viss koncentration på ett givet avstånd. I det här fallet användes gränsvärdet för dricksvatten som koncentration för det aktuella ämnet. Slutsatsen blev att genombrottstiderna beror både på lermäktigheten och på koncentrationen eller föroreningsmängden vid start. Ju högre ämneskoncentration och tunnare lerlager desto kortare genombrottstid. Teoretiskt krävs det för metaller ett 10 m tjockt lerlager för att få en genombrottstid som överskrider 100 år. För klorid krävs mer än 30 m lera för att uppnå en transporttid på mer än 100 år för den högsta källkoncentrationen.

Slutsatser

Tillvägagångssättet för bedömandet av tätande lager ovan magasin inom SGUs grundvattenkartering skiljer sig mellan olika karteringsmetoder. Det förekommer även skillnader mellan olika delar av landet. Medelmäktigheten på leran är mindre inom de områden som karterats med länskartering än i de områden som karterats med kommunkartering eller lokalkartering. Med alla tre karteringsmetoderna är medelmäktigheten på leran mindre i Uppsala län jämfört med Skåne län.

När grundvattenkartor används inom samhällsplaneringen bör hänsyn tas till vilken karteringsmetod som har använts vid framtagandet av den aktuella kartan.

Tabell 3. Skillnader i medelmåktighet för lera inom områden karterade som tätande lager ovan magasin. Antal punkter anger hur många observationspunkter (brunnar i brunnsarkivet) som har tagits med i studien från 2014.

Län & karteringsmetod	Antal observationspunkter	Medelmåktighet på leran (m)
Lokalkartering		
Uppsala	164	12,8
Skåne	58	16,6
Kommunkartering		
Uppsala	15	9,5
Västmanland	10	12,1
Skåne	261	19,7
Länskartering		
Uppsala	5	4,2
Västmanland	20	8
Skåne	187	13

Examensarbetets förslag till definition på tätande jordlager är att 10 m lera kan anses vara en rimlig gräns för vad som bör definieras som ett tätande jordlager i ett 100-årsperspektiv. Endast ett fåtal föroreningstyper har dock studerats vilket gör att definitionen inte kan användas generellt.

Förstudie om tätande jordlagers inverkan på spridning av vägsalt

Ytterligare ett delprojekt genomfördes inom det SGU-interna forskningsprojektet *Tätande jordlagers inverkan på spridningen av vägsalt* (bilaga 5). I studien analyserades sambandet mellan salthalt, jordart och jorddjup i 230 bergborrade brunnar. Resultatet från studien visade inte något samband mellan jordart och salthalt. Salthaltsvariationen inom respektive jordart är dessutom stor. Det fanns ett svagt samband mellan salthalt (kloridhalt) och jorddjup där salthalten minskade med ökande jorddjup.

Det är svårt att veta hur stor påverkan saltning av vägar har på grundvattnet och det finns många andra faktorer förutom lertjockleken som påverkar salthalten i grundvattnet.

FÖRSLAG TILL DEFINITION AV TÄTANDE JORDLAGER

I det följande avsnittet ges förslag på uppdelning och ersättning av begreppet tätande jordlager och hur SGU anser att det ska användas. Definitionerna är lämpliga att användas såväl inom som utanför SGUs verksamhet. Hädanefter kommer SGU att benämna tätande jordlager som:

finkorniga jordlager med låg eller obetydlig genomsläpplighet ovanpå grundvattenmagasin eller fördröjande lager som kan skydda underliggande grundvatten

beroende på vilken situation som avses. Den första benämningen kommer att användas inom SGUs grundvattenkartering. Den andra delen kan användas mer generellt vid bedömning av förekomst av naturliga skyddande jordlager ovan grundvattenmagasin i t.ex. SGUs remissvar och vägledning.

Finkorniga lager med låg eller obetydlig genomsläpplighet ovanpå grundvattenmagasin

Idag används begreppet tätande lager ovan magasin. Den allmänna uppfattningen inom SGU är att detta beskriver områden med begränsad grundvattenbildning och att klassningen inte

ska användas för att peka ut områden där grundvattnet är naturligt skyddat. Begreppet tätande jordlager uppfattas dock i vissa fall som täta, och att det då finns en absolut barriär mot grundvattenförorening snarare än att jordlagret har en uppbromsande effekt där en förorening sprids mer långsamt ner genom jordlagren. Begreppet är således förvirrande och medför feltolkningar vid användandet av SGUs data. Ett förslag har därför tagits fram på hur dessa lager ska definieras. Tanken är att denna information ska följa med i SGUs grundvattenkartor och beskrivningar.

Med anledning av detta kommer SGU fortsättningsvis att använda begreppet finkorniga jordlager med låg eller obetydlig genomsläpplighet på grundvattenmagasin.

Ett alternativt mer förklarande begrepp är finkorniga jordlager med låg eller obetydlig genomsläpplighet som påtagligt begränsar grundvattenbildningen och vattenflödet ner till underliggande grundvattenmagasin.

Resonemang

Vid SGU innebär tätande jordlager följande: finkorniga jordlager med låg eller obetydlig genomsläpplighet över grundvattenmagasin och motsvarar områden där grundvattenbildningen är begränsad och från vilka det inte kan anses infiltreras större mängder vatten till grundvattenmagasinet. Inom dessa områden finns finkorniga sediment (lera och silt) med låg hydraulisk konduktivitet (se tabell 1). För att ett område ovanpå ett grundvattenmagasin ska markeras som ett område med låg genomsläpplighet och begränsad grundvattenbildning krävs sammanhängande jordlager med finkorniga sediment med stor utbredning. Det bör vara konstaterat att området har mäktiga lager med finkorniga sediment (utan makroporer eller torksprickor) eller att artesiska förhållanden är verifierade. Områden som har våtmarkskaraktär kan klassas som områden med låg genomsläpplighet och begränsad grundvattenbildning om de underlagras av och ingår i ett större område med finkorniga sediment.

Förhållandena inom de områden som på grundvattenkartorna markeras som områden med finkorniga jordlager med låg genomsläpplighet och begränsad grundvattenbildning kan till viss del medverka till att begränsa föroreningsspridning genom att huvuddelen av vattnet rinner av som ytvatten. Det är dock viktigt att tänka på att både lokala förhållanden och mängden underlagsdata kan skilja sig åt mellan olika områden. Områden markerade med låg genomsläpplighet på SGUs grundvattenkartor ska inte likställas med områden där grundvattenmagasinen är naturligt skyddade från föroreningsspridning från markytan. En finkornig jordart kan ha en uppbromsande effekt men för att veta om grundvattnet inom ett område skyddas mot eventuella föroreningar krävs lokal information om jordlagrets och grundvattenmagasinets egenskaper, inklusive kunskap om tänkbara spridningsvägar för föroreningen (t.ex. om spridning sker via ytlig avrinning) samt information om föroreningstypen. Även tidsaspekten behöver tas med i bedömningen, dvs. om grundvattnet har ett långvarigt skydd mot en föroreningsspridning, eller om det ovanliggande lagret endast bidrar till en kortvarig fördröjning som möjliggör en sanering innan grundvattnet förorenas.

Kriterierna för att ett område ska markeras med *finkorniga jordlager med låg eller obetydlig genomsläpplighet* kan sammanfattas:

- Finkorniga sediment lera eller silt.
- Sammanhängande mäktiga jordlager med stor utbredning (rimligtvis större än 3 ha).
- Utan förekomst av makroporer eller torksprickor eller verifierade artesiska förhållanden.
- Utan förekomst av makroporer eller torksprickor.
- Verifierade artesiska förhållanden.

Fördröjande lager som kan skydda underliggande grundvatten

I det följande sammanfattas hur SGU ser på naturligt grundvattenskydd, dvs. hur fördröjande jordlager (tidigare tätande jordlager) kan skydda underliggande grundvatten. Tanken är att den här texten ska ligga till grund för utveckling av riktlinjer och ställningstaganden som kan vara ett stöd för SGU vid bland annat remissyttranden, vid vägledning inom vattenförvaltningen och till externa aktörer.

Resonemang

Ett finkornigt jordlager kan i vissa fall fungera som ett naturligt skydd för underliggande grundvatten. För att ett lager ska fungera som ett naturligt skydd mot föroreningar bör det ha låg genomsläpplighet, tillräcklig utbredning och mäktighet samt vara relativt opåverkat av mänsklig aktivitet. Lager med finkorniga sediment kan dels vara mer eller mindre skyddande över en längre tid vid långvarig föroreningsbelastning, dels vara fördröjande vid punktutsläpp.

Ofta används begreppet täta eller tätande jordlager. Det medför en risk för missstolkningar då man inte kan säga att ett jordlager är helt tätt. Däremot kan ett jordlager fördröja en förorenings-spridning över olika lång tid beroende på jordlagrets egenskaper. Därför är det viktigt att alltid tydliggöra hur lång tidsperiod som jordlagret ska vara fördröjande och vad jordlagret ska skydda mot.

Vid en långvarig föroreningsbelastning krävs i regel ett mäktigt lager finkorniga sediment (främst lera) för att kvaliteten på det underliggande grundvattnet inte ska försämrats över tid. Hur stor mäktighet som krävs för att de finkorniga sedimenten ska utgöra ett naturligt skydd för underliggande grundvatten varierar mellan olika områden utifrån platsspecifika förhållanden och typ av förorening. Mäktigheten ska vara betydande och inte understiga den teoretiskt möjliga nivån för rötter och torrskorpelera i det aktuella området. Även tryckförhållanden kan ha en inverkan genom att ett uppåtriktat grundvattenflöde kan förhindra att vissa typer av föroreningar transporteras ned till det underliggande grundvattnet. En vägledning till vilken mäktighet som kan krävas kan fås från litteraturstudien (Bovin & Vikberg 2012), se då främst Miljöstyrelsen (2000).

Vid en kortvarig föroreningsbelastning (t.ex. punktutsläpp vid trafikolycka) kan mindre mäktiga lager med finkorniga sediment fördröja förorenings-spridningen till dess att sanering kan ske. I dessa fall är funktionen hos det finkorniga lagret främst fördröjande snarare än långsiktigt skyddande. Vid akuta situationer kan SGUs sårbarhetskartor vara stöd för räddningstjänsten, men dessa ska användas med försiktighet vid långvariga föroreningsbelastningar.

Vid artesiska förhållanden (som är beständiga och inte varierar över tid) kan en mindre mäktighet krävas för att finkorniga lager ska fungera som fördröjande jämfört med de fall då artesiska förhållanden inte råder. Dock bör man vara medveten om att förhållandena på platsen kan ändras över tid, t.ex. genom ett större grundvattenuttag, vilket innebär att skyddet då kan minska.

Det är inte enbart dagens förhållanden som ska tas i beaktande. Både samhället och de naturliga förutsättningarna (klimat, grundvattenbildning m.m.) kan ändras i framtiden vilket påverkar kraven på att skydda grundvattnet redan idag.

Begreppet tätande jordlager kan lätt missuppfattas. Det är därför att föredra att använda ordet fördröjande lager. Oavsett vilket begrepp man använder sig av måste det användas tillsammans med ett risk- och sårbarhetsmedvetenhet: vad kan hända och vilka konsekvenser kan det få? Kriterierna kan sammanfattas på följande sätt i punktform:

- Låg genomsläpplighet.
- Tillräcklig utbredning.

- Relativt opåverkat av mänsklig aktivitet.
- Mäktigheten ska inte understiga den teoretiskt möjliga för rötter och torrskorpelera samt vara betydande.

DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Resultaten från de studier som genomförts inom projektet visar att det är svårt att göra en bedömning av vad som kan anses vara låggenomsläppliga eller fördröjande jordlager och att det beror på många olika faktorer: lokala geologiska förutsättningar, tidsaspekt, vad man vill skydda, vad det ska skyddas mot m.m. Allt detta gör att det är svårt att ta fram en definition som fungerar i flera olika slags situationer. Samtidigt är det viktigt att det finns en samsyn när man pratar om naturligt skydd av grundvatten. SGU har i ovanstående kapitel försökt att punkta upp vad som kan anses vara fördröjande eller låg genomsläpplighet men inte kunnat sätta en definitiv mäktighetsuppgift.

Då det är svårt att dra upp generella riktlinjer bör platsspecifika definitioner användas för olika situationer. I denna rapport finns ett förslag på hur jordlager med låg genomsläpplighet ska definieras inom SGUs grundvattenkartering. För andra ändamål kan andra typer av definitioner och riktlinjer behövas. Eftersom definitionen på vad som anses vara låggenomsläppliga lager eller fördröjande lager varierar utifrån många faktorer är det av stor vikt att i varje enskilt fall vara tydlig med vad som kan anses fördröjande eller låggenomsläppligt utifrån relevanta faktorer såsom behov, tidsaspekt, föroreningstyp m.m. för just den platsen.

Den viktigaste frågeställningen när det handlar om att definiera låggenomsläppliga eller fördröjande jordlager är funktionen hos jordlagret. Därför bör bl.a. följande frågor ställas och besvaras innan man kan anse ett jordlager vara låggenomsläppligt eller fördröjande: Vad ska jordlagret skyddas mot? Ska det ske en fastläggning, nedbrytning eller utspädning av föroreningen i jordlagret? Eller ska det vara möjligt att sanera tack vare en fördröjning av föroreningsspridningen?

Även om ett jordlager endast fungerar fördröjande och inte är tätande eller fullt skyddar underliggande grundvatten så kan det ändå vara värdefullt i många fall eftersom det kan fördröja en föroreningsspridning ned till grundvattnet så att en sanering hinner göras i tid.

Den här rapporten är en sammanställning av kunskapsläget över hur grundvattnet kan skyddas av överlagrande jordlager. Förhoppningen är att rapporten ska kunna bidra till arbetet med att ta fram riktlinjer och vägledningar för grundvattenskydd i olika situationer. Informationen om hur lager med låg genomsläpplighet används inom SGUs grundvattenkartering kan även vara till hjälp i andra sammanhang, t.ex. frågor som rör samhällsplanering.

REFERENSER

- Anderberg, J., 1996: *Hydrogeologisk konsekvensbeskrivning för Ostkustbanan dubbelspår Uppsala, delen Gamla Uppsala*. Sveriges geologiska undersökning Dnr 08-31/96.
- Broqvist, K., Cheung, C., Karlsson, A., Lind, A.-S., Wright, C. & Östblom, E., 2014: *En teoretisk studie av SGUs karterade tätande jordlager. Utvärdering och förslag på definition utifrån beräkningar av ämnestransport*. Kandidatarbete 15 hp. Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet.
- Daly, D. & Warren, P., 1998: Mapping groundwater vulnerability: the Irish perspective. Groundwater Pollution, Aquifer Recharge and Vulnerability. *Geological Society London, Special Publication 130*, 179–190.
- Eriksson, J., Nilsson, I. & Simonsson, M., 2005: *Wiklanders Marklära*. Lund. Studentlitteratur AB.
- Fagerlind, T., Müllern, C.-F. & Pousette, J., 1977: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet

- Norrköping NV. *Sveriges geologiska undersökning Ag 7*.
- Grip, H. & Rodhe, A., 2003: *Vattnets väg från regn till bäck. 3e reviderade upplagan*, Hallgren och Fallgren Studieförlag AB, Uppsala.
- Highways agency, 2009: *Design manual for roads and bridges*. Environmental assessment, Volume 11, Section 3, Part 10. England.
- Larsson, R., 2008: *Information 1: Jords Egenskaper*. Statens geotekniska institut.
- Maxe, L. & Johansson, P.-O., 1998: Bedömning av grundvattnets sårbarhet. *Naturvårdsverket rapport 4852*.
- Messing, I., 1989: Estimation of the saturated hydraulic conductivity in clay soils from soil moisture retention data. *Soil Science Society of America Journal* 53, 655–668.
- Miljöstyrelsen, 2000: Zonering. Detailkortläggning af arealer til beskyttelse af grundvandsressourcen. *Vejledning fra miljøstyrelsen Nr. 3, 2000*.
- Morén, I., 2014: *Lerlagers tätande förmåga och inverkan på transporten av klorerade lösningsmedel i förorenade områden*. Examensarbete 30 hp, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet. ISSN 1401-5765.
- Müllern, C.F., 1996: Beskrivning till kartan över grundvattentillgångar i Strängnäs kommun. *Sveriges geologiska undersökning An 3*.
- Norges geologiske undersøkelse, 2011: *Beskyttelse av grunnvannsanlegg – en veileder*. ISBN 978-82-7385-145-1.
- Palmer, R. & Lewis, M.A., 1998: Assessment of groundwater vulnerability in England and Wales. Groundwater Pollution, Aquifer Recharge and Vulnerability. *Geological Society London, Special Publication 130*, 191–198.
- Pousette, J., Müllern, C.-F., Engqvist, P. & Knutsson, G., 1981: Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Kalmar län. *Sveriges geologiska undersökning Ah 1*, 13–14.
- SGU, 1989: Sårbarhetskarta, Skaraborg. *Sveriges geologiska undersökning Ah 9*.
- SGU, 1997: *Grundvatten i Stockholm. Tillgång–Sårbarhet–Kvalitet*. Sveriges geologiska undersökning.
- Karlsson, R. & Hansbo, S., 1984: *Jordarternas indelning och benämning*. Svenska geotekniska föreningen 1984.
- Thorsbrink, M., Carlsson, C.-H., Blad, L., Jirner Lindström, E. & Rodhe, L., 2009: Erfarenhetsrapport – Sårbarhetskartor för grundvatten anpassade för räddningstjänstens behov. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2009:5*.
- Tiehallinto, 2009: *Förbättring av riksväg 7 (E18) till motorväg, avsnittet Forsby–Lovisa, Pernå och Lovisa, revidering av vägplanen*.
- Vägverket, 1994: Yt- och grundvattenskydd. *Vägverket Publikation 1995:1*.
- Vägverket, 2006: Dricksvattenbrunnar – hantering av mindre vattentäkter utmed vägar. *Vägverket Publikation 2006:123*.

Examensarbeten från Uppsala universitet finns sökbara via Uppsala universitet på uu.diva-portal.org

BILAGA 1. SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT FRÅN LITTERATURSTUDIE OM TÄTANDE JORDLAGER

Introduktion till litteraturstudien

Denna sammanställning ska ses som ett underlag inför fortsatt arbete med tätande jordlager. Den utgör de resultat som har framkommit i litteraturstudien om tätande jordlager. Som en avslutning på litteraturstudien hölls ett seminarium om tätande jordlager vid SGU 1 december 2011. De frågeställningar som togs upp finns redovisade i bilaga 3 Diskussionsfrågor.

Syftet med denna studie har varit att ta reda på hur kunskapsläget ser ut idag, vad som gjorts tidigare och vilka som har uttalat sig i frågan. En del av arbetet har varit att ta reda på hur SGU behandlat frågan och om vi varit konsekventa i våra expertutlåtanden och slutsatser. I dagsläget används begreppet tätande jordlager främst i våra sårbarhetskartor och remissyttranden, exempelvis gällande vattenskyddsområden, infrastrukturprojekt m.m. SGU som expertmyndighet kan ha en stor påverkan i beslutsprocessen i dessa frågor. Det är därför viktigt att de yttranden vi gör är väl förankrade både inom myndigheten och mot rådande kunskapsläge.

Metod

En del av arbetet har varit att ta fram information om hur SGU har hanterat definitionen av tätande jordlager tidigare och undersöka vad som har sagts i remissyttranden och utredningar. Resterande delen av arbetet har varit att ta fram information om hur andra aktörer har bedömt vad som kan anses som ett tätande jordlager.

Information har sökts inom andra svenska myndigheter som Trafikverket, Naturvårdsverket, Statens geotekniska institut och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap och inom universitet och högskolor i Sverige. Information om hur andra geologiska undersökningar och andra myndigheter i Norden, Storbritannien, Irland och USA använder uttrycket har samlats in.

Vid digitala sökningar har bland annat följande sökord använts: täta jordlager, tätande skikt, impermeabla och lågpermeabla jordlager, geologisk barriär, naturligt grundvattenskydd och grundvattnets sårbarhet samt på engelska *aquitard* och *aquiclude*.

Resultat av litteraturstudien

De definitioner som har hittats baseras till största delen på parametrar som mäktighet, jordart, hydraulisk konduktivitet och transporttid ned till grundvattenytan (eller i lera ned till det vattenförande lagret). Andra parametrar som används är mängd nederbörd som kan tränga ned till en deponi, syrehalt i jordlagret och packningsgraden i det tätande skiktet. Ofta kombineras flera parametrar i en definition (t.ex. att en definition baserad på mäktighet ofta också preciserar vilken jordart det bör vara och ibland också kombineras med en transporttid).

Definitionerna varierar även beroende på vad som är syftet med att beskriva lagret. Det finns t.ex. olika definitioner för diffusa utsläpp och punktutsläpp, om man vill att det tätande lagret naturligt ska skydda mot föroreningen eller endast minska transporttiden så att en sanering blir möjlig, hur lång tid det tätande lagret antas kunna skydda grundvattnet m.m.

Det är vanligt med klassificering av grundvattnets sårbarhet och hur denna bedöms utifrån olika jordarter och mäktigheter. I den här studien har områden med låg sårbarhet bedömts ha samma förutsättningar som områden med tätande lager, i de fall grundvattenmagasin överlagras av tätare jordlager.

Definitionerna av tätande jordlager varierar mycket mellan olika källor. Det kan vara svårt att jämföra de olika definitionerna med varandra eftersom de ofta grundas på olika utgångspunkter och syften. I det följande listas resultaten från litteraturstudien indelade efter geografisk plats och aktör.

Sverige

SGU

Rapporter

SGU skriver i rapporten *Grundvatten i Stockholm* att "Där lerdjupet överstiger 4 meter bedöms ett fullgott skydd mot föroreningar föreligga med förbehåll för eventuell påverkan i form av dräneringsgravar, tunnlar eller schaktningsarbeten. Vid mindre än 4 meter bedöms ett mindre bra skydd för grundvattnet föreligga på grund av eventuella torrspäckor, blottningar eller siltskikt" (SGU 1997).

I en hydrogeologisk konsekvensbeskrivning för dubbelspår i Gamla Uppsala, som SGU skrivit på uppdrag, står att "grundvattnets sårbarhet längs ostkustbanan bedöms som liten där mer än 3 m skyddande lerlager förekommer" (Anderberg 1996).

Sårbarhetskarter

Enligt SGUs sårbarhetskarter från 1989 är risken för infiltration av föroreningar liten då sand och gruslager överlagras av lera och måttlig till liten för moränlager mäktigare än 3 m (SGU 1989).

I SGUs erfarenhetsrapport om sårbarhetskarter från 2009 har man klassificerat om betydande grundvattenmagasin som ligger under ler- eller siltskikt till hög sårbarhet. Det står även att silt och lera "har mycket låg genomsläpplighet, men för att utgöra ett naturligt skydd bör siltlerlagret vara åtminstone 2 meter tjockt. Torkspräckor och rotkanaler kan öka genomsläppligheten" (Thorsbrink m.fl. 2009).

Remisser

SGU har svarat på flera remisser som berört tätande lerlager. Exempel på yttranden från SGU: "SGUs uppfattning är att jordvärmeanläggningar kan anläggas inom vattenskyddsområde när marklagren ovan grundvattenmagasinet utgörs av mäktiga täta jordlager som lera, vilket betydligt minskar ovanstående beskrivna risker" (SGU 2008).

"I de insända remisshandlingarna påstås att det är vedertaget att 3 meter lera eller mer utgör en naturlig spridningsbarriär. Utan att ifrågasätta huruvida detta är en vedertagen uppfattning vill SGU påpeka att spräckor och makroporer kan förekomma ned till flera meters djup. Förekomst av spräckor och makroporer beror av växtlighet/gröda (rotdjup för t.ex. kål, höstraps, squash överstiger normalt 2 m vid skörd), grundvattennivån, tiden på året och jordarten (typ av lermineral, gyttja, fördelning mellan olika kornstorlekar m.m.). Årets två torrperioder är också avgörande för förekomst av makroporer/spräckor, dels under sommarmånader med hög avdunstning och begränsad nederbörd men även under vintern då makroporer uppstår i samband med torra på grund av frysning. I sammanhanget kan även nämnas att danska miljöstyrelsen har utgivit en vägledning om hur zonindelning ska göras vid kartläggning av områden för att skydda grundvattenresurser. I denna vägledning har det naturliga skyddet för grundvatten klassificerats i tre grupper och till gruppen med "ringa eller inget skydd" hänförs alla områden med mindre än 5 m täckande lerlager. Gott skydd, dvs. högsta skyddsklass enligt dansk indelning, erhålls först vid minst 10 meter lera" (SGU 2009).

Trafikverket

I Vägverkets rapport *Yt- och grundvattenskydd* står det att "Naturligt skydd för grundvatten kan utgöras av täta jordar, t.ex. ej uppsprucken lera-silt eller moränlera, där även små lagertjocklekar (≤ 2 m) kan ge genomströmningstider för vatten överstigande tre dygn". Trafikverket använder sårbarhetsklasser som baseras på transporttiden ned till grundvattnet (vertikal strömningstid). Transporttiden är mer än 10 dygn för sårbarhetsklass 1, 3–10 dygn för sårbarhetsklass 2 och

mindre än 3 dygn för sårbarhetsklass 3 (Vägverket 1994). Denna klassificering baseras på den tid det tar för att upptäcka ett utsläpp, ta sig dit och påbörja en sanering, samt det grävbara djupet i området. Trafikverket har reviderat rapporten från 1995 (Trafikverket 2013). Innehållet i den reviderade rapporten har inte beaktats i arbetet med den här rapporten. En tabell över vilken mäktighet och vilken hydraulisk konduktivitet som krävs för att transporttiden ska vara 10 dygn visas i bilaga 4.

I en rapport om dricksvattenbrunnar och mindre vattentäkter längs vägar skriver Vägverket (2006) att "En grundvattenakvifer som är överlagrad av finkorniga jordar som lera, silt och finkornig morän med lagertjocklek på mer än 1 à 2 m, har ett bra skydd mot föroreningar i brunns närhet (motsvarande mer än 10 dygns genomströmningstid)". Detta gäller ytligt förekommande föroreningar. Här står också att "Tillräckligt naturligt skydd kan en brunn anses ha när en finkornig jord av till exempel lera eller silt av minst 2 m mäktighet finns under dikesbotten."

I en förstudie om statliga vägar inom ett vattenskyddsområde i Hässleholms kommun som WSP har gjort på uppdrag av Vägverket står att "De ytliga jordarterna är morän och torv som får betraktas som relativt täta jordarter med god förmåga att fastlägga diffusa vägföroreningar. Transporthastigheten vid ett petroleumutsläpp är i dessa jordarter dessutom låg, vilket ger tidsrum för insatser att förhindra föroreningen nå det aktuella grundvattenmagasinet i berggrunden." (WSP 2008). Här finns också exempel på tätskikt vid tätning av diken där man använt ett lager av 0,5 m lermorän för att minska risken för att kemiska ämnen och petroleumprodukter ska infiltrera.

Tyréns har på uppdrag av Vägverket skrivit en PM om hydrogeologin längs en vägsträcka i Småland. I rapporten står att "Ovanpå de starkt vattenförande jordmassorna ligger finkorniga sediment med mäktigheter mellan 3–48 m. Därför räknas grundvattenresursen som ett slutet magasin med täta jordlager även om visst läckage lokalt kan förekomma in eller ut ur magasinet." (Tyréns 2009).

Naturvårdsverket

I Naturvårdsverkets handbok för deponering av avfall (Naturvårdsverket 2004) anser man att den geologiska barriären ska fördröja transporttiden till recipienten (i det här fallet menas vanligtvis ytvatten) till minst 200 år för en deponi med farligt avfall. För att uppfylla det måste mäktigheten på det skyddande lagret vara minst fem meter om den hydrauliska konduktiviteten är 10^{-9} m/s. Genom att minska konduktiviteten kan man även minska mäktigheten.

19§ SFS 2001:512. Förordning om deponering av avfall, Miljödepartementet

En deponi skall vara lokaliserad så att allt lakvatten efter driftfasen och ej uppsamlat lakvatten under driftfasen passerar genom en geologisk barriär som uppfyller följande krav. Transporttiden för lakvattnet genom barriären får inte vara kortare än 200 år för deponier för farligt avfall, 50 år för deponier för icke-farligt avfall och 1 år för deponier för inert avfall. Om de naturliga förhållandena på platsen inte innebär att kraven i första stycket uppfylls i fråga om en viss del av lakvattnet, får kompletteringar ske så att mark och vatten skyddas genom en geologisk barriär som uppfyller kraven i 20 § andra stycket.

Syftet med den geologiska barriären är att den ska förhindra en spridning av föroreningarna från deponin och på så vis utgöra ett skydd. De föroreningar som lakas ut ska antingen brytas ned eller fastläggas under transporten till recipienten (Naturvårdsverket 2004).

Naturvårdsverket har även andra definitioner på tätande lager som berör tätskikt för deponier. Med tätskikt menas det skikt som används vid täckning av en deponi. Vid tätning av deponier finns flera parametrar att ta hänsyn till. Ett tätskikt ska inte ligga närmare markytan än

1,5 m för att förhindra rotpenetration. Max 10–15 % av nederbörden ska kunna tränga ned till lakresterna. Om syrehalten i tätskiktet är mindre än 1 % anses det vara välfungerande (Naturvårdsverket 2002).

I Naturvårdsverkets rapport 4852, *Bedömning av grundvattnets sårbarhet* (Maxe & Johansson 1998), tas hänsyn till två olika typer av utsläpp: punktutsläpp och areellt spridda utsläpp (diffusa utsläpp). Vid punktutsläpp, exempelvis stora vätskespill, är det uppehållstiden i den omättade zonen som är den viktigaste faktorn, detta för att föroreningen ska hinna grävas upp innan den når grundvattenmagasinet. Vid areellt stora utsläpp är det möjligheten för föroreningar att fastläggas innan den når grundvattenmagasinet som är den viktigaste faktorn, vilket gör att det är den omättade zonen specifika yta som spelar roll.

För att sårbarheten ska klassas som låg vid plötsliga, stora vätskeutsläpp ska transporttiden vara över ett år ned till fem meters djup, vilket innebär ett jordlager av lera eller silt. Eftersom det är ovanligt att grundvattenytan ligger så djupt i lera avser det i stället djupet ned till det vattenförande lagret. För areellt spridda föroreningar krävs en mäktighet på mellan 2 och 8 m lera i områden med jordmån för att sårbarheten ska klassas som låg. För områden som saknar jordmån eller vid ett utsläpp under markytan krävs minst åtta meter lera för en låg sårbarhet (Maxe & Johansson 1998, bilaga 4)

Naturvårdsverket har även angett att täta jordlager återfinns i mark med mäktiga lerlager (flera meter) utan risk för torrsprickor eller genomsläppliga skikt, i moränleror eller leriga moräner, samt i väl humifierade och kompakterade torvlager (Naturvårdsverket 2011).

Svenska geotekniska föreningen

Svenska geotekniska föreningen (1999) definierar ett tätskikt som ”en barriär som reducerar genomträngningen av en vätska eller gas som rör sig genom konvektion och/eller diffusion”. De ger inga specifika mått på parametrar som mäktighet, hydraulisk konduktivitet etc.

Norden

Norge

I slutet av 1980-talet och början av 1990-talet pågick ett projekt i Norge som kallades GiN-projektet (Grunnvann i Norge). Flera vägledningsrapporter gavs ut inom projektet och som avslutning gav NGU 1992 ut den sammanfattande rapporten *Grunnvann i Norge, Sluttrapport*. I denna rapport står att faktorer som är viktiga för hur sårbar en grundvattenförekomst är, bland annat är mäktigheten på det överliggande jordlagret samt vilken typ av material det är (NGU, 1992). En av vägledningsrapporterna från GiN-projektet har nyligen reviderats (NGU 2011). I den nya rapporten tas återigen naturliga skyddsfaktorer som kan utnyttjas i grundvattensammanhang upp. En naturlig skyddsfaktor är den omättade zonen över grundvattenytan. Barriärens effektivitet ökar med ökande mäktighet och avtagande permeabilitet. Mäktigheten bör vara minst tre meter för att ge ett gott skydd. En annan skyddsfaktor som nämns är lågpermeabla lager i akviferen som skyddar underliggande vatten.

Bioforsk är ett forskningsinstitut i Norge som har publicerat en rapport om sårbarhetskartläggning i lösmassor (Kværner 1996). I rapporten konstateras att ett grundvattenmagasins sårbarhet beror på egenskaper hos överliggande jordmån och den omättade zonen förmåga att hindra eller minska nedträngning av föroreningar (se bilaga 3). Ju tunnare den omättade zonen är desto större betydelse har jordmånen för sårbarheten hos underliggande grundvatten. I Norge är den omättade zonen vanligtvis tunn och därför är jordmånens egenskaper viktigare i sårbarhetssammanhang än i länder med mäktigare jordlager ovanför den mättade zonen. Denna rapport beskriver också olika metoder för sårbarhetskartläggning och hur kartläggningen gått till i andra länder.

Finland

Trafikverket i Finland skriver i en rapport att ett lerlager som är mer än två meter tjockt fungerar som ett naturligt grundvattenskydd (Tiehallinto 2009).

Danmark

Danska Miljöstyrelsen har i sin vägledning för sårbarhetsklassificering definierat tre sårbarhetsklasser för grundvattenmagasin (Miljøstyrelsen 2000):

1. Ett gott skydd innebär mycket liten infiltration till magasinet. Antingen på grund av lågpermeabla skikt, det vill säga minst 10 m marin eller glaciälvial lera eller 30 m moränlera, eller på grund av uppåtriktad gradient i magasinet, eventuellt med en trycknivå över markytan.
2. Ett måttligt skydd definieras av glaciälvial lera eller marin lera med en mäktighet på 5–10 m eller moränlera på 15–30 m, samtidigt som trycknivån i magasinet i sig inte utgör ett gott naturligt skydd.
3. Ett ringa skydd förekommer i områden med mindre än 5 m lera eller mindre än 15 m moränlera där grundvattnets trycknivå inte utgör ett skydd för grundvattnet.

Erfarenheter från grundvattenkvalitetsundersökningar har visat att om mer än hälften av de översta 30 m i jordlagret består av lerlager är det troligt att grundvattnet är väl skyddat mot nitratläckage och flera andra föroreningar som är vanligt förekommande i Danmark. När lerlagrets mäktighet överstiger 15 m försvinner problemet med sprickor i leran eftersom sådana sprickor inte har observerats djupare ned än 7–8 m. En studie har visat på att kartan över lerlagrets mäktighet korrelerar väl med mätningar av grundvattenkvaliteten. Grundvattnets kvalitet i akviferer som är överlagrade av mer än 15 m lera bekräftar att lerlagret erbjuder gott skydd mot föroreningar som nitratläckage från rotzonen (Thomsen m.fl. 2004).

Övriga länder och regioner

England

En artikel publicerad av Geological society som berör grundvattnets sårbarhet i England och Wales tar upp frågan om vid vilka mäktigheter ett lerlager kan anses vara tätande. Lerlager med mäktighet på mer än fem meter anses skydda underliggande grundvatten mot föroreningsutsläpp på markytan. Akviferer som förekommer under dessa lerlager antas därför ha låg sårbarhet (Palmer & Lewis 1998).

Highways agency i England (2009) använder sig av tre sårbarhetsklasser där man först klassificerar olika parametrar var för sig och sedan gör en sammanvägning. Exempel på parametrar är den omättade zons mäktighet och jordartens kornstorlek. Den omättade zonen ska vara över 15 m för att ett område ska uppnå den lägsta risken, mellan 5 och 15 m för måttlig risk samt under 5 m för hög risk. Detta baseras på att den omättade zons mäktighet kan variera med flera meter under året. Jordartens kornstorlek ska för den lägsta risken vara finsand eller mindre, för måttlig risk grovsand och för den högsta riskklassen grövre än grovsand (se bilaga 4).

Irland

I sårbarhetskartorna över Irland har man antagit att föroreningarna släpps ut från punktkällor på 1–2 m under markytan. Därför är inte det översta jordlagret medräknat i en generell sårbarhetskartering. På en fyrgradig skala över sårbarheten krävs det minst åtta meter lera eller lerig morän under utsläppspunkten för att sårbarheten ska klassas som låg. I riktlinjerna ger en mäktighet på mer än tio meter en låg risk, efter det att de översta 1–2 m har lagts till (se tabell 1). Man har även tagit hänsyn till borrhålsutsläpp där en förmodad låg risk ges till de områden

som har en lermäktighet på mer än tio meter där det finns glest med borrhuppgifter. För områden med fler och tätare uppgifter från borrning blir uppgifterna mer tillförlitliga och därmed kan man göra bedömningen låg risk (Daly & Warren 1998). Ett en till två meter mäktigt jordlager eller, för sand och grus, en till två meter mäktigt omättad zon ger en hög sårbarhet på den fyra-gradiga skalan.

Skottland

I en artikel skriven från Brittiska geologiska undersökningen och Scottish environmental protection agency, som en del i arbetet med EUs vattendirektiv (EU2000/60/EG), står det att makroporflödet är av betydelse för en regional bedömning av sårbarheten när flödesvägen (mäktigheten till magasinet) är mindre än tre meter tjock (Dochartaigh m.fl. 2005).

USA

Naturvårdsverket i USA (Environmental Protection Agency) har skrivit en handbok om grundvatten som bland annat tar upp naturligt skydd mot föroreningar i grundvatten (Environmental Protection Agency 1990). I den konstaterar man att en viktig parameter är de fysiska och kemiska egenskaperna hos jorden genom vilken föroreningen transporteras samt mäktigheten av den omättade zonen. Ju mäktigare omättad zon ju större chans att föroreningen kan spädas ut, fastläggas eller brytas ned. Slutna akviferer har generellt en konstant kemisk kvalitet medan den kemiska kvaliteten på vattnet i ytligare akviferer kan ändras snabbt. De senare är inte väl skyddade mot eventuella föroreningar som kan transporteras ned från markytan.

Slutsatser av litteraturstudien

Som det ser ut i dagsläget används begreppet tätande jordlager utan någon riktig definition vilket gör det väldigt osäkert. Det bör tydligt framgå vad som menas och för vilken situation definitionen är tillämpbar.

Den ståndpunkt som SGU har haft tidigare verkar ligga i underkant i jämförelse med andras bedömningar, både inom Norden och i Europa. Med anledning av att grundvatten utgör en stor del av vår vattenförsörjning kan det uppstå problem i framtiden om vi inte har tillräckligt med underlag för att uttala oss om tätande eller skyddande lager som kan skydda grundvattnet.

Referenser

- Anderberg, J., 1996: *Hydrogeologisk konsekvensbeskrivning för Ostkustbanan dubbelspår Uppsala, delen Gamla Uppsala*. Sveriges geologiska undersökning, diarienummer 08-31/96.
- Daly, D. & Warren, P., 1998: Mapping groundwater vulnerability: the Irish perspective. Groundwater Pollution, Aquifer Recharge and Vulnerability. *Geological Society London, Special Publications 130*, 179–190.
- Dochartaigh, B.E.O., Ball, D.F., McDonald, A.M., Lilly, A., Fitzsimons, V., Del Rio, M. & Auton, C.A., 2005: Mapping groundwater vulnerability in Scotland: a new approach for the Water Framework Directive. *Scottish journal of geology 21–30*.
- Environmental Protection Agency, 1990: *Handbook. Groundwater. Volume I: Ground Water and Contamination*. United States.
- GEUS, 2000: *Afprøvning af zoneringsmetoder*. Miljøstyrelsen.
- Grip, H. & Rodhe, A., 2003: *Vattnets väg från regn till bäck (3 uppl.)*. Uppsala: Hallgren och Fallgren Studieförlag AB.
- Highways agency, 2009: *Design manual for roads and bridges. Volume 11, Section 3, Part 10. Environmental assessment*. Highways agency, England.
- Kværner, J., 1996: *Sårbarhetskartlegging av grunnvann i løsmasser*. Jordforsk, Norge.

Tabell 1. Irländsk tabell över sårbarhetsklassificeringarna och mäktigheten för olika jordarter (Daly & Warren 1998).

Sårbarhetsvärdering	Hydrogeologiska krav			Omättad zon (Sand & grus endast akviferer)	Infiltrationstyp
	Sub-mark genomsläpplighet (typ) och tjocklek	Hög genomsläpplighet (sand/grus)	Måttlig genomsläpplighet (sandig morän)		
Extrem	0–3,0 m	0–3,0 m	0–3,0 m	0–3,0 m	punkt (<30 m radie)
Hög	>3,0 m	3,0–10,0 m	3,0–5,0 m	>3,0 m	diffus
Måttlig	n/a	>10,0 m	5,0–10,0 m	n/a	diffus
Låg	n/a	n/a	>10,0 m	n/a	diffus

n/a = ingen uppgift.

Precisa värden på genomsläppligheten kan inte ges i nuläget.

Utsläppet av föroreningar antas vara 1–2 m under markytan.

Anpassat från Daly & Warren (1998).

Larsson, R., 2008: *Jords egenskaper*. SGI, Linköping.

Maxe, L. & Johansson, P.-O., 1998: Bedömning av grundvattnets sårbarhet. *Naturvårdsverket rapport 4852*.

Miljöstyrelsen, 2000: *Vejledning fra miljøstyrelsen Nr. 3 2000. Zonering. Detailkortlægning af arealer til beskyttelse af grundvandsressourcen*. Miljøstyrelsen, Miljø- og energiministeriet.

Naturvårdsverket, 1994: *Vägledning för miljötekniska markundersökningar. Del 1: Strategi*.

Naturvårdsverket, 2002: Uppföljning av efterbehandlingsprojekt inom gruvsektorn. Åtgärder, kostnader och resultat. *Naturvårdsverket Rapport 5190*.

Naturvårdsverket, 2004: *Handbok 2004:2 Deponering av avfall*.

Naturvårdsverket, 2011: Förutsättningar för spridning av föroreningar. <<http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Tillstandet-i-miljon/Bedomningsgrunder/MIFOFororenade-omraden/Spridningsforutsattningar>> Hämtad 23-11-2011.

NGU, 1992: *Grunnvann i Norge (GiN) Sluttrapport*. Norges geologiske undersøkelse.

NGU, 2011: *Beskyttelse av grunnvannsanlegg – en veileder*. ISBN 978-82-7385-145-1.

Nilsson, G., 2003: Handledning i jordartsklassificering för mindre markvärmesystem. *Statens geotekniska institut, Varia 527*.

Palmer, R. & Lewis, M.A., 1998: Assessment of groundwater vulnerability in England and Wales. Groundwater pollution, aquifer recharge and vulnerability. *Geological Society London, Special Publications 130*, 191–198.

SGU, 1989: Sårbarhetskarta, Skaraborg. *Sveriges geologiska undersökning Ah 9. Specialkarta 2*.

SGU, 1997: *Grundvatten i Stockholm. Tillgång–Sårbarhet–Kvalitet*.

SGU, 2008: *Yttrande i ärendet: Överklagande av Länsstyrelsen i Dalarnas län beslut 2008-07-09 angående anmälan om värmepumpar på Sunnansjö 56:3, Ludvika kommun*. Dnr 01-1807/2008.

SGU, 2009: *Yttrande i ärendet: Vattenskyddsområde med föreskrifter för den kommunala vattentäkten i Gimo, Östhammars kommun, Uppsala län*. Dnr 01-879/2009.

Sweco, 2011: *Trafikverket Region Öst. Väg 210, trafikplats Norsholm, arbetsplan*. Tekniskt PM väg, geoteknik. Uppdragsnummer 220.1696. Karlstad: Trafikverket.

Svenska geotekniska föreningen, 1999: Tåtskikt i mark. Vägledning för beställare, projektörer och entreprenörer. *SGF Rapport 1:99*.

Thomsen, R., Søndergaard, V.H. & Sørensen, K.I., 2004: Hydrogeological mapping as a basis for establishing site-specific groundwater protection zones in Denmark. *Hydrogeology Journal*.

- Thorsbrink, M., Carlsson, C.-H., Blad, L., Jirner Lindström, E. & Rodhe, L., 2009: Erfarenhetsrapport – Sårbarhetskartor för grundvatten anpassade för räddningstjänstens behov. *Sve- riges geologiska undersökning SGU-rapport 2009:5*.
- Tiehallinto, 2009: *Förbättring av riksväg 7 (E18) till motorväg, avsnittet Forsby–Lovisa, Pernå och Lovisa, revidering av vägplanen*.
- Trafikverket, 2013: Yt- och grundvattenskydd. *Trafikverket 2013:135*, 97 s.
- Tyréns, 2009: *Arbetsplan. Teknisk PM Hydrogeologi*. Vägverket, Malmö.
- WSP, 2008: *Förstudie. Vattenskydd Ignaberga. Hässleholms kommun, Skåne län. Objekt 50323*. Trafikverket, Helsingborg.
- Vägverket, 1994: Yt- och grundvattenskydd. *Vägverket Publikation 1995:1*.
- Vägverket, 2006: Dricksvattenbrunnar – hantering av mindre vattentäkter utmed vägar. *Vägverket Publikation 2006:123*.

BILAGA 2. TRYCKNIVÅ OCH MAKROPORER

I texten nedan tas ytterligare aspekter upp som kan inverka på att ett jordlager kan anses vara tätande. Både grundvattnets trycknivå och förekomsten av makroporer inverkar på ett jordlagers förmåga att vara tätande.

Grundvattnets trycknivå

En akvifer är sluten om den överlagras av tätare jordlager och grundvattnets trycknivå står under övertryck (Grip & Rodhe 2003). Grundvattnets trycknivå är en parameter som också kan användas för att definiera ett tätande lager. Enligt Norges geologiska undersökning, NGU, är en hög trycknivå i artesiska akviferer ett exempel på en naturlig skyddsfaktor då den förhindrar en nedåtriktad vattenströmning och därigenom också nedträngning av föroreningar från markytan (NGU 2011).

Även danska Miljöstyrelsen tar upp artesiska förhållanden. Ett gott skydd definieras dels av ett mått på mäktigheten, dels av att det är en uppåtriktad gradient i magasinet, eventuellt med en trycknivå över markytan (Miljöstyrelsen 2000).

Trafikverket (f.d. Vägverket) skriver att: ”I områden där grundvattenströmningen är riktad mot markytan (utströmningsområden) är risken för föroreningstillförsel till grundvattenmagasinet liten. Ett utströmningsområde kan emellertid ändras till ett inströmningsområde genom pumpning i närbelägen vattentäkt varvid risken för grundvattenförorening ökar” (Vägverket 1994).

Makroporer

När man pratar om ett lerlagers mäktighet är det viktigt att tänka på att makroporer, som påverkar genomsläppligheten, ofta förekommer i den översta delen av leran. Dessa kan orsakas av torksprickor, rottrådar, frost m.m. När man anger en mäktighet på ett jordlager som antas skydda grundvattnet måste man tänka på att de översta metrarna kan vara påverkade av makroporer och ha en betydligt högre genomsläpplighet än de djupare lagren. Det finns mycket litteratur om makroporer, nedan visas ett urval.

Statens geotekniska institut (SGI) skriver såhär om makroporer: ”Lera som utsätts för uttorkning, tjälning och vittring kan bilda s.k. torrskorpelera. Ofta förekommer sprickbildning och rotkanaler i en torrskorpelera, vilket skapar dränerande förhållanden. I områden med lermark utgörs vanligtvis den översta metern/metrarna av torrskorpelera som ofta är mycket hård” (Nilsson 2003), ”Rottrådar påträffas ofta ned till 4–5 meter djup” (Larsson 2008).

Enligt Naturvårdsverket (1994) är leran ned till 1–3 m under markytan vanligen ombildad till en sprickig torrskorpelera med hög genomsläpplighet. I en undersökning gjord av Sweco på beställning av Trafikverket har jordlager inom ett område undersökts och torrskorpelera påträffats ned till 3 m djup inom området (Sweco 2011).

Det är dokumenterat att moränlerlager med mäktigheter på 5–8 meter är uppspruckna. I tjockare lerlager på mer än 10 meter kommer betydelsen av sprickor antagligen vara mindre, utan att det är en garanti för att de inte förekommer och kan vara betydelsefulla för transport av föroreningar. Sandlinsernas position kan också påvisas vid detaljerade undersökningar och de två parametrarna sprickor och linser är nödvändiga att ha kontroll på när man ska genomföra zonindelning av ett område (GEUS 2000).

”Den lägsta infiltrationskapaciteten återfinns i lerig mo/finnmo i vilken stabila sprickor inte uppstår. Sprickor i moränlera har påvisats i Danmark ned till sex meters djup och har förmodligen bildats vid moränens avsättning” (Maxe & Johansson 1998).

Referenser

- GEUS, 2000: *Afprøvning af zoneringsmetoder*. Miljøstyrelsen.
- Grip, H. & Rodhe, A., 2003: *Vattnets väg från regn till bäck (3 uppl.)*. Hallgren och Fallgren Studieförlag AB, Uppsala.
- Larsson, R., 2008: *Jords egenskaper*. Statens geotekniska institut, Linköping.
- Maxe, L. & Johansson, P.-O., 1998: Bedömning av grundvattnets sårbarhet. *Naturvårdsverket rapport 4852*.
- Miljøstyrelsen, 2000: *Vejledning fra miljøstyrelsen Nr. 3 2000. Zonering. Detailkortlægning af arealer til beskyttelse af grundvandsressourcen*. Miljøstyrelsen, Miljø- og energiministeriet.
- Nilsson, G., 2003: Handledning i jordartsklassificering för mindre markvärmesystem. *Statens geotekniska institut Varia 527*.
- NGU, 2011: *Beskyttelse av grunnvannsanlegg – en veileder*. ISBN 978-82-7385-145-1.
- Sweco, 2011: *Trafikverket Region Öst. Väg 210, trafikplats Norsholm, arbetsplan. Tekniskt PM väg, geoteknik*. Uppdragsnummer 220.1696. Karlstad: Trafikverket.
- Vägverket, 1994: Yt- och grundvattenskydd. *Vägverket Publ 1995:1*.

BILAGA 3. DISKUSSIONSFRÅGOR FRÅN SEMINARIET

Genom arbetet med litteraturstudien framkom ett antal frågor som intressanta att diskutera. Vid ett seminarium som hölls i Uppsala i december 2011 togs följande frågor upp:

Vilken funktion ska det tätande lagret ha?

- Vad ska det skydda mot? Ska det ske en fastläggning, nedbrytning, utspädning eller ska det vara möjligt att sanera tack vare en långsam föroreningsspredning?

Vid vilken transporttid kan man anse att grundvattenförekomsten är skyddad?

- Är det tills dess att man får en påverkan på grundvattenkvaliteten?

Vilket tidsperspektiv ska man använda när man anser att ett lager är tätande?

- Om det sker en påverkan på en grundvattenförekomst om 25–50 år, kan den fortfarande anses skyddad?

Behöver man olika definitioner för olika typer av utsläpp?

- Är det punktutsläpp eller diffusa utsläpp och sker utsläppet i eller ovan mark? Vilka olika slags föroreningar behöver man ta hänsyn till?
- Är det nödvändigt att precisera detta för SGUs verksamhet, eller kan man använda en generell definition?

Vad är den minsta mäktighet för den omättade zonen som kan utgöra ett gott skydd?

- Den omättade zonen ger olika bra skydd beroende på jordart, det är därför viktigt att ange jordarten. Mäktigheten på den omättade zonen varierar över året. Hur mycket kan mäktigheten variera? Vilka faktorer påverkar (jordart, klimat m.m.) Ska hänsyn tas till förändrat klimat? Makroporer i form av torksprickor och rotnedträngning påverkar genomsläppligheten.

Kan grundvattnets trycknivå användas för att definiera en skyddad grundvattenförekomst?

- Om vattnet står under övertryck och det sker ett uppåtriktat grundvattenflöde, förhindrar detta en föroreningspredning till magasinet? Utgör även utströmningsområden ett gott skydd? Ska man ta hänsyn till ett förändrat klimat?

Vilket avstånd avses då man talar om mäktighet?

- Med mäktighet menas i detta sammanhang den omättade zonens mäktighet. Ska man räkna från markyta till grundvattenyta eller från föroreningskälla till grundvattenyta? Behöver man precisera detta

I vilken skala ska man definiera ett tätande skikt?

- Hur ska ett område klassificeras om mäktigheten varierar?
- Vilken information om homogenitet kan fås från SGUs data och i vilken upplösning?
- Hur många undersökningar krävs det för att få tillräckligt mycket information i förhållande till vad vi vet idag. Vilket underlag krävs?

I vilken skala ska man definiera den hydrauliska konduktiviteten?

- Den hydrauliska konduktiviteten är inte homogen utan varierar både vertikalt och horisontellt. Finns det uppgifter på den vertikala hydrauliska konduktiviteten?

Kan man enbart ta hänsyn till den vertikala förorenings-spridningen eller måste man också tänka på den horisontella?

- Om föroreningen sker på ett tätande lager, hur kommer då den horisontella spridningen att ske? Kan föroreningen spridas horisontellt utanför det tätande området? Ska det ställas högre krav på undersökningar kring industrier och vägar?

Förslag på fortsatt arbete kring frågorna

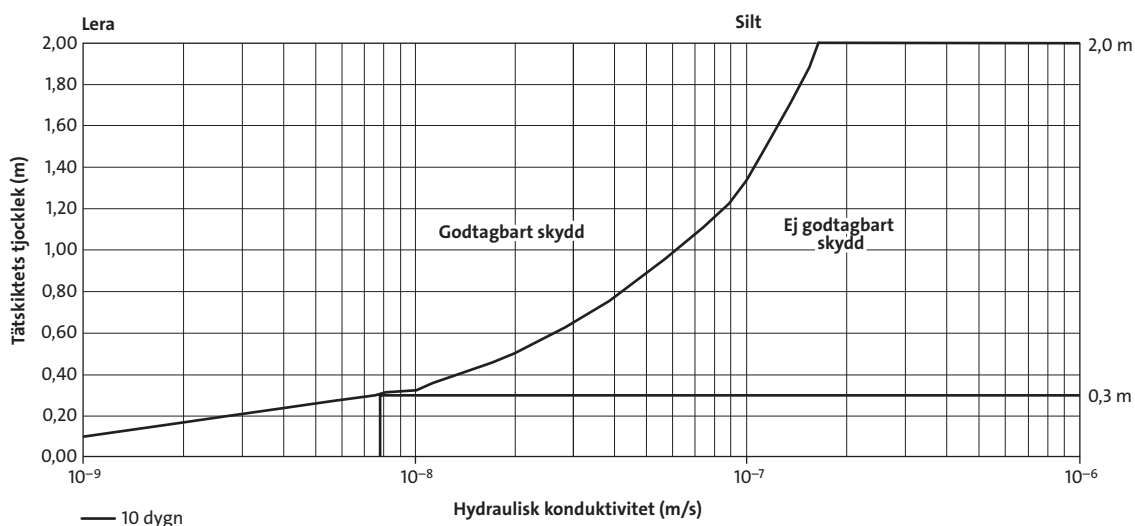
Var och en av de 10 huvudfrågorna som togs upp under seminariet kan arbetas vidare med i någon form, som interna projekt, examensarbeten, eller samarbeten mellan olika myndigheter. Under 2012 och 2013 initierades ett projekt vid SGU där sambandet mellan lermäktighet och grundvattenkvalitet studerades för att få en bild över hur lermäktigheten påverkar förorenings-spridning ned till grundvattnet (Moren 2014). En liknande studie har utförts i Danmark där man har studerat kopplingen mellan förorenade områden och grundvattenmagasin (Miljöstyrelsen 2000).

Referenser

- Miljöstyrelsen, 2000: Vejledning fra miljøstyrelsen *Nr. 3 2000. Zonering. Detailkortlægning af arealer til beskyttelse af grundvandsressourcen*. Miljøstyrelsen, Miljø- og energiministeriet.
- Moren, I., 2014: *Lerlagers tätande förmåga och inverkan på transporten av klorerade lösningsmedel i förorenade områden*. Examensarbete 30 hp, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet. ISSN 1401-5765.

BILAGA 4. TABELLER OCH DIAGRAM

Nedan presenteras ett urval av diagram och figurer från arbetet med litteraturstudien och som är relevanta vid diskussioner om grundvattnets sårbarhet.



Figur 1. Vägverkets (numera Trafikverket) tabell över mäktighet och hydraulisk konduktivitet där den svarta linjen visar en transporttid på 10 dygn. Ur Yt- och grundvattnenskydd, modifierad (Vägverket 1994).

Tabell 1. Grundvattnets sårbarhet vid förorening vid stora vätskeutsläpp respektive förorening vid areellt spridda utsläpp från Naturvårdsverket rapport 4852. Bedömning av grundvattnets sårbarhet (Maxe & Johansson 1998).

Grundvattnets sårbarhet för förorening vid stora vätskeutsläpp

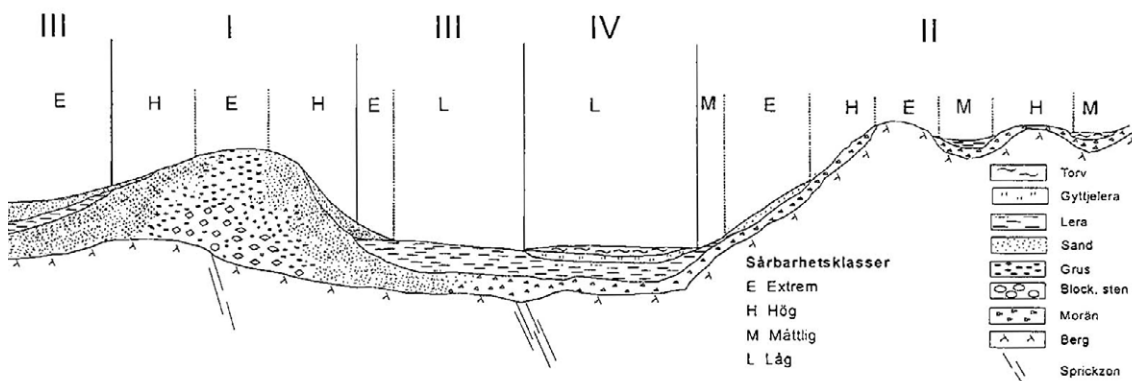
Tid till 5 m djup	<1 dygn	1 dygn till 1 månad	1 månad till 1 år	>1 år
Exempel på jordlager i den omrättade zonen	Grus	Sand, morän	Finsand, lerig morän	Silt, lera*
Bedömning av grundvattnets sårbarhet	Extrem	Hög	Måttlig	Låg

Grundvattnets sårbarhet för areellt spridda föroreningar

Markmaterialets sammanlagda yta ovanför grundvattenytan (m ² /m ²)	<1 × 10 ⁶	1–5 × 10 ⁶	5–25 × 10 ⁶	25–100 × 10 ⁶	>100 × 10 ⁶
Exempel på jordarter i omrättade zonen och djup till grundvattenytan	<2 m sand	2–10 m sand	1,5 silt till 2 m lera	2–8 m lera	(>8 m lera*)
Bedömning av grundvattnets sårbarhet för föroreningar i område med jordmån	Extrem	Hög	Måttlig	Låg	
Bedömning av grundvattnets sårbarhet för föroreningar i område utan jordmån eller vid utsläpp under markytan	Extrem	Hög	Måttlig	Låg	

* Ovanligt med så djup grundvattenytan, avser för lera istället djup till vattenförande lager

Figur 2. Skiss och tabell över sårbarheten hos olika hydrogeologiska miljöer från Naturvårdsverket rapport 4852. Bedömning av grundvattnets sårbarhet (Maxe & Johansson 1998).



Hydrogeologisk miljö	I Större grus- och sandavlagringar		II Kalt berg eller tunna jordlager				
	Grus	Sand	Kalt berg	Morän	Sand	Lera <2 m	Torv <2 m
Delområde	Grus	Sand	Kalt berg	Morän	Sand	Lera <2 m	Torv <2 m
Djup till grundvattenytan (m)	5–20	2–10	3–20	1–3	1–2	0,5–2	0,1
Tid tillgänglig för att gräva bort ev förorening*	1 timme– 1 dag ^{1,2}	1 dag– 1 månad ^{1,2}	<1 dag ³	<1 dag– 1 vecka ^{1,3}	<1 dag ^{1,3}	1 månad– 1 år ³	1 dag– 1 år ³
Tillgänglig partikelnya** (*106 m ² /m ²)	0,1–11	1–51	< 11	1–41	<11	6–25 ³	5–30 ³
Sårbarhet för stora vätskeutsläpp (> några 100 l)	Extrem	Hög	Extrem	Hög	Extrem	Måttlig (Hög) ⁵	Måttlig
Sårbarhet för areelt spridda föroreningar	Extrem	Hög	Extrem	Hög	Extrem	Måttlig	Måttlig
Sårbarhet i områden utan jordmån	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	e.u.	e.u.

Hydrogeologisk miljö	III Områden täckta av ler- eller siltlager					IV Myrområden	
	Sand	Silt <2 m	Silt >2 m	Lera <2 m	Lera >2 m	Torv <2 m	Torv >2 m
Delområde	Sand	Silt <2 m	Silt >2 m	Lera <2 m	Lera >2 m	Torv <2 m	Torv >2 m
Djup till grundvattenytan (m)	1–2	0,5–2	0,5–2	0,5–2	0,5–2	0–1	0–1
Tid tillgänglig för att gräva bort ev förorening*	<1 dag ¹	1 månad– 1 år ³	>1 år ³	1 månad till >1 år ³	>1 år ³	1 dag till 1 år ³	>1 år ³
Tillgänglig partikelnya** (*106 m ² /m ²)	<11	2–73	>73	6–25 ³	> 25 ³	5–30 ³	>30 ³
Sårbarhet för stora vätskeutsläpp (> några 100 l)	Extrem	Måttlig	Låg	Måttlig (Hög) ⁵	Låg	Måttlig	Låg
Sårbarhet för areelt spridda föroreningar	Extrem	Hög	Måttlig	Måttlig	Låg	Måttlig	Låg
Sårbarhet i områden utan jordmån	Extrem	e.u.	e.u.	e.u.	e.u.	e.u.	e.u.

* De tider som anges avser vattnets transporttid: 1) Till grundvattenytan, 2) Till 5 m djup, 3) Genom lågpermeabla lager eller till bergytan (bergakvifer) ** Sammanlagd partikelnya: 1) I omättade zonen, 3) I lågpermeabla lager *** Grundvattenakvifer kan finnas under silt eller lerlager. Angiven sårbarhet avser sådan undre akvifer förutom för sandområden. 5) Om genomgående sprickor finns, e.u.) Jordmånsprofilens betydelse för sårbarheten har inte utvärderats i områden med lågpermeabla eller organiska jordar.

Tabell 2. Egenskaper hos jordmån och omättad zon som påverkar sårbarheten hos grundvattenförekomster översatt från Sårbarhetskartläggning av grunnvann i lösmasser (Kværner 1996, översatt).

Egenskap/ parameter	Generella egenskaper			Ämnesspecifika egenskaper
	Primär egenskap		Sekundär egenskap	
	Jordmån	Omättad (vados) zon	Topografi/markyta	
Huvudpara- metrar	Textur	Tjocklek	Lutningsvariabilitet	Föroreningar minskar förmågan hos jorden och omättade zonen i förhållande till specifika förorenings- ämnen
	Struktur	Litologi	markyta	
	Tjocklek	Vattnets transporttid		
	Innehåll av organiska ämnen			
Tilläggspara- metrar	Lermineralinnehåll			Transportegenskaper för föroreningar Fördelningskoeffi- cient (Koc-värden) Persistens (halv- eringstid)
	Katjonbyteskapacitet	Vitringshastighet	Vegetationstäck	
	Reduktion- och sorp- tionskapacitet	Permeabilitet		
	Karbonatinnehåll			
	Densitet*			
	Vattenlagringskapa- citet*			
	Vattenuptagning genom växtrötter* Kväveöverförings- reaktioner*			

* Särskilt aktuellt för diffusa föroreningar från lantbruksaktiviteter.

Referenser

- Kværner, J., 1996: *Sårbarhetskartläggning av grunnvann i løsmasser*. Jordforsk, Norge.
- Maxe, L. & Johansson, P.-O., 1998: Bedömning av grundvattnets sårbarhet. *Naturvårdsverket rapport 4852*
- Vägverket, 1994: Yt- och grundvattenskydd. *Vägverket Publ 1995:1*.

BILAGA 5. FÖRSTUDIE OM TÄTANDE JORDLAGERS INVERKAN PÅ SPRIDNINGEN AV VÄGSALT

För att undersöka hur tätande lager kan verka som ett naturligt skydd mot vägsalt har data från SGUs kemiarkiv använts. Data bearbetades före analysen, för att kunna relatera salthalten i grundvattnet till lertjockleken. Genom att välja ut särskilda brunnar ur kemiarkivet undveks andra faktorer som kan påverka grundvattnets salthalt. Brunnar belägna nära en väg som saltas, på en viss höjd och på ett visst avstånd från havet har valts ut och endast bergborrade brunnar har använts för att säkerställa att det provtagna vattnet fanns under den tätande leran. Analysen har gått ut på att jämföra salthalten i brunnar belägna i olika jordarter samt att relatera jorddjupet för att få en bild av ifall jorddjupet eller.

Utvalda brunnar

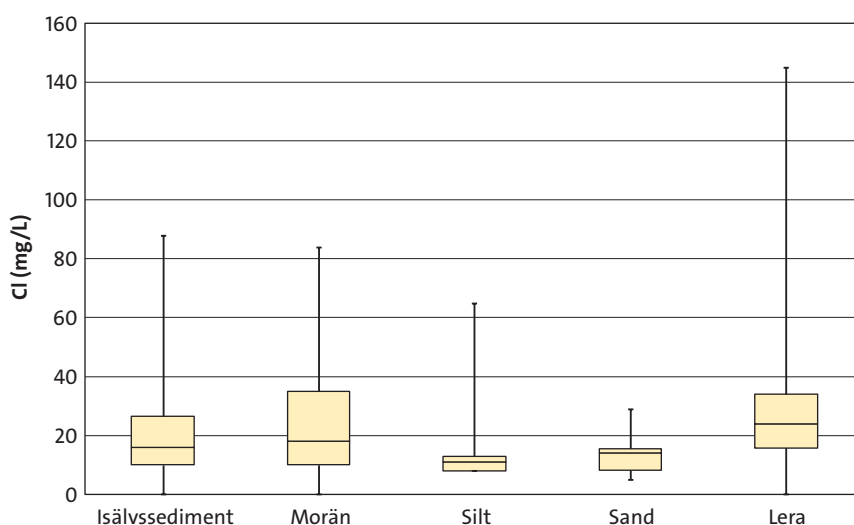
De brunnar som används i studien är utvalda utifrån ett antal kriterier listade nedan. Alla brunnar är:

- Bergborrade.
- Belägna minst 200 m från strandlinjen.
- Belägna inom geografisk region A–F (SGU 2013).
- Belägna mellan 40 och 100 m ö.h.
- Belägna under 200 m från en saltad väg.
- Belägna över marina gränsen.

Urvalet resulterade i 232 brunnar varav 44 var belägna i isälvssediment, 99 i morän, 5 i silt, 11 i sand, 29 i lera, 40 i berg i dagen eller i torv, och 4 i grovt svallsediment. Brunnar belägna i berg i dagen eller i grovt svallsediment användes inte i analysen.

Kloridhalt beroende på jordart

De utvalda brunnarna har grupperats utifrån jordart enligt jordartskartan och resultatet visas i figur 1. I figuren syns inget samband mellan jordart och salthalt. Vatten från brunnar i områden med lera verkar tvärt emot väntat uppvisa en högre kloridhalt än vatten från områden på till exempel sand eller isälvssediment. Sand och isälvssediment förväntades släppa igenom mer salt till grundvattnet. Dessutom är spridningen i salthalten stor i alla jordarter och brunnar.



Figur 1. Salthalten i bergborrade brunnar för olika jordarter.

Kloridhalt beroende på jordart och jorddjup

Resultatet som presenteras i figur 1 inkluderar inga uppgifter om jorddjup. I figur 2 jämförs jorddjupet mot kloridhalten i samtliga brunnar uppdelade i jordartsgrupper. Generellt syns ett svagt samband mellan kloridhalt och jorddjup och som väntat ger ett mindre jorddjup högre kloridhalter. Detta eftersom transportsträckan blir längre om jorddjup och detta också innebär mer material för fasthållning av passerande kloridjoner. Brunnar placerade i isälvsediment har höga salthalter på platser med upp till 20 m jorddjup. Moränen verkar bromsa föroreningarna något mer och på platser med större jorddjup än 15 m är saltkoncentrationerna generellt lägre.

Felkällor

Det bör beaktas att i denna analys antas att den jordart som finns karterad vid ytan går hela vägen ner till berget. Detta antagande är väldigt grovt och stämmer förmodligen oftast inte. Dessutom är det jordarten exakt vid brunnen som dokumenterats, inte där grundvattnet infiltrerar vilket kanske är den mest relevanta platsen.

Potential för fortsatt utredning

Nästa steg i analysen skulle kunna vara att titta på jorddjupets inverkan på spridningen i jämförelse med jordartens för att se vilken faktor som är viktigast. Man skulle också kunna göra ett mer noggrant urval av all data och titta på när jordart är viktigare än t.ex. brunnens läge över havet. Detta skulle göras med hjälp av statistiska analyser. Genom att plocka bort de geografiska områdena med sedimentär berggrund skulle man också kunna få bort ännu en faktor som kan göra grundvattnet mer salt. Detta skulle dock kunna göra att datamängden blev för liten, eftersom den redan nu är liten för en del jordarter, framförallt sand och silt.

De mätningar som resulterat i de data som har använts har utförts vid enstaka tillfällen. Det är svårt att veta hur stor påverkan saltning av vägar har och hur många andra faktorer förutom lertjockleken som påverkar hur salthalten förändras mot djupet. Dessutom fastläggs kloridjoner i marken i ganska liten utsträckning. Det kan vara anledningen till att inget tydligt samband syns mellan kloridhalten i grundvattnet och jordarten där brunnen står. Eventuellt skulle det vara mer intressant att titta på natriumjonkoncentrationen och ifall denna är större i områden utan lera.

