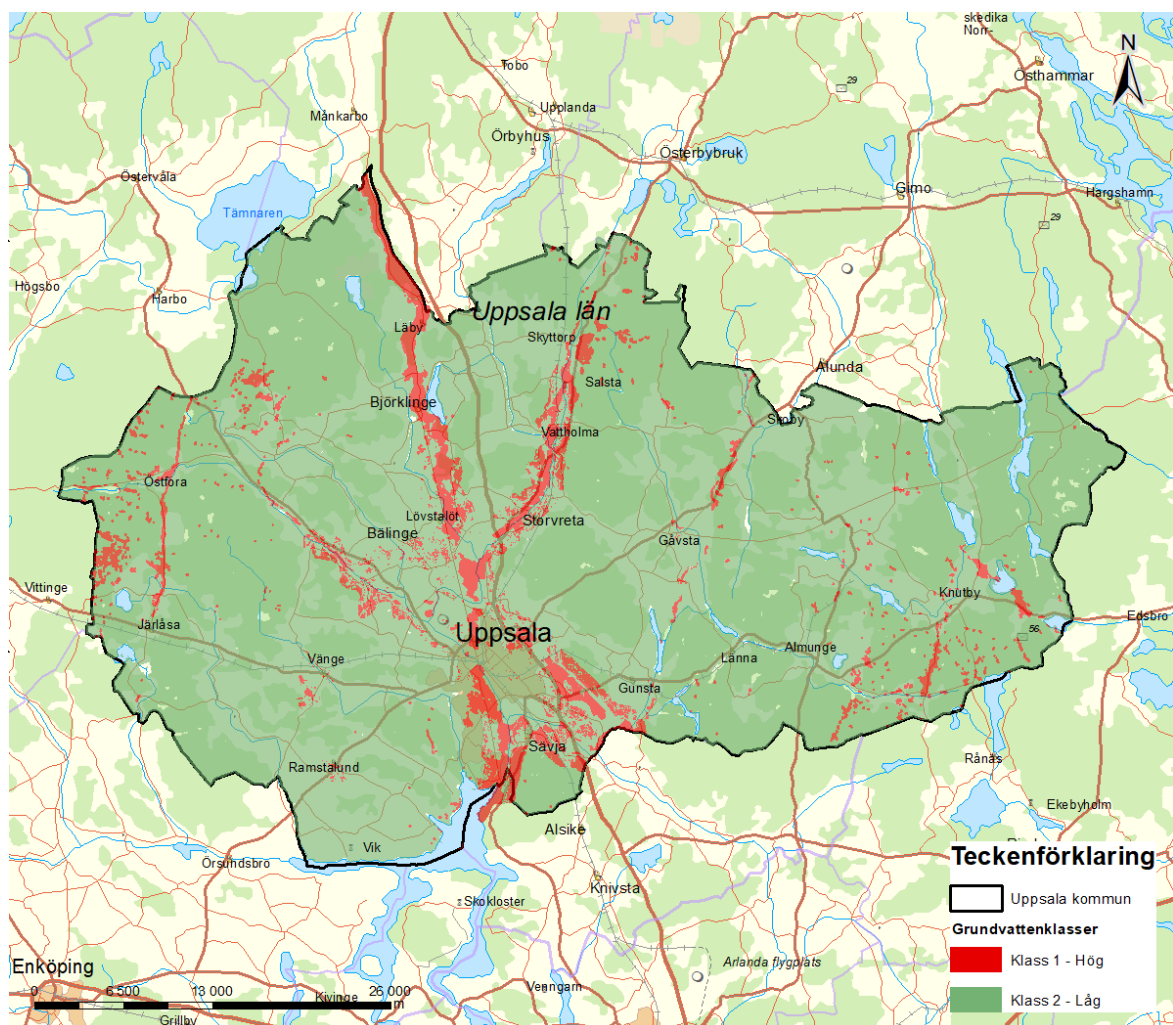


# HYDROGEOLOGISK UTREDNING FÖR FRAMTAGANDE AV KOMMUNSPECIFIKA RIKTVÄRDEN FÖR UPPSALA



2024-07-03

# HYDROGEOLOGISK UTREDNING FÖR FRAMTAGANDE AV KOMMUNSPECIFIKA RIKTVÄRDEN FÖR UPPSALA

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| Uppdragsnamn   | Rosendal Etapp 5 MEX |
| Uppdragsnummer | 10338875             |
| Författare     | Hanna Zandin         |
| Datum          | 2023-10-13           |
| Ändringsdatum  | 2024-07-03           |
| Granskad av    | Åsa Kristofferson    |
| Godkänd av     | Hanna Almqvist       |

## KUND

**Uppsala Kommun**

## KONSULT

### WSP

Dragarbrunnsgatan 41  
753 20 Uppsala  
Besök: Dragarbrunnsgatan 41  
Tel: +46 10 7225000  
WSP Sverige AB  
Org nr: 556057-4880  
<http://www.wsp.com>

## KONTAKTPERSONER

HANNA ALMQVIST, [HANNA.ALMQVIST@WSP.COM](mailto:HANNA.ALMQVIST@WSP.COM),  
DELUPPDRAGSANSVARIG UPP-RV

HANNA ZANDIN, [HANNA.ZANDIN@WSP.COM](mailto:HANNA.ZANDIN@WSP.COM), HANDLÄGGARE  
HYDROGEOLOGI

# INNEHÅLL

|          |                                                         |           |
|----------|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>BAKGRUND</b>                                         | <b>5</b>  |
| 1.1      | SYFTE                                                   | 5         |
| <b>2</b> | <b>ÄMNEN</b>                                            | <b>6</b>  |
| <b>3</b> | <b>TVÅ GEOGRAFISKA KLASSER</b>                          | <b>7</b>  |
| 3.1      | SÅRBARHETSKARTA – SGU                                   | 7         |
| 3.2      | KÄNSLIGHETSKARTA – MÅSEN                                | 8         |
| 3.3      | KÄNSLIGHETSKARTA VS SÅRBARHETSKARTA                     | 8         |
| 3.4      | FYRA KLASSER FÖR SKYDD AV GRUNDVATTEN                   | 9         |
| <b>4</b> | <b>PROCESSER SOM INVERKAR PÅ FÖRORENINGSTRANSPORTEN</b> | <b>9</b>  |
| 4.1      | DÄMPNINGENS BETYDELSE                                   | 10        |
| <b>5</b> | <b>NATURVÅRDSVERKETS MODELL</b>                         | <b>11</b> |
| <b>6</b> | <b>CONSIM</b>                                           | <b>11</b> |
| <b>7</b> | <b>BERÄKNINGAR – METODIK</b>                            | <b>12</b> |
| 7.1      | NATURVÅRDSVERKETS TRANSPORTBERÄKNINGAR SOM UTGÅNGSPUNKT | 12        |
| 7.1.1    | Lakning från jord till porvatten                        | 13        |
| 7.1.2    | Utspädning med grundvattnet                             | 13        |
| 7.1.3    | Beräkning av utspädningsfaktor                          | 15        |
| 7.1.4    | Sammanfattning transportprocesser – inklusive dämpning  | 17        |
| 7.2      | JORD- OCH GRUNDVATTENPARAMETRAR                         | 18        |
| 7.3      | ÄMNESPARAMETRAR                                         | 18        |
| 7.4      | KONCEPTUELLA MODELLER                                   | 19        |
| 7.5      | MODELLSCENARIER                                         | 20        |
| <b>8</b> | <b>RESULTAT</b>                                         | <b>21</b> |
| 8.1      | EXEMPEL: BENSEN                                         | 22        |
| 8.2      | SAMTLIGA RESULTAT                                       | 22        |
| 8.2.1    | Känslighetsanalys lermäktighet                          | 23        |
| 8.3      | KOMMENTARER KRING RESULTAT                              | 24        |
| 8.4      | OSÄKERHET I BERÄKNINGSMETODEN                           | 24        |
| <b>9</b> | <b>SAMMANFATTNING OCH FÖRSLAG</b>                       | <b>26</b> |

## BILAGOR

1. Ämnesparametrar
2. Modellscenarier med beskrivning
3. Resultat från modellberäkningar med Consim – organiska ämnen
4. Resultat från modellberäkningar med Consim – metaller



# 1 BAKGRUND

Inom Uppsala kommun kommer flera stora stadsutvecklingsprojekt att genomföras under de kommande åren. Vid samtliga dessa projekt kan det uppkomma förorenade massor. För att underlätta bedömningen om dessa massor kan innebära en risk för människor eller miljö har

Stadsbyggnadsförvaltningen (SBF) bitt WSP Sverige AB (WSP) ta fram riktvärden som är anpassade för de förutsättningar som råder i Uppsala. Med hjälp av riktvärdena, som benämns *Uppsalaspecifika riktvärden för jord, Upp-RV*, ska en hållbarare (och effektivare) hantering av förorenade massor vid exploatering i kommunen uppnås. Riktvärden tas fram med utgångspunkt i Naturvårdsverkets beräkningsmodell, i vilken hänsyn kan tas till risker för människa, markmiljö, grund- och ytvatten. Modellen är dock kraftigt förenklad avseende spridning till grund- och ytvatten och överskattar i de flesta fall spridningen. Detta innebär att skydd av grundvatten blir styrande för många av de Uppsalaspecifika riktvärdena. I Uppsala kommun är skydd av grundvatten centralt, då kommunen har stor magasineringsskapacitet i åsmaterial som utgör den huvudsakliga dricksvattentäkten. Samtidigt finns stora områden där mäktiga lerlager överlagrar det skyddsvärda grundvattnet och effektivt begränsar spridning av förorening till grundvattnet.

Naturvårdsverkets modell bygger på den utspädningseffekt som uppstår när ett ämne når grundvattnet och sedan transporteras vidare med grundvattnet. Dämpande processer som biologisk nedbrytning och fördröjning genom fastläggning tas inte med. Den här förenklingen fungerar bäst i grövre jordar men överskattar spridningen i tätare jordar där lerlager, där dämpande processer kan ha större betydelse för transporten än utspädning.

## 1.1 SYFTE

Modellberäkning av transport av förorening i jord till grundvattnet har gjorts i Consim med och utan dämpande processer (biologisk nedbrytning och fördröjning) för två olika situationer: homogen jord och specialfallet med ett mäktigt lerlager under föroreningen. Syftet har varit att undersöka hur de olika processerna påverkar resultatet och att föreslå riktvärden för förorening i jord utifrån aspekten skydd av grundvatten till projektet med kommunspecifika riktvärden i Uppsala. Den här rapporten är en sammanställning av de beräkningar som har gjorts med Consim. Antaganden och förutsättningar i de olika modellscenarierna samt beräkningsresultaten redovisas.

Samtliga beräkningar avser förorening i jord ovanför grundvattenytan (omättad zon).

## 2 ÄMNEN

Tabell 1 visar en sammanställning av de ämnen som tagits med i utredningen och de referensvärden som använts. Ämnena bedöms vanligt förekommande i Uppsala kommun.

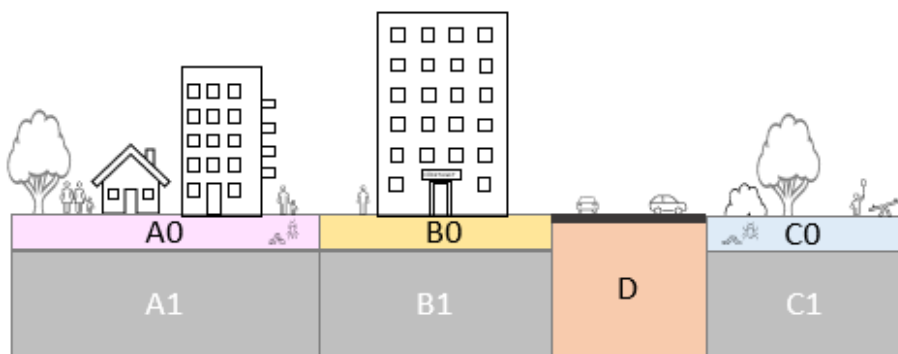
Tabell 1 Ämnen i beräkningarna

| Grupp     |                    | Ämne                      | Ccrit_gv [mg/l] <sup>1</sup> |
|-----------|--------------------|---------------------------|------------------------------|
| Metaller  |                    | Antimon                   | 0,01                         |
|           |                    | Arsenik                   | 0,005                        |
|           |                    | Barium                    | 0,35                         |
|           |                    | Bly                       | 0,0025                       |
|           |                    | Kadmium                   | 0,0025                       |
|           |                    | Kobolt                    | 0,005                        |
|           |                    | Koppar                    | 0,05                         |
|           |                    | Krom                      | 0,025                        |
|           |                    | Kvicksilver               | 0,0005                       |
|           |                    | Molybden                  | 0,035                        |
|           |                    | Nickel                    | 0,01                         |
|           |                    | Vanadin                   | 0,03                         |
|           |                    | Zink                      | 0,1                          |
| Organiska | BTEX               | Bensen                    | 0,0005                       |
|           |                    | Toluen                    | 0,35                         |
|           |                    | Etylbensen                | 0,15                         |
|           |                    | Xylen                     | 0,25                         |
|           | Alifater           | Alifat >C5-C8             | 0,1                          |
|           |                    | Alifat >C8-C10            | 0,1                          |
|           |                    | Alifat >C10-C12           | 0,1                          |
|           |                    | Alifat >C12-C16           | 0,1                          |
|           |                    | Alifat >C16-C35           | 0,1                          |
|           |                    |                           |                              |
|           | Aromater           | Aromat >C8-C10            | 0,1                          |
|           |                    | Aromat >C10-C16           | 0,01                         |
|           |                    | Aromat >C16-C35           | 0,002                        |
|           | PAH                | PAH-L                     | 0,01                         |
|           |                    | PAH-M                     | 0,002                        |
|           |                    | PAH-H                     | 0,00005                      |
|           | Halogenerade ämnen | Aldrin-diieldrin          | 0,000015                     |
|           |                    | DDT, DDD, DDE             | 0,00005                      |
|           |                    | Dioxin (TCDD-ekv)         | 2E-10                        |
|           |                    | Kvintozen-pentakloranilin | 0,0001                       |
|           |                    | PCB-7                     | 0,000001                     |
|           |                    |                           |                              |
|           | PFAS               | PFOS                      | 0,000045                     |
|           |                    | PFAS4                     | 0,000002                     |

<sup>1</sup> NV, 2009a. Riktvärden för förorenad mark, NV Rapport 5976 [PDF]. Tillgänglig via: <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/5900/riktvarden-for-foroerad-mark/> [2023-01-27]

### 3 TVÅ GEOGRAFISKA KLASSER

De färdiga kommunspecifika riktvärdena blir en uppsättning riktvärden avsedda att användas vid ett begränsat antal olika markanvändningsscenarier. En första indelning av scenarier har gjorts inför beräkningar som rör hälsa och markmiljö (figur 1).



Figur 1 Illustration av indelning i scenarier utifrån beräkning av riktvärden för hälsa. 0 står för yttlig jord, 0-1 m. 1 står för djupare jord >1 m. Källa: huvudrapporten.

Vad gäller skydd av grundvatten används en geografisk indelning av kommunen i två olika klasser, som vardera har en underklass. Sammanlagt blir det fyra klasser: 1a, 1b, 2a, 2b. Dessa klasser är framtagna utifrån hur behovet av skydd av grundvatten varierar inom kommunen. Tidigare utförda känslighets- och sårbarhetsklassningar utförda av SGU och Uppsala kommun (ofta benämnd MÅsen) beskriver detta.

#### 3.1 SÅRBARHETSKARTA – SGU

SGU har tillsammans med Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap tagit fram sårbarhetskartor för grundvatten<sup>2</sup>. Kartorna har tagits fram för att underlätta för räddningstjänsten att hantera utsläpp på markytan vid olyckor, men kan också användas för risk- och sårbarhetsanalyser. SGU:s sårbarhetskarta finns för flera områden i landet, däribland täcks Uppsala kommun i sin helhet.

Kartorna visar grundvattnets sårbarhet och är en skattning av hur stor risk det är att en förorening vid markytan når grundvattnet. Jordartskartan har använts som utgångspunkt, där jordarter klassats i låg, medel eller hög vad gäller genomsläpplighet. En sammanvägd bedömning av sårbarheten har sedan gjorts utifrån jordartens genomsläpplighetsklass, in- och utströmningsförhållanden samt förekomst av akvifärer.<sup>3</sup>

Av sårbarhetskartan framgår också om en akvifär täcks av ett mäktigt eller mindre mäktigt jordlager med låg genomsläpplighet.

Sårbarheten klassas i sju sårbarhetsklasser, som här förenklas till låg, mellan eller hög.

<sup>2</sup> [Sårbarhetskartor för grundvatten \(sgu.se\)](https://www.sgu.se/Svar/10411)

<sup>3</sup> [Erfarenhetsrapport. Sårbarhetskartor för grundvatten anpassade för räddningstjänstens behov \(SGU-rapport 2009:5\)](#)

## 3.2 KÄNSLIGHETSKARTA – MÅSEN

Inom Uppsala kommuns projekt "Riktlinjer för markanvändning inom Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt", eller *Måsen* (Markanvändning Åsen), har en känslighetskarta för grundvattenskydd tagits fram<sup>4</sup>. Syftet har varit att få fram underlag för en strategi för markanvändning samt att göra riskbedömningar. Kartan omfattar Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde, vilket endast är en del av Uppsala kommun, men samtidigt det område där frågan om grundvattenskydd är särskilt angelägen.

Som underlag till känslighetskartan användes en tredimensionell geologisk modell som SGU tagit fram, och en tredimensionell numerisk grundvattenmodell som Uppsala vatten tagit fram som en del av en funktionsanalys av åsen. Hur känslighetsklassningen har gjorts redovisas steg för steg i slutrapporten för Måsens etapp 2<sup>5</sup>. Indata till klassningen är jordarten i markytan (till exempel isälvsavlagring, lera, morän-/bergområde), tredimensionell information om jordlagerföljd (om lermäktigheten överstiger 5 m, vad som finns under leran) och information om grundvattenströmning (mot vilket område avvattnas moränen? finns hydraulisk kontakt med isälvsmaterial?). Resultaten från grundvattenmodellen har bland annat använts för att ansätta värden på grundvattenströmning och infiltration<sup>6</sup>.

Känslighetsklasserna är extrem känslighet, hög känslighet, måttlig känslighet och låg känslighet, som här förenklas till hög (extrem + hög), mellan (måttlig) och låg.

## 3.3 KÄNSLIGHETSKARTA VS SÅRBARHETSKARTA

Både sårbarhetskartan och känslighetskartan tar avstamp i jordarten i markytan, men använder sig därefter av olika antal och typer av tillkommande information i vidare klassning.

I sårbarhetskartan är genomsläpplighetsklassen för jordarten (låg, medel, hög) ofta samma som slutlig sårbarhetsklass, men den kan bli lägre när jordarten i markytan indikerar utströmningsområde (torv), eller högre om det finns betydande akvifärer under en jordart med lägre genomsläpplighet.<sup>7</sup>

I känslighetskartan kan en plats med lera i markytan klassas alltifrån hög till låg känslighet beroende på lermäktighet, underliggande jordart och avrinning till känsligare magasin (riktning, avstånd). Morän eller berg i markytan kan på motsvarande sätt klassas alltifrån hög till låg känslighet, beroende på avrinning till känsligare magasin (beroende på strömningsriktning och avstånd) och hydraulisk kontakt eller barriär mot isälvsavlagring.

Känslighetskartan bygger således på en analys som tar mer hänsyn till de tredimensionella förhållandena vad gäller jordlagerindelning och strömningsriktningar, medan sårbarhetskartan förmår göra en klassning redan av en mindre mängd information.

<sup>4</sup> [Riskanalys av Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt - Uppsala kommun](#)

<sup>5</sup> Se figur 4.2 (sid 17) i [Riskanalys av Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt - Uppsala kommun](#)

<sup>6</sup> [I denna rapport används genomgående begreppet infiltration i stället för grundvattenbildning, då det ligger närmare språkbruket i Consims manual.](#)

<sup>7</sup> Se tabell 2 i [Erfarenhetsrapport. Sårbarhetskarter för grundvatten anpassade för räddningstjänstens behov \(SGU-rapport 2009:5\)](#)

### 3.4 FYRA KLASSER FÖR SKYDD AV GRUNDEVATTEN

Indelningen av geografiska områden i denna rapport baseras på både sårbarhetskartan och känslighetskartan. I första hand används känslighetsklassningen i känslighetskartan i de områden som täcks av den, i annat fall används riskklassningen i sårbarhetskartan.

För beräkning av riktvärden för skydd av grundvatten delades områden i Uppsala kommun in enligt följande klasser:

- **Klass 1a** Områden med hög risk/känslighet för grundvattnet utan tätande lerlager ovan skyddsvärt grundvatten (t.ex. där isälvssediment finns i dagen).
- **Klass 1b** Områden med hög risk/känslighet för grundvatten med minst 0,5 m mäktig, tät och sammanhängande lera ovan skyddsvärt grundvatten
- **Klass 2a** Områden med mellan eller låg risk/känslighet för grundvattnet och minst 50 m horisontellt avstånd till skyddsvärt grundvatten.
- **Klass 2b** Områden med mellan eller låg risk/känslighet för grundvattnet och med minst två meter mäktig, tät och sammanhängande lera ovan skyddsvärt grundvatten.

## 4 PROCESSER SOM INVERKAR PÅ FÖRORENINGSTRANSPORTEN

När en förorening lakas ur jord och transporteras vidare med grundvattnet sker det under inverkan av ett flertal processer. Dels är det de processer som styr vattenflödet, dels är det de processer som påverkar ämnestransporten.

Vad gäller vattenflödet finns betydande skillnader mellan flöde i omättad zon, ovanför grundvattenytan, och flöde med grundvattnet (mättad zon). I den omättade zonen är vattenflödet litet när vattenhalten är låg, men i samband med infiltration ökar vattenhalten i markens porer vilket skapar en flödesriktning neråt, mot grundvattenytan.

Riktningen för grundvattenflödet beror sedan på den hydrauliska gradienten, grundvattenytans lutning. Hur stor den är och vilken riktning den har beror i sin tur beror på in- och utströmningsförutsättningar i omgivande terräng. I städer kan ledningsgravar och annan infrastruktur i marken ha stor betydelse för det ytliga grundvattenflödet

Ett ämne i löst form i porvattnet eller grundvattnet transporteras med vattenflödet genom advektion. Den transporten kan sedan spridas ut, i längsgående och sidogående riktning, genom dispersion och diffusion. Dispersionen är en mekaniskt styrd process och beror på vattenflödets storlek, medan diffusionen drivs av skillnader i ämneskoncentrationen i vattnet. Dispersion och diffusion minskar inte totala mängden löst ämne i vattnet, men bidrar till utspädning och dämpar därmed ämneshalten. Så är det också med fastläggning, när ett ämne i löst fas sorberar till fasta partiklar

i marken. Fastläggningen påverkar ämneshalten i vattnet och ger en dämpande effekt, även om den totala mängden av ett ämne inte minskar. Biologisk nedbrytning innebär att ämnet omvandlas genom biologiska processer, och totala mängden ämne minskar. Under rätt förutsättningar kan biologisk nedbrytning vara betydande för vissa ämnen, och kraftigt bromsa eller avstanna spridningen. Nedbrytning har därmed en dämpande effekt på spridning av föroreningar.

När det gäller att bedöma den sammanlagda effekten av olika processer på ämnestransporten från jord till en recipient i grundvattnet är det vanligt med förenklingar och antaganden för att beräkningarna ska bli hanterbara. Ofta finns inte heller tillräckligt med indata för att göra mer detaljerade beräkningar.

Några viktiga antaganden i spridningsberäkningen i Naturvårdsverkets riktvärdesmodell är att ingen nedbrytning eller fastläggning sker och att föroreningskällan är konstant. Det här är vanliga, konservativa antaganden vid riskbedömningar.

## 4.1 DÄMPNINGENS BETYDELSE

De processer som inverkar på transporten av en förorening i jord vidare till grundvattnet har olika stor betydelse beroende på exempelvis jordlagertyp.

För mer genomsläppliga jordarter har förenklade spridningsmodeller visat goda resultat i en studie kring infiltration och transporttid. Däremot uppmanar studien till försiktighet när förenklade modeller används för finkorniga jordarter<sup>8</sup>. Fallet med kommunspecifika riktvärden är ett annat än vad som undersöktes i den studien – men det ger en hint om att iaktta försiktighet.

Generellt är utspädningen viktig för mer genomsläppliga jordarter, medan dämpande processer har större betydelse för tätare jordarter.

Brittiska Naturvårdsverket föreslår spridningsberäkningar som bygger på både utspädning (dilution factor, DF) och dämpning (attenuation factor), där dämpning anges separat för omättad ( $AF_u$ ) och mättad zon ( $AF_s$ ).

Beräkningen av utspädningsfaktorn enligt Brittiska Naturvårdsverket påminner om den som görs i Naturvårdsverkets modell. Dämpningsfaktorn är mer komplicerad att räkna ut eftersom den tar hänsyn till nedbrytning, fördröjning, och advektion-dispersion. Några förslag på analytiska lösningar till ekvationen för dämpningsfaktorn i mättad zon ( $AF_s$ ) finns<sup>9</sup>. För den omättade zonen ges inga analytiska lösningar till ekvationen för dämpningsfaktorn ( $AF_u$ ), där hänvisas i stället till numerisk modellering, exempelvis med verktyget Consim<sup>10</sup>. Consim, som står för "Contamination Impact on Groundwater: Simulation by Monte Carlo Method", utvecklades på uppdrag av Brittiska Naturvårdsverket.

---

<sup>8</sup> Szymkiewicz A, Savard J, Jaworska-Szulc B., Numerical Analysis of Recharge Rates and Contaminant Travel Time in Layered Unsaturated Soils, Water 2019, 11, 545; doi:10.3390/w11030545

<sup>9</sup> Se tabell D3-D6 i [Remedial Targets Framework v2 \(publishing.service.gov.uk\)](https://publishing.service.gov.uk/remedial-targets-framework-v2)

<sup>10</sup> Manual release 2. Environment Agency R&D Publication 132

## 5 NATURVÅRDSVERKET'S MODELL

Naturvårdsverkets modell räknar på skydd av grundvatten för en föroreningskälla i jord till en observationspunkt i grundvattnet med hjälp av en utspädningsfaktor. Observationspunktens placering anges med parametern  $x_{well}$ . Antingen antas akvifären som sådan vara skyddsvärd, då sätts  $x_{well}$  till 0 m, eller så betraktas vattnet i en (tänkt) uttagsbrunn på ett visst avstånd som skyddsvärd, och då sätts  $x_{well}$  till det horisontella avståndet mellan det förorenade området och brunnen.

Modellen tar inte hänsyn till någon nedbrytning eller fastläggning, varken i den omättade zonen under föroreningen eller i akvifären<sup>11</sup>. På så sätt är det en konservativ modell, alltså en modell som snarare överskattar än underskattar föroreningstransportens betydelse.

Hur stor utspädningen blir beror på bland annat infiltrationen, den hydrauliska konduktiviteten och den hydrauliska gradienten i akvifären. En högre infiltration, en högre hydraulisk konduktivitet och en större hydraulisk gradient bidrar alla till att öka utspädningen. I modellen anges endast ett värde för var och en av dessa parametrar, som om området från markyta till akvifär var homogent. Det gör att det inte går att rakt av återspegla de förhållanden som råder när föroreningen ligger ovanpå ett tätare material, som en lera, med låg hydraulisk konduktivitet och lägre infiltration, som i sin tur överlagrar ett skyddsvärd grundvatten i ett genomsläppligt material med god vattengenomströmning. Då blir utspädningseffekten i verkligheten stor, då det tätare materialet begränsar transporten neråt samtidigt som utspädningen är god.

Den ekvation som används för att beräkna utspädningseffekten i Naturvårdsverkets modell beskrivs närmare längre fram (som ekvation 5), i en jämförelse med motsvarande ekvation i Consims modell (kapitel 6.1).

## 6 CONSIM

Consim bygger på principen att det ska gå att stegvis öka komplexiteten i beräkningarna. På så sätt behöver inte mer komplexitet läggas till, om beräknade halter redan är tillräckligt låga. Det finns tre nivåer:

- **Nivå 1** – Lakning till porvatten.
  - a. Resultat; halt i porvattnet.
- **Nivå 2** – Rörlighet omedelbart under det förorenade området. Fördröjning (retardation) och biologisk nedbrytning (degradation) i omättad(e) zon(er) under föroreningen kan aktiveras. Utspädning vid grundvattenytan beräknas.
  - a. Resultat: halt vid nederkant av omättad zon (omättad ej förorenad zon under källtermen)
  - b. Resultat: utspädd halt vid kontakt med grundvattenytan
- **Nivå 3** – Horisontell transport med grundvattenflödet. Fördröjning (retardation) och biologisk nedbrytning (degradation) i akvifären kan aktiveras.

---

<sup>11</sup> I stället för akvifär används ofta begreppet grundvattenmagasin. I den här rapporten används genomgående begreppet akvifär, då det återkopplar till beteckningarna i Consims ekvationer.

- a. Resultat: halt vid observationspunkt nedströms.

Av Consims olika nivåer motsvarar 2b utan fördröjning/nedbrytning den utspädningseffekt som kan räknas fram med Naturvårdsverkets modell med horisontellt avstånd  $x_{well} = 0$  m. Detta motsvarar scenario KM i Naturvårdsverkets modell där grundvattnet i sig är skyddsvärt och kan tas ut på platsen.

Vidare är Consim en probabilistisk modell där indata kan ansättas enligt olika fördelningar: enhetlig fördelning (uniform distribution), triangulär fördelning, normalfördelning och deras logaritmiska motsvarigheter är de vanligaste. Det går också att ansätta värden deterministiskt (single value).

## 7 BERÄKNINGAR – METODIK

### 7.1 NATURVÅRDSVERKETS TRANSPORTBERÄKNINGAR SOM UTGÅNGSPUNKT

Naturvårdsverkets riktvärdesmodell har varit utgångspunkten för fortsatta beräkningar med Consim. En första modellkörning med Consim (kallad N1) gjordes därför med deterministiska värden enligt indata för Naturvårdsverkets generella riktvärden. På så sätt blev de två beräkningsmetoderna jämförbara och några skillnader i transportberäkningarna identifierades.

I modellkörningen var observationspunkten precis under det förorenade området, så Naturvårdsverkets  $x_{well}$  (horisontellt avstånd från förorenat område till observationspunkt) sattes till 0. Det motsvarar nivå 2b i Consim (se kapitel 6). De indata som användes listas i tabell 2.

Tabell 2. Indata, generella antaganden i Naturvårdsverkets modell.

|                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------|
| Infiltration: 100 mm/år                                                    |
| <b>Akvifären:</b>                                                          |
| Hydraulisk konduktivitet: $1e-5$ m/s                                       |
| Hydraulisk gradient: 0,03                                                  |
| Akvifärens mäktighet: 10 m                                                 |
| Avstånd till brunn (horisontellt avstånd till skyddsvärt grundvatten): 0 m |
| <b>Jorden:</b>                                                             |
| Vattenfylld porositet i normaltät jord: 0,31                               |
| Torrdensitet för jord: $1,5 \text{ g/cm}^3$                                |
| Halt organiskt kol: 0.02 [-]                                               |
| <b>Förorenat område:</b>                                                   |
| Dimensioner förorenat område: 50 m x 50 m                                  |
| Mäktighet förorenat område: 1 m                                            |

Transporten av ett ämne från fast fas i jord till en halt i en observationspunkt i grundvattnet beräknas i två steg. Först beräknas lakning från fast jord till porvatten (Consims nivå 1). Därefter beräknas utspädningseffekten med grundvattnet (Consims nivå 2b).

### 7.1.1 Lakning från jord till porvatten

Lakningen från förorening i jord till porvattnet görs i Consim med ekvation 1 i Consims manual<sup>12</sup>. Motsvarande ekvation finns i avsnitt 4.2.1.1 i Naturvårdsverkets rapport<sup>13</sup>. Ekvationerna (visas ej här) är likvärdiga bortsett från att Naturvårdsverkets ekvation även tar hänsyn till halten organiskt kol och fördelningskoefficienten mellan löst mobilt organiskt kol och vatten.

En kontrollberäkning gjordes för ett organiskt ämne (aldrin-diieldrin) och en metall (antimon), där urlakning beräknades med Consims och Naturvårdsverkets ekvationer i excel samt med en modellkörning i Consim. Med tre gällande siffrors noggrannhet blev det samma resultat i samtliga fall. I stort bedöms därför Naturvårdsverkets och Consims urlakningsberäkningar ge likvärdiga resultat.

Det finns ytterligare en skillnad i beräkningen av lakning från jord till porvatten. I Naturvårdsverkets modell anges inte ämnets vattenlöslighet som indata då den inte tas hänsyn till. I Consim behöver vattenlösligheten anges<sup>14</sup>. Om beräknad porvattenhalt (urlakad halt) blir högre än ämnets vattenlöslighet så justeras porvattenhalten ner till vattenlösligheten. Det här får betydelse för vissa ämnen med låg vattenlöslighet vilket kommer framgå senare i resultatavsnittet. Om vattenlösligheten är tillräckligt hög och inte begränsar urlakningen så har denna skillnad inte någon betydelse.

### 7.1.2 Utspädning med grundvattnet

När utspädningen med grundvattnet togs med i beräkningen så skilde sig resultaten från Consim och Naturvårdsverkets modell något. Consim ger ett lägre riktvärde än vad samma indata med Naturvårdsverkets modell ger. Vid en jämförelse av ekvationerna för utspädningen hittades förklaringen. Det har att göra med hur den blandningszon som uppstår vid kontakten med grundvattnet beskrivs.

Naturvårdsverkets utspädningsfaktor  $DF_{gw-well}$  [dimensionslös] är kvoten mellan halten i en skyddsvärd punkt i grundvattnet,  $C_{gw-well}$  [mg/l] och halten rörlig förorening i marken,  $C_{w-mob}$  [mg/l]:

$$DF_{gw-well} = \frac{C_{gw-well}}{C_{w-mob}} \quad (1)$$

För Consim kan motsvarande kvot ställas upp som  $C_d/C_{unsat}$  där  $C_d$  är halten under det förorenade området efter utspädning med grundvattnet [mg/l] och  $C_{unsat}$  [mg/l] är lakvattenkoncentrationen vid botten av den omättade zonen, innan utspädning. När  $C_{unsat}$  i Consims modell inte tar hänsyn till några fördröjande processer i den omättade zonen utan motsvarar halten rörlig förorening som lakar ut i porvattnet vid källan, så är kvoten  $C_d/C_{unsat}$  direkt jämförbar med Naturvårdsverkets  $DF_{gw-well}$ . Kvoten  $C_d/C_{unsat}$  kan skrivas som<sup>15</sup>:

$$\frac{C_d}{C_{unsat}} = \frac{Inf \cdot A_c}{(Inf \cdot A_c) + Q} \quad (2)$$

<sup>12</sup> Consim manual release 2 (inget datum)

<sup>13</sup> Naturvårdsverket 2009, Rapport 5976, Riktvärden för förorenad mark, modellbeskrivning och vägledning, [länk pdf](#)

<sup>14</sup> Om uppgift om vattenlöslighet saknas kan ett mycket högt värde ansättas, vilket i praktiken innebär att vattenlösligheten inte påverkar resultaten.

<sup>15</sup> Ekvation 34 i manualen för Consim: Consim manual release 2 (inget datum)

där  $Inf$  är infiltrationen [ $m/\text{år}$ ],  $A_c$  är arean av det förorenade området [ $m^2$ ] och  $Q$  är grundvattenflödet [ $m^3/\text{år}$ ] genom blandningszonen:  $Q = K_a \cdot i \cdot A_a$ , där  $K_a$  är den hydrauliska konduktiviteten i akvifären [ $m/\text{år}$ ],  $i$  gradienten för grundvattenytan [dimensionslös] och  $A_a$  är tvärsnittsarean för grundvattenflödet genom blandningszonen [ $m^2$ ]. Med  $A_c = w_c \cdot l_c$ , där  $w_c$  är bredden av det förorenade området och  $l_c$  är längden i grundvattenflödesriktningen, och  $A_a = w_a \cdot m_z$ , där  $m_z$  är tjockleken (djupet) på blandningszonen, kan  $C_d/C_{\text{unsat}}$  skrivas som:

$$\frac{C_d}{C_{\text{unsat}}} = \frac{Inf \cdot w_c \cdot l_c}{(Inf \cdot w_c \cdot l_c) + (K_a \cdot i \cdot w_a \cdot m_z)} \quad (3)$$

Om några parametrar flyttas om kan kvoten skrivas:

$$\frac{C_d}{C_{\text{unsat}}} = \frac{l_c \cdot Inf \cdot w_c}{(K_a \cdot i \cdot m_z \cdot w_a) + (w_c \cdot l_c \cdot Inf)} \quad (4)$$

Nu påminner ekvation (4) väldigt mycket om Naturvårdsverkets utspädningsfaktor  $DF_{\text{gw-well}}$  så som vi är vana att se den uppställd (ekvation 5 nedan<sup>16</sup>). Se tabell 3 för en jämförelse mellan hur de olika parametrarna betecknas i Naturvårdsverkets och Consims ekvationer. Kom ihåg att vi jämför ekvation (4) med ekvation (5) när  $x_{\text{well}} = 0$ .

$$DF_{\text{gw-well}} = \frac{L \cdot I_r \cdot W}{(K \cdot i \cdot d_{\text{mix-well}}) \cdot (2 \cdot y_{\text{mix-well}} + W) + (W + y_{\text{mix-well}}) \cdot (L + x_{\text{well}}) \cdot I_r} \quad (5)$$

Tabell 3 Namn på parametrar i Naturvårdsverkets riktvärdesmodell och Consims beräkningsmodell

|                                                                                      | Naturvårdsverket                         | Consim                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Längd förorenat område                                                               | L                                        | $l_c$                                               |
| Längd förorenat område i flödesriktningen                                            |                                          | $L_A$                                               |
| Infiltration                                                                         | $I_r$                                    | $Inf$                                               |
| Bredd förorenat område                                                               | W                                        | $w_c$                                               |
| Hydraulisk konduktivitet                                                             | K                                        | $K_a$                                               |
| Hydraulisk gradient                                                                  | i                                        | i                                                   |
| Tjocklek blandningszonen                                                             | $d_{\text{mix-well}}$                    | $m_z$                                               |
| Bredd förorenat område vinkelrätt mot grundvattenflödesriktningen                    | W eller $2 \cdot y_{\text{mixwell}} + W$ | $w_a$ (samma som $w_c$ om inte flödespilen roteras) |
| Sidledes utbredning av blandningszonen utöver utbredningen av det förorenade området | $y_{\text{mixwell}}$                     | Ingen motsvarighet                                  |
| Akvifärens mäktighet                                                                 | $d_{aq}$                                 | T                                                   |

Vad gäller tjockleken på blandningszonen,  $d_{\text{mix-well}}$  för Naturvårdsverket och  $m_z$  för Consim, så beräknas den på motsvarande sätt, se figur 2.

$$m_z = (0.0112 \times (L_a)^2)^{0.5} + T \left[ 1 - e^{\left( \frac{-L_a \times Inf}{K_i T} \right)} \right]$$

$$d_{\text{mix-well}} = \sqrt{0.0112 \cdot (L + x_{\text{well}})^2} + d_{aq} \cdot \left[ 1 - \exp \left( - \frac{(L + x_{\text{well}}) \cdot I_r}{K \cdot i \cdot d_{aq}} \right) \right]$$

Figur 2. Jämförelse ekvationer för tjocklek på blandningszonen. Se tabell 3 för förklaring av vad de ingående beteckningarna innebär.

Den enda skillnaden mellan ekvation 4 och 5 består därmed i att Naturvårdsverkets modell också har med en utspädning i sidled, vilket Consim inte har. Det är Naturvårdsverkets  $y_{\text{mixwell}}$ , som tillsammans med

<sup>16</sup> sida 60 i Naturvårdsverket 2009, Rapport 5976, Riktvärden för förorenad mark, modellbeskrivning och vägledning, [länk pdf](#)

bredden på det förorenade området W, ger utbredningen av blandningszonen.  $Y_{mixwell}$  beräknas:

$$y_{mix-well} = \sqrt{0,0112 \cdot (L + x_{well})^2} \quad (6)$$

Förklaringen till att Consim med samma indata ger något lägre riktvärden än Naturvårdsverkets modell är att utspädningsberäkningen i Consim är något förenklad jämfört med Naturvårdsverkets motsvarighet. Det är inte möjligt att i Consims modell justera ekvationen, men det går att göra en manuell justering i efterhand för att också fortsättningsvis ta hänsyn till en sidledes utspädning. Med en sådan justering blir riktvärdet blir ca 1,2 gånger högre för de indata som använts, se tabell 4.

Det bedöms relevant att göra en sådan justering, då sidledes utspädning är en relevant process att ta hänsyn till.

Tabell 4. Jämförelse av beräknade utspädningsfaktorer. Se tabell 3 för förklaring av vad de ingående beteckningarna innebär.

| Indata                                 |                                         |                                |       |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|-------|
| Beteckning<br>Naturvårdsverket         | Beteckning<br>Consim                    | Värde (indata)                 | Enhet |
| L                                      | $l_c, L_A$                              | 50                             | m     |
| $l_r$                                  | Inf                                     | 0.1                            | m/år  |
| W                                      | $w_c, w_a$                              | 50                             | m     |
| K                                      | $K_a$                                   | 315.36                         | m/år  |
| i                                      | i                                       | 0.03                           | m/m   |
| Uträkning blandningszon                |                                         |                                |       |
| Beteckning<br>Naturvårdsverket         | Beteckning<br>Consim                    | Värde (beräknat)               | Enhet |
| $d_{mix-well}$                         | $m_z$                                   | 5.34 (ekvationer i fig 2)      | m     |
| $y_{mixwell}$                          | Ingen motsvarighet                      | 5.29 (ekvation 6)              | m     |
| Uträkning utspädningsfaktor            |                                         | Jämförelse utspädningsfaktorer |       |
| Naturvårdsverket                       | Consim                                  | 0.090 / 0.075 = 1.2            |       |
| $DF_{gw-well} = 0.075$<br>(ekvation 5) | $C_d/C_{unsat} = 0.090$<br>(ekvation 4) |                                |       |
|                                        |                                         |                                |       |

### 7.1.3 Beräkning av utspädningsfaktor

I Naturvårdsverkets modell räknas en utspädningsfaktor automatiskt ut baserat på de värden som matats in. Denna kan sedan ersättas med en annan siffra om så önskas. Resultatet av Naturvårdsverkets modell presenteras även i form av ett riktvärde, som räknas fram med hjälp av utspädningsfaktorn.

I Consim erhålls inte utspädningsfaktorn som ett resultat av modellkörningarna. Resultatet erhålls i stället i form av ett riktvärde, efter manuella iterationer, alltså upprepade test med olika riktvärden för att se högsta möjliga halt i jord som fortfarande inte överskrider referensvärdet i observationspunkten. Utspädningsfaktorn för Consimkörningen behöver räknas fram utifrån det framtagna riktvärdet. Tre olika metoder föreslås för att beräkna utspädningsfaktorn.

- 1)  $C_{well}$  (mg/l) avläses ur Consim så som halt vid observationspunkt (tänkt brunn). Framräknat riktvärde,  $C_s$  (mg/kg), räknas om till lakad halt  $C_l$  (mg/l) med ekvation 7 (se nedan). Därefter beräknas utspädningsfaktorn som  $C_{well}/C_l$ .

- 2)  $C_{well}$  (mg/l) avläses ur Consim så som halt vid observationspunkt (tänkt brunn). Koncentration i porvattnet  $C_{por}$  avläses ur modellen som source concentration. Därefter beräknas utspädningsfaktorn som  $C_{well}/C_{por}$ .
- 3) Om den målhalt som definierats för ämnet betecknas  $C_{crit}$  (se värden i tabell 1), så beräknas utspädningsfaktorn som  $C_{crit}/C_i$ , där  $C_i$  beräknas enligt ekvation 7 (se nedan).

Den lakade halten  $C_i$  beräknas<sup>17</sup>:

$$C_i = \frac{C_s}{Kd_c + (\theta_w + \theta_a H) / P_c} \quad (7)$$

Där

$C_i$  = lakad koncentration (mg/l)

$C_s$  = halt i jord (mg/kg)

$Kd_c$  = fördelningskoefficient för förorenad jord (ml/g)

$\theta_w$  = vattenfylld porositet (enhetslös)

$\theta_a$  = luftfylld porositet (enhetslös)

$H$  = Henrys konstant

$P_c$  = torrdensitet för jord (g/cm<sup>3</sup>)

För organiska ämnen beräknas  $Kd_c$  som  $K_{oc} * f_{oc}$ .

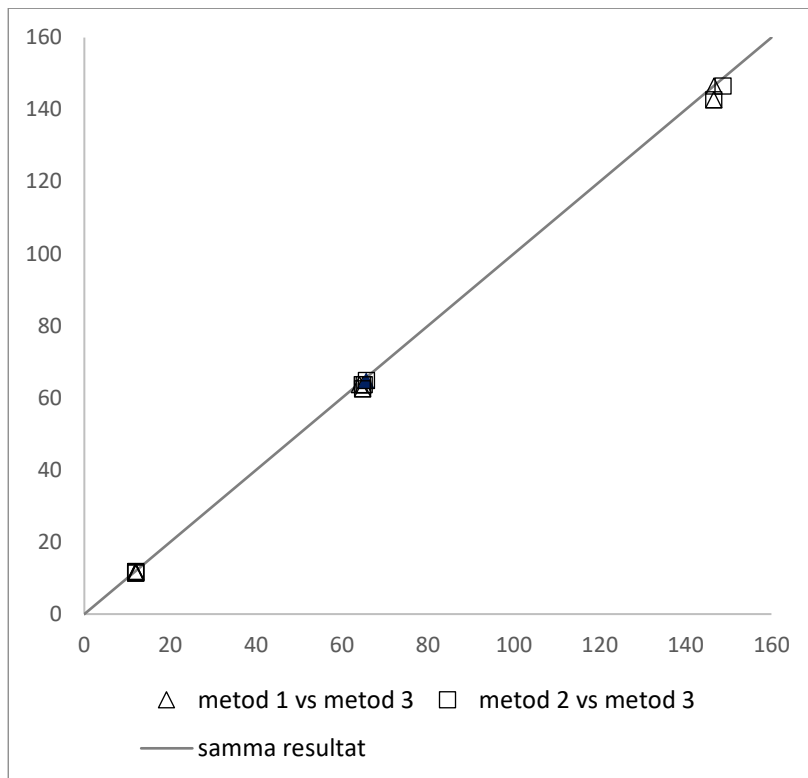
Consimkörningen resulterar i absoluta halter när alla indata är angivna med ett specifikt värde. Om någon indata anges i form av en fördelning erhålls också en spridning i beräknade halter. Halter och annan utdata kan då avläsas som percentiler. Vid beräkning av utspädningsfaktorer från Consimkörningar så har  $C_{well}$  och  $C_{por}$  lästs av som det värde 50 % av beräkningarna underskrider.

När det funnits ett intervall av olika värden för  $Kd$  så har  $C_i$  beräknats utifrån medelvärdet på  $Kd$ .

Ett test gjordes för att se hur väl de tre olika metoderna för att beräkna utspädningsfaktorn överensstämde med varandra. Utspädningsfaktorn beräknades med alla tre metoder för sammanlagt tio olika modellscenarier för bensen. Figur 3 visar hur väl de olika beräkningarna överensstämmer med varandra, genom att rita upp beräknat värde enligt en metod på x-axeln och enligt en annan metod på y-axeln. När båda metoderna ger exakt samma resultat hamnar punkterna på linjen där  $x=y$ . Av figuren framgår att de olika metoderna ger ungefär samma resultat, då punkterna ligger nära linjen  $x=y$ .

Figur 3 visar beräknade 1/DF.

<sup>17</sup> ekvation 1 i manualen för Consim



Figur 3. Inversen av framräknade utspädningsfaktorer för bensen för tio modellscenarier (N1, N1r, N1s, N1rs, N1rsA, C1, C1r, C1s, C1rs, C1rsA). Figuren visar värden beräknade enligt en metod på x-axeln och en annan metod (metod 3) på y-axeln. Heldragen linje visar  $x=y$ , när båda metoderna ger samma resultat. Då punkterna hamnar nära linjen visar figuren att de olika metoderna ger ungefär samma resultat.

Metod 3 har huvudsakligen använts för organiska ämnen, då det gått snabbare att få fram utspädningsfaktorn på det sättet. Metod 2 har använts för metaller (som saknar värde på Henrys konstant som behövs för ekvation 7).

#### 7.1.4 Sammanfattning transportprocesser – inklusive dämpning

Utöver urlakning och utspädning som beskrivits ovan, och som ingår i både Naturvårdsverkets modell och Consim, har dämpande processer tagits med i Consim. Det gäller nedbrytning och fastläggning.

Sammanfattningsvis är de processer som tagits med i beräkningarna:

- Urlakning från jord till porvatten
- Dämpande processer i omättad zon: fastläggning och nedbrytning
- Utspädning vid kontakt med grundvattnet
- Dämpande processer i mättad zon: fastläggning och nedbrytning

Aerobisk halveringstid har använts för nedbrytning i den omättade zonen och anaerobisk halveringstid har använts för nedbrytning i akvifären. För vissa ämnen har uppgift om halveringstid saknats.

Fastläggningen innebär en fördröjning av ämnestransporten. Det kan röra sig om en stor ökning i transporttid även för en omättad zon med förhållandevis liten mäktighet (0,5 m). Rent praktiskt har betydelsen av fastläggningen hanterats på så sätt att halten i observationspunkten har lästs av vid tidpunkten 1000 år. Det innebär att ämnen med en längre transporttid än så

inte har hunnit fram till observationspunkten, och därmed begränsas inte heller det riktvärdet av skydd av grundvatten.

## 7.2 JORD- OCH GRUNDVATTENPARAMETRAR

Här följer en sammanställning av de jord- och grundvattenparametrar som använts i modellberäkningarna, se tabell 5. I tabellen visas också de värden som Naturvårdsverket använder i sitt generella scenario KM (känslig markanvändning), för jämförelse.

Tabell 5 Jord- och grundvattenparametrar

| Parameter                | Enhet                                  | I Consim-modellerna                                                     | KM                      |
|--------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Torrdensitet             | g/cm <sup>3</sup> = kg/dm <sup>3</sup> | 1.5                                                                     | 1.5                     |
| Halt organiskt kol       | [-]                                    | 0.02 i det förorenade området (0-1 m djup), 0.005 i djupare jord (>1 m) | 0.02                    |
| Vattenhalt               | [-]                                    | 0.32 för normaltät jord, 0.39 för lera                                  | 0.32 för normaltät jord |
| Andel porluft            | [-]                                    | 0.08 för normaltät jord, 0.06 för lera                                  | 0.08 för normaltät jord |
| Hydraulisk konduktivitet | m/s                                    | 1e-5 för normaltät jord, 1e-7 för lera                                  | 1e-5                    |
| Hydraulisk gradient      | [-]                                    | 0.03                                                                    | 0.03                    |
| Akvifärens mäktighet     | [m]                                    | 10                                                                      | 10                      |

## 7.3 ÄMNESPARAMETRAR

Nedan följer en beskrivning av hur underlaget ser ut för de ämnesparametrar som använts i modellberäkningarna. I bilaga 1 finns tabeller med de värden på ämnesparametrar som använts.

Två basuppsättningar av ämnesparametrar har använts. Dels uppsättningen "N" (N för Naturvårdsverket) som huvudsakligen bygger på de värden som Naturvårdsverket använder som indata<sup>18</sup>. Dels uppsättningen "C" (C för Consim) som huvudsakligen bygger på föreslagna indata i Consims egen referensdatabas. I vissa fall har indata inte kunnat hittas där, och då har andra källor använts. Exempelvis anger inte Naturvårdsverket data för vattenlöslighet då den parametern inte behövs i Naturvårdsverkets modell.

Naturvårdsverkets ämnesparametrar har lagts in deterministiskt i modellerna, det vill säga som ett enda möjligt värde. I Consims ämnesdatabas finns ofta ett föreslaget intervall på möjliga värden och ibland även ett närmare förslag på hur fördelningen av värden kan se ut (lägsta värde, högsta värde, mest troliga värde). Det gör det möjligt att lägga in fördelningsfunktioner för ämnesparametrarna, och använda Consim som en probabilistisk modell vilket den också är framtagen för.

Consim ämnesparametrar kommer från olika källor så som vetenskapliga artiklar. Ibland specificeras hur ett värde skiljer sig vid olika geologiska förhållanden eller vid olika pH-värden. Det gör det möjligt att göra ett mer platsspecifikt val av ämnesparametrar i fall när förhållandena är kända.

Ibland är de intervall som anges i Consims referensdatabas stora. Det kan skilja sig flera storleksordningar mellan högsta och lägsta värde. Så stora

<sup>18</sup> Bilaga 1 Sammanställning av indata till riktvärdesmodellen Riktvärden för förorenad mark - Rapport 5976

intervall är rent praktiskt svårare att använda i modellkörningarna – varje modellkörning bestående av 1000 eller fler<sup>19</sup> möjliga utfall utifrån fördelningarna i indata och ger något olika resultat – om indata dessutom anges med så stora intervall skiljer sig också resultatet mycket från en körning till en annan. Då är det inte lika enkelt att iterera fram ett riktvärde. I praktiken har detta lösts genom att välja det lägsta riktvärdet av en serie körningar. Frågan är också om det är rimligt att representera förhållandena på en viss plats med ett så stort intervall. Den frågan besvaras inte närmare i den här rapporten.

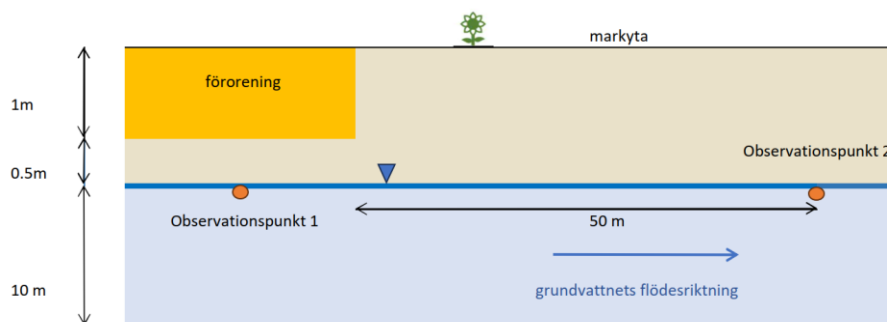
För vissa ämnen saknas indata i Consims referensdatabas. Då har bland annat värden från amerikanska naturvårdsverket använts<sup>20</sup>. Av bilaga 1 framgår källa för respektive ämne och parameter.

## 7.4 KONCEPTUELLA MODELLER

Beräkningarna har gjorts för en förorening i jord utifrån målsättningen skydd av grundvatten. Föroreningsens area är 50 m \* 50 m och djup 1 m. Två olika observationspunkter i grundvattnet har använts, se figur 4.

Mellan det förorenade området och grundvattnet finns en omättad zon där dämpande processer så som fastläggning och nedbrytning kan ske. Vid kontakt med grundvattnet uppstår en utspädningsseffekt. Den första observationspunkten har varit här: vid kontakt med grundvattnet omedelbart under det förorenade området.

Vid vidare transport med grundvattnet kan likaså dämpande effekter så som fastläggning och nedbrytning ske. Den andra observationspunkten har varit i grundvattnet 50 m bort från det förorenade området, i grundvattenströmningens riktning.



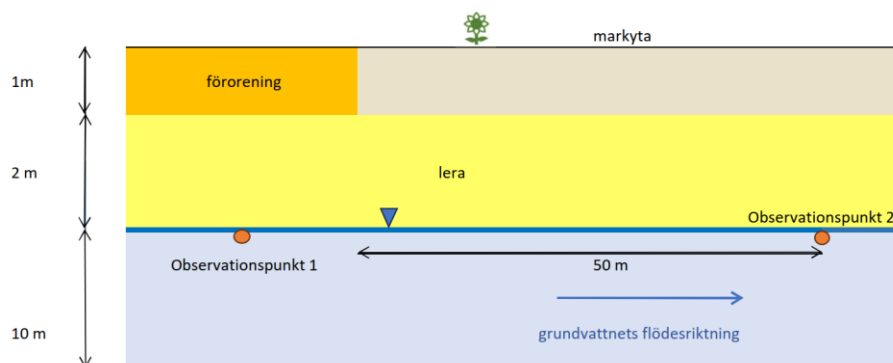
Figur 4 Konceptuell modell generellt fall – öppet magasin, normaltät jord. Föroreningen är i jord. En observationspunkt finns i grundvattnet direkt under föroreningen, en annan finns i grundvattnet 50 m nedströms föroreningen.

I det generella fallet med en homogen geologi: öppet magasin och normaltät jord, har mäktigheten av den omättade zonen satts till 0,5 m mäktighet (figur 4). Det innebär att grundvattenytan hamnar 1,5 m under markytan då det förorenade områdets mäktighet satts till 1 m. Valet av 0,5 m mäktighet under föroreningen har gjorts för att å ena sidan möjliggöra att ta med dämpande processer i den omättade zonen i beräkningarna, å andra sidan genom att välja en förhållandevis liten mäktighet ha maximal tillämpbarhet för resultaten.

<sup>19</sup> Antalet beräkningar väljer användaren, 1000 är default.

<sup>20</sup> USEPA regional screening levels, excellfil tillhandahållen av WSP UK

Situationen med ett mäktigt lerlager har undersökts i ett specialfall (figur 5). Konceptuellt har här en omättad zon lagts in under det förorenade området och ända ner till akvifären. I en känslighetsanalys har mäktigheten för denna omättade zon varierats mellan 0,5-5 m. Om inget annat anges är den 2 m. Även om det vid lerjordar inte riktigt går att följa en grundvattenyta på samma sätt som i grövre jordar så har lerjorden lagts in som en omättad zon. Detta bedömdes vara korrekt att göra i modellen, även om det inte är exakt så det förhåller sig, då det inte är förrän i akvifären under leran som det finns ett grundvattenflöde att tala om som kan bidra till utspädning och vidare horisontell transport av föroreningen.



Figur 5 Konceptuell modell specialfall lera – här med 2 meter lermäktighet mellan förorening och akvifär. Föroreningen är i jord, ovanför leran.

Förutom mäktigheten på den omättade zonen har några andra indata ändrats från det generella fallet till specialfallet lera. Det gäller exempelvis infiltration och hydraulisk konduktivitet (tabell 6).

Tabell 6 Jämförelse transportparametrar för det generella modellfallet och specialfallet med lera.

|                                                                 | Generellt fall<br>(homogen jord) |                            | Specialfall lera                |                            |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Beteckningar modeller                                           | N1, C1                           |                            | Ln, Lc                          |                            |
| Mäktighet omättad zon                                           | 0,5 m                            |                            | 2 m eller annan mäktighet       |                            |
| Vertikal dispersivitet                                          | Omättad zon: 0,05 m              |                            | Omättad zon: 10% av mäktigheten |                            |
| Longitudinell/<br>lateral dispersivitet                         | Mättad zon:<br>5 m / 0,5 m       |                            | Mättad zon:<br>5 m / 0,5 m      |                            |
| Hydraulisk<br>konduktivitet                                     | Omättad<br>zon:<br>1e-5 m/s      | Mättad<br>zon:<br>1e-5 m/s | Omättad<br>zon:<br>1e-9 m/s     | Mättad<br>zon:<br>1e-5 m/s |
| Infiltration                                                    | 100 mm/år                        |                            | 25 mm/år                        |                            |
| Vattenfylld porositet /<br>luftfylld porositet i<br>omättad zon | 0,31 / 0,08                      |                            | 0,39 / 0,06                     |                            |

## 7.5 MODELLSCENARIER

En uppsättning modellscenarier har tagits fram, utifrån:

- Det generella fallet med homogen jord (figur 4) och specialfallet lera (figur 5)
  - Alla modellkörningar med specialfallet lera börjar på "L"
- Olika uppsättningar av ämnesparametrar (kapitel 6.3 och bilaga 1)
  - "N" som huvudsakligen bygger på Naturvårdsverkets indata

- "C" som huvudsakligen bygger på Consims referensdatabas
- För modellscenarier i lera bygger Ln på ämnesparametrar enligt Naturvårdsverkets indata och Lc på ämnesparametrar enligt Consims referensdatabas – för Lc har vissa ytterligare justeringar av ämnesparametrar gjorts i de fall Consim föreslår särskilda värden för lera.
- Med eller utan dämpningsprocesser i omättad zon:
  - "r" står för att nedbrytning är aktiv i modellen
  - "s" står för att sorption/fastläggning är aktiv i modellen
  - "rs" – både nedbrytning och fastläggning
  - Varken "r" eller "s" eller "rs" – inga dämpningsprocesser är aktiva i modellen
- Med eller utan transport i akvifär
  - "A" står för att akvifären tas med i modellen: observationspunkt 2 enligt figur 4 och 5. Fastläggning och nedbrytning är aktiva i akvifären.
  - Inget "A" – transport i akvifären tas inte med i modellen: observationspunkt 1 enligt figur 4 och 5

Tabell 7 ger en snabb översikt över de olika modellscenarierna. I bilaga 2 finns en tabell som ger en mer detaljerad beskrivning av de olika modellscenarierna.

Tabell 7 Översikt modellscenarier

| Modell scenario | Konceptuell modell |      | Uppsättning ämnesparametrar |     | Dämpningsprocesser |                  | Akvifär |
|-----------------|--------------------|------|-----------------------------|-----|--------------------|------------------|---------|
|                 | Generell           | Lera | N                           | C   | Nedbrytning "r"    | Fastläggning "s" |         |
| N1              | X                  |      | X                           |     |                    |                  |         |
| N1-s            | X                  |      | X                           |     |                    | X                |         |
| N1-r            | X                  |      | X                           |     | X                  |                  |         |
| N1-rs           | X                  |      | X                           |     | X                  | X                |         |
| N1-rsA          | X                  |      | X                           |     | X                  | X                | X       |
| C1              | X                  |      |                             | X   |                    |                  |         |
| C1-s            | X                  |      |                             | X   |                    | X                |         |
| C1-r            | X                  |      |                             | X   | X                  |                  |         |
| C1-rs           | X                  |      |                             | X   | X                  | X                |         |
| C1-rsA          | X                  |      |                             | X   | X                  | X                | X       |
| Ln              |                    | X    | X                           |     |                    |                  |         |
| Ln-s            |                    | X    | X                           |     |                    | X                |         |
| Ln-r            |                    | X    | X                           |     | X                  |                  |         |
| Ln-rs           |                    | X    | X                           |     | X                  | X                |         |
| Lc              |                    | X    |                             | X * |                    |                  |         |
| Lc-s            |                    | X    |                             | X * |                    | X                |         |
| Lc-r            |                    | X    |                             | X * | X                  |                  |         |
| Lc-rs           |                    | X    |                             | X * | X                  | X                |         |

\* För vissa ämnen har ämnesparametrar justerats ytterligare om Consim har föreslagit specifika värden för just lerjordar.

## 8 RESULTAT

Nedan redovisas resultat från körningar med den uppsättning ämnesparametrar som huvudsakligen har Naturvårdsverket som källa. Övriga modellkörningar redovisas inte i den här rapporten, men står i listan

(tabell 7) och med närmare källhänvisningar för ämnesparametrar i bilaga 1, ifall det i andra sammanhang kan vara av intresse.

## 8.1 EXEMPEL: BENSEN

Resultaten redovisas nedan för bensen, tillsammans med förklaringar av vad som har beräknats och hur. Därefter kommer hänvisning till resultat för övriga ämnen.

Tabell 8a nedan listar modellberäknade riktvärden för skydd av grundvatten för ett område i jord förorenat med bensen (sidledes utspädning ej medräknad). I Ln-scenarierna är lermäktigheten 2 m om inte annat anges.

Modellscenarierna listas i sin helhet i tabell 7 eller bilaga 2. Beteckningarna i modellscenarierna står för:

N – ämnesparametrar huvudsakligen enligt Naturvårdsverkets indata

r – nedbrytning aktiv

s – fastläggning/sorption aktiv

A – transport i akvifer tas med

L – konceptuell modell: specialfall lera

Tabell 8a Modellberäknade riktvärden för skydd av grundvatten för bensenförorening i jord

| Mg/kg TS | N1        | N1s        | N1r        | N1rs        | N1rs-A        |
|----------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|
| N        | 0.0102    | 0.0102     | 0.0169     | 0.0169      | 0.0220        |
| Ln       | <b>Ln</b> | <b>Lns</b> | <b>Lnr</b> | <b>Lnrs</b> | <b>Lnrs-A</b> |
|          | 0.0367    | 0.0367     | 25.3       | 25.3        | 47            |

Efter en omräkning av modellberäknade riktvärden för att ta hänsyn till sidledes utspädning (markeras med \*), kan en jämförelse göras med det riktvärde som tagits fram med Naturvårdsverkets modell vilket är 0,012 (gråmarkerade fält sammanfaller väl med detta värde) – se tabell 8b.

Tabell 8b Justerade riktvärden för skydd av grundvatten för bensinförorening i jord (omräknade för att ta hänsyn till sidledes utspädning)

|     | N1*        | N1s*        | N1r*        | N1rs*        | N1rs-A*        |
|-----|------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| N*  | 0.0122     | 0.0122      | 0.0203      | 0.0203       | 0.0264         |
|     | <b>Ln*</b> | <b>Lns*</b> | <b>Lnr*</b> | <b>Lnrs*</b> | <b>Lnrs-A*</b> |
| Ln* | 0.0441     | 0.0441      | 30.3        | 30.3         | 56             |

Utspädningsfaktorer DF har för bensen liksom övriga organiska ämnen beräknats med metod 3 (se avsnitt 6.1.3). Ofta redovisas i stället 1/DF, inversen av utspädningsfaktorn, som här betecknas DF'. Tabell 8c visar DF' för de justerade riktvärdena (tabell 8b) för bensen.

Tabell 8c Inversa utspädningsfaktorer DF' för justerade riktvärden för bensen

|     | DF'(N1*)        | DF'(N1s*)        | DF'(N1r*)        | DF'(N1rs*)        | DF'(N1rs-A*) |
|-----|-----------------|------------------|------------------|-------------------|--------------|
| N*  | 14.3            | 14.3             | 177              | 181               | 269          |
|     | <b>DF'(Ln*)</b> | <b>DF'(Lns*)</b> | <b>DF'(Lnr*)</b> | <b>DF'(Lnrs*)</b> |              |
| Ln* | 50.5            | 50.5             | 460              | 460               |              |

## 8.2 SAMTLIGA RESULTAT

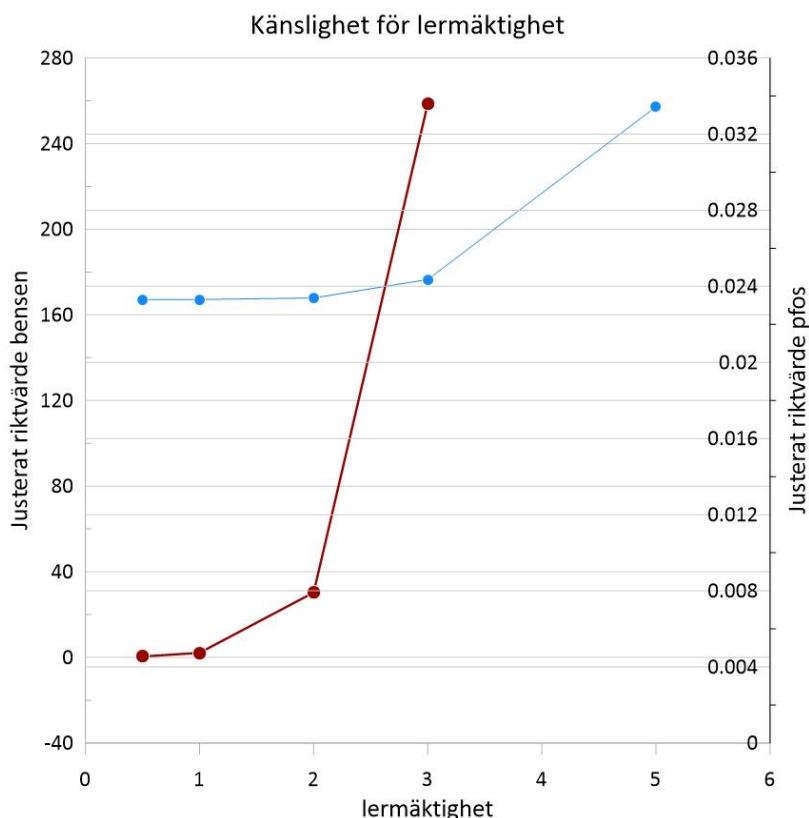
Sammanställningar av riktvärden (modellberäknade och justerade) samt utspädningsfaktorer (i form av  $DF' = 1/DF$ ) finns i bilaga 3 (organiska ämnen) och bilaga 4 (metaller).

I bilagorna finns tabeller för framräknat riktvärde (tabell 3-1 och 4-1), justerat riktvärde (tabell 3-2 och 4-2) samt invers utspädningsfaktor för justerat riktvärde (tabell 3-3 och 4-3). Där finns också en känslighetsanalys (tabell 3-4).

### 8.2.1 Känslighetsanalys lermäktighet

Känslighetsanalysen har gjorts för modellscenariet Ln-rs, som inkluderar både fastläggning och nedbrytning. I bilaga 3, tabell 3-4 redovisas resultatet av känslighetsanalysen: framräknade riktvärden (justerade för sidledes utspädning) för organiska ämnen för följande lermäktigheter: 0,5 m, 1 m, 2 m, 3 m, 5 m. För metaller finns ingen motsvarande tabell eftersom riktvärdet för samtliga metaller redan för 0,5 m lermäktighet blir obegränsat när fastläggning tas med, alltså har riktvärdets storlek inte någon betydelse då fastläggningen gör att halten i observationspunkten ändå inte kommer överskrida gränsvärdet.

Även för flertalet organiska ämnen får redan en förhållandevis liten lermäktighet så pass stor effekt att det inte påverkar riktvärdet vad gäller skydd av grundvatten. För bland annat bensen och PFOS har lermäktigheten betydelse för riktvärdet, se figur 6. Anledningen till att riktvärdet först inte ändras alls eller bara lite, och först därefter ändras betydligt när lermäktigheten ökar, är att det får betydelse huruvida den fördröjda transporttiden (retarded travel time) överstiger 1000 år eller inte, eftersom resultatet avläses efter 1000 års simuleringstid.



Figur 6. Känslighetsanalys lermäktighet för Ln-rs\*. Bensen (röd kurva, vänster y-axel) och PFOS (blå kurva, höger y-axel).

## 8.3 KOMMENTARER KRING RESULTAT

Vid samtliga modellkörningar med alifater >C8-C10, >C10-C12, >C12-C16 och >C16-C35 blir det så att ämnets löslighet i vatten begränsar lakningen och gör att halter i porvattnet och i observationspunkterna inte kan överstiga ett visst värde. Riktvärdet kan därmed sättas hur stort som helst. Det är rimligt såtillvida att alifater har en låg vattenlöslighet. I praktiken betyder detta att andra faktorer än skydd av grundvatten blir styrande för hur riktvärdet väljs här.

För metallerna (bilaga 4) ger fördröjningen stor effekt redan vid 0,5 m maktighet på den omättade zonen. För alla metaller utom antimon och molybden blir inte längre skydd av grundvatten begränsande för riktvärdet när fördröjningen tas i beaktande. Antimon och molybden är de metaller som har det lägsta Kd-värdet, med Kd=80 för modellscenarierna där Naturvårdsverkets indata används.

Specialfallet lera dämpar ämnenas transport kraftigt.

## 8.4 OSÄKERHET I BERÄKNINGSMETODEN

Osäkerheter i en föroreningstransportberäkning kan generellt delas in i tre typer<sup>21</sup>:

- *Konceptuella osäkerheter* – gällande vilka transportprocesser som äger rum
- *Modellosäkerheter* – gällande det faktum att de matematiska ekvationerna är en modell av verkligheten
- *Parametersäkerheter* – osäkerheter kring vilka indata som ska användas

I det här fallet rör det sig om beräkningar av kommunspecifika riktvärden, en slags semi-generella riktvärden som bygger på generella indata för ett visst scenario i stället för indata från en specifik plats, ett upplägg som gör att parametersäkerheter får en särställning bland de olika typerna av osäkerhet.

### Osäkerheter i Naturvårdsverkets modell

Beräkningsmetoden som används här tar avstamp i spridningsberäkningen i Naturvårdsverkets modell. En osäkerhet som Naturvårdsverket nämner för denna gäller beräkningen av urlakningen, som antas konstant och proportionell mot halten i jord även om den i verkligheten kan variera stort utifrån förhållanden på platsen och föroreningens sammansättning<sup>22</sup>. Den osäkerheten hanteras genom att det generella Kd-värdet ansätts så att urlakningen inte underskattas, ett konservativt antagande. I vårt fall har samma Kd-värden använts som i Naturvårdsverkets modell, alternativt med liknande resonemang.

För beräkningen av utspädningen, där både Naturvårdsverket och Consim använder i stort sett samma beräkning (se 7.1.2 och 7.1.3 för detaljer), går inte Naturvårdsverket<sup>23</sup> in på osäkerheterna mer än att konstatera att det rör sig om en enkel modell för beräkning av utspädning, att det finns osäkerheter

<sup>21</sup> Manual release 2. Environment Agency R&D Publication 132

<sup>22</sup> Kapitel 9.1.3: NV, 2009a. Riktvärden för förorenad mark, NV Rapport 5976 [PDF]. Tillgänglig via: <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/5900/riktvarden-for-fororenad-mark/> [2023-01-27]

<sup>23</sup> idem

i uppskattning av indata så som hydraulisk konduktivitet och att Naturvårdsverkets modell inte tar hänsyn till nedbrytning och fördröjning.

### Osäkerheter i beräkning med Consim

Det som skiljer de beräkningar som gjorts nu med Consim från motsvarande beräkningar i Naturvårdsverkets modell är framför allt följande delar:

- Vattenlösligheten har använts som begränsande faktor för urlakningen
- Fastläggning har tagits med i beräkningen
- Nedbrytning har tagits med i beräkningen

De värden som använts för vattenlösligheten beskrivs i bilaga 1. I de fall där litteraturvärden saknats har vattenlösligheten ansatts mycket hög, vilket i praktiken innebär att den inte är begränsande, ett konservativt antagande. För ett fåtal ämnen med känt låg vattenlöslighet har detta gett utslag i de beräknade värdena, medan det för de flesta inte har påverkat beräkningen av urlakningen.

Idén bakom Consim är att kunna hantera osäkerheter genom att ange fördelningar i indata för olika parametrar och fånga upp osäkerheterna genom att resultatet också erhålles som ett intervall. Den här metoden har testats inom projektet (modellscenarier C: indata enligt bilaga 1 och beskrivning av scenarier enligt bilaga 2) men har använts i begränsad omfattning i det slutliga framtagandet av kommunspecifika riktvärden (beskrivs mer nedan) för att ligga närmare den vedertagna Naturvårdsverksmodellens metodik.

För fastläggningen har genomgående samma Koc-värden använts som i Naturvårdsverkets modell, se bilaga 1. Osäkerheten i det antagandet finns framför allt i huruvida samma Koc-värde som används för urlakning även är representativt för fastläggning. Den osäkerheten antas vara liten i förhållande till andra osäkerheter i indata.

För nedbrytning (endast organiska ämnen) har värden tagits utifrån olika källor, se tabell 1-1 i bilaga 1. Där annat värde saknats har nedbrytning inte tagits med i beräkningen, vilket i bilaga 1 markeras med ett mycket högt värde för det ämnet. Vid beräkningen av nedbrytningen har Consims approach för hantering av osäkerheter med hjälp av intervall i indata använts för vissa ämnen, vilka framgår av tabellen i bilagan. Det framräknade riktvärdet har då baserats på det värde som 50 % av beräkningarna underskrider.

Att beräkningarna med hjälp av Consim har kunnat ta hänsyn till nedbrytning och fastläggning bedöms minska osäkerheten i beräkningarna av riktvärden för skydd av grundvatten jämfört med Naturvårdsverkets riktvärdesmodell, även om det samtidigt innebär att beräkningarna bygger på mindre konservativa antaganden. De värden som använts för att räkna på fastläggning och nedbrytning har valts utifrån att de bedömts vara realistiska och när värden saknats har ett konservativt antagande gjorts som inneburit att processen inte fått någon betydelse. Därmed bedöms osäkerheterna i användandet av Consim ha hanterats på ett lämpligt sätt.

## Konceptuella osäkerheter – lerlagret

I Naturvårdsverkets riktvärdesmodell antas marken bestå av ett uniformt material. Det är en konceptuell förenkling som får särskilt stor betydelse när det finns ett tätare lerlager (som i verkligheten har en låg hydraulisk konduktivitet och en låg infiltration) ovanpå ett skyddsvårt grundvatten i ett genomsläppligt material (med högre hydraulisk konduktivitet vilket ger god utspädning). Denna konceptuella osäkerhet tas upp i kapitel 5.

I nu genomförda beräkningar finns scenarierna Ln (klass 1b och klass 2b) som fångar upp specialfallet med ett lerlager ovanpå ett genomsläppligare jordlager, vilket är fallet i många delar av Uppsala. Den här ändringen i den konceptuella modellen får betydelse för resultatet och minskar den konceptuella osäkerheten för de platser det gäller. Lerlagrets mäktighet har antagits vara förhållandevis liten (0,5 m eller 2 m) och för att använda grundvattenklasserna 1b och 2b krävs att användaren kan visa att det finns täta och sammahängande lerlager.

## Parametersäkerheter – osäkerheter i indata

Förutom vad som ovan nämnts, finns parametersäkerheter generellt sett, kopplat till att ett bedömt värde för en viss parameter (exempelvis hydraulisk konduktivitet) skiljer sig från de faktiska förhållandena. På specifika platser kan den här osäkerheten minskas genom undersökningar som ger platspecifika indata. Upplägget med generella riktvärden, eller semi-generella riktvärden som i det här fallet, möjliggör inte detta. I och med att det är semi-generella värden kvarstår en parametersäkerhet.

Till viss del har parametersäkerheten hanterats genom den indelning i geografiska delområden som gjorts, och uppdelningen i två konceptuella fall (med/utan lerlager). Inom respektive klass har sedan värden ansatts konservativt så att de generella värden som används inom respektive klass ska vara användbara brett och inte underskatta föroreningstransporten.

## Sammanfattning osäkerheter

Ovan har olika typer av osäkerheter i beräkningarna beskrivits. De förändringar som gjorts jämfört med Naturvårdsverkets modell har möjliggjort att ta hänsyn till fler processer (vattenlöslighet, fastläggning, nedbrytning) och konceptuella tolkningar (klasser utifrån geografi och jordlagerföljd) som sammantaget bedöms minska osäkerheterna. De medför samtidigt andra osäkerheter kopplade till de nya antagandena, som överlag har hanterats konservativt. De olika typer av osäkerheter som finns kopplat till den nya beräkningsmetodiken i Consim bedöms vara små i jämförelse med de osäkerheter som kommer av att det handlar om semi-generella riktvärden.

## 9 SAMMANFATTNING OCH FÖRSLAG

En uppsättning modellscenarier har tagits fram och testats utifrån två konceptuella modeller (generellt fall/homogen jord och specialfall lera). Vidare har olika ämnesparametrar använts, "N" huvudsakligen utifrån Naturvårdsverkets indata och "C" huvudsakligen baserat på värden i Consims referensdatabas, vilka skiljer sig dels genom att det i Consims fall ibland är kopplat till specifika geologier eller förutsättningar på platsen, dels genom att Consims värden ofta anges i ett intervall eller i form av en sannolikhetsfördelning. Slutligen har dämpande processer tagits med i vissa av modellscenarierna: fastläggning och/eller nedbrytning.

Ambitionen har varit att ta fram riktvärden för skydd av grundvatten som tar hänsyn till dämpande processer och som kan användas vidare vid framtagandet av kommunspecifika riktvärden i Uppsala kommun. Uppsala kommun har utifrån tidigare genomförda sårbarhets- och känslighetskartor delats in i fyra klasser: klass 1a med hög risk/känslighet för grundvattnet, klass 1b motsvarande område men där det finns ett minst 0,5 m tätt lerlager under det förorenade området, klass 2a med mellan/låg risk/känslighet för grundvattnet och klass 2b motsvarande område men där det finns ett minst 2 m tätt lerlager under det förorenade området.

Tabell 9 visar vilka modellscenarier som föreslås användas för de olika geografiska klasserna.

Tabell 9 Förslag på modellscenarier för beaktande av skydd av grundvatten inför framtagandet av kommunspecifika riktvärden i Uppsala

| Geografisk klass                                    | Modellscenario    |                | Kommentar modellscenario                                                                                           |
|-----------------------------------------------------|-------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                     | Metaller          | Organiska      |                                                                                                                    |
| 1a<br>(hög risk/känslighet)                         | N1*               | N1-rs*         | N1* för metaller motsvarar Naturvårdsverkets riktvärdesmodell. För organiska beaktas fastläggning och nedbrytning. |
| 1b<br>(hög risk/känslighet + minst 0,5 m lera)      | Ln* <sup>24</sup> | Ln-rs* (0,5 m) | Specialfall lera. Lermåktigheten i modellen är 0,5 m. För organiska ämnen beaktas fastläggning och nedbrytning.    |
| 2a<br>(mellan/låg risk/känslighet)                  | N1rs-A*           | N1rs-A*        | Fastläggning och nedbrytning beaktas. Horisontell transport 50 m beaktas.                                          |
| 2b<br>(mellan/låg risk/känslighet + minst 2 m lera) | Ln-rs*            | Ln-rs*         | Specialfall lera. Lermåktigheten i modellen är 2 m. Fastläggning och nedbrytning beaktas.                          |

I klass 1a innebär detta att riktvärden för skydd av grundvatten motsvarar Naturvårdsverkets riktvärde för metaller. Däremot föreslås en justering som tar hänsyn till nedbrytning och fastläggning för organiska ämnen.

I klass 1b föreslås nya värden som tar hänsyn till förekomsten av ett tätt lerlager med minst 0,5 m måktighet. För organiska ämnen tas hänsyn till nedbrytning och fastläggning, men inte för metaller.

<sup>24</sup> För Ln\* (ingen fastläggning, ingen nedbrytning) blir riktvärdet detsamma oavsett hur måktigt lerlagret är. Därför står det Ln\* i tabellen, och inte Ln\* (0,5 m), vilket således skulle representera samma värde.

I klass 2a, vilket är områden på minst 50 m avstånd från ett klass 1-område, föreslås att både dämpande effekter (nedbrytning, fastläggning) och 50 m horisontell transport med grundvattnet tas i beaktande. Både utifrån sårbarhetskartan och känslighetskartan ska områden som hamnar i klass 2a vara minst 50 m från ett skyddsvärt grundvatten, därav förslaget.

Sårbarhetskartan har en buffertzona på 50 m runt dess klass 1-områden, som en säkerhetsmarginal för osäkerheter i kartunderlaget. Detta kan vara bra att ha i åtanke för en plats som hamnar i klass 2a och som ligger väldigt nära gränsen till klass 1-området – i dessa fall kan det vara bra att undersöka platsen för att bekräfta att antagandet om 50 m avstånd till skyddsvärt grundvatten är giltigt.

I klass 2b beaktas fastläggning och nedbrytning, och den konceptuella modellen med 2 m lermäktighet används. Områden i denna klass kan utgöras av lerlager direkt ovanpå isälvsavlagring, av den anledning tas inte 50 m horisontell transport med grundvattnet i beaktande.

Vidare föreslås i samtliga fall ämnesparametrar i enlighet med Naturvårdsverkets indata. Anledningen till det är att Naturvårdsverkets riktvärdesmodell är så pass vedertagen i Sverige idag och har en acceptans hos beslutsfattare. I projekt framöver kan det vara intressant att titta närmare på ämnesdata i Consims referensdatabas där värdena kopplas mer till geologi och andra platsspecifika förutsättningar. Det kan ha sina fördelar särskilt när en plats med kända förutsättningar utreds. Det bedöms dock att det först behövs tittas närmare på de källor som Consim tagit värden ifrån för att se hur väl omständigheterna i källstudierna stämmer med förutsättningarna på aktuell plats. Därefter behövs en avvägning göras kring vilka värden eller intervall av värden som kan antas representativa i det aktuella fallet. Den litteraturstudien har inte inrymts i det här uppdraget.

## VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 65 000 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Vi planerar, projekterar, designar och projektleder olika uppdrag inom transport och infrastruktur, fastigheter och byggnader, hållbarhet och miljö, energi och industri samt urban utveckling. Så tar vi ansvar för framtiden.

**wsp.com**

**WSP Sverige AB**  
Dragarbrunnsgatan 41  
753 20 Uppsala  
Besök: Dragarbrunnsgatan 41

T: +46 10 7225000  
Org nr: 556057-4880  
**wsp.com**

