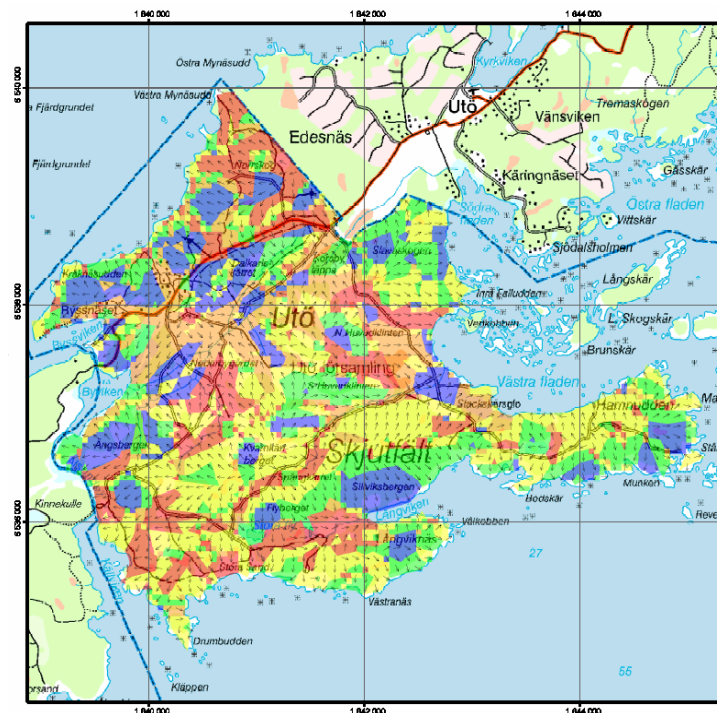


Jan-Olov Moberg, Jan Burman

# Grundvattenmodellering och sårbarhetsanalys för Utö skjutfält



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

NBC-skydd  
901 82 Umeå

FOI-R--0999--SE

Maj 2004

ISSN 1650-1942

**Användarrapport**

Jan-Olov Moberg, Jan Burman

# Grundvattenmodellering och sårbarhetsanalys för Utö skjutfält

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                              |                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Utgivare</b><br>Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI<br>NBC-skydd<br>901 82 Umeå                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Rapportnummer, ISRN</b><br>FOI-R--0999--SE                                | <b>Klassificering</b><br>Användarrapport |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Forskningsområde</b><br>3. Skydd mot NBC och andra farliga ämnen          |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Månad, år</b><br>Maj 2004                                                 | <b>Projektnummer</b><br>E4917            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Verksamhetsgren</b>                                                       |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Delområde</b><br>35 Miljöfrågor                                           |                                          |
| <b>Författare/redaktör</b><br>Jan-Olov Moberg<br>Jan Burman                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Projektledare</b><br>Jan Sjöström                                         |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Godkänd av</b>                                                            |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b><br>Försvarsmakten, Fortifikationsverket |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>                             |                                          |
| <b>Rapportens titel</b><br>Grundvattenmodellering och sårbarhetsanalys för Utö skjutfält                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                              |                                          |
| <b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b><br><p>En grundvattenmodellering och sårbarhetsanalys är genomförd över Utö skjutfält. Resultatet presenteras i kartform där grundvattnets modellerade sårbarhet för kemikaliespill samt strömningsriktning redovisas. Till kunden levereras också ett digitalt underlag, anpassat för ett geografiskt informationssystem, GIS.</p> <p>Grundvattenmodelleringen är utförd med modellen MODFLOW som ingår i mjukvaran Groundwater Modelling System, GMS. För sårbarhetsbedömningen används DRASTIC-metoden och beräkningarna utförs i ett egenutvecklat tillägg i GIS-programmet ArcView. Området är sedan klassat med en för området relativ skala där man kan särskilja mer eller mindre sårbara markområden. Syftet med sårbarhetsbedömningen är att ge vägledning och underlag när det gäller val av aktivitet inom området för att på så sätt minimera risk för grundvattenförorening.</p> |                                                                              |                                          |
| <b>Nyckelord</b><br>DRASTIC, GIS, GMS, grundvatten, modellering, MODFLOW, sårbarhet, Utö, ÖMAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                              |                                          |
| <b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Språk</b> Svenska                                                         |                                          |
| <b>ISSN</b> 1650-1942                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Antal sidor:</b> 12 s.                                                    |                                          |
| <b>Distribution enligt missiv</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>Pris:</b> Enligt prislista                                                |                                          |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Issuing organization</b><br>FOI – Swedish Defence Research Agency<br>NBC Defence<br>SE-901 82 Umeå                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Report number, ISRN</b><br>FOI-R--0999--SE                                           | <b>Report type</b><br>User report |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Programme Areas</b><br>3. NBC Defence and other hazardous substances                 |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Month year</b><br>May 2004                                                           | <b>Project no.</b><br>E4917       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>General Research Areas</b>                                                           |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Subcategories</b><br>35 Environmental Studies                                        |                                   |
| <b>Author/s (editor/s)</b><br>Jan-Olov Moberg<br>Jan Burman                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Project manager</b><br>Jan Sjöström                                                  |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Approved by</b>                                                                      |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Sponsoring agency</b><br>Swedish Armed Forces, National Fortification Administration |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Scientifically and technically responsible</b>                                       |                                   |
| <b>Report title (In translation)</b><br>Groundwater modelling and vulnerability analysis of Utö shooting range                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                         |                                   |
| <b>Abstract (not more than 200 words)</b><br><p>A groundwater modelling and a vulnerability analysis were performed for the Utö shooting range. The result is presented in map form, the map showing modelled vulnerability of groundwater to contamination, and the flow direction. In addition the result is delivered to the customer in digital form adapted to a geographic information system, GIS.</p> <p>The groundwater model used is the MODFLOW which is included in the software Groundwater Modelling System, GMS. When it comes to the vulnerability analysis, the DRASTIC-index method is used. The calculations are performed in an in-house developed extension to the GIS software ArcView. The result is classified using a relative scale thus enabling the distinction of more or less vulnerable areas. The objective of performing the vulnerability analysis was that it would serve as a basis activity choice in the area, in that way minimizing the risk of groundwater contamination.</p> |                                                                                         |                                   |
| <b>Keywords</b><br>DRASTIC, GIS, GMS, ground water, modelling, MODFLOW, Utö, vulnerability, ÖMAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                         |                                   |
| <b>Further bibliographic information</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Language</b> Swedish                                                                 |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |                                   |
| <b>ISSN</b> 1650-1942                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Pages</b> 12 p.                                                                      |                                   |
| <b>Price acc. to pricelist</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                         |                                   |

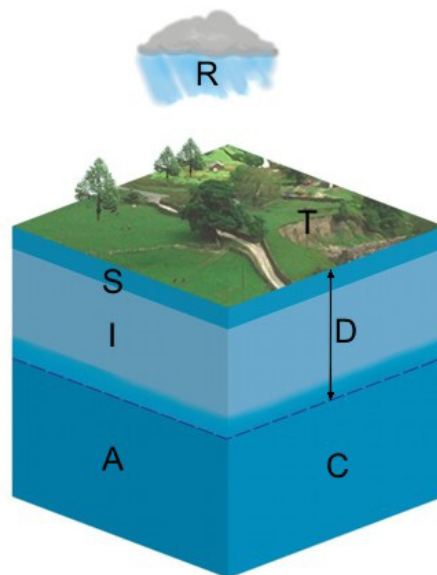
|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INLEDNING.....</b>                                            | <b>5</b>  |
| <b>2 KORT OM FÖRORENINGSTRANSPORT I MARK OCH GRUNDEVATTEN.....</b> | <b>6</b>  |
| <b>3 OMRÅDESBESKRIVNING.....</b>                                   | <b>7</b>  |
| 3.1 ALLMÄNT OM MODELLOMRÅDET.....                                  | 7         |
| 3.2 BERGGGRUND .....                                               | 7         |
| 3.3 JORDARTER.....                                                 | 7         |
| 3.4 AVRINNING OCH BRUNNAR.....                                     | 7         |
| 3.5 NEDERBÖRD .....                                                | 7         |
| <b>4 GRUNDEVATTENMODELLERING.....</b>                              | <b>8</b>  |
| 4.1 ANVÄND BERÄKNINGSMODELL OCH DATORPROGRAMVARA.....              | 8         |
| 4.2 ANTAGANDEN OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SIMULERING .....            | 8         |
| 4.2.1 Använda data .....                                           | 8         |
| 4.2.2 Randvillkor.....                                             | 8         |
| 4.3 HYDRAULISK KONDUKTIVITET.....                                  | 8         |
| 4.4 GRUNDEVATTENBILDNING .....                                     | 9         |
| 4.5 MODELLSTORLEK OCH KALIBRERING .....                            | 9         |
| 4.6 RESULTAT OCH OSÄKERHET .....                                   | 10        |
| <b>5 KLASSNING AV GRUNDEVATTNETS SÅRBARHET.....</b>                | <b>10</b> |
| 5.1 DRASTIC .....                                                  | 10        |
| 5.2 RESULTAT DRASTIC.....                                          | 11        |
| <b>6 REFERENSER .....</b>                                          | <b>12</b> |

## 1 INLEDNING

En grundvattenmodellering och sårbarhetsanalys är genomförd för Utö skjutfält. Resultatet presenteras i kartform där grundvattnets modellerade sårbarhet för kemikaliespill samt strömningsriktning redovisas, se bilaga 2. Resultatet levereras också digitalt, anpassat för ett geografiskt informationssystem, GIS (shape-format).

Denna rapport ingår som en komponent i projektet ÖMAS (Övnings- och miljöanpassad skötselplan) som drivs av Försvarsmakten och Fortifikationsverket. En viktig fråga i ÖMAS är de konsekvenser som kan uppstå vid ett kemikaliespill till mark och grundvatten. För att öka kunskapen om grundvattensituationen har FM/FORTV lämnat i uppdrag åt FOI NBC-skydd att genomföra en grundvattenmodellering och sårbarhetsanalys för ett antal övnings- och skjutfält.

Grundvattenmodelleringen har genomförts med hjälp av datorprogramvaran GMS, Groundwater Modeling System (GMS Resource Center 2004). Med hjälp av resultaten från grundvattenmodelleringen och ytterligare data har en sårbarhetsmodell tagits fram enligt metoden för DRASTIC-index (Rosén 1995). Området är sedan klassat med en för området relativ skala där man kan särskilja mer eller mindre sårbara markområden. Observera att skalan inte är absolut vilket medför att klassningar från skilda fält inte är direkt jämförbara. De parametrar som modellen tar hänsyn till illustreras i figur 1. Syftet med sårbarhetsanalysen är att ge vägledning och underlag när det gäller val av aktivitet inom området. Till exempel kan övningar som har moment av ökad risk för spill, som drivmedelspåfyllning, förläggas till ytor med liten sårbarhet för att därigenom minimera risk för påverkan av grundvatten.

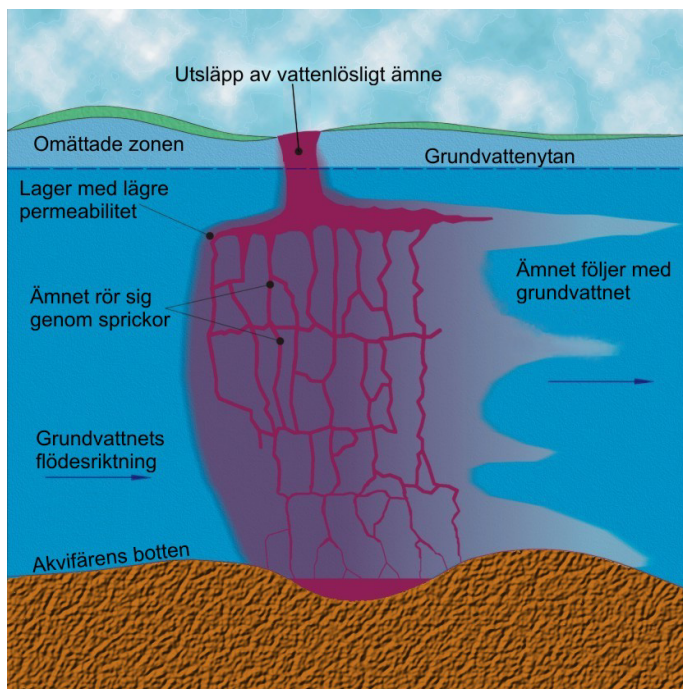


Figur 1: DRASTIC-parametrarnas plats i det hydrogeologiska systemet: Djup till grundvattenytan (D), grundvattenbildning (R), akvifärens material (A), material i översta delen av omättade zonen (S), markytans lutning (T), omättade zonens material (I) samt hydraulisk konduktivitet (C).

## 2 KORT OM FÖRORENINGSTRANSPORT I MARK OCH GRUNDTVATTEN

Grundvattnet är i allmänhet skyddat från föroreningar genom den filtrerande effekt som det ovanliggande jordskiktet har genom fastläggning och nedbrytning. Sand och grus har stor genomsläpplighet medan lera har mycket liten genomsläpplighet. Den del av föroreningarna som passerar detta "filter", transporteras och sprids med grundvattnet. Föroreningstransport i mark kan ses bestå av två delar. En del som beskriver mängden förorening som når grundvattnet och en del som beskriver grundvattnets rörelse och transport av lösta ämnen. En schematisk bild över ett kemikaliespill till grundvatten visas i figur 2.

Det är också av betydelse om en förorening finns på ett så kallat in- eller utströmningsområde. Om ett spill sker inom ett inströmningsområde tränger föroreningen ned i marken tills den når grundvattenytan, varefter den följer vattenströmningen i marken vidare mot närmaste vattendrag eller sjö (recipient). Om grundvattenytan ligger nära markytan kommer föroreningen snabbt nå grundvattnet och söka sig vidare mot recipienten. Det är då bråttom att påbörja eventuell sanering. Om grundvattenytan ligger djupt kan det dröja längre tid innan föroreningen sprids via grundvattnet. Men samtidigt är det då risk för att stora jordmassor förorenas och måste schaktas bort. Mark- och grundvatten är alltså särskilt sårbara för föroreningspåverkan på inströmningsområden.



Figur 2: Schematisk bild av kemikaliespill till grundvatten.

Ett spill på ett utströmningsområde kommer aldrig att tränga ned i marken, då grundvattenflödet på platsen är uppåtriktad och effektivt trycker tillbaka föroreningen. Föroreningen kommer därför att följa med det ytvavrinnande vattnet mot närmaste vattendrag eller sjö. I ett utströmningsområde är det alltså ytvattnet som är sårbart för föroreningspåverkan. Miljöfarlig verksamhet bör ur spridningssynpunkt lokaliseras så att vattenflödet från omgivningen är litet, det vill säga tillrinningsområdet bör vara litet (Grip och Rodhe 1994).

Av stor betydelse för miljökonsekvenserna från en markförorening är kemikaliens egenskaper. Kommer den att brytas ned eller fastläggas i marken? Eller kommer den att lösas i vattnet och snabbt transporteras vidare i grundvattensystemet? Eller kanske som vissa petroleumprodukter, lägga sig som en film ovanpå grundvattenytan medan andra liksom en plugg tränger ända ned till berggrunden? Betydelsen av dessa faktorer har inte behandlats inom ramen för denna studie.

### **3 OMRÅDESBESKRIVNING**

#### **3.1 Allmänt om modellområdet**

Utö skjutfält är beläget på ön Utö i Stockholms skärgård ca 20 km öster om Nynäshamn och dess landyta är ca 1 400 ha. I bilaga 1 presenteras en översiktskarta av det område som har modellerats (modellområdet). Resultat presenteras bara för själva skjutfältet (resultatområdet). För modellen har havet samt ytvattendelare använts som områdesbegränsare. Det antas inte förekomma något flöde av grundvatten över en ytvattendelare.

#### **3.2 Berggrund**

Berggrunden i området utgörs av kristallint berg, i huvudsak sedimentgnejs gnejsgranit och leptit. Modellområdet innehåller inga sedimentära bergarter. På ca 60 procent av modellområdets yta anger jordartskartan att det är berg.

#### **3.3 Jordarter**

Jorddjupet inom modellområdet varierar, enligt SGU:s brunnsarkiv, mellan 0 och 6 meter. Ett 40-tal borrhningar finns inom modellområdet, men endast en inom resultatområdet.

#### **3.4 Avrinning och brunnar**

SMHIs delavrinningsområden täcker inte skärgården. Havet och en ytvattendelare gör att modellområdet motsvarar ett avrinningsområde. Avvattningen sker genom små bäckar. Inom området finns höjdparter som kan ge yt- och grundvattnet en tillfällig, lokal strömningsriktning innan vattnet avlänkas mot havet. Det finns tre små sjöar inom modellområdet och dessa har upptagits i modellen. Den dräneringseffekt som de större bäckarna har, inkluderas i modellen.

Eventuella brunnsuttag inom resultatområdet antas vara små och inte påverka det slutgiltiga beräkningsresultatet.

#### **3.5 Nederbörd**

Tillskott av vatten genom infiltration av regn, approximeras med en fördelning enligt konduktivitet (jordarter) för ytskiktet. Nederbörden är 433 mm/år och är 30-årsmedelvärde uppmätt på Utö (Alexandersson et. al.1991).



## 4 GRUNDVATTENMODELLERING

### 4.1 Använd beräkningsmodell och datorprogramvara

Modelleringen har genomförts med hjälp av datorprogrammet GMS (Groundwater Modeling System). I GMS skapas en konceptuell modell av området direkt på en karta genom att definiera punkter, linjer, ytor och volymer, med olika egenskaper. Information som man har i GIS-format (till exempel vattendrag och topografi) kan importeras direkt till programmet. Data från den konceptuella modellen överförs sedan av GMS till en beräkningsmodell som kallas MODFLOW. Därefter används MODFLOW för att beräkna grundvattennivåer och flöden i modellområdet.

### 4.2 Antaganden och förutsättningar för simulering

Genom att använda känd information om nederbörds mängd, topografi, jordartsfördelning enligt jordartskarta, berggrundskarta och uppmätta grundvattennivåer, kan en approximation göras över hur den hydrauliska konduktiviteten fördelar sig i modellområdet. För att minimera modellens fel beräknas hydraulisk konduktivitet med hjälp av uppmätta grundvattennivåer. Beräkningen görs genom så kallad invers modellering i programvaran PEST som ingår i GMS. Inför denna beräkning antas att likartade jord- och bergarter kan tilldelas samma värde på den hydrauliska konduktiviteten. Då kan grupper av gemensamma värden skapas. Men ett alltför stort antal oberoende grupper gör att bestämningen av parametrarna blir onödigt svår eller omöjlig.

#### 4.2.1 Använda data

Data som används för grundvattensimuleringar inom ÖMAS är:

- GSD-höjddata (50 meter mellan mätpunkter).
- Terrängkartan.
- Geologiska brunnnsdata samt jordarts- och berggrundskartor med beskrivningar från SGU.
- Nederbörds mängder och delavrinningsområden från SMHI.
- Tabeller över hydraulisk konduktivitet (Fagerström och Wiesel 1972).
- Ibland kompletterande observationspunkter vid fältstudier.
- Ibland uppgifter om pumpbrunnar.

#### 4.2.2 Randvillkor

Sjöar och hav på randen ges en konstant nivå. Randvillkoren för eventuella vattendrag som avgränsar området formuleras med en given vattennivå som ges av uppmätta värden eller en approximation med marknivå minus 1 till 2 meter. Det förekommer inget flöde i modellen över en vattendelare.

### 4.3 Hydraulisk konduktivitet

Den hydrauliska konduktiviteten är ett mått på markens förmåga att leda vatten, och är störst vid mättade förhållanden. I denna studie antas mättade förhållanden råda då det är grundvattentransporten som beräknas. Enheten för den hydrauliska konduktiviteten är meter per sekund (m/s). Generellt för strukturer i mark gäller att heterogeniteten är större i vertikalled än i horisontalled. Därför är det vanligt att konceptuella modeller delas upp i horisontella skikt med homogena egenskaper. Det översta skiktet har delats upp i områden enligt jordartskartan och jordarter med likartade egenskaper har beräkningsmässigt samlats i grupper.

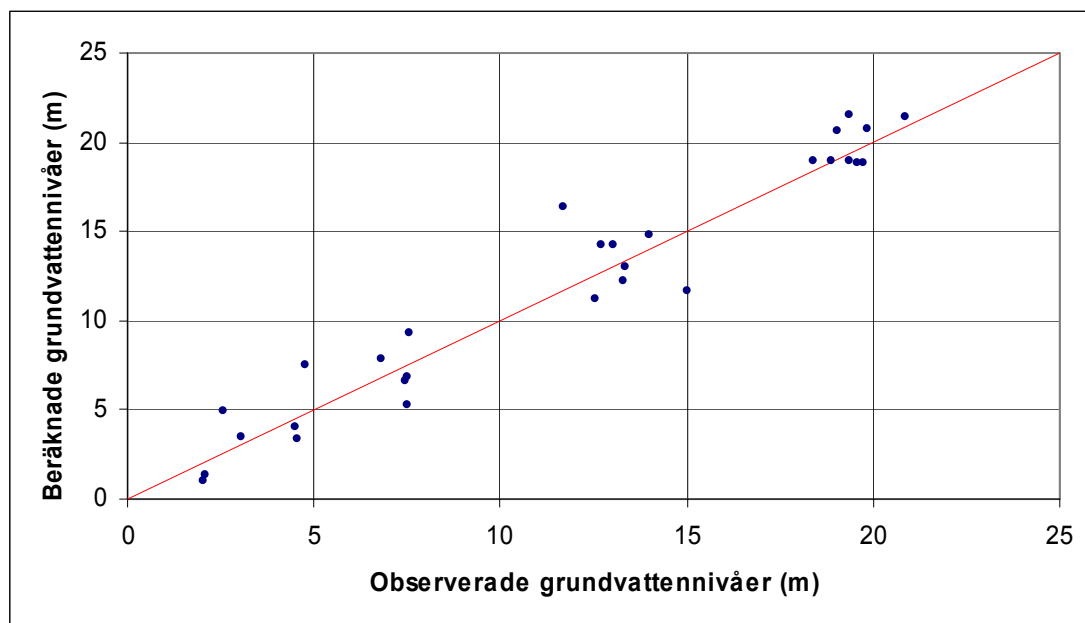
#### 4.4 Grundvattenbildning

Områden där grundvattenbildning sker kallas inströmningsområden och områden där grundvatten avvattnas kallas utströmningsområden. Med begreppet potentiell grundvattenbildning menas den grundvattenbildning som skulle kunna ske i ett område ifall hela området vore inströmningsområde. Grundvattenbildningens storlek beror på många olika faktorer som till exempel nederbörd, avdunstning och jordart. Begreppet infiltrationskoefficient används ibland för att ange hur stor del av nederbörden som bildar grundvatten. Vid modelleringen tilldelas ibland olika jordarter olika infiltrationskoefficienter.

#### 4.5 Modellstorlek och kalibrering

Beräkningsmodellen för Utö har en horisontell upplösningen på ca 30 meter. Vertikalt består modellen av 3 skikt med skikt djup på 2 till 40 meter beroende på markens topografi och egenskaper. Översta lagret är definierat från marknivån.

I figur 3 visas korrelationen mellan modellerade och uppmätta grundvattennivåer. Medelfelet är 1.5 meter och medelvärdet av absolutbeloppet av felet är 2.1 meter. Avvikelse för modellområdets observationspunkter pendlar alltså med storleksordningen  $\pm 1.5$  meter. Med tanke på osäkerheten i uppmätta grundvattennivåer, vilka uppges till en meter, och att mätningarna har skett vid olika tidpunkter på året, vilket medför en variation på cirka en meter, bedöms resultaten som rimliga. Grundvattennivåerna är uppmätta vid enskilda tillfällen med stor spännvidd i tiden vilket innebär att årsvariationer och årstidsvariationer inte på ett enkelt sätt kan vägas in. Enstaka brunnssdata har större avvikelser som kan bero på mätfel eller att dessa mätvärden är erhållna i samband med speciella omständigheter som pumpningar, eller att modellen där inte beskriver verkligheten på ett bra sätt.



Figur 3: Korrelation mellan beräknade och uppmätta grundvattennivåer.

#### 4.6 RESULTAT OCH OSÄKERHET

Resultaten från grundvattenmodelleringen redovisas som strömningsriktning och sårbarhetsklassning baserad på DRASTIC-index (se vidare kapitel 5).

De mest betydelsefulla parametrar som påverkar modellen är jordarternas konduktivitet, topografin och nederbörden. Den geologiska bilden över modellområdet är lokalt varierande. Lera, berg, sand och morän uppträder omväxlande. Stora variationer i konduktivitet finns såväl längs markytan som i djupled. Eftersom modellen är avpassad för att ge en godtagbar respons i de mätpunkter som finns kan mellanliggande områden variera något mer från verkligheten. Då modellen återskapar rimliga värden på grundvattennivåer och strömningshastigheter samt att den beräknade hydrauliska konduktiviteten är rimlig, kan man anta att den totala strömningsbilden också kan representera en bild av grundvattnets rörelse. Den topografiska bilden i modellen bygger på GSD-höjddata som har en upplösning på 50 meter och är interpolerade till beräkningsgridet, varför höjddata kan betraktas som goda. Nederbördsdata bygger på 30 års observationsserie (Alexandersson et. al., 1991) och kan anses som trovärdiga. Information saknas om större brunnsuttag. Avsänkningstrattar som kan finnas runt nyttjade brunnar har därför inte medräknats.

### 5 KLASSNING AV GRUNDTVATNETS SÅRBARHET

#### 5.1 DRASTIC

DRASTIC är en modell för klassificering av grundvattens sårbarhet för föroreningar. Det är ett standardiserat klassificeringssystem, utvecklat av National Ground Water Association och EPA (Aller et al., 1987), och baseras på hydrogeologiska egenskaper. DRASTIC används för att relativt klassificera föroreningspotentialen för akvifärer och ger användaren kvalitativa riktlinjer.

DRASTIC utvärderar föroreningspotentialen baserat på sju hydrogeologiska parametrar, se tabell 1 och figur 1. Namnet är en engelsk akronym som syftar på de olika parametrarna, (**D**epth to the water table, **N**et **R**echarge, **A**quifer material, **S**oil type, **T**opography, **I**mpact of the vadose zone, **H**ydraulic **C**onductivity). Varje parameter tilldelas ett värde mellan 1 och 10 som ska avspegla de lokala förhållandena. Högre värden indikerar större sårbarhet. För bestämning av parametervärden finns en framtagna standard med stort tolkningsutrymme. Parametrarna viktas med avseende på deras relativa betydelse för föroreningspotentialen. Viktfaktorerna är mellan 1 och 5. DRASTIC-index beräknas sedan som en summa av produkten mellan parametrarnas viktfaktor och parametrarnas värde:

$$\text{DRASTIC index} = \sum P_W P_R = D_W D_R + R_W R_R + A_W A_R + S_W S_R + T_W T_R + I_W I_R + C_W C_R$$

$P_W$  = Viktfaktor för parameter P

$P_R$  = Värde för parametern P

Ju högre DRASTIC-index, desto större relativ föroreningspotential har området. Minimalt DRASTIC-index är 23 och maximalt DRASTIC-index är 226. Vanligen ligger indexet mellan 50 och 200.

*Tabell 1: I DRASTIC ingående parametrar med tillhörande viktfactorer.*

| Parameter |   |                                            | Viktfactor ( $P_w$ ) |
|-----------|---|--------------------------------------------|----------------------|
| 1         | D | Djup till grundvattenytan                  | 5                    |
| 2         | R | Grundvattenbildning                        | 4                    |
| 3         | A | Akvifärens material                        | 3                    |
| 4         | S | Material i översta delen av omättade zonen | 2                    |
| 5         | T | Markytans lutning                          | 1                    |
| 6         | I | Omättade zonens material                   | 5                    |
| 7         | C | Hydraulisk konduktivitet                   | 3                    |

DRASTIC baseras på fyra antaganden: Föroreningen introduceras vid markytan, nederbörden transporterar föroreningen mot grundvattnet, föroreningen rör sig med vatten samt, det undersökta området ska vara minst 40 ha (100 acres).

### 5.2 Resultat DRASTIC

Sårbarhetskartan som baseras på DRASTIC-index (bilaga 2) kan användas på följande sätt. Övningar som har moment av ökad risk för spill, till exempel drivmedelspåfyllning, bör förläggas till ytor med mindre eller minst sårbarhet för att därigenom minimera risk för påverkan av grundvatten. Detta kan genomföras i GIS-programvaran ArcView genom att kombinera DRASTIC-kartan med de övningsstråk, skjutbanor eller annan information som är aktuell för respektive övning. Om ett utsläpp har inträffat ger strömningskartorna upplysningar om åt vilket håll grundvattnenföroreningen tar vägen och DRASTIC-kartan indikerar om ett utsläpp innebär ett mer eller mindre allvarligt hot mot grundvattnet.

## 6 REFERENSER

Alexandersson, H., Karlström C., Larsson-McCann, S., 1991. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-90. SMHI Meteorologi nr.81.

Aller, L.T., Bennet, T., Lehr, J.H. och Petty, J., 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential using Hydrogeologic Settings. U.S. Environmental Protection Agency/600/2-85/018. Washington DC.

Fagerström H. och Wiesel C.-E. 1972. SGF:s laboratoriekommité.

GMS Resource Center. 2004. <http://gms.watermodeling.org/>.

Grip, H. och Rodhe, A., 1994. Vattnets väg från regn till bäck. Hallgren& Fallgren.

McDonald, M.G., Harbaugh, A. W., 1988. A modular three-dimensional groundwater flow model. U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations.

Rosén, L., 1995. Estimation of hydrogeological properties in vulnerability and risk assessments. Göteborg.

SGU Ae 31-32. 1977. Beskrivning till Jordartskartorna Nynäshamn NV/SV och Nynäshamn NO/SO.

## Information

**Område:** Utö skjutfält

Kartan visar det område över vilket en grundvattenmodell har skapats (modellområdet). Randvillkoren anger den yttre begränsningen för detta område i beräkningarna. Beräkningsresultat presenteras bara för det rödskuggade området.

Grundvattenmodelleringen har genomförts med hjälp av datorprogramvaran GMS (Groundwater modelling system) och ingår som en komponent i projektet ÖMAS (Övnings- och miljöanpassad skötselplan) på uppdrag av FM/FORTV.

## Teckenförklaring

**Resultatområde**

■ Skjutfält/övningsfält

**Randvillkor (GMS)**

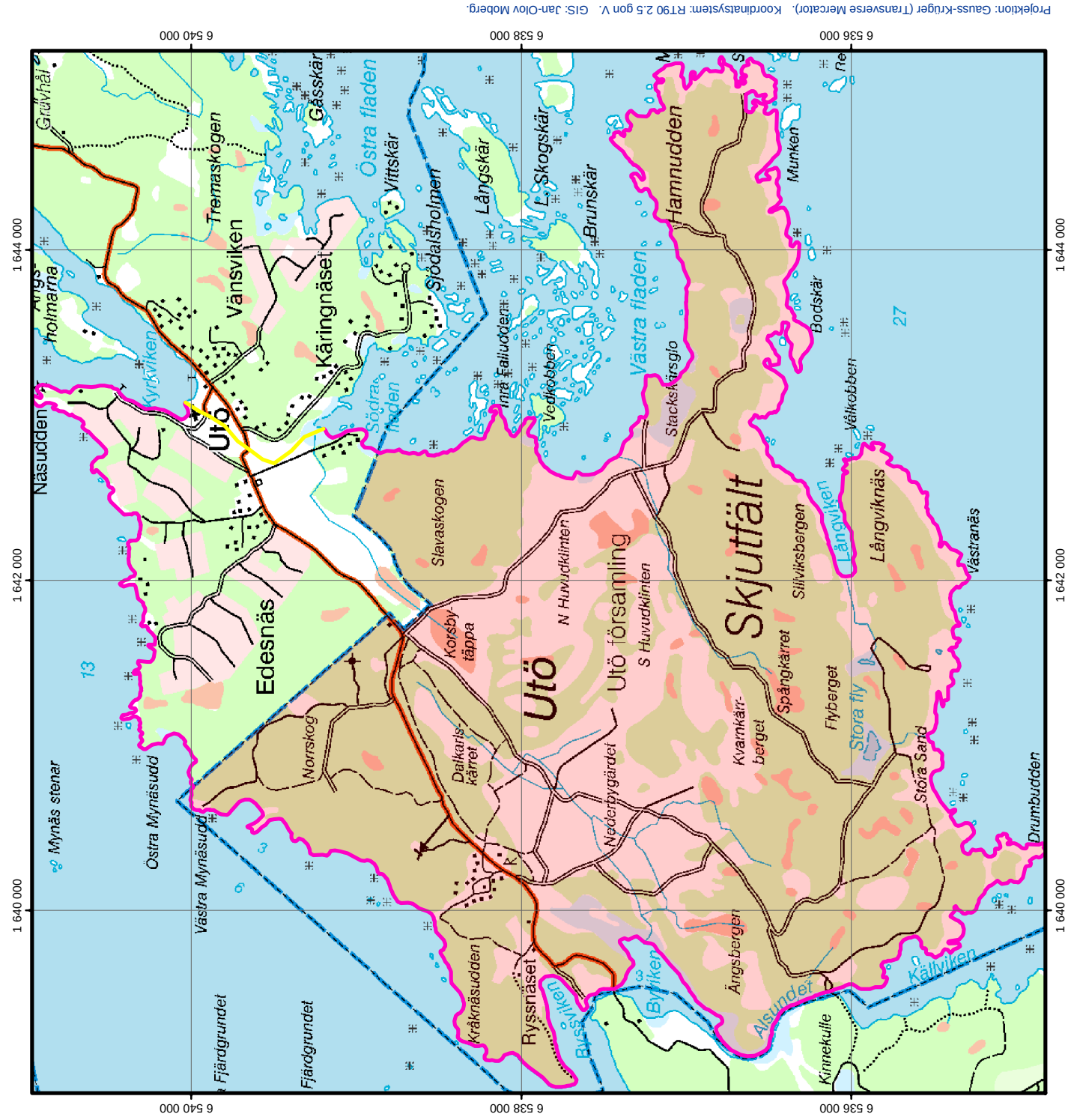
— Vattendelare

— Vattendrag

— Vattenyta

Postadress:  
FOI NBC-skydd  
901 82 UMEÅ

Telefon: 090-10 66 00  
E-post: [fornamn.eternamn@foi.se](mailto:fornamn.eternamn@foi.se)  
[www: http://www.foi.se](http://www.foi.se)





## Information

Område: Utö skjutfält

Kartan visar en klassning av grundvattnets sårbarhet utförd med DRASTIC-index. Den kan användas för att minimera risken att förorena grundvattnet i verksamhet där kemikaliespill kan uppstå.

Röd färg anger de områden (grundvatten) som enligt modellresultaten är mest sårbara för kemikaliespill. Blå färg anger de områden som är minst sårbara för kemikaliespill. Pilar anger grundvattnets modellerade strömningsriktning.

Märk att skalan är relativ inom området och att den inte kan jämföras med klassningar av andra skjut- och övningsfält.

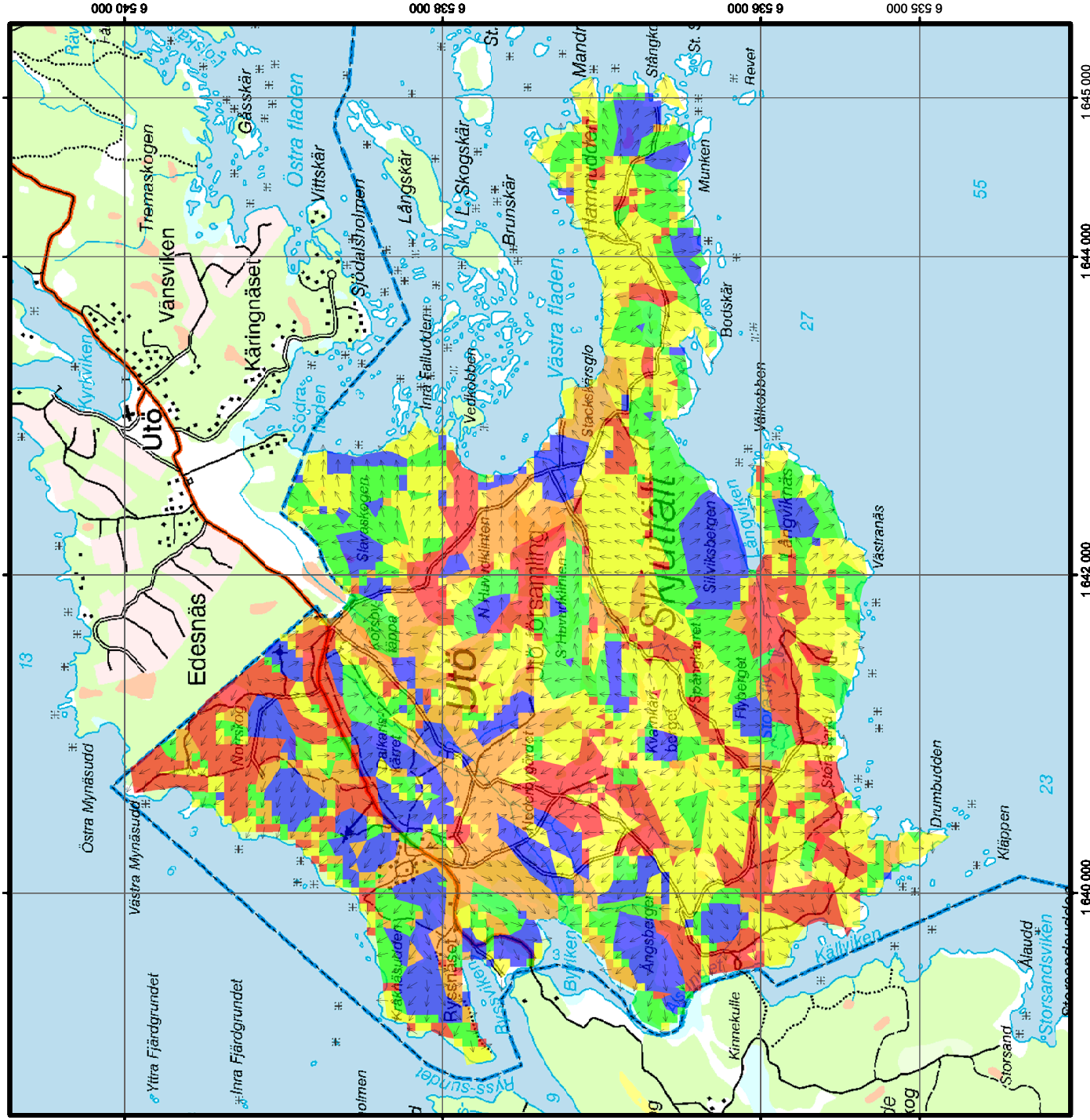
Beräkningarna är utförda i GIS-programvaran ArcView 8.3 med tillägget Spatial Analyst. Data som använts är berg- och jordartskartor, höjd- och nederbördsdata, utdata från en grundvattenmodellering utförd med GMS (Groundwater Modeling System), samt litteraturuppgifter.

Detta underlag ingår som en komponent i projektet ÖMAS (Övnings- och miljöanpassad skötselplan) på uppdrag av FM/FORTV.

## Teckenförklaring

### Grundvattnets sårbarhet

- Störst
- Större
- Medel
- Mindre
- Minst



Postadress:  
FOI NBC-skydd  
901 82 UMEA

Telefon: 090-10 66 00  
E-post: [förmann.eftemamn@foi.se](mailto:förmann.eftemamn@foi.se)  
www: <http://www.foi.se>