

## Igelbäcken

*Uppbyggnad av hydrologisk modell samt beräkningar av vattenbalans, geohydrologi och föroreningar*



Projektnummer  
6020

2008-02-11

|                                           |            |                            |
|-------------------------------------------|------------|----------------------------|
| Beställare                                |            | Beställarens kontaktperson |
| Stockholm Vatten AB                       |            | Åsa Snith                  |
| Projekt                                   | Projekt nr | Uppdragsledare             |
| Igelbäcken - hydrologisk beräkningsmodell | 6020       | Lars-Göran Gustafsson      |

|                                                                                                           |                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|
| Författare                                                                                                |                   | Datum      |
| Stefan Ahlman, Lars-Göran Gustafsson, Mona Sassner,<br>Dick Karlsson, Cecilia Wennberg och Paul Widenberg |                   | 2008-02-11 |
| Granskad av                                                                                               | Uppdragsroll      | Datum      |
| Gilbert Svensson                                                                                          | Kvalitetsansvarig | 2008-02-11 |

## FÖRORD

Stockholm Vatten AB (SVAB) har som en del i Miljömiljarden, en miljöstatsning finansierad av Stockholms stad, erhållit medel för att studera två vattendrag i Stockholmsregionen med avseende på nuvarande förhållanden och åtgärder för att förbättra de hydrologiska och kvalitetsmässiga förutsättningarna.

De två vattendrag som har studeras är Ballstaån och Igelbäcken.

Projektet påbörjades sommaren 2005 och avslutas i och med denna rapportering.

Föreliggande rapport avser Igelbäcken och är en del av redovisningen av detta arbete. Förutom denna skriftliga redovisning har bearbetad indata och väsentliga beräkningsresultat lagrats i en ArcGIS Geodatabas. Slutligen utgör de etablerade modellerna, med tillhörande indatafiler och resultatfiler, en samlad dokumentation och länken till fortsatt arbete inom området.

Modell och analysarbete har bedrivits av en projektgrupp på DHI främst bestående av Mona Sassner, Ulrika Sabel, Cecilia Wennberg och Dick Karlsson. Fältmätningar, och bearbetning av mätdata, har utförts av Lars Gillsjö (ansvarig), Alf Olsson, Jessie Schroeck och Paul Widenberg.

Lars-Göran Gustafsson har varit DHI's uppdragsledare och koordinator av projektet och Gilbert Svensson har varit DHI's kvalitetsansvarige för projektet.

Åsa Snith har varit SVAB's projektledare. Tommy Giertz, DHI, hade inledningsvis denna funktion på SVAB och har under den senare hälften av projektet biträtt Åsa Snith i denna funktion.

En referensgrupp, bestående av Christer Lännergren och Bo Westergren, båda från SVAB, har följt arbetet under projektets gång, och bistått med värdefull information och kommentarer. Dessutom har informationsmöten genomförts med Igelbäcksguppen, bestående av representanter från Länsstyrelsen och de kommuner som berörs av vattendraget.

# Innehållsförteckning

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| FÖRORD                                            | ii |
| 1 PROBLEMBESKRIVNING                              | 1  |
| 1.1 Tillrinningsområdets karaktär.....            | 1  |
| 1.2 Vattenföring.....                             | 1  |
| 1.3 Föroreningsbelastning och vattenkvalitet..... | 2  |
| 1.4 Ekologisk status.....                         | 2  |
| 2 SYFTE OCH AVGRÄNSNING                           | 3  |
| 3 METODIK                                         | 4  |
| 3.1 Modellverktyg .....                           | 4  |
| 3.2 Datahantering i ArcGIS.....                   | 6  |
| 3.3 Resultatens trovärdighet.....                 | 6  |
| 4 DATAINSAMLING OCH UNDERLAG                      | 8  |
| 4.1 Inmätning av vattendragets geometri.....      | 8  |
| 4.2 Flödesmätningar.....                          | 8  |
| 4.3 Övrigt underlag .....                         | 10 |
| 5 BESKRIVNING AV MODELLER                         | 12 |
| 5.1 Hydraulisk modell .....                       | 13 |
| 5.2 Geohydrologisk modell .....                   | 20 |
| 5.3 Förorenings- och vattenkvalitetsmodell.....   | 27 |
| 6 RESULTAT AV STUDERADE SCENARIER                 | 41 |
| 6.1 Vattenbalans och geohydrologi.....            | 41 |
| 6.2 Flödesförhållanden .....                      | 45 |
| 6.3 Vattenkvalitetsförhållande.....               | 47 |
| 7 DISKUSSION OCH SLUTSATSER                       | 52 |
| 7.1 Hydrologiska förhållanden .....               | 52 |
| 7.2 Vattenkvalitetsförhållanden.....              | 53 |
| 8 FRAMTIDA ANVÄNDNING AV MODELLERNA               | 58 |
| 9 REFERENSER                                      | 60 |



# 1 PROBLEMBESKRIVNING

Igelbäcken rinner från Säbysjön i Järfälla över Järvafältet och mynnar vid Ulriksdals slott i Edsviken, som har förbindelse med Lilla Värtan, se Figur 1-1. Bäckens och dess dalgång har genom sin goda tillgänglighet, väl bevarade kulturlandskap och rika växt- och djurliv, mycket stort frilufts- och naturvärde. Igelbäckens dalgång och Järvafältet är föremål för utredning om eventuellt natur- eller kulturresevat. Naturresevatet Hansta ligger inom Igelbäckens tillrinningsområde. Berörda kommuner, Stockholm Vatten AB och Länsstyrelsen i Stockholms län samarbetar för att förbättra bäckens vattenkvalitet.

## 1.1 Tillrinningsområdets karaktär

Tillrinningsområdet ligger inom fem kommuner: Järfälla, Sollentuna, Stockholm, Sundbyberg och Solna. Igelbäcken rinner från Säbysjön i Järfälla till Edsviken, där den mynnar vid Ulriksdals slott. Bäckens rinner först över Norra Järvafältet. Omkringliggande mark utgörs huvudsakligen av omväxlande skogsbeklädda moränhöjder och ängs- och åkermarker. Cirka 20 ha av marken används till bete.

Innan bäcken efter 2,5 km når Akallavägen passerar den genom en 250 m lång kulvert under Barkarbyflygfält. Precis före Akallavägen rinner den samman med Djupanbäcken, utloppet från den lilla sjön Djupan.

Igelbäcken är kulverterad under Akallavägen. Den fortsätter ca 4 km genom dalgången mellan Akalla-Hjulsta och Tensta-Rinkeby. Vid Akalla tillsätts ca 35 000 m<sup>3</sup> dricksvatten per år till bäcken. Från Fortums ledningstunnel pumpas dräneringsvattnen, ca 40 m<sup>3</sup>/dygn, upp till bäcken mellan Akallavägen och Eggeby. I dalgången förekommer en del jordbruk med djurhållning. På denna sträcka tar bäcken emot trafikdagvatten från E18 samt avrinning från Granholmstoppen, en tipp med massor från byggandet av bl.a. Rinkeby. Tippen är numera avslutad och klassas som förorenad mark. Efter dalgången korsas bäcken av Kymlingelänken på viadukt. Den rinner sedan ca 2,5 km genom öppen gräs mark fram till järnvägen och E4, där bäcken på nytt är kulverterad. På den sista sträckan fram till mynningen, ca 1,4 km, passerar bäcken Kvarnvretens koloniområde och slottsparken vid Ulriksdal. I mynningen är bäcken dämnd. I området finns en infiltrationstunnel där knappt 50000 m<sup>3</sup> dricksvatten tillsätts varje år för att upprätthålla grundvattennivån.

## 1.2 Vattenförling

I samband med utbyggnaden av Kista-Akalla inom Igelbäckens tillrinningsområde i början av 70-talet gjordes ett system för att ta hand om dagvattnet, som medförde att knappt en tredjedel av bäckens naturliga tillrinning av ytvatten från området nedströms Säbysjön försvann. Det dagvattnet, tillsammans med dagvattnet från en mindre del av Tensta-Rinkeby, som också tillhör Igelbäckens naturliga tillrinningsområde, leds nu till Järva dagvattentunnel och via en pumpstation ut i Edsviken. Genom inläckage i tunneln har även tillrinningen av grundvattnet till bäcken minskat.

### 1.3 Föroreningsbelastning och vattenkvalitet

Säbysjön är näringsrik och totalhalterna av fosfor och kväve i Igelbäckens vatten är relativt höga redan vid den översta provtagningspunkten i bäcken, uppströms Barkaby flygfält. Mängderna har dock inte kunnat beräknas, då historiska flödesmätningar för utflödet från Säbysjön saknas.

Metaller, zink och koppar, beräknas främst komma från öppen naturmark och från förorenad mark., bl a från avfallstippen Granholmstoppen, som innehåller massor från utbyggnaden Rinkeby, Tensta och Hjulsta. Metallhalterna visar i allmänhet en svag ökning längs bäcken, och är låga till måttligt höga.

### 1.4 Ekologisk status

Inom området är det ett mycket rikt växt- och djurliv, med mycket stort friluftsvärde och naturvärde. Fågellivet är mycket rikt och i de våtmarker som finns i anslutning till bäcken häckar bl.a. näktergal, enkelbeckasin och morkulla.

Igelbäcken är speciellt känd för sin förekomst av den sällsynta fiskarten Grönling. Grönlingen är klassad som missgynnad enligt rödlista 2000. Grönlingen är en bottenlevande fisk som förekommer i klart och rinnande vatten där den vanligtvis uppehåller sig i starkt strömmande partier över stenig botten. Vissa år har Igelbäcken låga flöden. Detta är ett av de allvarligaste hoten mot Grönlingens fortsatta existens i bäcken.



Figur 1-1 Översiktskarta över Igelbäckens tillrinningsområde.

## 2 SYFTE OCH AVGRÄNSNING

Projektets syfte är främst att beskriva hydrologin, hydrauliken och föroreningsbelastningen för Igelbäcken idag.

Det är önskvärt att öka lågvattenföringen i bäcken. I projektets syfte ingår därför också att analysera orsakerna till dagens låga vattenföring och effekter av åtgärder inriktade på detta problem. Här ingår behovet att beskriva kopplingen mellan förekommande tunnlar, grundvattnets nivåer och den ytliga markavrinningen till bäcken.

Det övergripande syftet är alltså att öka kunskapen kring områdets hydrologiska funktion, genom etablering av olika modellverktyg. Dessa skall utgöra en dokumentation av dagens kunskapsnivå, och skall kunna användas för framtida scenarieräkningar.

Syftet med projektet är inte att lösa de olika problem som identifierats inom området, utan snarare att exemplifiera hur modellverktygen kan användas för framtida analyser av utbyggnadsförslag och åtgärdsalternativ.

### 3 METODIK

För att analysera och förstå de hydrologiska och hydrauliska sambanden behöver man kunna hantera och överblicka stora mängder information. En datormodell möjliggör undersökningar av hur ett område, hydrologiskt sett, reagerar på extrema situationer eller på olika ingrepp. Dessa prognoser och scenarier som skapas, blir i sin tur värdefulla och ledsagande verktyg i samhällsplaneringen. De hydrologiska förhållandena inom Igelbäckens avrinningsområde har därför studerats med stöd av olika typer av modellverktyg.

Datormodeller ger många gånger sken av trovärdighet och exakthet. Visserligen kan modeller ge principiella resultat och hjälpa användaren att förstå sammanhangen, även med begränsad information, men trovärdighet och exakthet i resultaten påverkas av en mängd faktorer som inte alltid är självklara. En förutsättning för att resultaten vid datormodellering skall bli användbara i praktiken är:

- att valda modellverktyg är anpassade för de frågor och förändringar som skall studeras,
- att fysisk och geografisk indata är av tillräckligt hög noggrannhet och
- att uppmätta tidsserier finns att tillgå för verifiering av grundläggande variabler.

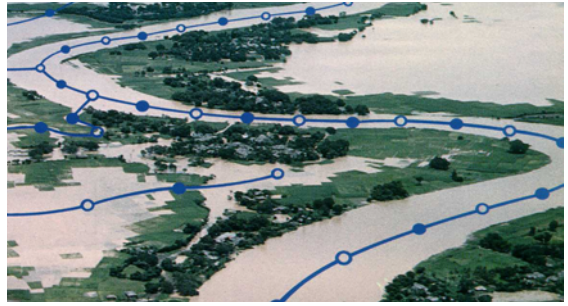
#### 3.1 Modellverktyg

*Den första förutsättningen* innebär att modellverktygen skall kunna beskriva markavrinningen vid olika nederbördssituationer, samt flödes och nivåfluktuationerna i Säbysjön och Igelbäcken. Modellsystemet MIKE11 har använts för denna hydrauliska modellering. De skall också kunna beskriva den övergripande vattenbalansen, hur förekommande tunnlar påverkar grundvattnets läge och fluktuation, samt hur detta indirekt eventuellt påverkar ythydrologin och avrinningen. Modellsystemet MIKE SHE har använts för detta ändamål. Slutligen skall modellerna kunna användas för att beskriva föroreningsbelastningen från olika markområden och olika föroreningars transport, utspädning och nedbrytning i olika delar av ytvattensystemet. Modellsystemen MIKE BASIN (Load calculator) och MIKE11 AD+EcoLab har använts för denna typ av beräkningar. Nedan ges en kort introduktion av de olika modellverktygen. En mer detaljerad beskrivning finns på <http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources.aspx>.

##### 3.1.1 Hydraulisk modellering

Modulen MIKE11 NAM har använts för beräkning av avrinningen till bäcken. Denna modul är en relativt enkel konceptuell hydrologisk modell för beräkning av nederbördsrelaterad markavrinning. Den hydrologiska modellen tar bland annat hänsyn till snötäcke, ytavrinning, infiltration, avdunstning och basflöde.

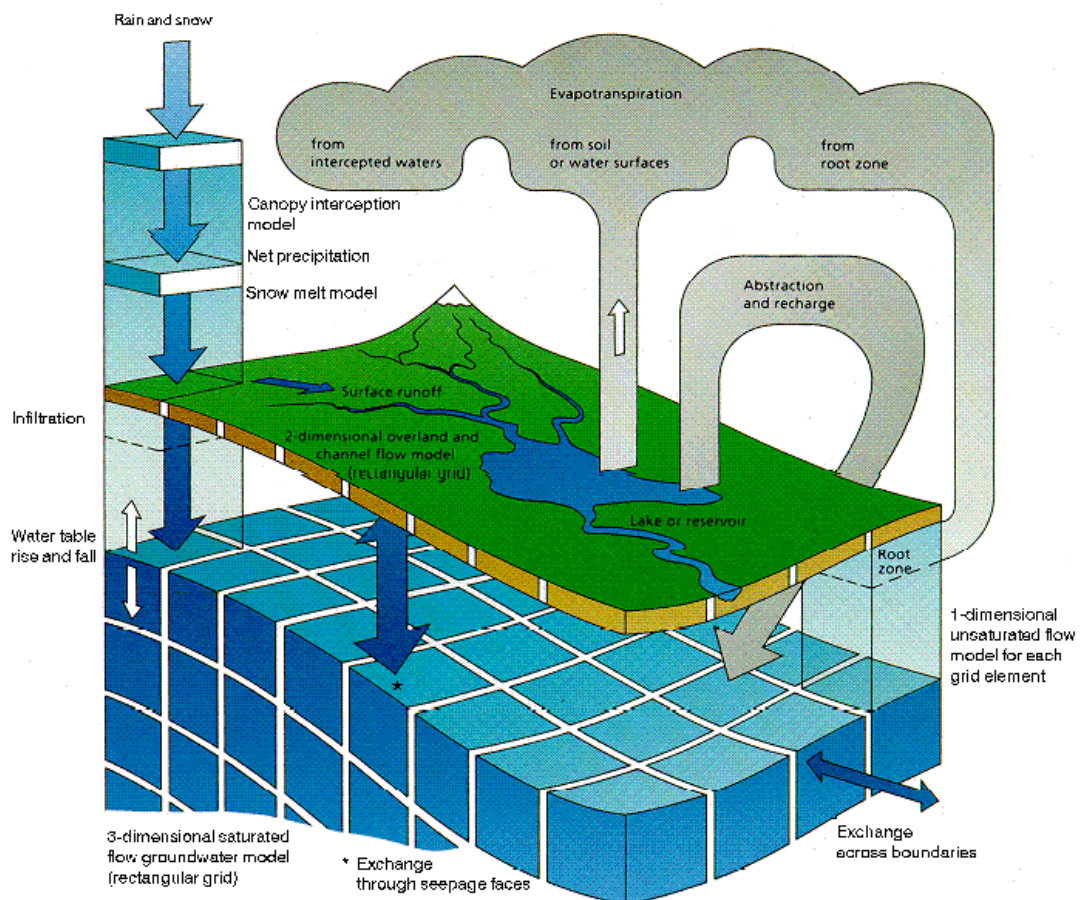
MIKE11 HD, som är en endimensionell hydrodynamisk modell baserad på St Venants differentialekvationer, har använts för beräkning av flöden, hastigheter och nivåer i bäckens olika delar. Den sistnämnda delen utgör grunden för all genomförd modellering i denna studie. Andra modellkomponenter har sedan lagts till som påbyggnad för att beskriva andra förlopp och processer av intresse.



### 3.1.2 Geohydrologisk modellering

MIKE SHE är ett modellsystem för simulering av geohydrologiska processer både ovan och i mark, men sätts kanske främst i samband med grundvattenfrågor. Med modellsystemet kan hela markdelen av vattnets kretsklopp beskrivas på ett fysikaliskt och distribuerat sätt. Med MIKE SHE beskrivs grundvattentransport, grundvattentryck, infiltration och perkolation, olika avdunstningskomponenter, samt ytavrinning.

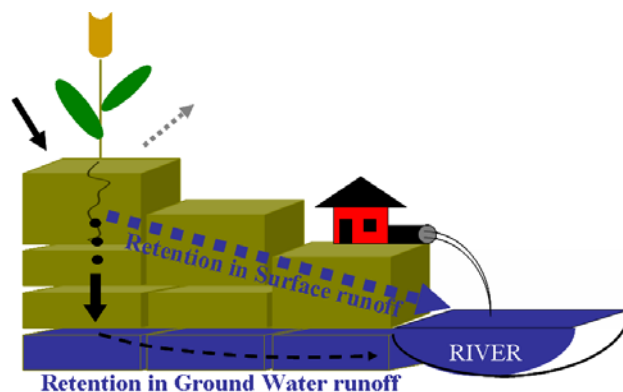
Den hydrauliska vattendragsmodellen i MIKE11 har använts integrerat med MIKE SHE för att erhålla en fullständig koppling mellan vattendrag, ytavrinning och omgivande grundvatten.





### 3.1.3 Föroreningsmodellering

LOAD Calculator, som är en del av verktyget MIKE BASIN, har använts för beskrivning av föroreningsbelastningen från olika delområden, baserat på typ av markanvändning. Modulen MIKE11 AD har använts som påbyggnad till den hydrauliska vattendragsmodellen. Med denna beskrivs transport och utspädning i vattendraget. Därtill har vissa nedbrytningsprocesser studerats med hjälp av ECO Lab.



## 3.2 Datahantering i ArcGIS

*Den andra förutsättningen* innebär ofta en ganska omfattande indatainsamling och många gånger behov av kompletterande inmätningar i fält. Huvuddelen av de fysiska indata som behövs för den typ av modellering som beskrivits ovan fanns tillgänglig, dock i vissa fall först efter omfattande datasökning. En översikt av insamlad data ges i kapitel 4.3. Information om bottenprofil och tvärsektioner för själva vattendraget och dess biflöden saknades, så en relativt omfattande inmätning av vattendraget genomfördes i fält. Se vidare under kapitel 4.1.

All bearbetad fysisk och geografisk indata, samt de mest intressanta beräkningsresultaten från modellerna, har lagrats i en Geodatabas i ArcGIS-miljö.

## 3.3 Resultatens trovärdighet

*Den tredje förutsättningen* handlar om att ha underlag för att kunna bekräfta trovärdigheten i beräknade resultat. Det är en stor fördel om den typ av storheter som skall beräknas också finns uppmätta med relevant upplösning i både tid och rum. I detta fallet handlar det om flöden och nivåer i vattendraget, koncentrationer av intressanta föroreningar, samt grundvattennivåer.

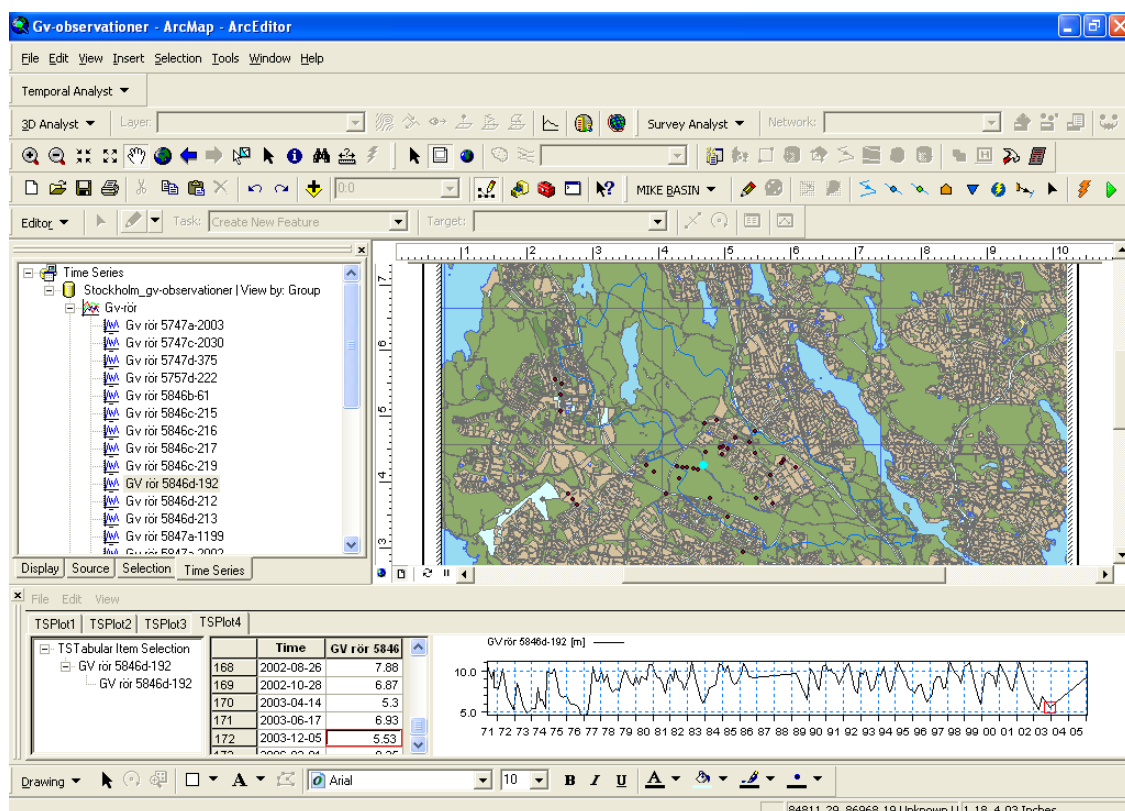
Grundvattennivåer finns observerade i ett ganska stort antal punkter i områdets centrala delar. Observationsserierna är relativt långa, över ett stort antal år. Observationsfrekvensen är varierande, men bedömdes som tillräcklig för att fånga in den typiska tidsvariationen. Dessa observationer användes, tillsammans med uppmätt flöde i Järvatunneln, för att verifiera den geohydrologiska modellen.

Månadsvis vattenprovtagning har genomförts under ett antal år i ett flertal punkter längs vattendraget (speciellt 2006), med analyser av kväve- och fosforfraktioner samt ett antal metaller. Dessa analyserade koncentrationer användes för avstämning av de föroreningsberäkningar som genomförts.

Eftersom högupplöst flödes- och nivådata i vattendraget saknades för denna studie så genomfördes ett relativt omfattande flödesmättningsprogram under hösten 2005 till sommaren 2006. Se vidare under kapitel 4.2. Mätresultaten användes för att verifiera avrinningsberäkningarna och de hydrauliska förlusterna längs vattendraget.

Vid jämförelse av beräknade och uppmätta värden ligger det nära till hands att förkasta beräkningen, utan vidare eftertanke, om god överensstämmelse inte uppnåts. Detta är i många fall slöseri med värdefull information. Det är ofta just genom värdering av skillnaderna mellan beräknade och uppmätta värden som förståelse kan uppnås. Detta gäller i allra högsta grad föroreningsmodellering. De beräknade föroreningskoncentrationerna och massflödena representerar en förenklad bild av verkligheten med ett visst val av komplexitet i processerna, medan de uppmätta koncentrationerna representerar den fullständiga verkliga komplexiteten. Skillnaden beskriver just steget från den förenklade bilden till den fullständiga. Den kan man ofta lära sig av.

All tidsberoende indata, samt de mest intressanta beräkningsresultaten från modellerna, har lagrats i Geodatabasen (ArcGIS), via Temporal Analyst, en specialutvecklad extension till ArcGIS, se skärmdump i Figur 3-1.



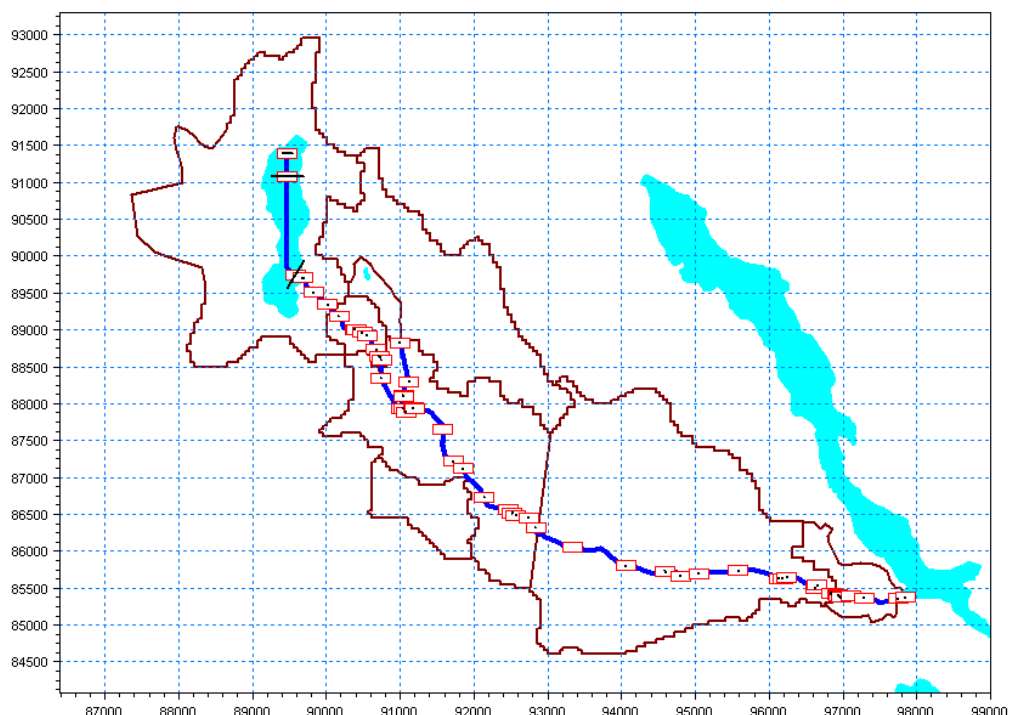
Figur 3-1 Skärmdump från Temporal Analyst, extension till ArcGIS.

## 4 DATAINSAMLING OCH UNDERLAG

Alla nivåer i figurer och tabeller i denna rapport är angivna i meter över havet definierat i höjdsystem enligt Stockholms nollplan.

### 4.1 Inmätning av vattendragets geometri

Under vintern 2005/2006 mättes ett antal tvärsektioner in längs med Igelbäcken. Utöver tvärsektionerna mättes även kompletterande bottennivåer in mellan sektionerna. Tvärsektionerna har infogats i modellen och kontroll av modellens bottenprofil har gjorts mot de inmätta bottennivåerna för att få en bra överensstämmelse med den verkliga. Figur 4-1 visar lägen för modellens tvärsektioner.



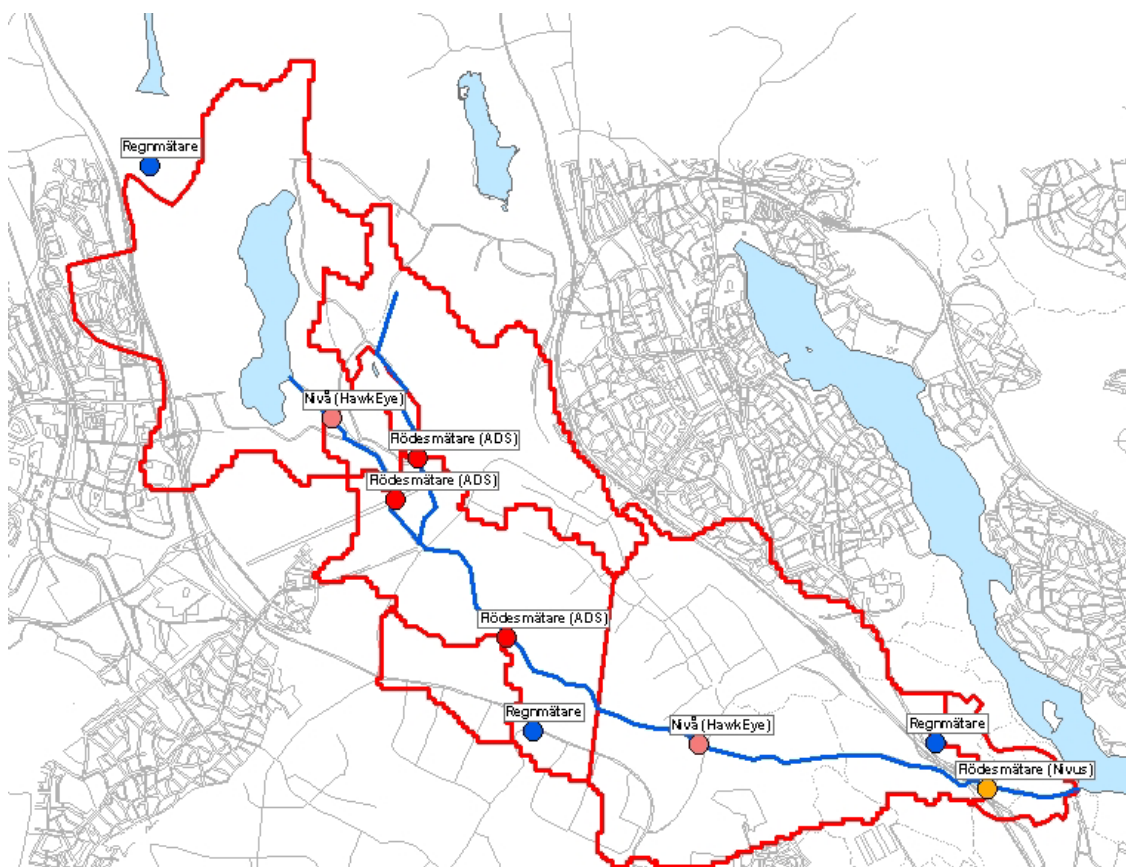
*Figur 4-1 Översikt över modellen med de uppmätta tvärsektionernas läge i Stockholms koordinatsystem, ST74 (röda rektanglar).*

Samtliga indata finns presenterade i Geodatabasen i ArcGIS som byggts upp för Igelbäcken, se Kapitel 3.2.

### 4.2 Flödesmätningar

Flödes- och nivåmätning genomfördes i 4 punkter och enbart nivåmätning i ytterligare 2 punkter. Mätpunkternas läge, inkl aktuella regnmätare, visas i Figur 4-2. Mätningen pågick från början av september 2005 till mitten av juni 2006. Ingen tillsättning av dricksvatten till bäcken skedde under mätningsperioden.





Figur 4-2 Mätpunkter Igelbäcken.

#### 4.2.1 Mätutrustning

##### ADS flödesmätare

ADS är en batteridrivna flödesmätare där hastighetsmätningen sker med hjälp av en dopplergivare och nivåmätningen sker både med en tryckgivare och med en ultraljudsgivare.

##### Nivus PCM-Pro™ flödesmätare

Nivus PCM-Pro™ är en ny, modern area/hastighetsmätare. Nivån mäts med både en tryckgivare som är avluftad genom givarkabeln och en uppåtseende ultraljudsgivare. Hastighetsberäkningen bygger på en digital pulsdoppler där hastigheten mäts över 16 olika nivåer för att bestämma en medelhastighet. Korskorrelation med en digital mönsteravläsning används för att bestämma en komplett hastighetsprofil. Denna hastighetsberäkning medför att ingen kalibrering behövs.

I samband med installation, demontering samt vid höga flöden kalibrerades flödesmätarna mot i ledningen verklig hastighet. Som jämförande mätare användes en portabel elektromagnetisk hastighetsmätare av fabrikat Marsh-McBirney.

##### HawkEye™ nivåmätare

Använder en beröringsfri ultraljudsgivare för att mäta vattennivå vilket innebär ett minimalt behov av tillsyn och ger en driftsäker mätning.

Tömning av data har utförts på plats av personal från DHI med hjälp av en portabel PC. Efter utförd tömning har data analyserats och bearbetats avseende kvalitetskontroll.

## Regnmätare

För registrering av nederbörd har använts vippskålgivare av fabrikat MJK med data-loggern HOB0 Event. Upplösningen på regngivarna är ca 0,2 mm.

Tabell 4-1 Mätartyp och mätperiod för respektive mätpunkt.

|            | MÄTPUNKT                | MÄTARTYP             | MÄTPERIOD  |            |
|------------|-------------------------|----------------------|------------|------------|
|            |                         |                      | START      | SLUT       |
| Igelbäcken | Säbysjön                | Nivå (HawkEye)       | 2005-09-08 | 2006-06-12 |
|            | Barkaby Flygfält        | Flödesmätare (ADS)   | 2005-09-01 | 2006-06-12 |
|            | Djupanbäcken            | Flödesmätare (ADS)   | 2005-09-01 | 2006-01-18 |
|            | Granholmstippen         | Flödesmätare (ADS)   | 2005-09-01 | 2006-04-26 |
|            | Kymlingelänken          | Nivå (HawkEye)       | 2005-09-09 | 2006-03-23 |
|            | Järvavägen E4           | Flödesmätare (Nivus) | 2005-09-01 | 2006-06-13 |
| Regnmätare | RM Borghöjds (Spånga)   | Regnmätare           | 2005-09-12 | 2006-06-12 |
|            | RM Tensta               | Regnmätare           | 2005-09-06 | 2006-06-12 |
|            | RM Järfälla Gymnasium   | Regnmätare           | 2005-09-08 | 2006-06-12 |
|            | RM Enköpings (Säbysjön) | Regnmätare           | 2005-09-16 | 2006-06-12 |
|            | RM Överjärva gård       | Regnmätare           | 2005-09-06 | 2006-06-13 |

### 4.2.2 Kända avvikelser

#### Mätpunkt Säbysjön

Det periodvisa databortfallet under vintern berodde på isbildning i mätpunkten.

#### Mätpunkt Djupanbäcken

På grund av den låga hastigheten i mätpunkten har flödet beräknats med hjälp av ett statistiskt samband som har tagits fram för förhållandet mellan nivå och flöde i samband med kalibrering. Mätpunkten avslutades 5 månader tidigare mot planerat då det visade sig att denna mätpunkt endast tillför en mycket liten del av flödet i förhållande till mätpunkt Barkaby flygfält.

## 4.3 Övrigt underlag

Igelbäckens hydrologi har beskrivits i flera referenser, varav den mest omfattande och detaljerade är gjord av Kuylensstierna 1991 (*ref. 1*). Denna har utgjort ett viktigt underlag. Likaså har information hämtats ur Wijblad, Nilsson 2001 (*ref. 2*).

Månadsvis vattenprovtagning har genomförts av Stockholm Vatten under ett antal år i Igelbäckens utlopp, med analyser av bl.a. partiklar, kväve- och fosforfraktioner samt ett antal metaller. Fördjupad provtagning i 7 punkter längs bäcken genomfördes 2006 (*ref. 3*). Dessa data har utgjort ett viktigt underlag vid modellarbetet kring föroreningar och vattenkvalité.

Övrigt underlag i form av tidsvarierande och rumslig data redovisas i Tabell 4-2 och Tabell 4-3 nedan. I Figur 4-3 visas placeringen av befintliga grundvattenrör inom området.

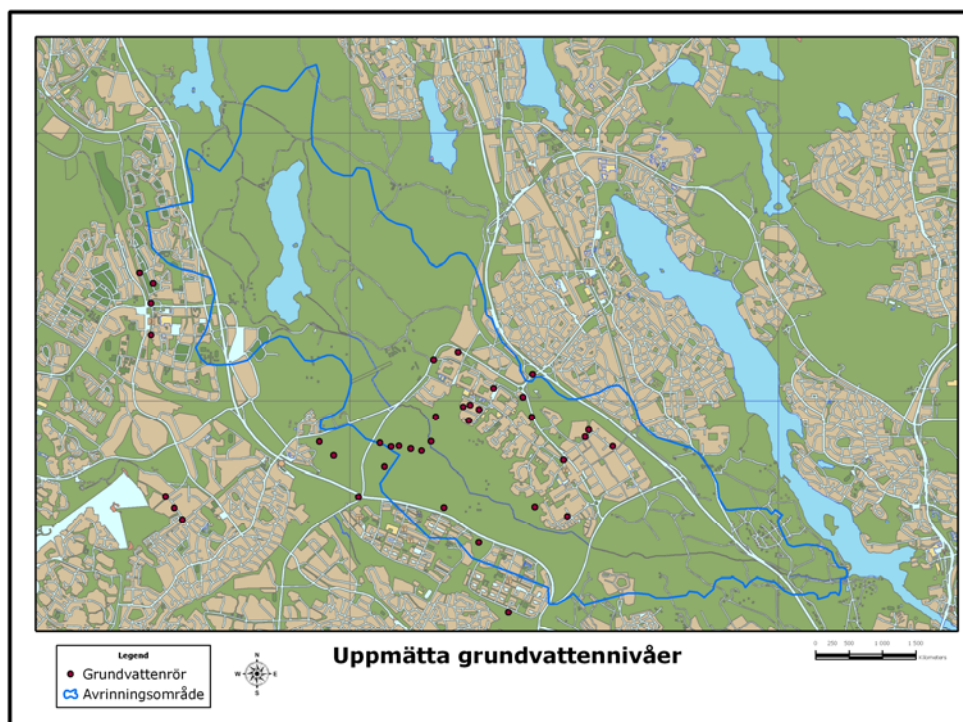
Tabell 4-2 Övrigt underlag av tidsvarierande data.

| Tidsvarierande data | Period                                                       | Kommentar                    | Ursprung                  | Hänvisning              |
|---------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Regnserie           | 2001-07 – 2006-12                                            | Korrigerad för snösmältning  | SMHI                      | Observatorielunden      |
| Temperatur          | 2001-07 – 2006-06                                            | Korrigerad för snösmältning  | SMHI                      | Observatorielunden      |
| Avdunstning         | 1994-02 – 2006-12                                            | Månadsschabloner             | SMHI                      | Observatorielunden      |
| Flöde ytvatten      | 1999-07 – 2005-12*                                           | Baserad på nivåmätning       | Stockholm vatten          | Ulriksdal               |
| Nivåer ytvatten     | 1996-01 – 2006-12                                            |                              | Järfälla kommun           | Säbysjön                |
| Reglering ytvatten  | 1996-01 – 2006-12                                            | Nivåer sättfack              | Järfälla kommun           | Säbysjön                |
| Flöde tunnlär       | 2002-01 – 2004-12                                            | Månadsvärden                 | Stockholm Vatten          | Järvatunneln pstr       |
| Grundvattennivåer   | Varierande över många år, ca 30 rör har data under 2001-2005 | Fåtal observationer varje år | Carl Bro, Järfälla kommun | Ca 80 rör, se Figur 4-3 |

\*) data saknas för perioderna 020930-021016, 031129-040405, 050101-050116

Tabell 4-3 Övrigt underlag av rumslig data.

| Rumslig data       | Kommentar                                                                | Ursprung                                          |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Ledningsdatabas    | Samtliga dag- och spillvattenledningar, samt dag- och spillvattentunnlar | Stockholm Vatten GIS                              |
| Reglering Säbysjön | Sättfack                                                                 | Järfälla kommun                                   |
| Tunnelareor        | Typsektioner för tunneltvärsnitt                                         | Stockholm Vatten                                  |
| Markanvändning     |                                                                          | Stockholm Vatten, berörda kommuner                |
| Terrängmodell      | Flygburen laserskanning                                                  | Stadsbyggnadskontoret i Stockholm                 |
| Jordartskarta      |                                                                          | Stockholm Vatten                                  |
| Jorddjup           | Digitalisering från karta                                                | Carl Bro, utifrån underlag från respektive kommun |
| Flygfoton          |                                                                          | Stockholm Vatten                                  |
| Vattendragets läge | Läge i planet och inmätta tvärsektioner                                  | Kartverkstaden                                    |



Figur 4-3 Planbild som visar befintliga grundvattenrör i området.

## 5 BESKRIVNING AV MODELLER

I detta kapitel beskrivs de uppbyggda modellerna. Tre olika modeller med olika syften har byggts upp.

En hydraulisk modell för beräkning av flöden och nivåer i Igelbäcken har tagits fram i MIKE11. Denna modell beskrivs i kapitel 5.1, och utnyttjas även som en byggsten i de två andra modellerna. Tillrinningen till MIKE11-modellen beskrivs med en enklare konceptuell avrinningsmodell (NAM).

En geohydrologisk modell för vattenbalansberäkning och beräkning av hur tunnelsystemen inom avrinningsområdet påverkar ythydrologin har också etablerats i MIKE SHE. Denna modell beskrivs i kapitel 5.2.

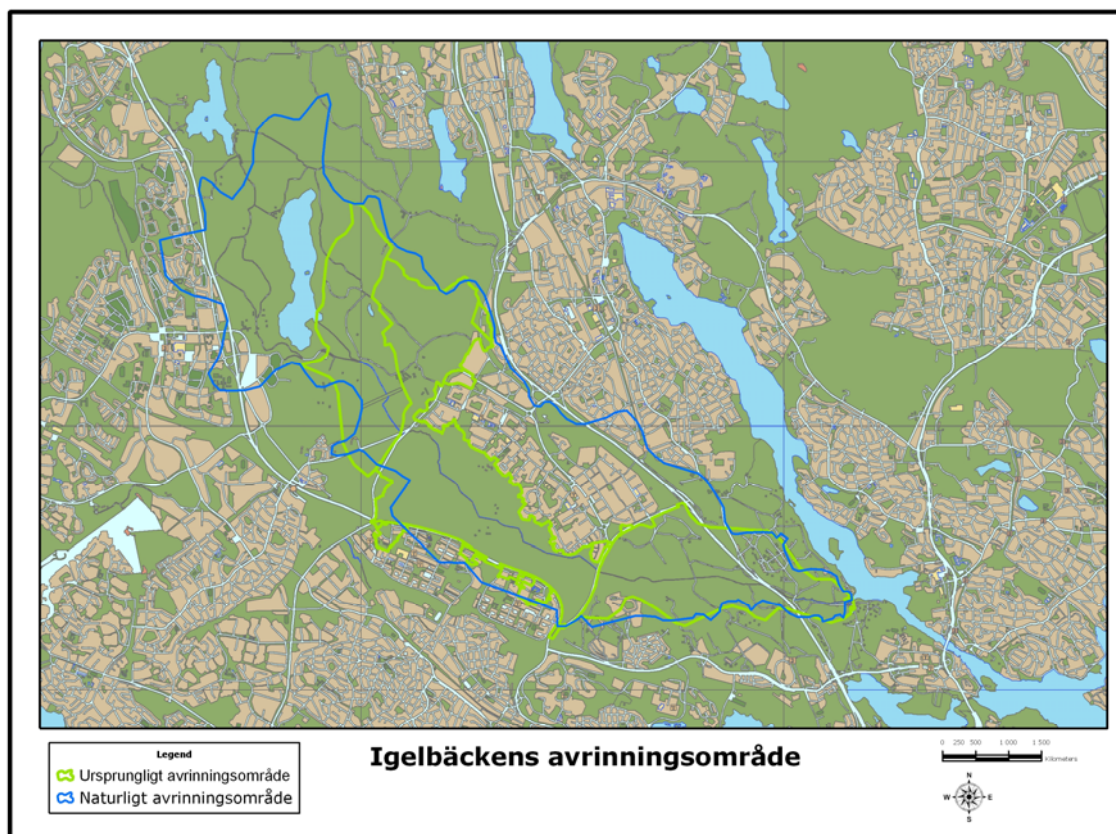
Slutligen har en föroreningsmodell ställts upp som en påbyggnad till den hydrauliska MIKE11 modellen. Denna baseras på MIKE BASIN för föroreningsbelastningen från olika markområde och MIKE11 AD/EcoLab för transport, utspädning och nedbrytning i bäcken. Dessa delar beskrivs i kapitel 5.3.

Modellerna beskrivs översiktligt vad gäller omfattning, detaljeringsgrad, väsentliga indata och antaganden, samt exempel på jämförelser av beräknade resultat och mätningar. Mer detaljerad information om indata och resultat återfinns i Geodatabasen (i ArcGIS) som satts samman för Igelbäcken, se Kapitel 3.2. Här lagras även tidsserier för indata och de mest intressanta resultaten via Temporal Analyst (en specialutvecklad extension till ArcGIS).

## 5.1 Hydraulisk modell

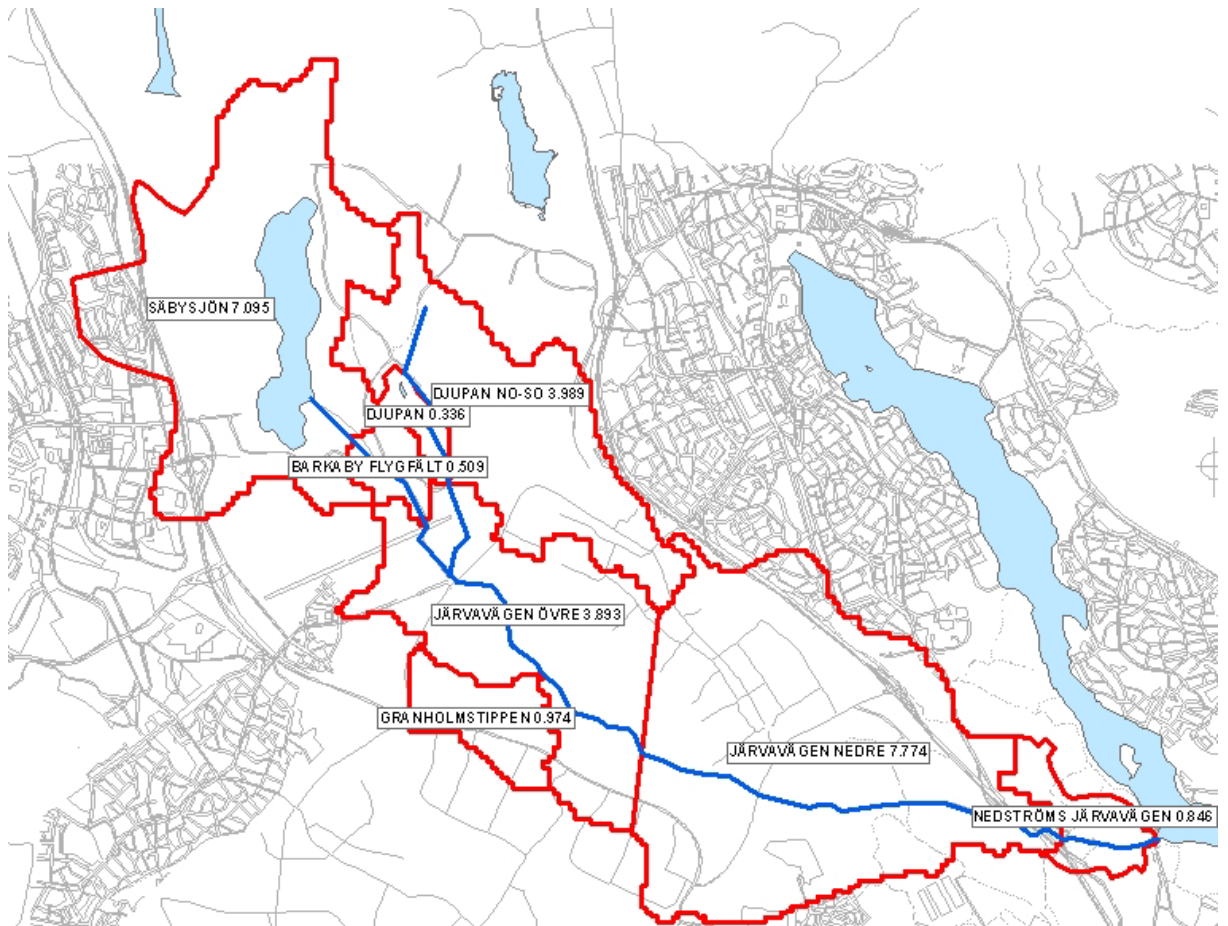
Det totala naturliga avrinningsområdet till Igelbäcken har bedömts till ca 28 km<sup>2</sup>, se Figur 5-1. Av denna yta avvattnas ca 2,4 km<sup>2</sup> som dagvatten från hårdgjorda ytor, varav endast ca 0,7 km<sup>2</sup> avrinner till Igelbäcken. Resten på ca 1,7 km<sup>2</sup> ligger inom Tens- ta/Rinkeby och Kista, vars dag- och dränvatten är kopplat till Järvatunneln.

Avrinningsområdet har indelats i 8 stycken delavrinningsområden, se Figur 5-2. I figuren anges de olika delområdenas storlek i km<sup>2</sup>, vilka också framgår av Tabell 5-1. Notera dock att dagvattenytorna ej är inkluderade i de angivna arealerna. Dessa hanteras separat i modellen.



Figur 5-1 Naturligt avrinningsområde för Igelbäcken (blå linje), samt tidigare bedömt avrinningsområde (grön linje) som är exkl. områden vars dagvatten avvattnas till Järvatunneln och exkl. Säbysjöns avrinningsområde.





Figur 5-2 Delavrinningsområden för Igelbäcken. Siffrorna anger arealen för respektive delområde i  $\text{km}^2$ . I kartan inkluderas även områden som avvattnas till Järva dagvattentunnel.

Indata till modellen består huvudsakligen av:

- Meteorologisk indata i form av tidsserier
- Hydrologiska modellparametrar i MIKE11 NAM (kalibreras mot flöden)
- Tvärsektioner och bottennivåer längs vattendraget
- Råhet längs vattendraget (kalibreras mot nivåer och flöden)
- Geometrisk och hydraulisk beskrivning av dämmen, broar och kulvertar som påverkar flödet

Nederbörds- och temperaturdata kommer från SMHIs nederbördsstation i Observatorielunden i Stockholm. Avdunstningen är angiven som månadsmedelvärden för potentiell avdunstning för Stockholm enligt SMHI.

De tvärsektionerna som mättes in, se kapitel 4.1, har infogats i modellen och kontroll av modellens bottenprofil har gjorts mot inmätta bottennivåer. Förekommande broar stryper inte flödet, förutom i de fall kulvertar eller trummor är anlagda. Dessa är också inlagda i modellen.



Vid Säbysjöns utlopp finns ett dämme med två sättfack som regleras enligt en befintlig vattendom. Regleringen sker manuellt genom att sättfacken höjs eller sänks beroende på vattenståndsnivån vid en pegel i norra delen av Säbysjön. Enligt domen ska vattenföringen nedströms dämnet inte understiga 5 l/s så länge vatten finns att tillgå uppströms dämnet. Vattenstånd och sättfacksnivå läses av manuellt någon gång per månad och registreras i pappersform.

De registrerade sättfacksnivåerna har lagts in som tidsserier i modellen. Reglering av dämnet sker i modellen genom tre separata grenar. Två av grenarna beskriver de två sättfackens nivåer som funktion av tid och en gren släpper igenom ett konstant flöde på 5 l/s.

Kalibrering av den hydrologiska NAM-modellen har gjorts mot uppmätta flöden. Kalibreringen av den hydrauliska modellen är gjord med hjälp av de mätningar av vattenstånd och flöden som DHI gjorde under hösten 2005. I kapitel 4.2 beskrivs mätpunkterna längs Igelbäcken.

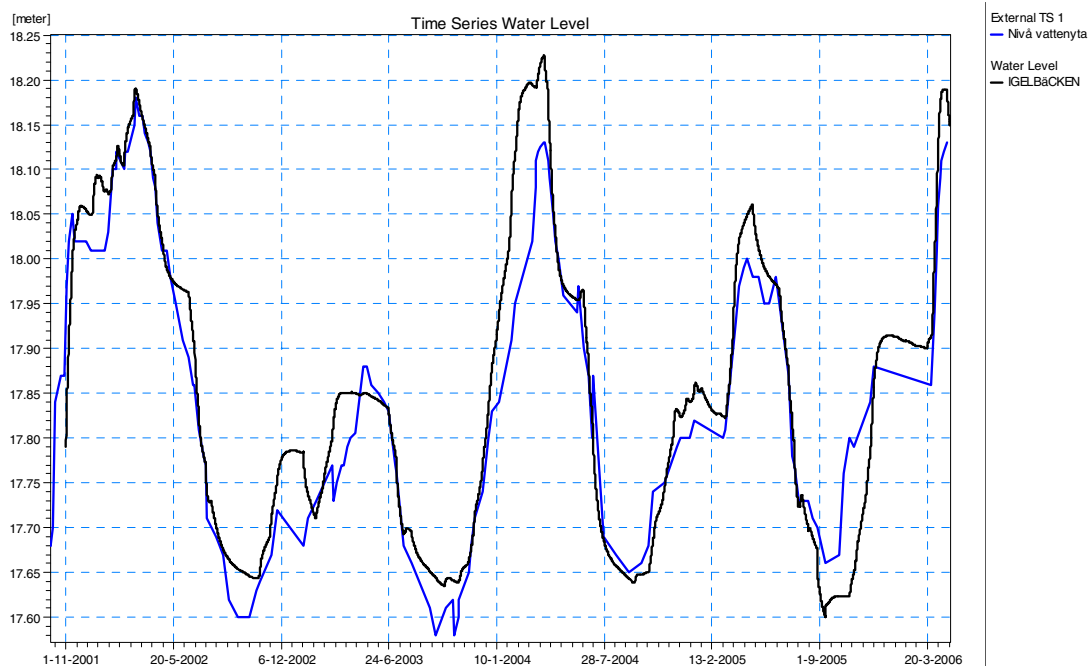
Samtliga kalibreringsdata finns presenterade i Geodatabasen för Igelbäcken.

Tabell 5-1 visar de framkalibrerade NAM-parametrarna för respektive delområde. De översta sju parametrarna i tabellen (U<sub>max</sub>–TIF) är parametrar som styr processerna i yt- och rotzonen och de understa två (TG–CKBF) styr hur vatten avges till grundvattenmagasinet.

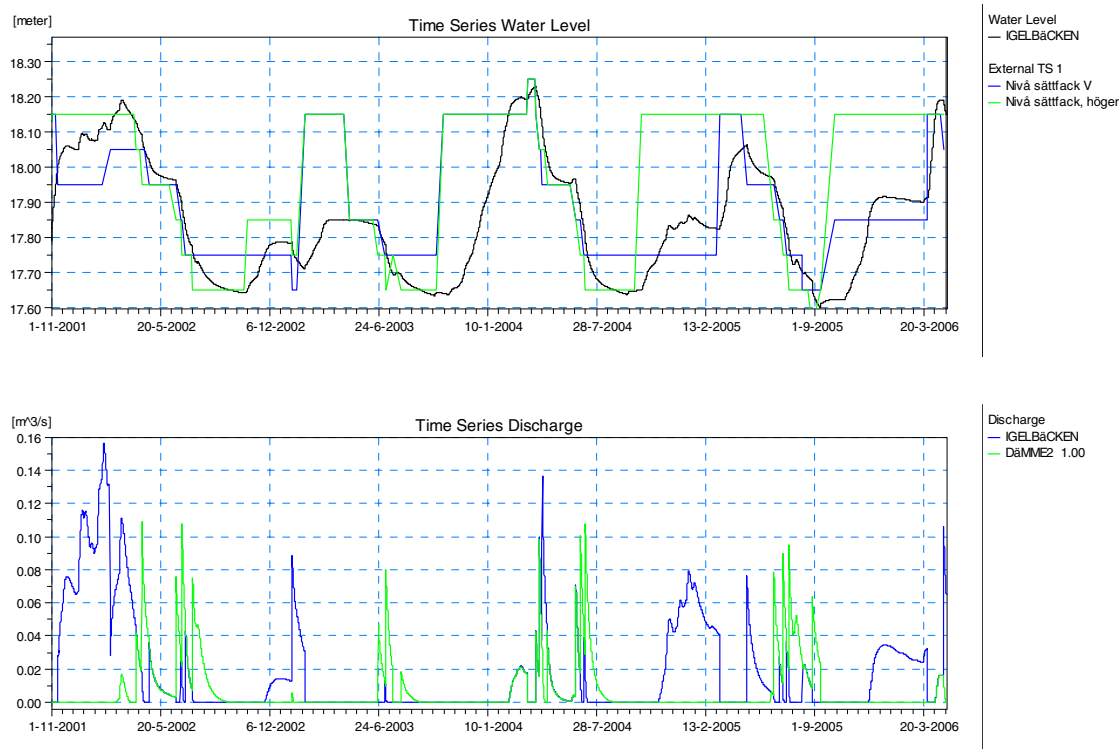
Tabell 5-1 Kalibrerade NAM-parametrar.

| Parameter        | Säbysjön | Barkarby flygfält | Djupan NO-SO | Djupan | Granholms-tippen | Järva övre | Järva nedre | Nedströms Järvavägen |
|------------------|----------|-------------------|--------------|--------|------------------|------------|-------------|----------------------|
| Area [ha]        | 709,5    | 50,9              | 398,9        | 33,6   | 97,4             | 389,3      | 777,4       | 84,6                 |
| U <sub>max</sub> | 26,4     | 26,4              | 26,4         | 20     | 20               | 26,4       | 26,4        | 26,4                 |
| L <sub>max</sub> | 291      | 291               | 291          | 119    | 119              | 291        | 291         | 291                  |
| CQOF             | 0,30     | 0,54              | 0,54         | 0,99   | 0,99             | 0,54       | 0,54        | 0,54                 |
| CKIF             | 847,9    | 847,9             | 847,9        | 202,7  | 202,7            | 847,9      | 847,9       | 847,9                |
| CK1,2            | 29,3     | 29,3              | 29,3         | 31,6   | 31,6             | 29,3       | 29,3        | 29,3                 |
| TOF              | 0,3      | 0,91              | 0,91         | 0,035  | 0,035            | 0,91       | 0,91        | 0,91                 |
| TIF              | 0,15     | 0,96              | 0,96         | 0,016  | 0,016            | 0,96       | 0,96        | 0,96                 |
| TG               | 0,45     | 0,61              | 0,61         | 0,13   | 0,13             | 0,61       | 0,61        | 0,61                 |
| CKBF             | 1335     | 1335              | 1335         | 3935   | 3935             | 1335       | 1335        | 1335                 |

Figur 5-3 – Figur 5-7 visar resultat från kalibreringen. Figur 5-3 visar resultaten från dämnet nedströms Säbysjön. Generellt kan sägas att modellen fångar de säsongsvariationer som uppmäts och att tidpunkterna för när nivåändringar sker stämmer väl överens.



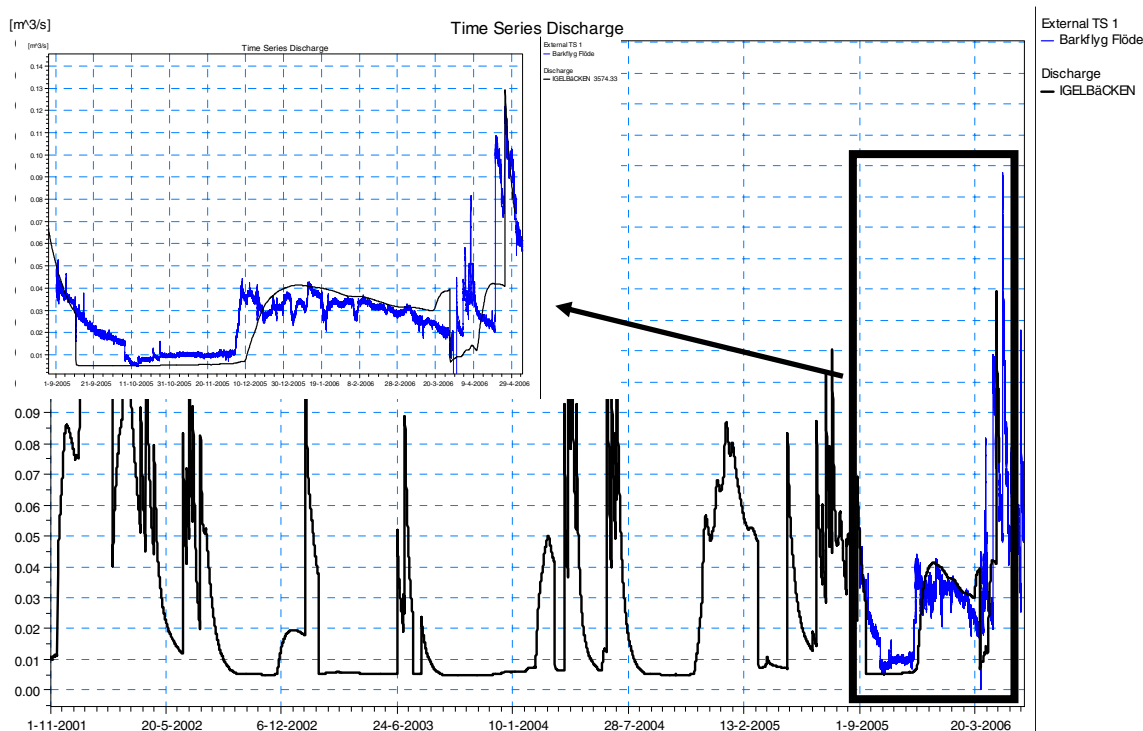
Figur 5-3 Kalibreringsresultat från Säbysjöns dämme. Blå linje är uppmätt vattenyta och svart linje är vattennivå i modell. Nivåerna utgår från Stockholms nollplan.



Figur 5-4 Sättfacksnivåer vid dämnet och simulerad vattenståndsnivå (översta figuren) samt resulterande flöden genom sättfacken (nedre figuren). Nivåerna utgår från Stockholms nollplan.

Figur 5-4 visar dels de nivåer på sättfacken vid Säbysjöns dämme som erhållits från Järfälla kommun (blå resp grön linje) och dels den simulerade vattenytan (svart linje) precis uppströms dämnet. När den simulerade vattenytan är lägre än sättfacknivån är flödet noll genom sättfacket. Den undre figuren visar flödena genom de två sättfacken.

Figur 5-5 visar kalibreringsresultaten från Barkarby flygfält. Figuren visar simulerade (svart linje) samt uppmätta (blå linje) flöden. Modellen ger en ganska god överensstämmelse med mätdata. Även om inte alla fluktuationer i mätdata återfinns i simuleringsresultatet så ger modellen ungefär samma basflöde och toppflöde som den uppmätta serien.



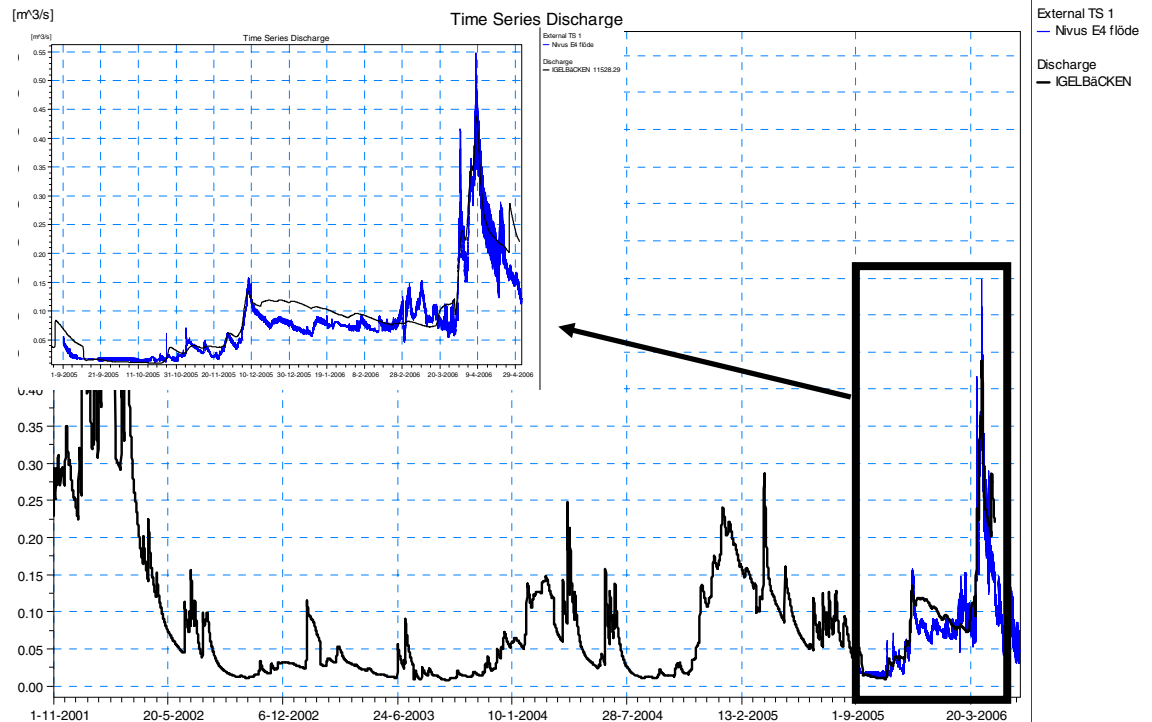
Figur 5-5 Flöde vid Barkarby flygfält.

Figur 5-6 och Figur 5-7 visar kalibreringsresultat från mätpunkten strax nedströms E4:an. I Figur 5-6 visas simulerat flöde (svart linje) tillsammans med uppmätt flöde (blå linje). Precis som för Barkarby flygfält återger de simulerade resultaten den huvudsakliga förändringen i mätdata, även om en del snabba flödesförändringar inte återges exakt. Basflöden och toppflöden simuleras dock med god överensstämmelse.

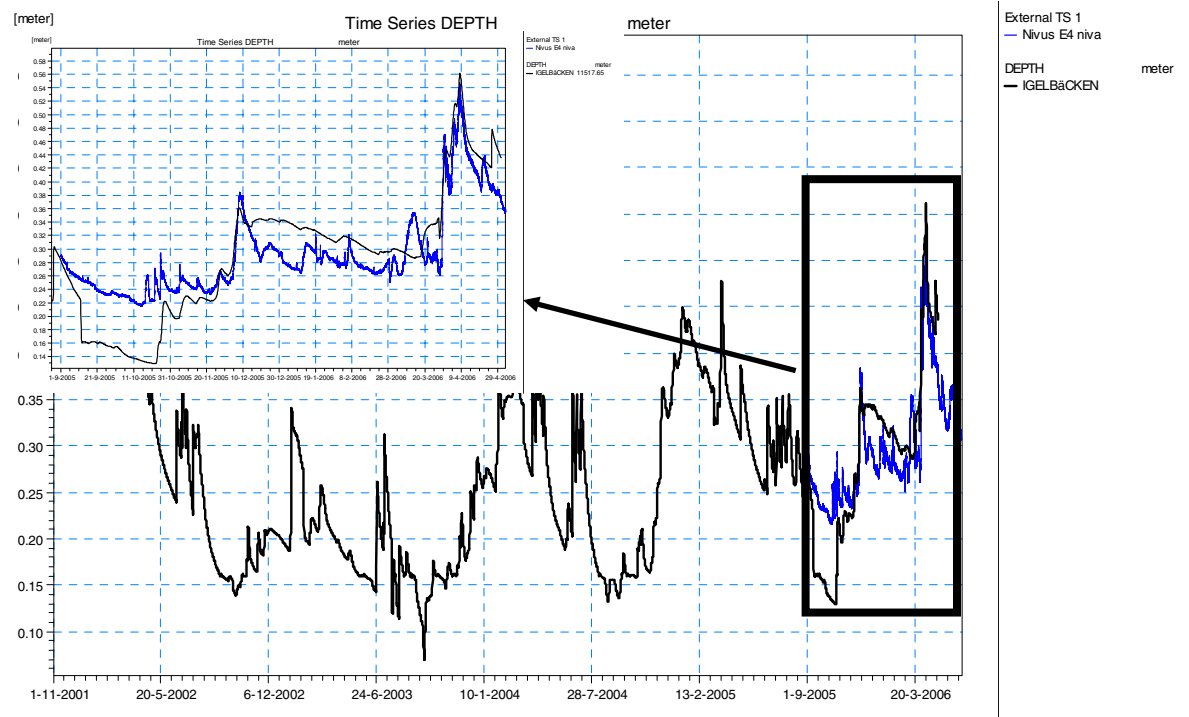
Figur 5-7 visar simulerat vattendjup i samma punkt som i Figur 5-6. Överensstämmelsen mellan simulerat (svart) och uppmätt (blått) vattendjup är relativt god. Den största avvikelserna är vid det lägsta flödet då modellen underskattar djupet med ca 8 cm. En tänkbar förklaring till detta kan vara att modellen har en något bredare botten än verkligheten. För övriga flöden är överensstämmelsen mellan simulerat och uppmätt djup god.

Figur 5-8 och Figur 5-9 visar två exempel på längdprofiler för Igelbäcken, den första vid simulering med ett lågt flöde och den andra med ett högt flöde ur Säbysjön.

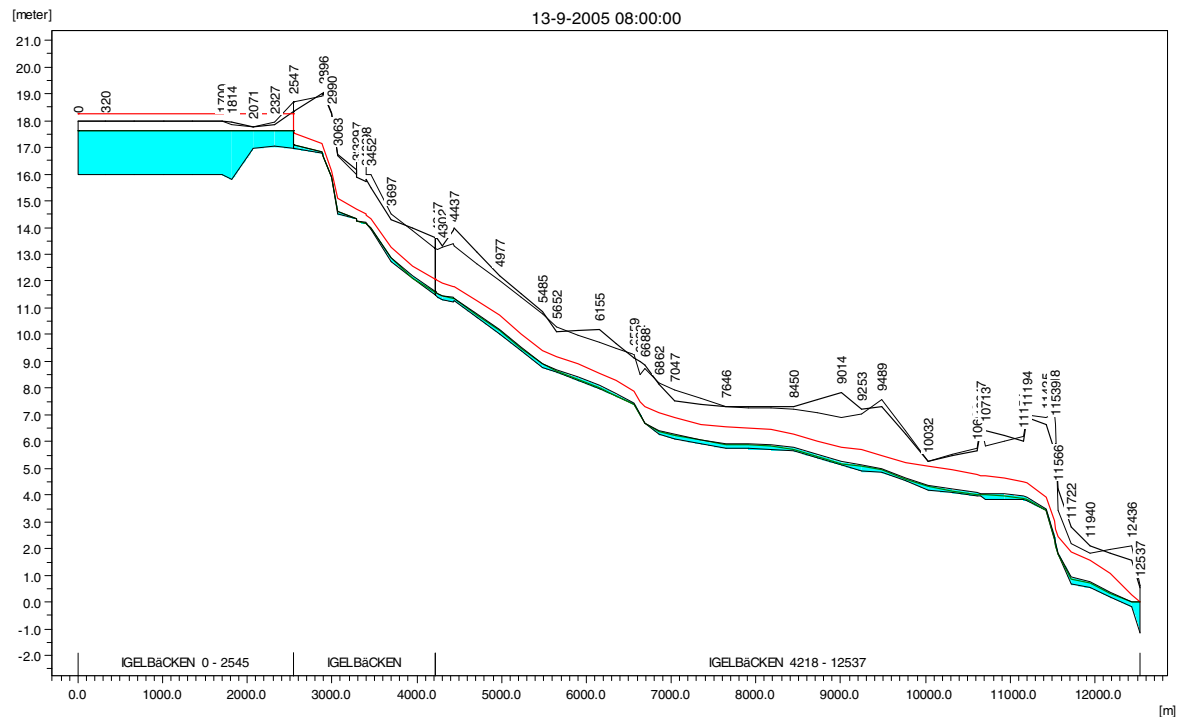
För mera detaljer kring kalibreringsdata och resultat hänvisas till Geodatabasen för Igelbäcken.



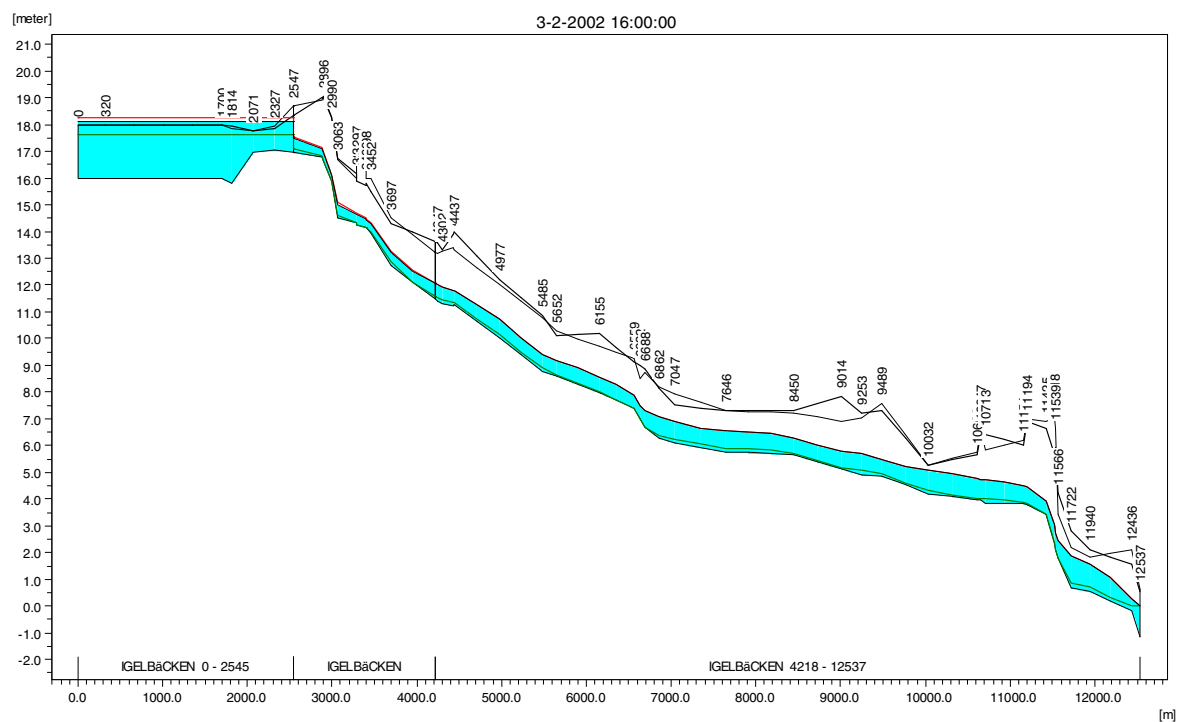
Figur 5-6 Flöde i mätpunkt efter E4.



Figur 5-7 Vattenstånd (djup) i mätpunkt efter E4.



Figur 5-8 Längdprofil för Igelbäcken vid simulering med lågt flöde. Nivå över Stockholms nollplan.



Figur 5-9 Längdprofil för Igelbäcken vid simulering med högt flöde. Nivå över Stockholms nollplan.



## 5.2 Geohydrologisk modell

Den geohydrologiska modellen har byggts upp i modellsystemet MIKE SHE. Samma grundförutsättningar som beskrivits i kapitel 5.1 gäller även för denna modell. Avrinningsområdets storlek (ca 28 km<sup>2</sup>) och utbredning är det samma, se Figur 5-10, som också visar topografin inom området. Beskrivningen av själva Igelbäcken baseras på samma modell (MIKE11 HD) som beskrivits i kapitel 5.1. Den stora skillnaden ligger i att vattendragets omgivning nu beskrivs på ett mer fysikaliskt och distribuerat sätt, baserat på fysiska data om terrängen, vegetationen, jordarterna och geologiska lager. Detta beskrivs med olika kartsikt i ett rasterformat, där varje ruta i detta fall är 50 x 50 m.

Beräkningen av vattnets väg delas upp i olika delar av vattnets kretslopp i och på marken. Följande beräkningsmoduler körs integrerat: avdunstning, ytavrinning, omättad zon och grundvattenströmning. Ytavrinning och grundvattenströmning kopplas också mot vattendragsmodellen (MIKE11 HD) och en tunnelmodell som beskrivs med MOUSE.

Indata till modellen består huvudsakligen av:

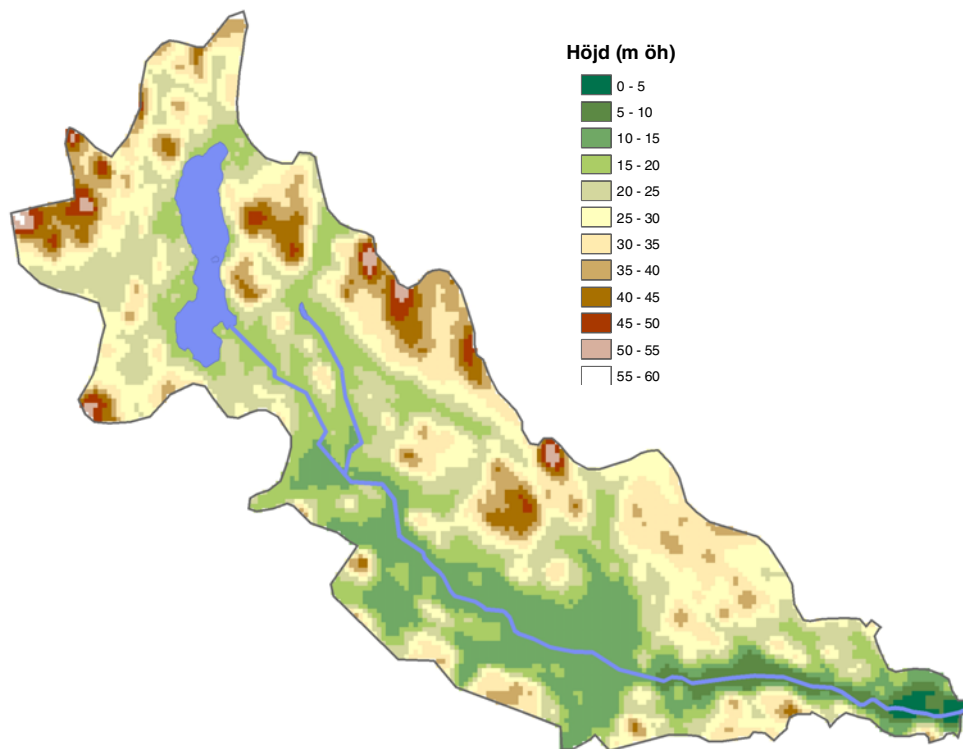
- Meteorologisk indata i form av tidsserier (samma som beskrivits i kapitel 5.1).
- Topografin, se Figur 5-10.
- Markanvändning, med tillhörande vegetationsdata.
- Jordartskarta, se Figur 5-11, med tillhörande jordartsdata.
- Geometrisk och hydraulisk data för geologiska jord- och berglager
- Dränerings- och avledningsförhållanden.

Den sista punkten berör beskrivning av icke naturliga avrinningsvägar. Här innefattas direkt dagvattenavledning till bäcken (ca 0,7 km<sup>2</sup> hårdgjord yta) och direkt avledning av dag- och dräneringsvatten till Järvatunneln (ca 1,7 km<sup>2</sup> hårdgjord yta inom Tenssta/Rinkeby och Kista).

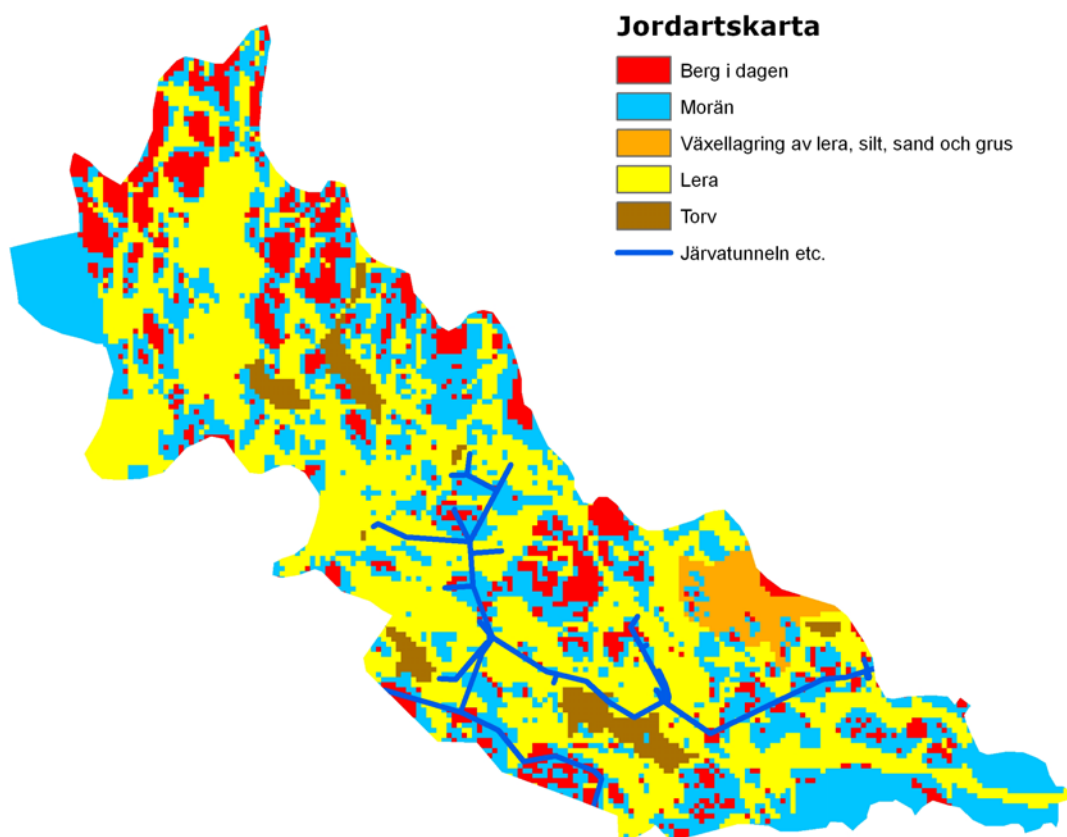
Jordartsdata består av sk pF-kurva (med fältkapacitet och effektiv porositet) och konduktivitet. Grunddata baseras på en databas för olika jordarter, som sedan justerats vid kalibreringen.

Vegetationsdata baseras på schablonvärden över bl.a. lövareaindex och rotdjup för olika växtslag (äng, blandskog, gräsmatta etc). Vissa avdunstningsparametrar har sedan justerats vid kalibreringen.

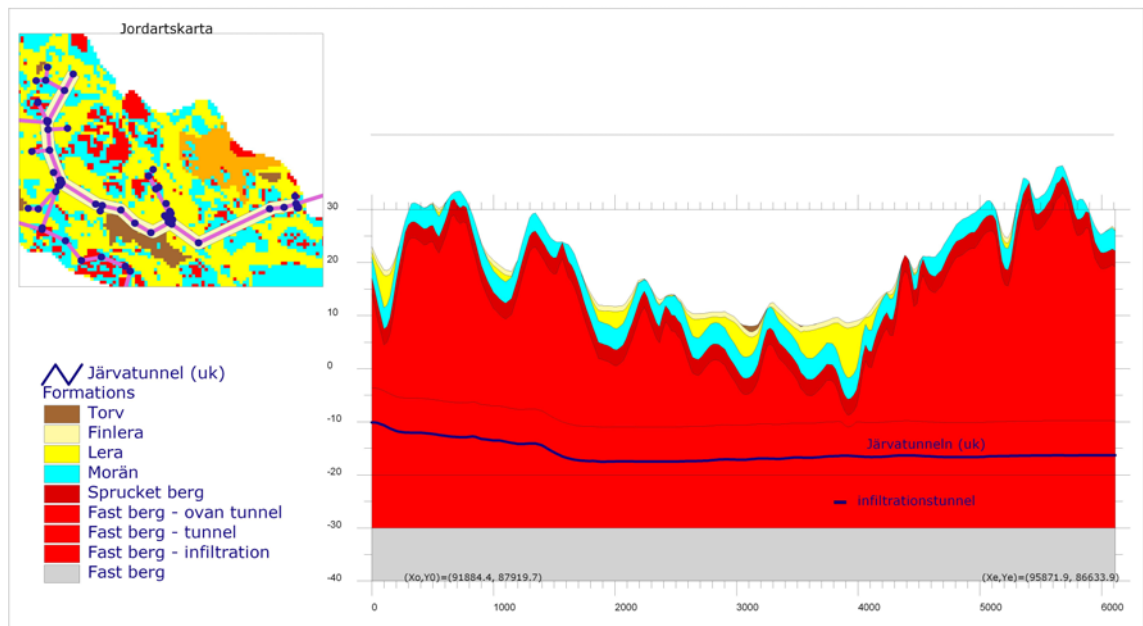
En modell över jord- och berglager har byggts upp baserat på jordartskartan, uppgifter om jorddjup och allmängeologisk kunskap om hur jordlager bildas. I Figur 5-12 illustreras principerna för den uppbyggda modellen. Från ytan består modellen av följande lager: torv, finlera, lera, morän, morän/sprucket berg, fast berg. Beräkningstekniskt har berget indelats i tre berglager: lager ovan tunnlar, lager med tunnlar och lager under tunnlar, där även den sk infiltrationstunneln ligger, se Figur 5-12.



Figur 5-10 Topografi inom Igelbäckens naturliga avrinningsområde.



Figur 5-11 Jordartskarta för Igelbäckens naturliga avrinningsområde.



Figur 5-12 Jord- och bergmodell längs Järvatunnelns huvudsträckning.

Tunnlarna har beskrivits i MOUSE med angiven bottennivå och cirkulära tvärsnitt med samma diameter som tunnelsektionernas höjd.

Infiltrationstunneln används för att hålla upp grundvattennivån genom tillförsel av dricksvatten. Ca 50 000 m<sup>3</sup> dricksvatten tillsätts per år. I modellen har detta beskrivits med ett fasthållet tryck på +8,3 meter över Stockholms nollplan i de celler som berörs.

Kalibreringen utfördes i ett iterativt förfarande mellan följande steg:

- ythydrologin, dvs dynamiken mellan avrinning, avdunstning och infiltration. I detta steg justeras främst jordartsdata för den omättade zonen och vegetationsparametrar, samt till viss del konduktiviteten i de översta jordlagren. Som avstämningsdata användes här främst uppmätta flöden i Igelbäcken, samt allmän kunskap om existerande våtområden.
- grundvattenförhållandena, dvs grundvattentryck på olika nivåer, strömningsriktningar och förekommande in- och utflöden. I detta steg justeras främst konduktiviteten för de olika jord- och berglagren. Som avstämningsdata användes här främst grundvattennivåobservationer och uppmätt pumpflöde i Järvatunneln.

Tabell 5-2 Kalibrerade hydrauliska parametrar.

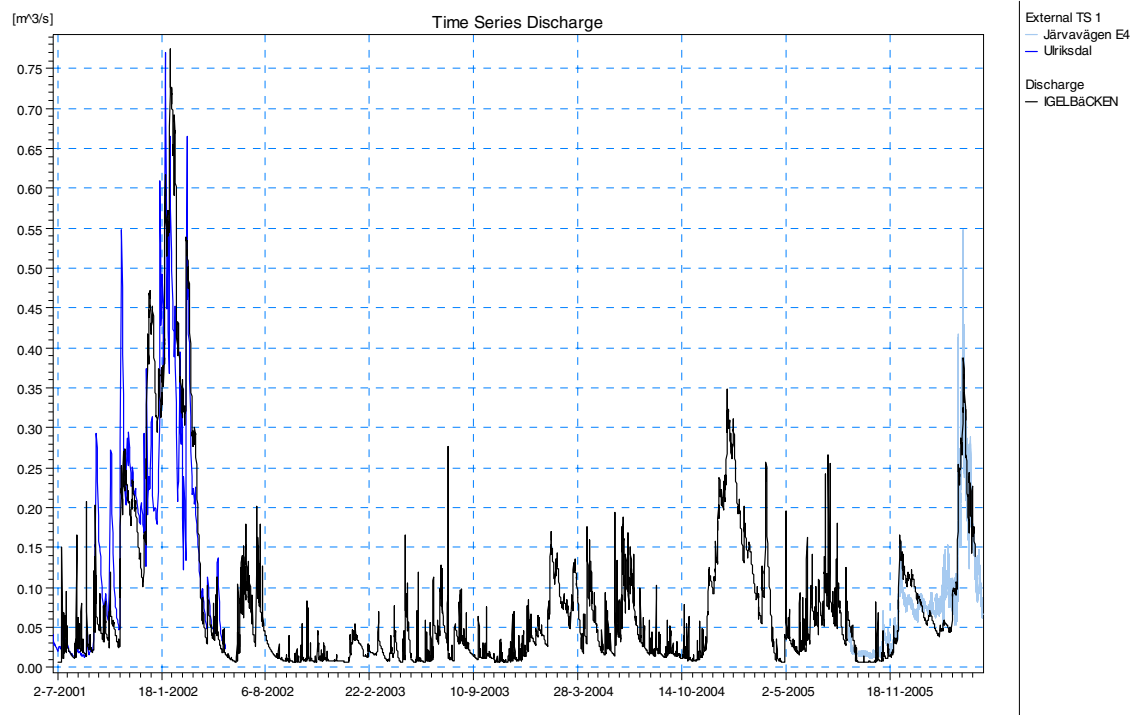
| Omättad zon           | Mättad konduktivitet (m/s)      | Fältkapacitet (vid pF=2)     | Effektiv porositet (total – fältkap.) |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Hela området          | 4e-5                            | 0,14                         | 0,13                                  |
| Mättad zon            | Horisontell konduktivitet (m/s) | Vertikal konduktivitet (m/s) |                                       |
| Torv                  | 1e-7                            | 1e-7                         |                                       |
| Finlera               | 1e-5*, 1e-8                     | 1e-8                         |                                       |
| Lera                  | 1e-8                            | 1e-8                         |                                       |
| Morän & Sprucket berg | 1e-5*, 1e-8                     | 1e-8                         |                                       |
| Fast berg             | 1e-7                            | 1e-6                         |                                       |

\*) inom områden med kraftig exploatering (Tensta/Rinkeby och Kista) där jordlagret ligger i ytan, och därmed anses vara påverkad av exploateringen.

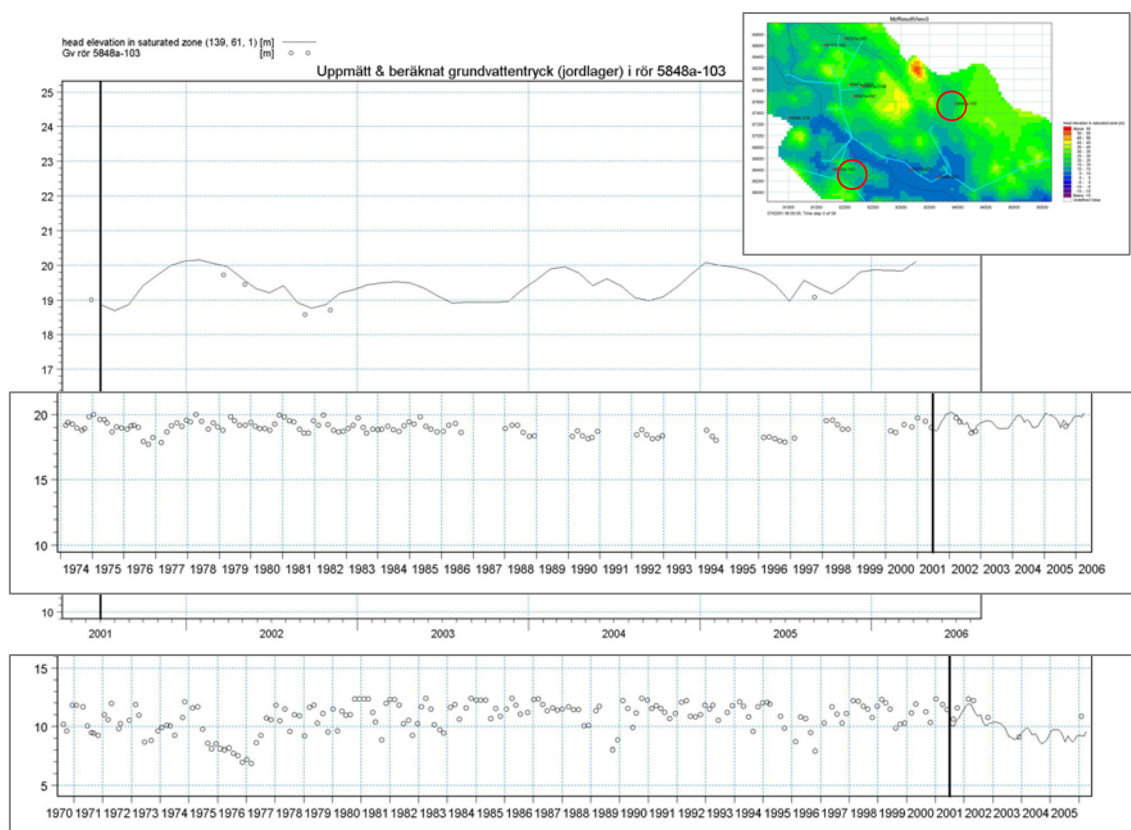
Kalibrering genomfördes för perioden 2001 till 2006. Nedan visas och diskuteras exempel från kalibreringsresultaten. För mera detaljer kring kalibreringsdata och resultat hänvisas till Geodatabasen i ArcGIS för Igelbäcken.

I Figur 5-13 visas exempel på hur modellens avrinning stämmer med uppmätt utflöde till Edsviken. Ungefär samma överensstämmelse som redovisades i kapitel 5.1 uppnås även med denna modell. Möjligen erhålls en något bättre passning med den geohydrologiska modellen.

Av större intresse är dock att modellen samtidigt kan representera de principiella grundvattennivåerna och fluktuationerna inom området. I Figur 5-14 visas exempel från en sådan jämförelse. Generellt kan sägas att modellen ger ungefär de grundvattentryck som uppmätts, och i vissa fall även fångar de säsongsvariationer som uppmätts. Grundvattenobservationerna görs dock mycket sällan, varför variationerna generellt är svåra att utläsa ut data.



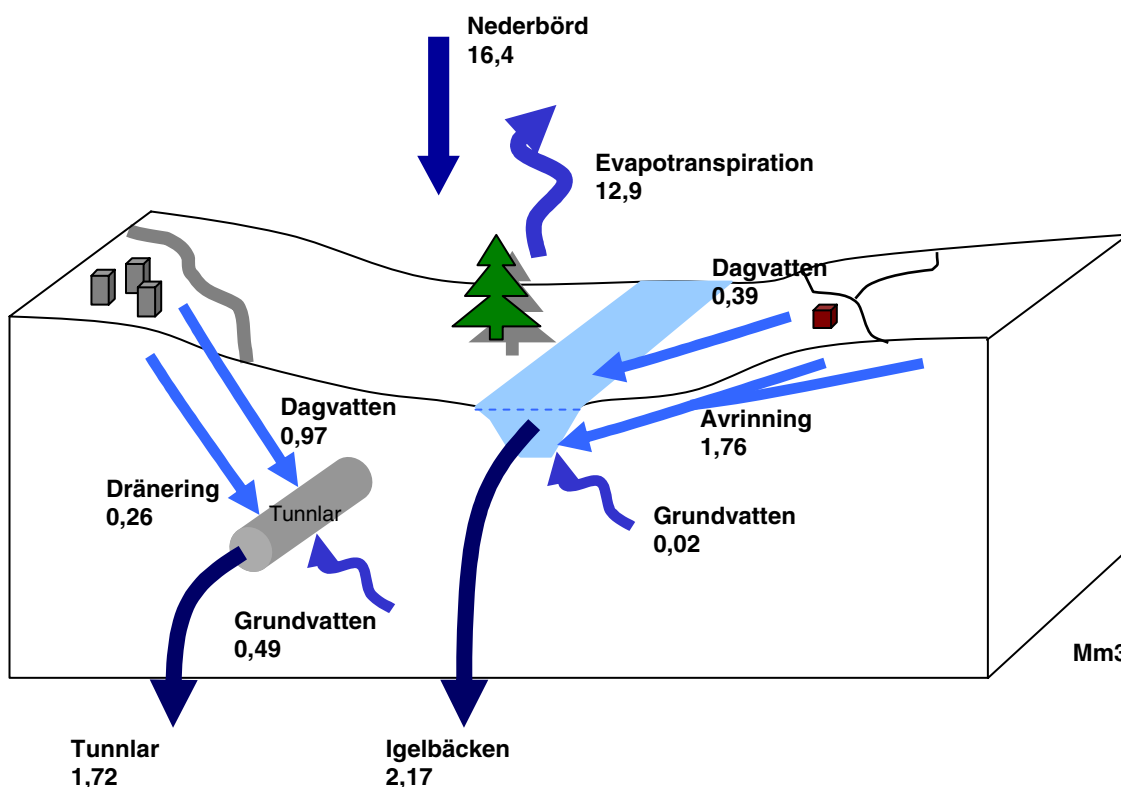
Figur 5-13 Jämförelse av uppmätt och beräknat flöde vid Igelbäckens utlopp.



Figur 5-14 Jämförelse av uppmätta och beräknade grundvattennivåer i två punkter. Överst (och detalj 2001-2006) visas rör 5848a-103 och nederst visas rör 5946d-162. Stockholm stads grundvattenrör.

Mer väsentligt är dock att grundvattentrycken i omgivningen kring tunnlarna ligger ungefär rätt som medeltal, samtidigt som rätt inläckage till tunnlarna beräknas. Så är också fallet under större delen av den studerade perioden. I Figur 5-15 visas beräknad vattenbalans för perioden 2002 till 2005.

Här framgår bl.a. att det beräknade medelflödet till tunnlarna under dessa år uppgår till ca 1,7 Mm<sup>3</sup>/år (varav Järvatunneln står för huvuddelen), vilket stämmer mycket väl med uppmätt flöde vid pumpstationen i Järvatunneln under motsvarande period. Det framgår också att dagvattnet till Järvatunneln står för ca 1 Mm<sup>3</sup>/år av detta. Resten är grundvattentillskott via inläckage och dräneringsvatten.

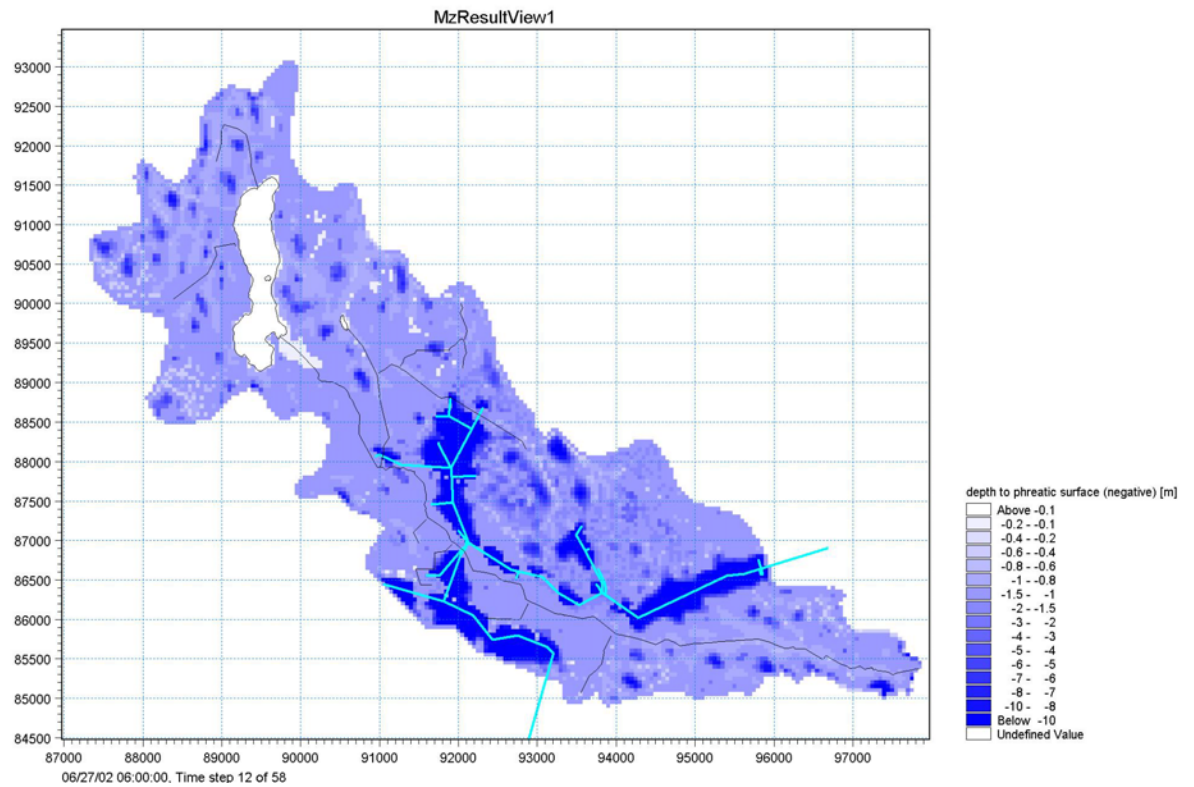


Figur 5-15 Beräknad vattenbalans i Mm<sup>3</sup>/år för perioden 2002-2005.

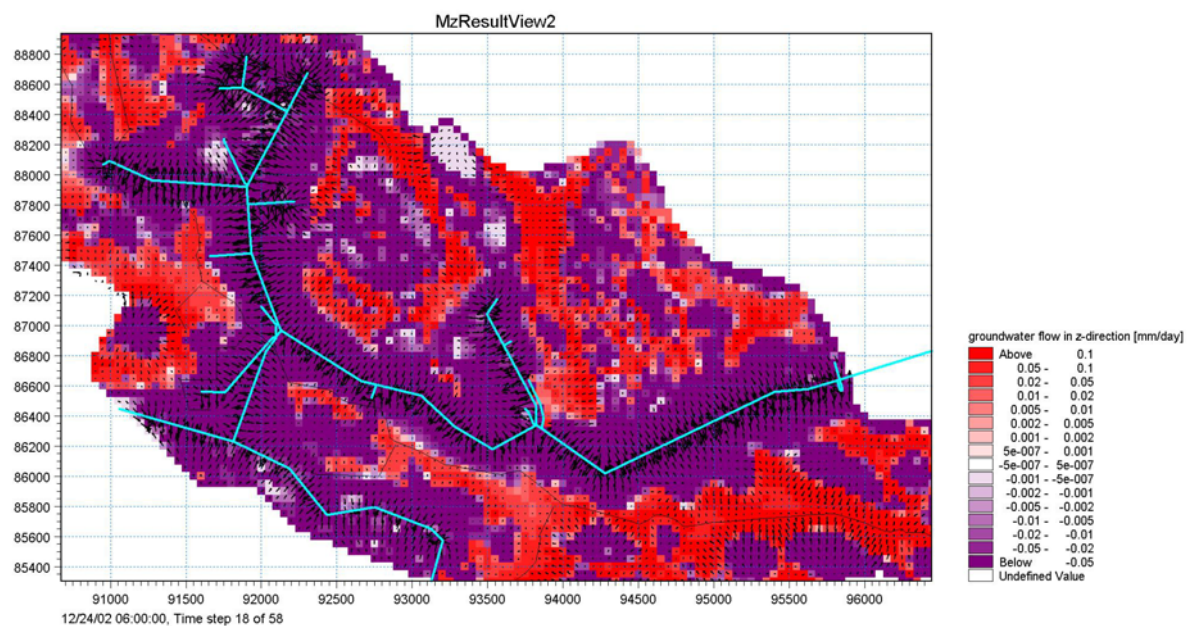
Utflödet från Igelbäcken är under perioden i medeltal ca 2,2 Mm<sup>3</sup>/år. Alltså av samma storleksordning som pumpflödet från Järvatunneln. Den mindre avrinningen kan delvis förklaras med en relativt hög avdunstning från området på ca 80 % av nederbörden. Detta beror delvis på att området inom stora delar är att betrakta som relativt blött, med relativt små grundvattendjup. Inom de delar som påverkas av tunnlarna är dock grundvattendjupet större. Detta framgår med all tydlighet i Figur 5-16, där beräknat grundvattendjup i juli 2002 visas.

Av Figur 5-17 framgår också hur områdena kring tunnlarna fungerar som inströmningsområden, med en nedåtgående tryckgradient och ökad strömning mot tunnlarna. Detta diskuteras vidare i kapitel 6.1.





Figur 5-16 Beräknade grundvattendjup juli 2002 .



Figur 5-17 Beräknade områden med inströmning (lila) och utströmning (röda). Resultat från december 2002. De svarta pilarnas storlek visar strömningshastigheten.

### 5.3 Förorenings- och vattenkvalitetsmodell

Föroreningstransporten i Igelbäcken har studerats dels utifrån hur stora belastningarna är från avrinningsområdet, dels utifrån hur transporten sker i själva vattendraget. De komponenter som studerats är kväve (nitrit, nitrat, ammonium, BOD), fosfor (partikulärt och fosfat fosfor) samt koppar.

Belastningsberäkningarna har gjorts med LOAD Calculator, ett GIS-baserat modellverktyg (som är en del av MIKE BASIN) för att beräkna den sammanlagda belastningen av olika ämnen från ett avrinningsområde med varierande markanvändning. Belastningen beräknas utifrån andelen av olika marktyper inom ett delområde. Uppdelningen i delområden följer uppdelningen för den upprättade hydrologiska modellen i MIKE11 NAM, Flödena som beräknas med den hydrologiska modellen har använts för att tillsammans med den beräknade belastningen från LOAD generera en föroreningstransport till vattendraget.

Beräkningarna av transporten av föroreningar i vattendraget har gjorts med MIKE11 AD. För koppar har en konservativ transportberäkning använts. För alla kväve- och fosforrelaterade komponenter (nitrit, nitrat, ammoniumkväve, BOD, fosfat fosfor samt partikulärt fosfor) har dessutom processbeskrivningar upprättats med ECOLab. I processbeskrivningen beskrivs bl.a. nitrifikation, denitrifikation, nedbrytning av BOD, sedimentation och resuspension av BOD, ammoniumbildning från BOD, samt adsorption, läckage, resuspension och sedimentation av partikulärt fosfor och nedbrytning av BOD till fosfat fosfor.

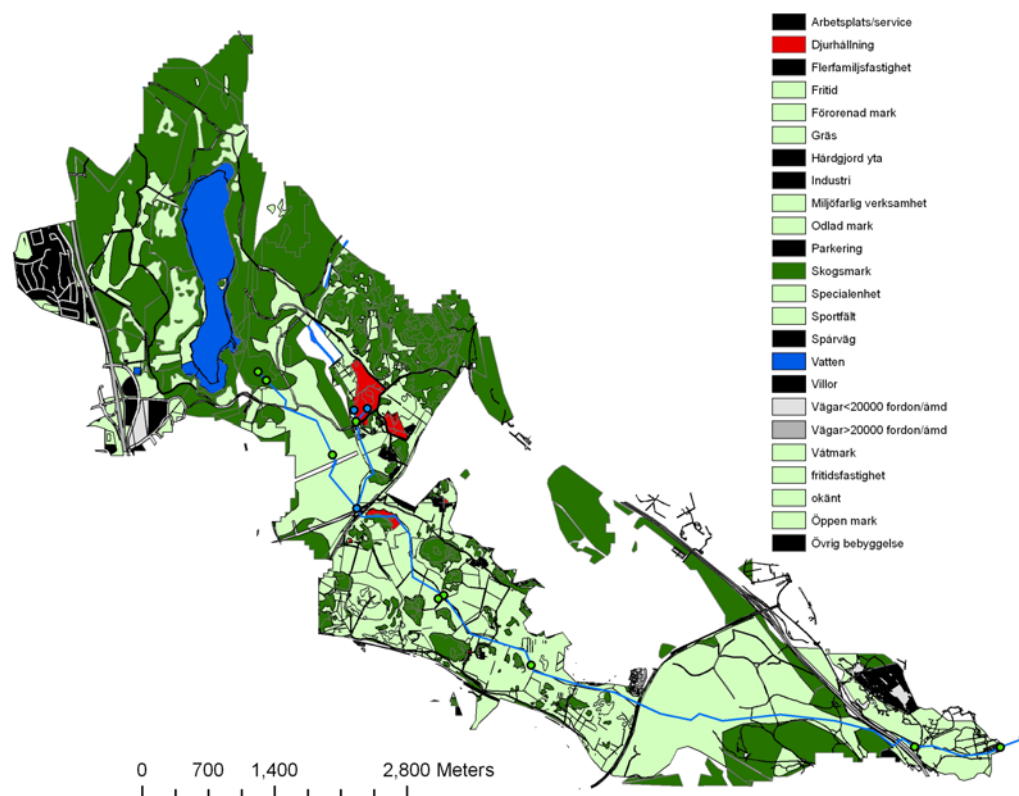
#### 5.3.1 Indata

Indata har erhållits i form av markanvändningen för avrinningsområdet. Bedömningen av belastningen av olika ämnen för olika marktyper har gjorts dels utifrån underlag från Stockholm Vatten, dels utifrån erfarenheter från andra liknande projekt där mätningar och referensvärden funnits att tillgå. Materialet har lyfts in i Geodatabasen i ArcGIS och bearbetats där. Det har krävt en ganska omfattande bearbetning för att samordna informationen från de olika kommunerna och Länsstyrelsen och få korrekta enhetliga GIS-skikt.

Provtagningar i vattendraget har funnits tillgängliga. Månadsprover finns årligen för utloppspunkten vid Slottsallén och dessutom vart 5:e år för ett mer utökat provtagningsprogram uppströms i vattendraget. För 2006 finns mätdata från punkterna Norra Barkarby (strax nedströms utlopp från Säbysjön), Djupanbäcken, Akallavägen (precis uppströms), Eggeby gård, Kymlingelänken, före Mariedal och Slottsallén (Igelbäckens utlopp).

#### 5.3.2 Belastningsberäkningar

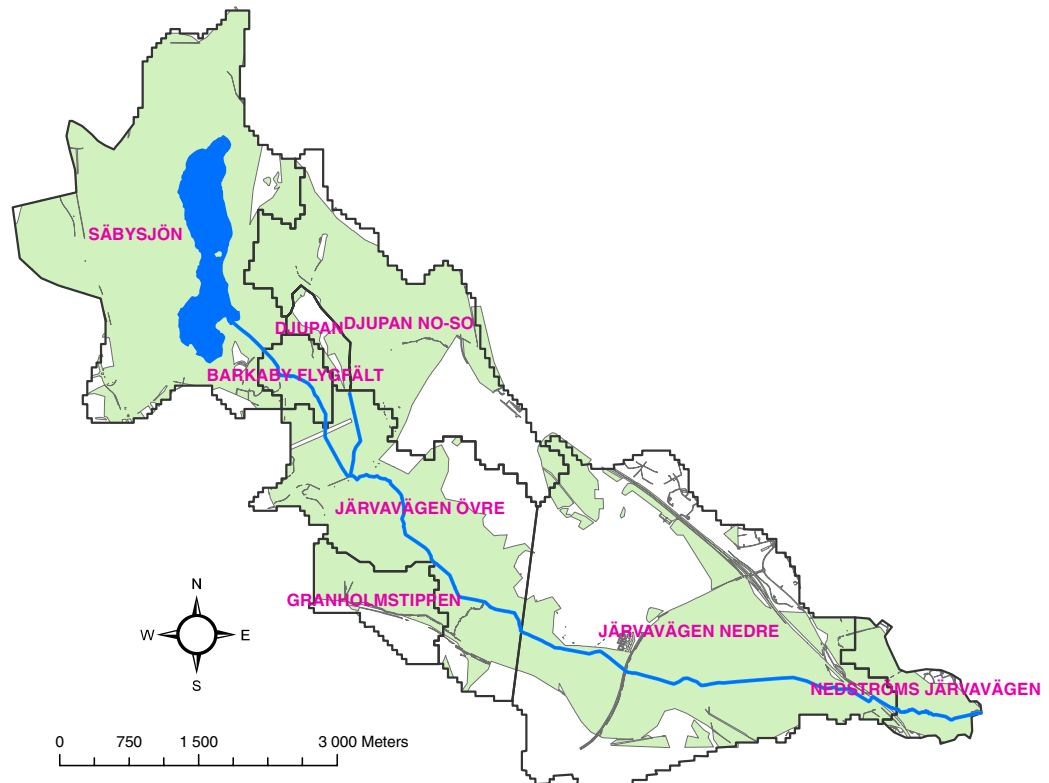
Beräkning av belastningar från avrinningsområdet baseras på befintliga uppgifter om markanvändningen. GIS-underlaget till markanvändningen visas i Figur 5-18 nedan. De stora ”vita fläckarna” i kartan representerar områdena Tensta/Rinkeby och Kista, vars dagvatten och dränvatten avleds till Järvatunneln. Dessa områden (ca 6 km<sup>2</sup>) antas därmed inte bidra med föroreningar till Igelbäcken.



Figur 5-18 GIS-data för markanvändning inom Igelbäckens avrinningsområde. Det vita borttagna området är ca 6 km<sup>2</sup> inom vilket dagvatten avvattnas till tunneln.

Området har delats in i 8 delavrinningsområden enligt Figur 5-19. Dessa följer den indelning som gjordes vid avrinningsberäkningen med MIKE11 NAM, se kapitel 5.1. Inom respektive delavrinningsområde fördelar sig marktyperna enligt Tabell 5-3. Den totala ytan som bedöms bidra med föroreningar uppgår här till ca 20 km<sup>2</sup>. Det totala naturliga avrinningsområdet är på ca 28 km<sup>2</sup>. Resterande ca 8 km<sup>2</sup> består av områden som avvattnas till Järvatunneln (ca 6 km<sup>2</sup>) samt andra områden utan föroreningsbidrag, såsom ytvatten och våtmarker.

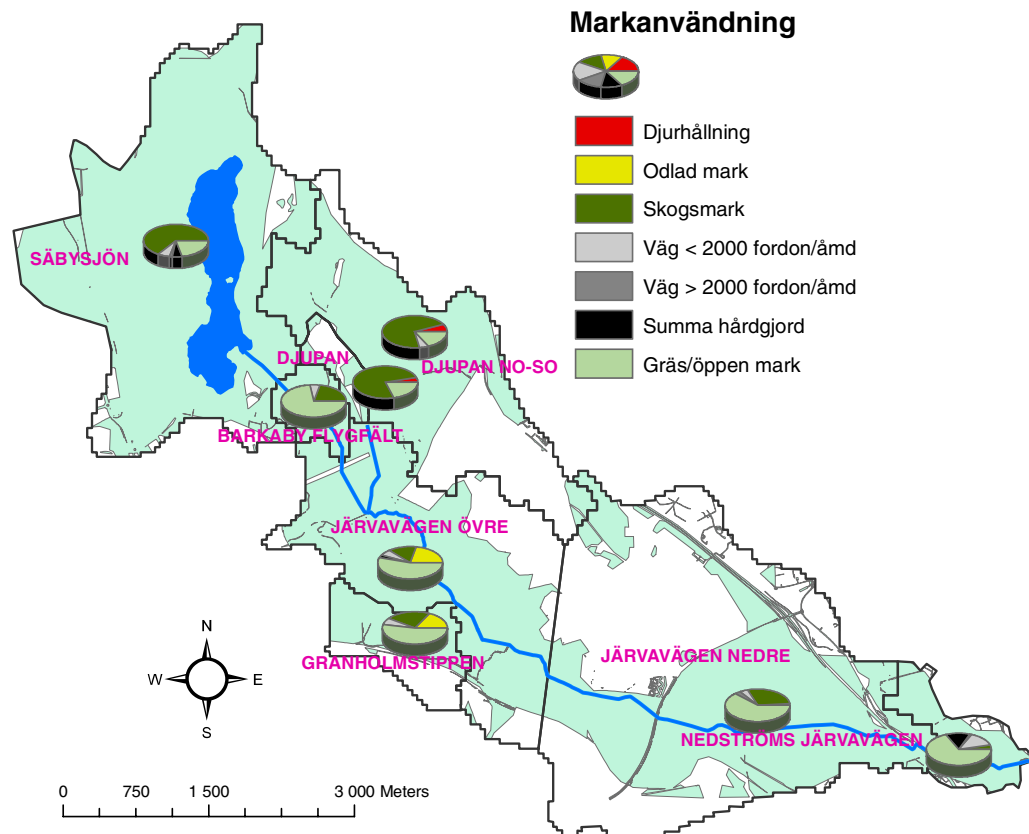
I Figur 5-20 redovisas fördelningen av markanvändningstyperna inom respektive delavrinningsområde och i Figur 5-21 för hela avrinningsområdet. Sett till hela avrinningsområdet så består ca 85 % av den totala ytan av gräs/öppen mark och skogsmark.



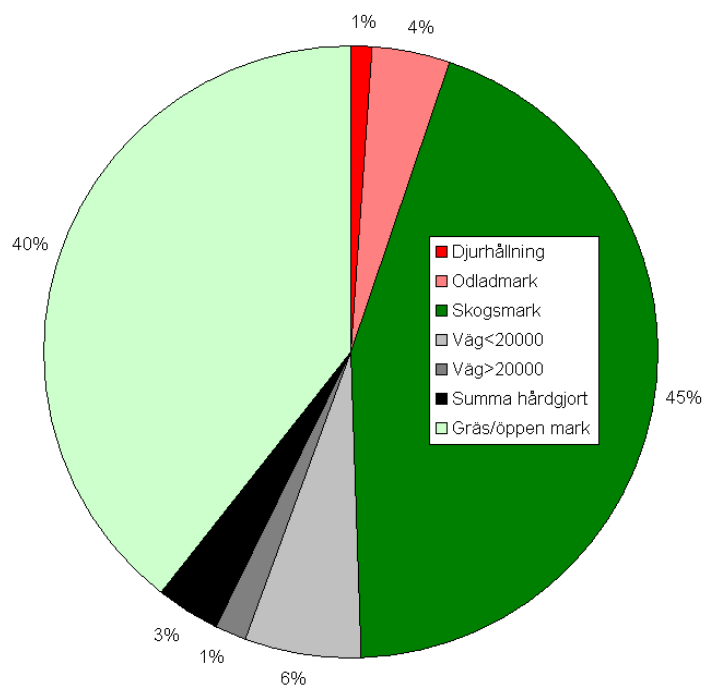
Figur 5-19 Indelning av avrinningsområdet i delområden.

Tabell 5-3 Fördelning av markanvändningstyper inom respektive delavrinningsområde (ha).

|                   | Total yta med<br>förorenings-<br>belastning | Djurhållning | Odlad mark | Gräs, öppen<br>mark | Väg < 20000 | Väg > 20000 | Skogsmark | Hårdgjort |
|-------------------|---------------------------------------------|--------------|------------|---------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| Säbysjön          | 670                                         | 0            | 0          | 139                 | 49          | 13          | 423       | 46        |
| Barkaby Flygfält  | 54                                          | 0            | 0          | 39                  | 4           | 0           | 11        | 0         |
| Djupan            | 16                                          | 1            | 0          | 3                   | 0           | 0           | 12        | 0         |
| Djupan NO-SO      | 285                                         | 16           | 0          | 45                  | 17          | 0           | 207       | 0         |
| Nedstr Järvavägen | 75                                          | 0            | 0          | 50                  | 10          | 1           | 2         | 12        |
| Granholmstippen   | 60                                          | 0            | 9          | 32                  | 3           | 0           | 16        | 0         |
| Järvavägen nedre  | 498                                         | 0            | 6          | 298                 | 24          | 15          | 152       | 4         |
| Järvavägen övre   | 360                                         | 3            | 74         | 191                 | 19          | 0           | 64        | 7         |
| SUMMA             | 2018                                        | 20           | 89         | 797                 | 126         | 29          | 887       | 69        |



Figur 5-20 Fördelning av markanvändningstyper inom respektive delavrinningsområde.



Figur 5-21 Fördelning av markanvändningstyper inom hela avrinningsområdet.

För respektive markanvändningstyp har olika belastningar (kg/ha,år) ansatts enligt Tabell 5-4 nedan. Belastningarna är hämtade från ett antal referenser och därefter grovt justerade för att passa mot genomförd provtagning i Igelbäcken. Dessa belastningar anges i modellen som genomsnittsvärden för simuleringsperioden 2001-2006.

*Tabell 5-4 Belastningsdata för respektive markanvändningstyp [kg/ha,år],  
(ref. 3 - 9).*

| Markanvändningstyp | Yta (ha) | Kväve | Ammonium | Nitrat | Fosfor | Koppar |
|--------------------|----------|-------|----------|--------|--------|--------|
| Väg > 20000        | 29       | 11,5  | 1,10     | 3,46   | 2,250  | 0,380  |
| Djurhållning       | 20       | 36,5  | 3,65     | 10,95  | 1,605  | 0      |
| Odlad mark         | 89       | 27,5  | 2,75     | 8,25   | 0,210  | 0,059  |
| Gräs, öppen mark   | 797      | 9,2   | 0,92     | 2,80   | 0,105  | 0,048  |
| Skogsmark          | 887      | 1,4   | 0,14     | 0,41   | 0,075  | 0,019  |
| Väg < 20000        | 126      | 7,4   | 0,74     | 2,22   | 1,155  | 0,210  |
| Hårdgjorda ytor    | 69       | 0,7   | 0,07     | 0,21   | 0      | 0,030  |

De resulterande belastningarna från respektive delavrinningsområde har sedan beräknats med LOAD Calculator för de olika ämnena och redovisas i Figur 5-24 till Figur 5-26 nedan. Beräknade belastningar representerar genomsnittsvärden för perioden 2001-2006. I LOAD Calculator räknas detta genomsnittliga massflöde sedan om till medelkoncentrationer för markavrinningen (sk overlandflow och interflow enligt MIKE11 NAM). Beräknad tillförsel (kg/s) av närsalter och metaller till Igelbäcken kommer därmed att följa markavrinningens tidsvariation.

Förutom denna belastning, som alltså förknippas med markavrinningen, har även föroreningskoncentrationer knutits till basflödet (sk baseflow enligt MIKE11 NAM) från respektive delområde. Basflödet har getts konstanta föroreningshalter enligt Tabell 5-5, vilka har uppskattats utifrån provtagningen i Igelbäcken (ref. 3).

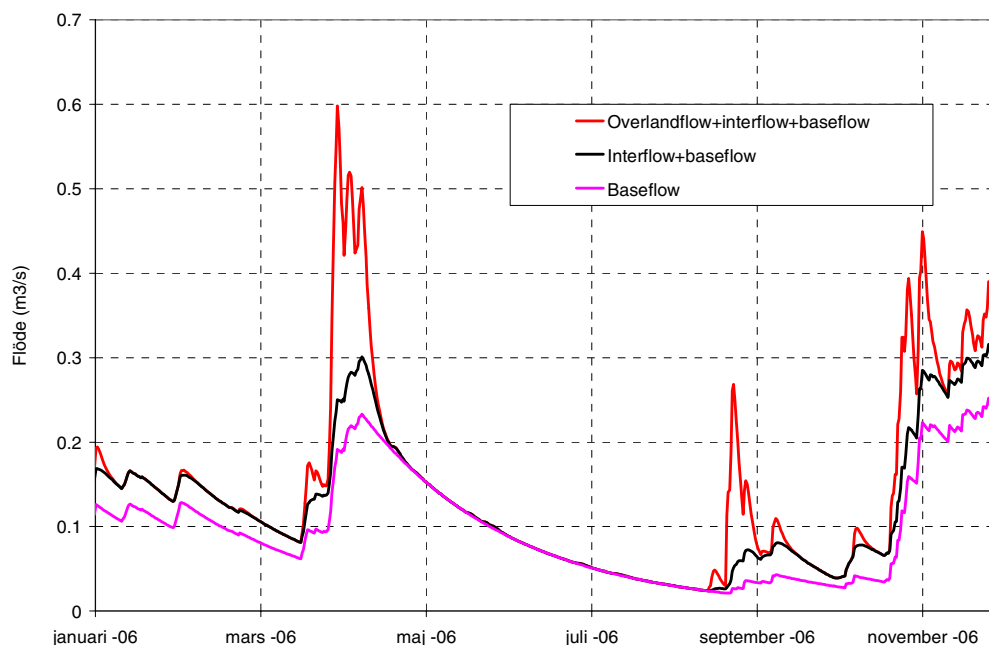
*Tabell 5-5 Föroreningskoncentrationer för basflödet i MIKE 11 NAM.*

| Ämne            | Koncentration [mg/l] |
|-----------------|----------------------|
| Fosfatfosfor    | 0,010                |
| Totalfosfor     | 0,025                |
| Totalkväve      | 0,65                 |
| Ammoniumkväve   | 0,03                 |
| Nitrit + Nitrat | 0,05 - 0,10          |
| Koppar          | 0,0005               |

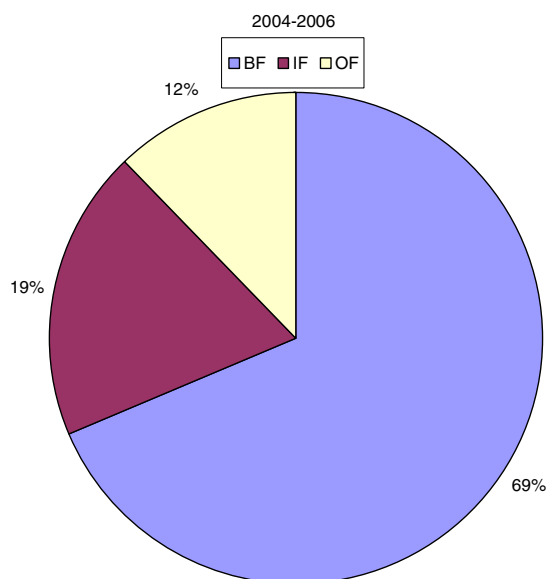
I Figur 5-22 visas hur den i MIKE11 NAM simulerade avrinningen i Igelbäcken beskrivs med hjälp av flödeskomponenterna för markavrinning och basflöde. I figuren visas en typisk årsvariation exemplifierat för perioden januari till december 2006. På våren bidrar snösmältningen med en snabb uppbyggnad av basflödet som sedan lång-

samt sjunker under sommarperioden. Under den regniga hösten fylls sedan grundvattnemagasinet och basflödet ökar igen.

Fördelningen av flödeskomponenterna baseflow, interflow och overland flow redovisas för perioden 2004 till december 2006 i Figur 5-23. Basflödet står för drygt 2/3 av den totala avrunna volymen under den simulerade perioden.

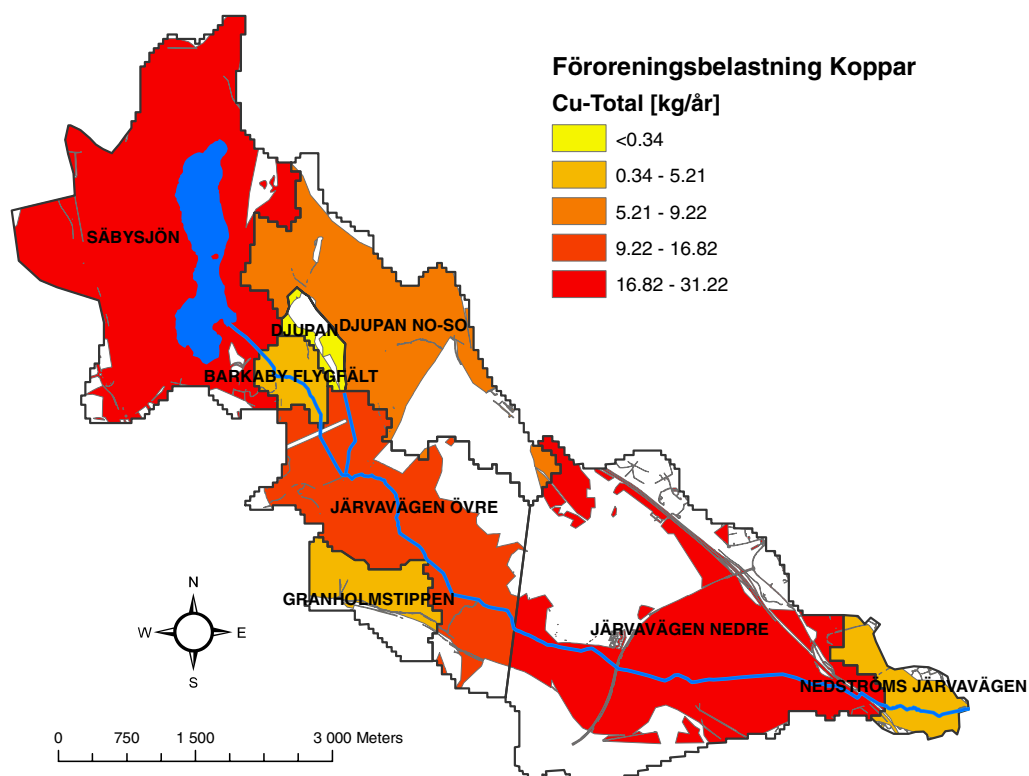


Figur 5-22 Hydrograf som beskriver avrinningen från hela avrinningsområdet fördelat på flödeskomponenterna baseflow, interflow och overland flow för perioden januari till december 2006.

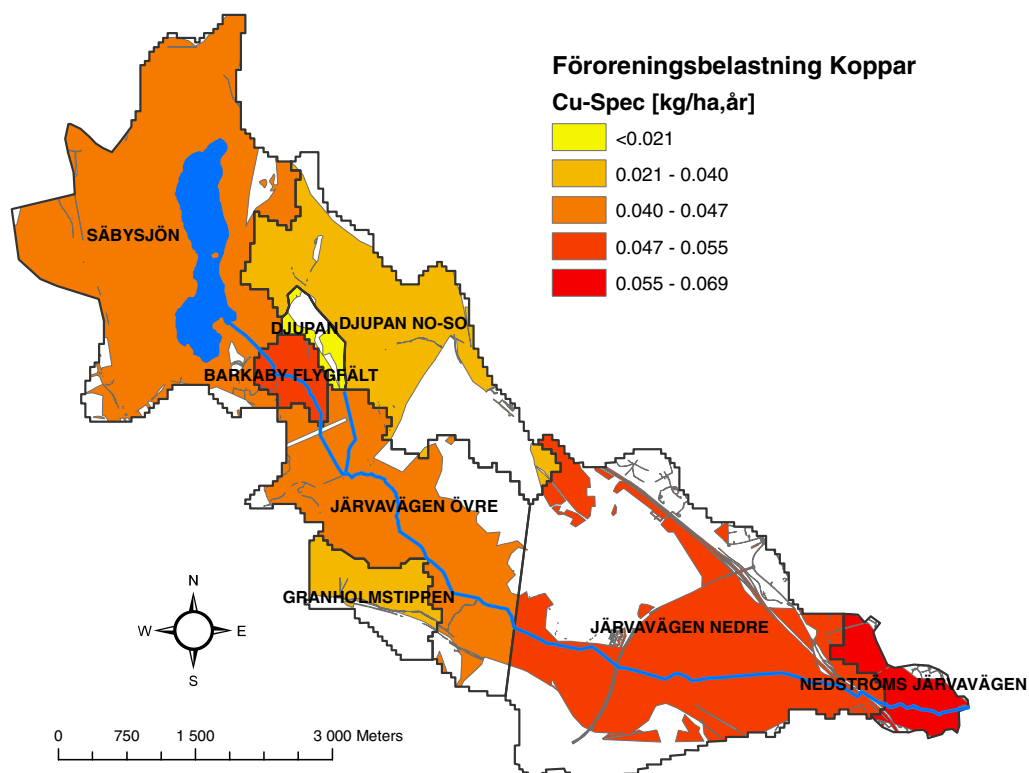


Figur 5-23 Fördelning av flödeskomponenterna baseflow, interflow och overland flow (%) för perioden 2004 till december 2006.

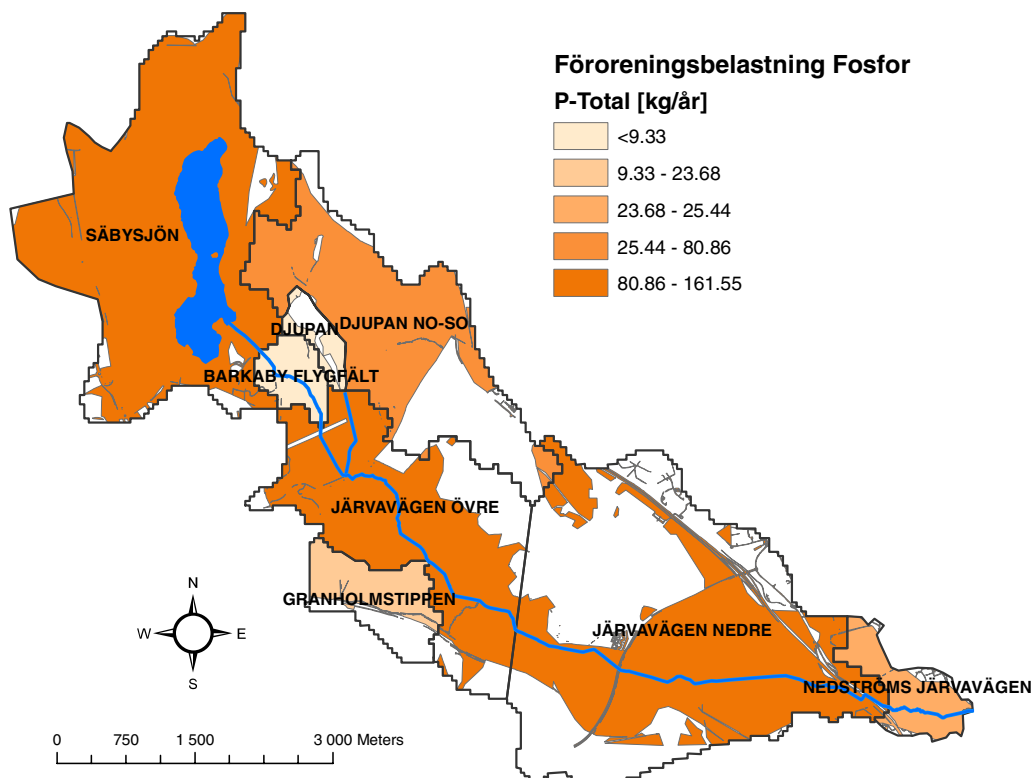




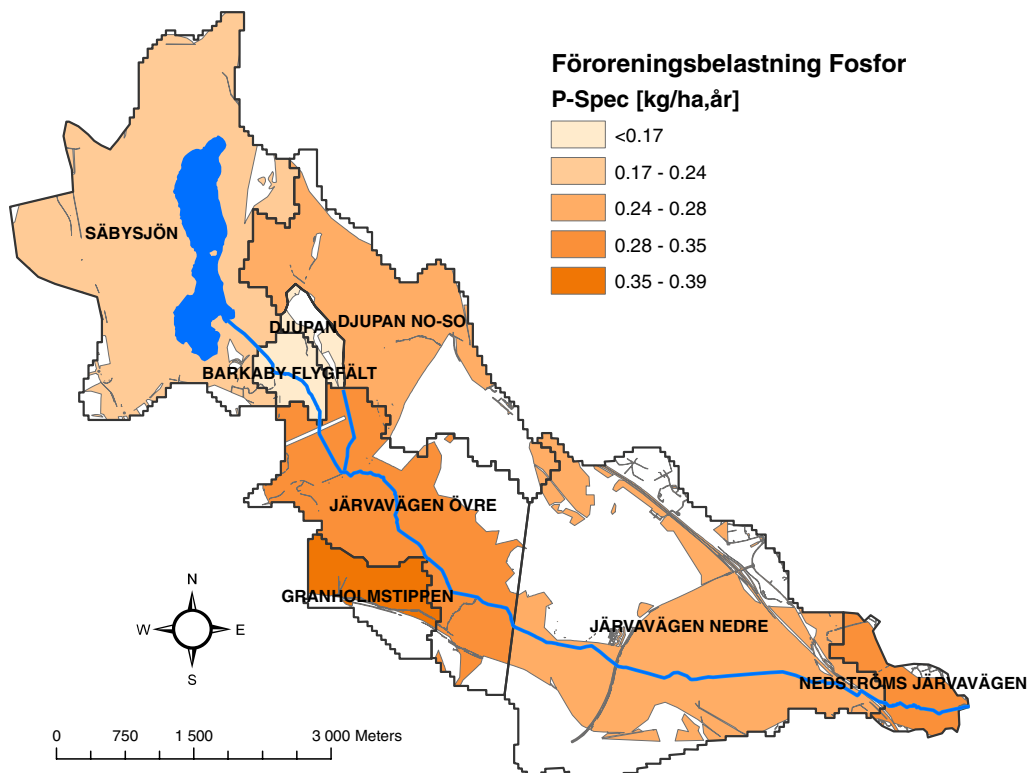
Figur 5-24a Beräknad belastning av koppär från respektive delavrinningsområde, kg/år.



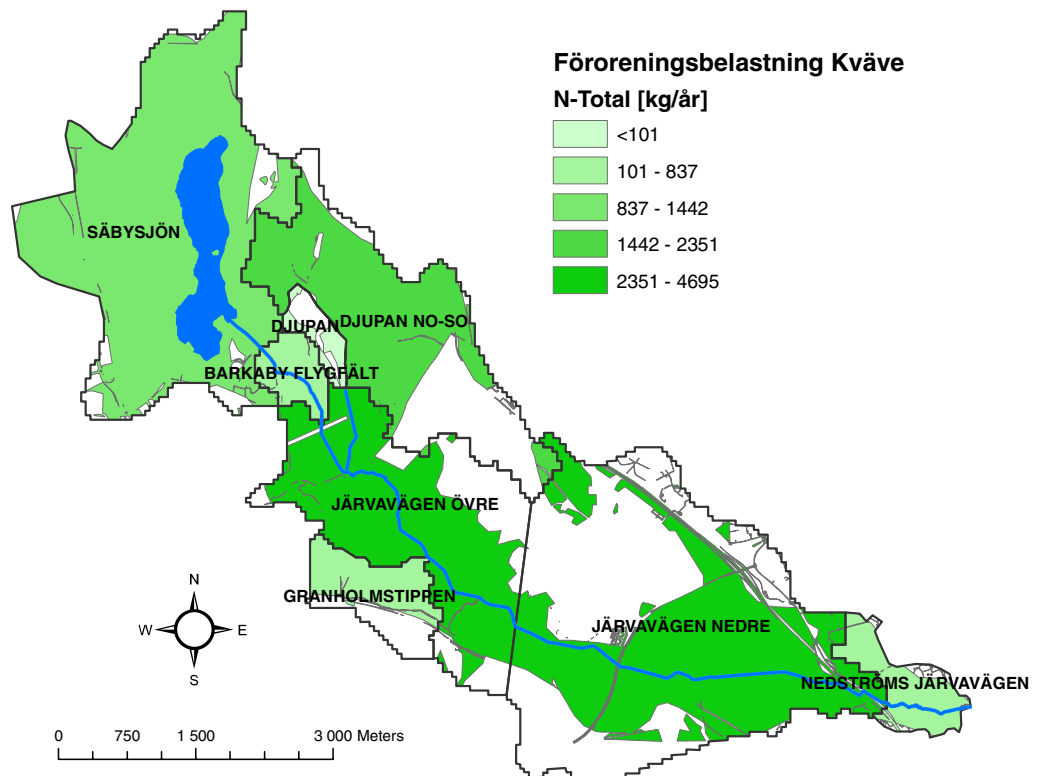
Figur 5-24b Beräknad specifik belastning av koppär från respektive delavrinningsområde, kg/ha,år.



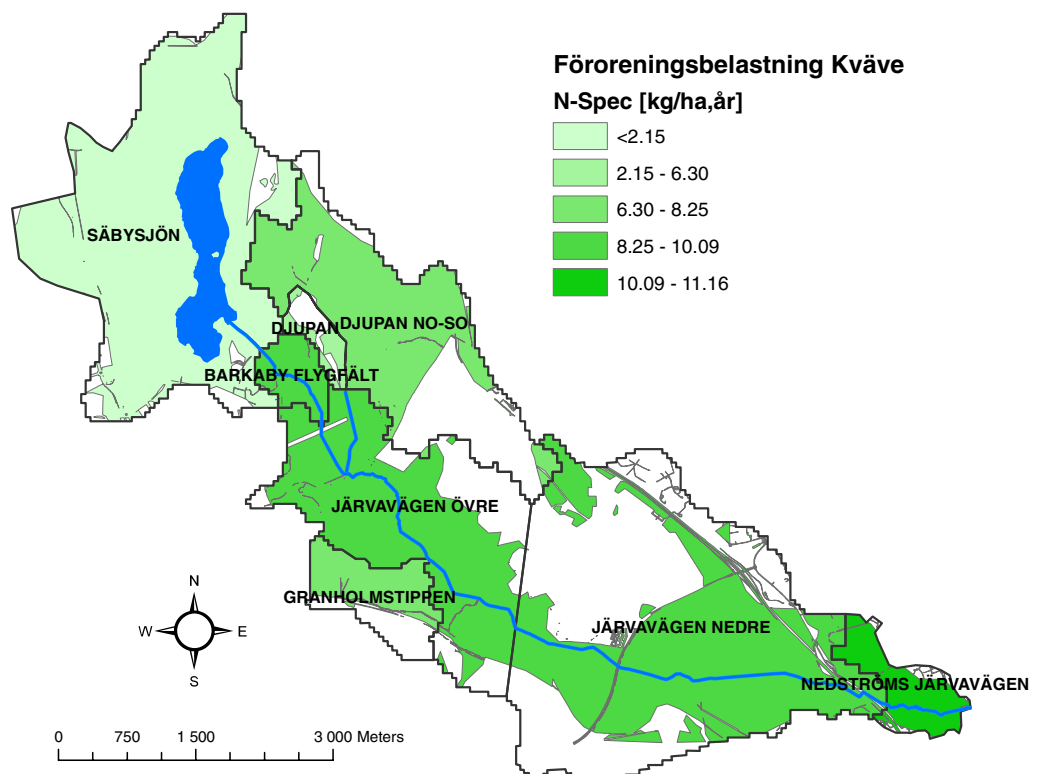
Figur 5-25a Beräknad belastning av fosfor från respektive delavrinningsområde, kg/år.



Figur 5-25b Beräknad specifik belastning av fosfor från respektive delavrinningsområde, kg/ha,år.



Figur 5-26a Beräknad belastning av kväve från respektive delavrinningsområde, kg/år.



Figur 5-26b Beräknad specifik belastning av kväve från respektive delavrinningsområde, kg/ha,år.

### 5.3.3 Kalibreringsmetodik och resultat

Belastningsberäkningarna har jämförts med tidigare sammanställningar från Stockholm Vatten men egentligen inte kalibrerats. Utgångspunkten har istället varit att anta något rimligt baserat på tillgängligt material och sedan analysera skillnaderna i de mönster som beräknade och uppmätta koncentrationer uppvisar, och dra slutsatser ifrån detta baserat på vilka indata och antaganden som är rimligt säkra, respektive mindre säkra.

Antaganden om fördelningen mellan olika markanvändningstyper inom respektive delområde är sannolikt ganska säkra. Osäkerheten ligger snarare i antaganden om belastningen (kg/ha,år) från respektive marktyp, samt, inte minst, beskrivningen av nedbrytnings- och sedimentationsprocesser som sker i vattendraget, och framförallt då i Säbysjön. Svårigheten ligger här i att tillgängliga provtagningar endast representerar de resulterande koncentrationerna i vattendraget, nedströms Säbysjön. Ur dessa data kan man inte entydigt utläsa belastningen till sjön, då processerna i sjön i lika stor grad påverkar koncentrationerna nedströms sjön. Processerna nedströms sjön har med största sannolikhet mycket mindre inverkan, varför skillnaderna mellan de olika provtagningspunkterna rimligen borde utgöra en bättre grund för bedömning av tillkommande belastningar från dessa delar. Hänsyn till nedbrytningsprocesser har dock endast tagits för kväve. Fosfor och koppar har betraktats som konservativa ämnen vilket innebär att massan bevaras från inflöde till utflöde. För fosfor är detta inte helt korrekt då det även innehåller fosfat. I kapitel 6.3 redovisas beräknade mängder längs bäcken och i kapitel 7.2 analyseras resultaten vidare, bl.a. baserat på jämförelse av uppmätta och beräknade koncentrationer.

Kalibreringsresultaten redovisas som en jämförelse av beräknade och uppmätta koncentrationer under 2006. Beräkningarna ger en kontinuerlig kurva över koncentrationens tidsvariation i ett visst tvärsnitt, medan uppmätta koncentrationer endast består av månadsvis stickprov i en viss punkt. Detta försvårar jämförelsen mellan beräkning och mätning, och sanningen ligger ofta någonstans mellan mätning och beräkning, snarare än endast i mätningen.

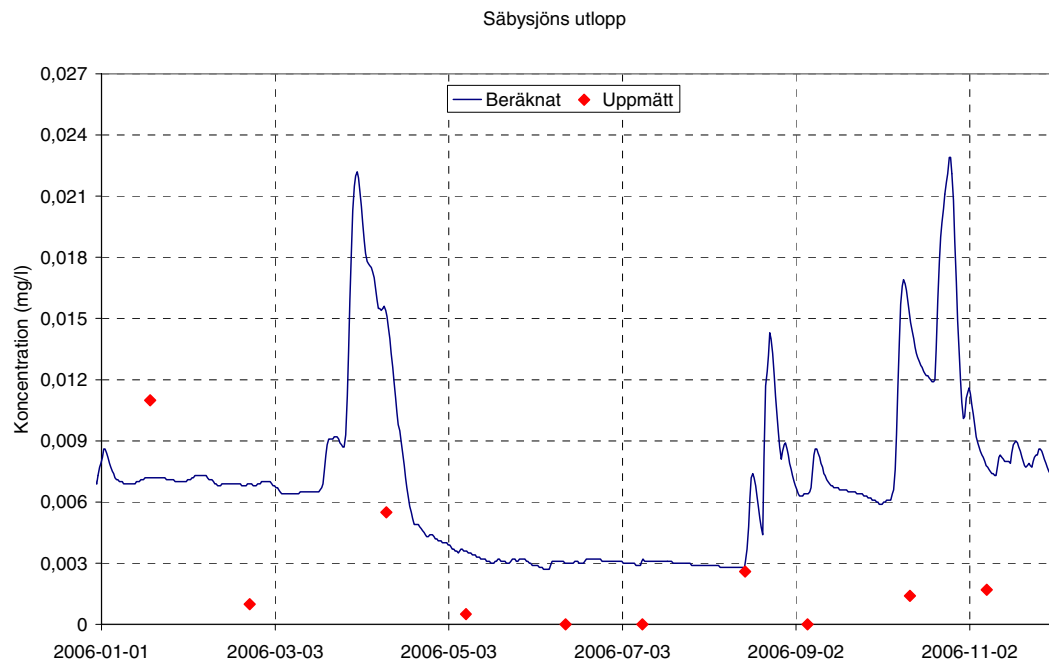
De mängder fosfor och kväve som kommer till bäcken från tillrinningsområdet nedströms Säbysjön har bedömts i olika sammanhang. Bidragen från bebyggelse är små. De största fosformängderna antas komma från naturmark, djurhållning, odlad och förorenad mark, kväve huvudsakligen från naturmark och odlad mark. Fosfor och kvävehalterna är generellt måttligt höga. Kvävehalterna (framförallt nitratkväve) ökar från Säbysjön ner till mynningen, medan fosforhalterna istället minskar.

I Figur 5-27 och Figur 5-28 redovisas koncentrationen av koppar vid Säbysjöns utlopp respektive Slottsallén. Man kan se att överensstämmelsen mellan mätresultat och modell är god vid Slottsallén. Vid Säbysjöns utlopp överskattar modellen koncentrationen.

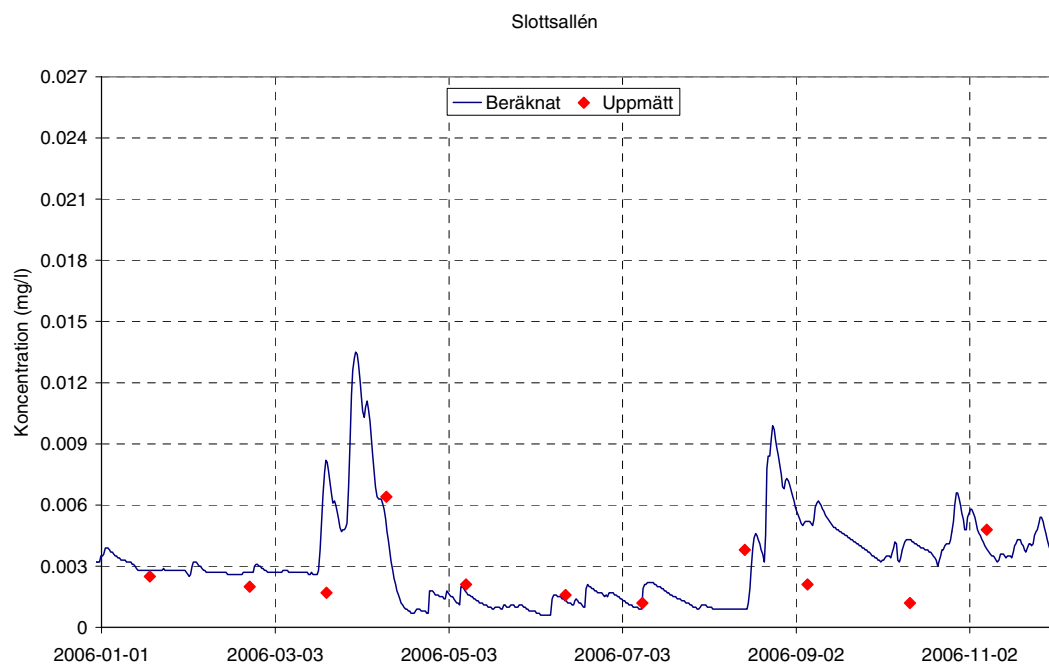
I Figur 5-29 och Figur 5-30 illustreras kalibreringsresultaten för totalfosfor, där man kan se en relativt god överensstämmelse mellan beräknad och uppmätt koncentration.

Vad gäller ammoniumkväve så ger modellen något låga koncentrationer vid Säbysjöns utlopp, se Figur 5-31, medan koncentrationen vid Slottsallén visar förhållandevis god överensstämmelse, se Figur 5-32.

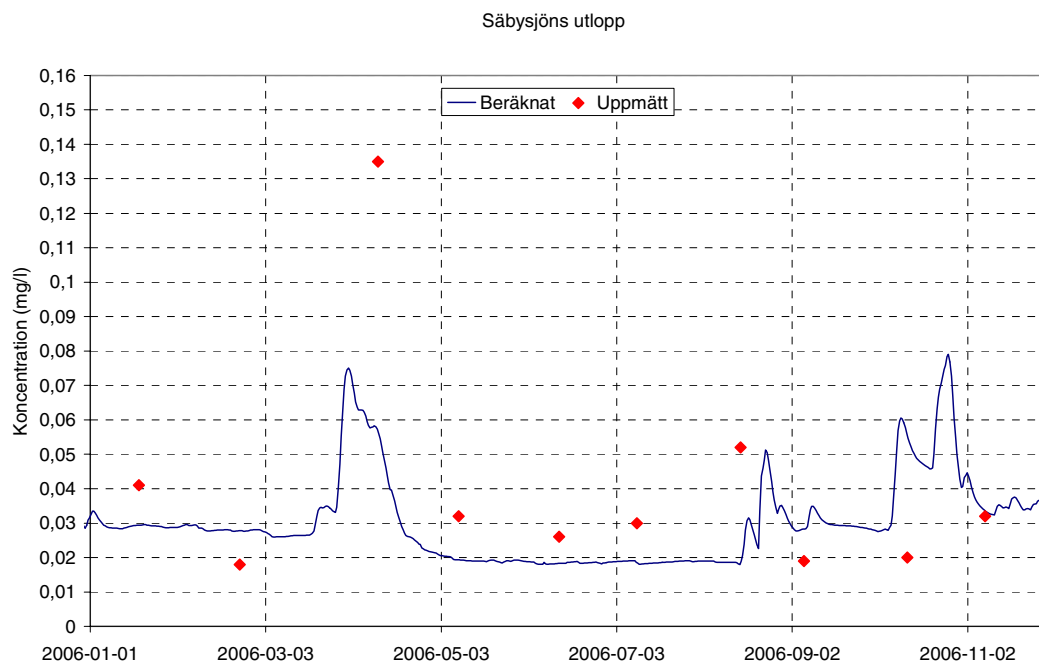
Figur 5-33 och Figur 5-34 visar koncentrationer för nitratkväve. Beräknade värden överensstämmer relativt väl med uppmätta koncentrationer, förutom då uppmätta koncentrationer vid Säbysjöns utlopp är nära noll, vilket modellen överskattar något.



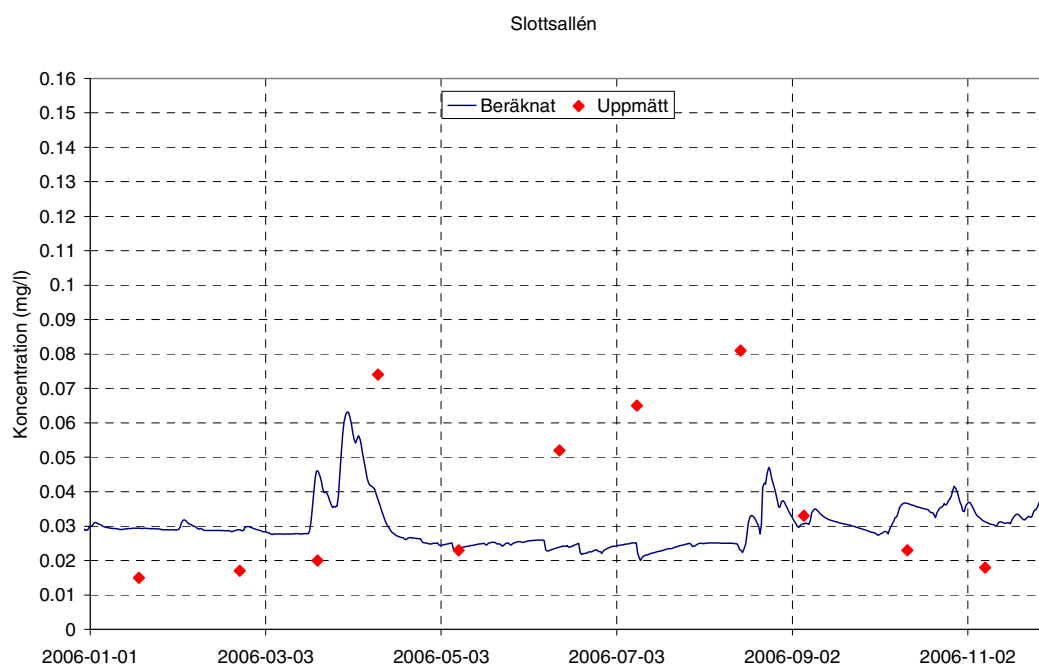
Figur 5-27 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration koppar vid Säbysjöns utlopp.



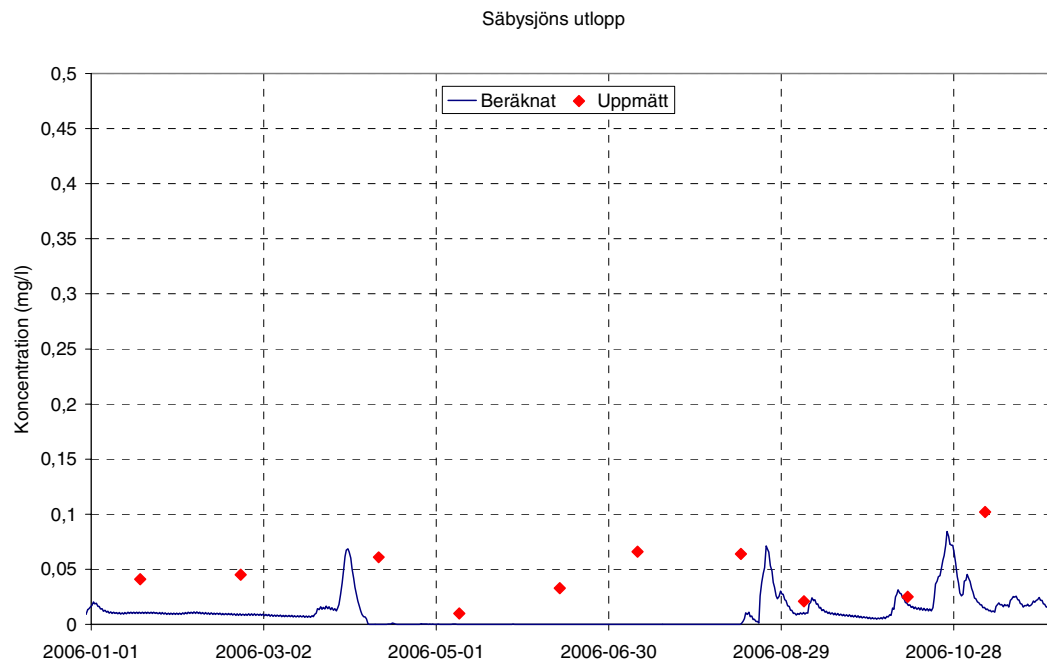
Figur 5-28 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration koppar vid Slottsallén.



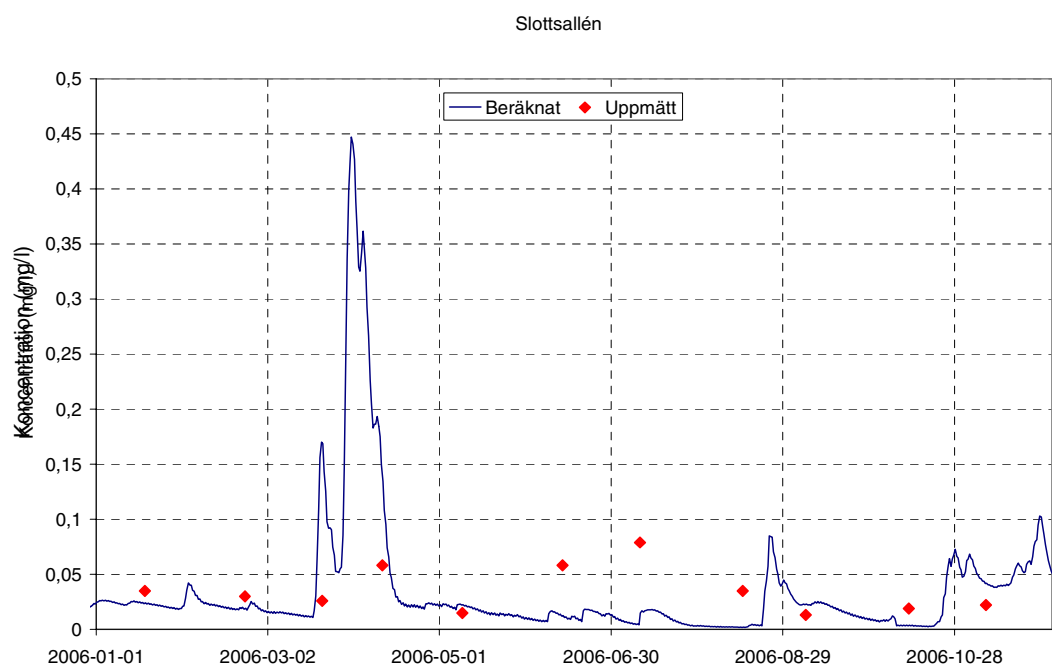
Figur 5-29 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration totalfosfor vid Säbysjöns utlopp.



Figur 5-30 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration totalfosfor vid Slottsallén.

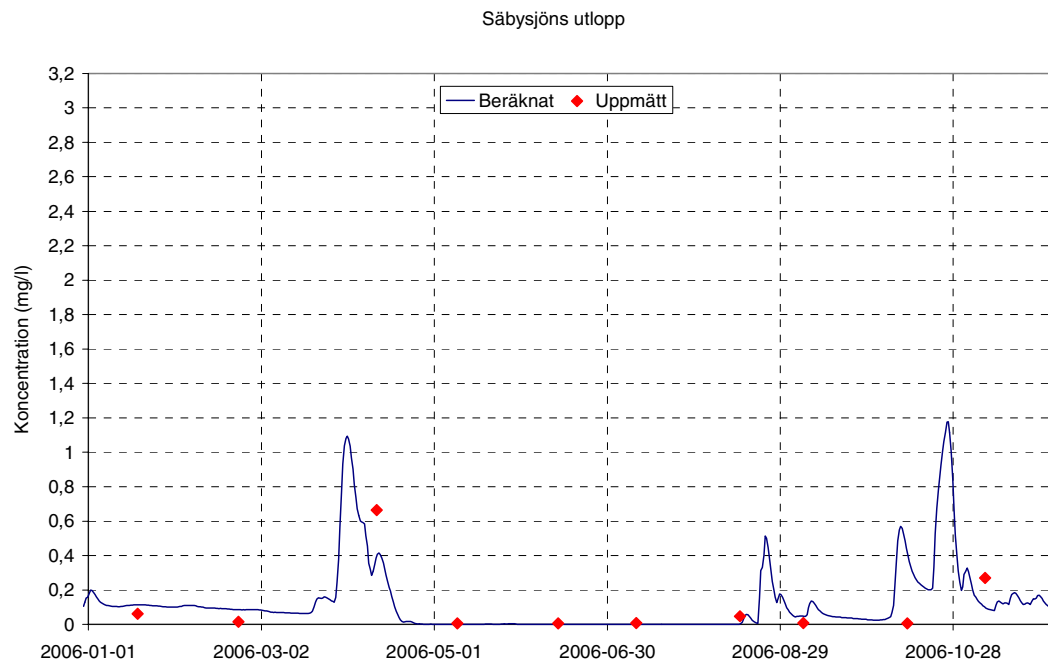


Figur 5-31 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration ammoniumkväve vid Säbysjöns utlopp.

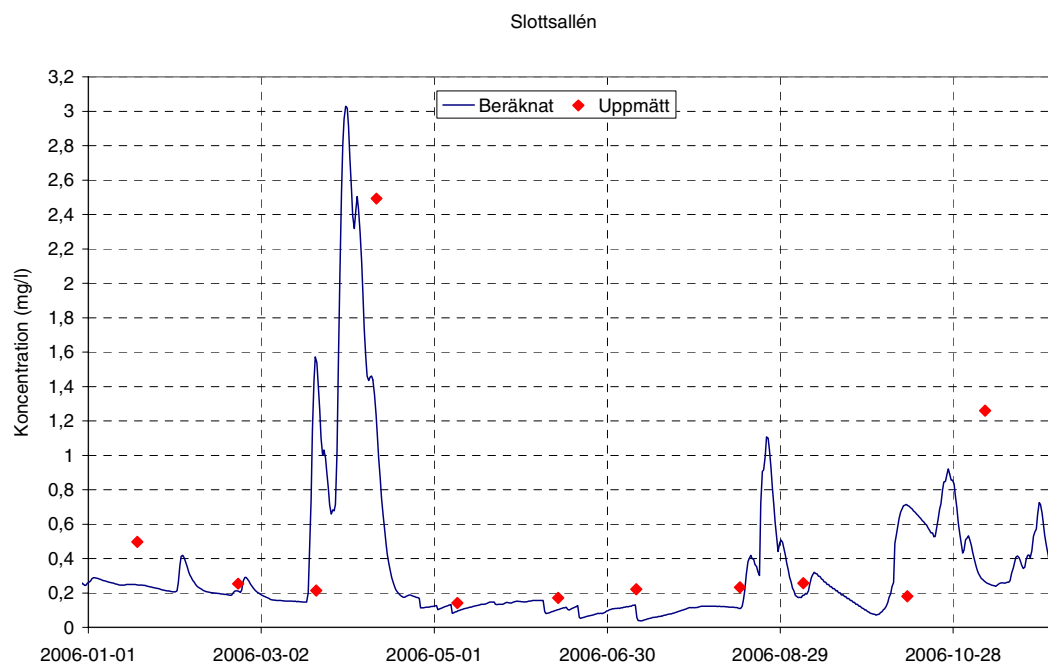


Figur 5-32 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration ammoniumkväve vid Slottsallén.





Figur 5-33 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration nitratkväve vid Säbysjöns utlopp.



Figur 5-34 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration nitratkväve vid Slottsallén.

---

## 6 RESULTAT AV STUDERADE SCENARIER

### 6.1 Vattenbalans och geohydrologi

Tre scenarier har studerats med den geohydrologiska modellen, nämligen:

1. Befintliga förhållanden
2. Befintliga förhållanden, men med tätade tunnlar (betonginjektering med en läckagekoefficient på  $1\text{e-}10\text{ s}^{-1}$ ).
3. Naturliga förhållanden, dvs inget dagvatten, inga tunnlar och ”naturlig” reglering av Säbysjön.

Beräkningarna har genomförts för perioden 2001 till 2006.

Syftet med scenarierna har varit att öka kunskapen om avrinningsområdets funktion och att belysa hur människans inverkan i avrinningsområdet påverkat funktionen.

I Figur 6-1 visas beräknad vattenbalans för de tre beräkningsfallen. Vattenbalanserna är uttryckta i årliga medelvolymer ( $\text{Mm}^3/\text{år}$ ) för perioden 2002 till 2005. I samtliga fall sker en minskning av magasinerad grundvattenvolym under perioden, som följd av flera år med relativt torra förhållanden under perioden. Under befintliga förhållanden är utflödet under perioden ca  $0.4\text{ Mm}^3/\text{år}$  större än nederbördsvolymen (”inflödet”). Vid scenario 2 och 3 är skillnaden mellan nederbördsvolym och utflöde mindre, ca  $0.2\text{ Mm}^3/\text{år}$ .

#### ***Befintliga förhållanden, scenario 1***

Vattenbalansen för befintliga förhållanden (övre bilden i Figur 6-1) visar att det beräknade medelflödet till tunnarna under 2002 till 2005 uppgår till ca  $1,7\text{ Mm}^3/\text{år}$  (varav Järvatunneln står för huvuddelen). Det framgår också att dagvattnet till Järvatunneln står för ca  $1\text{ Mm}^3/\text{år}$  av detta. Resten är grundvattentillskott via inläckage och dräneringsvatten.

Utflödet från Igelbäcken är under perioden i medeltal ca  $2,2\text{ Mm}^3/\text{år}$ . Alltså av samma storleksordning som pumpflödet från Järvatunneln. Av detta står dagvatten för ca  $0.4\text{ Mm}^3/\text{år}$ , resten är naturlig avrinning från naturmarken. Den förhållandevis låga avrinningen kan delvis förklaras med en relativt hög avdunstning från området på ca 80 % av nederbörden. Detta beror dels på lerrika jordlager med hög vattenhållande förmåga, vilket gynnar växternas transpiration, dels på att området inom stora delar är att betrakta som relativt blött, med relativt små grundvattendjup. Inom de delar som påverkas av tunnarna är dock grundvattendjupet större (se Figur 5-16). Av Figur 5-17 (övre bilden) framgår också hur områdena kring tunnarna fungerar som inströmningsområden, med en nedåtgående tryckgradient och ökad strömning mot tunnarna.

#### ***Tätning av tunnarna, scenario 2***

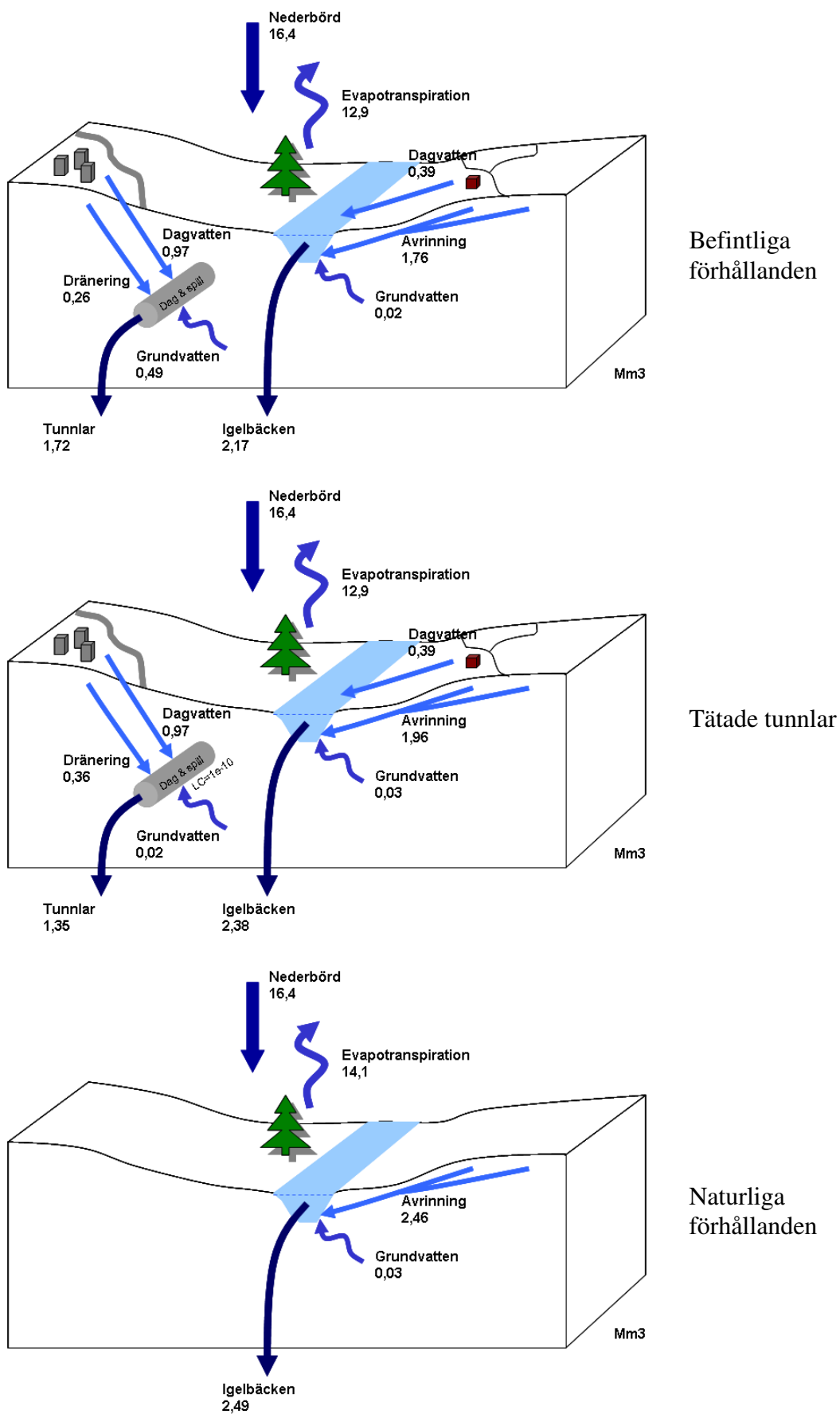
Vattenbalansen för en hypotetisk tätning av tunnarna (mittenbilden i Figur 6-1) visar endast en mindre ökning av flödet i Igelbäcken. Från  $2,17$  till  $2,38\text{ Mm}^3/\text{år}$ , dvs. en ökning med knappt 10 % jämfört med den potentiella ökningen (med hela läckaget) på ca 20 %. Hälften av det vatten som tidigare läckte in till tunnlar kommer nu istället att öka dräneringsmängden och magasineras i marken och berget ovan tunnarna. Detta framgår

---

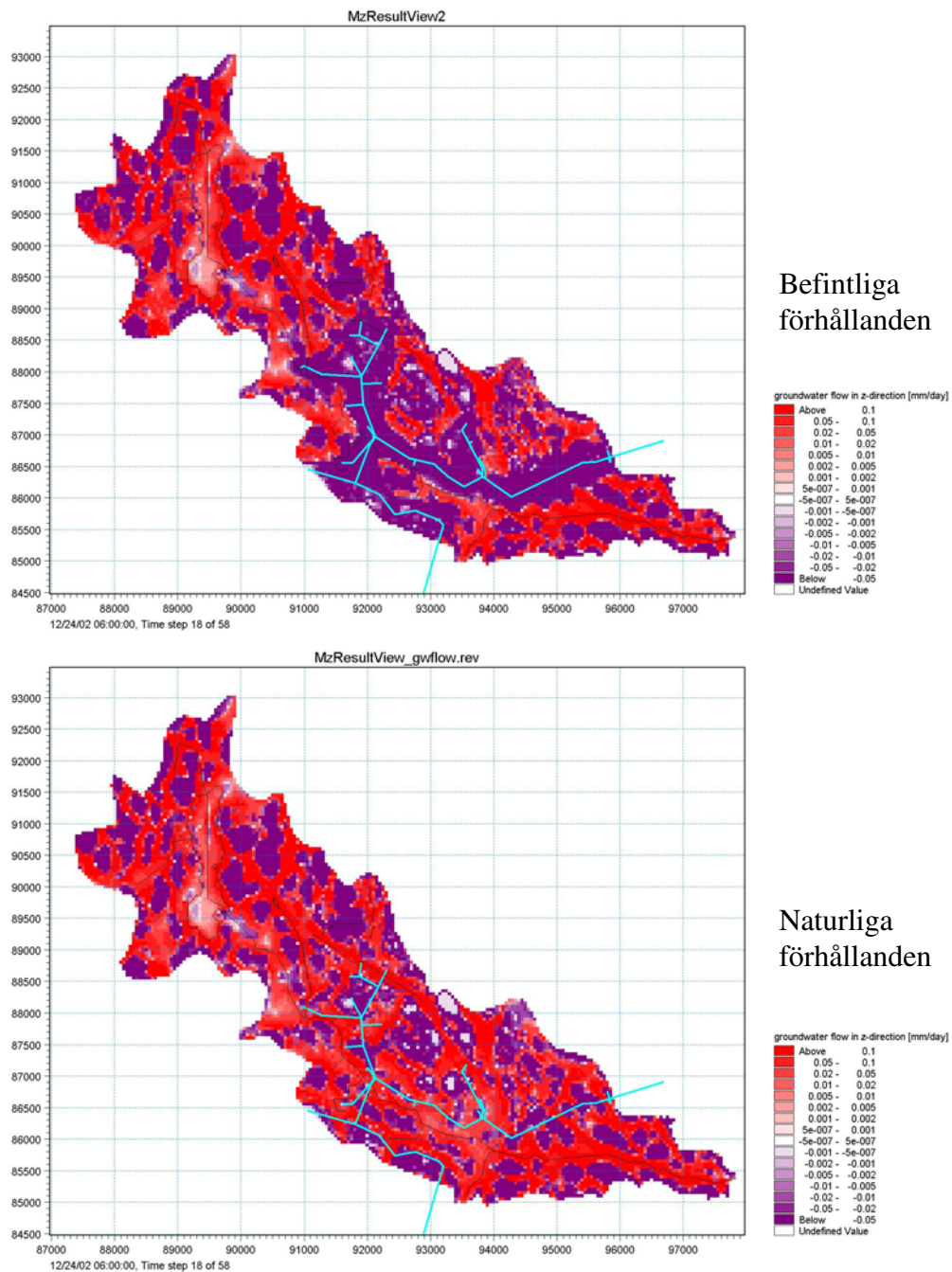
av Figur 6-3, som visar den beräknade förändringen av grundvattennivåer sommartid, om tunnlarna skulle tätas.

### ***Naturliga förhållanden, scenario 3***

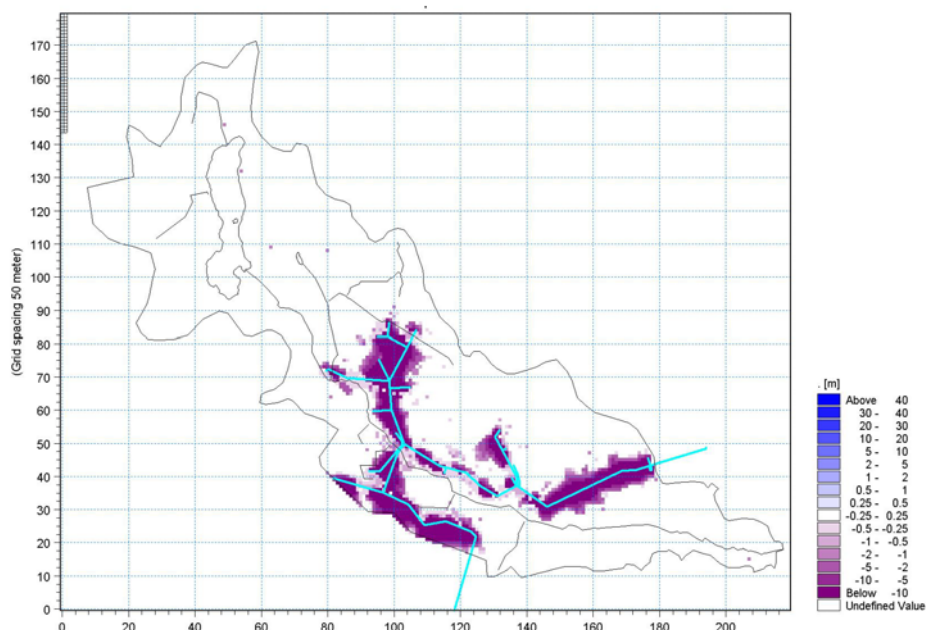
Vattenbalansen för de naturliga förhållandena (nedre bilden i Figur 6-1) kastar omkull misstankarna om att tunnlarna skulle vara en bidragande orsak till den låga vattenföringen i Igelbäcken. Det är visserligen sant att tunnlarna dränerar området och sänker grundvattennivåerna i anslutning till tunnlarna (vilket ju visas av Figur 6-3). Men omvänt gäller ju att vid naturliga förhållanden skulle grundvattennivån höjas, både längs tunnlarna och i området som helhet, på grund av en större vattentillförsel där dagvattnet nu transporteras bort. Detta innebär visserligen att långa sträckor av Igelbäcken, som nu beter sig som inströmningsområden till följd av tunneln, förändras till utströmningsområden, se Figur 6-2, som rimligen då borde resultera i en ökad avrinning till Igelbäcken. Så blir det också. Flödesvolymen i Igelbäcken beräknas öka från 2,17 till 2,49 Mm<sup>3</sup>/år, dvs. en ökning med ca 15 %. Men av den potential som ligger i dagens tunnelflöde på ca 1,7 Mm<sup>3</sup>/år, avdunstar större delen (ca 70 %), just till följd av de förhöjda grundvattennivåerna vid naturliga förhållanden.



Figur 6-1 Beräknad vattenbalans för de tre beräkningsfallen. Medelvolymer i Mm<sup>3</sup>/år för perioden 2002 – 2005.



Figur 6-2 Beräknade områden med inströmning (lila) och utströmning (röda). Överst befintliga förhållanden. Nederst naturliga förhållanden. Resultat från december 2002. De blå linjerna visar läget för tunnarna.



Figur 6-3 Beräknad höjning av grundvattennivåer sommartid, vid tätning av tunnlarna. De blå linjerna visar läget för tunnlarna.

## 6.2 Flödesförhållanden

Endast två scenarier har studerats med den hydrauliska modellen, nämligen:

- Befintliga förhållanden.
- Alternativ reglering av Säbysjön

Beräkningarna har genomförts för perioden 2001 till 2006.

### *Befintliga förhållanden*

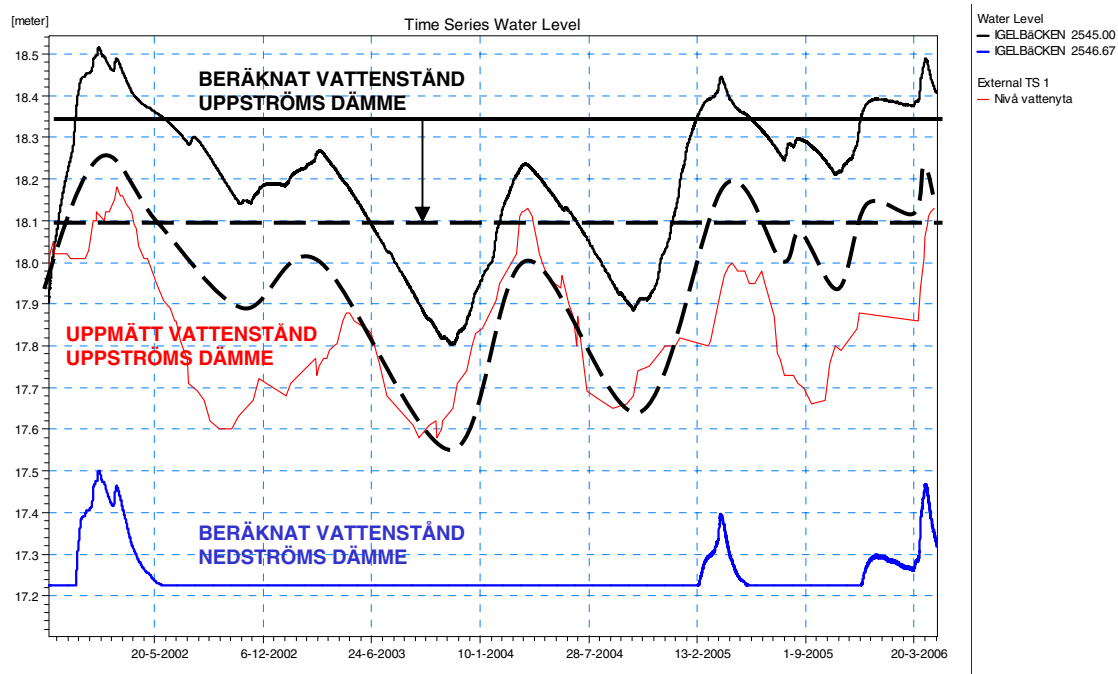
Flödesvariationen i Igelbäcken är mycket stor. Vid Igelbäckens passage förbi Kymplingelänken noteras toppflöden under studerad period på nära 600 l/s, medan sommarflödena ofta går ner under 10 l/s, se Figur 6-6 (röd kurva). Ca en tredjedel av detta flöde kan härledas till Säbysjöns tillrinningsområde, se Figur 6-5 (svart kurva).

### *Alternativ reglering av Säbysjön*

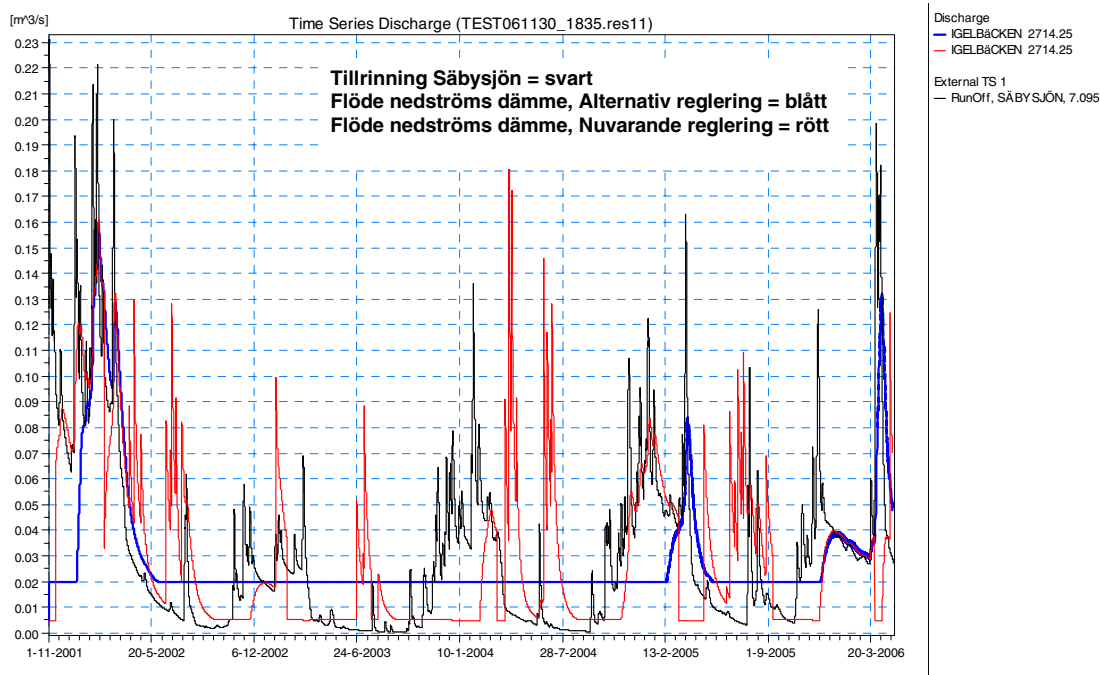
Syftet med en alternativ reglering vid Säbysjön är att skapa ett jämnare utflöde, jämfört med dagens situation. Tekniskt kan detta t.ex. åstadkommas med hjälp av en flödesregulator (av typ "hydrobrake"). Flödesregulatorer finns framtagna för olika önskade flöden, som då endast marginellt påverkas av nivån uppströms. I det aktuella fallet har ett flöde på 20 l/s testats vid beräkningen. För att begränsa maxnivån i sjön under extrema blötperioder, byggdes även ett överfall in i modellen, med samma bredd som dagens två sättfack tillsammans. Två alternativa överfallsnivåer testades: nivån +18,35 respektive +18,10 meter över Stockholms nollplan.

Resultaten av beräkningarna visas i Figur 6-4 till Figur 6-6. I Figur 6-4 visas nivåförhållandena vid Säbysjön. Den alternativa regleringen ger som synes ungefär samma nivåfluktuation i sjön som med dagens reglering, och med överfallsnivån på +18,10 (streck-

ade linjer) erhålls i princip samma fluktuation som den uppmätta (röd linje). Det nya överfallet skulle enligt beräkningarna vara i drift under våren 2002, våren 2005 och vintern/våren 2006 (blå linje i figuren). Under övriga perioder skulle utflödet från sjön ligga på konstant 20 l/s. Detta kan jämföras med dagens situation, se Figur 6-5, där beräknat utflöde från sjön visas för dagens reglering (röd linje) och den alternativa (blå linje).



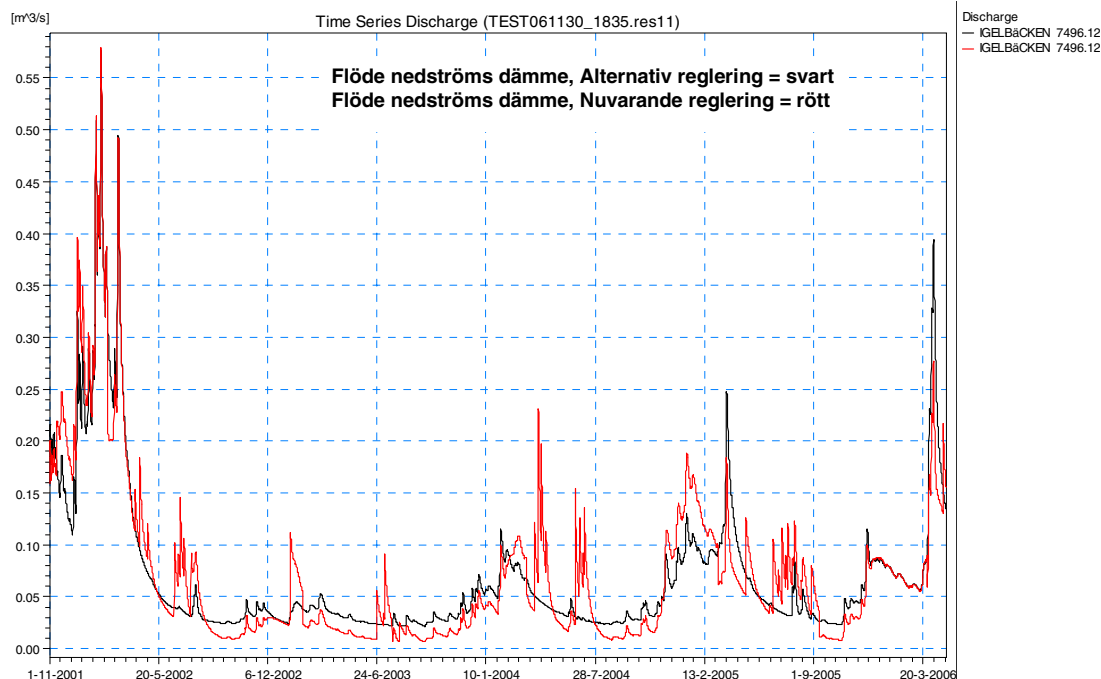
Figur 6-4 Nivåförhållanden vid Säbysjön, dels uppmätta (röda kurvan) och dels beräknade med alternativ reglering (svarta kurvor). De svarta kurvorna visar beräknade sjönivåer vid två alternativa överfallsnivåer (de raka linjerna på nivåerna +18.35 resp +18.10). Alternativet på +18.10 ger en nivåvariation i sjön (svart streckad) jämförbar med uppmätt (röd).



Figur 6-5 Beräknade flöden till och ut från Säbysjön.



I Figur 6-6 visas också den beräknade förändringen i flöden lite längre ner längs Igelbäcken, strax uppströms Kymplingelänken. Som synes resulterar den alternativa flödesregleringen vid Säbysjön i ett jämnare flöde även här, och framförallt då ett högre flöde under sommaren. Dagens lågflöden på ca 5-10 l/s höjs med den alternativa regleringen enligt beräkningarna till ca 25-30 l/s.



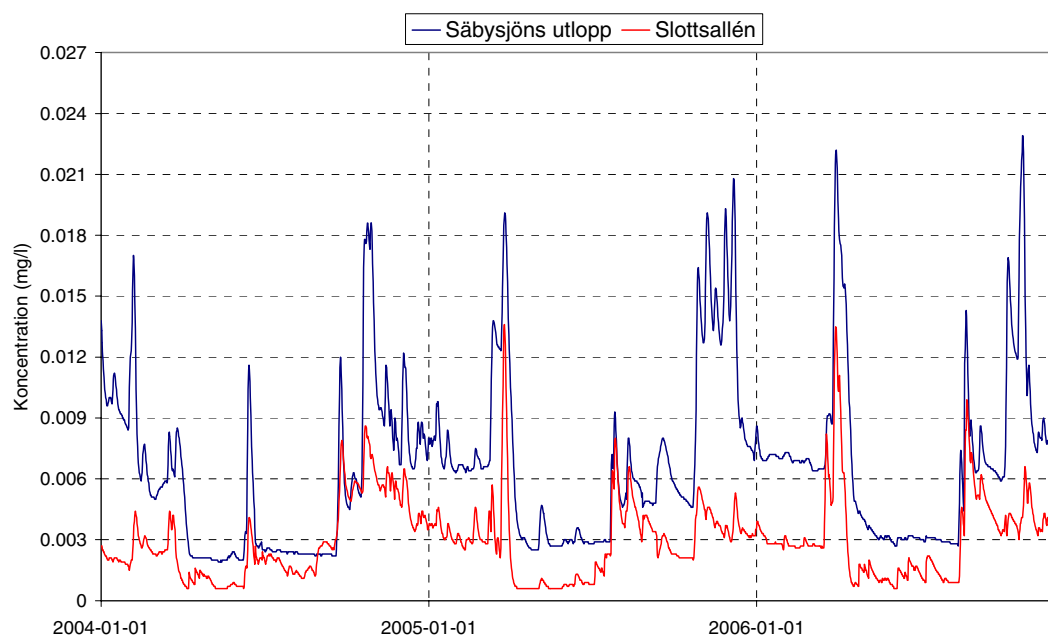
Figur 6-6 Flöde i Igelbäcken strax uppströms Kymplingelänken.

### 6.3 Vattenkvalitetsförhållande

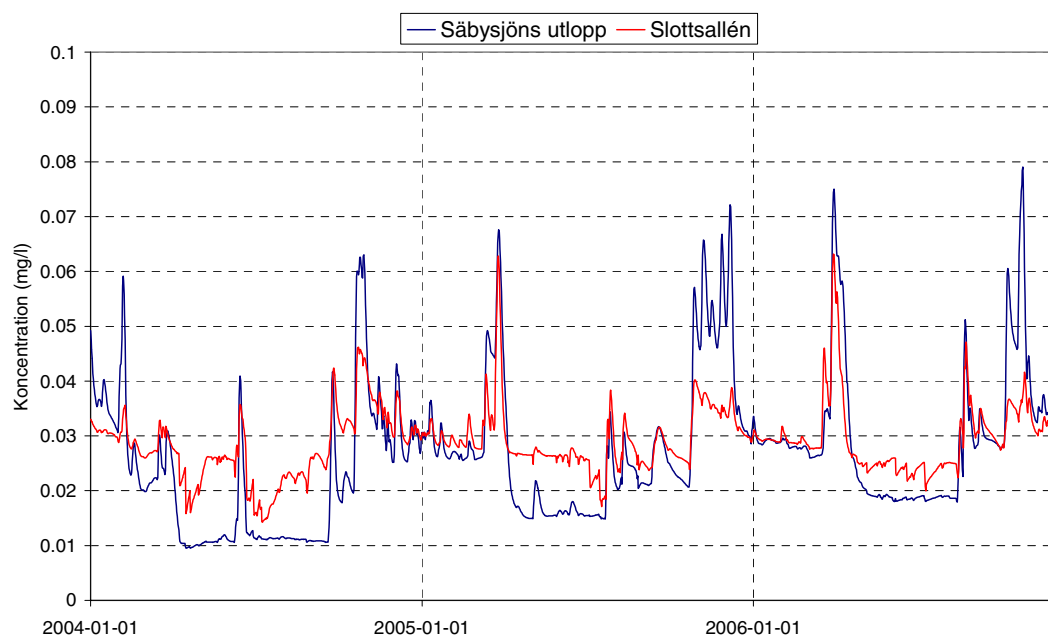
Beräkningar med vattenkvalitetsmodellen har genomförts för perioden 2004 – 2006. I Figur 6-7 till Figur 6-10 visas beräknade koncentrationer för denna period, för de studerade komponenterna. Resultat visas nedströms Säbysjöns utlopp och nära Igelbäckens utlopp (vid Slottsallén). I Figur 6-11 visas dessutom beräknat flöde för samma period i de två punkterna.

För koppar sker en generell utspädning från Säbysjöns utlopp ner till utloppet i Edsviken. För fosfor sker enligt beräkningen främst en utjämning längs bäcken. För ammoniumkväve och nitratkväve däremot, sker en relativt kraftig förhöjning av halterna ner till bäckens utlopp, till följd av större masstillflöden av kväve.

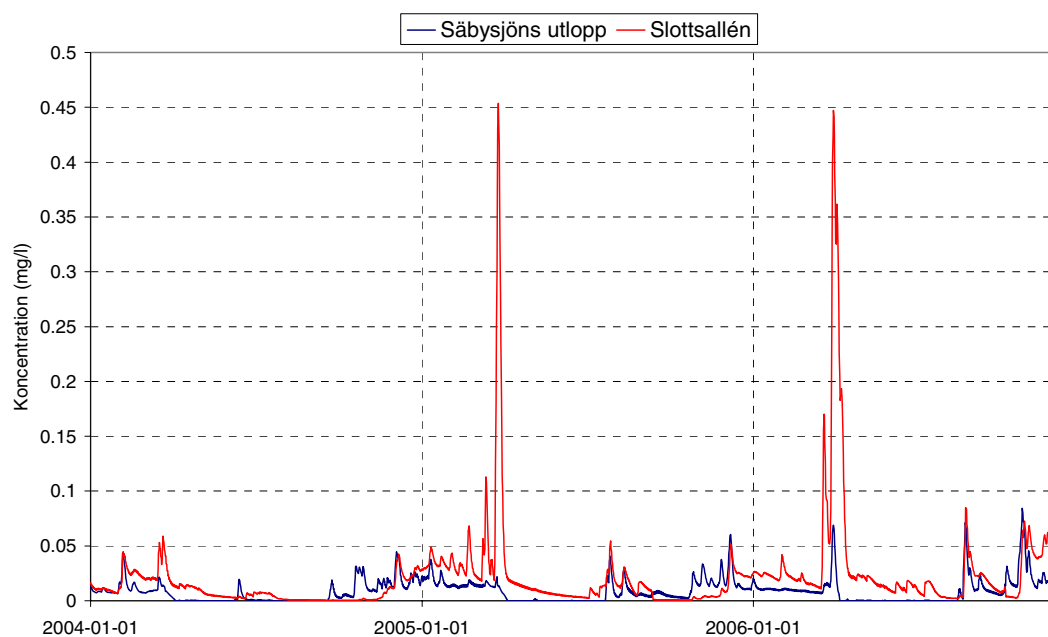
Av resultaten framgår också att tidsvariationen för beräknade koncentrationer generellt är ganska stor. De tre åren innehåller annars ganska likartad variation, förutom för kväve (speciellt ammoniumkväve), där två kraftiga toppar utmärker sig vid Slottsallén. De två topparna finns även med i övriga komponenter, men inte lika utmärkande. Orsakerna till dessa återfinns i flödet, se Figur 6-11. Båda topparna är orsakade av kraftig avrinning i samband med snösmältning.



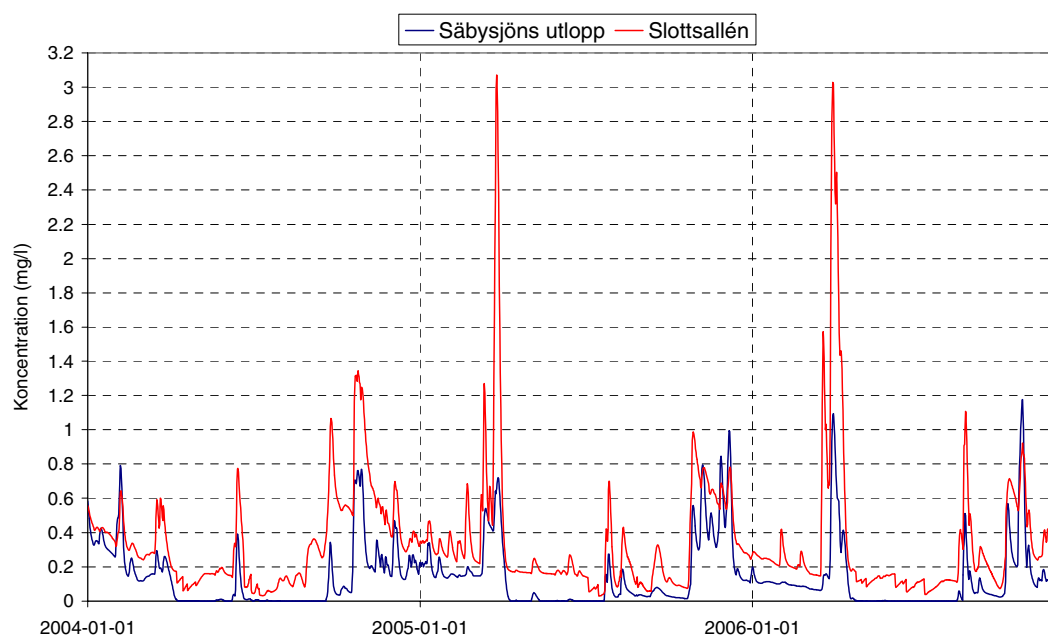
Figur 6-7 Beräknad koncentration koppar vid Säbysjöns utlopp och Slottsallén.



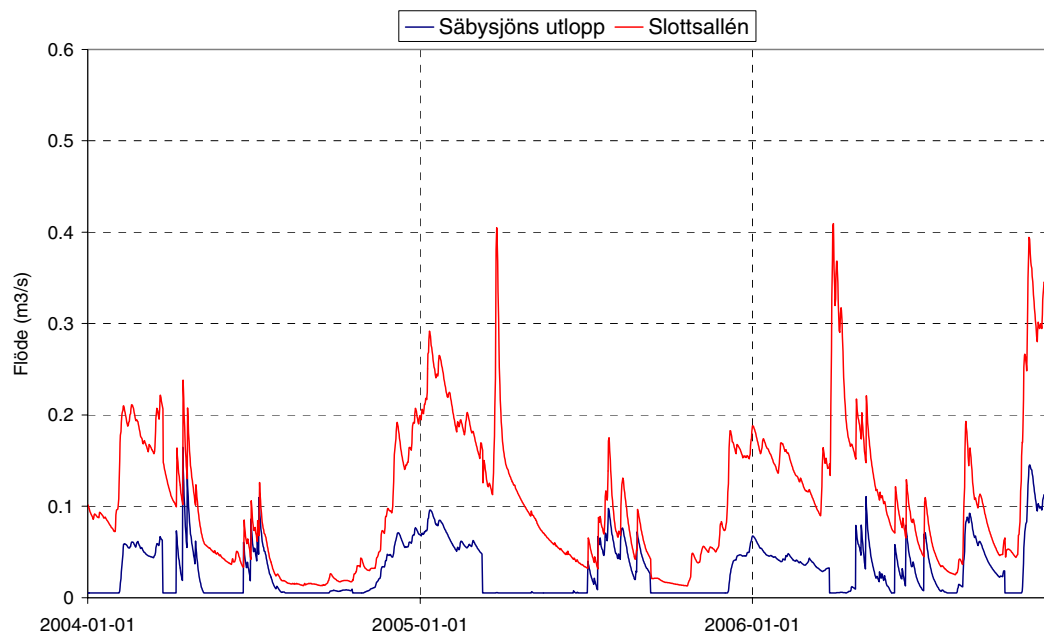
Figur 6-8 Beräknad koncentration totalfosfor vid Säbysjöns utlopp och Slottsallén.



Figur 6-9 Beräknad koncentration ammoniumkväve vid Säbysjöns utlopp och Slottsallén.



Figur 6-10 Beräknad koncentration nitratkväve vid Säbysjöns utlopp och Slottsallén.



Figur 6-11 Beräknat flöde vid Säbysjöns utlopp och Slottsallén.

Med utgångspunkt från beräknade flöden och koncentrationer ovan har även massflöden beräknats för åren 2004 – 2006, för de studerade komponenterna, vid de olika provtagningspunkterna längs bäcken. Dessa redovisas i Tabell 6-1. I Figur 6-12 visas läget för de olika punkterna.



Figur 6-12 Provtagningspunkter i Igelbäcken som studerats.

Transporten av koppar och fosfor har beräknats rent konservativt, dvs. beräknade värden i tabellen är endast ett resultat av ansatta massflöden från delområden, beräknad

flödesvariation samt utjämning och utspädning i bäcken. För kvävefraktionerna ingår däremot relevanta nedbrytnings- och omvandlingsprocesser (såsom t ex nitrifikation och denitrifikation), vilket i stor utsträckning påverkar massflödena för kväve.

*Tabell 6-1 Beräknad massa (medelvärde för 2004 – 2006) vid de olika mätpunkterna. Procentsiffra relaterar till massa vid Slottsallén.*

|                         | <b>Ammonium<br/>(kg/år)</b> | <b>Nitrat<br/>(kg/år)</b> | <b>Koppar<br/>(kg/år)</b> | <b>Totalfosfor<br/>(kg/år)</b> | <b>Volym<br/>(tm<sup>3</sup>/år)</b> |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Säbysjöns utlopp</b> | <u>12</u><br>8 %            | <u>120</u><br>8 %         | <u>6,2</u><br>53 %        | <u>25,3</u><br>25 %            | <u>940</u><br>28 %                   |
| <b>Akallavägen</b>      | <u>50</u><br>35 %           | <u>290</u><br>20 %        | <u>6,7</u><br>57 %        | <u>36,4</u><br>35 %            | <u>1540</u><br>46 %                  |
| <b>Kymlingelänken</b>   | <u>157</u><br>110 %         | <u>1180</u><br>80 %       | <u>10,4</u><br>89 %       | <u>76,1</u><br>74 %            | <u>2530</u><br>76 %                  |
| <b>Före Mariedal</b>    | <u>168</u><br>118 %         | <u>1460</u><br>99 %       | <u>11,5</u><br>98 %       | <u>100</u><br>97 %             | <u>3250</u><br>97 %                  |
| <b>Slottsallén</b>      | <u>143</u><br>100 %         | <u>1470</u><br>100 %      | <u>11,7</u><br>100 %      | <u>103</u><br>100 %            | <u>3350</u><br>100 %                 |

Som ses av Tabell 6-1, följer beräknad fosformängd ungefär samma tillskottsmönster som flödet. I och med att fosfor beräknats konservativt, utan ingående processer, innebär detta helt enkelt att fosforkällorna är ganska jämnt fördelade längs Igelbäcken. Det faktum att modellen underskattar koncentrationerna av fosfor vid Säbysjöns utlopp (se kapitel 5.3), och konsekvenserna av detta, diskuteras vidare i kapitel 7.2.

För beräknad kopparmängd ses ett förhållandevis högre tillskott, jämfört med flödet, i de övre delarna, och då speciellt vid Säbysjön. Då även koppar beräknats konservativt, innebär detta att källorna till koppar, inom Säbysjöns avrinningsområde, sannolikt är förhållandevis större, än i nedströmsdelarna av Igelbäcken. Detta beror med all sannolikhet på de dagvattenytor som belastar modellen i dessa delar. Modellen överskattar dock koncentrationerna av koppar vid Säbysjöns utlopp, se kapitel 5.3. Detta diskuteras vidare i kapitel 7.2.

För kvävefraktionerna ses det motsatta förhållandet, med ett förhållandevis litet tillskott från de övre delarna av systemet. På sträckan från Akallavägen till Kymlingelänken ökar å andra sidan tillskotten mycket drastiskt. Detta är speciellt anmärkningsvärt för ammoniumkväve. Intressant att notera är att ammoniumkväve här ökar till ett massflöde som överstiger det som beräknas vid utloppet längre nedströms. I de nedre delarna ses alltså effekten av omvandling av ammoniumkväve. Detta fenomen syns också i uppmätta koncentrationer, se vidare diskussion i kapitel 7.2.

---

## 7 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Ett antal förutsättningar är viktiga för att resultaten vid datormodellering skall bli användbara i praktiken. Först och främst måste de valda modellverktygen vara anpassade för de frågor och förändringar som skall studeras. Vidare måste det finnas fysisk och geografisk indata av tillräckligt hög noggrannhet och avslutningsvis måste det finnas uppmätta tidsserier att tillgå för verifiering av modellen. I detta projekt har förutsättningarna ovan uppfyllts genom att använda väletablerade programverktyg från DHI Software, genom inmätningar av vattendragets geometri samt genom ett relativt omfattande mätprogram där högupplöst flödes- och nivådata i Igelbäcken tagits fram.

Det är också dessa förutsättningar som har möjliggjort att både den hydrologiska modellen och den upprättade hydrauliska modellen har kunnat kalibreras med god överensstämmelse mellan uppmätta och beräknade värden för flöden och nivåer (se kapitel 5.1 och 5.2). Detta har varit särskilt viktigt i detta projekt eftersom modellen för beräkning av föroreningsbelastning och vattenkvalitet bygger just på den hydrauliska modellen. En förutsättning för att kunna modellera vattenkvaliteten är att flödesvariationen är korrekt beskriven.

Beskrivningen av föroreningstransport och vattenkvalitet med avseende på fosfor skulle dock gynnas av ett mer detaljerat underlag avseende förloppen i Säbysjön och dess utlopp. En fördjupad provtagning, gärna med automatisk provtagare, under kontrollerade reglerings- och flödesförhållanden vid Säbysjön, skulle vara mycket värdefull. Det skulle då vara möjligt att förfina beskrivningen av processerna, och samtidigt kunna bedöma fosforbelastningen på sjön på ett bättre sätt.

Sammanfattningsvis ger de framtagna modellerna en ökad kunskap och förståelse av hur Igelbäckens avrinningsområde fungerar hydrologiskt, och i stor utsträckning också föroreningsmässigt. Vidare har modellerna visat sig vara viktiga verktyg för att beskriva områdets nuvarande situation och för att utvärdera olika framtida scenarier. I det följande diskuteras resultaten av beräkningarna och slutsatser från modellanvändningen lyfts fram.

### 7.1 Hydrologiska förhållanden

Av beräkningarna framgår att avrinningsområdet naturligt har en låg avrinning, mindre än 15 % av nederbörden, till följd av kraftig avdunstning från blöta områden och vattenhållande lerrika jordlager. Exploateringen inom området, tillsammans med inverkan från tunnlar, innebär att flödet successivt minskat med uppskattningsvis 15 %, vilket möjligen är mindre än vad man befarat.

Flödesvariationen är mycket kraftig i bäcken, med lågvattenflöden på bara några procent av årliga toppflöden. I dagslägen sker en mycket liten utjämning av flödet genom Säbysjön, vars tillrinning är nära en tredjedel av hela utflödet. Bedömningen är alltså att utflödet från Säbysjön innehar ungefär samma flödesspann som Säbysjöns tillrinning.

---

För regleringen av Säbysjön finns en gällande vattendom från 1995-12-06. Här framgår bl.a. att:

- Vattenståndet får inte överstiga nivån +18,40 möh. Ej heller understiga nivån +17,60 möh. Vid regleringen skall dessutom önskvärda vattenståndsvariationer, enligt domstolsbilaga, eftersträvas.
- Vattenföringen omedelbart nedströms dammen får, med beaktande av punkten ovan, inte understiga 5 l/s så länge vatten finns att tillgå omedelbart uppströms dammen.

De tester som gjorts med alternativ flödesreglering av Säbysjön visar med all tydlighet att det är möjligt att åstadkomma ett mycket jämnare utflöde än dagens situation, och samtidigt inte frånga gällande vattendom, se Figur 6-4. Dagens nivåfluktuationer i sjön bedöms alltså kunna bevaras samtidigt som ett jämnare flöde ut från sjön skapas.

De låga flödena i Igelbäcken sommartid är en av nyckelfrågorna för Igelbäcken. Ett jämnare utflöde från Säbysjön innebär därför ett viktigt flödestillskott under torrperioder. Ett jämnare flöde ut från Säbysjön har också sannolikt en positiv inverkan på föroreningstransporten ut från sjön. I dagsläget kan flödet variera mycket kraftigt ut från sjön, och den provtagning som sker nedströms utloppet indikerar också relativt kraftiga variationer, liksom beräkningarna, se kapitel 6.3.

## 7.2 Vattenkvalitetsförhållanden

Med vattenkvalitetsmodellen ges möjlighet att översiktligt beskriva föroreningsbelastningen till Igelbäcken. Att kunna visa hur mycket föroreningar som genereras inom varje delavrinningsområde och hur den relativa fördelningen ser ut för hela Igelbäcken är viktiga användningsområden för modellen. Förutom den rumsliga fördelningen kan modellen också redovisa hur föroreningsmängderna varierar över tiden och olika säsongsberoende fenomen kan studeras.

Men den upprättade modellen är en grov förenkling av verkligheten, både vad gäller massflöden fram till bäcken och koncentrationer i bäcken. Sedimentation, resuspension, nedbrytning av icke konservativa ämnen, speciering (partikelbundet resp. löst fas), inverkan av vegetation är några av de processer/faktorer som bidrar till svårigheten att beskriva vattenkvaliteten i ett vattendrag. Dessa svårigheter bekräftas av beräkningarna som utförts för att beskriva hur vattenkvaliteten varierar i Igelbäcken, se bl.a. nedan. I detta sammanhang skall dock nämnas att mätningarna som modellen jämförs med är rena stickprov. Det krävs egentligen högre tidsupplösning på mätdata för att modellens dynamik, och den verkliga, ska kunna innefattas av mätningarna.

I detta projekt har modellen för vattenkvalitet i Igelbäcken jämförts med uppmätt data från fem mätpunkter längs bäcken med 12 provtagningar under 2006. Denna begränsning utgör en del av svårigheten att göra långtgående tolkningar av modellresultaten. Med kunskap om de begränsningar som modellbeskrivningen innehåller, och förståelse för innebörden av ett begränsat antal stickprov, kan ändå en hel del intressanta tolkningar göras genom att jämföra beräknade och uppmätta koncentrationer.

Av resultaten framgår också att tidsvariationen för beräknade koncentrationer generellt är ganska stor. De är anmärkningsvärt stora redan vid Säbysjöns utlopp, trots den dämpande effekt sjön rimligen borde ha. Orsaken till detta kan till stor del sannolikt tillskri-



---

vas regleringen av sjön, som med nuvarande hantering i vissa fall skapar stora momentana flödesförändringar, se Figur 6-11. En regleringsstrategi vid Säbysjöns utlopp som i större omfattning riktar in sig på ett jämnare utflöde, och framförallt då en ökad lågvattenföring, skulle med största sannolikhet gynna de ekologiska förhållandena i hela Igelbäcken.

### 7.2.1 Koppar

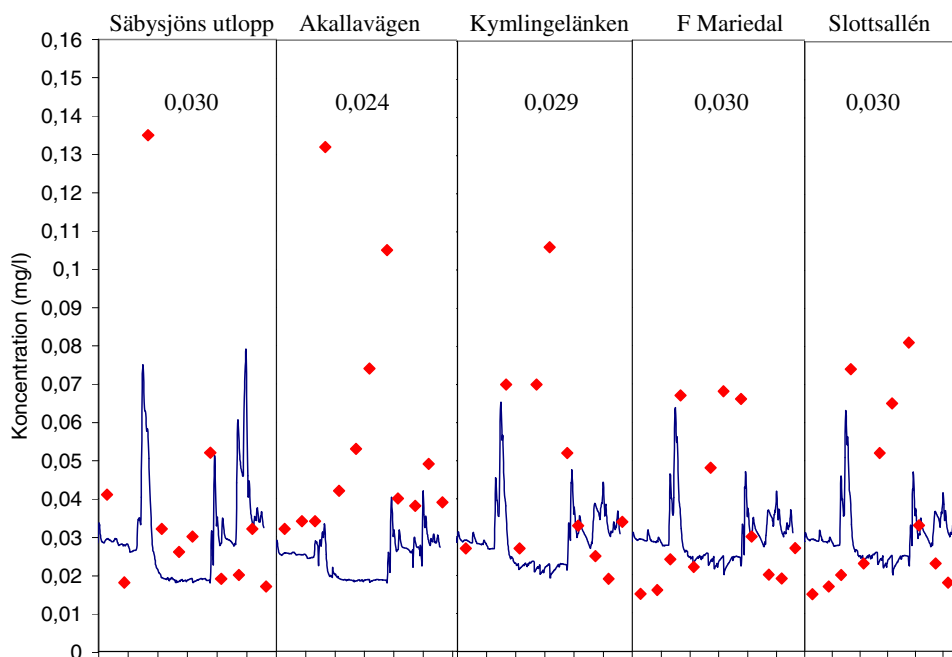
Beräkningarna uppvisar stora tillskott av koppar till Säbysjön. Enligt de förorenings-schabloner som använts, bidrar vägdagvatten med de största koppartillskotten. Enligt tillgänglig markanvändning härrör ca 40 % av vägdagvattnet inom avrinningsområdet från delområdet uppströms Säbysjön. Detta förklarar den stora kopparbelastningen till sjön enligt beräkningarna.

Vid en jämförelse med uppmätta koncentrationer vid Säbysjöns utlopp, ger modellen ca dubbelt så höga värden som de uppmätta. Med största sannolikhet sker en avskiljning av koppar i sjön, och det är inte osannolikt att denna avskiljning kan vara så mycket som 50 % med tanke på sjöns stora yta. Men det finns också en uppenbar risk att beräknad kopparbelastning till sjön är överskattad. Stora delar av vägnätet inom delområdet kan misstänkas vara grusvägar, där vägdagvattnet inte avleds direkt till sjön via ledningar, utan istället via diken, eller kanske till och med bara tillåts infiltrera. En noggrannare lokal bedömning, och eventuell fältinventering, krävs för att klarlägga detta. Sedimentprovtagning i sjön skulle också ge värdefull information om sjöns avskiljningsfunktion.

### 7.2.2 Fosfor

I Figur 7-1 visas beräknade och uppmätta koncentrationer av totalfosfor under 2006 i några av provtagningspunkterna längs bäcken. Av beräkningarna ses även här, likt resonemanget kring Tabell 6-1, att fosforkällorna i modellen är relativt jämnt spridda längs med hela vattendraget. Här ses det genom att koncentrationen av totalfosfor förefaller ligga relativt konstant längs bäcken, med ungefär samma medelkoncentration i de olika punkterna.

Men, då man jämför med uppmätta koncentrationer, finner man bl.a. att modellen verkar underskatta koncentrationerna vid Säbysjöns utlopp. En tänkbar anledning till detta är läckage från bottensediment i sjön, vilket inte inkluderats i modellbeskrivningen. Om hela avviken mellan beräknade och uppmätta koncentrationer förklaras med detta, krävs uppskattningsvis ett läckage av fosfor från sjön på ca 15 kg/år. Kontrollerad provtagning vid sjöns utlopp och sedimentprovtagning krävs för att komma till klarhet med detta.



Figur 7-1 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration totalfosfor för fem punkter längs Igelbäcken under 2006. Siffrorna avser beräknad medelkoncentration i respektive mätpunkt.

Ännu tydligare är att modellen längs hela vattendraget underskattar koncentrationerna sommartid, främst juni-juli. Att just dessa månader underskattas, då markavrinningen är låg, och flödet främst består av basflöde, indikerar att ansatta basflödeskoncentrationer kan vara för låga för fosfor (se Tabell 5-5).

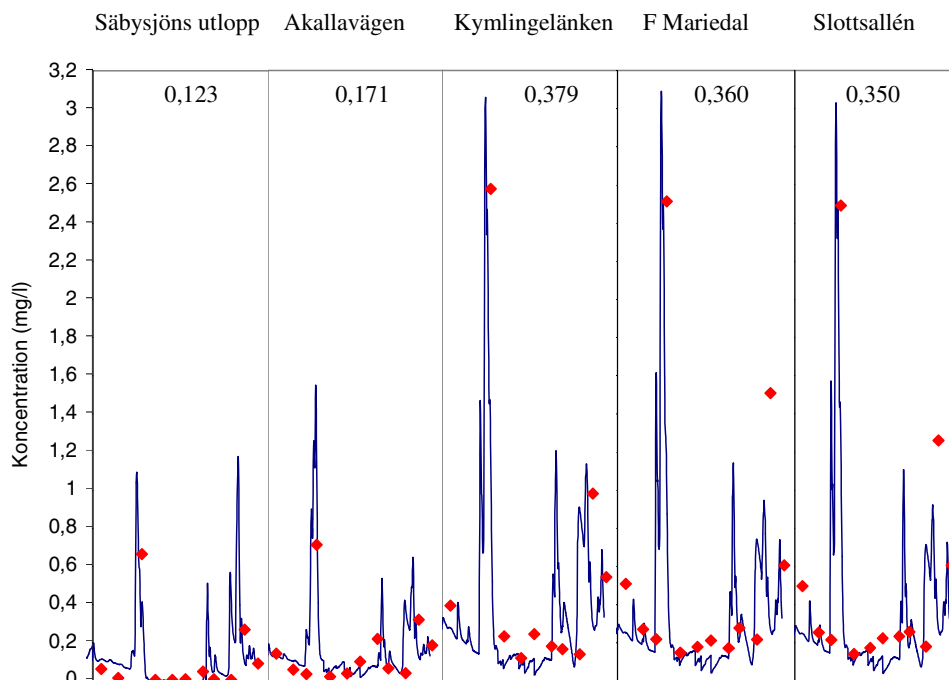
Uppmätta koncentrationer visar också på en kraftig förhöjning mellan Säbysjön och Akallavägen, vartefter en sjunkande trend kan ses. Detta mönster uppvisas inte av modellen. Orsakerna till detta är fortfarande okända. Då provtagningen vid Akallavägen sker uppströms Djupanbäckens tillflöde, kan detta tillflöde inte förklara förhöjningen. Inom det område som avrinner via Djupanbäcken ligger dock huvuddelen av djurhållningen, som sannolikt bidrar med en stor del av fosforbelastningen. Avrinningsförhållanden från dessa områden kan vara diffusa och delvis bidra med massflöde direkt till Igelbäcken, uppströms Djupanbäckens egentliga tillflöde. En mer detaljerad fältinventering krävs för att klarlägga detta.

Längs bäcken sker sannolikt en viss sedimentation, med avskiljning av partikulärt fosfor som följd, särskilt i den nedre flackare halvan, ca 1.5 km uppströms respektive nedströms Kymlingelänken. Att uppmätta halter visar en sjunkande trend längs denna sträcka, styrker denna hypotes. Denna process har inte inkluderats i modellen för Igelbäcken, men det är möjligt att bygga på med denna funktion.

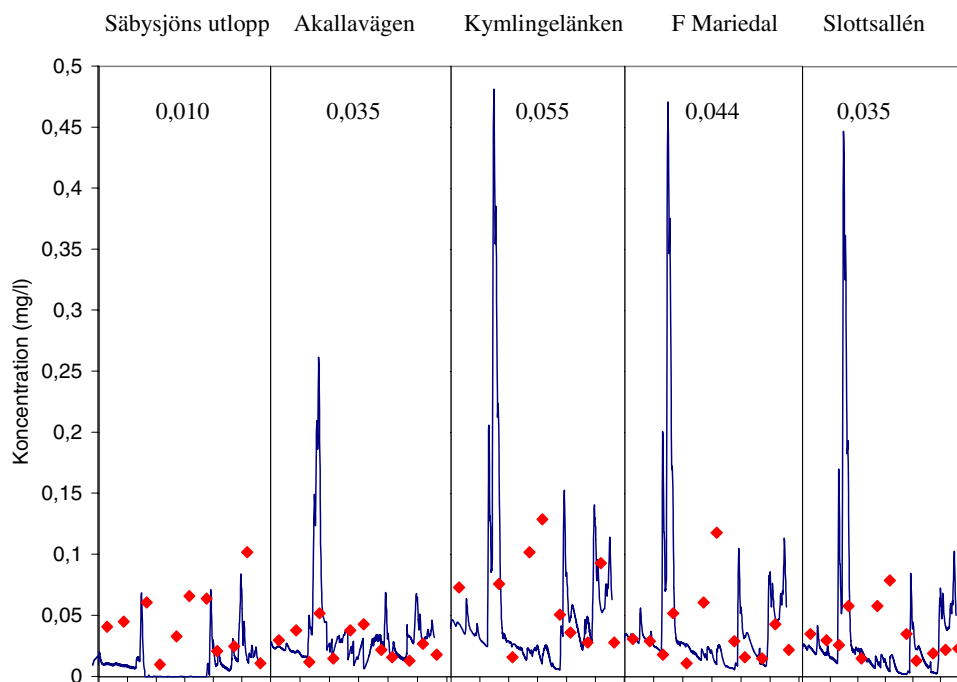
### 7.2.3 Kväve

I Figur 7-2 och Figur 7-3 visas beräknade och uppmätta koncentrationer av nitratkväve respektive ammoniumkväve under 2006 i några av provtagningspunkterna längs bäcken. Av beräkningarna ses även här, likt resonemanget kring Tabell 6-1, att kvävetillskottet (ammonium och nitrat) huvudsakligen är koncentrerade till sträckan mellan Akallavägen och Kymlingelänken. Längs denna sträcka ligger huvuddelen odlad mark. Model-

len klarar här av att beskriva förändringarna både i tid och rum på ett relativt tillfredsställande sätt, både ökningen fram till Kymplingelänken och de minskande halterna vidare mot utloppet. Speciellt halterna för nitratkväve fångas väl av beräkningen. Vid Säbysjön ligger modellen dock lite lågt för ammonium, och även här, likt fosfor, underskattas sommarhalterna för ammonium.



Figur 7-2 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration nitratkväve för fem punkter längs Igelbäcken under 2006. Siffrorna avser beräknad medelkoncentration i respektive mätpunkt.



Figur 7-3 Beräknad (blå linje) och uppmätt (röda punkter) koncentration ammoniumkväve för fem punkter längs Igelbäcken under 2006. Siffrorna avser beräknad medelkoncentration i respektive mätpunkt.

---

## 8 FRAMTIDA ANVÄNDNING AV MODELLERNA

Modellerna representerar dagens situation, eller rättare sagt den situation som rådde sommaren 2006. Simulering av olika scenarier, åtgärder eller exploateringsalternativ, kan alltså ställas mot denna referenssituation utan andra ingrepp i modellerna än just de som krävs för att beskriva scenariot. Till modellerna finns färdiga regnserier som använts och det rekommenderas att dessa används i första hand, då de anpassats och korrigerats för mätfel med hänsyn till vind etc. Om dessa serier förlängs, eller andra regnserier används, är det viktigt att rådata korrigeras för denna typ av volymsfel, annars kommer flöden och avrinningsvolymer att underskattas av modellerna.

I takt med att tiden går kommer systemet och avrinningsområdet att förändras. Förändringarna kan bestå av planerade ingrepp och förändringar, vilka ofta relativt enkelt kan inkluderas i modellen som en uppdatering, just för att förändringen är känd. Men förändringarna kan också bestå av okända ingrepp eller naturliga förändringar, t ex till följd av sedimentation/erosion. Denna typ av förändringar är svårare att inkludera i modellen och kräver ofta avstämning (omkalibrering) mot nya mätningar. Det rekommenderas därför att detta sker med ett visst återkommande intervall. Gärna med stöd av kontinuerlig flödes- och nivåmätning i några prioriterade punkter, t ex Säbysjöns nivå och sjöns utflöde, samt utflöde till Edsviken. Vid Ulriksdal finns kontinuerlig flödes- och nivåmätning. Risken för att modell och verklighet successivt glider isär är annars uppenbar.

Modellerna i kombination med den framtagna Geodatabasen ska ses som viktiga komponenter i ett informationssystem för vattenplanering av Igelbäcken. Modellresultat och vissa delar av innehållet i Geodatabasen kan publiceras på Internet och på så sätt göras tillgängligt för andra kommuner och allmänheten. Detta bör då samordnas med Igelbäcksguppen.

Vidare är modellerna viktiga som dynamiska planeringsverktyg för simulering av olika framtida scenarier.

I Tabell 8-1 görs en sammanställning av de framtagna modellerna som visar tillhörande modellsystem och användningsområde.

I modellen för vattenbalansberäkningar och geohydrologi utgör modellsystemet MIKE SHE grunden. Detta kompletteras med MOUSE för beräkning av flöden i tunnlar och MIKE11 HD för hydraulisk modellering av själva vattendraget. Vattendragsmodellen i MIKE11 HD används också som grundmodell då vattenkvaliteten skall modelleras. Avrinningen från delområden modelleras då med det lite enklare systemet MIKE11 NAM, som tillsammans med LOAD Calculator ger massflödena av olika ämnen till vattendraget. Föroreningstransporten i vattendraget, och eventuella vattenkvalitetsprocesser, hanteras sedan av MIKE11 AD och ECOLab. En mer detaljerad beskrivning av modellerna finns att tillgå på Internet: <http://www.dhigroup.com/Software/>.

Tabell 8-1 Översikt av modellerna och deras användningsområde.

|                             | Hydrologi                  | Hydrodynamik |         | Föroreningsbelastning      | Föroreningstransport |
|-----------------------------|----------------------------|--------------|---------|----------------------------|----------------------|
|                             | avrinning, avdunstning etc | vattendrag   | tunnlar | massflöden från delområden | vattendrag           |
| Vattenbalans & geohydrologi | MIKE SHE                   | MIKE11 HD*   | MOUSE   |                            |                      |
| Flöden & vattenkvalitet     | MIKE11 NAM                 | MIKE11 HD    |         | LOAD Calculator            | MIKE11 AD + ECOLab   |

\*) justerad för MIKE SHE koppling

Under projektiden har ett stort antal intressanta scenarier kommit upp, som av tidsskäl inte studerats inom ramen för det redovisade projektet. Nedan nämns några av dessa:

- Pumpning av vatten från Järvatunneln till bäcken, t.ex. via avskiljningsdammar
- Våtmark och dammar för avskiljning av föroreningar i olika tillflöden. Följande har diskuterats under projektet:
  - Våtmark för dagvatten från Järva friområde ("Skogvaktarkärret")
  - Damm längs diken söder om Hästa gård ("Hästa damm")
  - Våtmark i Solna
  - Generell hantering av vägdagvatten via dammar, vilket ger såväl utjämning som avskiljning
- Framtida exploatering, inkl projekt E18, med alternativ hantering av dagvattnet:
  - Direktavledning till tunnel
  - Direktavledning till bäcken
  - Avledning till bäcken via dammar/våtmarker

Denna lista utgör bra exempel på den typ av beräkningar och studier som de etablerade modellerna kan användas till

---

## 9 REFERENSER

- /1/. Kuylenstierna, J. 1991. Hydrologisk undersökning av Igelbäcken. Examensarbete på geovetarlinjen, Stockholms Universitet. Naturgeografiska Institutionen; Länsstyrelsen i Stockholms län, Rapport 1991:2.
- /2/. Wijnbladh, E., Nilsson, D. 2001. Hydrologisk/Limnologisk/Ekologisk utredning av Igelbäcken. VBB VIAK, 2001-01-30.
- /3/. Lännergren, C. 2007. Provtagningar i Igelbäcken 2006. Stockholm Vatten AB, 2007-05-07.
- /4/. Vattenprogram för Stockholm 2000. Faktaunderlag Igelbäcken. Stockholm Stad.
- /5/. Schabloner, avrinning halter, fax från Stockholm Vatten, daterat 2006-06-03.
- /6/. Data för typområde jordbruksmark Stockholm. Internet: [www.scb.se](http://www.scb.se)
- /7/. Källkoncentrationer från Våtmarkscentrum, Halmstad.
- /8/. Vikström, M., Gustafsson, L-G., German, J & Svensson, G., 2004. Dagvattendamars avskiljningsförmåga – påverkande faktorer och metodik för bedömning. VA-FORSK Rapport. Nr 2004-11. Svenskt Vatten AB.
- /9/. Larm, T. (1994). Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling. VA-FORSK Rapport. Nr 1994-06. VAV.