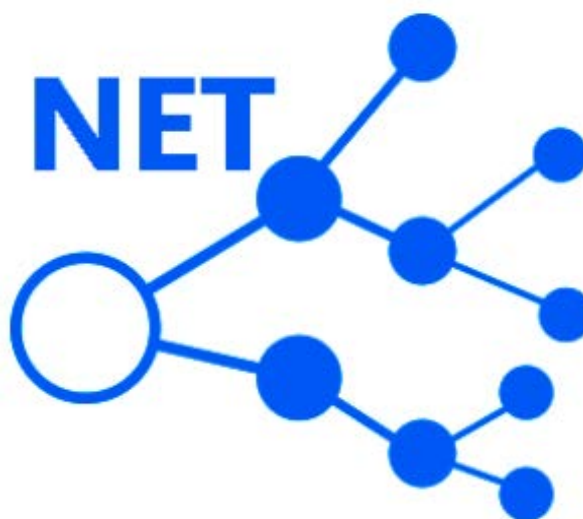


Uppehållstider i ytvatten i relation till vattenkvalitet

NET, ett generellt uppskalningsverktyg

Göran Lindström, Alena Bartosova, Niclas Hjerdt och Johan Strömqvist



HYDROLOGI Nr 119, 2017

Uppehållstider i ytvatten i relation till vattenkvalitet NET, ett generellt uppskalningsverktyg

Göran Lindström, Alena Bartosova, Niclas Hjerdt och Johan Strömqvist

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	3
1. BAKGRUND.....	3
2. SYFTE	3
3. METODIK OCH DATA.....	4
GENERALISERING TILL TYPHALTER.....	5
SUMMERING AV LÄCKAGET.....	5
TRANSPORT NEDSTRÖMS OCH PROCESSER I YTVATTNET	5
UPPEHÅLLSTIDER.....	7
UTVÄRDERINGSDATA.....	7
PUNKTKÄLLOR.....	8
KALIBRERING.....	8
UPPDATERING	8
4. RESULTAT OCH DISKUSSION	8
KVALITETSKONTROLL AV METALLDATA.....	8
VATTENFÖRING.....	9
VATTENHASTIGHET, UPPEHÅLLSTIDER, RINNTID OCH ÅLDER.....	10
VATTENKVALITET	12
5. SLUTSATSER	22
6. REKOMMENDATIONER FÖR FORTSATT ARBETE.....	22
7. REFERENSER	23
8. APPENDIX	25

Förord

Denna rapport beskriver ett generellt verktyg för uppskalning av vattenkvalitetsdata, kallat NET. Arbetet som beskrivs i rapporten har utförts vid SMHI:s hydrologiska forskningsenhet. Ekonomiskt stöd har erhållits från Naturvårdsverket (NV) och Havs- och vattenmyndigheten (HaV). Arbetet med metaller har gjorts på uppdrag av HaV. Från och med hösten 2016 finansierar Länsstyrelsen i Östergötland en tillämpning och vidareutveckling av NET inom projektet INSURE för delar av Motala ströms och Storåns avrinningsområden. Metalldata för utvärdering av NET sammanställdes av affärsområdet A vid SMHI. Ett stort tack riktas till alla som har bidragit till arbetet!

1. Bakgrund

NET är ett verktyg för uppskattning av vattenburen transport av olika ämnen i punkter där det saknas mätningar. Verktöget togs ursprungligen fram inom forskningsprogrammet "Climate change and the Environmental Objectives" (CLEO, Munthe et al., 2014 och 2016). Tanken är att NET ska vara generellt, och kunna användas för simulering av olika ämnen, men endast beräkna medelvärden över tiden av mängder och koncentrationer. Ofta är det mängder som är slutmålet för en beräkning, varför det i vissa situationer kan finnas mycket att vinna på att använda en enkel och snabb beräkningsmodell. Inom CLEO simulerades flöden av totalkväve, total-fosfor och totalt organiskt kol.

NET bygger på den hydrologiska modellen S-HYPE (Strömqvist et al., 2012). S-HYPE simulerar hydrologiska förhållanden för hela Sverige i hög rumslig upplösning (för närvarande ca 37000 områden). Modellen beräknar vattenföring, transport och omsättning av kväve och fosfor på dygnskala för hela Sverige. S-HYPE bygger i sin tur på den hydrologiska modellkoden HYPE (Lindström et al., 2010). Data från S-HYPE finns tillgängliga för användare via vattenwebb (<http://vattenwebb.smhi.se>).

NET påminner i sin nuvarande form om det scenarioverktyg som finns i vattenwebb (<http://vattenwebb.smhi.se/scenario>), men NET har inget användargränssnitt av den typ som scenarioverktyget har. Medan scenarioverktyget bygger på fasta retentioner för kväve och fosfor, som har beräknats med hjälp av S-HYPE, är NET tänkt för generella ämnen och beskriver retentionen på egen hand. NET kan alltså ses som en tänkt vidareutveckling av scenarioverktyget, där även simuleringsresultat från andra modeller skulle kunna skalas upp till hög rumslig upplösning. I CLEO användes bland annat läckagehalter av kväve och kol från COUP-modellen för uppskalning i NET. SMHI har efter CLEO-projektet vidareutvecklat NET i flera avseenden, och också testat att modellera transporten av metaller som stöd till arbetet med EU:s vattendirektiv. Vattnets uppehållstider i sjöar och vattendrag är nyckelfaktorer för förklaring av variationer i vattenkvalitet, se till exempel Hrachowitz (2016), och är centrala i NET. Grundläggande begrepp rörande uppehållstider beskrivs av till exempel Bolin och Rodhe (1972). En annan viktig grundpelare för beräkningarna i NET är information om avrinningsområdets karaktäristik; hur olika delar av landskapet hänger samman hydrologiskt och bidrar med olika vattenflöden.

2. Syfte

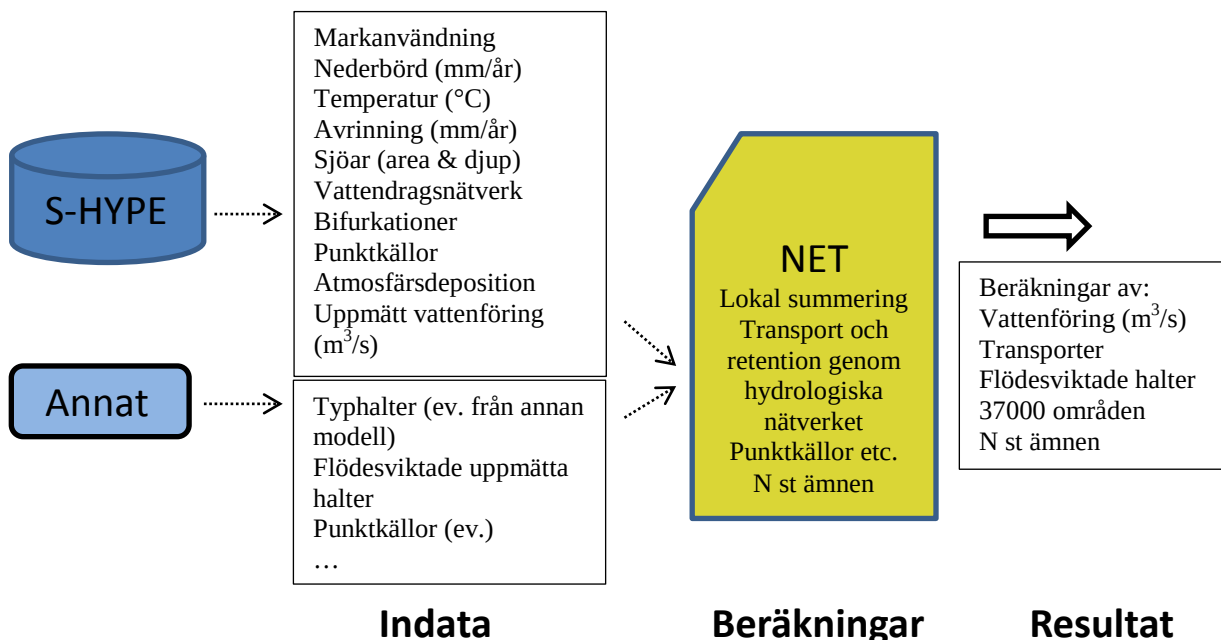
Syftet med denna rapport är att dokumentera NET och utvärdera användbarheten för simulering av transporter av näringsämnen och metaller.

3. Metodik och data

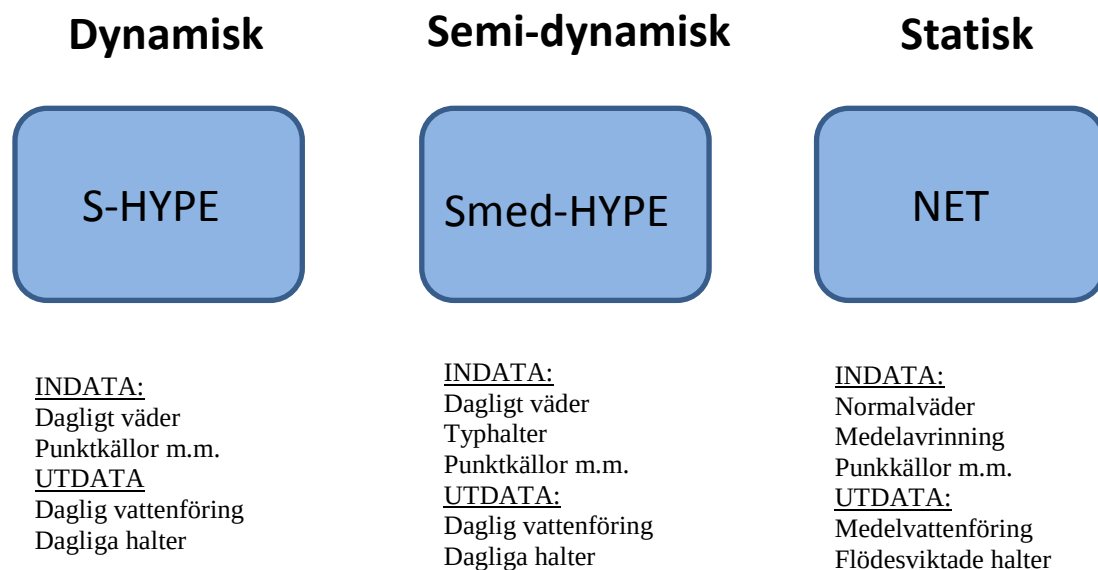
Indata till NET bygger till största delen på information från S-HYPE. Markanvändningsdata från S-HYPE utnyttjas i NET, med samma huvudtyper som i S-HYPE. För kväve och fosfor lades samma information som i S-HYPE in i NET avseende punktkällor, enskilda avlopp och atmosfärsdeposition (endast kväve). Ingen atmosfärsdeposition av metaller har lagts in i beräkningarna. En förenkling för fosfor, jämfört med S-HYPE, är att det i de här redovisade beräkningarna inte ingår någon internbelastning i sjöar. Denna skulle dock kunna läggas in i NET. Beräkningarna är gjorda för åren 1999-2008. Den lokala avrinningen (långtidsmedel) för varje delområde, beräknad i S-HYPE för de ca 37000 områdena, driver flödet genom det hydrologiska nätverket. Uppskalningen kan delas in i tre steg:

1. Generalisering till typhalter för ingående markklasser, ev. med regional variation.
2. Summering av läckaget från respektive delområde utifrån arealförhållanden och typhalter, ev. med regional variation.
3. Transport nedströms i det hydrologiska nätverket av sjöar och vattendrag, inklusive tillkommande flöden av vatten och ämnen. Punktkällor, diffusa källor och atmosfärsdeposition på sjöytor kan läggas till. Retentionen i sjöar och vattendrag beräknas.

Principerna sammanfattas i figurerna 1 och 2. Halter av tre slag förekommer i analysen: markläckage från enskilda marktyper, den viktade medelhalten i bidraget från varje lokalt beräkningsområde, och slutligen halten i det summerade, totala flödet nedströms i systemet. Vattenburen transport av metaller i Sverige har bland annat studerats med statistiska metoder av Temnerud et al. (2013). De studerade dock bara fyra vattendrag och ett relativt litet antal mätvärden (243 st under en månads tid). Författarna pekade ut sedimentation i sjöar som en nyckelfaktor, medan skillnader i pH och markanvändning var mindre avgörande. Betydelsen av pH med mera poängteras dock av bland andra Wällstedt (2005).



Figur 1. Principskiss för det generella uppskalningsverktyget NET.



Figur 2. Principskiss och exempel på dynamisk, semi-dynamisk och statisk modellering.

I denna rapport redovisas resultat från simuleringar av

- total-kväve (TN)
- total-fosfor (TP)
- totalt organsikt kol (TC)
- kadmium (Cd)
- koppar (Cu)
- kvicksilver (Hg)
- nickel (Ni)
- bly (Pb)
- zink (Zn).

Generalisering till typhalter

I den uppsättning av NET som användes här ingick sex marktyper: jordbruksmark, skogsmark, mosse/kärr, kalfjäll/tunna jordar, urbant och övrig mark, samt sjöar. Typhalten från varje marktyp ställdes in genom kalibrering mot mätdata, med tonvikt på små områden. För kol (TC) antogs en utspädningseffekt beroende av avrinningen och en temperatureffekt, vilka modifierade den summerade läckagehalten. Antagandet är en omformulering av den ekvation som togs fram av Soares (2011), i vilken TOC antogs bero av bland annat nederbörd och höjd över havet.

Summering av läckaget

Halten i det avrinnande vattnet från marken i varje delområde beräknas genom arealviktning enligt andelarna av de markanvändningar som finns i området. En förenkling jämfört med den kompletta S-HYPE-beräkningen är att det i NET inte tas hänsyn till skillnader mellan avrinningen (mm/år) från de olika markanvändningarna inom ett delområde.

Transport nedströms och processer i ytvattnet

Retentionen i sjöar och vattendrag beräknas i NET för alla modellerade ämnen på samma sätt, men med olika retentionshastigheter. För varje ämne, i , antas:

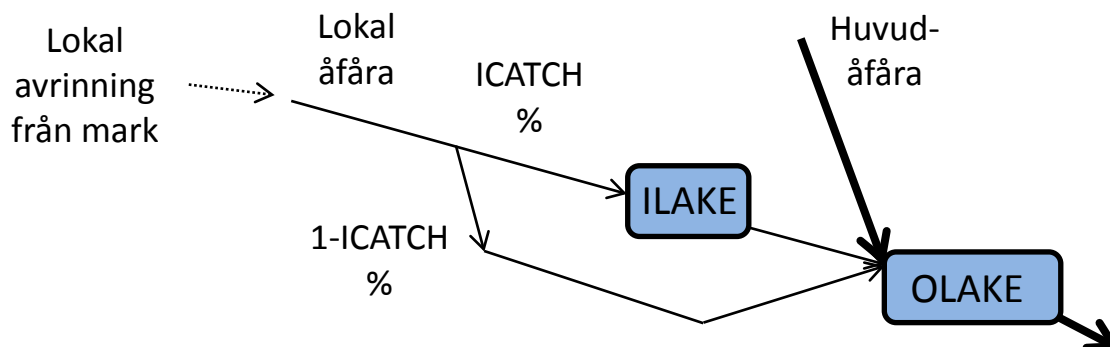
$$\frac{d(C_i - C_{mi})}{dT} = -k_i(C_i - C_{mi})$$

som har lösningen:

$$C_i = (C_{0i} - C_{mi})\exp(-k_i T) + C_{mi}.$$

C_i är koncentrationen av respektive ämne i sjöar och vattendrag. Retentionen sker bara då $C_i > C_{mi}$. Den beräknas som en funktion av koncentrationen C_{0i} vid inflödet, uppehållstiden T i sjön respektive vattendraget, en minimikoncentration C_{mi} och en retentionshastighet k_i . Utan minimivärdet C_{mi} sjunker koncentrationen alltför mycket i sjöar med mycket lång omsättningstid, som t.ex. Vättern. En förklaring till att minimikoncentrationen behövs kan vara att de allra finaste partiklarna inte sedimenterar ens efter mycket lång tid. Retentionen beror alltså av fler faktorer än endast uppehållstiden. Antagandet om en minimihalt innebär att modellen är icke-linjär.

Retentionsberäkningen har totalt endast tre parametrar för varje ämne: k_i för vattendrag, k_i för sjöar och C_{mi} . Retentionsparametern k_i skiljer sig alltså i beräkningarna mellan sjöar och vattendrag. Parametrarna är konstanta för hela landet och kalibreras för respektive ämne, tills halterna i både små och stora områden stämmer så bra som möjligt överens med uppmätta värden. Speciellt fokuseras därvid på överensstämmelsen nedströms stora sjöar. Beräkningar av uppehållstider och retention i NET görs, liksom i S-HYPE, för varje delområde, både för interna sjöar och vattendrag och sjöar, samt sjöar och vattendrag i huvudåfåran (figur 3). Den lokala avrinningen i varje delområde (mm/år) konverteras till medelvattenföring (m³/s), vilken summeras vid transporten nedströms genom det hydrologiska nätverket.



Figur 3. Schematisk figur över flödesvägarna genom ett delområde.

Retention används här som ett samlingsbegrepp för de processer som leder till att halten av ett ämne minskar. Det kan vara till exempel sedimentation, denitrifikation av kväve, och annan nedbrytning. Retentionen av metaller skulle kunna göras beroende av pH och TOC i framtida vidareutveckling av NET, men dessa faktorer beaktas alltså inte för närvarande.

Uppehållstider

Uppehållstiden i sjöar uppskattas ur sjöns volym och flödet genom sjön, medan uppehållstiden i vattendragen uppskattas ur rinnsträckan och en uppskattad vattenhastighet. Sjödjup och rinnsträckor hämtades från S-HYPE. Uppehållstiderna i sjöar och vattendrag, T_L respektive T_R , beräknades enligt:

$$T_L = V / Q$$

$$T_R = s / u$$

där V är sjövolymen, Q är medelvattenföringen, s är vattendragets längd och u är vattenhastigheten i vattendraget.

Vattenhastigheten i vattendrag uppskattades med hjälp av hydraulisk geometri (se t.ex. Dunne och Leopold, 1978). Metoden har i Sverige bland annat tillämpats för älvfåran vid Höljes kraftverk (Hjerdt et al., 2007). I stor skala har hydraulisk geometri använts av till exempel Schulze et al. (2005). Metoden bygger på samband mellan tvärsektioners djup, bredd och vattenhastighet som funktioner av vattenföringen. Vattenhastigheten u uppskattas som

$$u = aQ^b$$

där a och b är två empiriska parametrar. En analys av 2778 vattenföringsmätningar utförda av SMHI under åren 2004-2016 gjordes för bestämning av parametrarna a och b . Jämförelser gjordes också med motsvarande uppskattningar gjorda av Rosberg (2003), och resultaten var relativt lika.

Uppehållstiderna används i modellen främst för att styra vattenkvalitetsberäkningarna. Som komplement beräknades dock även vattnets medelålder i varje delområde samt rinntiden till havet från varje delområde. Rinntiden till havet mäts då endast i nätverket av huvudvattendrag och utloppssjöar, det vill säga inte i interna sjöar och vattendrag. Vattnets ålder och rinntider är av allmänt intresse, men också som förklaring till variationer i vattenkvalitet och för uppskattning av hur lång tid det tar innan effekten av åtgärder slår igenom.

Utvärderingsdata

Flödesviktade medelhalter för de ämnen som testades i NET beräknades med hjälp av daglig vattenföring och dagliga halter av respektive ämnen. Som vattenföring användes här den stationskorrigerade vattenföringen från S-HYPE (se t.ex. Bergstrand et al., 2014). Halterna av de olika ämnena hämtades från SLUs datavärdskap för nationell miljöövervakning och samlad recipientkontroll. Ett betydande arbete med kvalitetskontroll och rättning av metalldata fick göras innan en meningsfull modellering kunde påbörjas. Totalt sammanställdes 208433 uppmätta metallhalter från 365 stationer, för åren 1976-2013. Många extremt avvikande mätvärden kunde identifieras tack vare den rumsliga analysen som görs med NET. Såväl avvikande mätpunkter i rummet som mätningar som avviker i tiden inom en mätserie identifierades. Om man inte rensar bort felaktiga mätningar innan modelleringen riskerar man att dra felaktiga slutsatser om belastningen av de olika ämnena. Eftersom det handlar om stora datamängder måste man använda någon form av automatisering för att hitta avvikande värden ("outliers"). Olika varianter av n-sigma-metoden användes till en början, men frångicks senare.

Punktkällor

För kväve och fosfor hämtades den information om punktkällor och enskilda avlopp som används i S-HYPE (bl.a. från Pollution Load Compilation, PLC). Denna innehåller mängd utsläppt vatten och halter. Ingen information om halterna fanns tillgänglig för de övriga ämnena. Halten i avloppsvattnet uppskattades därför för de övriga ämnena genom kalibrering. Några uppenbart stora punktkällor för metaller uppskattades med hjälp av de beräknade vattenföringarna i NET och de uppmätta halterna vid mätpunkter. Sådana källor lades endast in i delområden med känd aktivitet från till exempel gruvverksamhet eller industri. Det tydligaste exemplet på sådana uppskattade punktkällor är koppar i delområdena vid Falun. Inga punktkällor uppskattades på detta sätt för kvicksilver.

Kalibrering

Parametrarna i NET kalibrerades för hand. Som anpassningsmått användes främst en rumslig version av det inom hydrologin vanligen använda anpassningsmättet "Nash Sutcliffe Efficiency" (NSE, Nash & Sutcliffe, 1970):

$$NSE = 1 - mse / Var(Obs)$$

där mse = medelkvadratfelet och $Var(Obs)$ = variansen för observationerna. NSE mäter hur stor del av variansen runt medelvärdet som modellen förklarar. $NSE = 1$, dvs 100%, innebär en perfekt överensstämmelse mellan modellen och alla mätvärdena. I de grafer som har logaritmiska axlar beräknades NSE efter det att alla halterna först logaritmerats. Skälet till att värdena logaritmerades är att de höga halterna annars skulle få alltför stor vikt i NSE -beräkningen. För en rättvisande beskrivning av källorna är det viktigt att även låga halter simuleras så korrekt som möjligt. I övriga grafer används de ursprungliga värdena.

Uppdatering

I en NET-beräkning kan man välja att uppdatera (dvs korrigera) halten vid varje kemiprovtagningspunkt. På så sätt kan man mer exakt beräkna tillskottet (källor) mellan mätpunkter. Detta gjordes framförallt för uppskattning av stora punktkällor för metallerna, men skulle också till exempel kunna användas för uppskattning av internbelastning i sjöar. Vid uppdatering är det viktigt att man använder flödesviktade medelvärden av uppmätta koncentrationer och inte enstaka mätvärden.

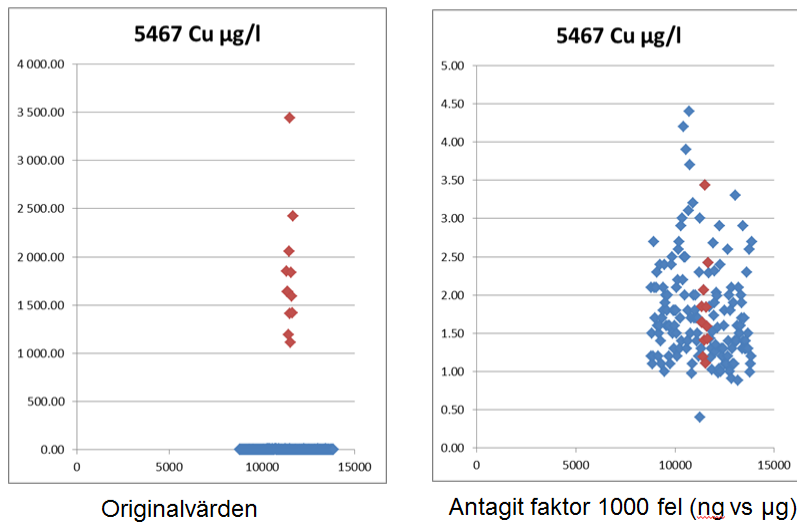
4. Resultat och diskussion

Kvalitetskontroll av metalldata

Det visades sig att n-sigma-metoden inte fungerade speciellt bra som kvalitetskontroll för de använda metalldata. En noggrannare analys avslöjade att det ofta handlade om grupper av värden som var 1000 gånger större än de övriga. Detta avslöjades inte av n-sigma-metoden. I stället söktes efter datapunkter som avvek just 1000 gånger från de övriga. Figur 4 visar ett exempel på mätvärdena före och efter rättning (koppar, aroid 652937-140828). Till vänster visas de ursprungliga mätvärdena, och till höger värdena efter rättning med en faktor 1/1000. Sannolikt är det frågan om sammanblandningar av enheter. Troligen har man angett att enheten var $\mu\text{g/L}$ när den i själva verket var ng/L . N-sigma-metoden identifierade inte orimligheten i den vänstra datamängden i figur 4, eftersom det var så många höga värden. Data inom vissa vattendragsområden innehöll fler avvikelser än andra.

Punkten med högst [Cu]

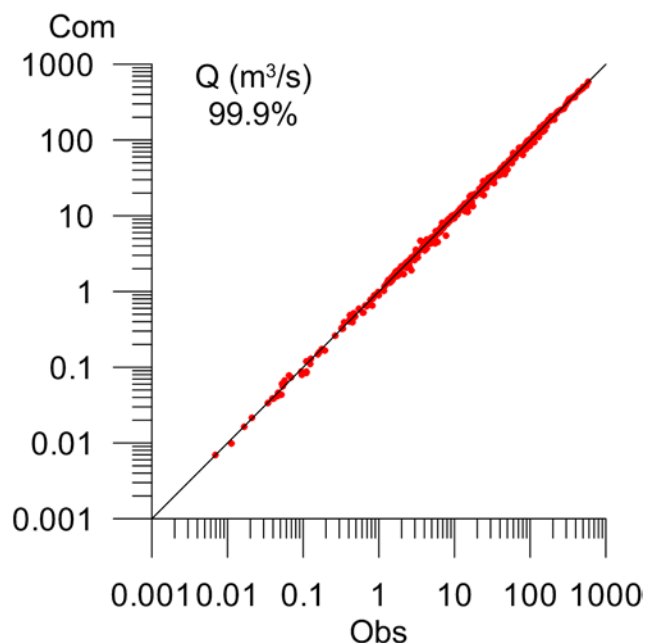
Efter bortrensning (5 σ)



Figur 4. Exempel på mätvärden som bedömts vara felaktiga (till vänster), och efter bedömd rättning (till höger).

Vattenföring

Figur 5 visar uppmätt och beräknad vattenföring vid de 366 vattenföringsstationerna som användes för kontroll i NET. Att medelvattenföringarna stämmer så bra beror på att avrinningen hämtats från den noggrant inställda S-HYPE-modellen. Noggrannheten i vattenföringen är en av poängerna med NET eftersom vattenföringen styr blandningen mellan vatten av olika ursprung, och därigenom styr mängderna av de olika ämnena.



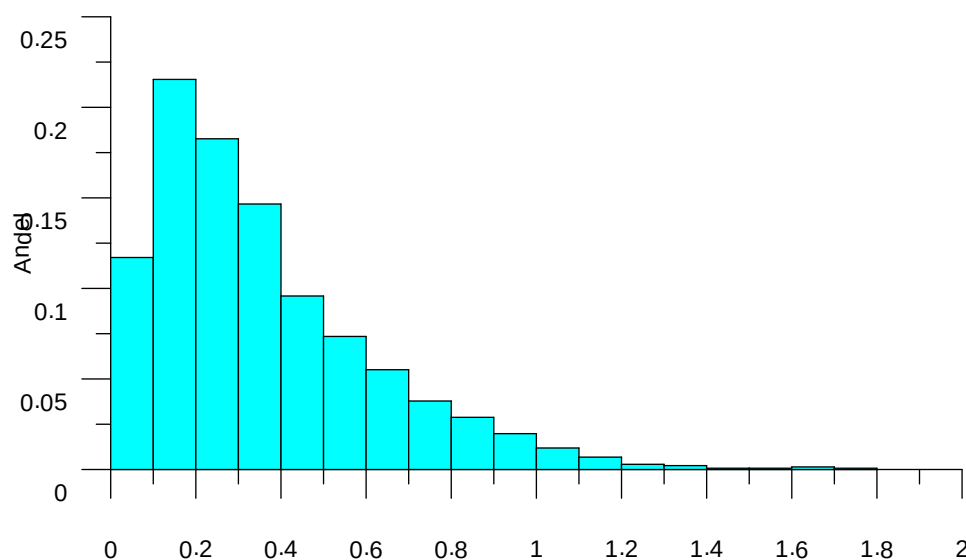
Figur 5. Beräknad och uppmätt vattenföring vid 366 vattenföringsstationer. Den rumsliga förklaringsgraden (NSE) visas i %.

Vattenhastighet, uppehållstider, rinntid och ålder

Vattenhastigheten enligt analysen med hydraulisk geometri uppskattades till

$$u \approx 0.2141 \cdot Q^{0.1988}.$$

Faktorn i uttrycket ovan är den förväntade vattenhastigheten vid ett flöde $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, som alltså enligt analysen $\approx 0.21 \text{ m/s}$. Fördelningen av de uppmätta vattenhastigheterna visas i figur 6 (medianen $\approx 0.29 \text{ m/s}$). Dessa hastigheter är sannolikt något högre än de verkliga medelhastigheterna, eftersom det förmodligen finns en tendens till att man letar upp platser med tillräckligt höga hastigheter för att få bra mätförhållanden.



Figur 6. Fördelningen av vattenhastigheter vid 2778 vattenföringsmätningar utförda av SMHI.

Tabell 1 sammanfattar vattnets beräknade ålder för de 10 huvudavrinningsområdena med högst beräknad ålder för vattnet vid mynningen i havet. Alla uppehållstider och rinntider avser förhållandena under åren 1999-2008. Uppehållstiderna kommer att bero på vilken tidsperiod man studerar. Främst är det flödet som varierar mellan åren. Medelvattenföringen i Sverige under perioden 1999-2008 skilde sig marginellt från 1981-2010, som är en period som ofta används som referensperiod inom hydrologin i Sverige, även om det lokalt kan skilja upp till i runda tal $\pm 5\%$. Under 1981-2010 var avrinningen i sin tur i allmänhet drygt 5% högre än under 1961-1990, som är den referensperiod som används inom meteorologin. Åldern för alla huvudavrinningsområdena redovisas i appendix. Uppehållstiden i sjöar är i nästan alla huvudavrinningsområden mycket större än uppehållstiderna i vattendragen. I Motala ström, med högst medelålder (26 år), beror praktiskt taget 100% av uppehållstiden på sjöarna. I hälften av huvudavrinningsområdena är sjöarnas andel av uppehållstiden $> 99\%$, och i 90% av huvudavrinningsområdena är motsvarande siffra 94%. Lägst medelålder vid mynningen återfinns i huvudavrinningsområdet 94, Råån (0.004 år, dvs ca 1.5 dygn). Där är sjöprocenten praktiskt taget noll, varför hela den beräknade uppehållstiden beror på vattendragen.

De erhållna uppehållstiderna jämfördes med uppskattningar för 15 svenska vattendrag (Sobek et al., 2011). Medianarealen för de 15 vattendragen är cirka 500 km². För dessa vattendrag var medeluppehållstiden 0.7 år enligt NET-analysen och 0.6 år enligt Sobek et al. Korrelationen mellan de två uppskattningarna var 0.94. I Sobeks analys ingick inte uppehållstiden i vattendrag, utan endast i sjöarna. Tidsperioderna var också något olika. För de 15 vattendragen erhöles alltså relativt likartade uppskattningar, men en fördel med den här presenterade analysen är att den görs för hela landet i hög rumslig upplösning. Resultaten jämfördes även med uppehållstider som uppskattades av Burgman et al. (1987), med hjälp av isotopteknik. Den analysen omfattade 11 stationer, med en medianareal av 2500 km². Trots att deras uppskattningar även inkluderar uppehållstiden i mark var de bara cirka hälften så långa som dem som erhöles i NET-analysen. Isotopmetoden innehåller många osäkerheter och förenklingar. Bland annat påverkas resultaten av avdunstning på sjöytor, varför NET-resultaten bör vara mer trovärdiga.

I tabell 2 visas den längsta beräknade rinntiden till havet för de 10 huvudavrinningsområdena med längst rinntid. Endast den längsta rinntiden för varje huvudavrinningsområde redovisas. I figur 7 visas både rinntider till havet och vattnets ålder i kartform. Långa tidsavstånd till havet finns bland annat uppströms Vänern och Vättern, medan högst ålder framförallt förekommer i Motala ström. Längst tid att nå till havet (89 år) tar det enligt beräkningarna för vattnet som rinner av från delavrinningsområdet ”Utloppet av Grässjön” (aroid 652753-143059) i Tiveden. På vägen till havet därifrån passeras bland annat både sjöarna Unden och Vättern, med mycket långa omsättningstider. Det äldsta vattnet i landet är utflödet ur Vättern med en medelålder av 56 år. I Motala ström nedströms Vättern späds flödet ut med nyare vatten och har en beräknad medelålder av 26 år vid mynningen i Norrköping (se figur 7).

Tabell 1. Beräknad ålder vid mynningarna för de 10 huvudavrinningsområdena med högst ålder. Åldern för alla huvudavrinningsområdena visas i appendix

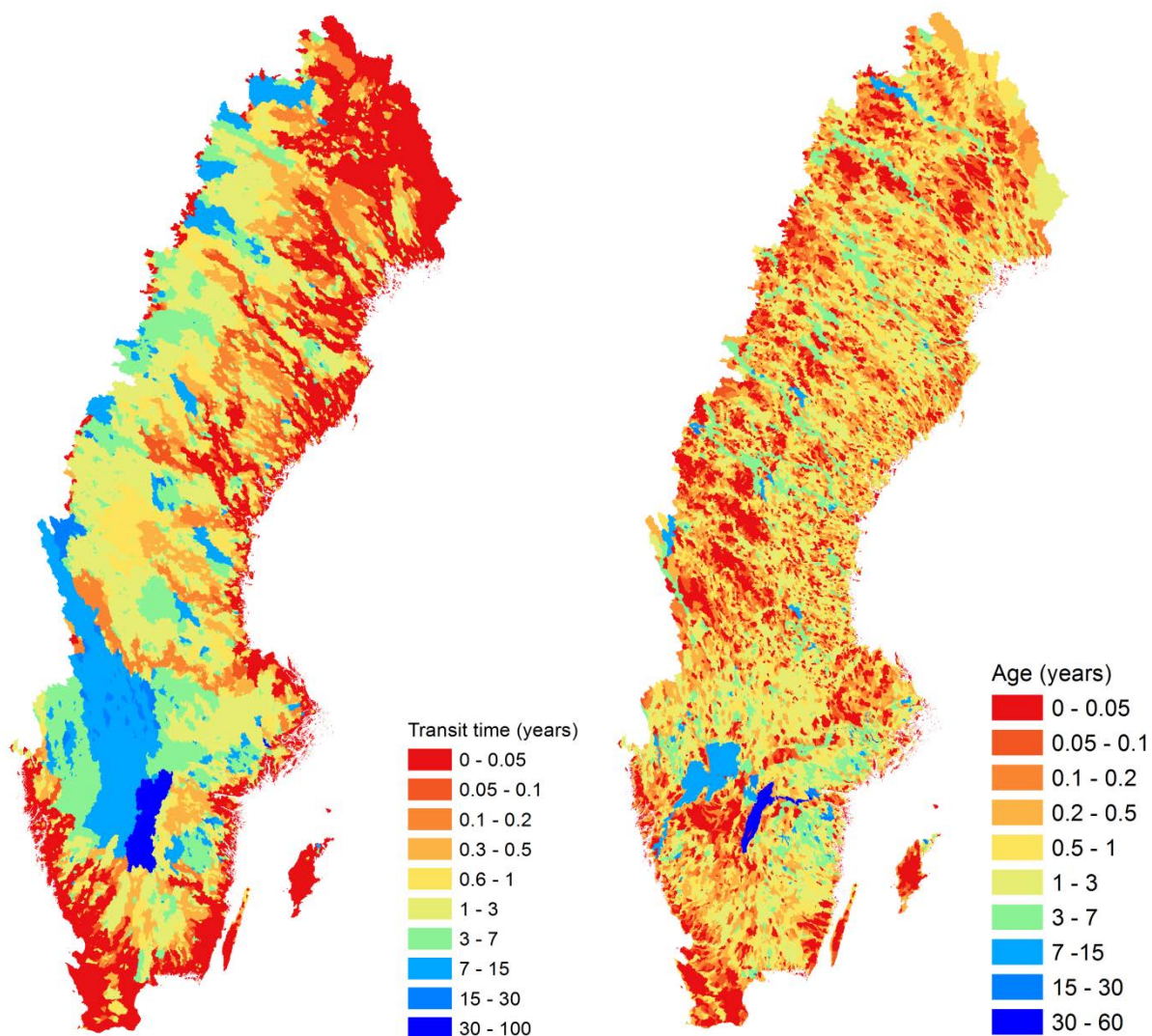
Nr	Vattendrag	År
1	67 Motala ström	26.3
2	108 Göta älv	9.1
3	58 Broströmmen	6.4
4	68 Söderköpingsån	6.0
5	45 Delångersån	5.0
6	20 Skellefteälven	4.5
7	65 Nyköpingsån	4.3
8	85 Mieån	4.3
9	61 Norrström	4.2
10	71 Botorpsströmmen	3.8

Tabell 2. Beräknad längsta rinntid (år) till havet för de 10 huvudavrinningsområdena (HARO) med längst sådan rinntid. Endast det högsta värdet inom varje huvudavrinningsområde anges.

Nr	År	HARO	Namn	Viktiga sjöar	Aroid
1	89.2	67 Motala ström	Utloppet av Grässjön	Unden, Vättern	652753-143059
2	34.8	66/67 Kustområde	Utloppet av Skiren	Skiren	650590-152505
3	31.6	61 Norrström	Mynnar i Lilla Ullfjärden	Mälaren	660913-159795
4	29.8	40 Indalsälven	Utloppet av Stortjärnarna	Kallsjön, Storsjön	706780-133560
5	29.3	108 Göta älv	Utloppet av 691386-132216	Femunden, Vänern	691390-132221
6	22.9	20 Skellefteälven	Utloppet av Laisaure	Hornavan	735119-156597
7	21.8	68 Söderköpingsån	Inloppet i Risten	Yxningen	646278-151193
8	18.7	52 Gavleån	Inloppet i Logården	Storsjön	672460-150831
9	18.1	71 Botorpsströmmen	Utloppet av Allgjuttern	Tynn	642531-151655
10	17.6	1 Torneälven	Utloppet av 758903-163414	Torneträsk	758903-163442

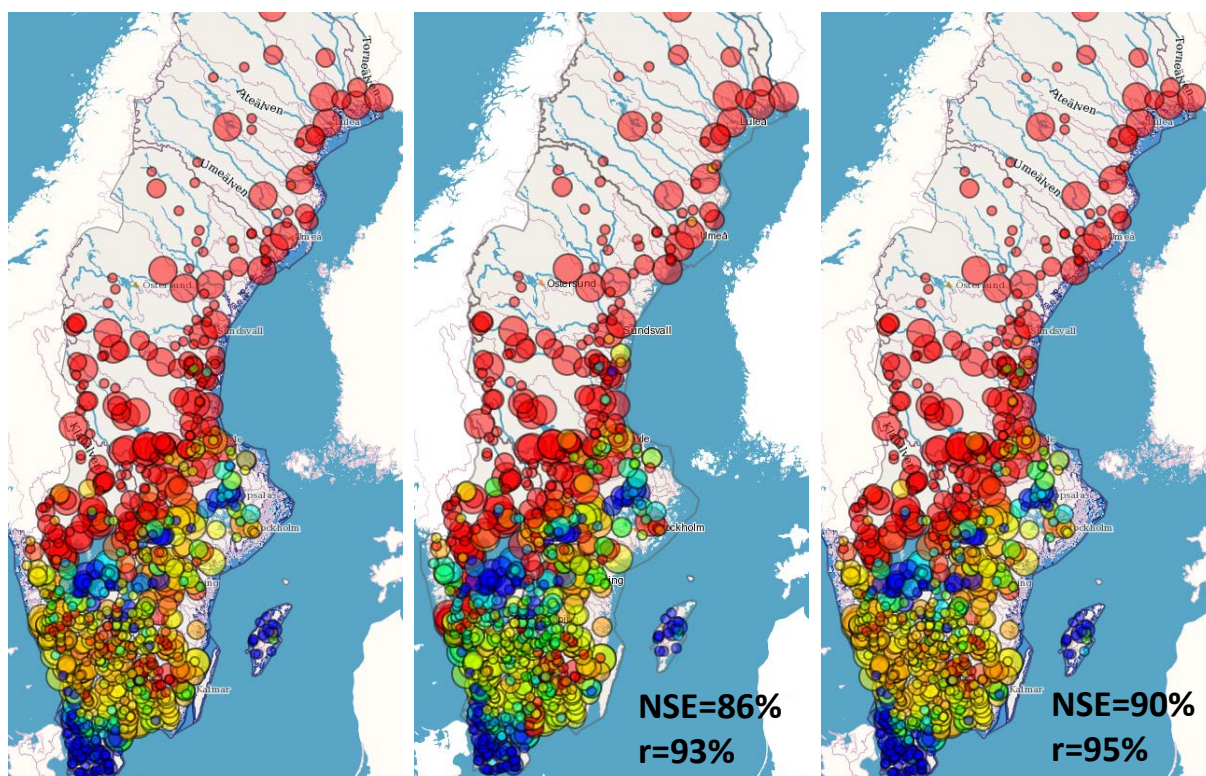
Vattenkvalitet

Vid kalibreringen av typhalter från olika markanvändningar erhöles de högsta halterna av kväve och fosfor från jordbruksmark. För kol var typhalten från skog högst. För metallerna var i allmänhet halterna från jordbruksmark och urbana områden högst, och halterna från mosse/kärr, kalfjäll/tunna jordar och övriga mark lägst. Den dominerande markanvändningen i Sverige är skog varför halten därifrån kommer att ha störst betydelse för de flesta ämnena. De halter som kalibrerats fram för skog stämde väl överens med halterna från i huvudsak opåverkade förhållanden, enligt SGU (2013), för metallerna, med undantag för kvicksilver och bly. För dessa metaller angavs betydligt lägre halter av SGU. En tänkbar förklaring kan vara att halterna av dessa metaller är betydligt lägre i grundvattenrör, som ingått i SGU:s redovisning.



Figur 7. Beräknad rinntid till havet (till vänster, transit time) och medelålder (till höger, age), båda i år.

Figur 8 visar en jämförelse mellan uppmätta halter av total-kväve och beräknade halter med hjälp av NET respektive den fullständiga S-HYPE-modellen. NET förklarar nästan lika stor del av den rumsliga variansen som S-HYPE (86% jämfört med 90%). För S-HYPE visas dock inte den allra senaste versionen. Till denna figur har parametrarna i NET optimerats mot det linjära *NSE*-värdet, varför det inte blir exakt samma resultat som i övriga figurer. Beräkningen med NET tar några sekunder (för ett tiotal ämnen som beräknas samtidigt), medan en S-HYPE-beräkning tar många timmar (för bara kväve och fosfor). Ytterligare en stor skillnad är alla lokala inställningar som har gjorts i S-HYPE. NET beräknar mängder, men ger ingen information om variationer i tiden.



Mätningar

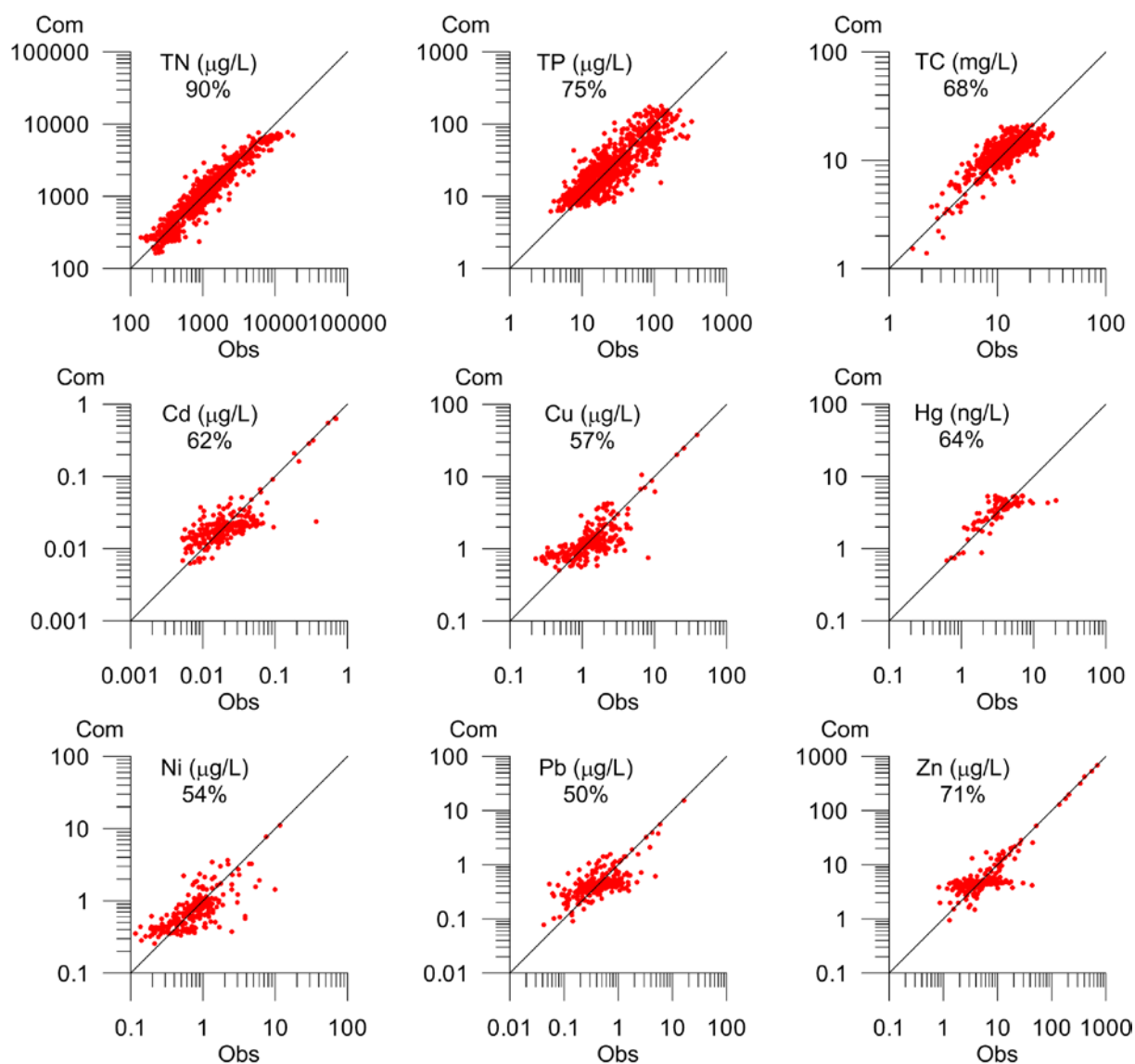
NET

S-HYPE

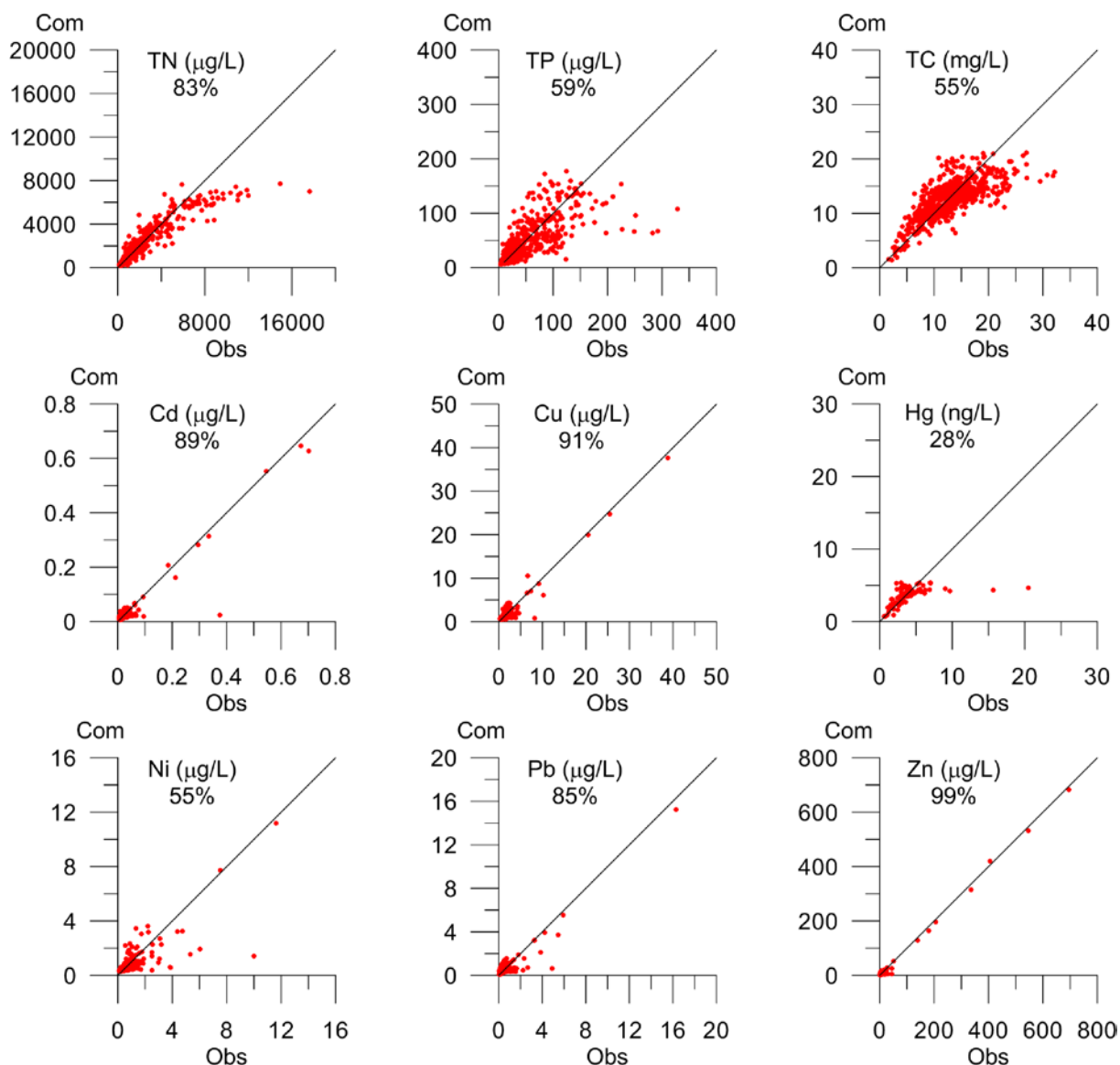
Figur 8. Uppmätta och beräknade halter (flödesviktade) av total-N, transformerade för att passa in i figuren. Färgerna markerar halten i en färgskala från rött (lågt) till blått (høgt). Cirklarnas storlek illustrerar uppströmsarean (stora: >2000 km², medelstora: 200-2000 km² och små: < 200 km²). Effektiviteten NSE och korrelationen r anges för beräkningarna enligt NET och S-HYPE, jämfört med mätningarna.

Figureerna 9 och 10 visar jämförelser mellan beräknade och uppmätta halter av de simulerade ämnena. I den logaritmiska skalan framträder de relativa felen bäst, medan man i den linjära skalan tydligare ser hur stora skillnaderna mellan punkterna egentligen är. För kväve är anpassningen mycket god, med en rumslig förklaringsgrad på 90% (figur 9). Att de högsta värdena för de flesta metallerna stämmer exakt beror på att modellen har använts för uppskattning av några höga punktkällor, såsom beskrevs i metodavsnittet. Utan uppskattade punktkällor erhöles den bästa anpassningen bland metallerna för kvicksilver. Den relativt stora betydelsen av sedimentation i sjöar hjälper här till att höja förklaringsgraden. I den linjära skalan (figur 10) ser man tydligare hur enskilda höga mätvärden avviker från mönstret. De allra högsta kväve- och fosforhalterna i vissa jordbruksområden underskattas (se appendix). Det är ganska vanligt att modeller underskattar de högsta värdena. De fyra högsta mätvärden för kvicksilver är från Mariestad (1 mätpunkt) respektive Lyckebyån (3 mätpunkter). Varför halterna där är så höga är okänt för författarna. I Lyckebyån sjunker Hg-halten dessutom med 66% från näst sista (15.7 ng/L) till sista mätpunkten (5.3 ng/L), utan synbar anledning. En annan avvikande mätpunkt finns strax uppströms mynningen i Töre älv, där de flesta metallhalterna är höga utan synbar anledning. Kartor över anpassningen mellan NET och mätvärden visas i appendix. För flera ämnen syns regionala mönster i anpassningen. Man bör då ha i minnet att ingen lokal eller regional anpassning har gjorts här. För flera metaller syns en överskattning i norr och underskattning i söder. Detta skulle kunna hänga samman med

avsaknaden av atmosfärisk deposition i beräkningen, medan depositionen egentligen är högre i söder än i norr. Det finns dock även andra regionala skillnader som skulle kunna spela in, så som till exempel klimat och geologiska förhållanden.

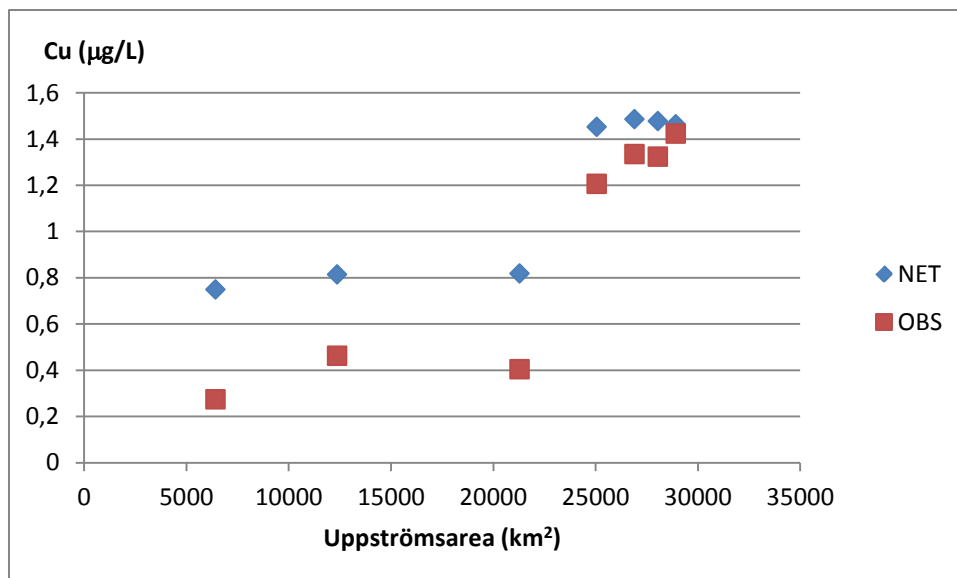


Figur 9. Beräknade och uppmätta halter (flödesviktade) av de simulerade ämnena. Den rumsliga förklaringsgraden för logaritmerna (NSE) visas i %.



Figur 10. Beräknade och uppmätta halter (flödesviktade) av de simulerade ämnena. Den rumsliga förklaringsgraden (NSE) visas i %.

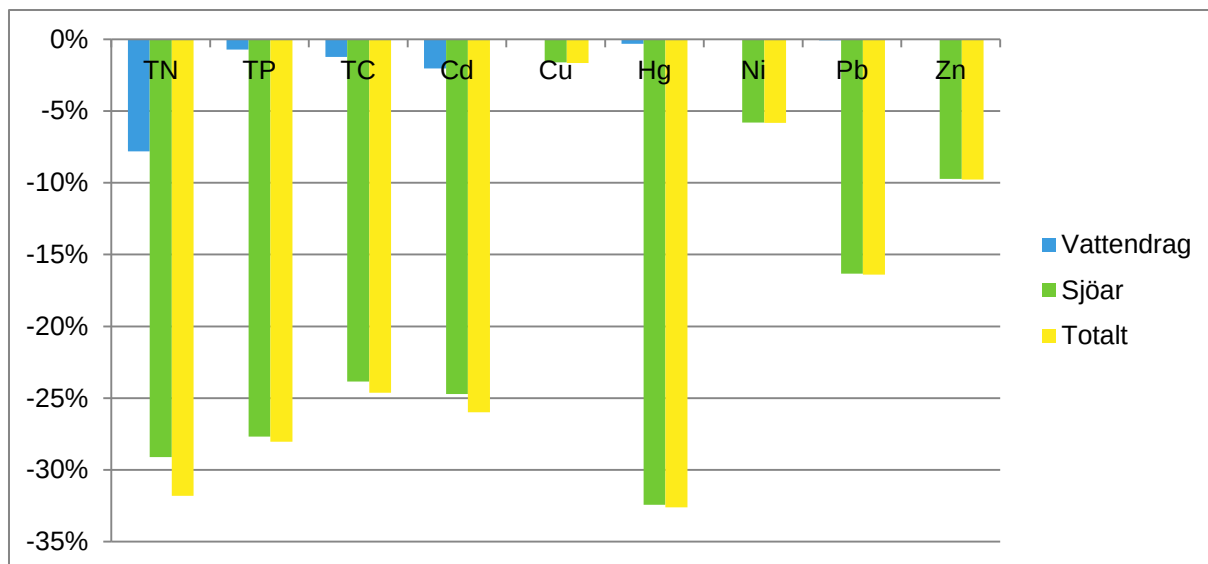
Figur 11 visar en detaljstudie av kopparhalterna utmed Dalälven. De beräknade halterna ligger för högt i de övre delarna, men variationen mellan mätpunkterna och responsen på bidragen från de tillkommande vattendragen beskrivs relativt väl av NET-beräkningen. Oreälven tillkommer mellan första och andra punkten, Västerdalälven mellan andra och tredje, och Lillälven tillkommer mellan tredje och fjärde punkterna. Halterna av koppar i Lillälven är höga, på grund av källor i Falun.



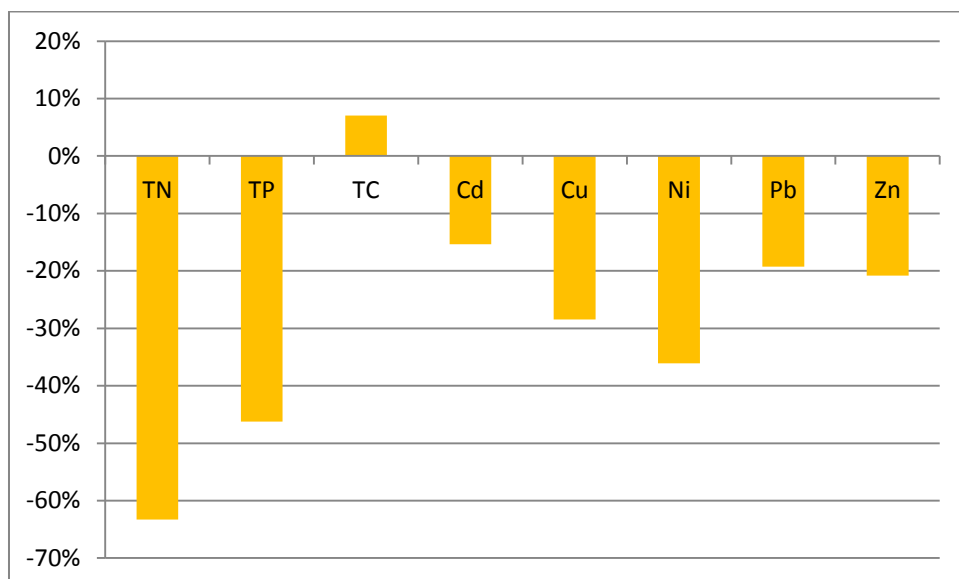
Figur 11. Beräknade och uppmätta halter (flödesviktade) av koppar utmed Dalälven. Oreälven tillkommer mellan första och andra punkten, Västerdalälven mellan andra och tredje, och Lillälven (från Falun) mellan tredje och fjärde punkterna.

Figur 12 visar den beräknade procentuella retentionen i vattendrag respektive sjöar, utav den totala bruttobelastningen. Retentionen beräknas här för hela tillförseln till svenska kusten, dels med retention i endast vattendrag, dels med retention i endast sjöar, och dels med retention i båda miljöerna. Enligt modellresultaten är retentionen i vattendragen låg för alla ämnen utom kväve, trots att modellparametern för retentionen per tidsenhet, enligt modellkalibreringen, för de flesta ämnen var högre i vattendragen än i sjöarna. Den lägre retentionen beror på att uppehållstiden i vattendragen i allmänhet är så mycket kortare än uppehållstiden i sjöarna. Den totala retentionen är inte lika med summan av retentionerna i de två miljöerna eftersom modellen inte är linjär (på grund av parametern för minimihalten). Retentionen av metallerna var låg, med undantag för kadmium och kvicksilver, och i viss mån bly. Särskilt i vattendragen var retention av metaller mycket låg. Retentionerna ska dock inte tolkas bokstavligt eftersom ingen atmosfärsdeposition av metaller än så länge ingår i beräkningarna. Eftersom retentionen i vattendragen är så mycket lägre än i sjöarna är det mycket svårt att kvantifiera den med någon hög noggrannhet. Till detta tillkommer att vattenhastigheterna liksom vattendragslängderna är osäkra. Vattendragen är sannolikt ofta längre än vad som använts i beräkningarna eftersom till exempel meandring inte beskrivs väl i de indata som använts.

Som ett exempel på beräkningar som enkelt kan göras med NET visas i figur 13 den simulerade effekten av borttagande av alla inlagda punktkällor, all atmosfärsdeposition, och ersättande av all jordbruksmark och urbana områden med skog. Scenariot i sig är inte realistiskt, utan tjäna som exempel på möjliga beräkningar.

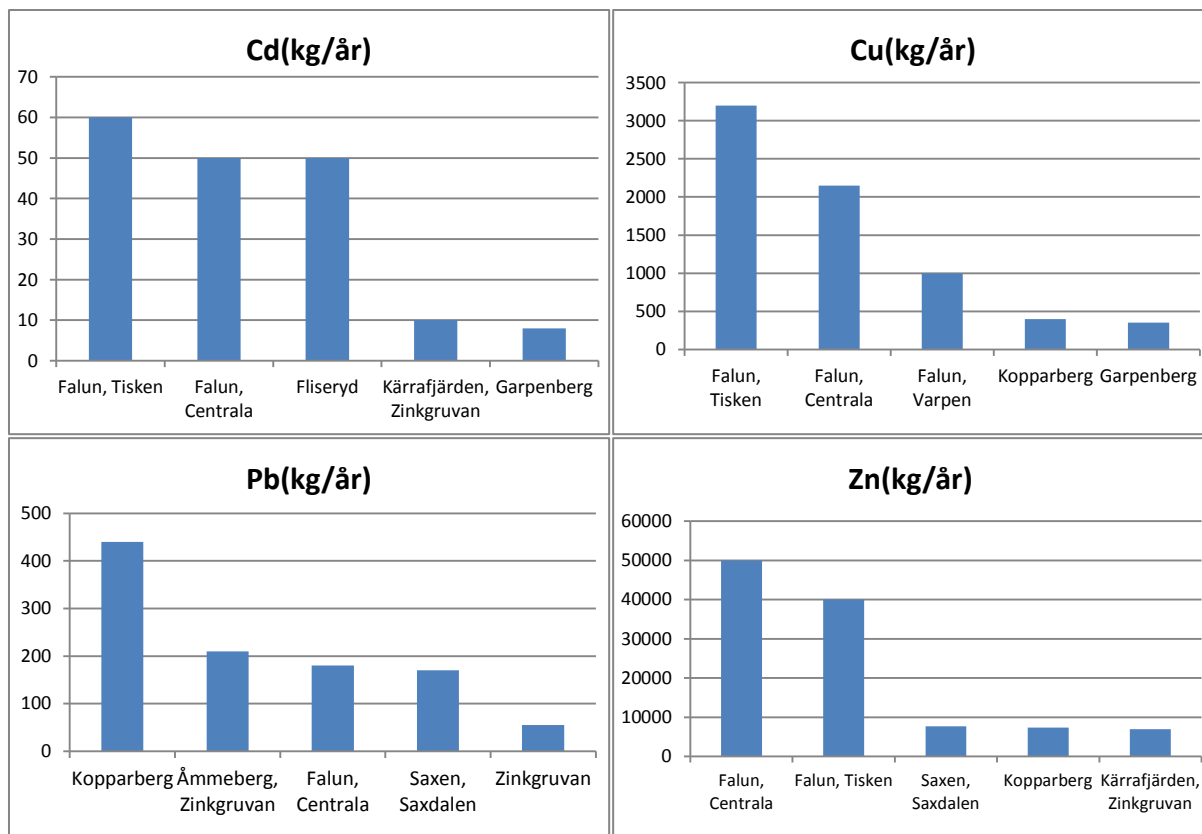


Figur 12. Beräknade retentioner på bruttobelastningen i vattendrag och sjöar, respektive både vattendrag och sjöar, avseende totala tillförseln till svenska kusten.



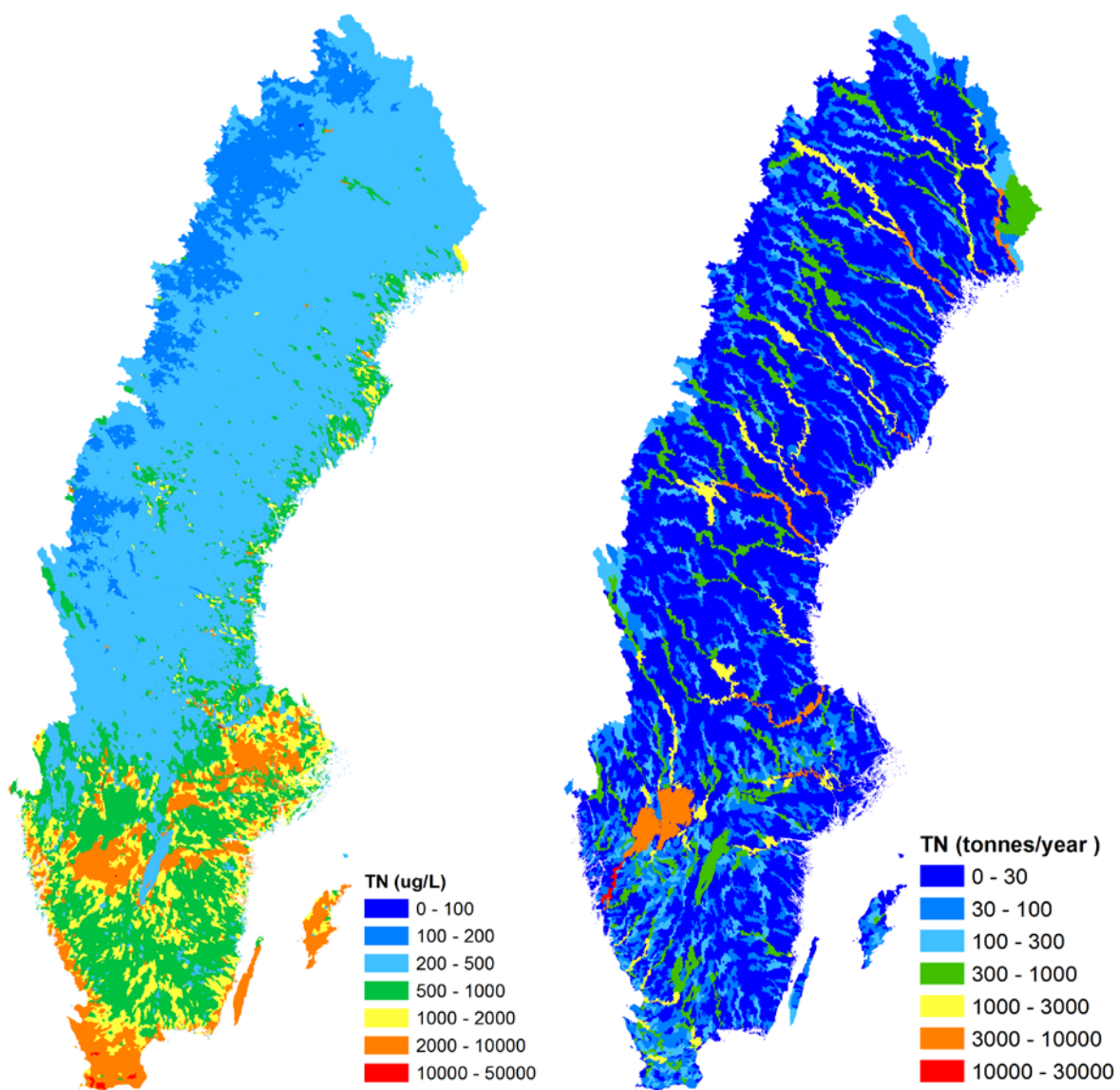
Figur 13. Beräknad effekt av borttagande av alla inlagda punktkällor, all atmosfärsdeposition, och ersättande av all jordbruksmark och urbana områden med skog, totala tillförseln till svenska kusten.

Figur 14 visar de fem största källorna, för respektive metall, som identifierats med hjälp av NET och uppdateringen såsom beskrevs i metoddelen.

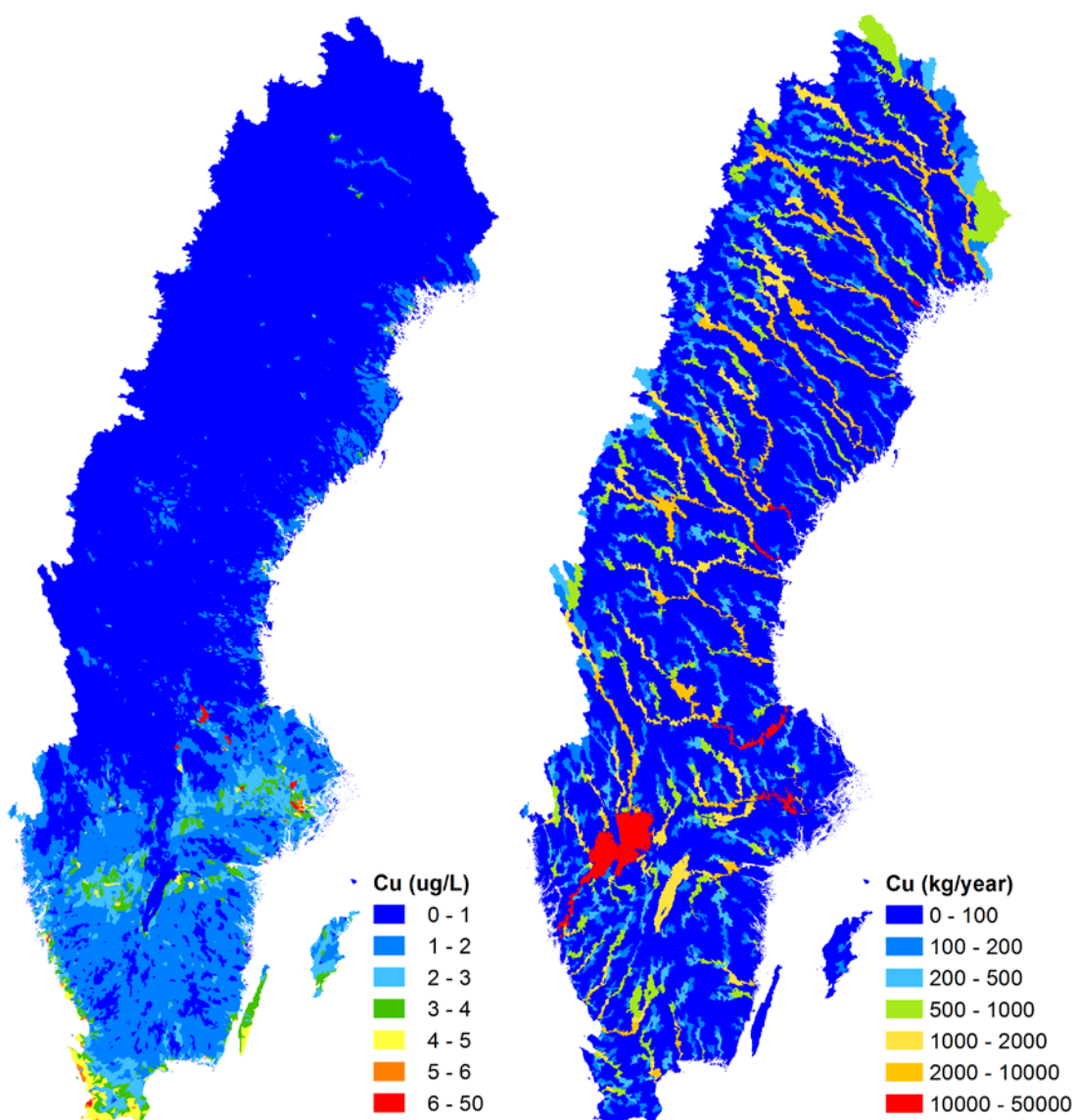


Figur 14. Exempel på uppskattningar av punktkällor med hjälp av NET. De fem största källorna för kadmium, koppar, bly och zink.

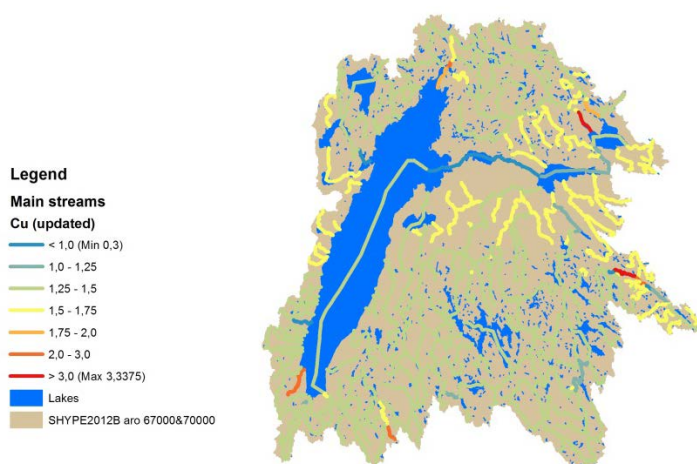
Uppskalningar av kväve och koppar för hela landet visas i figurerna 15 och 16. För kväve är de höga halterna från jordbruksområdena mest framträdande, medan höga kopparhalter från de uppskattade punktkällorna i bland annat Falun och Bergslagen syns tydligt. Mängderna styrs av både och halt och vattenflöde, varför de stora vattendragen syns tydligt i dessa figurer. Figur 17 visar ett exempel på detaljstudie för koppar i Motala ström, från arbete utfört i samarbete med Länsstyrelsen i Östergötland inom INSURE-projektet. Med hjälp av kombinationen mellan mätningar och modell uppskattas halterna i alla delområdena. I denna beräkning har modellen uppdaterats i varje mätpunkt.



Figur 15. Exempel på nationell uppskalning för total-kväve ($\mu\text{g/L}$ till vänster och ton/år till höger).



Figur 16. Exempel på nationell uppskalning för koppar ($\mu\text{g/L}$ till vänster och $\text{kg}/\text{år}$ till höger).



Figur 17. Exempel på detaljstudie för koppar ($\mu\text{g/L}$) i Motala ström inom INSURE-projektet.

5. Slutsatser

Denna rapport beskriver funktioner och resultat erhållna med NET i dess nuvarande form. NET kan dock vidareutvecklas, och nya processer kan läggas till vid behov. Resultaten i rapporten ska inte ses som exakta prediktioner eller skattningar av till exempel källor och retentioner. I stället ska de ses som tester av metoden och exempel på tillämpningar som är enkla att göra. Beräkningstiden med NET för ett tiotal ämnen är ett par sekunder på en vanlig PC. Detta innebär att många beräkningar som är för omfattande att göra med en full dynamisk modell istället kan göras med denna förenklade metod, åtminstone så länge som man är intresserad av flödesviktade medelhalter och mängder. Några specifika slutsatser från studien är att:

- Uppehållstider i ytvatten kunde uppskattas. I sjörika system är uppehållstiden i vattendrag försumbar jämfört med uppehållstiden i sjöarna. Retentionen i vattendragen är därmed också betydligt mindre än retentionen i sjöar, sett som medel över hela landet.
- Längst uppehållstid har vattnet i Motala ström, där medelåldern vid mynningen är ca 26 år. Längst rinntid från kust till hav har ett område i Tiveden, varifrån det tar ca 89 år för vattnet att nå till havet.
- Uppehållstider och blandningsförhållanden kan förklara en stor del av den rumsliga variationen i vattenkvalitet, för både närsalter och metaller.
- För att beskriva den rumsliga variationen av metallhalter är det nödvändigt att ta ett antal stora källor i beaktande.
- Genom att väva samman sporadiska mätdata med modellberäkningar kan NET användas för att analysera hur halterna av olika ämnen varierar i landet.

6. Rekommendationer för fortsatt arbete

Om NET ska användas för metaller bör bättre information om atmosfärsdeposition och punktkällor ställas samman och läggas in i beräkningarna. Exempel på tänkbara användningsområden är:

- Identifiering av kunskapsluckor, mätbehov etc.
- Kvalitetskontroll av mätdata.
- Rimlighetskontroll av utsläppskällor.
- Uppskattning av diffusa källor etc.
- Transportberäkningar (mängder).
- Uppskattning av rinntider och uppehållstider.
- Scenarioberäkningar.
- Beräkning av åtgärdsbehov ("betingberäkning").

7. Referenser

Bergstrand, M., Asp, S. & Lindström, G. (2014) Nationwide hydrological statistics for Sweden with high resolution using the hydrological model S-HYPE. *Hydrology Research* 45.3, 349-356. doi: 10.2166/nh.2013.010.

Bolin, B. & Rodhe, H. (1973) A note on the concepts of age distribution and transit time in natural reservoirs. *Tellus*, Vol. 25, No. 1, pp 58-62.

Burgman, J.O., Calles, B. & Westman, F. (1987) Conclusions from a ten year study of oxygen-18 in precipitation and runoff in Sweden. Reprint from "Isotope techniques in water resources development" Proceedings of an International Symposium organized by IAEA in Vienna, Austria, 30 March-3 April 1987.

Dunne, T. & Leopold, L.B. (1978) *Water in Environmental Planning*, W. H. Freeman Co., San Francisco, 818 pp., 1978.

Hjerdt, N., Andersén, M., Jonsson, C. & Eklund, D. (2007) *Hydraulik i Klarälvens torrfåra vid tappningar från Höljes kraftverksdamm*. SMHI Rapport Hydrology Nr 109.

Hrachowitz, M., Benettin, P., van Breukelen, B.M., Fovet, O., Howden, N.J.K., Ruiz, L., van der Velde, Y. & Wade, A.J. (2016) Transit times - the link between hydrology and water quality at the catchment scale. *Wiley Interdiscip. Rev.: Water* 2016, 3, 629.

Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J. & Arheimer, B. (2010) Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41.3-4, 295-319.

Munthe, J. et al. (2014) *Climate change and the Environmental Objectives - CLEO*. Rapport till Naturvårdsverket inför Fördjupad Utvärdering 2015.

<http://www.cleoresearch.se/publications>

Munthe, J. et al. (2016) *Klimatförändringen och miljömål*. Rapport 6705 Februari 2016. Naturvårdsverket. ISBN 978-91-620-6705-2, ISSN 0282-7298. Rapporten har även rapportnummer C170 i IVL Svenska Miljöinstitutets rapportserie.

<http://www.cleoresearch.se/publications>

Nash, J.E. & Sutcliffe, J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, Vol. 10(3), pp. 282-290.

Rosberg, J. (2003) *Modeling Phosphorus Transport and Retention in River Networks*. M.Sc. report, Hydrology, Uppsala University, Uppsala.

Schulze, K., Hunger, M. & Döll, P. (2005) Simulating river flow velocity on global scale. *Advances in Geosciences*, 5, 133-136.

SGU (2013) *Bedömningsgrunder för grundvatten*. SGU-rapport 2013:01.

<http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1301-rapport.pdf>

Soares, A. (2011) Estimating soil organic carbon from soils to the sea. Master Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, 52 pp.

<http://stud.epsilon.slu.se/4422>

Sobek, S., Nisell, J. & Fölster, J. (2011) Predicting the volume and depth of lakes from map-derived parameters. *Inland Waters* (2011) 1, pp. 177-184. DOI: 10.5268/IW-1.3.426

Strömqvist, J., Arheimer, B., Dahné, J., Donnelly, C. & Lindström, G. (2012) Water and nutrient predictions in ungauged basins: set-up and evaluation of a model at the national scale, *Hydrological Sciences Journal*, 57:2, 229-247.

Temnerud, J., Düker, A., Karlsson, S., Allard, B., Bishop, K. Fölster, J. & Köhler, S. (2013) Spatial patterns of some trace elements in four Swedish stream networks. *Biogeosciences*, 10, 1407–1423, doi:10.5194/bg-10-1407-2013.

Wällstedt, T. (2005) Influence of acidification and liming on metals in lake sediments. Doctoral Thesis in Applied Environmental Science. ISBN 91-7155-056-9 pp. 1-30.

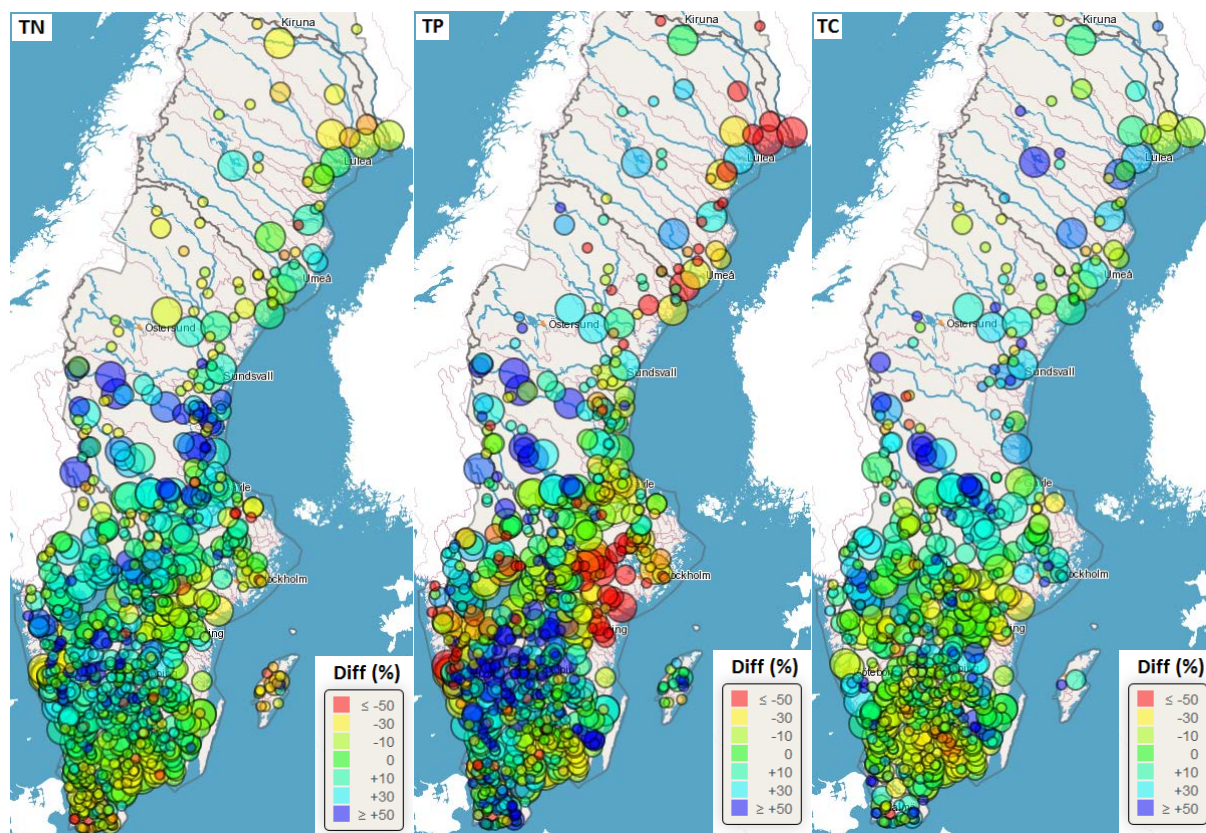
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:194304/FULLTEXT01.pdf>

8. Appendix

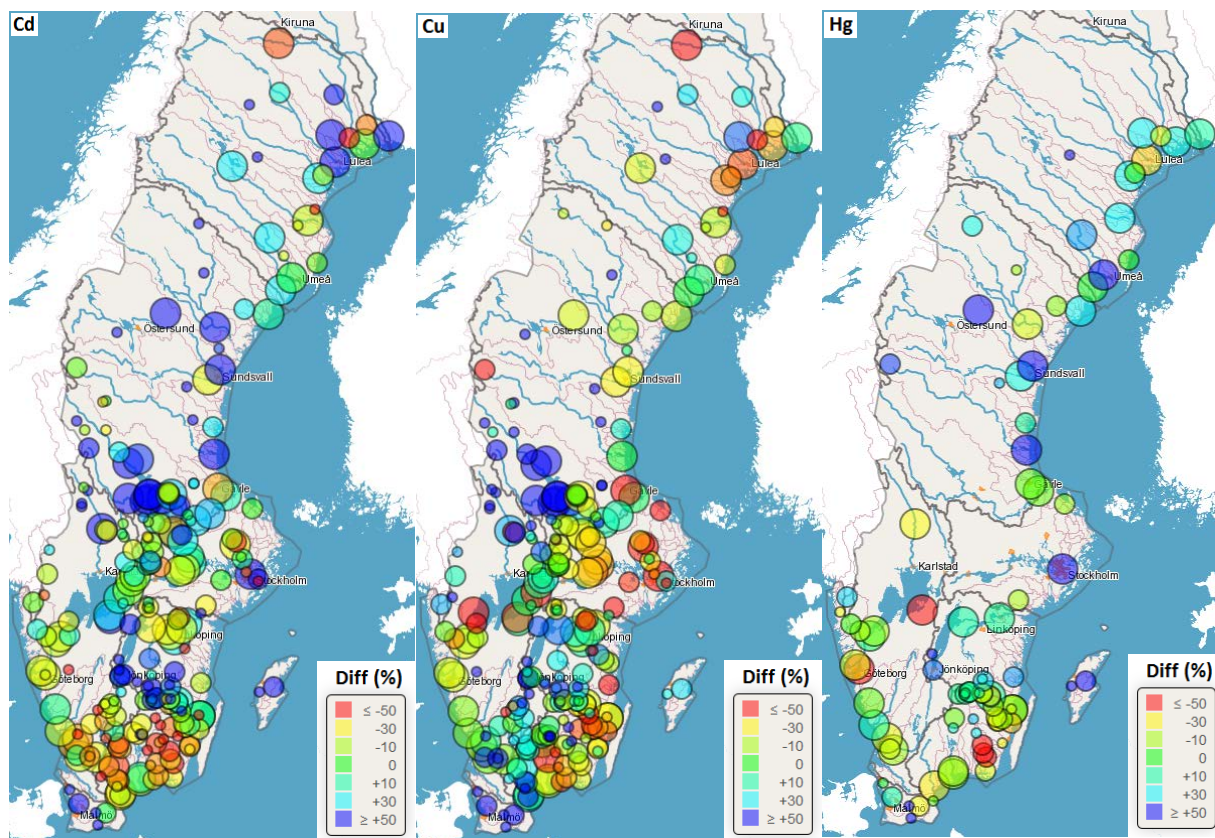
a) Vattnets beräknade ålder vid mynningarna för alla huvudavrinningsområden.

HARO	Ålder (år)	HARO	Ålder (år)	HARO	Ålder (år)
1	1.2	41	0.4	81	1.1
2	0.4	42	2	82	1.4
3	1.2	43	0.4	83	0.5
4	1.6	44	1.1	84	0.8
5	0.5	45	5	85	4.3
6	1.4	46	1.3	86	2
7	0.6	47	1.2	87	3.6
8	1.6	48	1.4	88	0.5
9	2.7	49	1.5	89	0.006
10	1	50	1.3	90	0.2
11	0.7	51	0.9	91	0.04
12	0.7	52	2	92	0.4
13	1.5	53	2.1	93	0.006
14	0.9	54	0.3	94	0.004
15	0.2	55	0.5	95	0.01
16	1	56	0.2	96	0.3
17	1	57	0.9	97	0.05
18	1	58	6.4	98	1.1
19	0.3	59	1.6	99	0.06
20	4.5	60	0.6	100	0.2
21	1.5	61	4.2	101	0.4
22	1.5	62	1.5	102	0.08
23	0.2	63	3.6	103	0.6
24	3.3	64	2.4	104	0.6
25	0.2	65	4.3	105	0.8
26	1	66	1	106	2.4
27	0.8	67	26.3	107	0.8
28	1.8	68	6	108	9.1
29	0.4	69	3.1	109	0.8
30	0.5	70	3	110	0.4
31	0.6	71	3.8	111	0.4
32	0.6	72	1.3	112	1.4
33	1.7	73	1.9	117	0.01
34	1.2	74	1.4	118	0.06
35	0.6	75	1		
36	0.7	76	0.1		
37	1.7	77	0.2		
38	2.6	78	0.5		
39	0.8	79	0.1		
40	3	80	0.6		

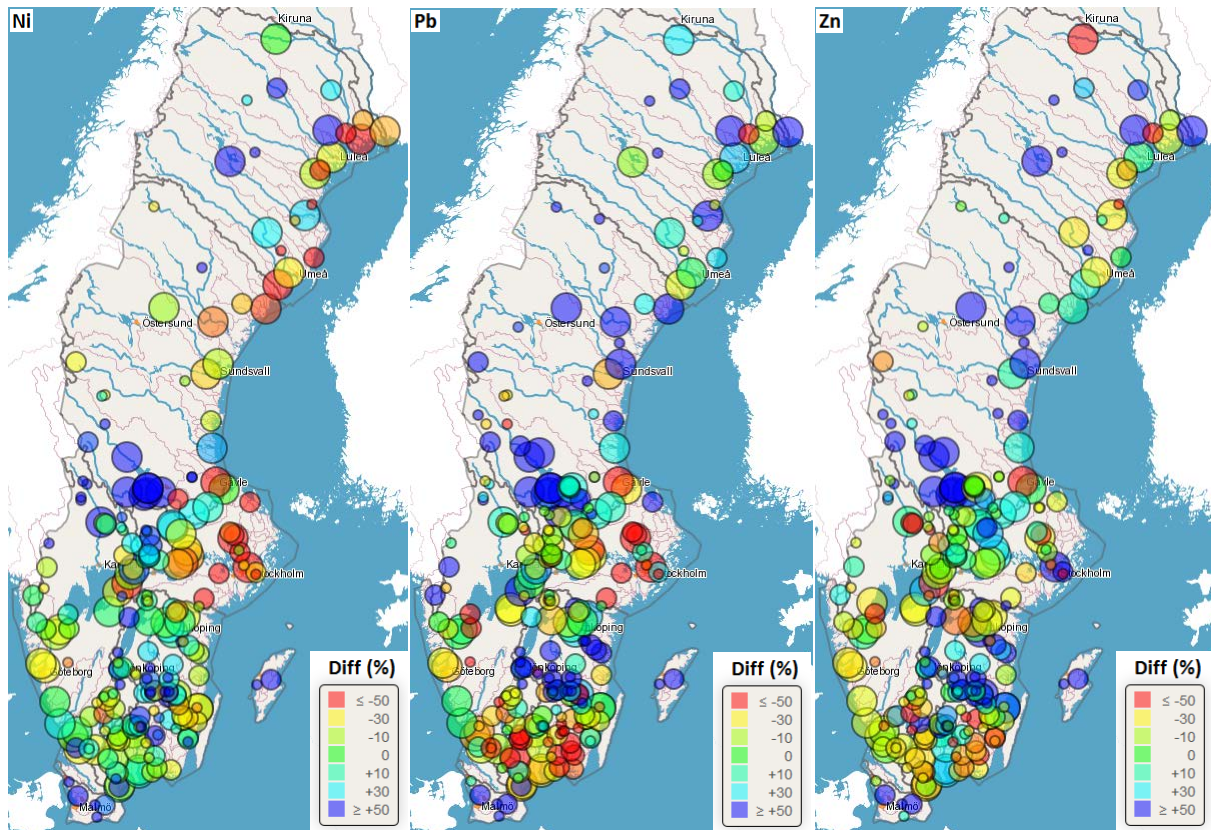
b) Utvärdering mot mätvärden för TN (total-kväve), TP (total-fosfor) och TC (totalt organiskt kol). Färgen markerar beräknad – uppmätt flödesviktad medelhalt (i %) i en färgskala från rött (underskattning) till blått (överskattning). Cirkelnas storlek illustrerar uppströmsarean (stora: $>2000 \text{ km}^2$, medelstora: $200-2000 \text{ km}^2$ och små: $< 200 \text{ km}^2$).



c) Utvärdering mot mätvärden för Cd (kadmium), Cu (koppar), och Hg (kvikksilver). Färgen markerar beräknad – uppmätt flödesviktad medelhalt (i %) i en färgskala från rött (underskattning) till blått (överskattning). Cirklarnas storlek illustrerar uppströmsarean (stora: $>2000 \text{ km}^2$, medelstora: $200\text{-}2000 \text{ km}^2$ och små: $< 200 \text{ km}^2$).



d) Utvärdering mot mätvärden för Ni (nickel), Pb (bly), och Zn (zink). Färgen markerar beräknad – uppmätt flödesviktad medelhalt (i %) i en färgskala från rött (underskattning) till blått (överskattning). Cirkelnas storlek illustrerar uppströmsarean (stora: $>2000 \text{ km}^2$, medelstora: $200\text{-}2000 \text{ km}^2$ och små: $< 200 \text{ km}^2$).



SMHI Publikationer

SMHI publicerar sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationella läsare och skrivs oftast på Engelska. I de övriga serierna används oftast Svenska men även Engelska.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

I serien HYDROLOGI har tidigare utgivits:

- | | | | |
|---|--|----|---|
| 1 | Bengt Carlsson (1985)
Hydrokemiska data från de svenska
fältforskningsområdena | 8 | Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja
Brandt och Göran Lindström (1987)
PULS-modellen: Struktur och tillämpningar |
| 2 | Martin Häggström och Magnus Persson
(1986)
Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser | 9 | Lennart Funkquist (1987)
Numerisk beräkning av vågor i
kraftverksdammar |
| 3 | Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-
Eric Ohlsson, VASO (1986)
Riktlinjer och praxis vid dimensionering av
utskov och dammar i USA. Rapport från en
studieresa i oktober 1985 | 10 | Barbro Johansson, Magnus Persson,
Enrique Aranibar and Robert Llobet (1987)
Application of the HBV model to Bolivian
basins |
| 4 | Barbro Johansson, Erland Bergstrand och
Torbjörn Jutman (1986)
Skåneprojektet - Hydrologisk och
oceanografisk information för
vattenplanering - Ett pilotprojekt | 11 | Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and
Roberto Llobet (1987)
Monthly streamflow simulation in
Bolivian basins with a stochastic model |
| 5 | Martin Häggström (1986)
Översiktlig sammanställning av den
geografiska fördelningen av skador främst på
dammar i samband med septemberflödet
1985 | 12 | Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor
Milanov (1987)
De svenska huvudvattendragens namn och
mynningspunkter |
| 6 | Barbro Johansson (1986)
Vattenföringsberäkningar i Södermanlands
län - ett försöksprojekt | 13 | Göran Lindström (1987)
Analys av avrinningsserier för uppskattning
av effektivt regn |
| 7 | Maja Brandt (1986)
Areella snöstudier | 14 | Maja Brandt, Sten Bergström, Marie
Gardelin och Göran Lindström (1987)
Modellberäkning av extrem effektiv
nederbörd |

- 15 Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist (1987)
Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987
- 16 Martin Häggström och Magnus Persson (1987)
Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser
- 17 Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Haldo Vedin (1987)
Skogsskador - klimat
- 18 Maja Brandt (1987)
Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser
- 19 Martin Häggström och Magnus Persson (1988)
Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser
- 20 Todor Milanov (1988)
Frysförluster av vatten
- 21 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega (1988)
Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin
- 22 Mats Moberg och Maja Brandt (1988)
Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde
- 23 Martin Gotthardsson och Sten Lindell (1989)
Hydrologiska stationsnät 1989. Svenskt Vattenarkiv
- 24 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega (1989)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca
- 25 Gun Zachrisson (1989)
Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder
- 26 Martin Häggström (1989)
Anpassning av HBV-modellen till Torneälven
- 27 Martin Häggström and Göran Lindström (1990)
Application of the HBV model for flood forecasting in six Central American rivers
- 28 Sten Bergström (1990)
Parametervärden för HBV-modellen i Sverige. Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989
- 29 Urban Svensson och Ingemar Holmström (1990)
Spridningsstudier i Glan
- 30 Torbjörn Jutman (1991)
Analys av avrinningens trender i Sverige
- 31 Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos y Alfredo Remont (1991)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba
- 32 Erik Arnér (1991)
Simulering av vårflöden med HBV-modellen
- 33 Maja Brandt (1991)
Snömätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven
- 34 Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren (1991)
Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland
- 35 Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO (1991)
Utbyggd hydrologisk prognos- och varningstjänst.
Rapport från studieresa i USA
1991-04-22--30
- 36 Martin Gotthardsson, Pia Rystam och Sven-Erik Westman (1992)
Hydrologiska stationsnät 1992/Hydrological network. Svenskt Vattenarkiv

- 37 Maja Brandt (1992)
Skogens inverkan på vattenbalansen
- 38 Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael Sundby (SMHI) och Claes-Olof Brandesten (Vattenfall Hydropower AB) (1992)
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv
- 39 Sten Lindell (1993)
Realtidsbestämning av arealnederbörd
- 40 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
- 41 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag till Bottenhavet.
- 42 Svenskt Vattenarkiv (1993)
Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön
- 43 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet
- 44 Martin Häggström och Jörgen Sahlberg (1993)
Analys av snösmältningsförlopp
- 45 Magnus Persson (1993)
Utnyttjande av temperaturens persistens vid beräkning av volymsprognoser med HBV-modellen
- 46 Göran Lindström, Joakim Harlin och Judith Olofsson (1993)
Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer
- 47 Bengt Carlsson (1993)
Alkalinitets- och pH-förändringar i Ume-älven orsakade av minimitappning
- 48 Håkan Sanner, Joakim Harlin and Magnus Persson (1994)
Application of the HBV model to the Upper Indus River for inflow forecasting to the Tarbela dam
- 49 Maja Brandt, Torbjörn Jutman och Hans Alexandersson (1994)
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961 - 1990 av nederbörd, avdunstning och avrinning
- 50 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Avrinningsområden i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öresund
- 51 Martin Gotthardsson (1994)
Svenskt Vattenarkiv.
Översvämningss känsliga områden i Sverige
- 52 Åsa Evremar (1994)
Avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden bestämd ur vattenbalans och med modellering
- 53 Magnus Edström och Pia Rystam (1994)
FFO - Stationsnät för fältforskningsområden 1994
- 54 Zhang Xingnan (1994)
A comparative study of the HBV model and development of an automatic calibration scheme
- 55 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Svenskt dammregister - Södra Sverige
- 56 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Svenskt dammregister - Norra Sverige
- 57 Martin Häggström (1994)
Snökartering i svenska fjällområdet med NOAA-satellitbilder
- 58 Hans Bertil Wittgren (1995)
Kvävetransport till Slätbaken från Söderköpingsåns avrinningsområde

- 59 Ola Pettersson (1995)
Vattenbalans för fältforskningsområden.
- 60 Barbro Johansson, Katarina Losjö, Nils Sjödin, Remigio Chikwanha and Joseph Merka (1995)
Assessment of surface water resources in the Manyame catchment - Zimbabwe
- 61 Behzad Koucheki (1995)
Älvtemperaturers variationer i Sverige under en tioårsperiod
- 62 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Sänkta och torrlagda sjöar
- 63 Malin Kanth (1995)
Hydrokemi i fältforskningsområden
- 64 Mikael Sundby, Rikard Lidén, Nils Sjödin, Helmer Rodriguez, Enrique Aranibar (1995)
Hydrometeorological Monitoring and Modelling for Water Resources Development and Hydropower Optimisation in Bolivia
- 65 Maja Brandt, Kurt Ehlert (1996)
Avrinningen från Sverige till omgivande hav
- 66 Sten Lindell, Håkan Sanner, Irena Nikolushkina, Inita Stikute (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Latvia
- 67 Sten Lindell, Bengt Carlsson, Håkan Sanner, Alvina Reihan, Rimma Vedom (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Estonia
- 68 Sara Larsson, Rikard Lidén (1996)
Stationstäthet och hydrologiska prognoser
- 69 Maja Brandt (1996)
Sedimenttransport i svenska vattendrag exempel från 1967-1994
- 70 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Avrinningsområden i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet
- 71 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Svenskt sjöregister. 2 delar
- 72 Sten Lindell, Lars O Ericsson, Håkan Sanner, Karin Göransson SMHI Malgorzata Mierkiewicz, Andrzej Kadlubowski, IMGW (1997)
Integrated Hydrological Monitoring and Forecasting System for the Vistula River Basin. Final report
- 73 Maja Brandt, Gun Grahn (1998)
Avdunstning och avrinningskoefficient i Sverige 1961-1990. Beräkningar med HBV-modellen
- 74 Anna Eklund (1998)
Vattentemperaturer i sjöar, sommar och vinter - resultat från SMHIs mätningar
- 75 Barbro Johansson, Magnus Edström, Katarina Losjö och Sten Bergström (1998)
Analys och beräkning av snösmältningsförlopp
- 76 Anna Eklund (1998)
Istjocklek på sjöar.
- 77 Björn Bringfelt (1998)
An evapotranspiration model using SYNOP weather observations in the Penman-Monteith equation
- 78 Svenskt Vattenarkiv (1998)
Avrinningsområden i Sverige. Del 2 Vattendrag till Bottenhavet
- 79 Maja Brandt, Anna Eklund (1999)
Snöns vatteninnehåll Modellberäkningar och statistik för Sverige
- 80 Bengt Carlsson (1999)
Some facts about the Torne and Kalix River Basins.
A contribution to the NEWBALTIC II workshop in Abisko June 1999

- 81 Anna Eklund (1999)
Isläggning och islossning i svenska sjöar
- 82 Svenskt Vattenarkiv (2000)
Avrinningsområden i Sverige. Del 1.
Vattendrag till Bottenviken
- 83 Anna Eklund, Marie Gardelin, Anders Lindroth (2000)
Vinteravdunstning i HBV-modellen - jämförelse med mätdata
- 84 Göran Lindström, Mikael Ottosson Löfvenius (2000)
Tjäle och avrinning i Svartberget – studier med HBV-modellen
- 85 Bengt Carlsson och Göran Lindström (2001)
HBV-modellen och flödesprognoser
- 86 Josef Källgården (2001)
Snow distribution in a mountainous region. A remote sensing study
- 87 Johan Andréasson, Anders Gyllander, Barbro Johansson, Josef Källgården, Sten Lindell, Judith Olofsson, Angela Lundberg (2001)
Snötaxering med georadar - Bättre vårflödesprognoser med HBV-modellen?
- 88 Deliang Chen, Barbro Johansson (2003)
Temperaturens höjdberoende – En studie i Indalsälvens avrinningsområde
- 89 Agne Lärke, Håkan Sanner, Anna Johnell (2003)
Utvärdering av SMHI:s prognos- och varningstjänsts verksamhet under flödena januari t o m mars 2002 i sydvästra Sverige
- 90 Johan Jansson (2003)
Satellite data on snow cover in the HBV model. Method development and evaluation
- 91 Charlotta Pers (2003)
BIOLA – BIOgeochemical LAke Model Manual
- 92 Carl Granström (2003)
Utvärdering av SMHI:s prognos- och varningstjänsts verksamhet under flödet i området runt Emån juli 2003
- 93 Carl Granström (2003)
Modell för prognos av tidpunkt och karaktär för islossningen i Torne älv
- 94 Maja Brandt och Gun Grahn, SMHI. Erik Årnfelt och Niclas Bäckman, Länsstyrelsen Östergötland (2004)
Anpassning av TRK-systemet från nationell till regional nivå samt scenarioräkningar för kväve – Tester för Motala Ström
- 95 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i södra Lappland juli 2004
- 96 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i Småland juli 2004
- 97 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i nordvästra Lappland juli 2004
- 98 Tahsin Yacoub, Ylwa Westman, Håkan Sanner, Bernth Samuelsson (2005)
Detaljerad översvämningskarta för Eskilstunaån. Ett projekt inom KRIS-GIS
- 99 Carl Granström (2005)
Utvärdering av SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst under vårfloden i fjällen juni 2005
- 100 Tahsin Yacoub, Håkan Sanner (2006)
Vattenståndsprognoser baserade på översiktlig kartering. En fallstudie
- 101 Göran Lindström (2006)
Regional kalibrering av HBV-modellen
- 102 Kurt Ehlert (2006)
Svenskt Vattendragsregister

- 103 Charlotta Pers (2007)
HBV-NP Model Manual
- 104 Barbro Johansson, Göran Lindström, Jonas Olsson, Tahsin Yacoub, Günter Haase, Karin Jacobsson, Anna Johnell, Håkan Sanner (2007)
Översvämningsprognoser i områden med ofullständiga data. Metodutveckling och utvärdering
- 105 Carl Granström, Anna Johnell, Martin Häggström (2007)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under höga flöden i sydvästra Sverige - nov 2006 till jan 2007
- 106 Johan Andréasson, Sara-Sofia Hellström, Jörgen Rosberg, Sten Bergström (2007)
Översiktlig kartpresentation av klimatförändringars påverkan på Sveriges vattentillgång - Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen”
- 107 Berit Arheimer, Charlotta Pers (2007)
Kväveretention i svenska sjöar och vattendrag – betydelse för utsläpp från reningsverk
- 108 Calle Granström, Martin Häggström, Sten Lindell, Judith Olofsson, Anna Eklund (2007)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under höga flöden i Götaland – juni och juli 2007
- 109 Niclas Hjerdt, Markus Andersén, Christer Jonsson och Dan Eklund (2007)
Hydraulik i Klarälvens torrfåra vid tappningar från Höljes kraftverksdamm
- 110 Sara-Sofia Hellström, Göran Lindström (2008)
Regional analys av klimat, vattentillgång och höga flöden
- 111 Calle Granström, Linda Gren, Magdalena Dahlin, Sara-Sofia Hellström (2008)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under höga flöden under vårfloden 2008
- 112 Gitte Berglöv, Jonas German, Hanna Gustavsson, Ulrika Harbman, Barbro Johansson (2009)
Improvement HBV model Rhine in FEWS. Final report
- 113 Katarina Norén, Carl Granström, Roger Eriksson (2010)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under vårfloden i södra Sverige 2010
- 114 Katarine Norén, Carl Granström, Roger Eriksson (2010)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under vårfloden i Norrland 2010
- 115 Gunn Persson, Sara-Sofia Asp, Karin Dyrestam, Dan Eklund, Anders Gyllander, Kristoffer Hallberg, Anna Johnell, Yacoub Tahsin och Else-Marie Wingqvist (2011)
Detaljerad översvämningskartering av nedre Torneälven
- 116 Jonas Olsson, Johan Södling, Fredrik Wetterhall (2011)
Högupplösta nederbördsdata för hydrologisk modellering: en förstudie
- 117 Sven Fremling, Thore Karlin, Birgitta Raab, Eva Edquist, Anna Eklund (2012)
Is på sjöar och älvar
- 118 Gunn Persson (2011)
Islossning i Torneälven



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01

ISSN: 0283-7722 © SMH