HYDROLOGI Nr 129, 2025

Utvärdering av S-HYPE och HBV-Svs avdunstningsrutiner

Ghasem Alavi, Julia Zábori, Anna Johnell, Åsa Johnsen, Niclas Hjerdt

I

Pärmbild.
Avdunstning från sjövatten vid Östra Homnatjärnen, Hälsingland. Foto: Lars Knutsson.

ISSN: 0283-7722 © SMHI

HYDROLOGI Nr 129, 2025

Utvärdering av S-HYPE och HBV-Svs avdunstningsrutiner

Ghasem Alavi, Julia Zábori, Anna Johnell, Åsa Johnsen, Niclas Hjerdt

Denna sida är avsiktligt blank

Sammanfattning

I denna rapport har vi utvärderat SMHI:s hydrologiska modellers förmåga att simulera avdunstning med hjälp av befintliga dataserier av avdunstningsmätningar i Sverige. Resultaten visar att S-HYPE simulerar totalavdunstning någorlunda bra för skogslandskap men tenderar att överskatta avdunstning för jordbruksmark och underskatta den för vattenytor.

En temperaturbaserad avdunstningsrutin, som används i SMHIs hydrologiska modeller, kan vara tillräcklig för att simulera vattenbalansen på en grundläggande nivå men inte om vi önskar en tillförlitlig simulering av avdunstning. Syftet av förbättring av SMHIs hydrologiska modeller skall inte vara att få en någorlunda bra simulering av totalavdunstning men att simulera avdunstningens olika komponenter på ett tillförlitligt sätt, särskilt interceptionsavdunstningen. Interceptionsavdunstning står för cirka 50 % av den totala avdunstningen från barrskog och spelar därmed en betydande roll för grundvattentillförseln i Sverige.

Idag saknar modellerna explicita rutiner för interceptionsavdunstning. Istället används en regional nederbördskorrigering och kalibrering, vilket leder till en grov skattning. Våra resultat indikerar att S-HYPE generellt underskattar interceptionsavdunstning. Jämförelser med observationer vid nära 140 platser i Sverige visar att de observerade värdena är cirka tre gånger större än de simulerade.

För att förbättra SMHI:s hydrologiska modeller föreslås:

- Test och utvärdering av AI-baserade tekniker och avancerade avdunstningsekvationer.
- Inkludering av rutiner för interceptionsavdunstning.
- Användning av fjärranalysdata som indata i modellerna för att bättre simulera avdunstningens komponenter.

En förbättring som kan genomföras snabbt och med relativt låg kostnad är att:

- Implementera nederbördskorrigering kopplad till markanvändning istället för region i S-HYPE, med hjälp av redan existerande koder för detta.
- Aktivera parametrarna ***icfo*** och ***icfi*** (interceptionskapacitet för skog och öppna fält) i HBV-Sv.

Summary

In this report, we have evaluated the performance of SMHI's hydrological models in simulating evaporation using existing datasets of evaporation measurements in Sweden. The results indicate that S-HYPE simulates total evaporation reasonably good for forest landscapes but tends to overestimate evaporation for agricultural land and underestimate it for water surfaces.

A temperature-based evaporation routine, which is used in SMHI's hydrological models, may be sufficient to simulate the water balance at a basic level. However, it is inadequate for reliable simulation of evaporation. The objective of improving SMHI's hydrological models should not be to achieve an approximately good simulation of total evaporation but rather to simulate the individual components of evaporation reliably, with a particular focus on interception evaporation. Interception evaporation accounts for approximately 50% of the total evaporation from coniferous forests and thus plays a significant role for groundwater recharge in Sweden.

Currently, the models lack explicit routines for interception evaporation. Instead, a regional precipitation correction and calibration are applied, resulting in a rough estimation. Our findings suggest that S-HYPE generally underestimates interception evaporation. Comparisons with observed data from nearly 140 locations in Sweden show that observed interception evaporation is approximately three times greater than the simulated values.

To improve SMHI's hydrological models, we propose:

- Testing and evaluation of AI-based techniques and advanced evaporation equations.
- Inclusion of routines for interception evaporation.
- Utilization of remote sensing data as input to the models to better simulate the components of evaporation.

An improvement that can be implemented quickly and at relatively low cost includes:

- Implementing precipitation correction linked to land use instead of region in S-HYPE, utilizing already existing codes for this purpose.
- Activating the parameters ***icfo*** and ***icfi*** (interception capacity for forests and open fields) in HBV-Sv.

Innehållsförteckning

1 BAKGRUND 4
1.1 Inledning 4
1.2 Avdunstnings komponenter 4
1.2.1 Transpiration 4
1.2.2 Interceptionsavdunstning 4
1.2.3 Markavdunstning 5
1.2.4 Vattenytaavdunstning 5
1.3 Evapotranspiration 5
2 SYFTE 5
3 METOD OCH DATA 5
3.1 S-HYPE och HBV-Sv 6
3.1.1 Potential avdunstning 6
3.1.2 Verklig avdunstning (actual evaporation) 7
3.1.3 Kalibrering 7
3.1.4 Modellkörningar 7
3.2 Mätningar av interceptionsavdunstning 7
3.3 Observationer av totalavdunstning 8
3.3.1 ICOS Sweden 8
3.3.2 Sjön Erken 9
4 RESULTAT 10
4.1 Analys av interceptionsavdunstningsmätningar 10
4.2 Jämförelse mellan observerad och S-HYPE-simulerad interceptionsavdunstning 11
4.3 Jämförelse mellan observerad och HYPE-simulerad totalavdunstning 13
4.3.1 ICOS-Sweden 13
4.4 Jämförelse mellan observerad och HYPE-simulerad sjöavdunstning 21
4.5 Maximal avdunstning 22
4.6 Jämförelse mellan S-HYPE och HBV-Sv 23
5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER 26
6 REFERENSER 28

Denna sida är avsiktligt blank

1 Bakgrund

1.1 Inledning

Kvantifiering av avdunstning är ett ämne av stor betydelse inom hydrologi, meteorologi, ekologi och jordbruk för att bara nämna några områden. Detta har blivit ännu viktigare under klimatförändringarnas tid. Att förstå hur mycket vatten som går till avdunstning är avgörande för att besvara viktiga frågor om klimatförändringarnas inverkan på vatten–mat–energi-nexus, land–atmosfär-interaktioner och extrema vädersituationer. Det gäller även många praktiska frågor, såsom optimering av vattenresurser, utveckling av bevattnings- och dräneringssystem, effektivisering av vattenanvändning samt design, konstruktion och drift av vattenmagasin.

SMHI har ett ansvar att stödja med prognoser och beslutsunderlag vad gäller vattentillgången i både dagens och framtida klimat. För vissa ändamål, exempelvis vattenförsörjning och bevattning, är det särskilt viktigt att dessa underlag håller hög kvalitet, framför allt i situationer med vattenbrist. Ett varmare klimat medför att avdunstningen från sjö- och vattendragsytor ökar, och eftersom Sverige är ett sjörikt land är avdunstningen en avgörande faktor för att bedöma vattentillgången inför och under vattenbristsituationer. Behovet av prognoser och underlag för att hantera vattenbristsituationer förväntas dessutom öka i framtiden. Förbättrade metoder för att beräkna avdunstning leder därför till säkrare prognoser och mer tillförlitliga beslutsunderlag.

Anpassningen av samhället till ett varmare klimat kräver inte bara information om avdunstning från olika typer av landskap – som skog, jordbruksmark och sjöar – utan även information om avdunstningens olika komponenter: interceptionsavdunstning, transpiration och markavdunstning. Interceptionsavdunstning spelar en särskilt viktig roll i ett skogrikt land som Sverige. I regioner där grundvatten är en livsviktig resurs krävs noggrann planering av skogens trädtäthet och gallring för att säkerställa tillräcklig markinfiltration och påfyllning av grundvattenmagasin.

I denna rapport har vi utvärderat och jämfört S-HYPE:s och HBV-Sv:s förmåga att simulera avdunstning, samt presenterat rekommendationer för att förbättra avdunstningsrutinerna i SMHI:s hydrologiska modeller.

Vi hoppas att rapporten kan utgöra en grund för vidareutveckling av modellerna så att de kan producera ännu bättre prognoser – inte bara för vattenföring utan även för avdunstning och dess komponenter.

1.2 Avdunstnings komponenter

1.2.1 Transpiration

Transpiration är den avdunstning som sker av vatten som har passerat genom en växt. Vatten tas upp av växtens rötter från marken och transporteras genom växten till bladen, där det avdunstar och släpps ut i luften.

1.2.2 Interceptionsavdunstning

När det regnar fångas en del av regnet av växternas bladverk; detta kallas intercepterat vatten. Den mängd vatten som intercepteras beror på vegetationens form och struktur. Under regn blir luften närmast bladytorna mättad, och transpirationen upphör. Avdunstningen sker istället från det intercepterade vattnet. Denna process kallas interceptionsavdunstning, och den är ofta mycket hög, eftersom transporten av vattenånga i luften ofta är mycket effektiv (Eckersten m.fl. 1997).

1.2.3 Markavdunstning

Markavdunstning är den avdunstning som sker från markytan i form av vattenånga. Vatten avdunstar från det översta jordlagret när det finns tillgänglig markfukt. Markavdunstningen minskar gradvis i takt med att marken torkar ut.

1.2.4 Vattenytaavdunstning

Vattenytaavdunstning är avdunstning från öppna vattenytor, såsom vattendrag, dammar och sjöar. Sjöavdunstningen är generellt lägre på våren och högre på hösten, eftersom sjövattnet värms upp långsamt och behåller värmen längre än omgivningen.

1.3 Evapotranspiration

Evapotranspiration är ett begrepp som används för att beskriva den totala avdunstningen från både intercepterat vatten och transpiration.

Ett relaterat begrepp som ofta används, men som saknar en entydig definition, är potentiell avdunstning eller potentiell evapotranspiration. Detta begrepp introducerades oberoende av varandra av Penman (Penman, 1948) och Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) år 1948. De definierade potentiell evapotranspiration som avdunstningen från en fri vattenyta, enbart baserat på rådande väderförhållanden. På den tiden betraktades växterna som "våta svampar", givet att de hade god tillgång till vatten. Det ansågs helt enkelt att vegetationen var utan någon inre kontroll över transpirationen.

En vanlig missuppfattning är att potentiell evapotranspiration representerar den högsta möjliga avdunstningen under ett visst klimat. Detta stämmer dock inte. I själva verket kan avdunstningen från en våt och skrovlig vegetationsyta, exempelvis en skog efter regn, vara betydligt större än avdunstningen från en fri vattenyta (Eckersten m.fl. 1997). Detta beror på att en skrovlig vegetationsyta, såsom trädkronorna i en skog, kan göra bortförseln av vattenånga kanske en tiopotens effektivare än från en vattenyta.

Verklig evapotranspiration (på engelska *actual evapotranspiration*) definieras däremot som den totala avdunstningen från underlaget – mark, växter och vattenytor – under rådande naturliga förhållanden.

2 Syfte

Syftet med studien var att utvärdera de avdunstningsrutiner som används i SMHI:s hydrologiska modeller för Sverige och, baserat på resultaten, föreslå förbättringsåtgärder.

3 Metod och data

Arbetet har genomförts i flera steg:

- Insamling och analys av befintliga mätdata för avdunstning och dess komponenter i Sverige.
- Utvärdering av S-HYPE:s förmåga att simulera avdunstning och dess komponenter för olika markanvändningstyper med hjälp av insamlade mätdata.
- Jämförelse mellan S-HYPE och HBV-Sv:s avdunstningsrutiner samt utvärdering av dessa med hjälp av vattenföringsdata från SMHI:s hydrologiska stationer.
- Presentation av resultat och rekommendationer.

3.1 S-HYPE och HBV-Sv

I denna studie användes S-HYPE version 2016 och HBV-Sv version 2014. Nederbörds- och temperaturdata hämtades från PTHBV, och samma drivdata användes för både HBV-Sv och S-HYPE. Nedan beskrivs avdunstningsrutinerna och modellernas kalibrering.

3.1.1 Potential avdunstning

I HBV-Sv beräknas potentiell avdunstning med en förenklad version av Thornthwaites ekvation:

$$Potential\ evaporation = athorn * T * stf$$

- T är den aktuella lufttemperaturen,
- *stf* en säsongsfaktor, och
- $athorn$ är en kalibreringsparameter som ligger mellan 0.15 och 0.3.

Säsongsfaktorn *stf* kan anta värden 0, 1 eller 2. Om värdet är 0 används ingen säsongskorrektion. HBV-Sv använder *stf* = 2, vilket ger följande säsongskorrektionsvärden:

Tabell 1. Säsongskorrektionsfaktorer i HBV-Sv (stf = 2).

jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	nov	Dec
0.6	1.9	2.4	1.8	1.4	1.3	1.0	0.9	0.6	0.4	0.2	0.3

Potentiell avdunstning för ”skog” och ”sjö” ökas med parametrarna *cevpfo* och *cevpl* som har värdena 1.15 och 1.10 i HBV-Sv.

I S-HYPE beräknas potentiell avdunstning med följande ekvationer:

$$Potential\ evaporation\ = \ Potential\ evaporation_base\ * (1 + cevpcorr)$$

Här är *cevpcorr* en regionberoende korrektionsfaktor, medan *Potential evaporation_base* beräknas enligt:

$$Potential\ evaporation_base = (cevp * cseason) * (T - ttmp)$$

Där:

- *cevp* är en markanvändningsberoende parameter,
- *cseason* är en säsongsfaktor,
- T är lufttemperatur, och
- *ttmp* är en markanvändningsberoende tröskeltemperatur.

HYPE använder en sinusformad årsdynamik för att beräkna säsongfaktorn, vilken bestäms med parameterna *cevpph* och *cevpam*, som har värdena 67.5 och 0.25 i S-HYPE.

För parametern *cevp* finns också en säsongskorrigering som beaktar att avdunstningshastigheten är mindre vid hög luftfuktighet (t.ex. på hösten) och större vid låg luftfuktighet (t.ex. på våren). Parametrarna *cevp* och *cevpcorr* har stor effekt på avdunstning i S-HYPE.

Tabell 2. Värden för parametern cevp för olika markanvändningstyper i S-HYPE.

Markanvändning	*Cevp*
Ytvatten	0.175
Barrskog	0.22
Blandskog	0.1875
Lövskog	0.155
Hygge	0.155
Hedmark	0.165

Markanvändning	*Cevp*
Kalfjäll	0.07
Glaciär	0.07
Mosse	0.1
Våtmark	0.1
Betesmark	0.18
Åkermark	0.215
Semiurbant	0.175
Impermeabel	0.05

3.1.2 Verklig avdunstning (actual evaporation)

Den verkliga avdunstningen för sjöar antas vara densamma som den potentiella, om lufttemperaturen är större än 0 °C i fallet HBV-Sv och större än *ttmp* för ytvatten i fallet S-HYPE (0.2 °C).

I både HBV-Sv och S-HYPE styrs verklig avdunstning från marken av markens fältkapacitet och parametern *lp*. Denna parameter anger en andel av markens fältkapacitet över vilken verklig avdunstning är lika med potentiell avdunstning.

En iögonfallande aspekt av avdunstningsrutinerna i HBV-Sv och S-HYPE är att ingen av dem innehåller en explicit rutin för interceptionsavdunstning. Dessutom är den enda meteorologiska parameter som styr avdunstningen temperaturen. Varken nettostrålning, vindhastighet eller luftfuktighet används i beräkningarna.

Modellerna kompenserar dock för interceptionsavdunstning genom en regional nederbördskorrigeringsfaktor, som också fungerar som en regional kalibreringsparameter för vattenbalans.

3.1.3 Kalibrering

Båda modellerna är kalibrerade mot vattenföring, vilket innebär att avdunstningsparametrar har justerats för att optimera anpassningen till observerade vattenföringsdata. Kalibreringsprocessen skiljer sig dock mellan HBV och HYPE:

- HBV: Parametrarna är helt regions- och lokalberoende.
- HYPE: De flesta parametrarna är kopplade till jordart och markanvändning, oberoende av plats och region. Dock finns många korrigeringsparametrar i HYPE som kan användas för regional anpassning.

Det är också viktigt att notera att avrinningsområdena är mindre i S-HYPE jämfört med HBV-Sv.

3.1.4 Modellkörningar

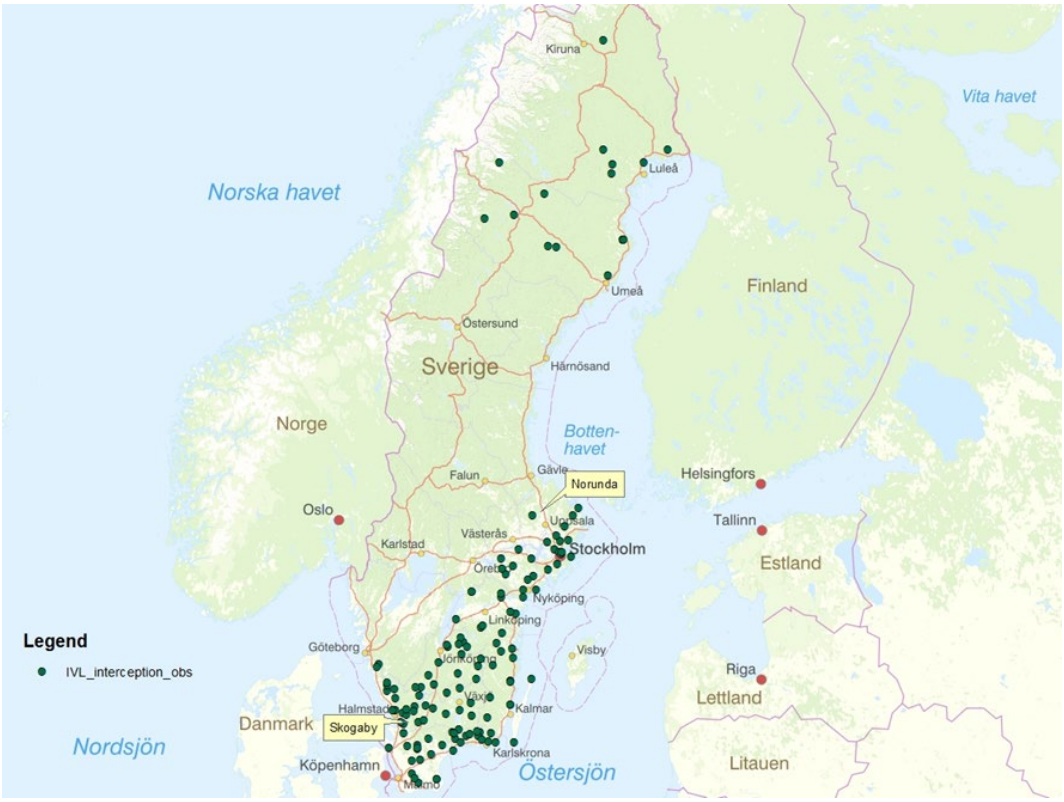
Modellerna kördes för perioden 1989-01-01 till 2018-12-31, och deras resultat jämfördes för varje av de tre HBV-områdena.

3.2 Mätningar av interceptionsavdunstning

Det har genomförts flera studier och mätningar av interception i Sverige. Forskarna vid SLU undersökte interceptionsavdunstning under 1990-talet. Alavi m.fl. (2001) studerade interceptionen under växtsäsongerna 1989–1993 i en granskog i Skogaby, Halland, medan Grelle m.fl. (1997) mätte och analyserade interception, transpiration och markavdunstning i en granskog i Norunda, Uppland, under växtsäsongen 1995.

De mest omfattande observationerna av interception i Sverige har dock gjorts av IVL inom miljöövervakningsprogrammet "Krondroppsnätet". Huvudsyftet med Krondroppsnätet var inte att mäta interceptionsavdunstning, utan att övervaka svavel- och kvävenedfall samt dess påverkan på markvattenkvaliteten i Sverige (Krondroppsnätet,

2024). Figur 1 visar de platser i Sverige där IVL genomfört samtida mätningar av nederbörd under trädkronor och på öppna fält inom ramen för Krondroppsnätets program, totalt 139 platser, samt mätningar i Norunda och Skogaby.



Figur 1. Platser med observerad interceptionsavdunstning i skogarna i Sverige. Gröna punkter representerar mätningar från Krondroppsnätet, och gula rutor markerar platserna för studier i Norunda och Skogaby.

3.3 Observationer av totalavdunstning

Nedan redovisas mätdata på totalavdunstning gjort i Sverige under de senaste decennierna. All mätdata bygger på så kallade "punktmätningar" som representerar homogena områden runt mätutrustningen.

3.3.1 ICOS Sweden

Integrated Carbon Observation System (ICOS, 2024) är ett europeiskt nätverk med nära 180 mätstationer i 16 länder. Syftet med nätverket är att förbättra förståelsen för vad som driver dagens klimatförändringar och att identifiera vad som krävs för att vända trenden. Nätverket utför långsiktiga observationer.

I Sverige finns ICOS Sweden som har mätstationer på sju olika platser, i skog, myrmark, jordbruk och marina miljöer. Nätverket hålls ihop genom samarbete mellan olika universitet (Göteborg, Lund, SLU, Stockholm och Uppsala), Polarforskningssekretariet och sedan 2020 även SMHI.

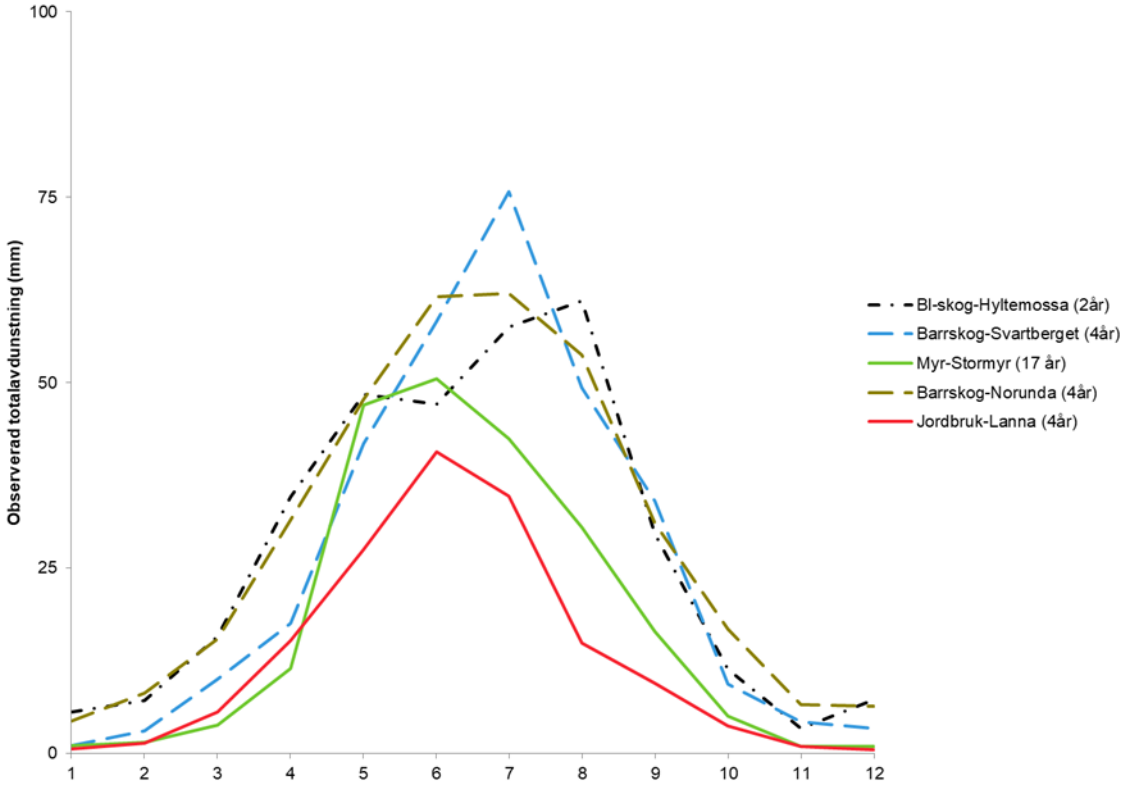
Vid sex av sju ICOS-Sweden-mätstationer mäts avdunstning: Svartberget, Degerö-Stormyr, Norunda, Lanna, Hyltemossa och Östergarnsholm (http://www.icos-sweden.se/). På Abisko-Stordalen mäts flera variabler men inte latent värmeflöde.

Stationen Östergarnsholm är belägen på en liten, platt ö utanför Gotlands östra kust och används huvudsakligen för att undersöka flödet av växthusgaser i marina miljöer. Eftersom avdunstningsdata från Östergarnsholm representerar avdunstning från Östersjön, har denna station exkluderats från vår undersökning.

Masternas höjd varierar vid de olika ICOS-stationerna beroende på landskapet. I skogsmiljö används höga master: 150 meter för Hyltemossa och Svartberget, och 102 meter för Norunda. På myrmark (Degerö-Stormyr) och jordbruksmark (Lanna) är masthöjden cirka 4 meter. Mätningar utförs med Eddy Covariance-metoden (Baldocchi m. fl. 2001) med en upplösning på 30 minuter. Det latenta värmeflödet mäts på höjderna 36 m, 32.5 m och 27 m i Norunda, Svartberget och Hyltemossa och på 2.2 m och 1.75 m i Lanna och Degerö.

Figur 2 visar observerad totalavdunstning på fem olika platser i Sverige. Av figuren framgår att avdunstningen startar tidigare i södra Sverige, vilket beror på den tidigare våren och längre växtsäsongen där. Skogslandskap i södra och norra Sverige uppvisar liknande avdunstningsdynamik, medan myr- och jordbrukslandskap har en annorlunda dynamik med generellt lägre avdunstning än skogslandskap.

Den kraftiga ökningen av avdunstning mellan april och maj vid Degerö-Stormyr beror troligtvis på att isen försvinner från myren.



Figur 2. Observerad månadsvärden av totalavdunstning vid fem olika platser i Sverige. Data från ICOS Sweden (http://www.icos-sweden.se/).

3.3.2 Sjön Erken

Sjön Erken ligger norr om Norrtälje i Stockholms län. Den har en yta på 24 km² och ett medeldjup på 9 meter, med den djupaste punkten på 21 meter. Vid sjön finns fältstationen Erkenlaboratoriet (Erkenlaboratoriet, 2024), som drivs av Uppsala universitet och har fungerat som en forskningsstation för studier av sjöars ekosystem sedan 1940-talet. Bland annat har man under flera decennier mätt inflöde och utflöde av vattenföring samt vattennivå. Dessutom mäts kontinuerligt flera meteorologiska parametrar.

Erkenlaboratoriet är en del av SITES (Swedish Infrastructure for Ecosystem Science, 2024), en nationell infrastruktur för terrestrisk och limnologisk fältforskning.

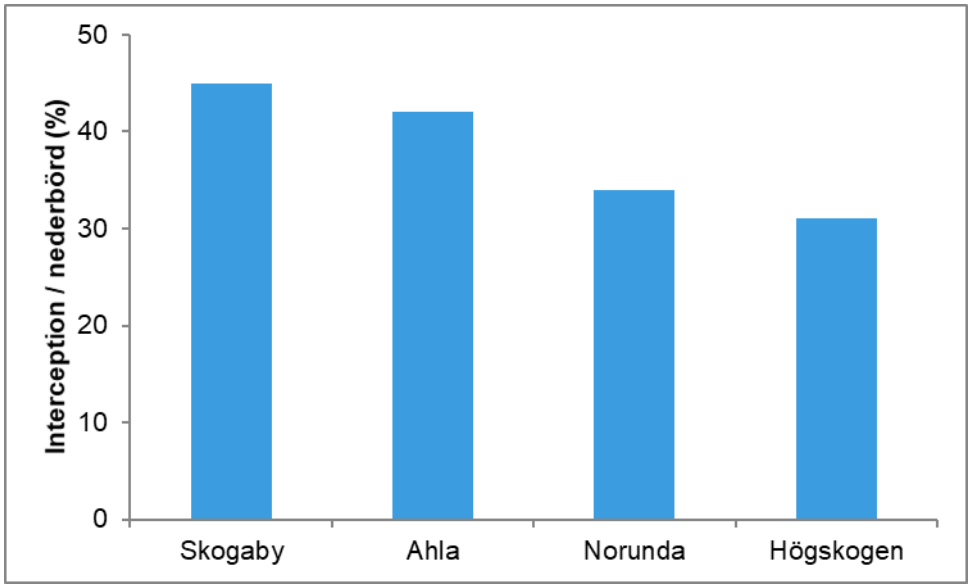
Sedan 2014 har forskare från Uppsala Universitet mätt växthusgaser och avdunstning med hjälp av Eddy Covariance-metoden. Instrumentet är monterat på en 4.1 meter hög mast placerad på en ö i sjön. Mätningarna sker med en tidsupplösning på 30 minuter.

4 Resultat

4.1 Analys av interceptionsavdunstningsmätningar

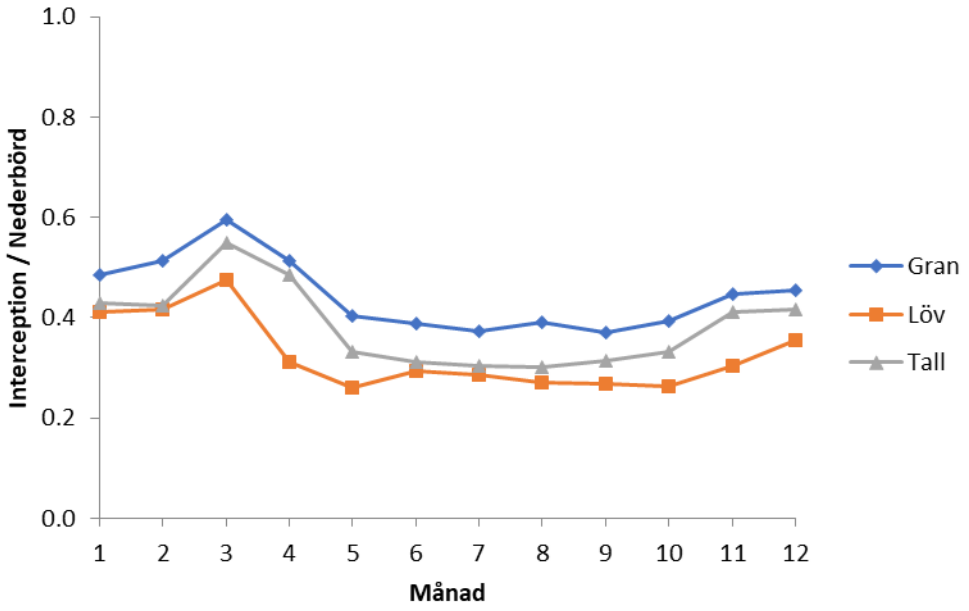
Resultaten från Alavi m.fl. (2001) och Grelle m.fl. (1997) visade att en betydande del av nederbörden i granskog återgår till atmosfären via interceptionsavdunstning: 45 % respektive 35 %. För lövskog är interceptionsavdunstningen något lägre. SMHI genomförde studier av interceptionsavdunstning i blandskog på 1970-talet och fann att cirka 27 % av nederbörden återgick till atmosfären genom interception (Bringfelt, 1980).

Det är intressant att Krondroppsnätets mätningar av interception vid Ahla (nära Skogaby) och Högskogen (nära Norunda) stämmer väl överens med de mätningar som utfördes av Alavi m.fl. (2001) och Grelle m.fl. (1997) i respektive områden (Figur 3). Trots att dessa mätningar var oberoende av varandra och baserade på olika metoder, visar resultaten liknande värden. Detta indikerar att mätningarna är trovärdiga och av hög kvalitet.



Figur 3. Jämförelse mellan oberoende mätningar av interceptionsavdunstning i granskog under växtsäsong (som procent av nederbörd) i Halland (Skogaby och Ahla) och Uppland (Norunda och Högskogen). Mätningarna i Ahla genomfördes av IVL:s Krondroppsnät i ett 60-årigt granbestånd mellan åren 1988 och 1995, medan mätningarna i Skogaby (i närheten av Ahla) utfördes av Alavi m.fl. (2001) i ett 25-årigt granbestånd under åren 1989–1993. På liknande sätt genomfördes mätningar i Högskogen av IVL:s Krondroppsnät i ett 55-årigt granbestånd mellan åren 1998 och 2003, medan mätningarna i Norunda (nära Högskogen) utfördes av Grelle m.fl. (1997) i ett 50-årigt granbestånd under sommaren 1995.

Figur 4 visar att granbestånd har den högsta interceptionsavdunstningen, medan lövskog uppvisar den lägsta. Det framgår också att kvoten av avdunstning/nederbörd är som högst under vintermånaderna. Pomeroy och Schmidt (1993) rapporterade att så mycket som 60 % av snön kan intercepteras i en barrskog, och att 30–40 % av den årliga snön aldrig når marken utan avdunstar direkt till atmosfären genom sublimering.



Figur 4. Månadsvärden för kvoten mellan interception och nederbörd i gran-, löv- och tallskogar i Sverige (Data från IVL).

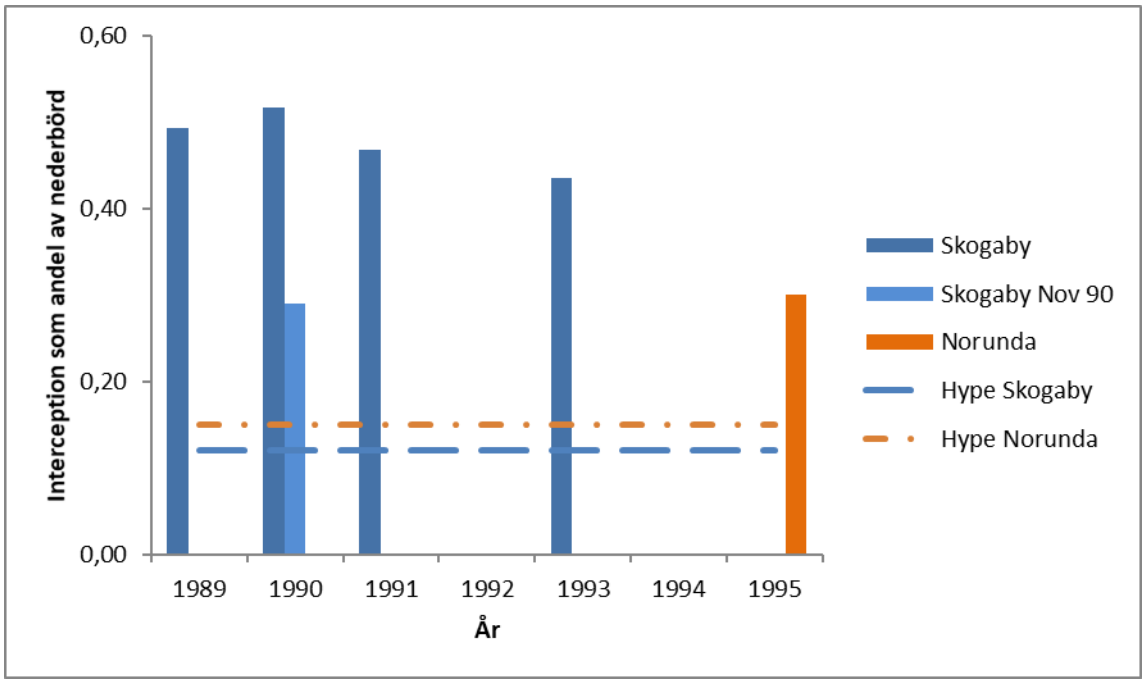
4.2 Jämförelse mellan observerad och S-HYPE-simulerad interceptionsavdunstning

Vi valde att jämföra mätdata endast med S-HYPE, eftersom delområdena i HBV-Sv är för stora för att kunna jämföras med de små områden som punktmätningsdata representerar.

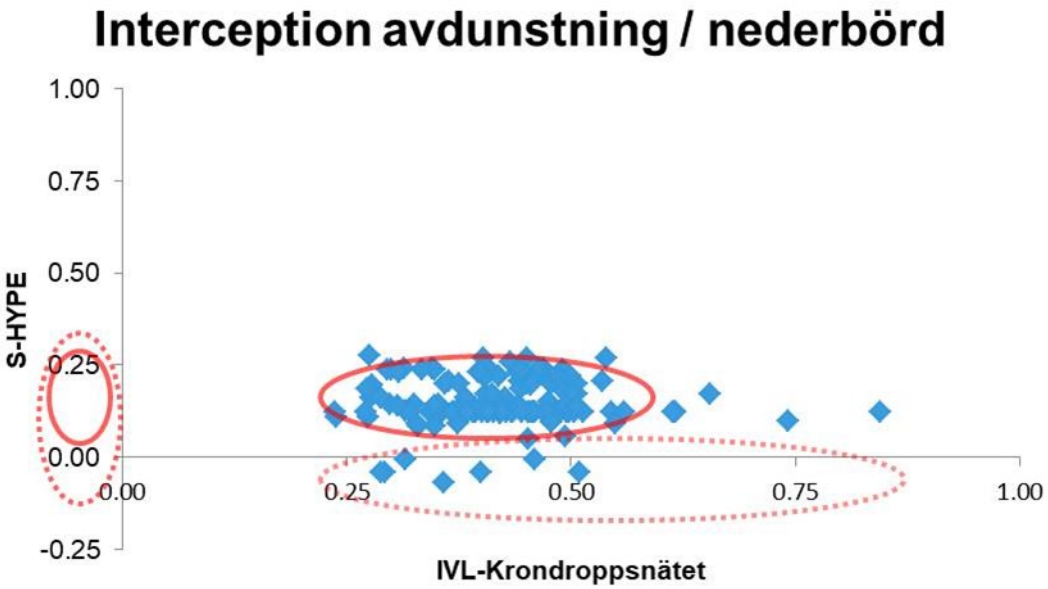
Som nämnts tidigare beräknar S-HYPE inte interception direkt utan kompenserar för den genom en regional korrigeringsfaktor för nederbörden.

Figurerna 5 och 6 visar tydligt att S-HYPE generellt underskattar interceptionsavdunstningen. En jämförelse mellan interceptionsavdunstning simulerad med S-HYPE (regional korrigeringsfaktor för nederbörden) och observerad interceptionsavdunstning på 139 platser i Sverige visar denna underskattning tydligt (Figur 6). Medan observationerna indikerar att interceptionsavdunstningen varierar mellan 24 och 80 % av nederbörden, är motsvarande intervall för S-HYPE mellan -7 och 28 % (se streckade ovaler i Figur 6). Om man exkluderar utstickare (outliers) minskar variationsintervallet för observationerna till 25–60 % och för modellen till 5–25 % (hel-linje ovaler i Figur 6).

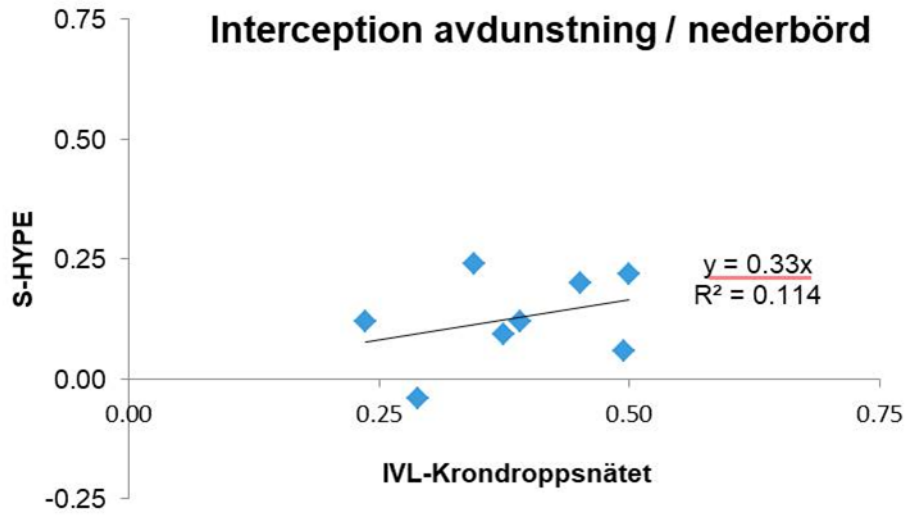
Figur 6 visar dessutom ingen tydlig relation mellan observerad och simulerad interceptionsavdunstning. Detta kan bero på att siffrorna för S-HYPE ofta representerar större avrinningsområden med varierande markanvändning, till skillnad från observationerna som har gjorts i skogbestånd. En svag relation kan dock anas när man jämför siffrorna för avrinningsområden med mer än 90 % skog (Figur 7). Denna relation visar att observerad interception är tre gånger större än den simulerade interceptionen (Figur 7). Emellertid är relationen svag och inte signifikant, med ett R^2-värde på endast 11 %.



Figur 5. Observerad och simulerad interceptionsavdunstning som andel av nederbörden under växtsäsongen (maj–oktober) i Skogaby (Halland) och Norunda (Uppland).



Figur 6. S-HYPE-simulerad interceptionsavdunstning (regionalkorregeringsfaktor för nederbörden) plottad mot observerad interceptionsavdunstning under växtsäsongen (maj–oktober, andel av nederbörden) i 139 skogsområden i Sverige (observerade data från Krondroppsnätet www.krondroppsnatet.ivl.se).



Figur 7. Samband mellan simulerad och observerad interceptionsavdunstning (andel av nederbörden) under växtsäsongen (maj–oktober) i S-HYPE-avrinningsområden med mer än 90% skog (observerade data från Krondroppsnätet www.krondroppsnatet.ivl.se).

4.3 Jämförelse mellan observerad och HYPE-simulerad totalavdunstning

Mätningar av totalavdunstning, i form av latent värmeflöde, pågår vid flera platser i Sverige. För avdunstning från land har vi använt data från ICOS-Sweden, som utgör den svenska delen av det europeiska ICOS-projektet. För avdunstning från sjöar har vi använt data från Erkenlaboratoriet, som är knutet till Uppsala universitet.

4.3.1 ICOS-Sweden

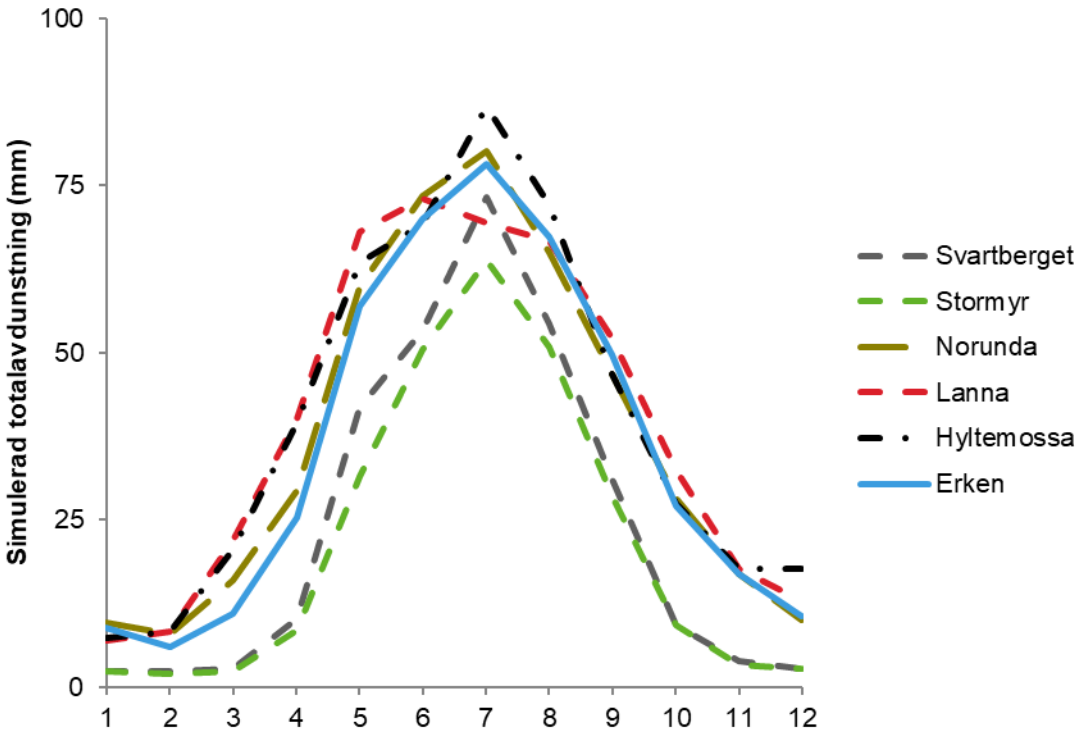
Nedan jämförs observerad totalavdunstning från ICOS-stationer med totalavdunstning (evpt) simulerad av S-HYPE. Det är viktigt att notera att data från S-HYPE representerar större delområden (subid) än observationsområdena. Dessutom inkluderar S-HYPEs delområden oftast flera typer av markanvändning, medan observationsområdena representerar homogena markanvändningstyper (se Tabell 3).

Figur 8 visar simulerade månadsvärden av totalavdunstning under samma tidsperioder som mätdata. Till skillnad från de observerade data, som visar olika årsdynamik beroende på markanvändning (Figur 2), uppvisar de simulerade värdena en liknande årsdynamik för alla typer av markanvändning. En möjlig orsak till detta är att en relativt hög andel skog förekommer i nästan alla simulerade delområdena, med undantag för Lanna, som endast har 1 % skog (Tabell 3).

Tabell 3. Markanvändning (LU) och korrigeringsfaktorer i HYPE-delområden med observerad totalavdunstning.

Obs_station	LU runt mast	Subid (S-HYPE 2016)	Skog (%)	Jordbruk (%)	Vattenyta (%)	Myrmark (%)	Parreg	Preccorr	Tempcorr	Cevpcorr
Svartberget	Barrskog	26076	98	0	0	1	60	-0.045	-0.7	-0.365
Stormyr	Myrmark	25796	67	0	0	33	60	-0.045	-0.7	-0.365
Norunda	Barrskog	9957	73	5	0	8	309	-0.141	-0.5	-0.195
Erken	Sjö	41103	46	7	41	0	310	-0.121	-0.115	-0.255

Lanna	Jordbruk	4166	1	86	0	0	295	-0.036	-0.09	-0.099
Hyltemossa	Barrskog	298	62	6	0	0	240	0.04	0.05	-0.08

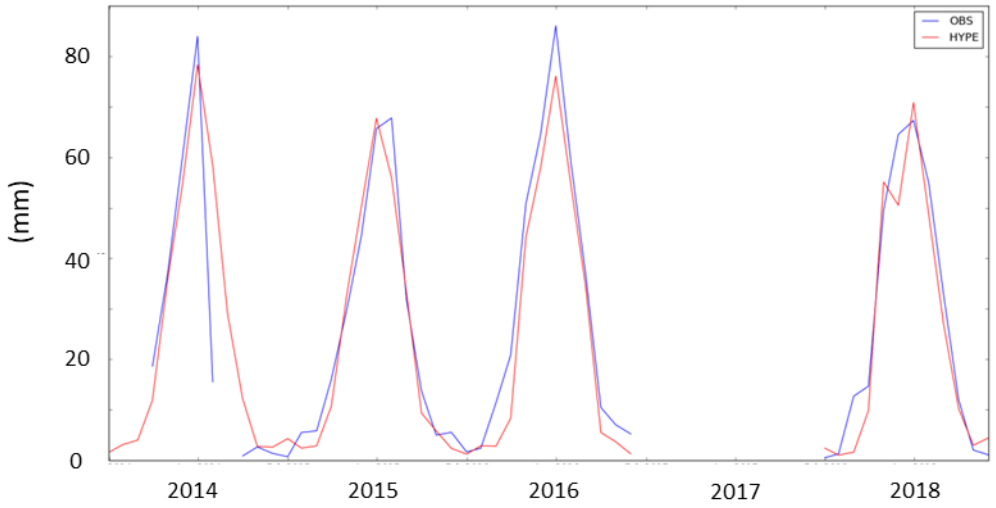


Figur 8. Månadsvärden av totalavdunstning simulerade med S-HYPE för sex olika områden i Sverige.

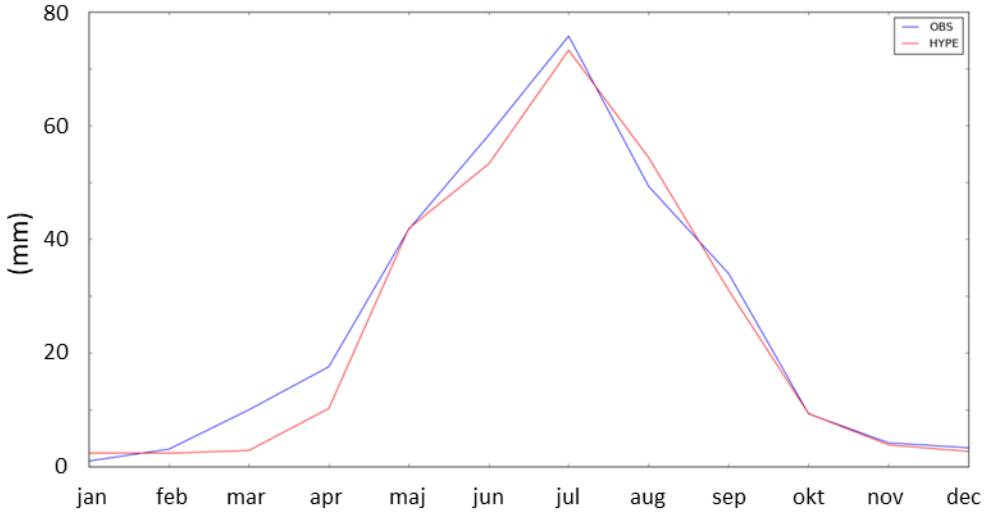
Modellen simulerade totalavdunstningen relativt väl för Svartberget och Norunda, med bättre överensstämmelse för Svartberget, vilket sannolikt beror på att S-HYPEs delområde för Svartberget innehåller en större andel skog jämfört med Norunda (se Figurer 9, 10, 14 och 15). Däremot överskattade modellen totalavdunstningen i Degerö-Stormyr (Figurer 11 och 12), Hyltemossa (Figurer 16 och 17) och Lanna (Figurer 18 och 19). Överskattningen är särskilt framträdande i Lanna, som utgörs av jordbruksmark. Denna avvikelse kan dock inte förklaras av att S-HYPEs delområde är heterogent och innehåller olika markanvändningstyper, eftersom hela 86 % av delområdet består av jordbruksmark och endast 1 % av skog (Tabell 3). Man skulle kunna spekulera i att avdunstningsmätningarna i Lanna är felaktiga, men all ICOS-data, inklusive data från Lanna, har genomgått omfattande kvalitetskontroll och valideringsprocesser (https://www.icos-cp.eu/about-icos-data).

De många negativa värdena för *Tempcorr* och *Cevpcorr* i Tabell 3 tyder på att modellen skulle ha överskattat avdunstningen ännu mer om inte korrigeringar med negativa justeringar av temperatur och avdunstning hade tillämpats.

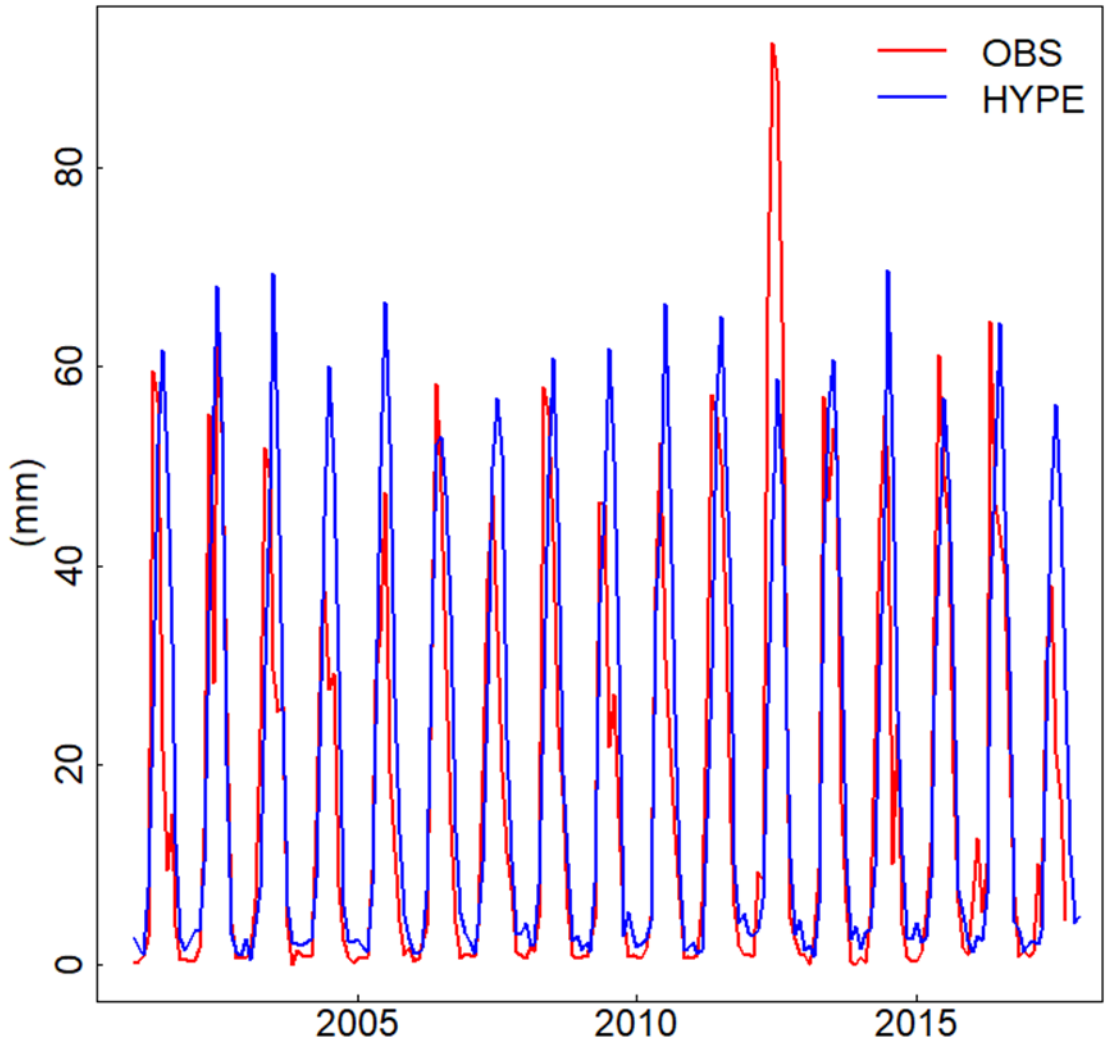
Att modellen presterar bäst för barrskog indikerar att den huvudsakligen är optimerad för Sveriges dominerande landskapstyp, nämligen barrskog (Rodhe et al., 2006).



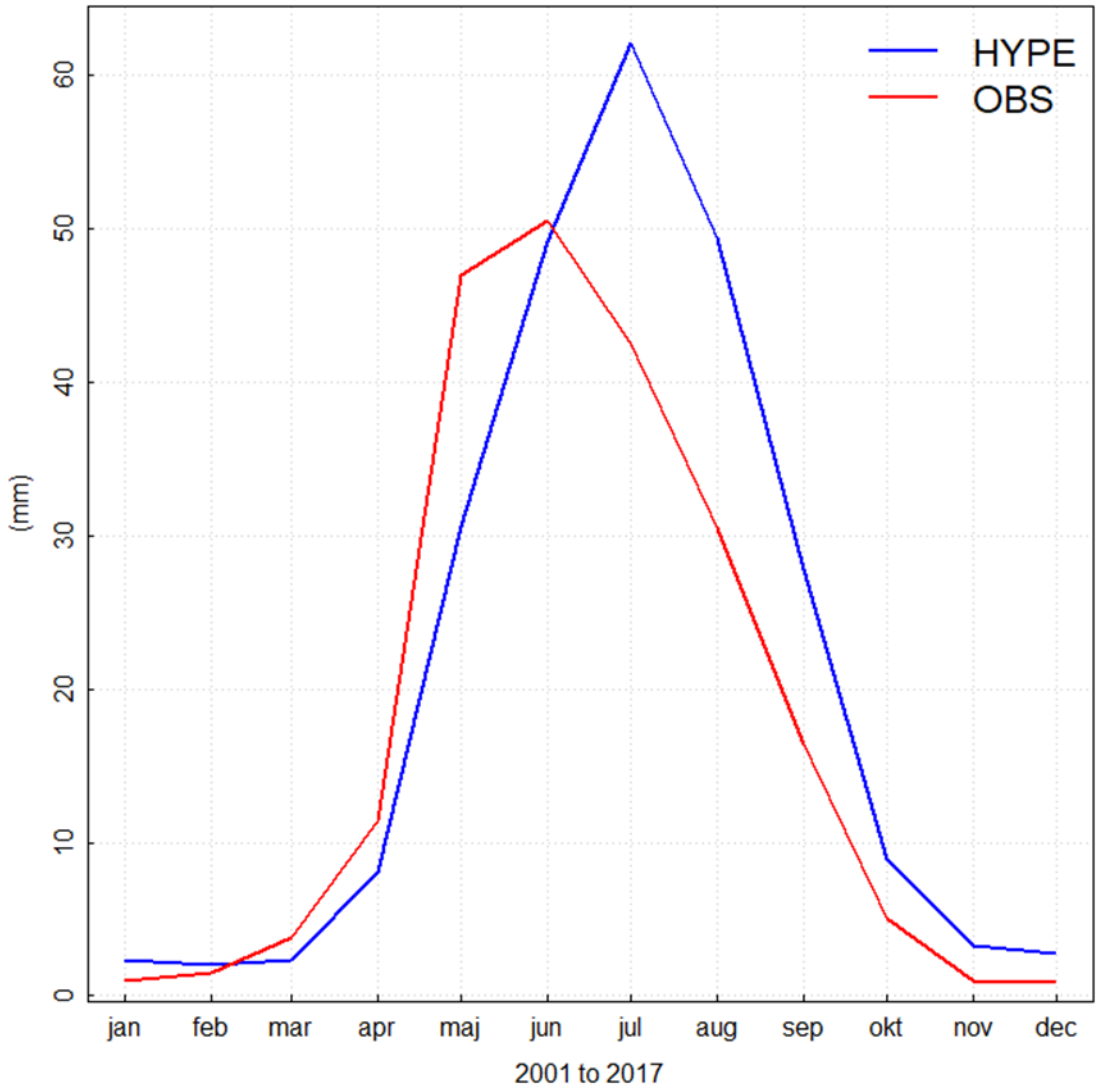
Figur 9. Månatlig observerad (blå linje) och simulerad (röd linje) totalavdunstning för Svartberget.



Figur 10. Observerad (blå linje) och simulerad (röd linje) årstidsvariation av totalavdunstning för Svartberget (2014 - 2018).

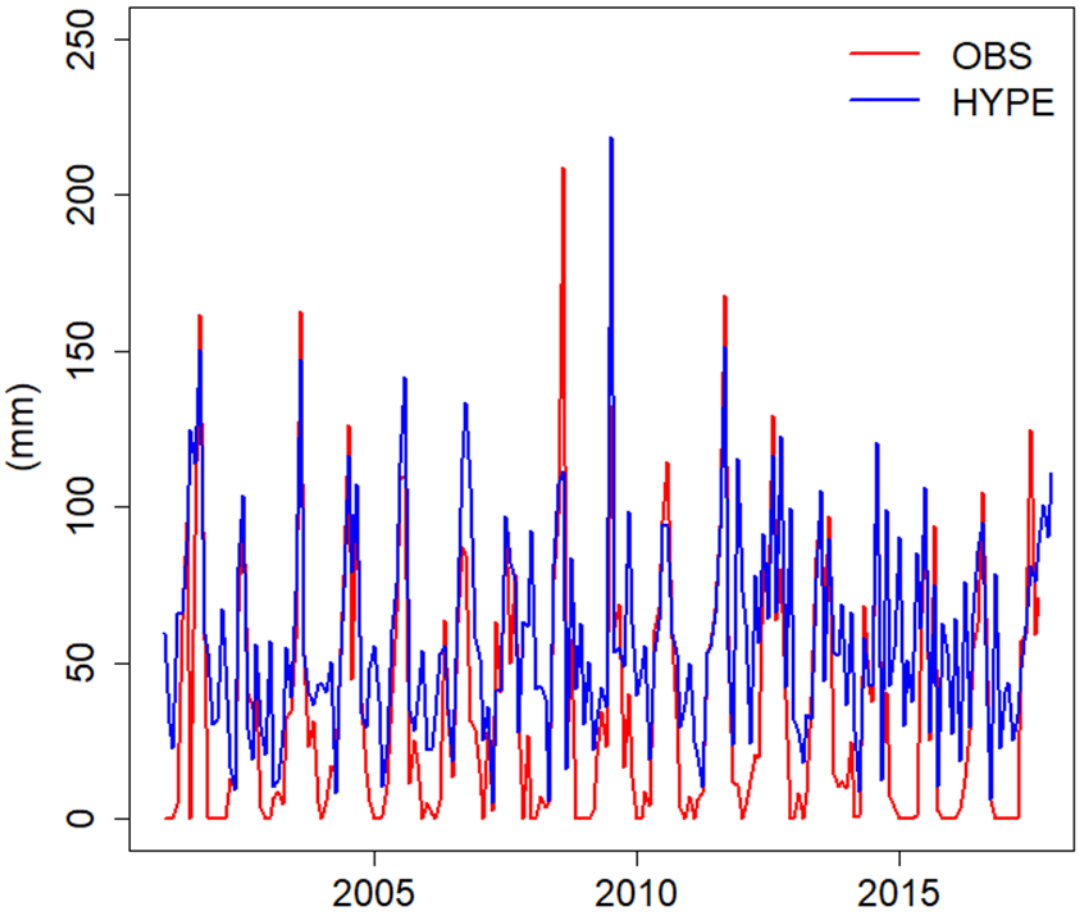


Figur 11. Månatlig observerad (röd linje) och simulerad (blå linje) totalavdunstning för Degerö-Stormyr.

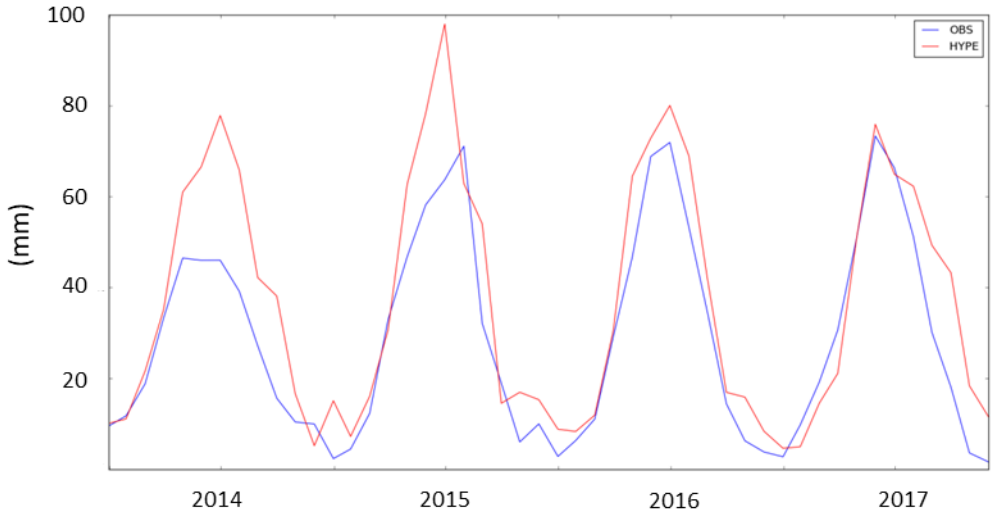


Figur 12. Observerad (röd linje) och simulerad (blå linje) årstidsvariation av totalavdunstning för Degerö-Stormyr (2001 - 2017).

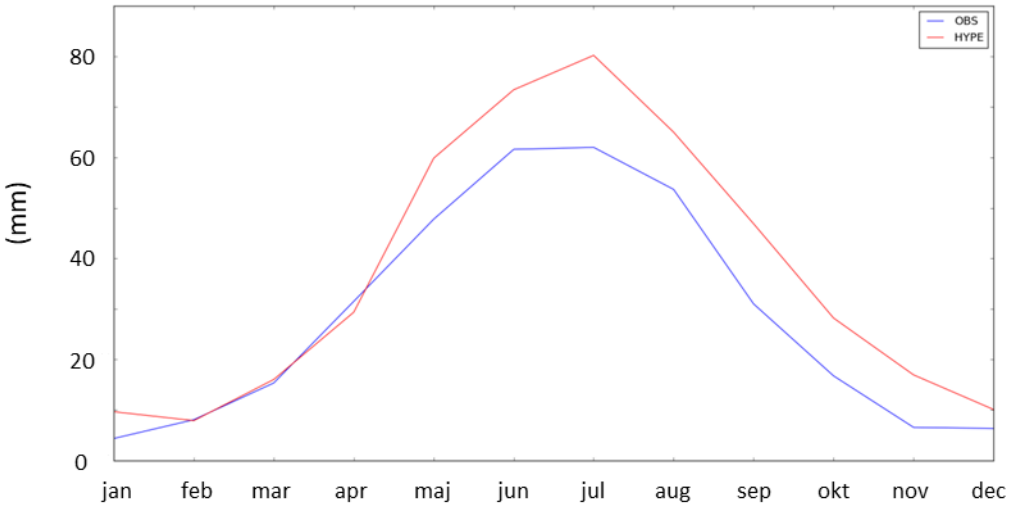
För Degerö-Stormyr fanns även nederbördsdata tillgängliga. Kvaliteten på dessa data är dock tveksam, då flera månadssummor är 0 (Figur 13).



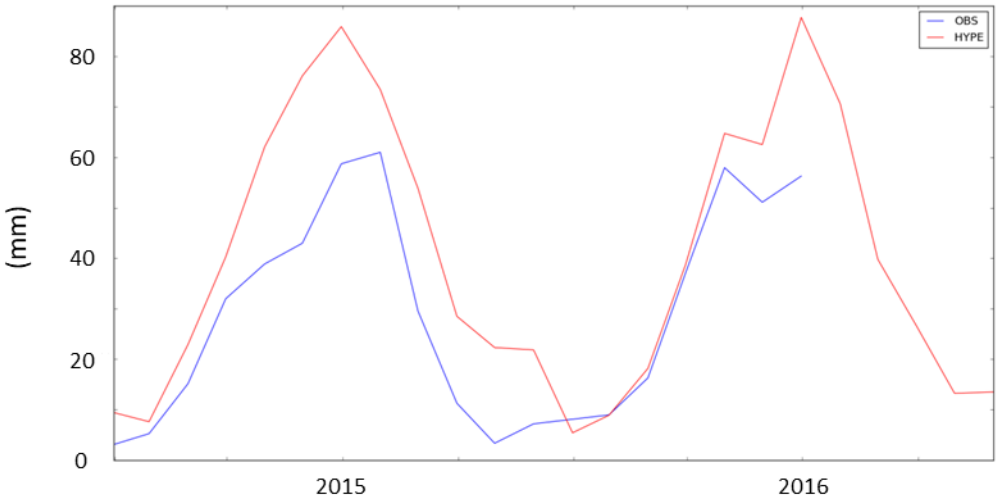
Figur 13. Månatlig observerad nederbörd vid Degerö-Stormyr (data från ICOS Sweden) jämfört med månatlig nederbörd från PTHBV för den S-HYPE-subid där Degerö-Stormyr är beläget.



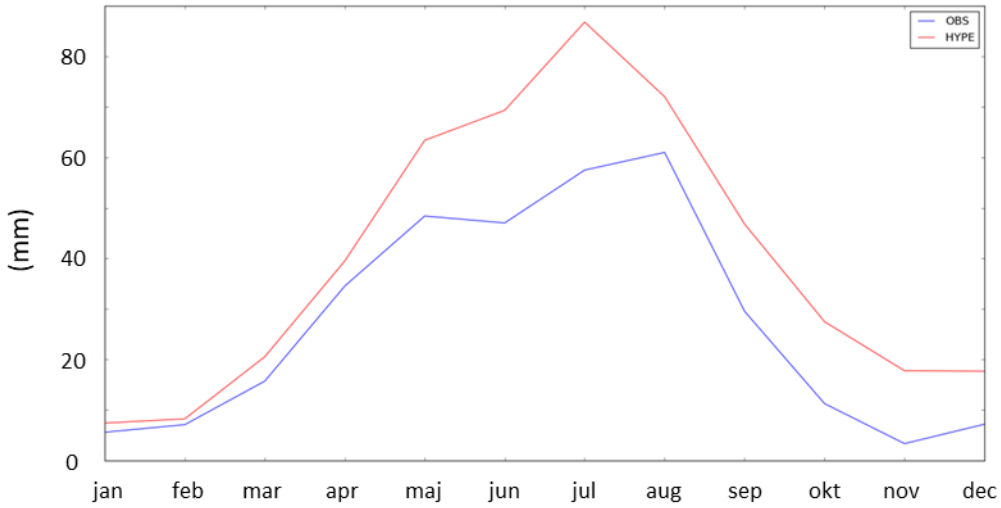
Figur 14. Månatlig observerad (blå linje) och simulerad (röd linje) totalavdunstning för Norunda.



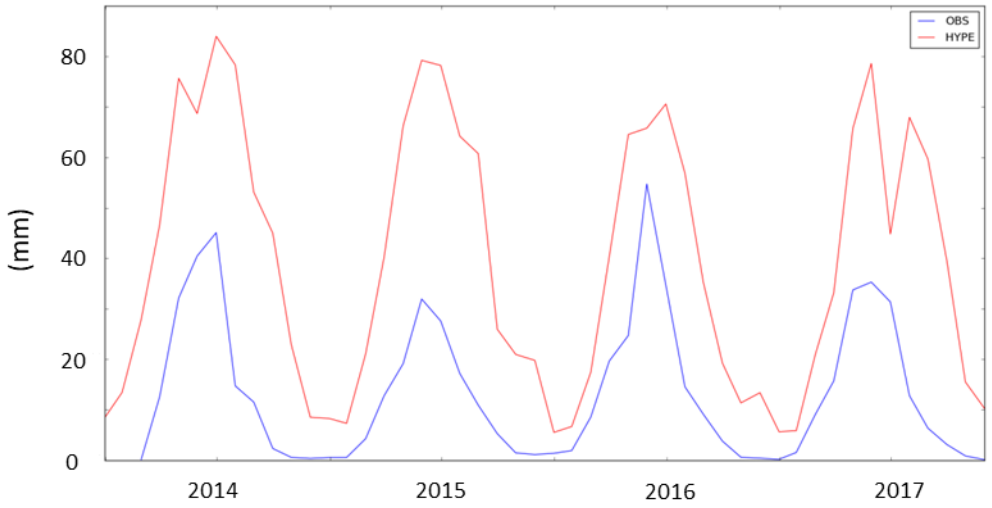
Figur 15. Observerad (blå linje) och simulerad (röd linje) årstidsvariation av totalavdunstning för Norunda (2014–2017).



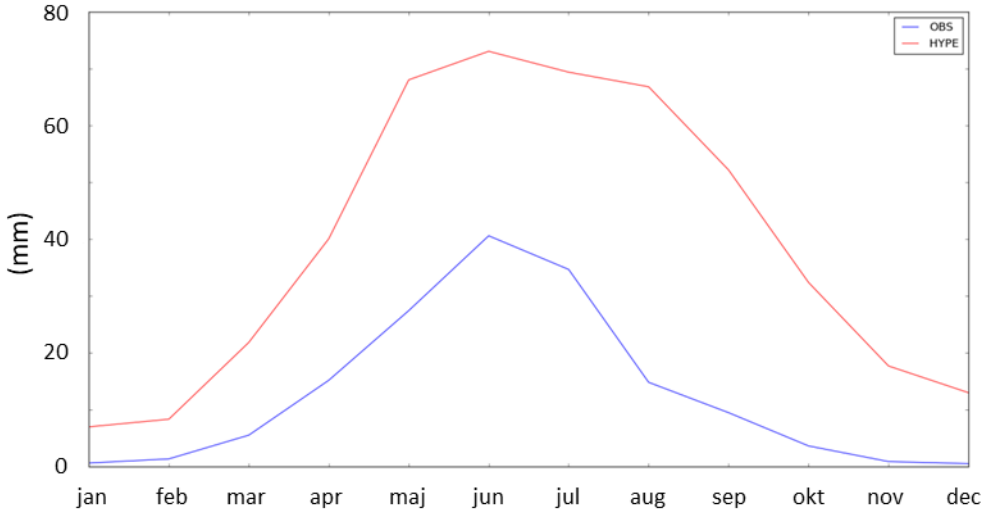
Figur 16. Månatlig observerad (blå linje) och simulerad (röd linje) totalavdunstning för Hyltemossa.



Figur 17. Observerad (blå linje) och simulerad (röd linje) årstidsvariation av totalavdunstning för Hyltemossa (2015–2016).



Figur 18. Månatlig observerad (blå linje) och simulerad (röd linje) totalavdunstning för Lanna.



Figur 19. Observerad (blå linje) och simulerad (röd linje) årstidsvariation av totalavdunstning för Lanna (2014–2017).

4.4 Jämförelse mellan observerad och HYPE-simulerad sjöavdunstning

Figur 20 visar den dagliga avdunstningen för sjön Erken. För att säkerställa att data representerar sjön har forskarna vid Uppsala universitet exkluderat Eddy Covariance-data där vinden inte kom från sjön. Dessutom har användningen av LICOR LI-7500 Open Path Gas Analyzer, som inte fungerar under regn och snö, lett till många luckor i mätserien. På grund av dessa dataluckor har det inte varit möjligt att beräkna månadsmedelvärden.

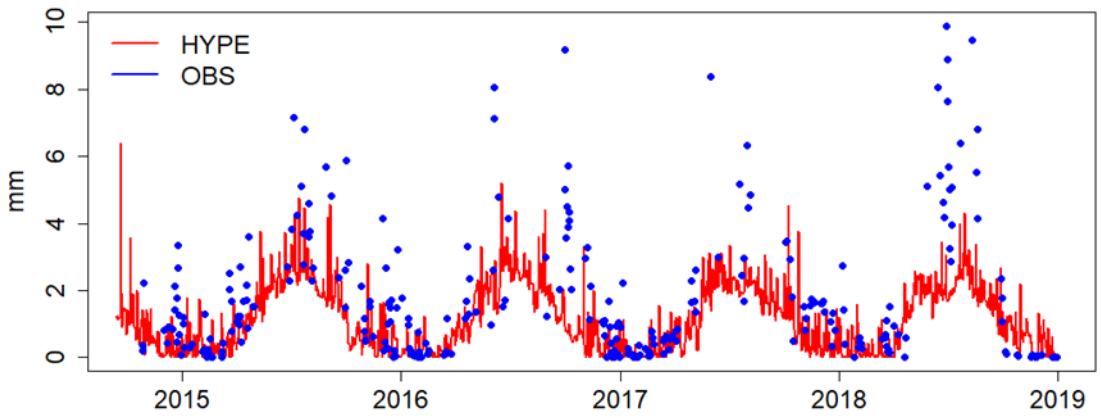
Data från S-HYPE-modellen representerar delområde som innefattar sjön Erken (subid 41103). Delområdet har en markanvändningsfördelning på 41 % vattenyta, 46 % barrskog och 7 % jordbruksmark (se Tabell 3). Modellen visar en säsongsvariation och avdunstningsnivå som är nästan identisk med den för Norunda (Figur 8). Även om de två områdena ligger i samma geografiska zon, skiljer de sig markant i andelen sjöyta: 41 %

för Erken jämfört med 0 % för Norunda. Skogsandelen dominerar däremot i Norunda med 73 %, medan den endast täcker 46 % av delområdet Erken.

Man kan fråga sig om skillnaden mellan modell och observation bero på att observationerna endast representerar vattenytan, medan vattenytan i subid 41103 utgör endast 41 % av området. I själva verket skulle modellens underskattning av avdunstningen vara ännu större om hela subid 41103 bestod av vatten, eftersom parametern cevp, som styr avdunstningen i S-HYPE, är lägre för vattenyta (0.175) än för barrskog (0.22) och jordbruksmark (0.215).

Utifrån tillgängliga dagliga värden framgår att modellen presterar bäst under vintern och tidig vår, medan den underskattar avdunstningen under resten av året. Underskattningen är generellt sett som störst under sommaren, särskilt under extremvärmeförhållanden som sommaren 2018 (Figur 20).

Det är rimligt att förvänta sig att modellen skulle simulera en högre avdunstning för Erken under hösten jämfört med Norunda, samt att toppen skulle inträffa senare än i juli. Detta beror på att värmen som lagras i sjön under våren och sommaren avges och driver avdunstningen under hösten. Björn Bringfelt (1988) använde mätserier av vattentemperatur i kombination med väderobservationer (lufttemperatur, ångtryck och vind) för att beräkna avdunstningen från Locknesjön i Jämtland under perioden maj–december. Han fann att avdunstningen ökade månad för månad fram till en kulmen i september.



Figur 20. Daglig observerad totalavdunstning (blåa punkter) och simulerad totalavdunstning (röd linje) för sjön Erken. Observationsdata från Erik Sahlée, Uppsala Universitet.

4.5 Maximal avdunstning

Den maximala observerade månadsliga avdunstningen ($E_{M_obs}^{max}$) inträffade i juli för Svartberget och Norunda (barrskog), medan den inträffade i juni för Stormyr (myrmark) och Lanna (jordbruksmark). I Hyltemossa, som ligger i södra Sverige, skedde $E_{M_obs}^{max}$ i augusti. Den maximala simulerade månadsliga avdunstningen ($E_{M_sim}^{max}$) inträffade däremot i juli för samtliga stationer. Modellen presterar bäst i barrskogsområden, både vad gäller tidsdynamik och kvantitet.

Värdena för $E_{M_obs}^{max}$ och $E_{M_sim}^{max}$ uppgick till:

- 76 respektive 74 mm för Svartberget,

- 50 respektive 64 mm för Stormyr,
- 62 respektive 80 mm för Norunda,
- 41 respektive 69 mm för Lanna,
- 61 respektive 87 mm för Hyltemossa.

Som syns varierar $E_{M_obs}^{max}$ betydligt mer än det simulerade, $E_{M_sim}^{max}$.

Modellen visar liknande maximala avdunstningsvärden för Norunda och Erken, 80 respektive 78 mm, trots att det delområde där Norunda är beläget saknar vattenytor (0%). Även om $E_{M_obs}^{max}$ saknas för Erken, antyder Figur 20 att modellen underskattar detta värde.

4.6 Jämförelse mellan S-HYPE och HBV-Sv

För att jämföra avdunstningsrutinerna i S-HYPE och HBV-Sv valde vi avrinningsområden med liknande avrinningsarealer inom HBV-Sv och S-HYPE samt med mätstationer i SMHIs grundnät. Bland dessa områden valdes de som kännetecknas av en regleringsgrad mindre än 1 %, en Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) större än 0.80 (S-HYPE 2016) och en lägsta vattenföring större än 0. Totalt identifierades 42 avrinningsområden, spridda över hela Sverige, som representerar tre av fyra ”HBV-områden” (Tabell 4). Sverige är indelat i fyra ”HBV-områden” baserat på de fyra modelluppsättningarna i HBV-Sv.

HBV-Sv simulerade årssummorna av avrinningen relativt väl, men inte lika bra som S-HYPE. Båda modellerna tenderar att överskatta avrinningen under sommarmånaderna (Figur 21, överst).

Toppmånaden för avdunstning simuleras en månad tidigare av HBV-Sv jämfört med S-HYPE (Figur 22, mitten). HBV-Sv simulerar också högre avdunstning än S-HYPE under våren (mars–maj), vilket kan förklara HBV-Svs underskattning av vattenföringen under samma period (se streckade ovaler i Figurer 21 och 22).

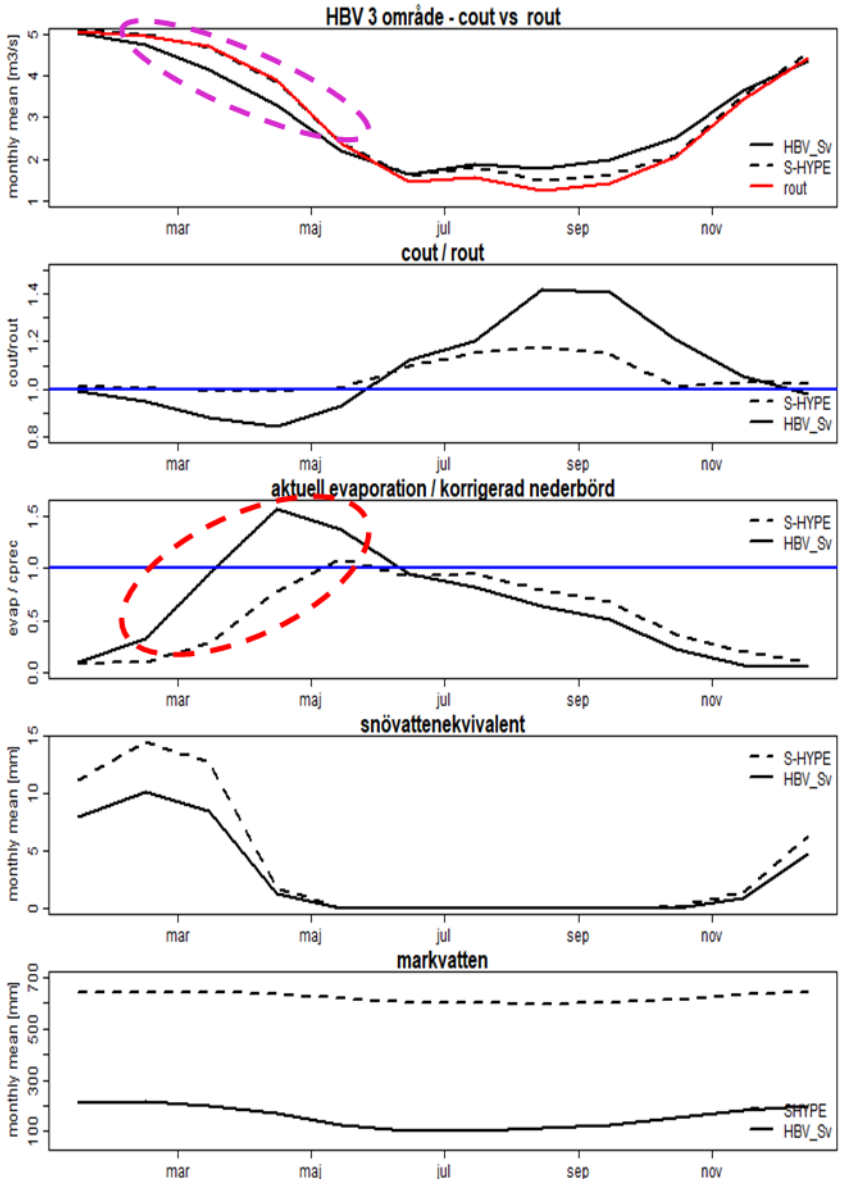
Det finns ingen skillnad i temperaturkorrigeringen mellan modellerna (Figur 22). Skillnader i avdunstning mellan modellerna kan därför inte härledas till olika temperaturkorrigeringar.

Som tidigare nämnts använder båda modellerna regional nederbördskorrigering för interceptionsavdunstning och kalibrering av vattenbalansen. Medianvärdet för den korrigerade nederbörden över alla områden visade sig vara högre för HBV-Sv än för S-HYPE. Med andra ord korrigerar S-HYPE nederbörden mer än HBV-Sv, alltså högre interceptionsavdunstning i S-HYPE än HBV-Sv. Detta betyder att HBV-Sv underskattar interceptionsavdunstningen ännu mer jämfört med S-HYPE. I avsnitt 4.2 såg vi att S-HYPE generellt underskattar interceptionsavdunstningen i Sverige.

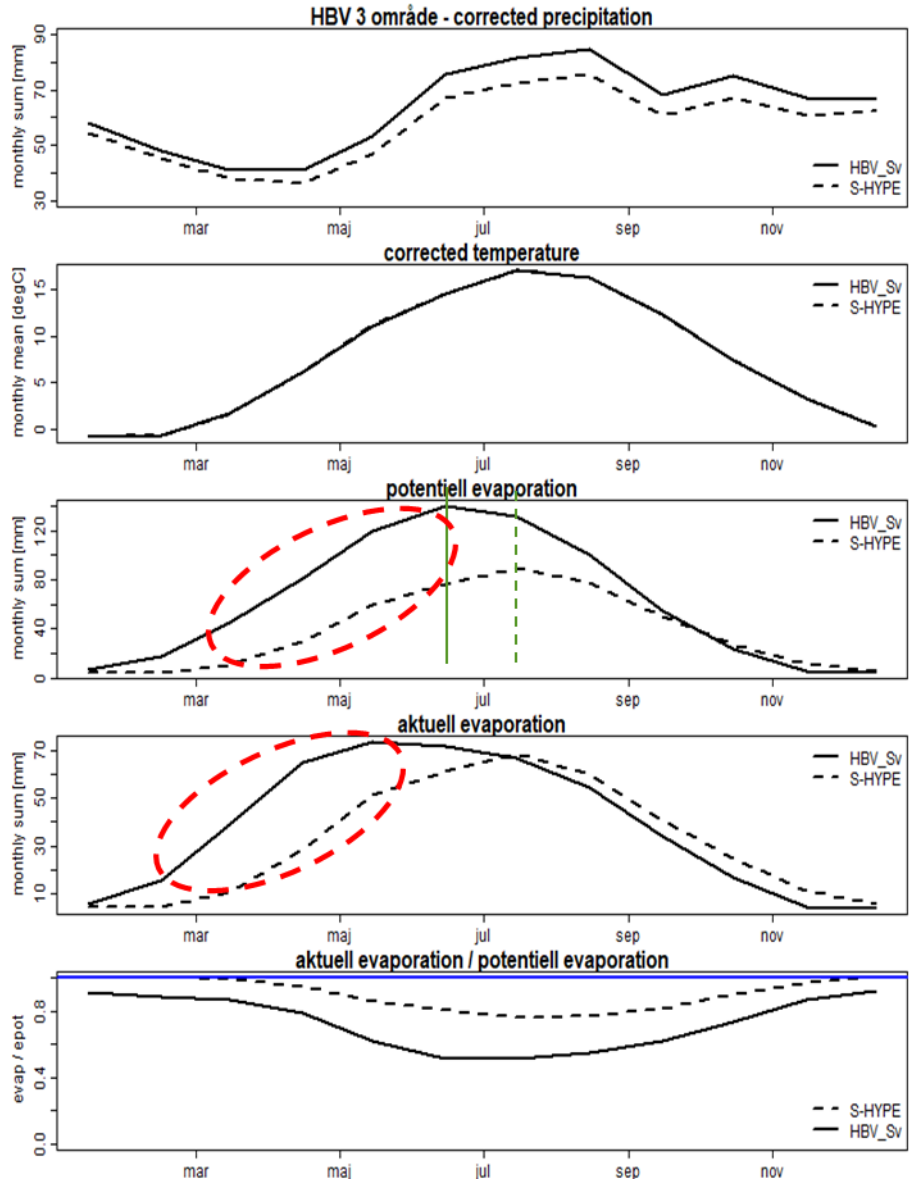
Varken S-HYPE eller HBV-Sv har en dedikerad rutin för interceptionsavdunstning. Däremot innehåller HBV modellen parametrar för interceptionskapacitet för både skog och öppna fält, *icfo* respektive *icfi*. I HBV-Sv används dock inte dessa parametrar, och interceptionskapaciteten sätts till 0, vilket innebär att ingen interception räknas in.

Tabell 4. Stationsnamn, S-HYPE 2016 ID, HBV-Sv ID, uppströmsareor samt HBV-områdesnummer för de undersökta områdena.

GRUNDNÄT	ID_SHYPE	ID_HBVSV	SHYPE_AREA(KM^2)	HBVSV_AREA(KM^2)	HBV_område
LANNAVAARA	37023	1020	3850	3855	1
KALLIO 2	60491	1039	14400	14477	1
ÖVRE ABISKOJOKK	37312	1001	565	567	1
KUKKASJÄRVI	33236	3001	494	494	1
KILLINGI	36144	4003	2340	2346	1
YTTERHOLMEN	33253	7006	1020	1012	1
NIAVVE	41939	9018	1720	1717	1
STRÖMFORS	29558	20012	678	679	1
DALKARLSÅ	25263	25001	251	250	1
ALMBRO	6458	61005	454	454	3
KRINGLAN	8970	61012	294	294	3
FELLINGSBRO	63565	61023	298	298	3
ODENSVIBRON 2	8347	61030	110	110	3
HÄRNEVI	9059	61045	312	312	3
SÖDERKÖPING	63974	68003	322	328	3
BRUSAFORS	40458	74005	240	240	3
STRÖMSBORG	1680	75003	247	247	3
KÄLLSTORP 2	1070	77002	342	342	3
HÖRLINGE	444	88006	202	203	3
SPÅNGA NEDRE	403	88007	852	853	3
NYMÖLLA	223	88011	351	352	3
MÖCKELN	1022	88003	1030	1026	3
TÅNEMÖLLA	38	89090001	102	102	3
KLINGAVÄLSÅN	100	92003	191	192	3
ELLINGE	175	92004	150	151	3
EGGELSTAD	103	92001	262	262	3
ÅBROMÖLLA	296	95001	119	119	3
KLIPPAN 2	369	96004	241	241	3
FASTARP	64462	96005	192	192	3
ÄRRARP	576	96006	261	261	3
PEPPARFORSEN	1749	103012	383	384	4
ARNESTORP	7439	108055	183	184	4
ATTORP	4126	108091	663	663	4
SUNDSTORP	4087	108086	686	687	4
MAGNOR	64827	108028	360	360	4
HALVORSBYN	4678	108019	230	230	4
MELLANKVARN	4592	108020	702	703	4
VRÅNGEBÄCKEN	3948	108104	279	279	4
SPÅNGA KVARN	3622	108098	482	483	4
NYBERGSSUND	13726	108002	4420	4428	4
KROKFORS KVARN	5537	110001	115	116	4
GUNNARSBO	4748	110002	613	614	4



Figur 21. Simulerad och observerad årstidsvariation av vattenföringen, kvoten mellan simulerad och observerad vattenföringen, kvoten mellan aktuell evaporation och korrigerad nederbörd, snövattenekvivalent och markvatten för avrinningsområden av stationer belägna i HBV område 3 under perioden 1989–2018. ***cout*** *= Simulerad vattenföring,* ***rout*** *= Observerad vattenföring.*



Figur 22. Jämförelse mellan HBV-Sv och S-HYPE: korrigerad nederbörd, korrigerad temperatur, potentiell och aktuell evaporation samt kvoten mellan aktuell och potentiell evaporation för avrinningsområden av stationer belägna i HBV område 3 under perioden 1989–2018.

5 Diskussion och Slutsatser

SMHI:s hydrologiska modeller har visat en tillfredsställande förmåga att beräkna vattenföring. Detta är förväntat, då modellerna är specifikt utformade för detta syfte och har kalibrerats samt testats under flera decennier med hjälp av observerade vattenföringsdata. Om dessa modeller däremot används för att simulera avdunstning blir resultaten mer varierande.

Våra resultat visar att S-HYPE simulerar totalavdunstning relativt väl för skogslandskap men tenderar att överskatta avdunstning för jordbruksmark och underskatta den för vattenytor. Vi kunde inte direkt jämföra HBV-Svs simulerade avdunstning med observationer, eftersom HBV-Svs delområden är betydligt större än de små områden som observationerna representerar. Trots detta förväntas avdunstningen från HBV-Sv inte skilja sig avsevärt från S-HYPE, då båda modellerna använder liknande temperaturstyrda avdunstningsrutiner.

En temperaturbaserad avdunstningsrutin, som används i våra modeller, kan vara tillräcklig för att simulera vattenbalansen på en grundläggande nivå, men den är otillräcklig för att pålitligt simulera avdunstningens olika komponenter. Lindström (2019) testade tre metoder för att beräkna avdunstning i södra Sverige (söder om Dalälven) med hjälp av vattenbalansdata från 177 hydrologiska mätstationer:

a) avdunstning proportionell mot temperaturen,

b) avdunstning som en andel av nederbörden,

c) avdunstning lika stor i hela området (konstant årsavdunstning).

Information om nederbörd, temperatur, markanvändning, arealer, vattendragsnätverk och vattenföring hämtades från S-HYPE, och tidsperioden 1999–2008 analyserades.

Resultaten visade att metoden med konstant årsavdunstning, där samma avdunstning (484 mm/år) antogs i hela området, gav bäst överensstämmelse (13 % fel). Den nederbördsberoende metoden presterade sämst (24 % fel), medan den temperaturberoende metoden låg mittemellan (17 % fel). Det faktum att temperaturmetoden inte gav bättre resultat än en konstant årsavdunstning indikerar att mekanismerna bakom avdunstning är mer komplexa och inte kan förklaras enbart med temperatur.

Lindström (2019) använde vidare konstant årsavdunstning för att analysera avdunstning från olika markanvändningstyper. Studien visade högre avdunstning från vattenytor, medan avdunstningen från skog och jordbruksmark var snarlik och motsvarade medelvärdet för alla markanvändningsklasser. Detta beror sannolikt på att skog är den dominerande markanvändningen i det studerade området (södra Sverige). Vidare visade studien att avdunstningen från våtmarker var lägre än medelvärdet för alla klasser (skog, jordbruk, vattenytor, våtmark och urbant).

Våra resultat bekräftar att avdunstning från vattenytor (sjön Erken) tenderar att vara högre än från skogslandskap. För jordbruksmark visar mätdata dock tydligt lägre avdunstning än för både skog och våtmarker (Figur 2). Den snarlika avdunstningen för jordbruksmark och skog i Lindströms rapport kan bero på att hans studerade områden innehåller både jordbruksmark och skog, där skogen har en dominerande roll i avrinningsområdets vattenbalans över längre tidsperioder.

För att förbättra våra modeller är det inte tillräckligt att enbart simulera totalavdunstning relativt väl; det är också viktigt att korrekt simulera avdunstningens olika komponenter: markavdunstning, transpiration och särskilt interceptionsavdunstning. Interceptionsavdunstningen står för mer än 50 % av all avdunstning från barrskog (Alavi m.fl., 2001) och utgör därmed cirka en tredjedel av all avdunstning i Sverige, då 70 % av landets yta består av skog (Moström m.fl., 2019).

Nästan alla Sveriges grundvattenmagasin finns i skogsmarker, och skogens avdunstning påverkar dessa magasin direkt. En optimal grundvattentillgång kräver planering av skogsskötsel, inklusive trädtäthet och gallring, för att säkerställa god markinfiltration och påfyllning av grundvattenmagasin.

Idag saknar våra modeller explicita rutiner för interceptionsavdunstning. Istället används en regional nederbördskorrigering samt kalibrering, vilket ger en grov skattning. Vårt resultat tyder på att S-HYPE generellt underskattar interceptionsavdunstning från skogslandskap. Jämförelse med observerad interceptionsavdunstning vid nära 140 platser i Sverige visar att de observerade värdena är cirka tre gånger större än de simulerade.

En väg för att förbättra modellerna är att använda fjärranalysdata som ger information om de vegetationskomponenter som delar totalavdunstningen i dess olika beståndsdelar: markavdunstning, transpiration och interceptionsavdunstning. För att förbättra våra modeller föreslås följande:

- **Test och utvärdering av avancerade avdunstningsekvationer och AI-baserade tekniker:**

  Detta inkluderar metoder som Priestly-Taylor (Priestley & Taylor 1972), Penman-Monteith (Monteith 1965), PT-JPL (Priestley-Taylor Jet Propulsion Laboratory-modellen; Fisher m.fl. 2008; Fisher 2018) och andra kombinerade eller renodlade energibalansbaserade rutiner som SEBAL (Liou & Kar (2014). Dessa metoder kan utvärderas mot mätserier av avdunstning från ICOS-stationer och Erkenlaboratoriet. Särskilt intressant är PT-JPL-modellens algoritm, som omvandlar potentiell avdunstning till verklig avdunstning med hjälp av få meteorologiska data och vegetationsparametrar framtagna från satellitbilder.

  Idag är satellitdata en oumbärlig källa till information om landskap och atmosfär. Data från det synliga, nära-infraröda och termiskt infraröda spektrumet används för att beräkna variabler som yt- och lufttemperatur, vegetationsindex, bladareaindex (LAI, Houborg & McCabe 2018), albedo, kortvågig instrålning och långvågig utstrålning. Dessa variabler används i sin tur i fjärranalysmodeller för att beräkna avdunstning.

- **Test och utvärdering av interceptionsavdunstningsrutiner:**

  Dessa rutiner kan utvärderas mot mätdata från IVL och tidigare samt pågående forskningsprojekt, med målet att inkludera dem i S-HYPE. Modellering av interceptionsavdunstning kräver minst antal parametrar jämfört med transpiration och markavdunstning, vilket gör den enklare att implementera. Interceptionskapaciteten är den viktigaste parametern och kan enkelt bestämmas med hjälp av LAI-data från fjärranalysdatabaser.

  Passande algoritmer för att beräkna interceptionsavdunstning inkluderar Penman-Monteith, Priestly-Taylor (båda finns redan i HYPE), PT-JPL eller en kombination av dessa. Indata till modellerna kan hämtas från fjärranalysdatabaser, PTHBV och SMHI:s meteorologiska stationer.

- **Förbättring av befintliga rutiner:**

  En förbättring som kan genomföras med relativt låg kostnad är att köra S-HYPE med nederbördskorrigering kopplad till markanvändning istället för region. Det finns redan färdiga koder för markanvändningsberoende nederbördskorregering. De utvecklades under HYPE:s initiala faser men har inte testats. De kan också användas som ett alternativ, ifall de mer avancerade förslagen ovan gör modellen för komplex eller överparameteriserad.

  För HBV-Sv föreslås aktivering av parametrarna *icfo* (interceptionskapacitet för skog) och *icfi* (interceptionskapacitet för öppna fält).

6 Referenser

Alavi G., Jansson P-E., Hällgren J-E. & Bergholm J., 2001. Interception of a dense spruce forest, performance of a simplified canopy water balance model. Nordic Hydrology 32 (4/5): 265 – 284.

Baldocchi D., Falge E., Gu L.H., Olson R., Hollinger D., Running S., et al., 2001. FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem scale carbon dioxide, water vapor, and energy fluxdensities. Bull. Am. Meteorol. Soc., 82: 2415-2434.

Bringfelt B. 1980. A comparison of forest evapotranspiration determined by some independent methods. SMHI Rapporter, Meteorologi och klimatologi nr. RMK 24. ISSN 0347-2116.

Bringfelt B. 1988. Beräkning av sjöavdunstning. SMHI FoU-NOTISER, Nr 57, februari 1988.

Eckersten H., Jansson P-E., Karlsson S., Lindroth A., Persson, B., Perttu K., Carlsson, M., Lewan, L. & Blombäck K. 1997. En introduktion till biogeofysik, 3:e upplagan.

Avdelningsmeddelande 97:4. Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, ISSN 0282-6569.

Erkenlaboratoriet, 2024. https://www.uu.se/institution/ekologi-och-genetik/forskning/erkenlaboratoriet

Fisher J. B., Tu K. P. & Baldocchi D. 2008. Global estimates of the land–atmosphere water flux based on monthly AVHRR and ISLSCP-II data, validated at 16 FLUXNET sites. Remote. Sens. Environ. 112, 901–919, doi:10.1016/j.rse.2007.06.025.

Fisher J. B. 2018. Level-3 Evapotranspiration L3(ET_PT-JPL) Algorithm Theoretical Basis Document. ECOSTRESS Science Document no. D-94645. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.

Grelle A., Lundberg A., Lindroth A., Morén A.-S. & Cienciala E. 1997. Evaporation components of a boreal forest: variations during the growing season. Journal of Hydrology 197: 70–87.

Houborg R. & McCabe M. F. 2018. A hybrid training approach for leaf area index estimation via cubist and random forests machine-learning. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 135, 173–188.

ICOS RI, 2024. ICOS Handbook 2024. ICOS ERIC. https://doi.org/10.18160/28AV-80QR

Krondroppsnätet, 2024. Det regionala miljöövervakningsnätet Krondroppsnätet. Svenska Miljöinstitutet, IVL. https://www.ivl.se/vart-erbjudande/forskning/luft/krondroppsnatet.html

Lindström, G. 2019. Hydrologiska aspekter på åtgärder mot vattenbrist och torka inom avrinningsområden. HYDROLOGI Nr 122. ISSN: 0283-7722 © SMHI.

Liou Y-A and Kar S. K. 2014. Evapotranspiration Estimation with Remote Sensing and Various Surface Energy Balance Algorithms - A Review. Energies 7, 2821-2849. doi:10.3390/en7052821

Monteith, J.L., 1965. Evaporation and environment. 19th Symposia of the Society for Experimental Biology. 205-234.

Moström J., Rispling L. & Hedeklint K. 2019, Markanvändningen i Sverige, sjunde utgåvan, Statistiska centralbyrån (SCB).

Penman H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Soc. London A193, No. 1032, 120-145.

Pomeroy, J. W. and Schmidt, R. A. 1993. 'The use of fractal geometry in modelling intercepted snow accumulation and sublimation', Proc. Eastern Snow Conference, 50, 1-10.

Priestley C.H.B. and Taylor R.J. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Monthly Weather Review 100: 81–92.

Rodhe, A., Lindström, G. Rosberg, J. & Pers, C. 2006. Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. Uppsala Universitet, Institutionen för geovetenskaper, Luft- och vattenlära. Report Series A No. 66.

Swedish Infrastructure for Ecosystem Science, 2024. SITES, https://www.fieldsites.se/

Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geograph. Rev. 38, Nr. 1: 55-94.

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	**Publiseras 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

2. Martin Häggström och Magnus Persson (1986)
   Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser

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

4. Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman (1986)
   Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vattenplanering - Ett pilotprojekt

5. Martin Häggström (1986)
   Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985

6. Barbro Johansson (1986)
   Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt

7. Maja Brandt (1986)
   Areella snöstudier

8. Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström (1987)
   PULS-modellen: Struktur och tillämpningar

9. Lennart Funkquist (1987)
   Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar

10. Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet (1987)
    Application of the HBV model to Bolivian basins

11. Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet (1987)
    Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model

12. Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov (1987)
    De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter

13. Göran Lindström (1987)
    Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn

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)
Martin 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 Umeälven 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 Torbjörn Jutman och Hans Alexandersson Brandt, (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.
Översvämningskänsliga 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 SMHIs 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 scenarioberäkningar för kväve – Tester för Motala Ström

95. Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i södra Lappland juli 2004

96. Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i Småland juli 2004

97. Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs 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 SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under vårfloden i fjällen juni 2005

100. Tahsin Yacoub, Håkan Sanner (2006)
Vattenståndsprognoser baserade på översiktlig kartering. En fallstudié

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

119. Göran Lindström, Alena Bartosova, Niclas Hjerdt och Johan Strömqvist (2017)
Uppehållstider i ytvatten i relation till vattenkvalitet -NET, ett generellt uppskalningsverktyg

120. Katarina Stensen, Aino Krunegård, Kristina Rasmusson, Bettina Matti, Niclas Hjerdt (2019)
Sveriges vattentillgång utifrån perspektivet vattenbrist och torka – Delrapport 1 i regeringsuppdrag om åtgärder för att motverka vattenbrist i ytvattentäkter.

121. Katarina Stensen, Bettina Matti, Kristina Rasmusson, Niclas Hjerdt (2019)
Modellstudie för att undersöka åtgärder som påverkar lågflöden – Delrapport 2 i regeringsuppdrag om åtgärder för att motverka vattenbrist i ytvattentäkter.

122. Göran Lindström (2019)
Hydrologiska aspekter på åtgärder mot vattenbrist och torka inom avrinningsområden.

123. Karin Jacobsson, Daniel Carlsson (2020)
Historisk specifik flödeseffekt. Lutningar och bredder för historiska förhållanden Pilotsträckan Motala ström mellan Vättern och Roxen.
(ej publicerad)

124. Johan Strömqvist, Eva Johansson, Maria Elenius, Elisabeth Bölenius, Maria Bertrand, Carin Hayer (2020)
Förbättrad vattenbalansberäkning genom inkludering av jordbruksbevattning

125. Niclas Hjerdt (2020)
Trender i vattenbalans 1961-2019
(ej publicerad)

126. Karin Lundgren Kownacki (2020)
Ökad kunskap om Sveriges vattenuttag

127. Jessica Henestål, Jenny Ranung, Anders Gyllander, Åsa Johnsen, Håkan Olsson, Ola Pettersson, Ylva Westman, Else-Marie Wingqvist (2015)
Arbete med SVAR version 2012_1 och 2012_2, Svenskt Vattenarkiv, en databas vid SMHI

128. Ylva Westman, Håkan Olsson, Ola Pettersson, Else-Marie Wingqvist, Daniel Björkert (2017)
Arbete med SVAR version 2016, Svenskt Vattenarkiv, en databas vid SMHI

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

ISSN 0283-7722