

Förstudie Avdunstningsmätning – Mätmetoder och deras lämplighet för Sverige

Ghasem Alavi och Åsa Johnsen



Pärmbild.

Bilden föreställer Eddy Covarians mätningar och underhåll av instrument på en mast vid Erken laboratoriet. Fotograf: Åsa Johnsen

ISSN: 0283-7722 © SMHI

HYDROLOGIHYDROLOGIHYDROLOGI Nr 133, 2025

Förstudie Avdunstningsmätning

Ghasem Alavi och Åsa Johnsen

Denna sida är avsiktligt blank

Sammanfattning

Den ökande risken för vattenbrist har aktualiserat behovet av att mäta avdunstning på SMHI. Syftet med avdunstningsmätning är att förbättra SMHI:s hydrologiska modellers förmåga att simulera avdunstning. En utvärdering av S-HYPE visade att avdunstningen simulerades relativt väl för skogslandskap men underskattades för sjöar och överskattades för jordbruksmark (Alavi m.fl., 2025).

I denna rapport undersöks olika mätmetoder för avdunstning, och deras fördelar, nackdelar samt lämplighet för svenska förhållanden beskrivs. Vissa metoder skattar endast den potentiella avdunstningen, medan andra mäter den verkliga. Vissa metoder mäter avdunstningen direkt, medan andra beräknar den indirekt.

Eftersom sjöar spelar en avgörande roll för vattentillgången i Sverige föreslås att SMHI inleder avdunstningsmätningar från sjöar. Den mest lämpade sjön för detta är Erken, norr om Norrtälje, där Erkenlaboratoriet vid Uppsala universitet har bedrivit limnologiska och hydrologiska mätningar under många år. Där finns befintlig infrastruktur samt pågående mätningar av vattenstånd, vattentemperatur, inflöde, utflöde och avdunstning med Eddy Covariance-metoden.

Det föreslås att SMHI startar ett pilotprojekt under en period på ett till två år för att testa olika mätmetoder, med särskilt fokus på scintillometri. Efter testperioden kan en eller flera metoder väljas för fortsatt användning i andra markanvändningstyper runt om i Sverige.

Tabell 1. Kort sammanställning av mätmetoder för avdunstning.

Metod	Mätning yta / sträcka eller höjd	Tidsupplösning	Fördelar	Nackdelar	Kommentar
Atmometer	< 0,01 m ²	Timme eller dag	Hyfsad pris; ca 400 €*, lätt att installera & använda	Skalningsproblem: kräver empiriska koefficienter för att skatta avdunstning från en större area, mäter inte verklig avdunstning utan bara potentiella, används endast i frostfria perioder	Används endast för skattning av avdunstning från småskaliga och homogena jordbruksmarker.
Avdunstningspanna	< 4 m ²	Daglig	Hyfsad pris; 1500 €*, lätt att installera & använda, har funnits och använts längst av alla avdunstningsi- nstrument.	Skalningsproblem: kräver empiriska koefficienter för att skatta avdunstning från en större area, mäter inte verklig avdunstning utan bara potentiella, används endast i frostfria perioder, problem med värmeutbyte mellan vatten i pannan och omgivande luft eller mark via sidorna, bör skyddas från fåglar och djur	De vanligaste pannorna är amerikanska Class A pan och ryska GGI 3000. På 70-talet mätte SMHI avdunstning i 3 olika område med dessa metoder (Waldenström, 1976 & 1977).

Vattenbalansmetod	Små avrinningsområde	> månad	Mäter verklig avdunstning, lätt att mäta och samla data.	Låg noggrannhet, Mycket låg tidsupplösning	På samma område som nämndes ovan använde SMHI vattenbalansmetoden på 70-talet, Waldenström (1976 & 1977).
Lysimeter	Oftast < 4 m ²	20 min – 1 dag för lysimetrar med våg, lysimetrar utan våg har lägre tidsupplösning.	Mäter verklig avdunstning, bra för jämförelse av olika jordarters avdunstningsbenägenhet.	platsbundet instrument, hög kostnad speciell lysimetrar med våg, avbrott i kontinuitet av markens hydrauliska och termiska egenskaper samt den naturliga växligheten, risk för vertikalt läckage av vatten längs lysimeterens väggar.	Lysimetrar används mest i forskningssyfte för att detaljstudera avdunstningen. Stora lysimetrar med våg betraktas som den ultimata standarden för mätning av avdunstning.
Bowen Ratio	Vertikalt mätavstånd av 2 m för skog, 1 m för gräs	20 – 30 min	Mäter verklig avdunstning, hög tidsupplösning, låg kostnad, kontinuerlig mätning	Kräver kalibrering och framtagning av en viktfaktor för platsen, stort behov av underhåll, risk för fel vid låga gradientvärden, förutsätter att utbyteskoefficienten för latent och sensibla värmeflöden är lika.	Avdunstning beräknas indirekt med energibalanskvantitet**. Metoden passar bäst för homogena landskap och speciellt jordbruksmark och naturlig grundvegetation.
Eddy Covariance (EC), 2 sensorer	10 – 15 cm passagelängd	20 – 60 min	Mäter verklig avdunstning, hög tidsupplösning, kontinuerlig mätning, anses vara pålitlig metod på grund av direkt mätning av vattenånga, omfattande erfarenhet av användning	Hög inköpskostnad (ca 50 000 €*), kräver homogena landskap.	EC finns i 2 modeller: "open path gas analyzer" och "enclosed path gas analyzer". Den lite billigare "open path gas analyzer, 45 000 Euro*", som används i sjön Erken, är känsligare och fungerar inte när det regnar eller snöar medan den dyrare "enclosed path gas analyzer, 55 000 Euro*", är mer robust och fungerar i allt väder och klimat.
Scintillometer	Passagelängd (km): SLS: 0,05 - 0,25	2 – 60 min	omfattande erfarenhet av användning kontinuerlig & stabil mätning, hög tidsupplösning,	Höga inköpskostnader: SLC = 30000 – 50000 €* BLS = 22000 – 53000 €*	Alla, utom OMS som mäter avdunstningen direkt, beräknar avdunstningen indirekt med

	LAS: 0,25 - 5		mäter verklig avdunstning, arbetar i en skala	LAS = 30000 €* XLAS = 45000 €* OMS= 140000 €,	energibalanskvation**.
	XLAS: 1 - 10		jämförbar med satellitdata, kan användas i realtid i kombination med satellitdata.	vid kraftigregn försvagas scintillometers signaler och gör att mätdata blir otillförlitlig, risk för lågspänningssignaler under starka turbulenta förhållanden; det gäller mest SLS.	
	OMS: 0,5 - 10				
	BLS: 0,1 - 12				
Surface Renewal (SR)	Punktmätning	2 – 60 min	Låg kostnad, kontinuerlig mätning, hög tidsupplösning, mäter verklig avdunstning, lätt att underhålla	Kräver kalibrering och framtagning av en viktfaktor för den specifika platsen, resultaten är höjdberoende, kräver homogent landskap, relativt ny metod.	Avdunstning beräknas indirekt med energibalanskvation**.
Aerodynamiska metod	Punktskattning	Månad – år	Få parametrar behöver mätas, kontinuerlig mätning, enkla och billiga instrument	Svårt att skatta massöverföringskoefficient, metoden ger osäkra resultat, låg tidsupplösning, mäter inte verklig avdunstning bara potentiella	Metoden rekommenderas inte av WMO
Kombinerad energi- och aerodynamiska metod (Penman-Monteith modell)	Punktskattning	20 min - dag	Enkla och billiga instrument, kontinuerlig mätning, hög tidsupplösning, metoden används flitigt i hydrologisk modellering	Mäter inte verklig avdunstning endast potentiella, kräver många empiriska parametrar	Meteorologiska parametrar som behövs mätas är: nettoträålning, lufttemperatur, ångtryck och vindhastighet

* 2020s prisnivå.

**Kräver också mätning av lufttemperatur, lufttryck, nettostrålning, vindhastighet och energiflödet som lagras som värme i underlaget.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	1
1.1	Inledning.....	1
2	SYFTE	1
3	MÄTMETODER	2
3.1	Vattenbalansmetod	2
3.2	Avdunstningspanna (evaporation pan)	2
3.3	Atmometer (evaporimeter)	5
3.4	Lysimeter	6
3.5	Energibalansmetod.....	7
3.5.1	Eddy- Covariance (EC).....	7
3.5.2	Bowen Ratio	8
3.5.3	Scintillometer	9
3.5.3.1	Scintillometermodeller	10
3.5.4	Surface Renewal (SR) metoden	12
3.6	Aerodynamisk metod.....	13
3.7	Kombinerad energi- och aerodynamisk metod.....	14
4	REKOMMENDATIONER FÖR AVDUNSTNINGSMÄTNING	14
4.1	Pilotprojekt vid sjön Erken	16
4.2	Förslag på instrument och mätmetoder	17
4.3	Efter Erken.....	17
5	REFERENSER	18

Denna sida är avsiktligt blank

1 Bakgrund

1.1 Inledning

Avdunstning är en fysikalisk process där en vätska övergår till gasform, i detta fall vatten som övergår till vattenånga och stiger upp i atmosfären.

Att förstå hur mycket vatten som avdunstar är avgörande för att besvara viktiga frågor om klimatförändringarnas påverkan på vatten–mat–energi-nexus, land–atmosfär-interaktioner och extrema väderförhållanden. Många praktiska tillämpningar, från optimering av vattenresurser, bevattnings- och dräneringssystem till design, konstruktion och drift av vattenmagasin, kräver kvantifiering av avdunstning.

Den ökande risken för vattenbrist har aktualiserat behovet av att mäta avdunstning på SMHI. Anpassning av samhället till ett varmare klimat kräver underlag i form av avdunstningsmätningar i olika markanvändningstyper och regioner för att kunna verifiera resultaten från modellerna.

Alavi m.fl. (2025) utvärderade SMHI:s hydrologiska modell S-HYPE och fann att modellen visade en tillfredsställande förmåga att simulera vattenföring, men inte avdunstning. Totalavdunstningen simulerades relativt väl för skogslandskap, men underskattades för sjöar och överskattades för jordbruksmark.

Ända sedan John Dalton mätte avdunstning med hjälp av vattenhållare under olika temperatur- och vindförhållanden (Dalton, 1802), har otaliga metoder för att skatta eller mäta avdunstning utvecklats. Men avdunstning är fortfarande svårt att mäta. Historiskt har avdunstningen på SMHI beräknats som en restterm i vattenbalansekvationen. Nederbörd och vattenföring har mätts kontinuerligt, men inte avdunstning.

SMHI har tidigare mätt avdunstning på några platser i Sverige. Huvudsakligen användes avdunstningspannor. Vid Gamla observatoriet i Stockholm mättes avdunstning mellan 1920 och 1950. Den längsta mätserien kommer dock från Hyndevad, vid Hjälmarens utlopp, och pågick mellan 1889 och 1959. I forskningssyfte mätte SMHI avdunstning i början av 1970-talet och under den Internationella Hydrologiska Dekaden. Mätningarna utfördes i tre representativa avrinningsområden: Velen, Kassjöån och Lappträsket (Waldenström, 1976 & 1977).

Trots att det har gått 200 år sedan Dalton mätte avdunstning utanför Manchester är det fortfarande svårt att hitta en enkel metod som kan ge en tillförlitlig rumslig och tidsmässig mätning av avdunstning. Under de senaste 20–30 åren har dock flera nya metoder utvecklats som möjliggör mätning av avdunstning över milslånga sträckor. Dessutom har den stora utvecklingen inom satellit- och drönarteknik öppnat nya möjligheter för storskaliga observationer (Liu m.fl. 2016; 2018).

I denna studie undersöks olika mätmetoder för avdunstning samt deras lämplighet för Sverige. Det är viktigt att identifiera mätinstrument som kan användas i olika typer av landskap och som fungerar året runt i hela landet. Rapporten syftar till att fungera som ett underlag för SMHI att fatta välgrundade beslut om val av mätmetod för avdunstning. Förhoppningen är att rapporten kan bidra till att inleda kontinuerlig mätning av avdunstning i Sverige.

2 Syfte

Syftet med studien var att:

- Undersöka befintliga metoder för avdunstningsmätning.
- Ta fram ett underlag för att SMHI ska kunna fatta välgrundade beslut om val av mätmetod för Sverige.

3 Mätmetoder

Det finns många metoder för att mäta avdunstning. Vissa, såsom atmometer, avdunstningspanna och lysimeter, har funnits i över 100 år, medan moderna metoder som Eddy Covariance, Scintillometer och Surface Renewal har utvecklats under de senaste decennierna. Här presenteras olika mätmetoder med fokus på de som är mest relevanta för svenska förhållanden. Observera att de angivna kostnaderna baseras på prisnivån för år 2020.

3.1 Vattenbalansmetod

Vattenbalansen kan uttryckas enligt följande:

$$P + Q_{in} + Q_{gin} - E - Q_{out} - Q_{gut} \pm \Delta S = 0$$

Där:

P = nederbörd

Q_{in} = tillrinning

Q_{gin} = grundvattentillflöde

E = avdunstning

Q_{out} = avrinning

Q_{gut} = grundvattenutflöde

ΔS = förändring i vattenmagasinet

Q_{gin} och Q_{gut} är ofta små och kan bortses från ekvationen. Genom att mäta de övriga komponenterna kan avdunstningen beräknas. Noggrannheten beror därför mycket på hur väl mätningarna av nederbörd, inflöde, utflöde och förändring i vattenmagasinet (som snö, mark-, grund- och ytvatten) i området görs.

Denna metod passar inte om man vill mäta avdunstning från ett stort avrinningsområde och under korta tidsperioder, såsom veckor eller månader, på grund av svårigheten i att mäta komponenterna. SMHI har tidigare använt denna metod för att mäta avdunstning från tre områden under 1970-talet. Det konstaterades att felmarginalerna blir stora vid kortare tidsperioder (t.ex. veckor eller månader, Waldenström, 1977). WMO rekommenderar därför inte metoden för perioder kortare än en månad, eftersom felmarginalen då överstiger 5 % (WMO-No. 168, 2008).

Fördelar

- Lätt att samla data.

Nackdelar

- Låg noggrannhet
- Mycket låg tidsupplösning.

3.2 Avdunstningspanna (evaporation pan)

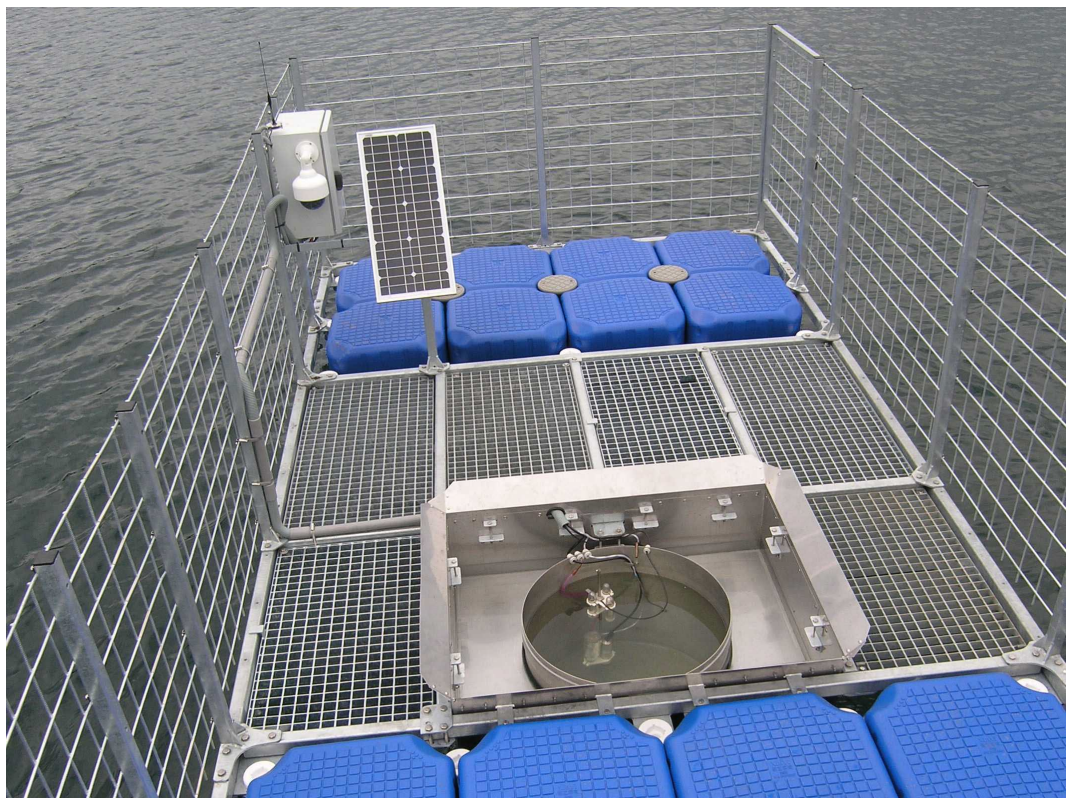
Avdunstningspanna finns i olika former och storlekar där de vanligaste är den amerikanska *Class A pan*, den ryska *GGI 3000* och den större *20 m² tank*.

- *Class A pan* är cylinderformad med en diameter på 121 cm och en höjd på 25 cm. Den placeras på markytan och fylls med vatten upp till 5 cm under kanten. Vattennivån mäts dagligen med hjälp av en mikrometer som är fäst vid pannans kant. Efter korrigering för eventuell nederbörd under perioden beräknas mängden vatten som har avdunstat.

- *GGI 3000* är en cylindrisk panna med en tvärsnittsarea på 3000 cm² och ett djup på 60 cm. Den grävs ner i marken och fylls med vatten till marknivå. Vattennivån mäts på samma sätt som för *Class A pan* med en mikrometer fäst vid pannans kant.

Pannorna bör placeras på platser som är ganska plana och fria från hinder såsom träd och buskar. Det finns flera automatiska avdunstningspannor i vilka vattennivån hålls konstant genom att vatten fylls på i pannan från en lagringsbehållare eller justeras vid nederbörd. Utöver avdunstningspanna installeras ofta instrument för att mäta även vindhastighet, nederbörd, lufttryck, lufttemperatur (max och min) samt vattentemperatur.

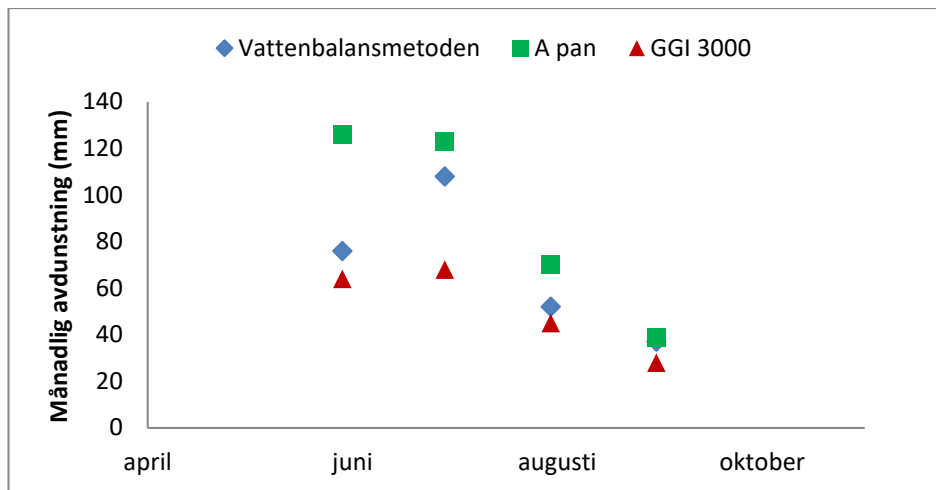
För sjöar och reservoarer används flytande pannor (Figur 1), som ger bättre skattningar än pannor placerade på stranden men är dyrare (ca 22 000 EUR) och svårare att avläsa. Problem som skvalp och stänk påverkar också datakvaliteten.



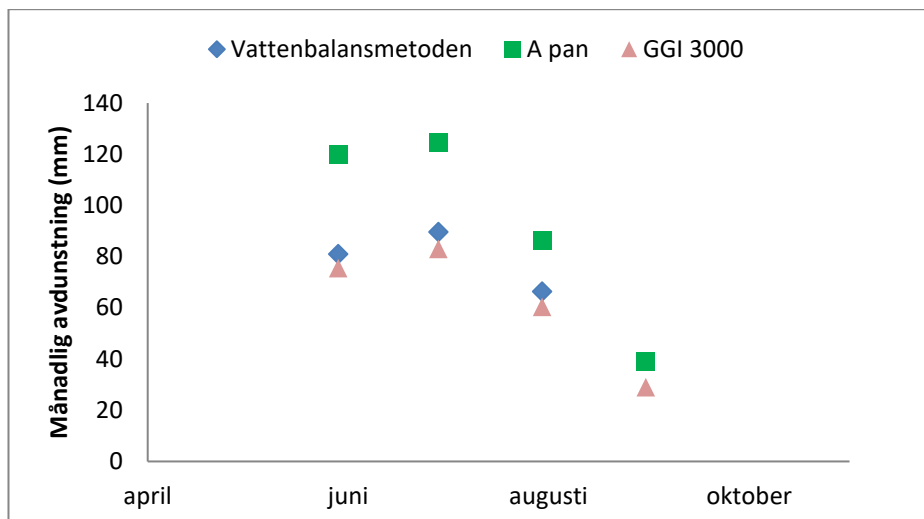
Figur 1. Flytande avdunstningspanna. Foto från METEOSERVIS (www.meteoservis.cz).

Waldenström (1976 & 1977) mätte avdunstningen i Lapträsket, Lilla Tivsjön i Kassjöans område och Nolsjön i Velenområdet med *Class A pan*, *GGI 3000* och vattenbalansmetoden under några somrar i början av 1970-talet.

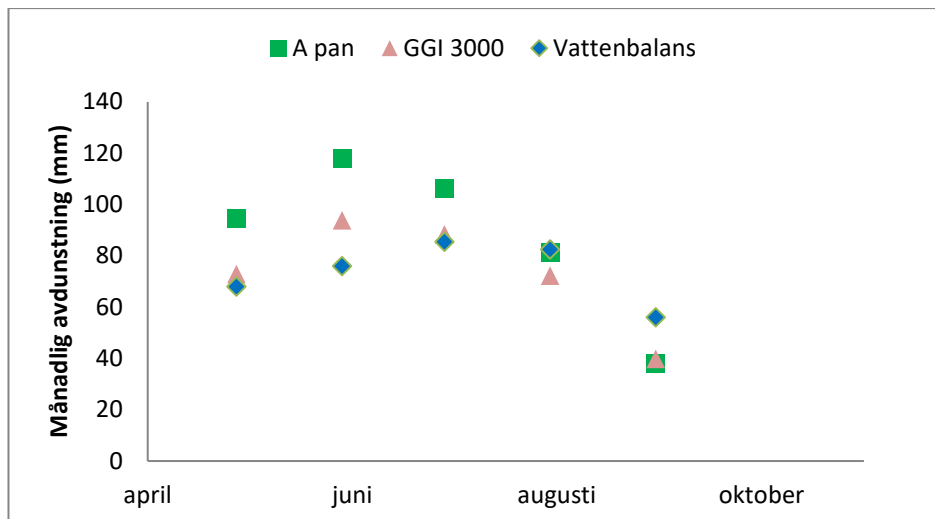
Class A pan visade högre avdunstning än *GGI 3000* i alla områden (Figurer 2–4). Skillnaden var störst under de varmare månaderna, juni och juli. Avdunstning beräknad med *GGI 3000* låg generellt närmare avdunstningen beräknad med vattenbalansmetoden än vad som var fallet för *Class A pan*. *Class A pans* högre avdunstning förklarades av en större uppvärmning av pannans sidor under sommaren (Waldenström, 1977).



Figur 2. Månatlig avdunstning mätt med Class A pan, GGI 3000 och vattenbalansmetoden i Lappträskområdet under sommaren 1972. Data hämtade från Persson (1972).



Figur 3. Avdunstning mätt med vattenbalansmetoden, Class A pan och GGI 3000 i Lilla Tivsjön delområde i Kassjöån under perioden 1973–1975. För juni finns endast värden från åren 1974 och 1975. Mätdata från Waldenström (1976).



Figur 4. Månatlig avdunstning mätt med Class A pan, GGI 3000 och vattenbalansmetoden i delområde Nolsjön i Velenområdet under 1970-talet. Mätdata från Waldenström (1976 och 1977).

Fördelar

- Relativt låg kostnad: cirka 1500 EUR för Class A pan inklusive mikrometer.
- Lätt att installera och använda.
- Det har funnits och använts längst av alla avdunstningsinstrument.
- Det finns många tillverkare och man kan även bygga den själv.

Nackdelar

- Kan bara användas under frostfria perioder.
- Avdunstning från en avdunstningspanna representerar den potentiella avdunstningen och inte den verkliga.
- Kräver skydd så att djur och fåglar inte kommer åt den.
- En stor nackdel är att en panna sällan motsvarar det naturliga landskapet. Även om det ska gälla en sjö är det stor skillnad i area, djup och volym mellan en sjö och ett vattenkär. Avdunstningen från en sjö är normalt mindre än avdunstning från en panna eftersom en panna får mer strålningsenergi dels via pannans sidor och dels en jämnare penetrering av ljus i pannan jämförd med en sjö (ljuspenetrering minskar med djup i sjöar). Man blir därför beroende av empiriska koefficienter för att skatta avdunstning från en större area.
- Grävda modeller (GGI 3000 och 20 m² tank) har nackdelen att de lättare samlar skräp samt att det är svårare att hitta eventuella läckage jämförd med pannor som placeras ovan marken.
- I grävda modeller sker värmeutbyte mellan pannorna och den omgivande marken vilket påverkar avdunstningen samtidigt som avdunstningspannor som placeras på markytan har nackdelen att de överskattar avdunstningen under sommaren men underskattar under hösten. Detta beror på att pannans sidor blir värmda under sommaren och kyls ner under hösten.

3.3 Atmometer (evaporimeter)

En atmometer består av en porös keramikplatta som är ansluten till en vattenbehållare. Mängden vatten som avdunstar är lika med minskningen av vattenvolymen i behållaren.

Atmometer används främst av lantbrukare och för bevattningsändamål. Den kräver speciella membran som täcker keramikplattan för olika grödor.

Fördelar

- Låg kostnad: cirka 300 USD för manuella och 900 USD för automatiska modeller.
- Lätt att installera och använda.

Nackdelar

- Kan endast användas under frostfria dagar.
- Begränsad till småskaliga och homogena jordbruksmarker, ej användbar för andra markanvändningstyper. WMO rekommenderar inte atmometer för sjöar eller vattenytor.
- Kräver empiriska koefficienter för att skatta avdunstning från en större area.
- Mäter inte verklig avdunstning utan den potentiella.

3.4 Lysimeter

Lysimetrar är cylinderformad mätkärl med väl avgränsad volym och fylld med jord. Den består vanligen av flera cylindrar samt instrument för mätning av perkolation och förändringar i markvattenhalt. Arealen på en lysimeter kan variera mellan 0,05 och 100 m², och deras djup mellan 0,1 och 5 m (WMO-No. 8, 2010). Vattenomsättningen beräknas genom mätning av perkolation och ändring av markvattenhalt. För att bevara jordens hydromekaniska egenskaper rekommenderas användning av ostörd jord i form av en monolit. Avancerade lysimetrar kan vara mycket komplexa och dyra att installera och underhålla, men de ger direkt mätning av markvattenmagasinet.

Lysimetrar delas in i två grupper: lysimetrar utan våg och lysimetrar med våg.

Lysimetrar utan våg används endast för långa tidsintervaller (låg tidsupplösning). De med större ytor kan används för studier av avdunstning av träd och buskar med djupa rötter. Dessa lysimetrar har låga kostnader för installering och underhåll.

Lysimetrar med våg används för att detaljstudera avdunstningen. Med dem kan man beräkna avdunstningen för korta tidsintervall. Lysimetrar med våg är dyrare än de icke vägbara, med undantag för de enkla mikrolysimetrar som används för markavdunstning. De större (ca 9 m²) hör till de dyraste metoderna för att mäta avdunstning (Moorhead m.fl., 2017).

Fördelar

- Lysimetrar mäter den verkliga avdunstningen.
- Bra för studier av vattenupptag hos enskilda träd.
- Bra för jämförelse av barmarkavdunstning för olika jordarter.
- Lämpliga för studier av vattenupptag hos olika grödor och växtarter i homogena fält.

Dessa fördelar förutsätter en väl utformad design samt regelbunden övervakning och underhåll (WMO-No. 8, 2010).

Nackdelar

- Instrumentet är bundet till platsen och inte mobilt.
- Låg tidsupplösning (gäller lysimetrar utan våg).
- Hög kostnad (gäller lysimetrar med våg).
- Termisk isolering från omgivningen och underliggande jordlager.
- Avbrott i kontinuitet av den naturliga växligheten.

- Vertikalt läckage av vatten längs lysimeterns väggar.

Många av nackdelarna kan förebyggas eller elimineras genom bra design samt regelbunden övervakning och underhåll (WMO-No. 8, 2010).

Sammanfattningsvis kan lysimetrar betraktas som ett forskningsverktyg, vilket gör dem mer lämpliga för användning i forskningsinstitut än i SMHI:s observationsnätverk.

3.5 Energibalansmetod

De flesta metoder för att mäta avdunstning baseras på eller använder energibalansen.

Energibalansen bygger på termodynamikens första huvudsats, som säger att energi endast kan omvandlas, inte skapas eller förjöras. Konsekvensen av detta är att summan av alla energiflöden till och från underlagets yta (marken, sjön, vegetation) måste vara noll. Nettostrålningen som absorberas av underlaget ska alltså fördelas på sensibelt värmefflöde, latent värmefflöde och värmeledning ner i underlaget.

Latent värmefflöde är den energi som gör att vattenmolekyler går isär och övergår till gasform, vilket gör att vatten avdunstar. Denna energi orsakar ingen temperaturökning. Sensibelt värmefflöde är den energi som värmer upp luften intill underlaget. På svenska kallas detta ibland förnimbart värmefflöde, eftersom man kan känna det med huden (Eckersten et al., 1997).

Energibalans ekvationen i förkortad version blir:

$$R_n = LE + H + G$$

Där:

R_n = nettostrålning (skillnaden mellan nedåt- och uppåtriktat strålningsflöde)

LE = latent värmefflöde

H = sensibelt värmefflöd

G = energiflödet som lagras som värme i underlaget

I alla energibalansbaserade metoder, med undantag för Eddy Covariance (EC) och Kombinerad optisk/mikrovåg Scintillometer (OMS), behöver man veta R_n och G för att kunna beräkna avdunstning. Därför är noggrann och korrekt mätning av R_n och G avgörande för tillförlitliga resultat.

3.5.1 Eddy- Covariance (EC)

Med EC metoden beräknar man avdunstning genom mätning av gasutbytet vid gränsskiktet mellan atmosfären och landskapet. EC system används flitigt och anses vara den mest tillförlitliga metoden för att mäta LE , eftersom H och LE mäts direkt och med pålitliga resultat (Allen m.fl., 2011; Friedrich & Grossman, 2018; Hu m.fl., 2018; Jarman m.fl., 2009; Simmons m.fl., 2007).

EC-instrument finns i två varianter: "1 sensor EC", som endast mäter H , och "2 sensorer EC", som mäter både H och LE . I denna rapport avser EC "2 sensorer EC".

Direkt mätning av latent värmefflöde (avdunstning) baseras på proportionaliteten mellan det vertikala flödet av vattenånga och kovariansen mellan fuktighet och vertikal vindhastighet (Swinbank, 1951). Mätning av sensibelt värmefflöde baseras på kovariansen mellan vertikal vindhastighet och lufttemperatur. Latent värmefflöde kan också beräknas med hjälp av energibalans ekvationen, men detta kräver mätning av nettostrålning och termen G i energibalans ekvationen.

EC-instrument tillverkas i två modeller: "open path gas analyzer" och "enclosed path gas analyzer". Båda modellerna mäter totalavdunstning (latent värmefflöde) samt CO_2 . Den något billigare "open path gas analyzer" är känsligare och fungerar inte vid regn eller

snöfall. Den dyrare "enclosed path gas analyzer" är däremot mer robust och fungerar i alla väder och klimat.

Förutom mätning av vindhastighet vid EC-instrument rekommenderas även mätning av strålning, relativ luftfuktighet och nederbörd med 30-minutersintervall.

Fördelar

- Kontinuerlig mätning.
- Hög tidsupplösning.
- Mäter verklig avdunstning.
- Passar olika markanvändningar.
- Det finns omfattande erfarenhet av användning av EC.

Nackdelar

- Hög inköpskostnad ("open path" = 45 000 euro, "enclosed path" = 55 000 euro).
- Kräver homogena landskap.
- Problem med energiobalans kan förekomma (Sun m.fl., 2016).
- Kräver känsliga instrument (upplösning ≥ 10 Hz) för mätning av vind, temperatur och fuktighet (Jarmain m.fl., 2009).
- Problem med luckor i mätdata som behöver fyllas i (Sun m.fl., 2016).

3.5.2 Bowen Ratio

Bowen Ratio (β) definieras som kvoten mellan sensibelt och latent värmefflöde (Bowen, 1926):

$$\beta = \frac{H}{LE}$$

β beräknas från den vertikala gradienten av lufttemperatur och luftfuktighet (Sverdrup 1943). Genom användning av β i energibalans ekvationen elimineras sensibelt värmefflöde H :

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta}$$

Metoden kräver mätning av Rn , G , lufttemperatur och luftfuktighet i två höjder ovan underlaget för beräkning av avdunstning. Tillförlitligheten av denna metod är beroende av tillförlitligheten av mätningen av temperatur- och ångtryckgradienten. Felmarginen blir därför stor vid låga gradientvärden (Irmak m.fl., 2014).

En annan svaghet med Bowen Ratio-metoden är antagandet att det inte förekommer några horisontella variationer mellan latent och sensibla värmefflöden.

Bowen Ratio-metoden används för de flesta landskapstyper, men främst för att beräkna avdunstning från åkrar och naturlig grundvegetation (Jarmain m.fl., 2009). Metoden har även använts för sjöar och myrmarker (Drexler m.fl., 2004; Saxena m.fl., 1999) men rekommenderas inte för höga trädbestånd (Jarmain m.fl., 2009). När det gäller sjöar behöver vattentemperaturprofilen mätas på flera punkter för att skatta värmen som lagras i vatten.

Metoden rekommenderas inte för kortare tidsintervaller än veckor eller månad eftersom avdunstning i sjöar huvudsakligen styrs av vindhastighet, atmosfärisk stabilitet och energi från lagrad värme i vatten (Finch & Hall, 2001).

Bringfelt (1980) mätte avdunstning i Velenområdet (barrskog) med hjälp av Bowen Ratio, Eddy Covariance (EC), avdunstningspanna (GGI 3000) och vattenbalansmetoden i början av 1970-talet. Bowen Ratio-metoden visade högre avdunstning än de andra metoderna. Skillnaden jämfört med vattenbalansmetoden låg inom felgränserna, medan EC:s låga avdunstningsvärden tillskrevs fel på vindinstrumenten. Avdunstningspannan visade också lägre avdunstning än Bowen Ratio, vilket Bringfelt förklarade med att interceptionsavdunstning ingår i Bowen Ratio-mätningarna men inte i mätningarna från avdunstningspannan. Han påpekade även att man aldrig kan förvänta sig att en avdunstningspanna ger rättvisa mätningar av avdunstning från en skog (Bringfelt, 1980).

Fördelar

- Relativt låg kostnad.
- Kontinuerlig mätning, lämplig för alla säsonger.
- Hög tidsupplösning.
- Mäter verklig avdunstning.
- Väletablerad metod.

Nackdelar

- Kräver kalibrering och framtagning av en viktfaktor för platsen.
- Likt andra energibalansmetoder krävs det också mätning av nettostrålning och energiflödet till/från underlaget.
- Ganska svårt att installera, stort behov av underhåll.
- Kräver homogent landskap.
- Risk för fel vid låga gradientvärden.
- Förutsätter att utbyteskoefficienten för latent och sensibel värme flöden är lika. Detta gäller under neutrala, instabila atmosfäriska förhållanden, men sällan under stabila förhållanden (inversion).

3.5.3 Scintillometer

Under 1960- och 1980-talet gjordes stora framsteg i förståelsen av vågors fortplantning i ett turbulent medium. Trots detta fick Scintillometri liten eller ingen uppmärksamhet bland meteorologer, troligen på grund av ämnets komplexitet och att de flesta rapporter publicerades i optiska tidskrifter (de Bruin & Wang, 2017).

En Scintillometer används för att mäta det genomsnittliga sensibla värme flödet över en sträcka genom en sändare och mottagare i varje ände av en optisk stråle. Instrumentet mäter fluktuationer i intensiteten hos synlig eller infraröd strålning för att fastställa den atmosfäriska turbulensens struktur (Jarmain m.fl., 2009). Till skillnad från de flesta mätmetoder, mäter Scintillometer avdunstning för en lång sträcka i ett landskap, vilket gör mätningarna jämförbara med satellitdata. Beräkning av H i Scintillometri baseras på den semi-empiriska Monin–Obukhov-similaritetsteorin (MOST), beskriven i detalj av Foken (2006). Ett annat antagande i metoden är teorin om svag spridning (Lawrence & Strohbehm, 1970).

Förutom Scintillometer behövs mätning av lufttemperatur, lufttryck, nettostrålning, vindhastighet och G (energiflödet som lagras som värme i underlaget). Avdunstningen beräknas med energibalans ekvationen. Dock mäter modellen OMS även latent värme flöde och är därför oberoende av energibalans ekvationen.

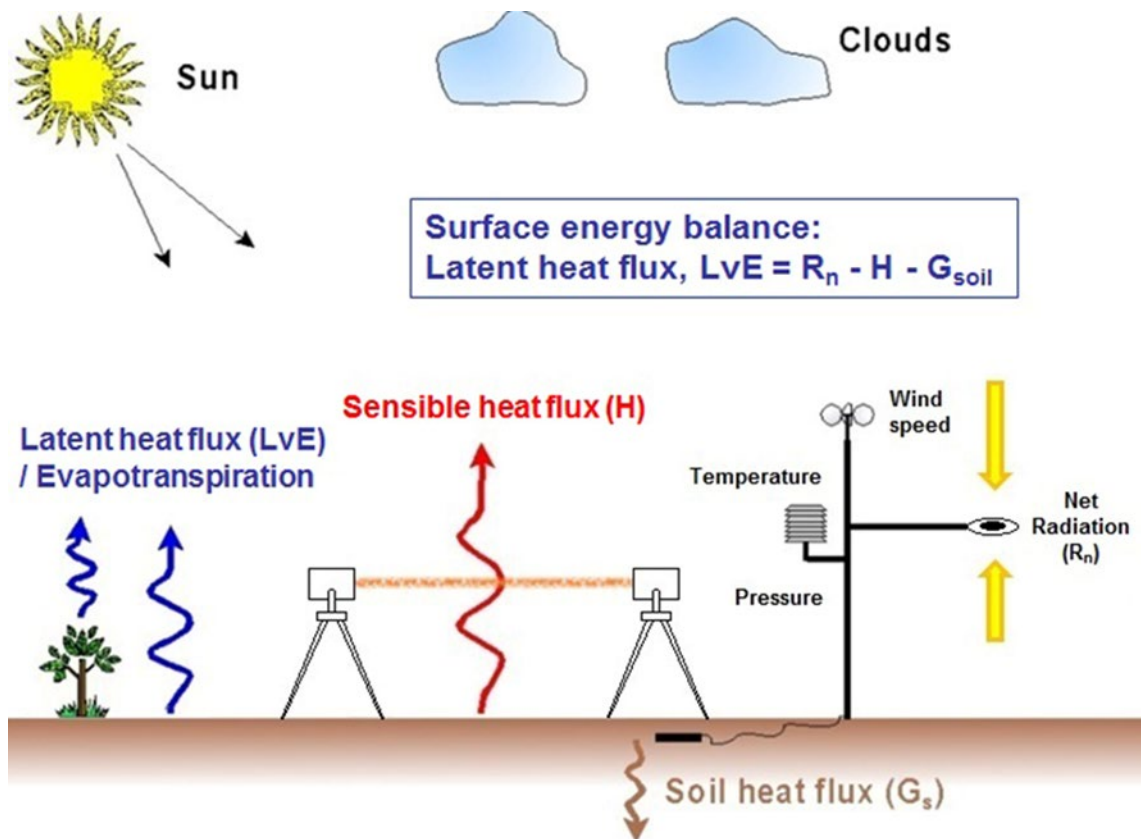
3.5.3.1 Scintillometermodeller

Det finns flera modeller av Scintillometer (de Bruin & Wang, 2017; Jarman m.fl., 2009):

- A. Surface Layer Scintillometer (SLS): Används för sträckor mellan 50 och 250 m.
- B. Large Aperture Scintillometer (LAS): Används för sträckor mellan 0,25 och 5 km.
- C. Extra Large Aperture Scintillometer (XLAS): Används för sträckor mellan 1 och 10 km.
- D. Boundary Layer Scintillometer (BLS): Används för längre sträckor; BLS450 (singel-disk) och BLS900 (dubbel-disk) för sträckor mellan 0,1 och 6 km, BLS2000 (dubbel-disk) för sträckor mellan 0,5 och 12 km. Dubbel-disk-modeller ger bättre datakvalitet vid långa mätsträckor.
- E. Kombinerad optisk/mikrovåg Scintillometer (OMS): Kombinerar LAS med mikrovågsscintillometer (MWS) och mäter direkt sensibelt och latent värmefflöde. Används för sträckor mellan 0,5 och 10 km.

SLS är en kortdistansscintillometer som används i homogena områden, oftast jordbruksfält. SLS använder laser medan LAS, XLAS och BLS använder nära-infraröd strålning.

Modellerna i A, B, C, D mäter endast H, vilket innebär att samtidigt mätning av R_n och G krävs för att skatta avdunstningen med energibalanskvationen (Figur 5).



Figur 5. Alla Scintillometermodeller, förutom Två-Våglängd-Scintillometri, kräver samtidig mätning av nettostrålning, vindhastighet, lufttemperatur, lufttryck och markens värmefflöde. Bild från Kipp & Zonen B.V.

<https://www.kippzonen.com/Product/194/LAS-MkII-ET-System#.XIU9vWhKhPb>

Modellen OMS (E) mäter både sensibelt och latent värmefflöde och är oberoende av energiekvationen. Genom användning av bichromatisk korrelation (Ludi m.fl., 2005) kan

man mäta direkt kovarians mellan LAS och MWS och därmed bli oberoende av temperatur-fuktighetskorrelationen (de Bruin & Wang, 2017). OMS är dock den dyraste metoden för att mäta avdunstning, med en skattad kostnad på cirka 140 000 € (Figur 6).

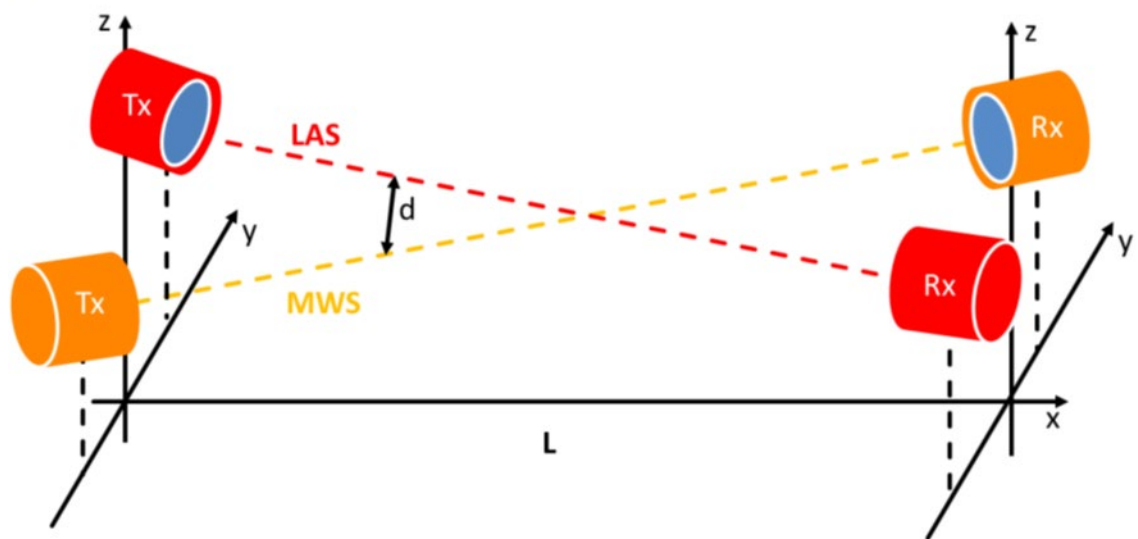
Scintillometer kan inte skilja mellan uppåtgående och nedåtgående H. Över land kan man anta att instabila förhållanden råder under dagen och stabila förhållanden under natten. Däremot gör vattnets värmekapacitet det svårare för sjöar. Därför behöver man mäta lufttemperaturprofilen för att bestämma riktningen på det sensibla värmeflödet.

Energiflödet som lagras som värme i marken (G) mäts med värmeflödesplattor, men detta är mer komplicerat för sjöar. För sjöar beräknas G med hjälp av vattentemperaturprofiler och data om sjöareal vid olika djup (Lenters m.fl., 2005). Vattentemperatur vid olika djup mäts med en termistorkedja.

Flera rapporter visar dock användbarheten av Scintillometri för avdunstningsmätning från sjöar (Bouin m.fl., 2012; McJannet m.fl., 2011, 2013).

Scintillometermetoder har använts och jämförts med andra metoder, såsom Eddy Covariance (EC) och lysimeter, med framgång för olika homogena och heterogena landskap samt klimatzoner (de Bruin & Wang, 2017; Moorhead m.fl., 2017).

Lu m.fl. (2012) jämförde LAS och EC och rapporterade att LAS gav mer stabila avdunstningsobservationer än EC. Scintillometri lämpar sig särskilt för heterogena avrinningsområden och är troligen den enda metod som kan användas för storskaliga, heterogena avrinningsområde.



Figur 6. Kombinerad optisk/mikrovåg Scintillometer (OMS) med korsande strålar. Bild från Radiometer Physics GmbH www.radiometer-physics.de

Fördelar

- Mäter genomsnittavdunstning för fält och avrinningsområde.
- Kontinuerlig mätning, fungerar året runt.
- Hög tidsupplösning.
- Mäter verklig avdunstning.
- Arbetar i en skala jämförbar med satellitdata och kan användas i realtid i kombination med fjärranalysdata för storskalig avdunstningsberäkning i realtid.

Nackdelar

- Höga inköpskostnader för instrument:
 - SLC: 30 000–50 000 €.
 - BLS: 22 000–53 000 €.
 - LAS: 30 000 €.
 - XLAS: 45 000 €.
 - OMS: 140 000 €.
- Kräver en empirisk parameter "ytans skrovlighetslängd" i beräkningar, vilket kan vara svårt att fastställa, särskilt för sjöar. För land används standardflödesprofil, men för sjöar bör luft-hav-ekvationer användas.
- Lågspänningssignaler under starka turbulenta förhållanden gör antaganden om svag spridning ogiltiga. Om lågspänningssignaler ofta förekommer rekommenderas att öka strålens höjd och/eller minska längden på sträckan (Scintec, 2008). Det gäller mest SLS. LAS och OMS är mindre känsliga för detta problem och BLS (Dual-Disk) har en automatisk funktion för momentankorregering vid lågspänningssignaler.
- SLS-modeller (utom SLS20-A och SLS40-A) är känsliga för vibrationer och kan tappa strålningsförbindelsen mellan sändare och mottagare.
- Vid regn, särskilt kraftigt regn, försvagas signalerna vilket gör mätdata otillförlitliga.

3.5.4 Surface Renewal (SR) metoden

Metoden bygger på idén att ett luftpaket nära underlaget (trädkronan, markytan, vattenytan etc.) förnyas med ett luftpaket från högre upp (Hu m.fl. 2018). Den skattar det turbulenta utbytet av sensibla värmeflödet mellan underlaget och atmosfären.

Ursprunget till metoden går tillbaka till 30-talet när kemister ville testa värmetransport mellan gas och vätska men det var först på 90-talet som metoden började användas i mikrometeorologi.

Sensibelt värmeflöde (H) skattas genom mätning av lufttemperaturen flera gånger per sekund (2 till 10 Hz, vanligen 8 Hz) i en punkt över underlaget med fina, små termoelement (fine-wire thermocouple). Avdunstningen beräknas sedan med hjälp av energibalans ekvationen. Således behöver man även mäta R_n (nettostrålning) och G (energiflöde som lagras som värme i underlaget).

Metoden är attraktiv eftersom den kräver få parametrar och är kostnadseffektiv. Enligt Castellvi och Snyder (2009) anses metoden nu vara ett bra alternativ till Eddy-Covariance (EC).

SR-metoden kräver dock en viktfaktor. Viktfaktorn fastställs för markanvändning, vegetationstyp, storlek på termoelement och mätthöjden. Detta görs genom att jämföra H , mätt med SR-metoden, med H mätt med andra metoder som EC, SLS eller LAS (Paw U m.fl. 2005).

Paw U m.fl. (1995) rapporterade ett vikt faktorsvärde på 0,5 för barrskog när mätningen sker vid trädkronans höjd och ett värde på 1 för kortgräs vid en mätthöjd på 1 meter. Mengistu och Savage (2010) mätte avdunstning från en reservoar med SR-metoden, där termoelementen placerades på olika höjder: 1, 1,3, 1,9 och 2,5 meter över vattenytan. De fann då vikt faktorsvärden mellan 0,2 och 0,25. Ibland används olika vikt faktorsvärden beroende på atmosfärisk kondition: ett för stabil kondition (nattetid) och ett annat för instabil kondition (dagtid) (Hu m.fl. 2018).

Fördelar

- Låg kostnad.
- Låg energiförbrukning.
- Kontinuerlig mätning, passar alla säsonger.
- Hög tidsupplösning.
- Mäter verklig avdunstning.
- Lätt att underhålla.
- Enkel att repetera och ha mätningar på flera punkter.

Nackdelar

- Kräver kalibrering och framtagning av en viktfaktor för den specifika platsen.
- Resultaten är höjdberoende.
- Kräver homogena landskap.
- Givarna är ömtåliga och kan lätt gå sönder, men detta kan lösas genom att använda flera givare på samma plats.
- Passar inte för mycket skrovliga ytor.
- Relativt ny metod, saknas erfarenheter.

3.6 Aerodynamisk metod

Den aerodynamiska metoden för beräkning av avdunstning, betraktar transporten av vattenånga som en funktion av ångtrycksunderskott, vindhastighet och en massöverföringskoefficient.

Massöverföringskoefficienten är en funktion av atmosfärisk stabilitet, vind och underlagets skrovlighet (Finch & Hall, 2001). För att använda metoden behöver man mäta vindhastighet och ångtryck. Svårigheten ligger dock i skattning av massöverföringskoefficienten, och just på grund av detta rekommenderas metoden inte av WMO (WMO-No. 168, 2008).

Metoden används sällan, och när den har använts har det varit för att skatta års-, säsong- eller månadsavdunstning. I forskningssyfte mätte Saxena m.fl. (1999) avdunstningen från Tämnnaren, en grund sjö i Uppland med ett medeldjup på 1,2 m, med hjälp av den aerodynamiska metoden och Bowen Ratio-metoden. Resultaten från de två metoderna överensstämde mycket väl.

Fördelar

- Få parametrar behöver mätas.
- Kontinuerlig mätning, passar alla säsonger.
- Enkla, billiga och beprövade instrument som kräver minimalt underhåll.

Nackdelar

- Metoden ger osäkra resultat.
- Mäter inte verklig avdunstning bara potentiella.
- Används sällan och har låg tidsupplösning; främst för att skatta års-, säsong- eller potentiell månadsavdunstning.
- Det är svårt att skatta massöverföringskoefficient och rekommenderas därför inte av WMO.

3.7 Kombinerad energi- och aerodynamisk metod

Det finns många sätt för beräkning av avdunstning med hjälp av meteorologiska standardparameter. Den mest kända är Penman-Monteith (Monteith, 1965) som rekommenderas av FAO som standardmetod (Allen m. fl. 1998).

De meteorologiska parametrar som behövs är nettoträålning, lufttemperatur, ångtryck och vindhastighet, vanligvis mätt på 2 meters höjd över underlaget. Om man saknar nettostrålningsdata går det att skatta det med hjälp av molnighet (WMO-No. 168, 2008).

Metoden kombinerar energiekvationen med aerodynamiska ekvationen för avdunstning. Penman-Monteith introducerade resistansbegreppet i den kombinerade ekvationen; ytresistans och aerodynamiskresistans. Den förra beskriver motståndet mot flödet av vattenånga som finns i systemet (växtens- bladyteindex och reglering av stomataöppning) och den senare beskriver bromsande effekten av ytans skrovlighetsparametrar (*nollplanshöjden* och *skrovlighetslängden*) på transport av värme och vattenånga (Eckersten m. fl. 1997; WMO-No. 168, 2008). Resistansparametrarna är i sin tur beroende av andra empiriska faktorer beroende på underlaget. Det går att hitta värden på faktorerna i litteraturen. När det gäller avdunstning från interceperat vatten antas det att ytresistansen vara noll.

Resultat av beräkningen är bara potentiell avdunstning och inte verklig avdunstning. Den verkliga avdunstningen styrs utöver den potentiella avdunstningen av bland annat vattentillgången hos underlaget.

Det har rapporterats att Penman-Monteith metoden överskattar avdunstningen för skogbestånd. Shi m.fl. (2008) rapporterade en 30% överskattning av avdunstning för en blandskog jämförd med EC-metoden. Gustafsson (2022) genomförde en studie om avdunstning i barrskog och fann att Penman-modellen överskattade den potentiella avdunstningen avsevärt i jämförelse med vattenbalansmetoden. Orsaken uppges vara att skog inte beter sig som den gräsbevuxna lysimeter som Penman använde för att bygga sin modell.

Fördelar

- Enkla, billiga och beprövade instrument används som inte kräver mycket underhåll.
- Metoden används flitigt i hydrologisk modellering.
- Kontinuerlig mätning, som fungerar året runt.
- Hög tidsupplösning, beroende på indata kan man beräkna avdunstningen timvis eller för 20 min intervall.

Nackdelar

- Beräknad avdunstning är den potentiella avdunstningen och inte den verkliga.
- Många empiriska parametrar i beräkningen bidrar till osäkerhet i resultaten.

4 Rekommendationer för avdunstningsmätning

Vi rekommenderar att SMHI börjar med avdunstningsmätning från sjöar. Sverige är ett sjörikt land, och avdunstning från sjöar är en viktig parameter för att bedöma vattentillgång, särskilt vid vattenbrist. Vi identifierade sjöar med befintlig mättningsinfrastruktur för meteorologiska parametrar, vattenstånd, inflöde och utflöde.

Sjön Erken, norr om Norrtälje, var den enda sjön med en fungerande väderstation och kontinuerlig mätning av vattenstånd, inflöde och utflöde – data som krävs för beräkning av avdunstning med vattenbalansmetoden. Dessutom mäts avdunstningen med EC metoden. Alla nuvarande mätningar utförs av Erkenlaboratoriet, som är en del av Uppsala

universitet. Inflödet mäts vid Kristineholm och utflödet vid den tidigare SMHI-stationen Stensta, som sedan 2002 underhålls av Erkenlaboratoriet (Figur 7). Vattenståndet mäts vid ön Malma, där det också finns två master: en för väderobservationer och en för mätning av koldioxid- och latentvärmefflöde med EC (Figur 8). Ön är kopplad till internet och elnät via en undervattenskabel och har ett förråd för elektronisk utrustning, såsom datorer och dataloggrar. Dessutom har omfattande temperaturprofilmätningar i sjön utförts sedan 1961 (Moras m.fl. 2019).



Figur 7. Vattenföringsstationen Stensta där Uppsala Universitet mäter Erkens utflöde.



Figur 8. Ön Malma i Erken.

Utöver Erken identifierades två andra sjöar med mindre avrinningsområden (ca 20 % sjöandel) där SMHI mäter vattenstånd och utflöde: Q-stationerna Solnen och Tvärsjön 2. Nackdelen med dessa sjöar är att de saknar mätning av inflödet.

4.1 Pilotprojekt vid sjön Erken

Vi föreslår att SMHI startar ett pilotprojekt för test av avdunstningsmätmetoder vid sjön Erken (Figur 9). Den befintliga infrastrukturen och de pågående mätningarna gör sjön till en idealisk plats för ett sådant projekt. Erkenlaboratoriet har också uttryckt sitt stöd för att SMHI ska använda infrastrukturen och påbörja avdunstningsmätningar samt dra nytta av redan insamlade mätdata (Don Pierson & Erik Sahlée, pers. komm. 2024).

SMHI:s mätningar vid Erken kan pågå under en period på 1–2 år och inkludera följande metoder: scintillometer (företrädesvis LAS), Surface Renewal (SR), Bowen Ratio samt eventuellt en avdunstningspanna. I kombination med befintliga EC- och vattenbalansmätningar skapas en utmärkt möjlighet att utvärdera olika metoder och modeller.



Figur 9. Satellitbild över sjön Erken med platser för Erkenlaboratoriet samt befintliga mätningar och föreslagna avdunstningsmätningar markerade.

4.2 Förslag på instrument och mätmetoder

Den mest avancerade scintillometern, OMS, är dyr och kostsam. Vi föreslår LAS som är mer prisvärt alternativ och kan också utgöra grunden för en framtida uppgradering till OMS (se avsnitt om Scintillometer). Den föreslagna mätsträckan för scintillometer är ca 2 km och går från ön Malma till Hasselhornsudde på norra sidan av sjön. Sträckan är vinkelrät mot den vanligaste vindriktningen och passerar dessutom platsen för vattentemperaturprofilmätning. Vattentemperaturprofilen kan användas för att beräkna värmeflödet (G) i energibalansen. Scintillometersträckans längd på 2 km överstiger satellitbilders pixelstorlek, vilket möjliggör validering av fjärranalysmodeller.

En avdunstningspanna kan placeras antingen på Malmaön eller på en förankrad flöte. Erfarenhet visar dock att flytande avdunstningspannor tenderar att ge osäkra resultat, bland annat på grund av vågornas skvalp. Dessutom krävs nedmontering inför vinter och återinstallation på våren. Don Pierson och Erik Sahlée föreslog därför att en konstgjord vik eller pool byggs vid Malmaön, där pannan kan placeras. Om pannan placeras direkt på marken riskerar sidovärme från solen att skapa en så kallad "oasiseffekt", vilket ökar avdunstningen.

Vi inkluderar inte EC-metoden bland de föreslagna instrumenten för Erken, eftersom den redan finns och används där. Dock är EC en beprövad metod som används flitigt för avdunstningsstudier i homogena landskap och kan vara en bra kandidat för framtida användning. Den mest robusta och resistenta EC-konfigurationen är "2 sensors, enclosed path gas analyzer". Ett sådant instrument kan användas för att mäta avdunstning från jordbruksmark, där S-HYPE har visat klara svagheter.

4.3 Efter Erken

Efter en initial testperiod vid Erken kan en eller flera metoder väljas för användning i andra landskapstyper. Instrument kan antingen flyttas eller nya inskaffas för mätningar på andra platser. SLU:s försöksparker runt om i Sverige är exempel på lämpliga mätplatser (<https://www.slu.se/institutioner/skoglig-faltforskning/forsoksparker/>). En prisvärd och lättinstallerad metod är Surface Renewal (SR), som kan installeras på många platser. För att använda SR krävs dock en viktfaktor för varje mätplats. Viktfaktorn bestäms genom

att jämföra sensibelt värmefflöde mätt med SR mot flöde mätt med en annan metod, vanligtvis EC.

5 Referenser

- Alavi G., Zábory J., Johnell A., Johnsen Å. & Hjerdt N. 2025. Utvärdering av S-HYPE och HBV-Svs avdunstningsrutiner. HYDROLOGI Nr 129. ISSN: 0283-7722 © SMHI.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evaporation: Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper no. 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. ISBN 92-5-104219-5.
- Allen R. G. Pereira L. S. Howell T. A. & Jensen M. E. 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy, Agricultural Water Management, vol. 98, no. 6, pp. 899–920.
- Bouin M. N., Legain D., Traullé O., Belamari S., Caniaux G., Fiandrino A., Lagarde F., Barrié J., Moulin E. & Bouhours G. 2012. Using Scintillometry to Estimate Sensible Heat Fluxes over Water: First Insights. Boundary-Layer Meteorol 143:451–480.
- Bowen, I. S., 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. Phys. Rev., 27. 779–787.
- Bringfelt B. 1980. A comparison of forest evapotranspiration determined by some independent methods. SMHI Rapport, Meteorologi och klimatologi nr. RMK 24. ISSN 0347-2116.
- Castellvi F. & Snyder R. L. 2009. Sensible heat flux estimates using surface renewal analysis. A study case over a peach orchard. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 149, no. 9, pp. 1397–1402.
- Dalton, J. 1802. Experimental essays on the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation expansion of gases by heat. Mem. Lit. Philos. Soc. Manchester, V, II, pp.535-602
- de Bruin H. A. R. & Wang J. 2017. Scintillometry: a review.
https://www.researchgate.net/publication/316285424_Scintillometry_a_review#fullTextFileContent
- Drexler J. Z., Snyder R. L., Spano D. & Paw U., K. T. 2004. A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration. Hydrological Processes 18: 2071-2101.
- 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.
- Finch J. W. & Hall R. L. 2001. Estimation of Open Water Evaporation, A Review of Methods. R&D Technical Report W6-043/TR. Environment Agency, Bristol, UK. ISBN: 1857056043.
- Foken T., 2006. 50 years of the Monin–Obukhov similarity theory. Boundary-Layer Meteorol. 119, 431–447.
- Friedrich K. & Grossman R. L. 2018. Reservoir Evaporation in the Western United States: Current Science, Challenges, and Future Needs. Bulletin of the American Meteorological Society.
- Gustafsson D. 2022. Potential evapotranspiration in boreal forests. An assessment of different calculation methods. SKB R-22-03. ISSN 1402-3091.
- Hu Y, Buttar N. A. Tanny J., Snyder R. L., Savage M. J., & Lakhari I. A. 2018. Surface Renewal Application for Estimating Evapotranspiration: A Review. Advances in Meteorology, Volume 2018, Article ID 1690714, 11 pages.
- Irmak S., Skaggs K. E. & Chatterjee S. 2014. A review of the Bowen ratio surface energy balance method for quantifying evapotranspiration and other energy fluxes. Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers). 57(6): 1657-1674.
- Jarman C., Everson C. S., Savage M. J., Mengistu M. G., Clulow A. D., Walker S. & Gush M. B. 2009. Refining tools for evaporation monitoring in support of water resources management. Water Research Commission. ISBN: 978-1-77005-798-2

- Lawrence R. S. & Strohbehn J. W. 1970. A survey of clear-air propagation effects relevant to optical communications. In: Proceedings of the IEEE, vol. 58, no. 10, pp. 1523-1545.
- Lenters J. D., Kratz T. K. & Bowser C. J. 2005. Effects of climate variability on lake evaporation: Results from a long-term energy budget study of Sparkling Lake, northern Wisconsin (USA), *J. Hydrol.*, 308(1-4), 168-195, doi:10.1016/j.jhydrol.2004.10.028.
- Liu S., Xua Z., Song L., Zhao Q., Ge Y., Xu T., Ma Y., Zhu Z., Jia Z. & Zhanga F. 2016. Upscaling evapotranspiration measurements from multi-site to the satellite pixel scale over heterogeneous land surfaces. *Agricultural and Forest Meteorology* 230-231: 97-113.
- Liu S., Li X., Xu Z., Che T., Xiao Q., Ma M., Liu Q., Jin R., Guo J., Wang L., Wang W., Qi Y., Li H., Xu T., Ran Y., Hu X., Shi S., Zhu Z., Tan J., Zhang Y. & Ren Z. 2018. The Heihe Integrated Observatory Network: A Basin-Scale Land Surface Processes Observatory in China. *Vadose Zone J.* 17:180072. doi:10.2136/vzj2018.04.0072.
- Lu J., Li Z. L., Wang H., Tang R., Tang B., Labeled J., Wu H. & Yu G. 2012. Evaluation of SEBS-estimated evapotranspiration using a large aperture scintillometer data for a complex underlying surface. *IEEE, IGARSS 978-1-4673-1159-5/12*.
- Ludi A., Beyrich F., Matzler C. 2005. Determination of the turbulent temperature-humidity correlation from scintillometric measurements. *Boundary-Layer Meteorol.* 117:525-550
- McJannet D. L., Cook F. J., McGloin R. P., McGowan H. A. & Burn S. 2011. Estimation of evaporation and sensible heat flux from open water using a large-aperture scintillometer, *Water Resour. Res.*, 47, W05545, doi: 10.1029/2010WR010155.
- McJannet D., Cook F., McGloin R., McGowan H., Burn S. & Sherman B. 2013. Long-term energy flux measurements over an irrigation water storage using scintillometry, *Agricultural and Forest Meteorology* 168 (2013) 93- 107.
- Mengistu M. G. & Savage M.J. 2010. Open water evaporation estimation for a small shallow reservoir in winter using surface renewal. *Journal of Hydrology* 380. 27-35
- Monteith J. L. 1965. Evaporation and environment. In: *The State and Movement of Water in Living Organisms*, Symposium of the Society for Experimental Biology, Volume 19, pp. 205-234.
- Moorhead J. E., Marek G. W., Colaizzi P. D., Gowda P. H., Evett S. R., Brauer D. K., Marek T. H. & Porter D. O. 2017. Evaluation of Sensible Heat Flux and Evapotranspiration Estimates Using a Surface Layer Scintillometer and a Large Weighing Lysimeter. *Sensors* 17, 2350. doi:10.3390/s17102350.
- Moras S., Ayala A. I. & Pierson D. C. 2019. Historical modelling of changes in Lake Erken thermal conditions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23: 5001-5016 <https://doi.org/10.5194/hess-23-5001-2019>
- Paw U, K. T., Qiu J., Su H. B., Watanabe T. & Brunnet Y. 1995. Surface renewal analysis: a new method to obtain scalar fluxes without velocity data. *Agric. For. Meteorol.* 74, 119-137.
- Paw U, K. T., Snyder, R. L., Spano, D., Su, H.-B., 2005. Surface renewal estimates of scalar exchange. In: Hatfield, J. L., Baker, J. M. (Eds), *Micrometeorology in Agricultural Systems Agronomy Monograph no. 47*. Pp. 455-483.
- Saxena R. K., Jaedicke C. & Lundin L.-C. 1999. Comparison mass-balance, bulk aerodynamic and bowen ratio methods. *Physics and Chemistry of the Earth Part B Hydrology Oceans and Atmosphere* 24(7): 851-859.
- Simmons, L. J., ang, J. W, Sammis, T. W., & Miller, D. R. 2007. An evaluation of two inexpensive energy-balance techniques for measuring water use in flood-irrigated pecans (*Carya illinoensis*), *Agricultural Water Management*, vol. 88, no. 1-3, pp. 181-191.
- Scintec, 2008. Scintec boundary layers scintillometer, User Manual BLS450, BLS900, BLS2000 (including BLSDMI-1 option). Scintec AG. 82 pp.
- Shi, T.-T., D.-X. Guan, J.-B. Wu, A.-Z. Wang, C.-J. Jin, & Han S.-J. 2008. Comparison of methods for estimating evapotranspiration rate of dry forest canopy: Eddy covariance, Bowen ratio energy balance, and Penman-Monteith equation. *J. Geophys. Res.*, 113, D19116, doi:10.1029/2008JD010174.

- Sun G., Domec J-C., Amatya D.M. 2016. Forest evapotranspiration: measurements and modeling at multiple scales. In: Amatya et al. (eds.), Forest Hydrology: Processes, Management and Assessment. CABI Publishers, U.K. 32-50. 19 p.
- Sverdrup H. U. 1943. On the ratio between heat conduction from the sea surface and the heat used for evaporation. Ann. N. Y. Acad. Sci., 44, 81–88.
- Swinbank W. C., 1951. The measurement of vertical transfer of heat and water vapour by eddies in the lower atmosphere. J. Met. 8, 135-145.
- Waldenström A. 1976. Vattenomsättningsstudier m.m. i de representativa områdena Velen och Kassjöån. SMHI Hydrologiska byrån 1976: 14.
- Waldenström A. 1977. Slutrapport över hydrologiska undersökningar i Velens representativa område. Hydrologiska byrån rapport nr 28. SMHI, Norrköping.
- WMO-No. 168. 2008. Guide to Hydrological Practices - Volume I, Hydrology – From Measurement to Hydrological Information, Sixth edition, ISBN 978-92-63-10168-6.
- WMO-No. 8. 2010. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 2008 edition, Updated in 2010. ISBN 978-92-63-10008-5.

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
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)
Frys förluster 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 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 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 Kouchehi (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 klimat-förändringars 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. Katarina 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
 129. Ghasem Alavi, Julia Zábori, Anna Johnell, Åsa Johnsen, Niclas Hjerdt (2025) Utvärdering av S-HYPE och HBV-Svs avdunsningsrutiner
 130. Sara Schützer, Maria Elenius, Kristina Isberg, Johan Temnerud (2023) Nedströmseffekter från återvätning av dikad skog på torv
 131. Diala Abdoush, Daniel Björkert, Kristina Danielsson, Anna Engblom, Åsa Johnsen, Ola Pettersson (2024) SVAR 2022
 132. Göran Lindström (2024) Differentiering av flödesskapande processer – uppdelning av högflöden i regn och snösmältning

Denna sida är avsiktligt blank



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

ISSN 0283-7722

