



SNÖMÄTNING MED GEORADAR OCH SNÖTAXERINGAR I ÖVRE LULEÄLVEN

Försök med uppdatering av vårflödesprognoserna

Maja Brandt

SNÖMÄTNING MED GEORADAR OCH SNÖTAXERINGAR I ÖVRE LULEÄLVEN

Försök med uppdatering av vårflödesprognoserna

Maja Brandt

INNEHÅLL

	Sid.
Sammanfattning	1
Inledning	1
Målsättning	2
Genomförda mätningar	2
Analysmetodik	4
Resultat	5
Sammantaget för alla prognosområdena	5
Suorva-området	6
Tjaktjajaure-området	9
Parki-området	10
Letsi-området	11
Porjus-området	12
Möjligheter att förbättra prognosresultaten	13
Slutsatser	18
Referenser	19

Ordbehandling: Vera Kuylenstierna

Figurer: Ann-Margreth Holst

Omslagsfoto: Fotograf Alf Linderheim, Vattenfall Utveckling AB

Tryckt på SMHIs tryckeri, Norrköping 1991.

SNÖMÄTNING MED GEORADAR OCH SNÖTAXERINGAR I ÖVRE LULEÄLVEN

Sammanfattning

Snömätning med flygburen georadarutrustning (i helikopter) har utförts längs fasta linjer i övre Luleälvens tillrinningsområde i april under åren 1986 till 1990. I prognosområdena Suorva, Parki och Tjaktjajaure, som domineras av kalfjäll och där nederbördsstationsnätet är mycket glest, visar de fem årens mätningar, att en uppdatering av HBV-modellens snömagasin utifrån georadamätningarna kan förbättra prognosutfallet. För skogsområdena Porjus och Letsi, som har ett mer representativt nederbördsstationsnät och bättre prognosutfall, är det svårare att förbättra prognoserna.

Inledning

En riktig uppskattning av snömagasinets storlek i ett avrinningsområde har stor betydelse för vårflödesprognosen, och många försök har gjorts för att få en bättre areell beräkning av detta. I Sverige görs vårflödesprognoser med HBV-modellen, där indata är nederbörds-mätningar, som omräknas till areell nederbörd, och där hänsyn tas till ackumulering av snö och smältning. I våra fjälltrakter är antalet nederbördsstationer få. De ligger i dalgångarna och är därför ej representativt belägna, vilket ibland kan orsaka stora volymfel i prognosen.

Vattenregleringsföretagens Samarbetsorgan (VASO) har i många år stött projekt med syfte att hitta nya, bättre snömätningmetoder och utnyttja dem som indata för uppdatering av snömagasinet i modellen. De mest omfattande projekten har varit snömätning med flygburen gammadetektor, som pågick under åren 1980-84 i Kultsjöns tillrinningsområde (Bergström och Brandt, 1984), och snötäxering med georadar (Ulriksen, 1985).

Utvärderingen av snömätningarna med flygburen gammadetektor visade, att gammametoden kan användas för snöberäkningar inom områden som är större än ca 100 km², men att de måste korrigeras empiriskt för att ge ett riktigt värde på området snömagasin. I områden med glest och ej representativt belägna nederbördsstationer kan en förbättring av prognoserna förväntas efter vintrar med en snöfördelning, som inte registreras av det ordinarie nederbördsstationsnätet (Bergström och Brandt, 1984). Nackdelen är, att det krävs bakgrundsmätningar längs linjerna, att flygningen sker i ett tvåmotorigt flygplan på 50 m höjd och längs fasta linjer - vilket kräver mycket bra flygväder - och att det är en relativt dyrbar metod.

Snömätning med georadar har utvecklats i Sverige av Peter Ulriksen vid Institutionen för Teknisk Geologi vid Lunds Universitet. Metoden prövades först med utrustningen monterad i en snövessla, därefter på en snöskoter med släp och slutligen i helikopter. Den tid det tar för en radiovåg att gå från en antenn (900 MHz) på helikoptern tills den kommer tillbaka mäts och kan omräknas till vatteninnehåll. Georadarn registrerar kontinuerligt reflextiden längs flyglinjen.

Georadarmätningarna i övre Luleälvens tillrinningsområde har bekostats av Vattenfall. Dessutom har Vattenfall, Vuollerim, utfört snötaxeringar längs ett antal linjer i många år samt under åren 1985-89 gjort manuell uppmätning av snö i tunnor (totalisatorer) inom detta projekt. Snömätning i tunnor upphörde 1990 på grund av problem med trattbildning av snö, svårfunna och omkullvälta tunnor o s v. Utvärderingen har bekostats av Vattenregleringsföretagens Samarbetsorgan (VASO). Projektet har tidigare av SMHI etappvis rapporterats i HOf-PM nr 65 (1988-12-11) och nr 69 (1989-11-17).

Målsättning

Syftet med detta projekt är att utvärdera om snömätningar med flygburen georadar kan förbättra den areella snömängdsberäkningen i övre Luleälvens tillrinningsområden och om den kan utnyttjas som indata för uppdatering av HBV-modellen och därmed förbättra vårflodsprognoserna. En annan fråga, som studerats, är om snötaxeringar från marken med konventionella snörör kan användas på ett liknande sätt, d v s som uppdatering av modellen.

Genomförda mätningar

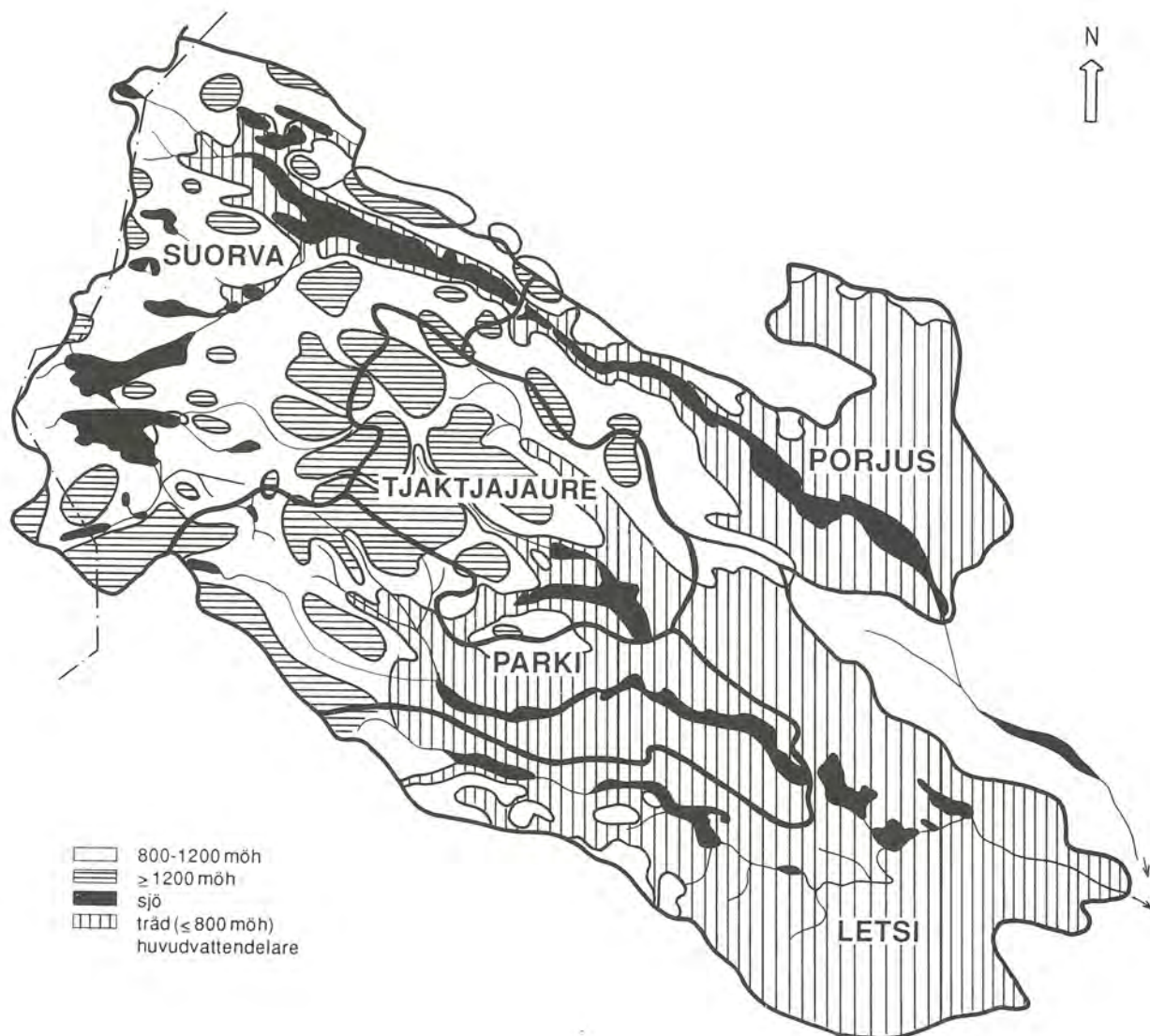
Snötaxering med georadarmätning från helikopter har utförts i övre Luleälvens avrinningsområde under vårvintrarna (början av april). Av flyglinjerna, som framgår av figur 1, tillkom linjerna K och P 1987 och G 1990. Flygsträckan 1990 var 388 km och klarades vid gynnsam väderlek av under en dag med tre tankningar (9 tim. 15 min.). Signalkvalitén förbättrades under projektets gång och uppgick de två sista åren till 90 % mot ca 45 % det första året. Omräkningen av reflexid till snöns vatteninnehåll har utförts genom kalibrering mot manuella snötaxeringar. Kvoten mellan ekvivalent vatteninnehåll och reflexid är beroende av snöns densitet. Vid jämförelser mot snötaxeringar i fjällterräng (i Kultsjöns tillrinningsområde) erhöles kvoten 0.045 m/ns ($\pm 10\%$). Årliga jämförelser 1986 - 1989 mot snötaxeringslinjerna Muddas, Årrenjarka och Kuorpak, samtliga belägna i skogsterräng, gav kvoter mellan 0.020 och 0.029 m/ns. Jämförelsen grundas på medelvärdet av tio snötaxeringsbestämningar och medelvärdet av 64 värden tagna med georadar från luften längs den 1 km långa linjen. Det är inte möjligt att flyga exakt efter linjen. I fjällterräng är således kvoten mellan vatteninnehåll och reflexid i stort sett konstant och en generell kvot kan användas, medan detta inte gäller för skogsterräng. I analysen har dock kvoten 0.045 m/ns använts genomgående. Utförda georadarmätningar och resultat från de fem åren finns sammanställda av Ulriksen (1990).

Manuella snötaxeringar har utförts under snöackumulationsperioden vid ca 12 platser utspridda i området. För 9 av dessa snötaxeringslinjer finns mätningar från ca 15 år. Mätplatserna framgår av figur 1. Dessutom har 10 tunnor varit utplacerade i området. Mängden snö mätt i mm vattenvärde har uppmätts en till två gånger per säsong. Mätningarna avbröts efter vintern 1989 i förtid på grund av dåliga erfarenheter, vilket redovisas närmare i HOf PM nr 69.



Figur 1. Georadarlinjer, snötaxeringslinjer och lägen för tunnor i prognosområdena Suorva, Porjus, Tjaktjajaure, Parki och Letsi. Prognosområdenas storlek är: Suorva 4 862 km², Porjus 2 863 km², Tjaktjajaure 2 267 km², Parki 2 596 km² och Letsi 4 590 km².

I figur 2 återfinns en karta över övre Luleälven med de fem tillrinningsområdena Suorva, Porjus, Parki, Tjaktjajaure samt Letsi, för vilka HBV-modellen finns kalibrerad.



Figur 2. Prognosområdena Suorva, Porjus, Tjaktjajaure, Parki och Letsi med höjdförhållanden.

Analysmetodik

Något helt sant värde på snömagasinet kan vi aldrig få. Den ackumulerade nederbörds-
mängden under vintern är inte korrigerad för eventuell smältning under vintern. En
annan metod är att summera tillrinningen till ett magasin eller avrinningen under
vårfloden, men även den blir osäker på grund av den nederbörd, som faller under våren
och som kan variera kraftigt från år till år. Ytterligare ett sätt är att utnyttja en av-

rinningsmodell, som korrigeras för volymfelet under vårfloden. Det är vår uppfattning, att denna metod att bestämma snön vid flygtillfället är betydligt säkrare än att utgå ifrån nederbördssumman under vintern eller enbart tillrinning under våren.

Varje höst görs en uppföljning av prognosfelet med HBV-modellen för varje område, där den använts. Ett volymfel kan antingen bero på att nederbördsmätningarna inte ger ett representativt mått på den areella snömängden, beroende på t ex avvikande snöfördelning mot kalibreringsperioden, eller på fel i vårens nederbörd och osäkerhet i uppmätt tillrinning. Om man antar, att felet beror på den första orsaken, d v s fel i den areella snömängden, kan HBV-modellens snömängd vid flygtillfället korrigeras för detta i efterskott.

Georadarmätningarna är kontinuerligt registrerade snödjupsmätningar, som omräknats till mm vattenvärde för en viss sträcka utifrån ett kalibreringsförfarande. Kalibreringen gäller för fjällterräng och inte för skogsterräng. Dessa värden skall därför helst ses som index och inte som exakta värden i mm vatten. Snötaxeringarna är ett antal punktmätningar längs en linje. Tunnorna representerar rena punktvärden. På grund av att det lätt bildas trattar av snö längs kanterna, kan dessa värden vara behäftade med fel. Dessutom blåser snön lätt förbi dessa stora mätare. HBV-modellen beräknar däremot snön som ett areamedelvärde över hela området. Dessa principiella skillnader gör, att det är svårt att direkt jämföra de olika mätningarna och modellernas resultat, utan en omräkning måste göras med ett empiriskt samband.

Under trädgränsen ökar snömängden i regel med höjden. Över trädgränsen förflyttas snön av vinden, och snömängden är mer beroende av läget i terrängen än av höjden (se Brandt, 1986). I HBV-modellen antas 10 till 17 % ökning av nederbörden per 100 m höjddifferens. Ett försök att utnyttja denna höjdkorrektion för att räkna om georadarmätningar till areellt snömagasin gav dåligt resultat. Linjens geografiska läge visade sig betyda avsevärt mer än höjd över havet.

Analysen har utförts dels för hela övre Luleälven sammantagen, dels för varje prognosområde separat. Resultat från de olika flygsträckorna viktades samman efter flygsträcka för respektive år och jämfördes med den areella snömängden beräknad med HBV-modellen. HBV-modellens snötäcke korrigerades före jämförelsen, så att beräknad och uppmätt vårflödesvolym stämde. Vårflödesperioden skiljer sig mellan de olika områdena på grund av deras olika karaktär. Vald vårflödesperiod återfinns under respektive avsnitt. Vid analys av de enskilda prognosområdena utnyttjades endast flygsträckor inom eller i anslutning till det aktuella området. Motsvarande analys har utförts för snötaxeringarna, men då endast för de separata prognosområdena.

Resultat

Sammantaget för alla prognosområdena

I tabell 1 redovisas de totala snömängderna (omräknade som jämförelse till 1988, som har satts till index 1.00) beräknade utifrån HBV-modellens simulerade snömängd (korrigerad resp. okorrigerad för prognosfel under snösmältningsperioden) och utifrån

georadarmätningarna. Dessutom anges i tabellen den totala areella nederbörds mängden oktober till mars, likaså omräknad i förhållande till 1988.

Tabell 1. Snömängd (i april) i relation till 1988 (= 1.00) i övre Luleälven, beräknad utifrån HBV-modellen (areellt medelvärde för tillrinningsområdena Suorva, Letsi, Porjus, Parki, Tjaktjajaure), georadarmätningar och enbart nederbörds mätningar (areell beräkning).

Beräkningsmetod	Snömängd i relation till 1988				
	1986	1987	1988	1989	1990
HBV-modellen okorrigerad	1.00	1.05	1.00	1.33	1.46
HBV-modellen korr. för volympfel	0.99	0.95	1.00	1.34	1.44
Georadar	(0.96) ¹⁾	(1.10) ¹⁾	1.00	1.24	1.32
Nederbörd okt - mars	1.01	0.97	1.00	1.13	1.27

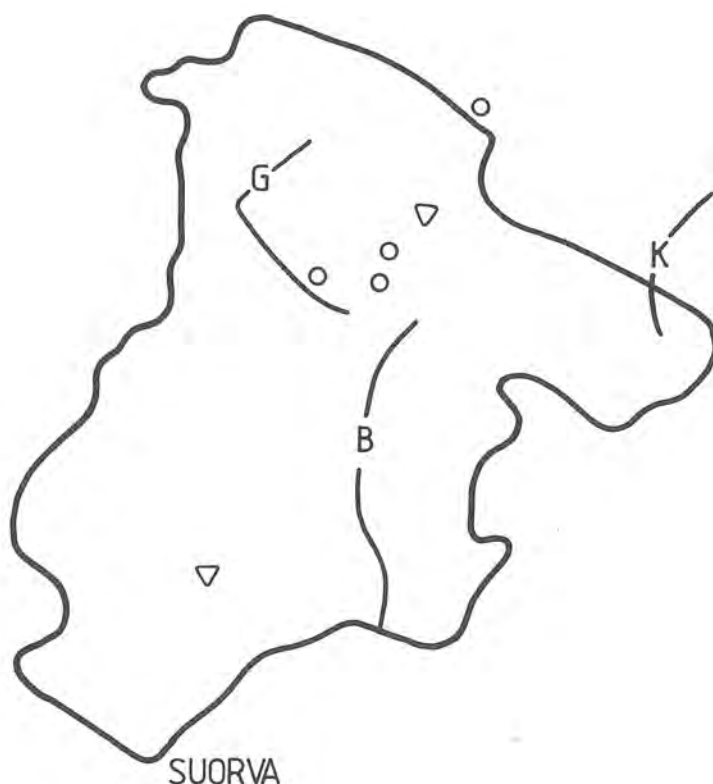
¹⁾ Betydligt kortare flygsträcka. Delar av de västligaste linjerna saknas.

Eftersom vi i denna analys antagit, att den korrigerade HBV-modellen är det närmaste sanningen vi kan komma när det gäller att bestämma de areella snötäcket, krävs det att georadarmätningens värde skall ligga närmare detta värde än vad den okorrigerade modellen gör, för att vi skall kunna säga, att georadarmätningarna förbättrar vårflödesprognosen. Så är inte fallet i tabell 1, vilket betyder, att en generell uppdatering av hela snötäcket utifrån georadarmätningarna hade ytterligare försämrat prognosema överlag.

Georadarmätningarna visar vidare, att den areella relativa snöfördelningen varierat under de fem åren, vilket talar för att varje prognosområde bör behandlas separat vid en utvärdering.

Suorva-området

I figur 3 framgår georadarrutten - linjerna B, K och G (enbart 1990) - samt snötaxeringslinjernas belägenhet. Vid Ritsem finns en nederbördsstation och vid Staloluokta en obemannad registrerande nederbördsstation under de två senaste åren av projektet. Vid modellsimuleringarna utnyttjas ytterligare nederbördsstationer belägna utanför området. Snöfördelningen är ojämn inom prognosområdet med, i regel, betydligt mer snö i de västra delarna samt i högfjället.



Figur 3. Prognosområdet Suorva med snötaxerings- (o) och georadarlinjer (B, G, K) samt nederbördsstationer (▽) markerade.

För Suorva-området finns det två versioner av HBV-modellen med skilda delområdesindelningar. Den nya modellen framtoggs vid SMHI under 1989. Volymfelen olika år skiljer sig åt mellan de olika modellversionerna, men ingen av dem fungerar helt bra, vilket troligen till stor del beror på brist på representativa nederbördsstationer.

I tabellerna 2 och 3 redovisas förhållandet mellan HBV-modellens simulerade snömagasin (i mm vatten, korrigerat för prognosfel) och snömängd beräknad utifrån georadarmätningarna respektive de traditionella snötaxeringslinjerna. HBV-modellens volymfel under vårflödet är beräknat för perioden 1 maj till 31 augusti resp. år. Georadarlinjen G finns enbart för 1990 och kan inte utnyttjas för denna analys ännu. Den del av K, som är belägen inom Suorvas tillrinningsområde, bedömdes inte ge något representativt mått på snömagasinet i stora delar av Suorva, och det var tveksamt hur den skulle viktas ihop med linje B, som är betydligt mer centralt belägen. Därför valde jag att inte utnyttja denna linje i analysen.

Tabell 2. Beräknade förhållanden mellan HBV-modellens snömagasin (korrigerade för volymfel under vårflödet) med nya modellversionen och snömängd enligt georadarmätningar resp. snötaxeringar i Suorva vid resp. mättillfällen.

År	1986	1987	1988	1989	1990	Medel- värde	Stan- dard- avv.
HBV-korr./geo- radarlinjen B	2.08	2.12	2.19	2.06	2.14	2.12	0.05
HBV-korr./snö- taxering:							
i Vaisafjäll	1.12	1.03	1.18	1.66	1.23	1.24	0.22
i Vaisa skog	2.98	4.16	2.95	2.46	3.71	3.25	0.60
vid Vaisa stuga	3.25	3.74	2.93	2.42	2.54	2.98	0.48
i Sitas	1.25	1.50	1.58	1.84	1.45	1.52	0.19

Tabell 3. Beräknade förhållanden mellan HBV-modellens snömagasin (korrigerade för volymfel under vårflödet) med gamla modellversionen och snömängd enligt georadarmätningar resp. snötaxeringar i Suorva vid resp. mättillfällen.

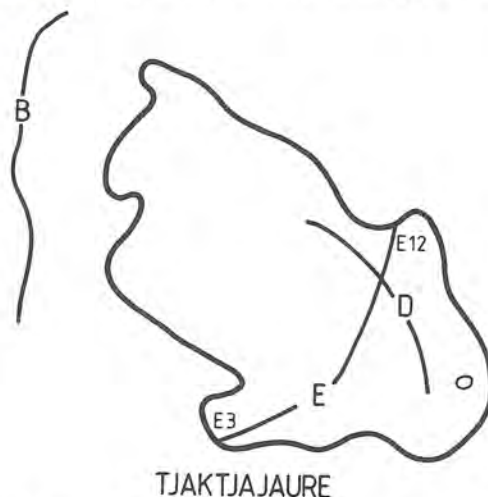
År	1986	1987	1988	1989	1990	Me- del- värde	Stan- dard- avv.
HBV-korr./geo- radarlinjen B	2.08	2.08	2.10	2.20	2.10	2.11	0.04
HBV-korr./snö- taxering:							
i Vaisafjäll	1.12	1.01	1.14	1.77	1.24	1.26	0.55
i Vaisa skog	3.00	4.08	2.72	2.64	3.71	3.23	0.52
vid Vaisa stuga	3.27	3.67	2.71	2.61	2.55	2.96	0.44
i Sitas	1.26	1.47	1.52	2.13	1.46	1.57	0.30

Förhållandet mellan HBV-modellens korrigerade snömagasin och snömätningarna skall vara så stabilt som möjligt (d v s låg standardavvikelse) för att vara användbart för förbättring av framtida prognoser. Förhållandet för georadarmätningarna är relativt lika de olika åren, medan det för snötaxeringar uppvisar större skillnader. Tunnmätningarna, som redovisas i HOOf-PM nr 69, ger ytterligare större skillnader mellan åren och bedömdes som oanvändbara.

Tjaktjajaure-området

En HBV-modell för Tjaktjajaure framtog 1989. I tidigare analyser av georadardata finns inte Tjaktjajaure med.

I figur 4 framgår aktuella georadarlinjer och snötaxeringslinje vid Kuorpak. Georadarlinjerna E och D är belägna på ostsidan av det stora fjällmassivet. Därför har även linje B på västsidan medtagits i analysen för att hänsyn skall tas till eventuell sned snöfördelning i området. Utav E-linjen utnyttjas de partier, som ligger inom området, d v s E3 - E12.



Figur 4. Prognosområdet Tjaktjajaure med snötaxerings- (o) och georadarmätningsslinjer (B, D, E) markerade.

I tabell 4 redovisas beräknat förhållande mellan HBV-modellens simulerade snömagasin (i mm vatten) korrigerat för prognosfel och snö mängd beräknat utifrån georadarmätningarna resp. snötaxeringslinjen vid Kuorpak. Prognosfelet under vårflödet är beräknat för perioden 1 maj till 1 augusti.

Tabell 4. Beräknade förhållanden mellan HBV-modellens simulerade snömagasin (korrigerade för volymfel under vårflödet) och snö mängd beräknad utifrån georadarmätningar resp. snötaxeringar i Tjaktjajaure vid resp. mättillfällen.

År	1986	1987	1988	1989	1990	Medel- värde	Stan- dard- avv.
HBV-korr./geo- radarlinjer B, E3 - E12, D	(1.24) ¹⁾	0.93	1.48	1.15	1.18	1.20	0.18
HBV-korr./snö- taxering i Kuor- pak	2.84	1.38	1.03	2.32	2.30	2.17	0.67

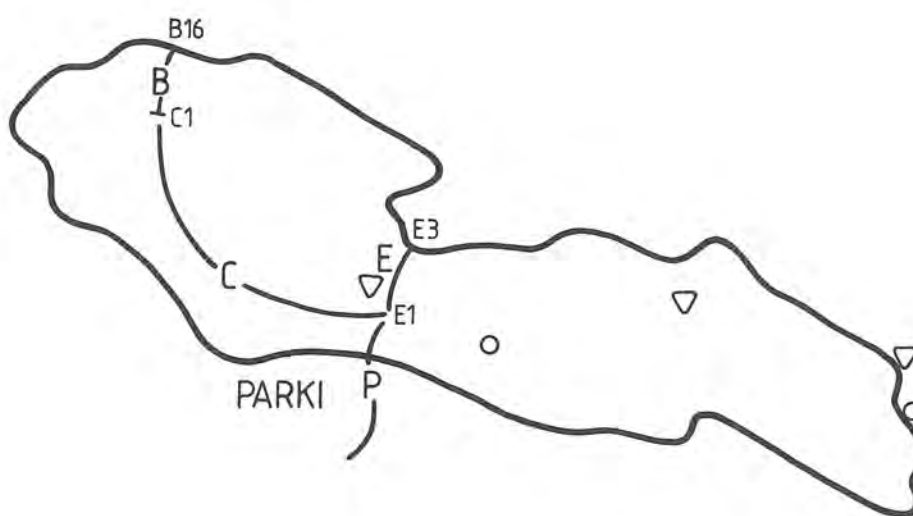
¹⁾ Ej linje E3 - E12. 1986 ingår i medelvärdet. Utan detta år blir medelvärdet 1.19.

Avvikelseerna mellan förhållandena under de olika åren är relativt stora för georadarmätningarna och stora för snötaxeringarna.

Parki-området

HBV-modellen för Parki omkalibrerades 1990 med en ändring av nederbördskorrektionen för ett av delområdena. Här har den nya kalibreringen nyttjats.

I figur 5 återfinns en karta över Parki med aktuella georadarlinjer och snötaxeringslinjer.



Figur 5. Prognosområdet Parki med snötaxerings- (○) och delar av georadarlinjer (B, C, E och P) samt nederbördsstationer (▽) markerade.

I tabell 5 redovisas beräknat förhållande mellan HBV-modellens simulerade snömagasin korrigerat för prognosfel och snömängd, beräknad utifrån georadarmätningarna resp. snötaxeringslinjerna. Prognosfelet under vårflödet är beräknat för perioden 1 maj till 1 augusti. Georadarmätningarna B16 - C1, C, P och E1 - E3 har viktats samman efter flygsträcka.

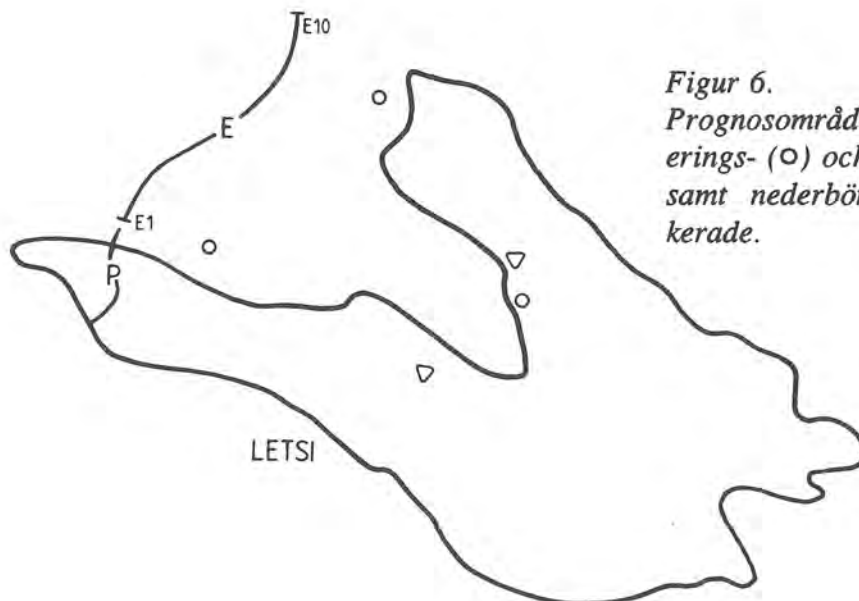
Tabell 5. Beräknade förhållanden mellan HBV-modellens simulerade snömagasin (korrigerade för volymfel under vårflödet) och snömängd beräknad utifrån georadarmätningar resp. snötaxeringar i Parki vid resp. mätillfälle.

År	1986	1987	1988	1989	1990	Medel- värde	Stan- dard- avv.
HBV-korr./ georadarlinjer B16 - C1, C, P, E1 - E3	(0.95) ¹⁾	0.65	0.74	0.92	0.90	0.80	0.12
HBV-korr./snö- taxering: i Årrenjarka	2.34	1.73	1.45	2.56	1.88	1.99	0.40
i Nautijaure	2.03	1.65	1.39	1.98	1.83	1.78	0.23

¹⁾ Endast georadarlinjen E1 - E3. 1986 ingår ej i beräkning av medelvärdet och standardavvikelsen.

Letsi-området

Prognosen för Letsi uppvisar i regel lägre volymfel än de, som görs för de mer problematiska prognosområdena Suorva, Tjaktjajaure och Parki. Letsi består till största delen av skogsområden, och två nederbördsstationer är belägna inom området. Delar av georadar linjen P passerar ett hörn av området (se figur 6). Även delar av linje E (E1 - E3) har medtagits i analysen, eftersom den likaså går i skog väster om området.



Figur 6.
Prognosområdet Letsi med snötaxerings- (○) och georadarlinjer (E, P) samt nederbördsstationer (▽) markerade.

I tabell 6 återfinns beräknade förhållanden mellan HBV-modellen och georadarmätningar resp. snötaxeringar. Prognosfelet under vårflödet är beräknat för perioden 15 april till 1 juli.

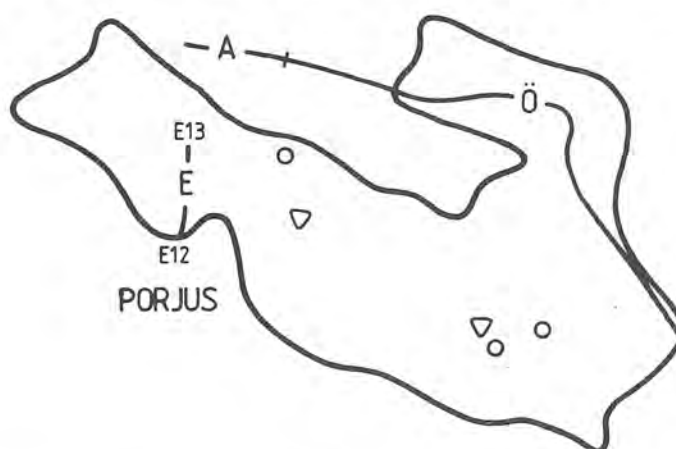
Tabell 6. Beräknade förhållanden mellan HBV-modellens simulerade snömagasin (korrigerade för volymfel under vårflödet) och snömängd beräknad utifrån georadarmätningar resp. snötaxeringar i Parki vid resp. mättillfälle.

År	1986	1987	1988	1989	1990	Me- del- värde	Stan- dard- avv.
HBV-korr./geo- radarlinjer P, E1 - E10	-	0.46	0.57	0.57	0.56	0.54	0.04
HBV-korr./snö- taxering: i Årrenjarka	0.99	1.29	1.11	2.40	1.19	1.20	0.51
i Nautijaure	1.15	1.22	1.06	1.08	1.16	1.13	0.21
i Kuorpak	1.05	0.85	0.92	0.98	0.80	0.92	0.09

Porjus-området

HBV-modellen för Porjus omkalibrerades 1990 med en ändring av snöfallskorrekturen. Den nya modellversionen har utnyttjats i denna analys.

Porjus har relativt små volymfel för de studerade åren 1986-90. Området täcks till största delen av skog. Delar av georadarlinjerna E och Ö passerar genom området. Vid analysen har även A-linjen medtagits, som passerar nära området (se figur 7).



Figur 7. Prognosområdet Porjus med snötaxerings- (○) och georadarlinjer (A, E, Ö) samt nederbördsstationer (▽) markerade.

I tabell 7 återfinns beräknade förhållanden mellan HBV-modellen och georadarmätningar resp. snömätningar. Prognosfelet under vårflödet är beräknat för perioden 20 april till 1 juli.

Tabell 7. Beräknade förhållanden mellan HBV-modellens simulerade snömängd (korrigerade för volymfel under vårflödet) och snömängd beräknad utifrån georadarmätningar resp. snötaxeringar i Porjus vid resp. mättillfälle.

År	1986	1987	1988	1989	1990	Medel- värde	Stan- dard- avv.
HBV-korr./georadarlinjer Ö, A och E12 - 13	0.76 ¹⁾	0.84	0.80	0.78	0.93	0.82	0.06
HBV-korr./snötaxering i Renhagen	1.26	1.31	1.11	1.20	1.46	1.27	0.12
i Åloluokta	1.17	1.32	1.11	1.11	1.43	1.23	0.13
i Kirjaluokta	1.46	1.54	1.29	0.24	1.79	1.46	0.54

¹⁾ Ej E12 - E 13. 1986 ingår i medelvärdet och standardavvikelsen. Utgår 1986, blir medelvärdet 0.84.

Möjligheter att förbättra prognosresultaten

Variationerna i förhållandet mellan den snömängd, som beräknats för området genom korrigeringar av HBV-modellens snömagasin, och georadarmätningarna är i regel mindre än motsvarande förhållanden till snötaxeringen. Detta kan tolkas som att möjligheterna att förbättra prognoserna med hjälp av georadarmätningar är större än om vi använder snötaxeringar.

Det beräknade förhållandet kan användas för att uppdatera HBV-modellens simulerade snömagasin direkt efter flygningen. Snömängden för resp. georadarlinjer beräknas, viktas samman och multipliceras med beräknat förhållande samt jämförs med modellens snömagasin. En eventuell uppdatering kan ske genom att man lägger till eller drar ifrån skillnaden från modellens snömagasin. Vad blir prognosresultatet då med denna uppdatering? I tabellerna 8 - 13 sammanfattas volymfelet över vårfloden med HBV-modellen med och utan korrektion med georadarmätningar. Det skall påpekas, att korrektionerna inte baseras på en oberoende datauppsättning och att de förbättringar, som redovisas, kan vara en överskattnig.

De angivna uppgifterna om medeltal i mm har också omräknats till motsvarande magasinvolym i miljoner m³. Omräkningsproceduren skiljer sig något mellan de olika

modellversionerna, eftersom dessa beskriver sjöarna i systemet på olika sätt.

Tabell 8. Sammanfattning av effekten av korrigering av snömagasinet i HBV-modellen med hjälp av georadarmätningar i Suorvas prognosområde (nya modellen). Georadarlinje: B.

År	Volymfel HBV (1.5. - 31.8.) (mm)	Volymfel med georadarkorrektion (mm)	Snömängd HBV-korr. (mm)
1986	51	11	621
1987	-31	0	591
1988	-34	-21	651
1989	24	33	1067
1990	12	7	942
Medelfel (mm)	30	14	
Medelfel (milj. m ³)	127	59	

Tabell 9. Sammanfattning av effekten av korrigering av snömagasinet i HBV-modellen med hjälp av georadarmätningar i Suorvas prognosområde (gamla modellen). Georadarlinje: B.

År	Volymfel HBV (1.5. - 31.8.) (mm)	Volymfel med georadarkorrektion (mm)	Snömängd HBV-korr. (mm)
1986	52	9	620
1987	18	8	581
1988	-17	3	624
1989	-87	-47	1142
1990	14	5	926
Medelfel (mm)	38	14	
Medelfel (milj. m ³)	178	66	

Tabell 10. Sammanfattning av effekten av korrigering av snömagasinet i HBV-modellen med hjälp av georadarmätningar i Tjaktjajaure prognosområde.
Georadarlinjer: B, E3 - E12, D.

År	Volymfel HBV (1.5. - 1.8.) (mm)	Volymfel med georadarkorrektion (mm)	Snömängd HBV-korr. (mm)
1986	- 50	-13	404
1987	+132	+89	307
1988	- 26	-83	436
1989	- 89	+21	461
1990	+ 36	+10	501
Medelfel (mm)	67	43	
Medelfel (milj. m ³)	144	93	

Tabell 11. Sammanfattning av effekten av korrigering av snömagasinet i HBV-modellen med hjälp av georadarmätningar i Parki prognosområde.
Georadarlinjer: B16 - C1, C, P och E1 - E3.

År	Volymfel HBV (1.5. - 1.8.) (mm)	Volymfel med georadarkorrektion (mm)	Snömängd HBV-korr. (mm)
1986	- 25	1 ¹⁾	303
1987	+105	+59	255
1988	+ 35	+21	260
1989	- 55	-46	364
1990	+ 50	-45	399
Medelfel (mm)	54	34	
Medelfel (milj. m ³)	140	88	

¹⁾ Enbart från E1 - E3.

Tabell 12. Sammanfattning av effekten av korrigerig av snömagasinet i HBV-modellen med hjälp av georadarmätningar i Letsi prognosområde.
Georadarlinjer: P, E1 - E10.

År	Volymfel HBV (15.4. - 1.7.) (mm)	Volymfel med georadarkorrektion (mm)	Snömängd HBV-korr. (mm)
1986	8	-	-
1987	5	35	189
1988	2	- 9	189
1989	-27	-10	203
1990	-11	- 7	251
Medelfel (mm)	11	15	
Medelfel (milj. m ³)	50	69	

Tabell 13. Sammanfattning av effekten av korrigerig av snömagasinet i HBV-modellen med hjälp av georadarmätningar i Porjus prognosområde.
Georadarlinjer: Ö, A, E12 - E 13.

År	Volymfel HBV (20.4. - 1.7.) (mm)	Volymfel med georadarkorrektion (mm)	Snömängd HBV-korr. (mm)
1986	+10	+16	191
1987	+ 5	- 5	234
1988	0	+ 6	199
1989	-10	+11	218
1990	+20	-32	274
Medelfel (mm)	9	14	
Medelfel (milj. m ³)	26	40	

För de tre fjällområdena Suorva, Tjaktjajaure och Parki sker en klar minskning av volymfelet under de fem åren (25 - 50 %) om modellen uppdateras med hjälp av georadarmätningarna. Endast vid ett tillfälle (Tjaktjajaure, 1988) leder uppdateringen till klart sämre resultat. Medelfelet minskar med: för Suorva 68 milj. m³ (nya modellen) och 112 milj. m³ (gamla modellen), för Tjaktjajaure 51 milj. m³ och för Parki 52 milj. m³.

Motsvarande beräkning för de enskilda snötaxeringslinjerna och prognosområdena ger en försämring av totala volymfelet för alla snötaxeringslinjer utom en (Nautijaure i

Parki). Det sker fler försämringar än förbättringar av prognosutfallet. I tabellerna 14 och 15 visas som exempel denna beräkning för snötaxeringarna i prognosområdet Suorva respektive Parki.

Tabell 14. Sammanfattning av effekten av korrigering av snömagasinet i HBV-modellen med hjälp av snötaxeringar i Suorvas prognosområde (nya modellen).

År	Volymfel med HBV-modellen	Volymfel korr. med snötaxering i Vaisafjäll	Volymfel korr. med snötaxering i Vaisaskog	Volymfel korr. med snötaxering i Vaisaskogslinje	Volymfel korr. med snötaxering i Sitas
1986	51	+67	+55	-51	+129
1987	-31	+123	-130	-119	8
1988	34	+29	+67	11	-24
1989	24	-274	344	245	-186
1990	12	4	-117	164	43
Medelfel (mm)	30	99	143	118	78
Medelfel (milj. m ³)	127	421	607	501	331

Tabell 15. Sammanfattning av effekten av korrigering av snömagasinet i HBV-modellen med hjälp av snötaxeringar i Parki prognosområde.

År	Volymfel med HBV-modellen	Volymfel korr. med snötaxering i Årrenjarka	Volymfel korr. med snötaxering i Nautijaure
1986	-25	+58	-33
1987	+105	38	21
1988	+35	96	73
1989	-55	-74	-33
1990	+50	23	-11
Medelfel (mm)	54	58	34
Medelfel (milj. m ³)	140	151	88

För de två skogsområdena Letsi och Porjus är utfallet inte lika gynnsamt vid uppdatering med stöd av georadarmetoden. Motsvarande uppdatering med snötaxering ger likaså en försämring av resultatet. Det kan bero på att volymfelet med den ursprungliga HBV-modellen i regel är relativt små för dessa två prognosområden med fler representativt belägna nederbördsstationer och med mer enhetliga topografiska förhållanden.

Slutsatser

De fem årens snömätning med flygburen georadar i övre Luleälven kan sammanfattas i följande punkter.

1. Snömätning med georadarmätning ger en god bild av den storskaliga snöutbredningen i övre Luleälven. Ytterligare en linje i väster mot norska gränsen för att förbättra den areella täckningen av Suorva-området samt eventuellt någon genom Sarekmassivet är dock av intresse.
2. Georadarmätningar kan med fördel användas för uppdatering av snömängden i enskilda prognosområden, som utgörs av stora fjällområden med glest nederbördsnät, såsom Suorva, Tjaktjajaure och Parki. En uppdatering av snömagasinet utifrån georadarmätningarna i dessa områden förbättrade prognosutfallet för 4 år av totalt 5 undersökta år. Absolutbeloppet av volymfelet sjönk med 25 - 50 %. (Siffrorna kan vara något överskattade på grund av att de inte bygger på två oberoende dataserier.) I skogsområdena med bättre nederbördsstationstäckning är en uppdatering med hjälp av georadarmätningar mer tveksam. För prognosområdena Porjus och Letsi försämrades volymfelet för fler år än den förbättrades.
3. På grund av varierande areell snöfördelning mellan olika år är det svårare att utnyttja en sammanslagning av samtliga mätningar för hela övre Luleälven.
4. Motsvarande analys av snöbestämning från snötaxeringslinjerna visar, att en uppdatering utifrån dem ger fler försämringar av prognosutfallet än förbättringar, och att absolutbeloppet av volymfelet i de flesta fall ökar.

Referenser

Bergström, S., och Brandt, M. (1984)

Snömätning med flygburen gammaspektrometer i Kultsjöns avrinningsområde.
SMHI HO 21, 65 s.

Brandt, M. (1986)

Areella snöstudier.
SMHI Hydrologi nr 7, 48 s.

Ulriksen, P. (1985)

Profiler genom snötäcket registrerade i mars 1983 med LTHs 900 MHz impulsradar-system.

Vannet i Norden, 18, 4, 47 - 70.

Ulriksen, P. (1990)

Snötaxering med impulsradar utförd 3 april 1990.
(Stencil).

SMHI Rapporter, HYDROLOGI OCH OCEANOGRAPHI (RHO)

- Nr 1 Weil, J G
Verification of heated water jet numerical model
Stockholm 1974
- Nr 2 Svensson, J
Calculation of poison concentrations from a hypothetical accident off the Swedish coast
Stockholm 1974
- Nr 3 Vasseur, B
Temperaturförhållanden i svenska kustvatten
Stockholm 1975
- Nr 4 Svensson, J
Beräkning av effektiv vattentransport genom Sunninge sund
Stockholm 1975
- Nr 5 Bergström, S och Jönsson, S
The application of the HBV runoff model to the Filefjell research basin
Norrköping 1976
- Nr 6 Wilmot, W
A numerical model of the effects of reactor cooling water on fjord circulation
Norrköping 1976
- Nr 7 Bergström, S
Development and application of a conceptual runoff model
Norrköping 1976
- Nr 8 Svensson, J
Seminars at SMHI 1976-03-29--04-01 on numerical models of the spreading of cooling water
Norrköping 1976
- Nr 9 Simons, J, Funkquist, L and Svensson, J
Application of a numerical model to Lake Vänern
Norrköping 1977
- Nr 10 Svensson, S
A statistical study for automatic calibration of a conceptual runoff model
Norrköping 1977
- Nr 11 Bork, I
Model studies of dispersion of pollutants in Lake Vänern
Norrköping 1977
- Nr 12 Fremling, S
Sjöisars beroende av väder och vind, snö och vatten
Norrköping 1977
- Nr 13 Fremling, S
Sjöisars bärighet vid trafik
Norrköping 1977
- Nr 14 Bork, I
Preliminary model studies of sinking plumes
Norrköping 1978
- Nr 15 Svensson, J and Wilmot, W
A numerical model of the circulation in Öresund
Evaluation of the effect of a tunnel between Helsingborg and Helsingör
Norrköping 1978
- Nr 16 Funkquist, L
En inledande studie i Vätterns dynamik
Norrköping 1978
- Nr 17 Vasseur, B
Modifying a jet model for cooling water outlets
Norrköping 1979
- Nr 18 Udin, I och Mattsson, I
Havsis- och snöinformation ur datorbearbetade satellitdata - en metodstudie
Norrköping 1979
- Nr 19 Ambjörn, C och Gidhagen, L
Vatten- och materialtransporter mellan Bottniska viken och Östersjön
Norrköping 1979
- Nr 20 Gottschalk, L och Jutman, T
Statistical analysis of snow survey data
Norrköping 1979
- Nr 21 Eriksson, B
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärde (1931-60) av nederbörd, avdunstning och avrinning
Norrköping 1980
- Nr 22 Gottschalk, L and Krasovskaia, I
Synthesis, processing and display of comprehensive hydrologic information
Norrköping 1980
- Nr 23 Svensson, J
Sinking cooling water plumes in a numerical model
Norrköping 1980
- Nr 24 Vasseur, B, Funkquist, L and Paul, J F
Verification of a numerical model for thermal plumes
Norrköping 1980
- Nr 25 Eggertsson, L-E
HYPOS - ett system för hydrologisk positionsangivelse
Norrköping 1980
- Nr 26 Buch, Erik
Turbulent mixing and particle distribution investigations in the Himmerfjärd 1978
Norrköping 1980
- Nr 27 Eriksson, B
Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige
Norrköping 1980
- Nr 28 Broman, B
On the spatial representativity of our oceanographic measurements
Norrköping 1981
- Nr 29 Ambjörn, C, Luide, T, Omstedt, A, Svensson, J
En operationell oljedriftsmodell för norra Östersjön
Norrköping 1981
- Nr 30 Svensson, J
Vågdata från svenska kustvatten 1979 - 1980
Norrköping 1981
- Nr 31 Jutman, T
Stationsnät för vattenföring
Norrköping 1981
- Nr 32 Omstedt, A, Sahlberg, J
Vertical mixing and restratification in the Bay of Bothnia during cooling
Norrköping 1982
- Nr 33 Brandt, M
Sedimenttransport i svenska vattendrag
Norrköping 1982
- Nr 34 Bringfelt, B
A forest evapotranspiration model using synoptic data
Norrköping 1982
- Nr 35 Bhatia, P K, Bergström, S, Persson, M
Application of the distributed HBV-6 model to the Upper Narmada Basin in India
Norrköping 1984
- Nr 36 Omstedt, A
A forecasting model for water cooling in the Gulf of Bothnia and Lake Vänern
Norrköping 1984
- Nr 37 Gidhagen, L
Coastal upwelling in the Baltic - a presentation of satellite and in situ measurements of sea surface temperatures indicating coastal upwelling
Norrköping 1984
- Nr 38 Engqvist, A, Svensson, J
Water turnover in Himmerfjärd 1977 - a simulation study
Norrköping 1984
- Nr 39 Funkquist, L, Gidhagen, L
A model for pollution studies in the Baltic Sea
Norrköping 1984
- Nr 40 Omstedt, A
An Investigation of the crystal structure of sea ice in the Bothnian Bay
Norrköping 1985

- | Nr | Titel |
|----|--|
| 1 | Calculations of horizontal exchange coefficients using Eulerian time series current meter data from the Baltic Sea.
Lars Gidhagen, Lennart Funkqvist and Ray Murthy
Norrköping 1986 |
| 2 | Ymer-80, satellites, arctic sea ice and weather.
Thomas Thompson
Norrköping 1986 |
| 3 | Program för miljö kvalitetsövervakning - PMK
Stig Carlberg et al.
Norrköping 1986 |
| 4 | Isförhållandena i Sveriges södra och västra farvatten
Jan-Erik Lundqvist och Anders Omstedt
Norrköping 1987 |
| 5 | Program för miljö kvalitetsövervakning - PMK.
Utsjöprogram under 1986
av Stig Carlberg, Sven Engström, Stig Fonselius, Håkan Palmén, Eva-Gun Thelén, Lotta Fyrberg och Bengt Yhlén
Göteborg 1987 |
| 6 | Results of a five year survey of the distribution of UREA in the Baltic sea.
Jorge C Valderama
Göteborg 1987 |
| 7 | Program för miljö kvalitetsövervakning - PMK.
Utsjöprogram under 1987.
Stig Carlberg, Sven Engström, Stig Fonselius, Håkan Palmén, Eva-Gun Thelén, Lotta Fyrberg, Bengt Yhlén, Danuta Zagradkin
Göteborg 1988 |
| 8 | Ice reconnaissance and forecasts in Storfjorden, Svalbard.
Bertil Håkansson
Norrköping 1988 |
| 9 | Program för miljö kvalitetsövervakning - PMK.
Utsjöprogram under 1988
Stig Carlberg, Sven Engström, Stig Fonselius, Håkan Palmén, Eva-Gun Thelén, Lotta Fyrberg, Bengt Yhlén, Danuta Zagradkin, Bo Juhlin, Jan Szaron
Göteborg 1989 |
| 10 | Sea ice properties studied from the icebreaker Tor During BEPERS -88
L Fransson, B Håkansson, A Omstedt, L Stehn
Norrköping 1989 |
| 11 | Program för miljö kvalitetsövervakning - PMK.
Utsjöprogram under 1989
Stig Carlberg, Sven Engström, Stig Fonselius, Håkan Palmén, Lotta Fyrberg, Bengt Yhlen, Bo Juhlin, Jan Szaron
Göteborg 1990 |
| 12 | Real-time modelling and forecasting of temperatures in the Baltic Sea
Anders Omstedt
Norrköping 1990 |

- | Nr | Titel |
|----|--|
| 1 | Analysis of climate - induced hydrochemical variations in till aquifers.
Bergström S, Sandén P, Gardelin M,
Norrköping 1990 |
| 2 | Human impacts and weather-dependent effects on water balance and water quality in some Swedish river basins
av Maja Brandt
Norrköping 1990 |

Nr Titel

HYDROLOGISKA RAPPORTER

- | | | | |
|----|---|----|---|
| 1 | Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena
av Bengt Carlsson
Norrköping 1985 | 18 | Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser
av Maja Brandt
Norrköping 1987 |
| 2 | Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser
av Martin Häggström och Magnus Persson
Norrköping 1986 | 19 | Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser
av Martin Häggström och Magnus Persson
Norrköping 1988 |
| 3 | Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985
av Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO
Norrköping 1986 | 20 | Frys förluster av vatten
av Todor Milanov
Norrköping 1988 |
| 4 | Skåneprojektet - Hydrologisk och Oceanografisk information för vattenplanering - ett pilotprojekt
av Barbro Johansson, Erlend Bergstrand och Torbjörn Jutman
Norrköping 1986 | 21 | Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin
av Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval och Maria Elvira Vega
Norrköping 1988 |
| 5 | Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985
av Martin Häggström
Norrköping 1986 | 22 | Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde
av Mats Moberg och Maja Brandt
Norrköping 1988 |
| 6 | Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt
av Barbro Johansson
Norrköping 1986 | 23 | Hydrologiskt stationsnät
Svenskt Vattenarkiv
av Martin Gotthardsson och Sten Lindell
Norrköping 1989 |
| 7 | Areella snöstudier
av Maja Brandt
Norrköping 1986 | 24 | Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca
av Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval, Maria Elvira Vega
Norrköping 1989 |
| 8 | PULS-modellen: Struktur och tillämpningar
av Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström
Norrköping 1987 | 25 | Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder
av Gun Zachrisson
Norrköping 1989 |
| 9 | Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar
av Lennart Funkquist
Norrköping 1987 | 26 | Anpassning av HBV-modellen till Torneälven
av Martin Häggström
Norrköping 1989 |
| 10 | Application of the HBV-Model to Bolivian Basins
av Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar och Roberto Llobet
Norrköping 1987 | 27 | Application of the HBV model to six Centralamerican rivers
av Martin Häggström och Göran Lindström
Norrköping 1990 |
| 11 | Monthly streamflow simulation in Bolivian Basins with a stochastic model
av Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar och Roberto Llobet
Norrköping 1987 | 28 | Parametervärden för HBV-modellen i Sverige
Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989
av Sten Bergström
Norrköping 1990 |
| 12 | De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter
av Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov
Norrköping 1987 | 29 | Spridningsstudier i Glan
av Urban Svensson och Ingemar Holmström
Norrköping 1990 |
| 13 | Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn
av Göran Lindström
Norrköping 1987 | 30 | Analys av avrinningens trender i Sverige
av Torbjörn Jutman
Norrköping 1991 |
| 14 | Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd
av Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström
Norrköping 1987 | 31 | Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba
av Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planas och Alfredo Remont
Norrköping 1991 |
| 15 | Sjökart- och sjöuppgifter. Register 1987
av Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist
Norrköping 1987 | 32 | Simulering av vårflöden med HBV-modellen
av Erik Arnér
Norrköping 1991 |
| 16 | Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser
av Martin Häggström och Magnus Persson
Norrköping 1987 | 33 | Snömätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven
av Maja Brandt
Norrköping 1991 |
| 17 | Skogsskador - klimat
av Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Håldo Vedin
Norrköping 1987 | 34 | Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland
av Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren
Norrköping 1991 |



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-158000. Telex 64400 smhi s.