

Temperaturens höjdberoende. En studie i Indalsälvens avrinningsområde.

Deliang Chen och Barbro Johansson
Projektet är finansierat av Elforsk/HUVA.

Temperaturens höjdberoende. En studie i Indalsälvens avrinningsområde.

Deliang Chen och Barbro Johansson

Sammanfattning

Vid modellering av snösmältning och snöackumulation är temperaturen en viktig variabel. De lokala variationerna i temperaturen styrs till stor del av höjden över havet. Denna rapport redovisar ett projekt som haft till syfte att förbättra beskrivningen av temperaturens höjdberoende i de indata som används för att simulera avrinning med HBV-modellen. Studien har omfattat de övre delarna av Indalsälvens avrinningsområde. För att analysera variationerna i höjdberoendet prövades två angreppssätt:

- En statistisk analys av observerade data vid de meteorologiska stationerna.
- Simuleringar med en högupplöst meteorologisk modell.

Syftet med att använda en meteorologisk modell var att den ger en mer komplett bild av temperaturvariationerna än stationerna som bara representerar en liten del av området.

Den statistiska analysen av stationsdata visade en årstidsvariation i temperaturens höjdberoende. Snabbast avtog temperaturen med höjden under försommaren, medan man i snitt hade en svag ökning av temperaturen med höjden runt årskiftet. Studien visade också ett tydligt samband mellan temperatur och höjdberoende, vilket innebar att säsongsvariationen delvis förklarades av temperaturens årscykel. Under senvåren då en stor del av snösmältningen sker, låg temperaturavtagandet i snitt mycket nära $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Testerna med den meteorologiska modellen indikerade att det är ett angreppssätt som kan användas för att i detalj beskriva temperaturens variationer i ett område med komplex topografi, men att mer djupgående studier krävs för att fullt ut tolka modellresultaten. Generellt var höjdberoendet i modellen betydligt flackare än det som togs fram från stationsdata.

Ur stationsdata togs ett enkelt samband fram för att beskriva temperaturens höjdberoende som en funktion av temperatur och tid på året. Sambandet användes sedan vid interpolation av temperatur och för simuleringar i HBV-modellen. En korsvalidering med stationsdata visade att ett variabelt höjdberoende gav en bättre skattning av temperaturen än ett konstant höjdavtagande. Förbättringen var störst under vintermånaderna och för högt belägna stationer.

Trots att korsvalideringen visade bättre resultat med ett variabelt höjdberoende, blev det inga förbättringar av den simulerade avrinningen i HBV-modellen. Beskrivningen av höjdberoendet påverkade dock snöns fördelning i modellen. Även om det inte direkt har effekt på den simulerade avrinningen, så får det därför betydelse om man exempelvis vill uppdatera simulerat snömagasin från observationer.

Slutsatsen från studien är att det idag inte finns skäl att ändra beskrivningen av temperaturens höjdberoende i HBV-modellen. Däremot bör modellen hållas öppen för ett variabelt höjdberoende i framtiden då nya typer av indata och uppdatering av snömagasinet kan bli aktuellt. Det samband som tagits fram för höjdberoendet är lätt att applicera och ger en bättre skattning av temperaturen än ett konstant höjdberoende.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
2	Data	3
3	Statistisk analys	4
3.1	Temperaturavtagande från observationer.....	4
3.1.1	Regressionssamband	4
3.1.2	Säsongsvariationer	5
3.1.3	Aktuell vädersituation	6
3.2	Skattning av höjdberoende	7
3.3	Interpolation av temperatur	7
3.3.1	Korsvalidering.....	7
3.3.2	Temperatur för avrinningsområden.....	9
4	Simuleringar med meteorologisk modell	10
4.1	Modellbeskrivning	10
4.2	Metod	10
4.3	Verifiering av meteorologisk modell	11
4.3.1	Verifiering mot observerad temperatur.....	11
4.3.2	Verifiering mot observerad nederbörd	13
4.4	Temperaturens höjdberoende	13
5	Simulering av avrinning med HBV-modellen	16
6	Diskussion och slutsatser	18
7	Referenser.....	19

1 Inledning

I svenska fjällområden spelar snön en stor roll för avrinningen. Vid modellering av snösmältning och snöackumulation är temperaturen oftast den mest betydelsefulla variabeln och det är viktigt att beskriva dess variationer på ett bra sätt. Inom ett begränsat område är det framför allt höjd över havet och läget i terrängen som styr de rumsliga variationerna. I genomsnitt har man funnit att temperaturen avtar med höjden med ca. $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, vilket är det fuktadiabatiska temperaturavtagandet (SNA, 1995). Sett över kortare perioder kan dock topografins inflytande variera kraftigt. Det beror bl.a. av luftmassans stabilitet och strålningens inverkan på markens uppvärmning (dagtid) respektive avkylning (nattetid).

Denna rapport redovisar ett projekt som haft till syfte att förbättra beskrivningen av temperaturens höjdberoende i de indata som används för att simulera avrinning med HBV-modellen. För att analysera variationerna i höjdberoendet har två angreppssätt prövats:

- En statistisk analys av observerade data vid de meteorologiska stationerna.
- Simuleringar med en högupplöst meteorologisk modell.

Sambanden framtagna vid den statistiska analysen har även utvärderats för interpolation av temperatur och i simuleringar med HBV-modellen (Lindström m.fl., 1997). Syftet med att använda en meteorologisk modell var att den kan ge en mycket mer komplett bild av temperaturvariationerna än stationerna som bara representerar en liten del av området.

Det är främst under klara, kalla vinterdygn som stora avvikelser från det fuktadiabatiska temperaturavtagandet förekommer. På grund av utstrålningen kyls marken av och därmed också luften i ett skikt närmast markytan. Denna luft blir tyngre än omgivningens, och i fjällterräng strömmar kall luft längs sluttningarna ner i dalgångarna och inversion uppstår. I lägen där vinden kommer åt blandas luften om, vilket motverkar uppkomsten av inversion (Barry, 1992). Vindförhållandena varierar mellan olika dalgångar beroende på läget i förhållanden till vindriktningen, och under perioder med inversion kan det därför vara svårt att förutsäga temperaturen i en viss dalgång utan avancerade meteorologiska modeller. På höga höjder närmar sig temperaturavtagandet det i den fria atmosfären. De djupaste inversionerna förekommer på nätterna eftersom den inkommande strålningen under dagtid värmer upp marken. Ju längre fram på säsongen man kommer, desto starkare blir den inkommande strålningen och i dygns-temperaturerna kan det då bli svårt att detektera inversion även om den förekommer nattetid.

Variationerna i temperaturavtagandet är mindre dramatiska under andra årstider och förhållanden, men kan ändå vara betydelsefulla när temperaturobservationer skall extrapoleras flera hundra meter. Under sensivår och sommar kan instrålningen vara stor och man får en motsatt effekt jämfört med vinterns temperaturinversioner, dvs. en kraftig uppvärmning av luften närmast marken. I sådana situationer är luften närmast marken ofta torr, vilket ytterligare bidrar till att temperaturavtagandet blir snabbare än det fuktadiabatiska. Om luften inte är mättad kommer ett luftpaket som stiger att avkylas utan att det sker en kondensation som frigör värme. Det leder till ett torradiabatiskt temperaturavtagande som teoretiskt är $0.98^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (Barry, 1992).

Vindens och strålningens inflytande på temperaturens rumsliga variationer har bl.a. demonstrerats av Lindkvist m.fl. (1997) i en studie av minimitemperaturer i ett ca 600 km^2 stort område i de övre delarna av Ljungan. Under en begränsad period (juli - augusti 1996) gjordes mätningar vid ett stort antal utplacerade stationer. Det visade sig att vid blåsig och mulen väderlek var det ett tydligt samband mellan minimitemperatur och höjd ($r^2 = 0.92$), men under lugna klara förhållanden kunde variationerna endast i mindre grad förklaras av höjdskillnaderna. Stationernas läge i terrängen och hur skyddat de var placerade spelade väl så stor roll.

Pepin m.fl. (1999) undersökte temperaturens höjdberoende i en dalgång i de Penninska bergen i norra England. De hade tillgång till stationer längs en sluttning vinkelrätt mot dalgången och med ett höj dintervall om 700 m. Förutom temperatur mätte stationerna också ett flertal andra meteorologiska variabler flera gånger per dygn, vilket innebar att temperaturen kunde relateras till den aktuella vädersituationen. Statistiska samband togs fram dels för dag och natt och dels för olika årstider. Resultaten var inte helt entydiga, men några slutsatser ansåg man sig kunna dra:

- Temperaturavtagandet med höjden minskade med ökande temperatur (observera att vintermånaderna var betydligt varmare än i svenska fjällen och inversioner mindre vanliga vintertid).
- Temperaturavtagandet ökade med ökande vindhastighet nattetid, medan det inte sågs något samband för dagtid.
- Högre instrålning ledde till större temperaturavtagande.
- Högre luftfuktighet och molnighet minskade temperaturavtagandet.

För ett fåtal avrinningsområden i Sverige och för simuleringar med HBV-modellen beräknade Johansson m. fl. (1998) ett dagligt temperaturavtagande från två näraliggande stationer med stor höjdskillnad. Temperaturavtagandet beräknat på detta sätt varierade kraftigt i tiden, men bedömdes bero alltför mycket på lokala förhållandena och inte vara representativt för områdena som helhet. Användningen av ett variabelt höjdberoende ledde i de fallen inte till någon förbättring av resultaten i HBV-modellen.

I ett nordiskt samarbetsprojekt har Tveito m.fl. (2000) interpolerat fram temperaturkartor för Skandinavien. För att ta hänsyn till topografins inflytande togs regressionssamband fram mellan månadsmedeltemperaturer och olika geografiska variabler. Förutom aktuell stationshöjd utnyttjades ytterligare två variabler som beskrev stationernas läge i terrängen. Det var medelhöjden inom en 20 km radie runt stationen, samt den lägsta höjden inom samma område. Dessa två variabler fick inflytande i regressionssambanden för vintermånaderna, medan aktuell stationshöjd dominerade under övriga året.

I en finsk utvärdering av interpolationsmetoder för temperatur fann Taskinen m.fl. (2002) att även närheten till många eller stora sjöar påverkade temperaturen. Stor andel sjö medförde lägre temperaturer under våren och högre under hösten.

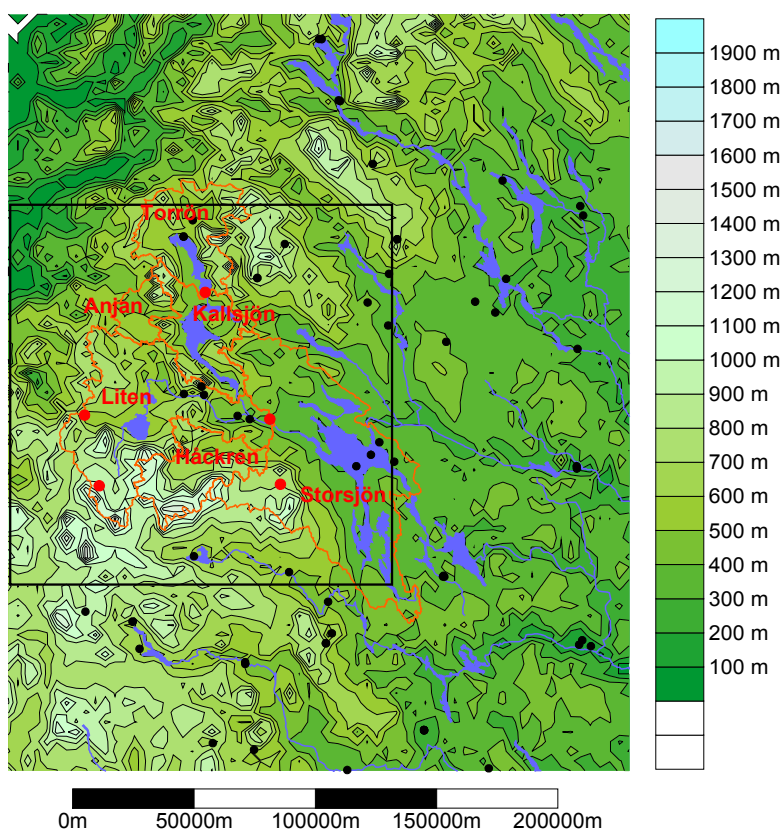
Den studie som redovisas på de följande sidorna har fokuserat på höjd över havet och dess inflytande på temperaturen. Andra topografiska effekter som de som beskrivs av Lindkvist m.fl. (1997) och Tveito m.fl. (2000) har endast undersökts flyktigt. Inte heller har hänsyn tagits till vegetation eller närheten till vatten.

2 Data

Studien har omfattat de övre delarna av Indalsälvens avrinningsområde samt kringliggande stationer (figur 1). Höjden inom avrinningsområdet varierar mellan ca 300 m och 1400 m.

Dagliga observationer från ett 40-tal temperaturstationer användes för den statistiska analysen, och beräkningar gjordes för hela eller delar av perioden 1981-2001. Stationernas medeltemperatur för den kallaste månaden (januari) är ca -9°C och för den varmaste (juli) knappt 14°C . Deras medelhöjd är 450 m, med den högsta (Åreskutan) på 1280 m och den lägsta på 110 m.

Beräkningarna med den meteorologiska modellen gjordes för år 2000, och för ett något mer begränsat område än den statistiska analysen. Verifiering gjordes mot de 5 stationer inom beräkningsområdet som var i drift 2000.



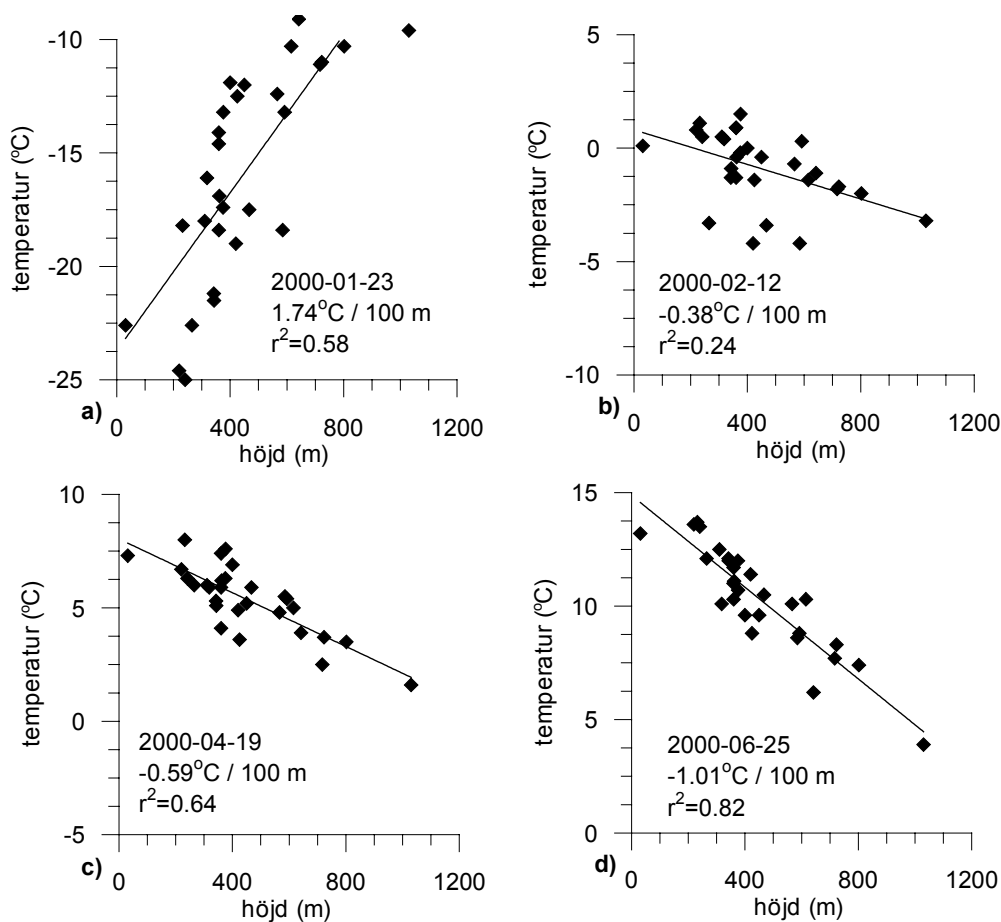
Figur 1. Område som använts för studien. Beräkningsområdet för den meteorologiska modellen är avgränsat av svarta linjer. Punkterna anger läge för temperaturstationer, de röda utnyttjades också för att verifiera den meteorologiska modellen. Gränser för avrinningsområdena för HBV-simuleringar är markerade med rött.

3 Statistisk analys

3.1 Temperaturavtagande från observationer

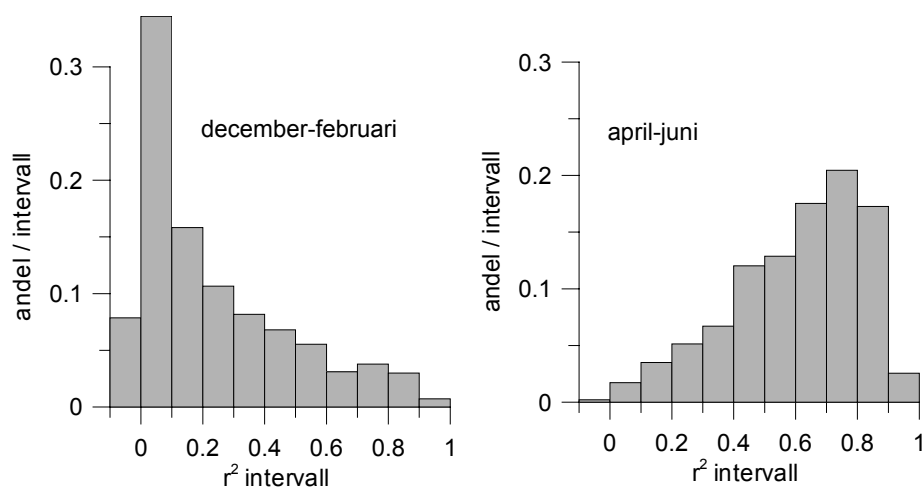
3.1.1 Regressionssamband

Ett dagligt samband mellan temperatur och höjd beräknades genom en enkel regressionsanalys. Vi valde att använda stationer från ett relativt stort område för att få representativa värden. Utgångspunkten var att höjden över havet har större betydelse för temperatursvariationer än avståndet mellan stationerna, och med för få stationer i analysen kunde enstaka avvikande observationer få alltför stort genomslag.



Figur 2. Exempel på samband mellan stationers temperatur och höjd över havet för enstaka dygn.

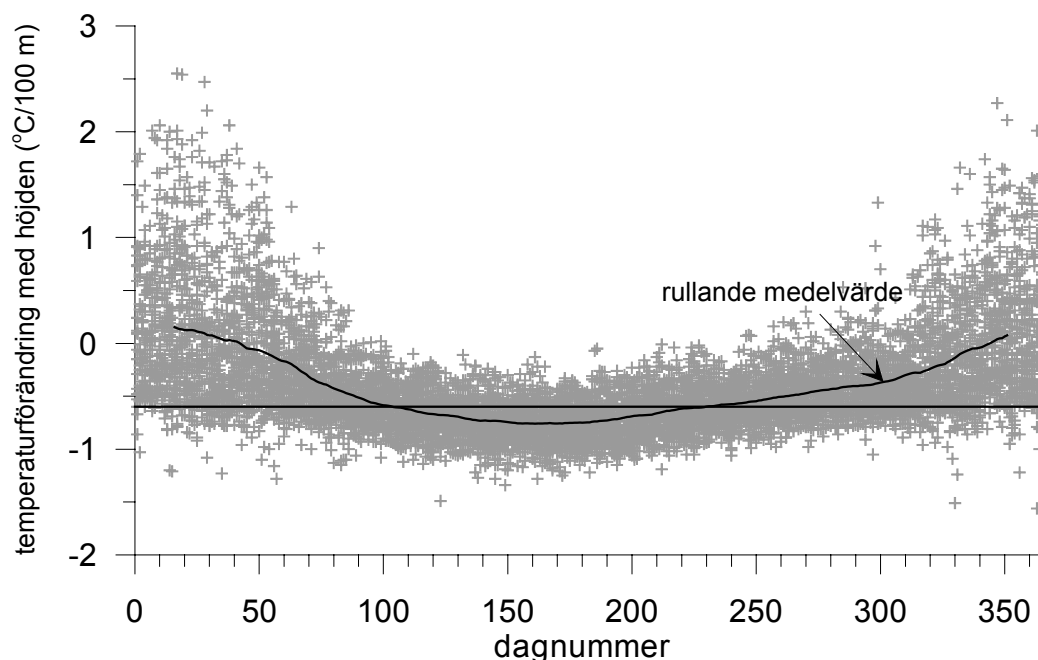
Figur 2 visar exempel på hur relationen mellan höjd och temperatur kan se ut, med inversion vintertid eller ett svagt temperaturavtagande som gradvis ökar under våren. Den mycket tydliga inversionen i figur 2a är dock inte typisk för vad man ser i observationerna. Det är vanligt med en stor spridning i dygnsdata under vintern, utan något tydligt höjdberoende. Årstiderna skiljer sig markant om man ser till hur stor andel av de rumsliga variationerna i dygnstemperaturen som förklaras enbart av höjd över havet. Som framgår av histogrammen i figur 3 ligger den förklarade variansen (r^2) oftast nära 0 vintertid medan den i allmänhet är större än 0.6 under våren och försommaren.



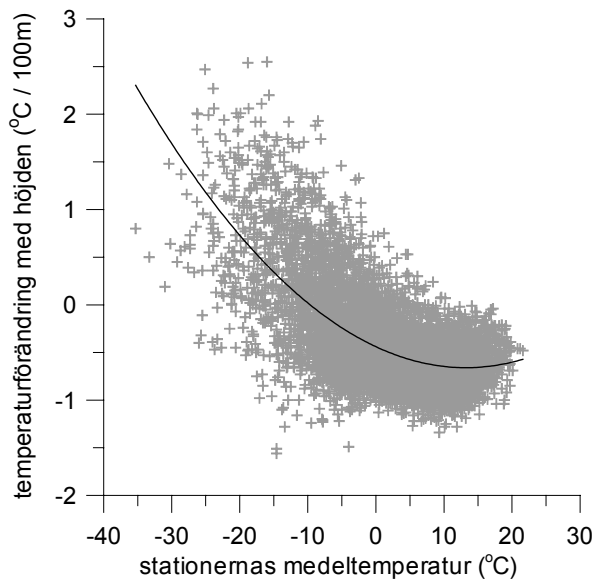
Figur 3. Histogram som visar fördelning av r^2 -värden (förklarad varians) vid bestämning av samband mellan stationers temperatur och höjd under vinter respektive vår/sommar (dygnsdata 1981-2001, se också figur 2 ovan). Det första intervallet avser enbart $r^2 = 0$.

3.1.2 Säsongsvariationer

Det är stora variationer mellan olika dygn i temperaturens höjdberoende och osäkerheter i dess bestämning, men om alla värden plottas mot dag på året syns ändå ett klart säsongsberoende (figur 4). Det kan bl.a. förklaras av förekomsten av inversion vintertid och skillnader i instrålning under året.



Figur 4. Temperaturförändring med höjden ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) beräknad från stationsdata och plottad mot dag på året. Negativa värden indikerar att temperaturen avtar med höjden. Data från 1981-2001.

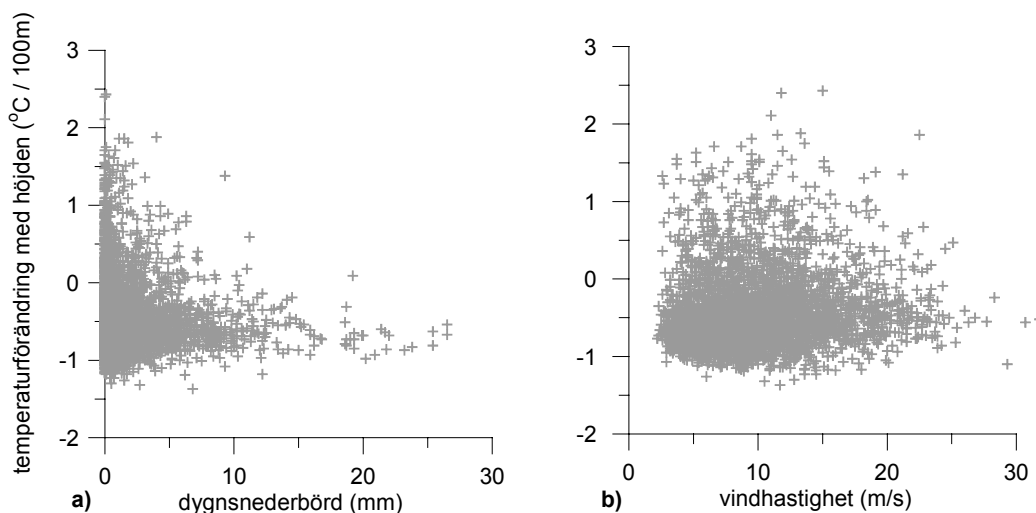


*Figur 5.
Temperaturförändring med höjden (°C/100 m) beräknad från stationsdata och plottad mot stationernas medeltemperatur. Negativa värden indikerar att temperaturen avtar med höjden. Data från 1981-2001.*

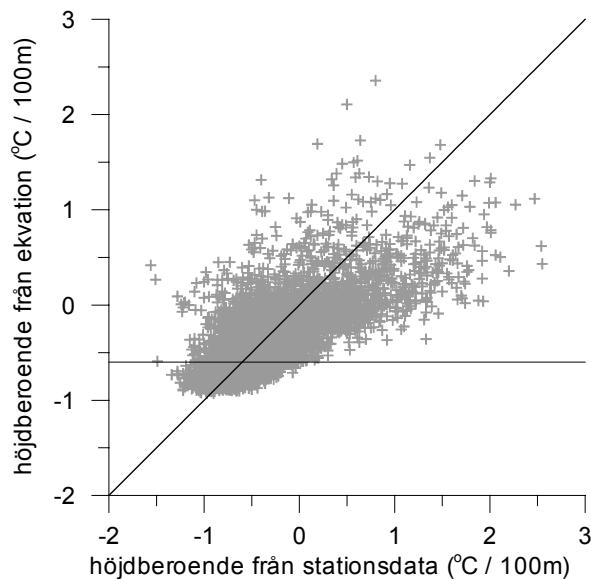
3.1.3 Aktuell vädersituation

Tidigare studier har visat att temperaturens avtagande med höjden varierar med den aktuella vädersituationen. I figur 5 syns en tydlig koppling mellan områdets dygnsmedeltemperatur och höjdberoendet. Ju lägre temperatur, desto långsammare avtar temperaturen med höjden, och vid temperaturer under -10°C är det ofta inversion. Det går möjligen att ana ett maximum i temperaturavtagandet runt $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$, men detta är osäkert med tanke på den stora spridningen i data.

Variationerna i höjdberoendet jämfördes också med nederbörds mängder (som en indikation på luftfuktighet) och storskalig (geostrofisk) vindhastighet (figur 6). Sannolikheten för inversion tycks minska med ökande nederbörds mängder, men i övrigt syns inga samband.



Figur 6. Temperaturförändring med höjden (°C/100 m) beräknad från stationsdata och plottad mot dygnsnederbörd (a) respektive geostrofisk vindhastighet (b). Negativa värden indikerar att temperaturen avtar med höjden. Data från 1981-2001.



Figur 7.
Höjdberoende enligt ekvation 1 plottat mot
höjdberoende beräknat ur stationsdata.
Avser dygnsvärden för 1981-2001.

3.2 Skattning av höjdberoende

Analysen av observerade data pekade på en årstidsvariationen i temperaturens höjdberoende, samt en koppling till aktuell temperatur. Utgående från detta antagande togs en ekvation fram för att beskriva höjdberoendet:

$$tcalt = -0.93 + 0.0046 \cdot (dagnr - 182) - 0.011 \cdot tmed + 0.0017 \cdot tmed^2 \quad (1)$$

$tcalt$ = temperaturens förändring med höjd över havet ($^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$)

$dagnr$ = dagnummer på året (1-366)

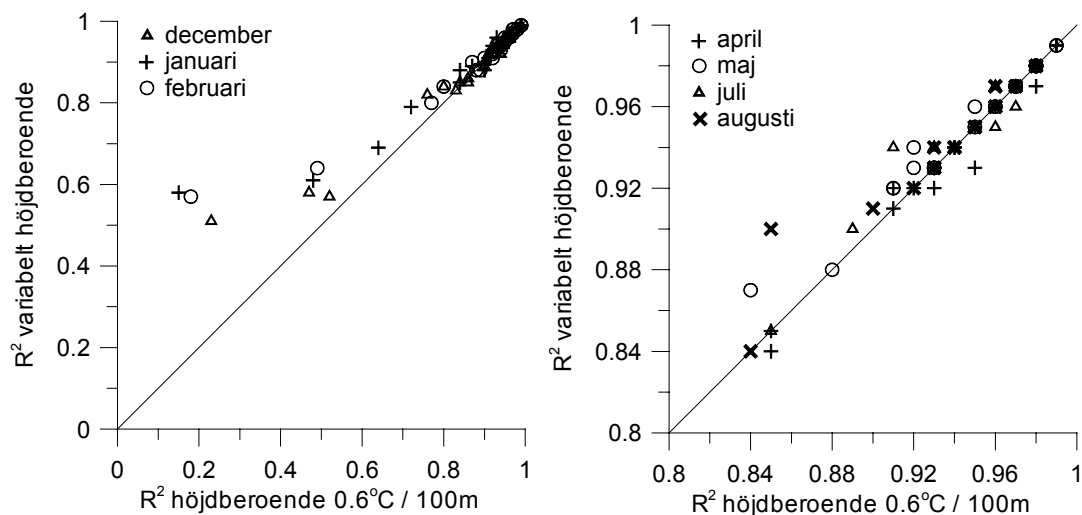
$tmed$ = stationernas medeltemperatur för aktuell dag ($^{\circ}\text{C}$)

Ekvationen förklarar 52% av variansen i data, och speglar det intervall som höjdberoendet varierar inom. Den förbättrar avsevärd beskrivningen av höjdberoendet jämfört med att anta ett konstant temperaturavtagande med höjden, men för de enskilda dygnen finns det en stor variabilitet som inte beskrivs av detta enkla samband (figur 7).

3.3 Interpolation av temperatur

3.3.1 Korsvalidering

Effekten av att använda ett höjdberoende enligt ekvation (1) vid interpolation av temperatur utvärderades i ett första steg genom korsvalidering. Temperaturen vid de meteorologiska stationerna skattades utifrån omkringliggande stationer och jämfördes med den observerade. Som interpolationsmetod användes optimal interpolation (Johansson, 2000) och skattningen gjordes både med ett variabelt höjdberoende och med ett konstant temperaturavtagande med höjden ($0.6^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$). R^2 -värdet enligt Nash och Sutcliffe (1970) föredrogs som kriterium framför den traditionella korrelationskoefficienten eftersom det även ger en indikation på hur väl det skattade och observerade medelvärdet stämmer överens. Utvärderingen visade att ett höjdberoende enligt ekvation (1) ledde till bättre skattningar av temperaturen med avseende på R^2 -värdet, främst under vintern och för högt liggande stationer (figur 8 och tabell 1). Under våren var skillnaderna mellan ett variabelt och konstant höjdberoende små, vilket kan förklaras av att temperaturavtagandet med höjden då i snitt låg nära $0.6^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$ (se figur 4). För de



Figur 8. Jämförelse av kriterier (R^2 enligt Nash och Sutcliffe, 1970) vid korsvalidering med 25 stationer. Dygnstemperaturen skattad från kringliggande stationer med konstant höjdberoende (x-axeln) och höjdberoende enligt ekvation 1 (y-axeln). Kriteriet beräknat för perioden 1985-1994.

två högst liggande stationer, Åreskutan och Sylarna, finns en tendens till att överskatta temperaturen under vintern med ett variabelt höjdberoende (tabell 1). Det kan hänga samman med att inversionsskiktet inte alltid sträcker sig upp över 1000 m, utan att temperaturen på de nivåerna åter avtar med höjden. Dock är stationerna på riktigt hög höjd för få för att den övre nivån för inversionsskiktet skall kunna bestämmas.

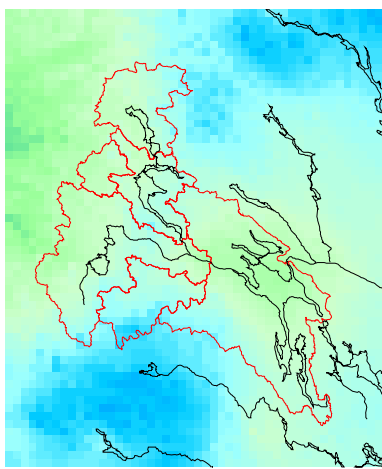
	Sylarna				Åreskutan			
	R^2		beräknad-observerad		R^2		beräknad-observerad	
	ekv 1	-0.6 °C/100m	ekv 1	-0.6 °C/100m	ekv 1	-0.6 °C/100m	ekv 1	-0.6 °C/100m
jan	0.61	0.48	0.87	0.08	0.58	0.15	1.49	-1.89
feb	0.64	0.49	0.67	0.04	0.57	0.18	1.47	-0.85
mars	0.82	0.75	0.09	-0.29	0.65	0.54	0.82	-0.29
april	0.91	0.91	0.37	0.29	0.84	0.85	0.35	0.07
maj	0.94	0.92	0.35	0.65	0.87	0.84	0.30	0.58
juni	0.96	0.92	0.36	0.88	0.95	0.91	0.07	0.63
juli	0.97	0.96	-0.02	0.29	0.94	0.91	0.13	0.47
aug	0.94	0.93	-0.01	-0.02	0.90	0.85	0.57	0.78
sep	0.90	0.90	0.39	0.30	0.81	0.82	0.37	0.21
okt	0.85	0.82	-0.32	-0.58	0.71	0.70	0.52	-0.28
nov	0.58	0.37	-0.54	-1.69	0.53	0.40	1.00	-0.69
dec	0.58	0.47	0.57	-0.18	0.51	0.23	1.49	-1.34
år	0.92	0.89	0.23	-0.04	0.91	0.85	0.73	-0.26

Tabell 1. Jämförelse av kriterier för två högt liggande stationer vid korsvalidering. R^2 enligt Nash och Sutcliffe (1970) samt den systematiska avvikelserna beräknad – observerad medeltemperatur. Dygnstemperaturen skattad från kringliggande stationer med konstant höjdberoende och höjdberoende enligt ekvation 1. Kriterierna beräknade för perioden 1985-1994.

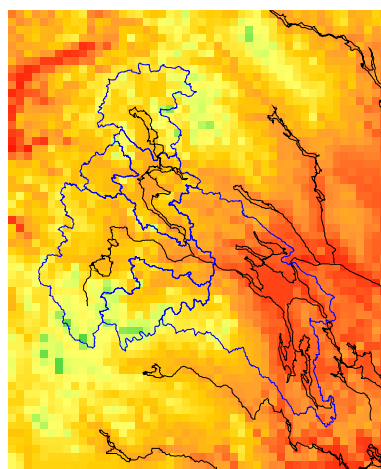
3.3.2 Temperatur för avrinningsområden

Temperaturen för avrinningsområden beräknades i två steg. Först interpolerades till ett rutnät om $4 \times 4 \text{ km}^2$, och därefter medelvärdesbildades rutnätsvärdena över avrinningsområdet. Vid körningar med HBV-modellen gjordes åter en uppdelning av områdets temperatur till olika höjdzoner.

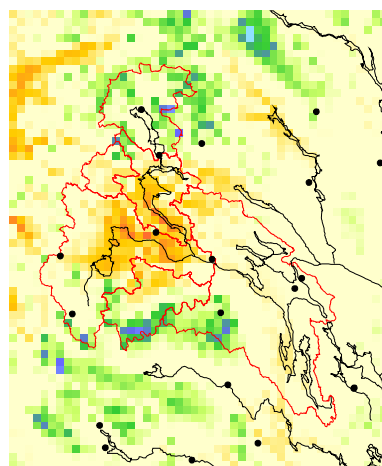
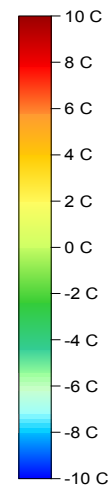
Figur 9a och b visar kartor över beräknad medeltemperatur för februari och maj med ett höjdberoende enligt ekvation (1). Figur 9c och d visar avvikelserna från temperaturen beräknade med ett konstant höjdberoende. För februari ser vi tydliga skillnader, med lägre temperatur på höjderna och högre i dalgångarna för ett konstant höjdberoende. I maj är skillnaderna avsevärt mindre, med endast något högre temperatur på höjderna i fallet med ett konstant höjdberoende.



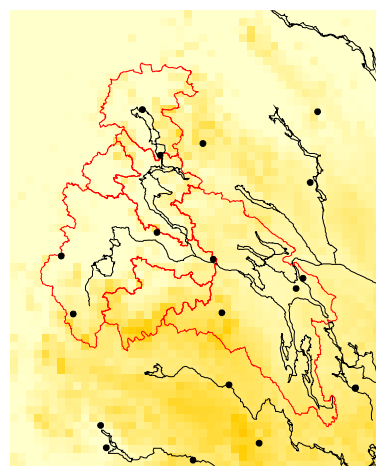
a) Beräknad medeltemperatur februari 1996-2000, med höjdberoende enligt ekvation 1.



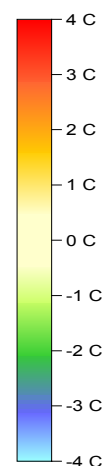
b) Beräknad medeltemperatur maj 1996-2000, med höjdberoende enligt ekvation 1.



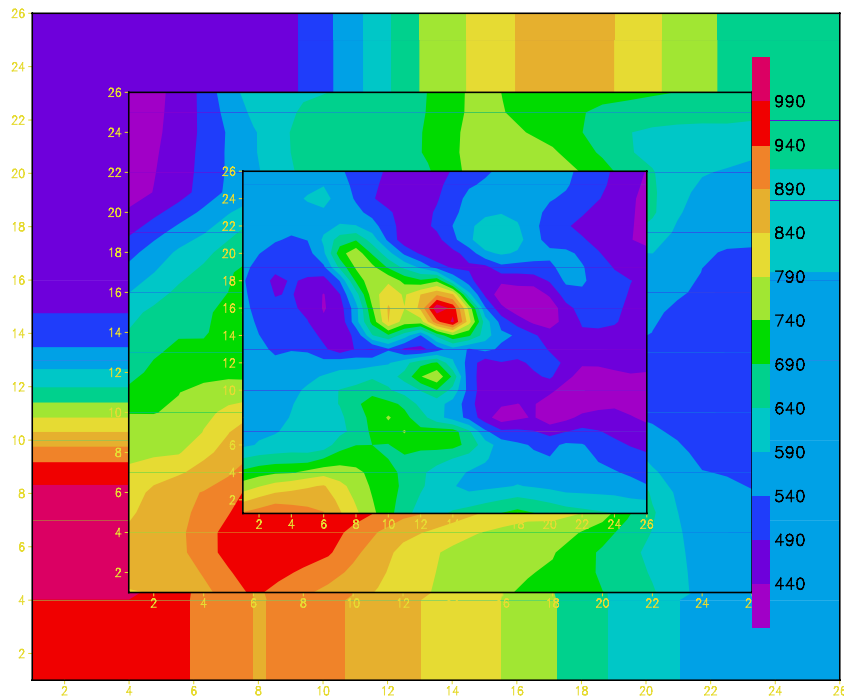
c) Skillnader i beräknad medeltemperatur februari 1996-2000. Med konstant höjdberoende – höjdberoende enligt ekvation 1.



d) Skillnader i beräknad medeltemperatur maj 1996-2000. Med konstant höjdberoende – höjdberoende enligt ekvation 1.



Figur 9. Beräknad medeltemperatur för februari och maj i det undersökta området. Punkterna visar tillgänglig temperaturstationer för den aktuella perioden



Figur 10. De tre successivt kopplade områdena för simuleringar med den meteorologiska modellen. Med höjdnivåer. Se också figur 1, där område två är markerat. Observera att projektionen är något annorlunda än för tidigare kartor.

4 Simuleringar med meteorologisk modell

4.1 Modellbeskrivning

Meteorologiska prognosmodeller, som exempelvis HIRLAM, har vanligen en upplösning på 20 - 40 km, men för att beskriva de lokala förhållandena i fjällterräng behövs modeller med en upplösning på några få kilometer. En sådan modell är TAPM (Hurley, 1999) som utvecklats av Australian CSIRO Atmospheric Research Division. I det här fallet har den inte använts som en prognosmodell utan för en form av återanalys, där randvillkoren varit data från en global meteorologisk analys med mycket grov upplösning ($0.75 \times 0.75^\circ$, CSIRO global synoptic analysis LASP). TAPM har sedan körts i tre steg med allt finare upplösning. Den har körts för ett helt år, vilket gjort en statistisk analys av resultaten möjlig.

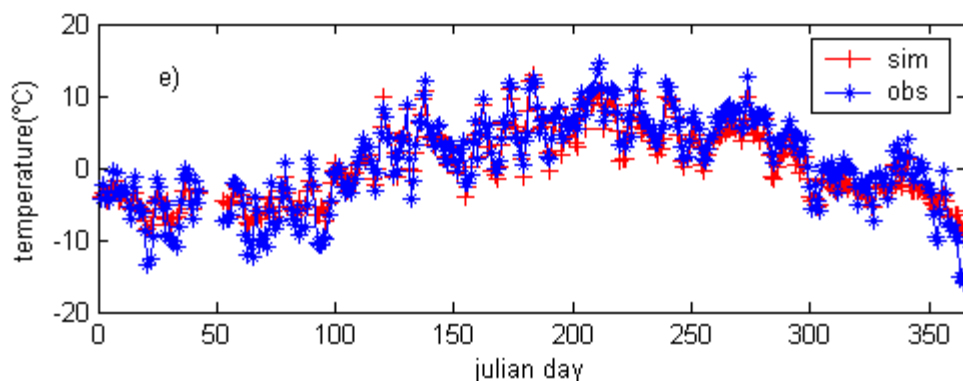
TAPM är en icke-hydrostatisk tredimensionell modell, som bl.a. innehåller separata ekvationer för moln- och regnvatten. Parametriseringarna innefattar molnfysikaliska processer, och turbulensen beskrivs av turbulent kinetisk energi och dissipation. Marktemperaturen beräknas med hjälp av en energibudget-ekvation och beror även av vegetation och markegenskaper. Strålningen påverkar både markytan och atmosfären. TAPM har utvärderats på svenska västkusten. Resultaten visade att modellen fungerar bra för svenska förhållanden (Chen et al., 2002).

4.2 Metod

För att simulera de lokala meteorologiska förhållandens kördes TAPM i tre successivt kopplade steg som hade en rumslig upplösning om 18, 6 respektive 2 km. Modellen kördes med 26×26 gridrutor i horisontell led (fig. 10) och 30 nivåer i vertikal led ((10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2250, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 6000, 7000, och 8000 meter). Områdets mittpunkt

	Höglekaredalen	Mörsil	Överäng	Storlien- Visjövalen	Sylarna
r	0.91	0.93	0.93	0.94	0.96
RMSE (°C)	3.8	3.0	2.8	2.6	2.1
Bias (°C)	-1.4	0.2	-0.2	0.3	-0.5

Tabell 2. Kriterier för verifiering av modellsimulerad dygnstemperatur vid 5 temperaturstationer.



Figur 11. Modellsimulerad och observerad temperatur för Sylarna, 2000-01-01 – 2000-12-31.

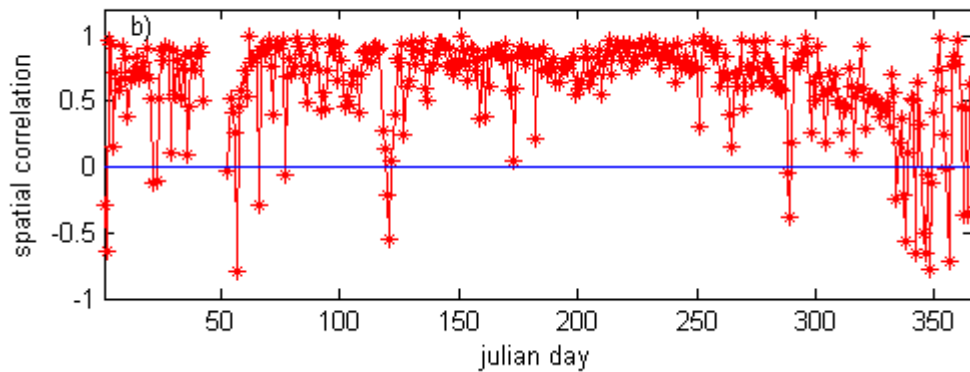
är 63°24'N och 13°4.5'O. TAPM kördes för år 2000. Utdata från modellen är i timsteg som integrerades till dygns- och månadsvärden för vidare analys och jämförelser med observationer. Modellerade 2 m-temperaturer verifierades mot 5 temperaturstationer (fig. 1). Konventionella statistiska kriterier användes för verifieringen: den linjära korrelationskoefficienten (r), det systematiska felet samt roten ur medelkvadratfelet (RMSE). Som en ytterligare kontroll av modellens prestanda jämfördes också den simulerade nederbörden med observerad nederbörd vid en station i den centrala delen av området.

4.3 Verifiering av meteorologisk modell

4.3.1 Verifiering mot observerad temperatur

Verifiering av temperatur gjordes för modellkörningen med 6 km horisontell upplösning. I tabell 2 ges kriterierna för de fem verifieringsstationerna. Figur 11 ger exempel på dagliga modellerade och observerade värden från stationen Sylarna. De systematiska felen är små, medan roten ur medelkvadratfelet är relativt stort. För enstaka dagar kan felet i simulerad temperatur vara betydande. Det gäller speciellt under kalla perioder med kraftig lokal inversion. I sådana situationer representerar observationerna endast ett mycket litet område runt själva stationen, medan det simulerade värdet avser ett medelvärde för en gridruta om 6x6 km².

Genom att betrakta alla de fem verifieringsstationerna samtidigt, kan man visa hur väl modellen speglar de rumsliga variationerna. En rumslig korrelationskoefficient beskriver då hur väl det modellerade temperaturfältet stämmer med det verkliga. Figur 12 visar dagliga rumsliga korrelationskoefficienter. Under vår och sommar är korrelationen hög, medan vintermånaderna har en stor frekvens av låga korrelationer. Det tyder på att modellen prestanda är sämre under kalla perioder.

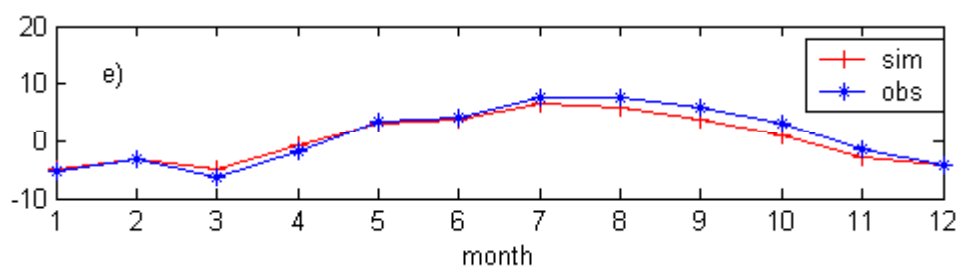


Figur 12. Rumslig korrelation för de 5 verifieringsstationerna. Dagliga värden.

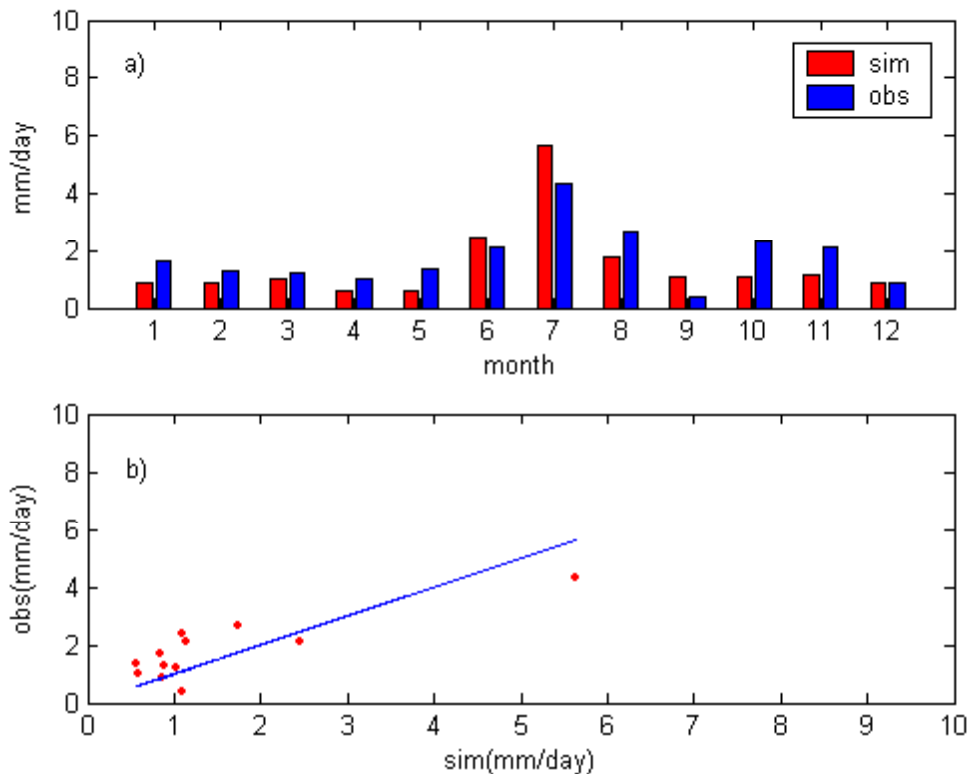
Modellen verifierades även mot månadsvärden (tabell 3 och figur 13), vilket underströk att de systematiska felen är små och att modellen ger en acceptabel beskrivning av temperaturvariationerna i området. Det är därför rimligt att anta att modellen kan användas för att beräkna ett regionalt värde för temperaturens höjdberoende.

	Höglekaredalen	Mörsil	Överäng	Storlien- Visjövalen	Sylarna
r	0.98	0.99	0.98	0.99	0.99
RMSE (°C)	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
Bias (°C)	-1.4	0.2	-0.2	0.3	-0.5

Tabell 3. Kriterier för verifiering av modellsimulerad månadstemperatur vid 5 temperaturstationer.



Figur 13. Modellsimulerad och observerad månadstemperatur för Sylarna, 2000-01-01 – 2000-12-31.



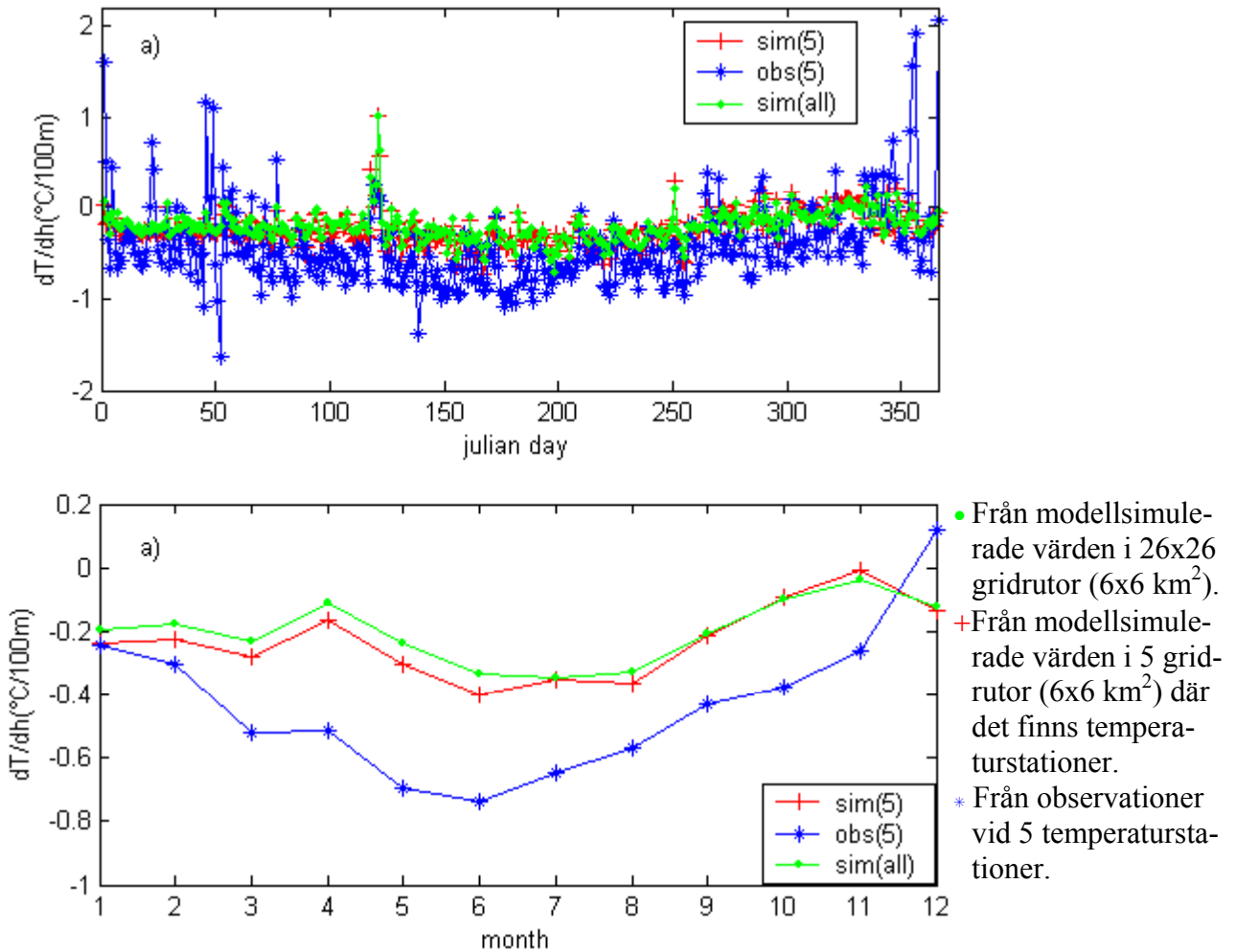
Figur 14. Jämförelse mellan simulerad och observerad månadsnederbörd vid stationen Järpströmmen.

4.3.2 Verifiering mot observerad nederbörd

Simulerad nederbörd verifierades mot observationer vid stationen Järpströmmen som är belägen på 380 m höjd nästan mitt i modellområdet. Verifieringen gjordes för modellkörningen med den högsta horisontella upplösningen, 2 km. Resultaten för dygnsvärden visar att nederbörd är en svår variabel att beskriva jämfört med temperaturen. Korrelationskoefficienten (r) blev 0.57 och roten ur medelkvadratfelet (RMSE) 3.4 mm/dygn eller 190 %. Det systematiska felet var dock betydligt mindre, -0.3 mm/dygn (-15 %), och en jämförelse mot månadsvärden gav en mer positiv bild av modellens prestanda (fig. 14). Den säsongmässiga variationen beskrevs väl, korrelationskoefficienten ökade till 0.84 och RMSE minskade till 44 %.

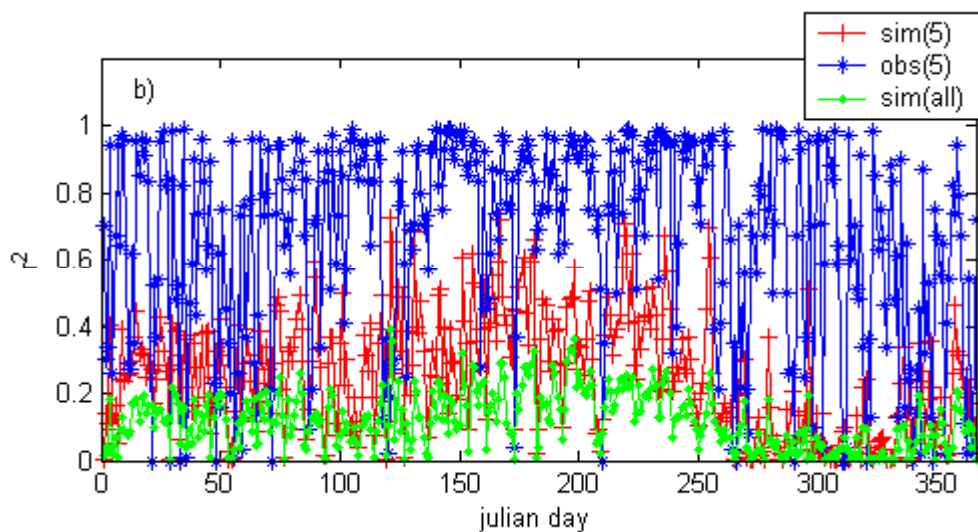
4.4 Temperaturens höjdberoende

Temperaturens förändring med höjden i den meteorologiska modellen beräknades på två olika sätt. Dels genom regression mellan höjd och temperatur för de fem gridrutor där temperaturstationerna är belägna, dels genom regression mellan höjd och temperatur för samtliga 26x26 gridrutor. Skillnaden i resultat mellan de två beräkningsansatserna blev relativt små, vilket gjorde det meningsfullt att jämföra de beräknade värdena mot ett höjdberoende bestämt utifrån observationer vid de fem stationerna (fig. 15). Man bör dock komma ihåg att modellens värden avser gridrutor om 6x6 km², medan observationerna utgör punktvärden. Detta är troligen en förklaring till att temperaturens höjdberoende varierar mindre mellan näraliggande dygn för modellberäknade data (fig. 15, det övre diagrammet). Det kan dock inte förklara att stationerna i snitt ger ett betydligt snabbare temperaturavtagande med höjden under större delen av året (fig. 15, det undre diagrammet). Korrelationen mellan höjd och temperatur är

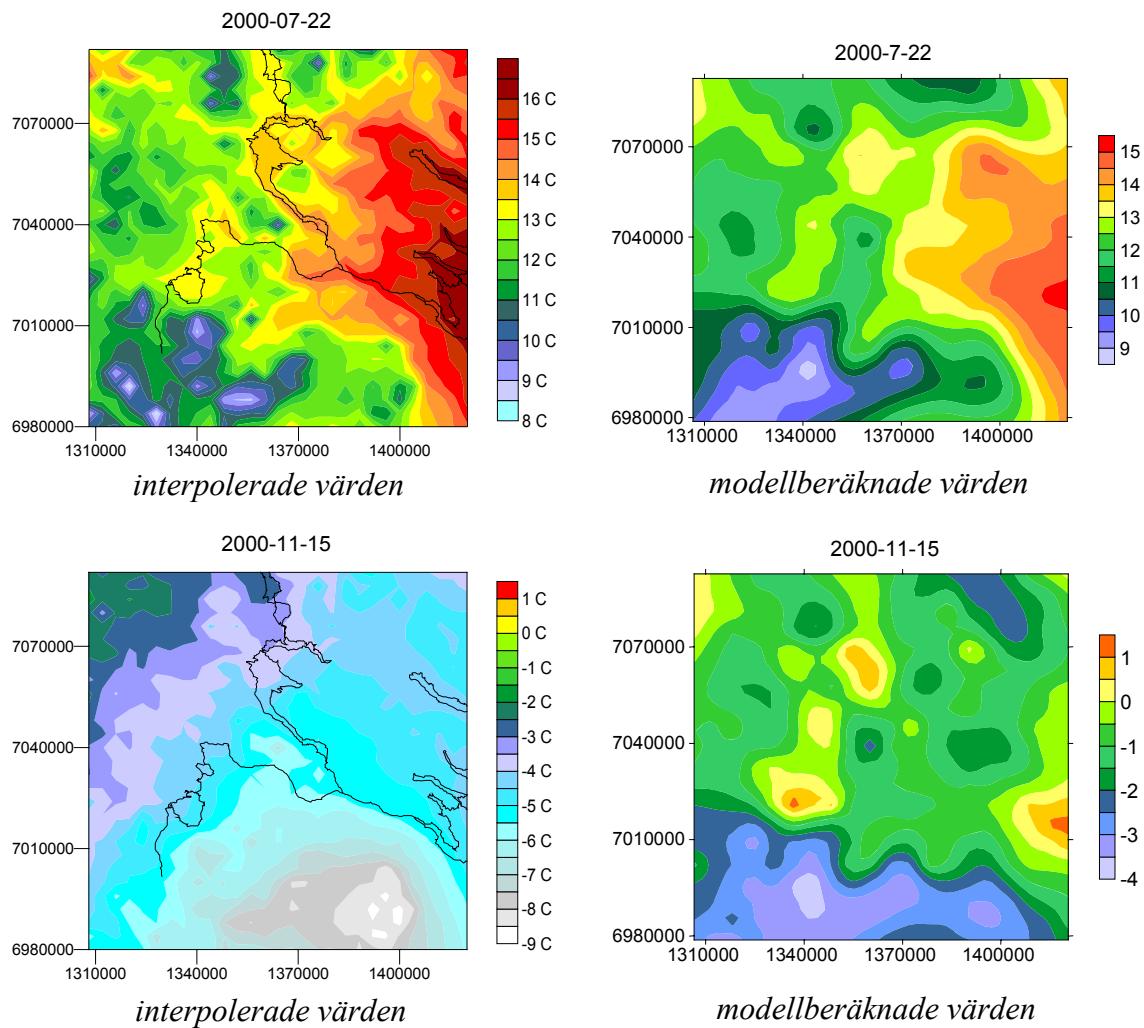


Figur 15. Skattat temperaturavtagande med höjden ur regressionssamband. Övre diagrammet visar dygnsvärden, det undre månadsvärden.

också betydligt högre för observerade data än för modelldata (fig. 16). I det här skedet är det svårt att avgöra om det beror på svagheter i modellen, eller på att modellen har med mer information från hög höjd än vad som finns i stationsdata.



Figur 16. Förklarad varians för dagliga samband mellan temperatur och höjd. För teckenförklaring - se figur 15.



Figur 17. Jämförelser mellan interpolerade stationsdata och modellsimulerad temperatur. Beräkningarna gjorda för 2000-07-22 respektive 2000-11-15.

Figur 17 visar jämförelser mellan interpolerade stationsdata och modellerad temperatur för en varm sommardag och en vinterdag med minusgrader och ett mycket svagt höjdberoende i stationsdata. För sommardagen är det grundläggande mönstret mycket lika, även om de interpolerade värdena generellt är något högre. Exemplet från vintern avviker dock. I de interpolerade värdena tycks det som om det inte bara är topografien som styr skillnaderna i temperatur, utan det finns också en öst-västlig gradient, med ett maritimt inflytande i väster och de lägsta temperaturerna i öster. Detta speglas inte i modellen. Troligen hänger det samman dels med randvillkoren som kommer från en analys med mycket grov upplösning och dels med att modellen bara körs över ett landområdet och inte "ser" havet.

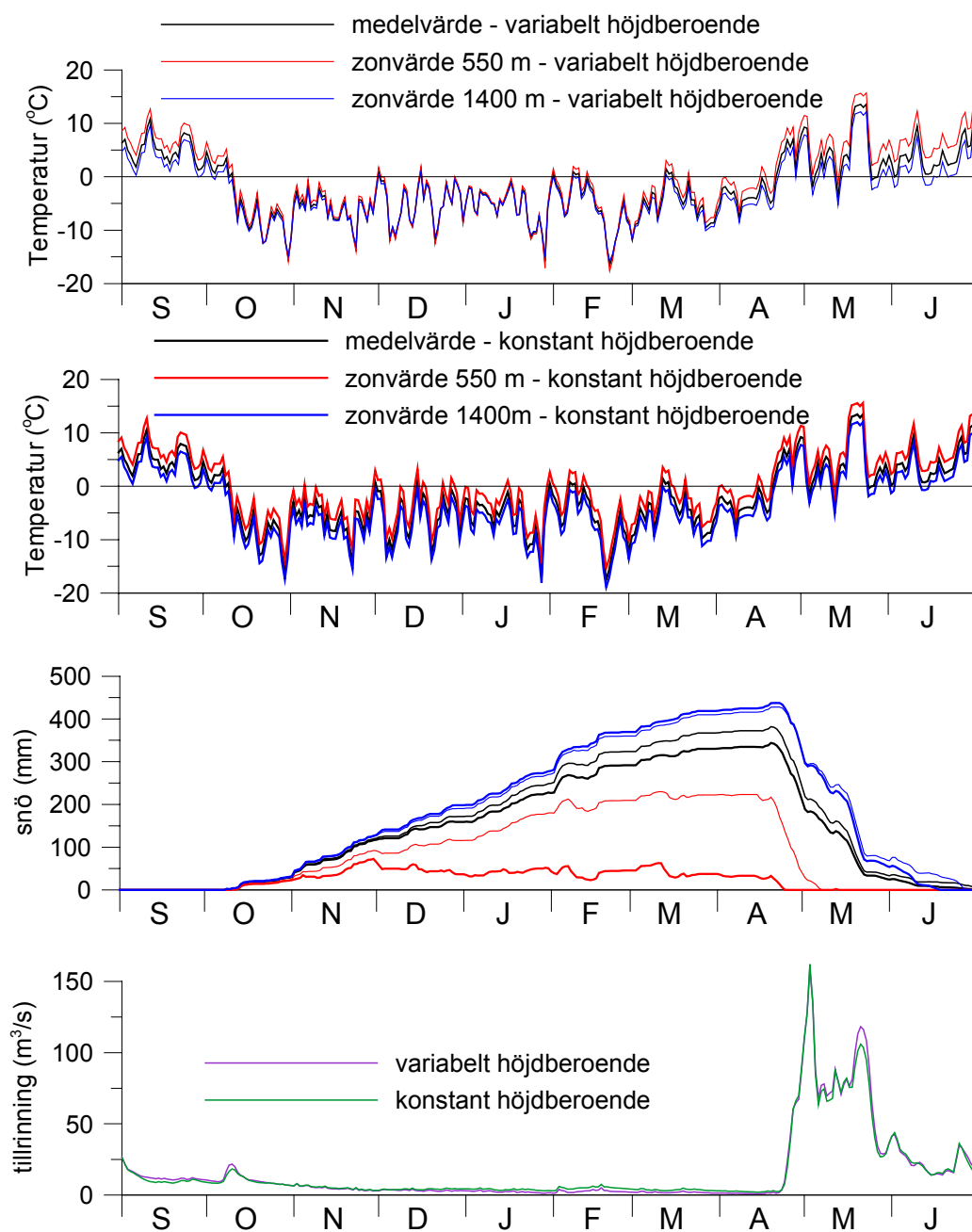
	R^2				Volymfel (%)	
	kalibrering		verifiering		verifiering	
	19820901-19900831		19900901-19990831		19900901-19990831	
	ekv 1	-0.6 °C/100 m	ekv 1	-0.6 °C/100 m	ekv 1	-0.6 °C/100 m
Torrön	0.83	0.83	0.75	0.76	-4.5	-4.3
Anjan	0.80	0.80	0.77	0.77	-2.6	-2.9
Kallsjön	0.73	0.69	0.62	0.64	0.7	0.8
Liten	0.90	0.88	0.86	0.86	-13.1	-15.4
Häckren	0.89	0.88	0.85	0.84	-6.5	-7.3
Medel	0.83	0.82	0.77	0.77	5.5*	6.1*

*Medel av absolutvärden

Tabell 4. Resultat av simuleringar med HBV-modellen med ett variabelt höjdberoende enligt ekvation 1, respektive ett konstant temperaturavtagande med höjden (-0.6°C/100 m). Kriterierna är R^2 -värden enligt Nash och Sutcliffe (1970) samt det relativa volymfelet.

5 Simulering av avrinning med HBV-modellen

Simuleringarna med HBV-modellen gav inga indikationer på att ett variabelt höjdberoende i temperaturen skulle leda till en ökad träffsäkerhet i simulerad avrinning (tabell 4). Skillnaderna i R^2 -värden och volymfel under åtta respektive nio års kalibrerings- och verifieringsperioder var försumbara. Temperaturfördelningen inom områden kan dock skilja sig, såsom exemplifieras för Ottsjön i figur 18. Tydligast syns det på vintern, då de olika höjdzonerna får mycket lika temperatur med höjdberoendet enligt ekvation 1. I juni ser man motsatsen, dvs. att skillnaderna mellan höjdzonerna är något mindre för ett konstant höjdberoende. Skillnaderna i temperatur påverkar även snöfördelningen, men tycks inte ha någon nämnvärd effekt på avrinningen. Det kan givetvis få betydelse vid utnyttjande av andra typer av indata än nederbörd och temperatur, exempelvis snöobservationer från georadar eller satellit. Det har vi dock inte haft möjlighet att undersöka i det här projektet.



Figur 18. Simulering med HBV-modellen i Ottsjön vintern 1992-1993. Simuleringarna är gjorda med ett variabelt höjdberoende enligt ekvation 1 respektive ett konstant temperaturavtagande om $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. För temperatur och snö visas simulerade värden för hela området samt simulerade värden för en höjdzon 550 m.ö.h. och en höjdzon 1400 m.ö.h.

6 Diskussion och slutsatser

En statistisk analys av stationsdata har visat att det i det undersökta området finns en årstidsvariation i temperaturs höjdberoende. Snabbast avtar temperaturen med höjden under försommaren, medan man i snitt har en svag ökning av temperaturen med höjden runt årskiftet. Studien visade också ett tydligt samband mellan ett områdes temperatur och höjdberoendet, vilket innebär att säsongsvariationen delvis förklaras av temperaturs årscykel, men troligen även av skillnader i instrålning. Under senvåren då en stor del av snösmältningen sker, ligger temperaturavtagandet i snitt mycket nära $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, det värde som oftast används i simuleringar med HBV-modellen. Några samband med andra meteorologiska variabler än temperaturen gick inte att finna. Ett enkelt försök gjordes att relatera temperaturen till andra topografiska variabler än höjden. Stationerna klassades efter läge i sänkor eller på höjder, men någon koppling till temperaturskillnader sågs inte och försöket har inte redovisats i rapporten. Trots att tidigare studier visat på samband mellan höjdberoende och ett flertal meteorologiska variabler och med stationernas läge, gick det alltså inte att påvisa några sådana samband i denna studie. Det kan hänga samman med att den statistiska analysen enbart byggde på dygnsvärdet. Eftersom luftfuktighet, strålning och vind varierar under dygnet är det sannolikt att kopplingen inte är lika tydlig för dygnsmedelvärden som för samtida observationer vid en viss tidpunkt.

För år 2000 simulerades också temperaturen i området med en högupplöst meteorologisk modell. De preliminära resultaten visade att detta är ett angreppssätt som kan användas för att i detalj beskriva temperaturs variationer i ett område med komplex topografi. Resultaten från den meteorologiska modellen användes även för att för varje dygn beräkna ett regionalt värde på temperaturs förändring med höjden. Detta värde kunde beräknas på ett betydligt större material än det värde som räknades fram ur stationsdata. Det visade en årstidsvariation med störst temperaturavtagande på sommaren, men generellt var höjdberoendet betydligt flackare än det som togs fram från stationsdata. För att förstå orsaken till detta krävs en vidare analys som inte rymts inom projektet.

Ur stationsdata togs ett enkelt samband för att beskriva temperaturs höjdberoende som en funktion av temperatur och tid på året. Sambandet användes sedan vid interpolation av temperatur och för simuleringar i HBV-modellen. En korsvalidering med stationsdata visade att ett variabelt höjdberoende gav en bättre skattning av temperaturen än ett konstant höjdavtagande om $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Förbättringen var störst under vintermånaderna och för högt belägna stationer. Dock fanns det en tendens till att överskatta temperaturen vid de högsta stationerna just under vintern, då dessa stationer åtminstone ibland ligger över inversionsskiktet. Det tyder på att temperaturavtagandet borde satts olika för olika nivåer, men enbart utifrån observationerna vid de meteorologiska stationerna går det inte att ansätta några sådana värden.

Trots att korsvalideringen visade bättre resultat med ett variabelt höjdberoende, blev det inga förbättringar av den simulerade avrinningen i HBV-modellen. Det kan förklaras av att temperaturavtagandet under vårfloden i snitt låg nära $0.6^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$, men kan också bero på att modellen inte är så känslig för hur snöackumulation och snösmältning fördelas inom ett avrinningsområde. Det viktigaste är troligen att det finns en variabilitet i området. Det stöds av att simuleringar med en enda höjdzon ofta ger lika goda resultat som simuleringar med flera höjd- och vegetationszoner (Göran Lindström, personlig kommunikation). Från den här studien kan också nämnas att en felprogrammering i HBV-modellen ledde till att höjdberoendet fick fel tecken i några simuleringar, men att detta inte ledde till någon försämring av noggrannheten i beräknad avrinning.

Beskrivningen av höjdberoendet påverkar snöns fördelning i modellen. Även om det inte direkt har effekt på den simulerade avrinningen så länge modellen kalibreras med en viss typ av

höjdberoende, så får det betydelse om man exempelvis vill uppdatera simulerat snömagasin från observationer.

Slutsatsen från studien är därför att det idag inte finns skäl att ändra beskrivningen av temperaturens höjdberoende i HBV-modellen. Däremot bör modellen hållas öppen för ett variabelt höjdberoende i framtiden då nya typer av indata och uppdatering av snömagasinet kan bli aktuellt. Det samband som tagits fram för höjdberoendet är lätt att applicera och ger en bättre skattning av temperaturen än ett konstant höjdberoende.

7 Slutord

Lin Tang har ansvarat för figurer från körningarna med TAPM. Ett tack också till Haldo Vedin som läste och gav oss synpunkter på manuskriptet.

8 Referenser

Barry, R.G. (1992) *Mountain Weather and Climate*. 2nd edition. Routledge. ISBN 0-415-07113-5.

Chen, D., T. Wang, M. Eugensson, C. Achberger, K. Borne, 2002: Application of TAPM in Swedish west coast. Modeling results and their validation during 1999-2000, IVL (Swedish Environmental Research Institute) Report, pp 51

Hurley, P.J. (1999). The air pollution model (TAPM) version 1: User manual. Internal paper 12 of CSIRO Atmospheric Research Division, 22 p.

Johansson, B. (2000) Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains. An evaluation from a hydrological perspective. *Nordic Hydrology*. Vol. 31, s. 207-228.

Johansson, B., Edström, M., Losjö, K., Bergström, S. (1998) Analys och beräkning av snösmältningsförlopp. SMHI Hydrologi. Nr. 75.

Lindkvist, L., Gustavsson, T., Bogren, J. (2000) A frost assessment method for mountainous areas. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 102, s. 51-67.

Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., Bergström, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology*, Vol. 201, s. 272-288.

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

Pepin, N., Benham, D., Taylor, K. (1999) Modeling lapse rates in the maritime uplands of Northern England: Implications for Climate Change. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. Vol 31, s. 151-164.

SNA (1995) *Sveriges Nationalatlas: Klimat, sjöar och vattendrag*. Red: Raab, B. and Vedin, H., ISBN 91-7024-898-2.

Taskinen, A., Sirviö, H., Vehviläinen, B. (2002) Interpolation of daily temperature in Finland. *Nordisk Hydrologisk Konferens, Röros, Norge, 4-7:e augusti 2002*. NHP rapport nr. 47.

Tveito, O.E., Førland, E., Heino, R., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Dahlström, B., Drebs, A., Kern-Hansen, C., Jónsson, T., Vaarby Laursen, E., Westman, Y. (2000). *Nordic temperature maps*. DNMI Klima Report no. 09/00.

SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi)	1974
RH (Rapport Hydrologi)	1990
RO (Rapport Oceanografi)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

I serien HYDROLOGI har tidigare utgivits:

- | | |
|---|---|
| 1 Bengt Carlsson (1985)
Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena. | 9 Lennart Funkquist (1987)
Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar. |
| 2 Martin Häggström och Magnus Persson (1986)
Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser. | 10 Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet (1987)
Application of the HBV model to Bolivian basins. |
| 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. | 11 Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet (1987)
Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model. |
| 4 Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman (1986)
Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vattenplanering - Ett pilotprojekt. | 12 Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov (1987)
De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter. |
| 5 Martin Häggström (1986)
Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985. | 13 Göran Lindström (1987)
Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn. |
| 6 Barbro Johansson (1986)
Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt. | 14 Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström (1987)
Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd. |
| 7 Maja Brandt (1986)
Areella snöstudier. | 15 Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist (1987)
Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987. |
| 8 Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström (1987)
PULS-modellen: Struktur och tillämpningar. | 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)
Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till
Västerhavet.
- 44 Martin Häggström och Jörgen Sahlberg
(1993)
Analys av snösmältningsförlopp.
- 45 Magnus Persson (1993)
Utnyttjande av temperaturrensens persistens vid
beräkning av volymsprognoser med HBV-
modellen.
- 46 Göran Lindström, Joakim Harlin och
Judith Olofsson (1993)
Uppföljning av Flödeskommitténs
riktlinjer.
- 47 Bengt Carlsson (1993)
Alkalinitets- och pH-förändringar i Ume-älven
orsakade av minimitappning.
- 48 Håkan Sanner, Joakim Harlin and
Magnus Persson (1994)
Application of the HBV model to the Upper
Indus River for inflow forecasting to the
Tarbela dam.
- 49 Maja Brandt, Torbjörn Jutman och
Hans Alexandersson (1994)
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961 -
1990 av nederbörd, avdunstning och
avrinning.
- 50 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Avrinningsområden i Sverige. Del 3.
Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öre-
sund.
- 51 Martin Gotthardsson (1994)
Svenskt Vattenarkiv. Översvämningskänsliga
områden i Sverige.
- 52 Åsa Evremer (1994)
Avdunstningens höjdberoende i svenska
fjällområden bestämd ur vattenbalans och med
modellering.
- 53 Magnus Edström och Pia Rystam (1994)
FFO - Stationsnät för fältforsknings-
områden 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 Söder-
köpingsåns 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 Koucheiki (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 Develop-ment
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?



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