

# Brandriskprognoser med hjälp av en skiktad markfuktighetsmodell

- vidareutveckling av HBV-modellen

Marie Gardelin  
SMHI

Räddningsverkets kontaktperson:  
Leif Sandahl, Enheten för skadebegränsande verksamhet,  
Telefon 054 - 13 53 12



# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Bakgrund</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Målsättning</b> .....	<b>10</b>
<b>3. Metod</b> .....	<b>11</b>
3.1 HBV-modellen för brandriskbedömning .....	11
3.2 Skiktad markfuktighetsmodell .....	12
<b>4. Databas</b> .....	<b>16</b>
<b>5. Resultat</b> .....	<b>19</b>
<b>6. Slutsatser och diskussion</b> .....	<b>25</b>
<b>7. Slutord</b> .....	<b>25</b>
<b>8. Referenser</b> .....	<b>26</b>



# Forecasting of Forest Fire Danger Using a Layered Soil Moisture Model

– Development of the HBV Model

## Abstract

The hydrological HBV model presently used for forest fire danger forecasts at the Swedish Meteorological and Hydrological Institute has in this study been further developed to take into account moisture content in deep soil layers. The proposed layered soil moisture model gives a more profound description of the seasonal variation of water availability. It also includes a correction of the fire danger values during days when precipitation occurs. The layered model gives more realistic fire danger values during springtime than does the present model. It also can respond to small precipitation events during dry periods. Calculated fire danger values were put in relation to forest fire records from the south east of Sweden for the period 1989-98. The output of the layered model shows more resemblance to the seasonal variation of forest fire occurrence and a slightly higher correlation both to the number of fire occasions and to the area burnt. Further tests with the layered model will include nation-wide simulations using high-resolution analysed meteorological input. These simulations will probably lead to modifications of for example model parameters and present limits for the fire danger indexes.



# Sammanfattning

I denna studie har vidareutveckling skett av den HBV-modell för brandriskbedömning som för närvarande används som underlag vid utfärdandet av SMHIs brandriskprognoser. Nuvarande modell bygger på fuktighetsberäkningar i ett tunt ytligt markskikt. Den modifierade markfuktighetsmodell som utvecklats innebär att hänsyn även tas till hur vatteninnehållet i djupare markskikt förändras under brandrisksäsongen. Genom att utnyttja en sammanvägning av fuktighetsvärden i flera markskikt kan växtlighetens vattentillgång och vatteninnehåll beskrivas på ett mer nyanserat sätt än i nuvarande modell. En korrektion av brandriskvärdet har också införts under de dagar då det faller regn.

Den skiktade markfuktighetsmodellen innebär att mer realistiska brandriskvärden erhålls under våren och att även små nederbörds mängder under torrperioder tillfälligt kan påverka brandriskvärdet. Brandriskvärden beräknade med den skiktade modellen har jämförts med statistik över inträffade skogsbränder i Kalmar län och Jönköpings läns östra del under åren 1989-98. Resultaten tyder på en större samvariation med både antalet bränder och den nedbrunna arealen än för brandriskvärden beräknade med nuvarande modell. Något högre korrelationskoefficienter erhålls med den skiktade modellen och dess säsongsdynamik stämmer bättre överens med statistiken över när skogsbränder har uppstått. Brandfrekvensen i olika intervall av det skiktade fuktighetsvärdet visar också en tydligare ökning mot höga brandriskvärden än nuvarande modell.

För fortsatt utveckling av den föreslagna fuktighetsmodellen bör rikstäckande modellsimuleringar utföras med högupplösta analyserade indata. Eftersom variationsbredden för den skiktade modellen är mindre än för nuvarande modell måste nya nivåer för brandriskindexen fastställas. I samband med den rikstäckande tillämpningen kan även ingående parameter värden samt metoden för korrektion i samband med nederbörd komma att modifieras.

Nyckelord: skogsbrand, skogsbrandsvarning, brandriskmodell, brandriskprognos, HBV-modellen





# 1. Bakgrund

Sedan 1996 har markfuktighetsvärden som beräknats med hjälp av en hydrologisk avrinningsmodell, HBV-modellen (Bergström, 1992 och 1995), använts som ett komplement till andra brandriskmodeller vid produktionen av SMHIs brandriskprognoser. Från starten användes markfuktighetsmodellen som ett komplement till den tyska WBKZ-modellen och senare har även den kanadensiska FWI-modellen (Van Wagner, 1987; Gardelin, 1997) använts parallellt med markfuktighetsmodellen.

Utvecklingen av den nuvarande HBV-modellen för brandriskbedömning inleddes med ett försök där fuktigheten i hela markvattenzonen användes som ett mått på brandrisk (Gardelin och Lindström, 1994). Den maximala magasineringen i HBV-modellens markvattenzon är normalt cirka 200-250 mm. Jämförelser mot skogsbrandsstatistik visade att högre korrelation kunde uppnås om ett tunnare övre markskikt istället utnyttjades (Gardelin, 1996). Framförallt kunde bättre resultat uppnås under vår och försommar, eftersom låga fukthalter i den totala markvattenzonen annars först kan uppnås längre in på säsongen. Bästa korrelation med skogsbrandsstatistiken erhöles då ett övre markskikt, vilket magasinerar maximalt 20-25 mm vatten, utnyttjades.

Modellberäkningarna har tidigare baserats på observationer från 3-5 meteorologiska stationer inom varje av landets 34 brandriskområden. Sedan brandrisksäsongen 1998 har på försök även en ny typ av högupplösta brandriskvärden tagits fram (Gardelin m fl, 1998; Gardelin och Sjö, 1999). Genom att analyserade väderdata har utnyttjats, har brandriskbedömningar kunnat göras för över 1000 beräkningspunkter i landet och mer detaljerad brandriskinformation har därigenom erhållits. Från och med brandrisksäsongen 2001 planeras de högupplösta brandriskberäkningarna ersätta de tidigare stationsbaserade beräkningarna. Försöken med de högupplösta brandriskmodellerna har gett ökade möjligheter att detaljstudera hur brandriskvärdena varierar vid skiftande vädersituationer i olika delar av landet. Den mycket enkla modellstrukturen i markfuktighetsmodellen har visat sig ge en bra översiktlig bild av fuktigheten i det markskikt som har störst betydelse för den allmänna skogsbrandsfaran. I vissa situationer har dock brister i modellen uppmärksammats, vilka visat på behovet av en vidareutveckling av modellen.

Efter en period med torr väderlek är fuktigheten i den nuvarande HBV-modellens ytliga markskikt låg och därmed den modellberäknade brandrisken hög. Eftersom den maximala vattenlagringen i skiktet är mellan 20 och 25 millimeter, kan det krävas en tämligen stor nederbördsmängd för att åstadkomma en större sänkning av brandriskvärdet. En sänkning från mycket stor brandrisk (index 5) till liten brandrisk (index 2) kan kräva mellan 6 och 11 millimeters nederbörd, beroende på markfuktigheten och markskiktets tjocklek. För att åstadkomma en sänkning från mycket hög brandrisk till måttlig brandrisk (index 3) krävs i medeltal cirka 5-7

millimeters nederbörd. I verkligheten kan dock även några få millimeters nederbörd tillfälligt minska brandrisken betydligt.

Det brandriskvärde som beräknas med den nuvarande HBV-modellen, är endast beroende av markfuktigheten i det ytliga markskiktet och påverkas inte av vilken tidpunkt under brandrisksäsongen som beräkningen gäller för. Detta betyder att en viss markfuktighet ger ett och samma brandriskvärde både i t ex maj månad och i juli månad. Den nuvarande modellen tar alltså inte hänsyn till hur vatteninnehållet i djupare markskikt och därmed också växtlighetens vattentillgång och vatteninnehåll förändras under säsongen.

## 2. Målsättning

Projektets målsättning är att förbättra HBV-modellens beskrivning av skogsbrandsrisken genom att i modellen införa beräkning av fukthalter i flera olika markskikt. Genom en mer förfinad beskrivning av fuktighet på vegetation, i det ytligaste markskiktet och i djupare markskikt kan hänsyn tas till flera av de fuktighetskomponenter som har betydelse för brandrisken.

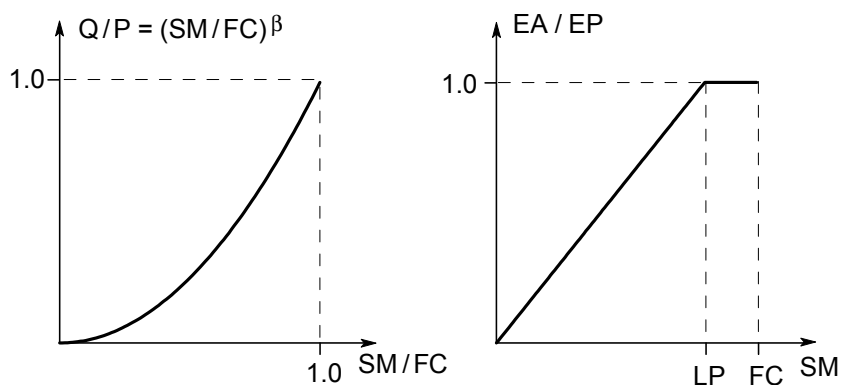
## 3. Metod

Modellsimuleringar har utförts med en vidareutvecklad markfuktighetsmodell som tar hänsyn till små nederbörds mängder och till fuktigheten i djupare markskikt. Brandriskvärden beräknade med den nya modellen, liksom värden beräknade med en referensmodell, har jämförts med daglig skogsbrandsstatistik från östra Småland. Som referensmodell har använts en simulering med endast ett övre markskikt och de modellparametrar som för närvarande används i de rikstäckande brandriskberäkningarna för detta område.

### 3.1 HBV-modellen för brandriskbedömning

HBV-modellen (Bergström, 1976, 1992 och 1995; Lindström m fl, 1996) är en hydrologisk avrinningsmodell som utvecklats vid SMHI. Modellen är grunden för den hydrologiska prognos- och varningstjänsten och har använts operationellt i över 20 år. Avrinningsmodellen beskriver översiktligt de viktigaste processerna i vattnets kretslopp och består av en snörutin, en markrutin och en responsdel.

Markvattenberäkningarna i modellen styrs av två enkla samband och tre modellparametrar FC, BETA och LP (se figur 1). Bidraget till avrinning från regn och snösmältning ökar med ökande markfuktighet. Aktuell avdunstning beror av den potentiella avdunstningen och av markfuktigheten. Fältkapaciteten, FC, är ett mått på markfuktighetens maximala variation (det växttillgängliga vattnet).



Figur 1. Sambandet i HBV-modellen mellan bidraget till avrinning,  $Q$ , från regn och snösmältning,  $P$ , vid olika markfuktighet,  $SM$ , (till vänster) och sambandet mellan verklig avdunstning,  $EA$ , och potentiell avdunstning,  $EP$ , beroende av markfuktigheten,  $SM$ , (till höger).

Som indata till modellen används dygnsvärden på nederbörd, temperatur och potentiell avdunstning. Den potentiella avdunstningen hämtas normalt ur månadsmedelvärden beräknade av Wallén (1966) eller Eriksson (1981) eller

beräknas utifrån lufttemperaturen enligt en metod (Lindström m fl 1996) liknande den som föreslagits av Thornthwaite (1948).

De parametrar som ingår i modellen bestäms vanligen genom kalibrering mot en uppmätt vattenföringsserie. Vid SMHI beräknas markfuktigheten dagligen för ett antal stationer i Sverige med hjälp av HBV-modellen och resultaten presenteras i en synoptisk vattenbalanskarta. För denna vattenbalanskarta kalibreras dock inte modellen för varje station, utan regionala standardparametrar används i modellen.

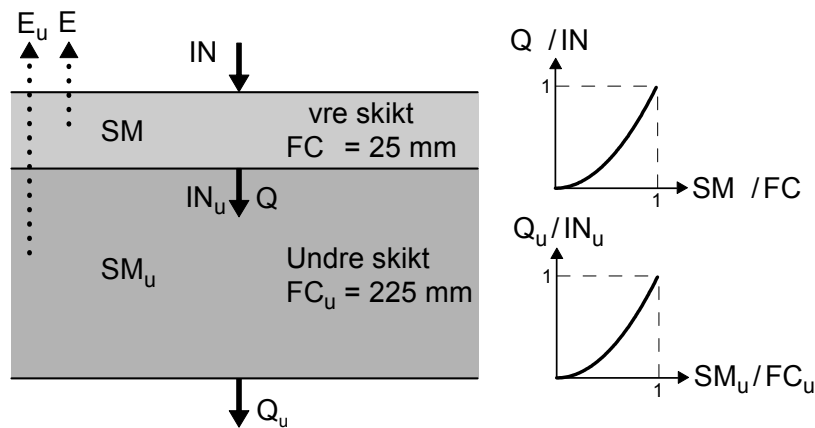
De markfuktighetsberäkningar som för närvarande används som ett mått på skogsbrandrisk innefattar inte hela markvattenzonen, utan endast ett tunt övre markskikt. Det ytliga skiktets vatteninnehåll representerar en tiondel av hela markens vatteninnehåll och motsvarar i verkligheten ett markskikt som är cirka 5-10 cm tjockt. För de rikstäckande brandriskprognoserna används regionala standardparametrar, vilket innebär att den maximala magasineringen i det ytliga markskiktet fastställts till mellan 20 och 25 mm beroende på region i landet. Den potentiella avdunstningen beräknas för denna tillämpning ur lufttemperaturen enligt metoden ovan. Avdunstningen från det ytliga markskiktet antas utgöra 1/3 av den totala avdunstningen.

Markfuktigheten anges i procent av den maximala vattenmagasineringen i ytskiktet, d v s sjunkande värden anger ökad uttorkning och ökande brandrisk. Markfuktighetsvärdena översätts till brandriskindex på en skala från 1 till 6, där siffran 6 anger högsta brandrisk och extremt torra förhållanden.

## 3.2 Skiktad markfuktighetsmodell

Det förslag till vidareutveckling av HBV-modellen för brandriskbedömning som presenteras i denna studie innebär att en skiktad markrutin utnyttjas, där erfarenheter tagits till vara från tidigare simuleringar med HBV-modellen för olika marknivåer (Gardelin, 1992). Beräkning av markfuktigheten sker i två skikt, där det övre skiktet motsvarar det ytliga skiktet vilket används i nuvarande brandriskmodell. Genom att även inkludera fuktigheten i ett djupare markskikt kan växtlighetens vattentillgång och därmed brandriskens säsongsvariation beskrivas på ett mer nyanserat sätt.

Principen för beräkning av markfuktigheten med den skiktade modellen visas i figur 2. I de tester som hittills utförts har magasineringen i det ytliga skiktet varit 25 mm vatten. Fuktigheten i djupare marklager representeras av ett markskikt med en magasineringsförmåga av 225 mm. Från de båda markskikten sker avdunstning genom växtlighetens vattenupptag. En tredjedel av den totala avdunstningen antas ske från det ytliga skiktet. Beroende på den aktuella markfuktigheten, kan varierande del av det vatten som tillförs markskikten föras vidare till avrinning.



Figur 2. Princip för beräkning av markfuktighet med en skiktad HBV-modell. FC anger den maximala vattenmagasineringen i respektive markskikt och SM anger aktuell markfuktighet. IN avser vattentillförsel till skiktet, Q avrinning och E avdunstning från skiktet.  $IN_u$  utgörs av regn och snösmältning och  $Q_u$  utgör det vatten som förs bort från markvattenzonen och går vidare till avrinning.

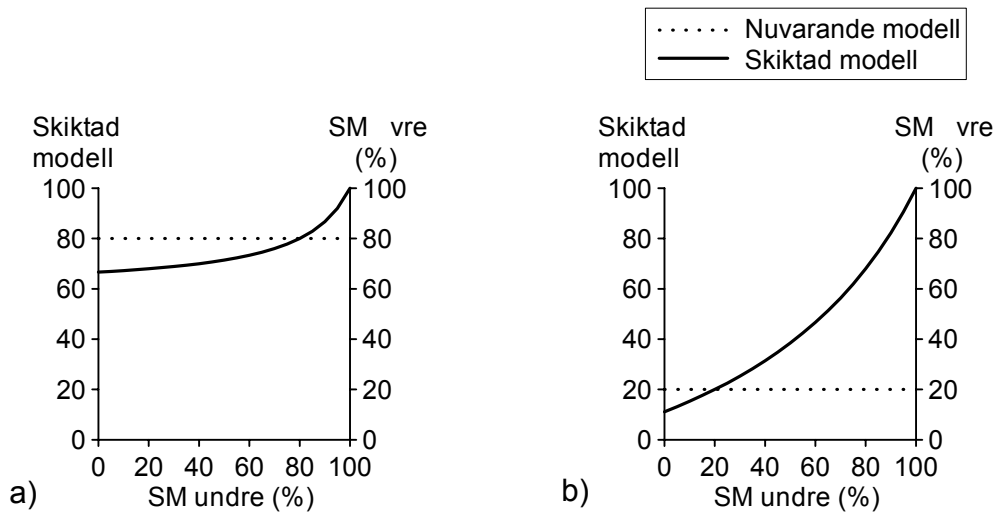
Modellen har inte kalibrerats mot uppmätt vattenföring för det aktuella testområdet, utan regionala standardparametrar har ansatts. Därigenom har hänsyn tagits till möjligheten att senare generalisera parameterintervallet för rikstäckande tillämpningar.

Försök har gjorts med olika metoder att sammanväga fuktighetsvärdena från de två markskikten så att ett nytt modifierat fuktighetsvärde erhålls. En metod som visade sig kunna beskriva inverkan av det djupare markskiktet och där samtidigt de grundläggande egenskaperna från nuvarande modell bibehålls var ett harmoniskt medelvärde enligt:

$$\text{Markfuktighet}_{skiktad} = 100 - \frac{2 \cdot smdef_{\bar{o}} \cdot smdef_u}{smdef_{\bar{o}} + smdef_u}$$

där  $smdef$  avser fuktighetsunderskottet i respektive markskikt. Inverkan av fuktigheten i det undre markskiktet blir därvid störst när det ytliga markskiktet är torrt (se figur 3). När det ytliga markskiktet är blött erhålls alltid relativt höga skiktade fuktighetsvärden, d v s låga brandriskvärden. För att extremt höga brandriskvärden ska kunna erhållas krävs att båda skikten är torra. Detta innebär att störst skillnad mellan nuvarande modell och den skiktade modellen erhålls under våren då det ytliga markskiktet kan torka ut, men då det undre skiktet ännu inte hunnit torka ut.

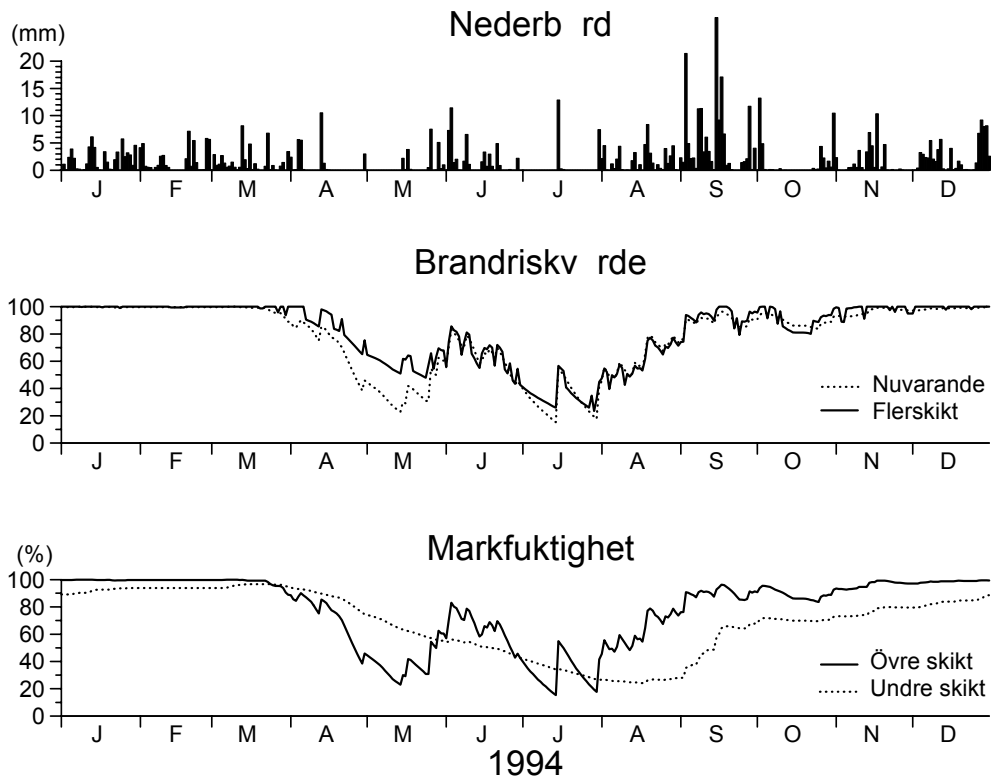
Olika försök har gjorts att förbättra modellens beskrivning av brandrisken i samband med små nederbördsmängder under en torrperiod. Tester har gjorts med ett enkelt interceptionsmagasin (Lindström m fl, 1996) vilket representerar fuktighet på vegetationen och som fylls på genom nederbörd och töms genom avdunstning till luften. Den totala magasineringsförmågan ansattes i testerna till mellan 1 och 2 mm regn. Den enkla metod som



Figur 3. Jämförelse mellan fuktighetsvärden som erhålls med nuvarande markfuktighetsmodell och med en skiktad modell vid varierande fuktighet i det undre markskiktet. Till vänster (a) visas relationen vid blöta förhållanden i det övre skiktet och till höger (b) motsvarande samband vid torra förhållanden i det övre skiktet.

användes medför att den totala mängd vatten som avdunstar ökar under de dagar då det faller regn jämfört med de dagar då interceptionsmagasinet är tomt. Denna metod leder därför till orealistiskt höga brandriskvärden under regndagarna. Istället visade sig en enkel korrektion av fuktighetsvärdet under de dagar då det faller regn ge mer realistiska värden som samvarierade bättre med statistiken över observerade bränder. Metoden innebär att fuktighetsvärdet ökas med 10 enheter, vilket motsvarar ungefär en indexnivå för brandrisken, under de dagar då det förekommer nederbörd.

Ett exempel på simulering med den skiktade modellen, där nederbörds-korrektionen enligt ovan införts, visas i figur 4. Det nya skiktade markfuktighetsvärdet anges liksom det tidigare markfuktighetsvärdet på en skala mellan 0 och 100, där ökande värden anger minskande brandrisk. Figuren visar även fuktighetsvariationen under en brandrisksäsong i de två markskikten. Normalt torkar det undre skiktet ut som mest under juli eller augusti månad.



Figur 4. Exempel på modellsimulering med nuvarande markfuktighetsmodell och en skiktad modell med nederbörds-korrektion. Underst visas fuktigheten i procent av den totala magasineringkapaciteten separat för de två markskikten.

## 4. Databas

Simuleringar med HBV-modellen har utförts för Blankaströms tillrinningsområde som är beläget delvis i Kalmar län och delvis i Jönköpings läns östra del (se figur 5). Indata till modellen har varit observationer av nederbörd och temperatur från sammanlagt 17 mätstationer i området. Resultaten från modellsimuleringarna har jämförts med daglig statistik över inträffade skogsbränder inom Kalmar län och inom 7 av kommunerna i Jönköpings läns östra del. Jönköpings läns västra del undantogs från studien eftersom nederbördsförhållandena där skiljer sig mycket från de östra delarna.



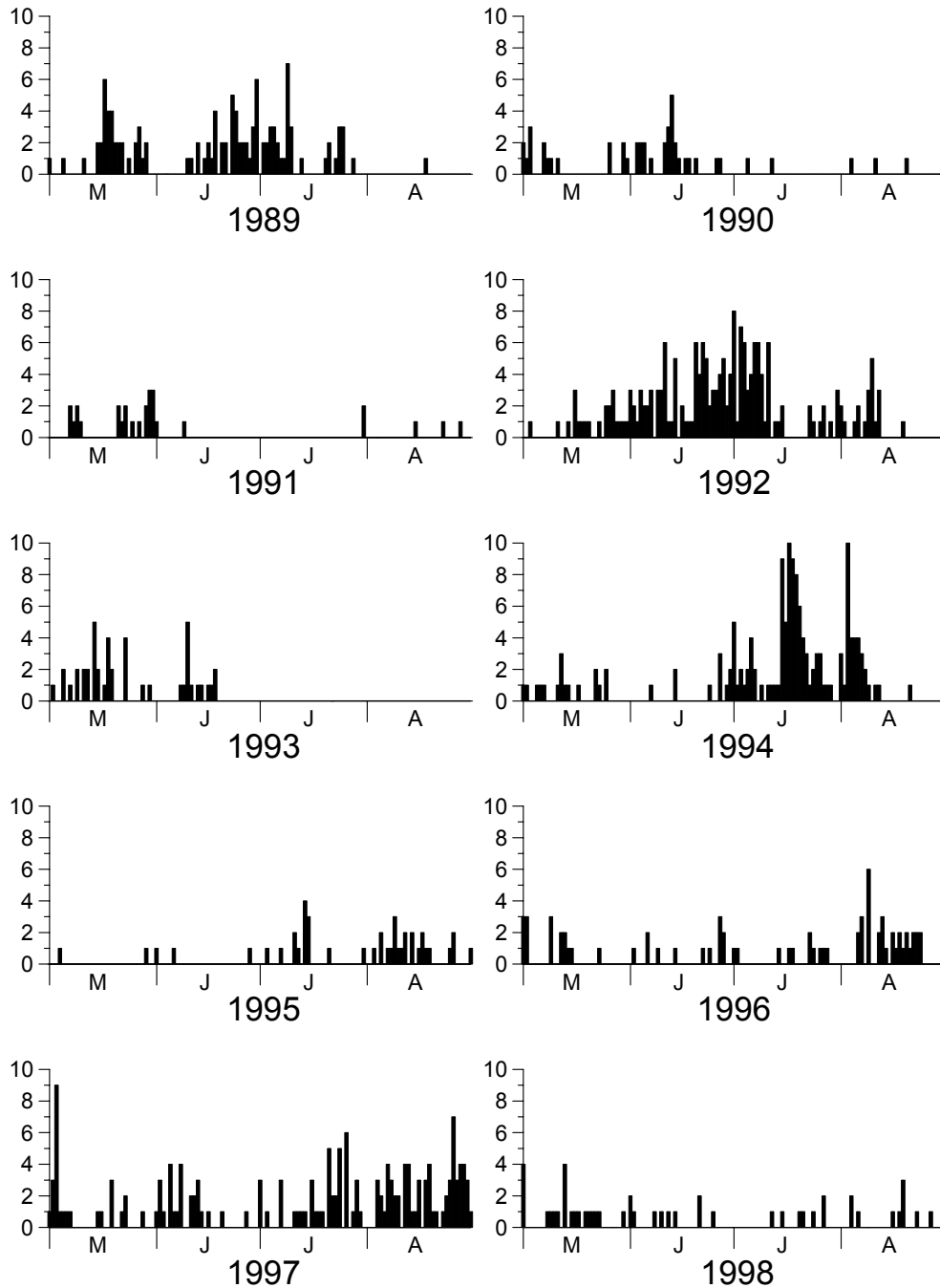
Figur 5. Blankaströms tillrinningsområde (gråmarkerat) beläget delvis i Kalmar län (brandriskområde 8) och delvis i Jönköpings läns östra del (brandriskområde 7).

Modellsimuleringarna har jämförts med statistik över inträffade skogsbränder under totalt 10 säsonger (1989-98). Bearbetningen har omfattat den period då brandriskprognoser normalt utfärdas, d v s maj-augusti. Data för åren 1989-94 har i samband med tidigare modellutvecklingsarbete samlats in direkt från räddningstjänsterna i de berörda kommunerna. I statistiken ingår bara bränder som av räddningstjänsterna klassats som skogsbränder. Klassningen är dock något osäker eftersom rutinerna för hur bränderna dokumenterades i de olika kommunerna varierade under denna period. Vissa fall där gräsbränder felaktigt klassats som skogsbränder kan förekomma. Det angivna antalet bränder inkluderar även mindre tillbud. För perioden 1995-98 har data som erhållits från Statistiska Centralbyrån bearbetats på liknande sätt så att ett så homogent datamaterial som möjligt erhållits. Antalet skogsbränder representeras i detta material av summan av kategorierna ”produktiv skogsmark” och ”annan trädbevuxen mark”.

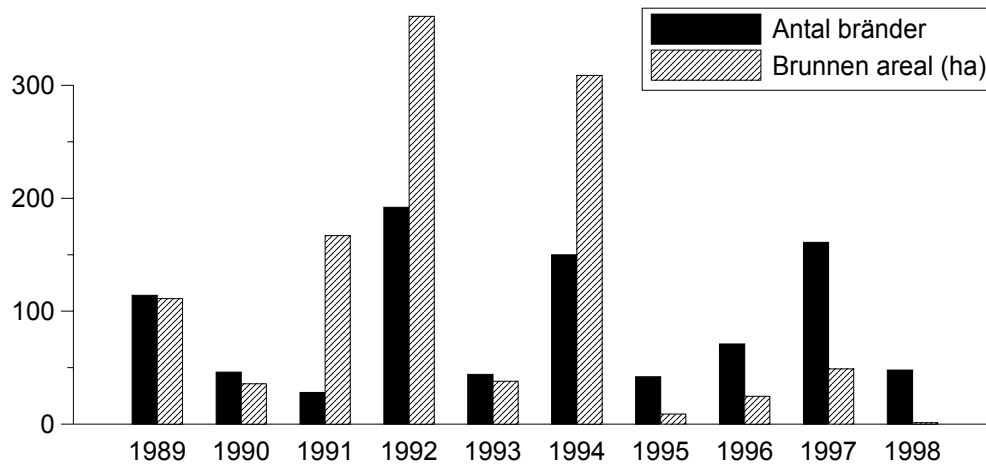
Totalt omfattar materialet ca 900 skogsbränder vilka sammanlagt motsvarar en nedbrunnen areal av ca 1100 ha. Figur 6 visar fördelningen av antalet



skogsbränder under de studerade säsongerna och figur 7 visar det årliga antalet skogsbränder och den årliga nedbrunna arealen under perioden. Det studerade området drabbades hårt av skogsbränder under 1992 och 1994, då bränderna omfattade störst årlig areal. Ett stort antal bränder inträffade även under åren 1997 och 1989.



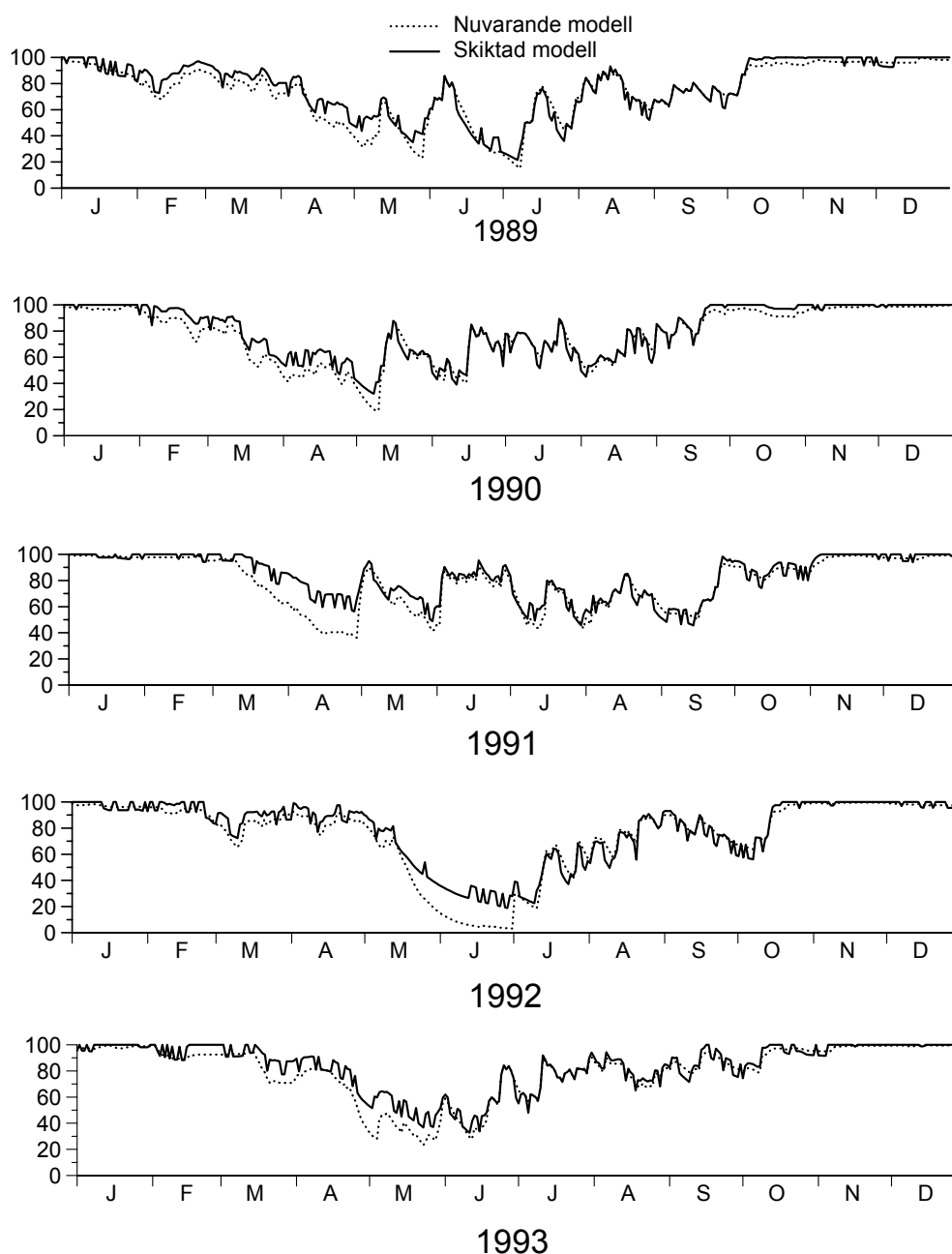
Figur 6. Antalet skogsbränder i Kalmar län och Jönköpings läns östra del för perioden maj-augusti under åren 1989-98.



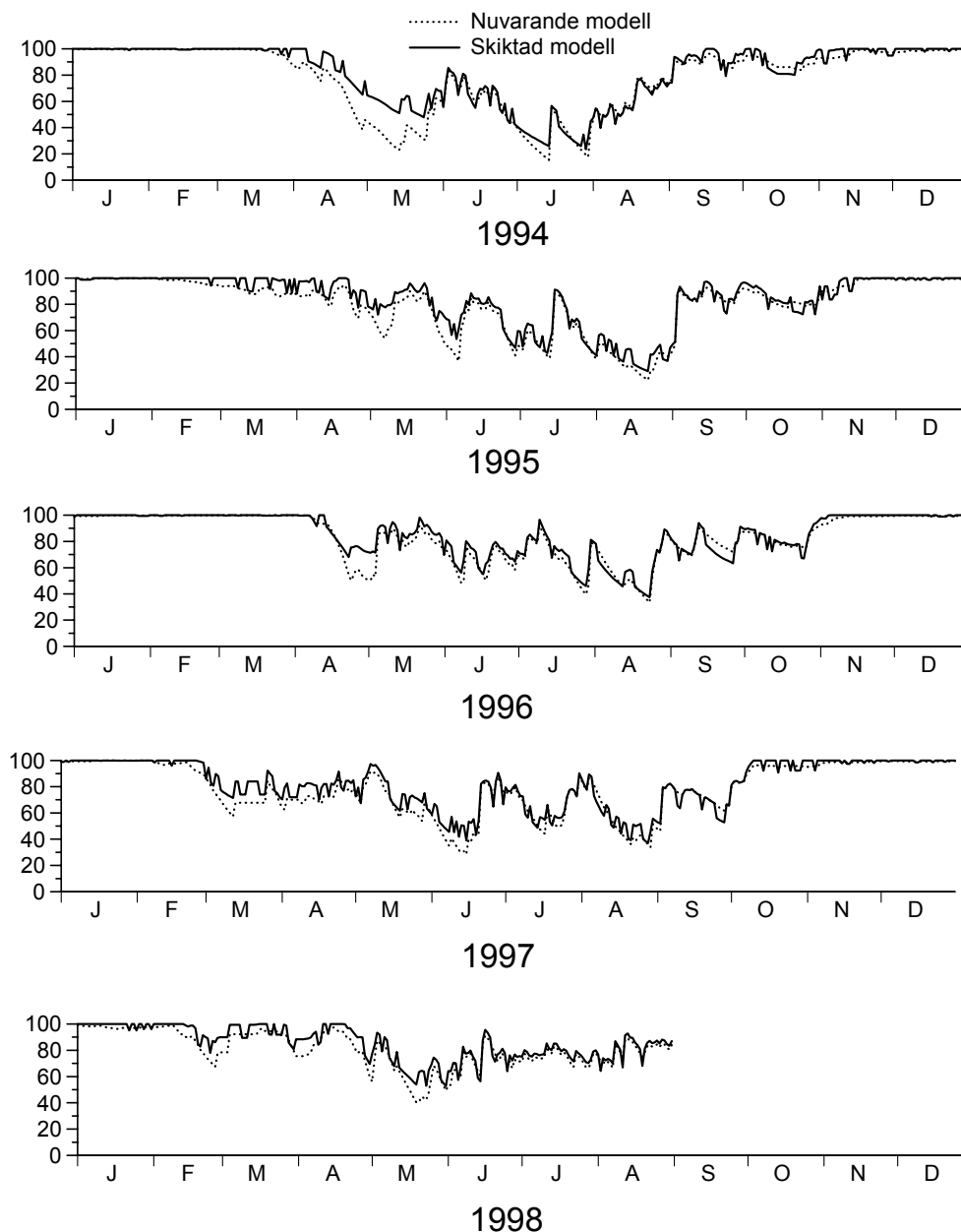
Figur 7. Årligt antal skogsbränder och nedbrunnen skogsareal i Kalmar län och Jönköpings läns östra del under perioden 1989-98.

## 5. Resultat

Användningen av den skiktade markfuktighetsmodellen innebar att störst förändring av fuktighetsvärdet jämfört med nuvarande modell erhöles tidigt under brandrisksäsongen. Figurerna 8 och 9 visar simuleringar med den nuvarande modellen och med den skiktade modellen för alla de tio år som ingår i studien. Den skiktade modellen ger under våren högre fuktighetsvärden, d v s lägre brandrisk än den nuvarande modellen. Störst är



Figur 8. Jämförelse mellan fuktighetsvärden beräknade med nuvarande modell och med en skiktad modell för ett område i östra Småland under åren 1989-93.

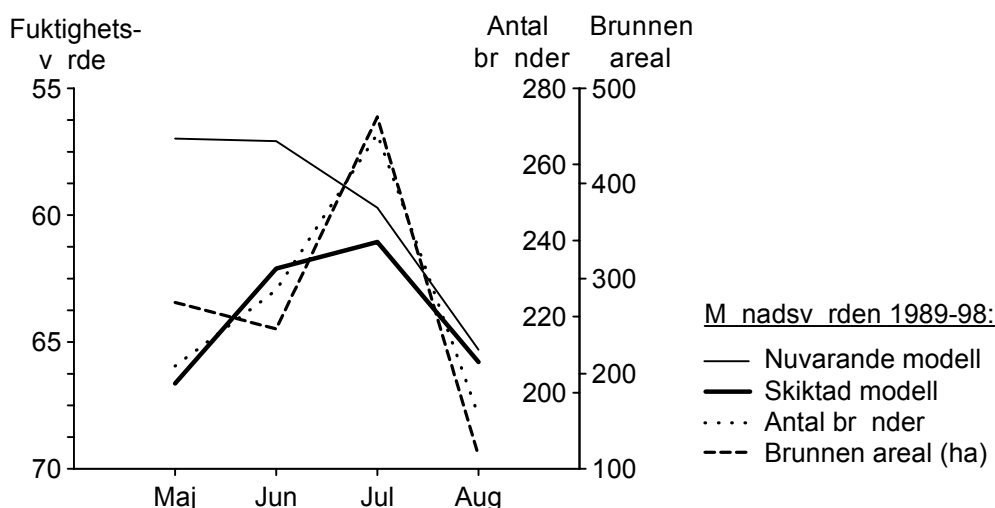


Figur 9. Jämförelse mellan fuktighetsvärden beräknade med nuvarande modell och med en skiktad modell för ett område i östra Småland under åren 1994-98.

skillnaden i april och maj månad, men stora skillnader förekommer också i juni (t ex 1992). I juli, augusti och september är avvikelsen mellan de två modellerna i allmänhet mycket liten. Ökningen under våren medför att fuktighetsvärdet i medeltal under den studerade perioden höjs från 60 till 64 när den skiktade modellen används. Variationsbredden är mindre, främst beroende på att de lägsta fuktighetsvärdena inte kan uppnås med den skiktade modellen. Fuktighetsvärdena från den skiktade modellen varierade under tioårsperioden mellan 19 och 98, medan nuvarande modell varierade mellan 3 och 92.

Figur 10 visar hur säsongsvariationen i genomsnitt förändras vid utnyttjandet av den skiktade modellen. Den nuvarande modellen ger högst

brandriskvärden i maj och juni månad, medan den skiktade modellen ger högst värden i juli månad. Den skiktade modellens säsongvariation stämmer betydligt bättre överens med statistiken över inträffade skogsbränder i området. Både antalet bränder och den nedbrunna arealen är enligt statistiken störst i juli månad (se figur 10).



Figur 10. Månadsmedelvärden för markfuktighet beräknade med nuvarande modell och med en skiktad markfuktighetsmodell samt månadssummor för antalet skogsbränder och den nedbrunna arealen i Kalmar län och Jönköpings läns östra del under 1989-98.

En jämförelse mellan de korrelationer till inträffade skogsbränder som erhöles för de två modellerna visar att korrelationen, sammantaget för perioden maj till augusti, är något högre för den skiktade modellen än för nuvarande modell (tabell 1). Korrelationen till antalet bränder ökar vid utnyttjandet av den skiktade modellen från ca 0.43 till ca 0.45, dvs en mycket liten ökning. Korrelationen till den nedbrunna arealen är allmänt låg, men visar också en ökning när den skiktade modellen utnyttjas. Störst förändring av korrelationerna erhålls under maj och juni månad.

Tabell 1. Korrelationskoefficienter för dygnsvärden från två fuktighetsmodeller och antalet bränder samt nedbrunnen areal i Kalmar län och Jönköpings läns östra del under månaderna maj till augusti 1989-98.

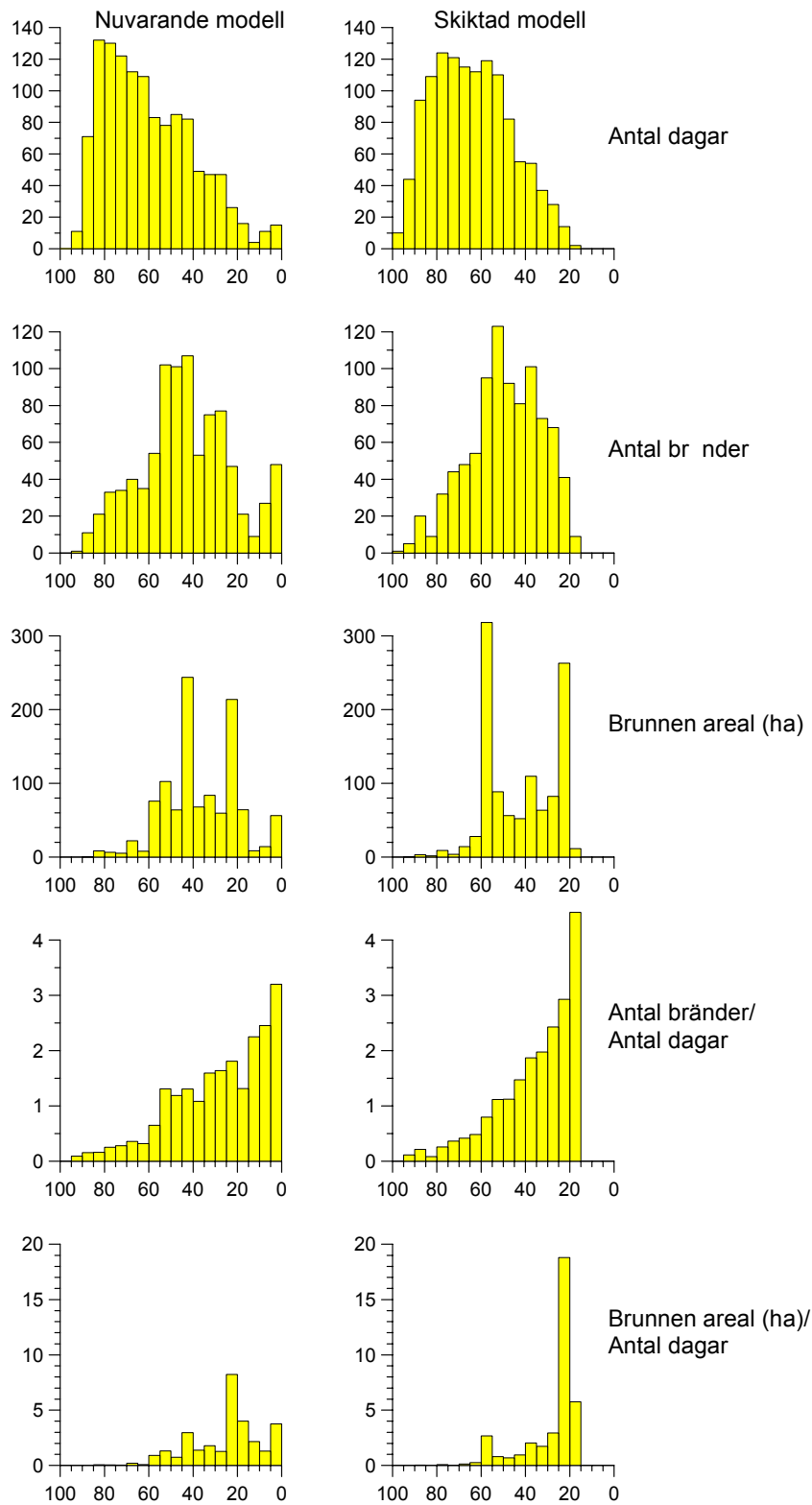
	Maj		Juni		Juli		Augusti		Maj - Aug	
	Antal	Areal	Antal	Areal	Antal	Areal	Antal	Areal	Antal	Areal
Nuvarande modell	0.255	0.077	0.639	0.215	0.436	0.186	0.381	0.146	0.429	0.132
Skiktad modell	0.305	0.060	0.616	0.249	0.444	0.187	0.381	0.167	0.446	0.140
Differens	0.05	-0.02	-0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01

Vid beräkningen av korrelationskoefficienterna undersöktes också om det finns en högre korrelation till bränder som uppstår inom 1 till 2 dagar efter den dag fuktighetsvärdet beräknats för. En sådan fördröjning i tiden tycks dock inte dominera i detta område, utan högst korrelation erhöles till de bränder som uppstått under den aktuella dagen.

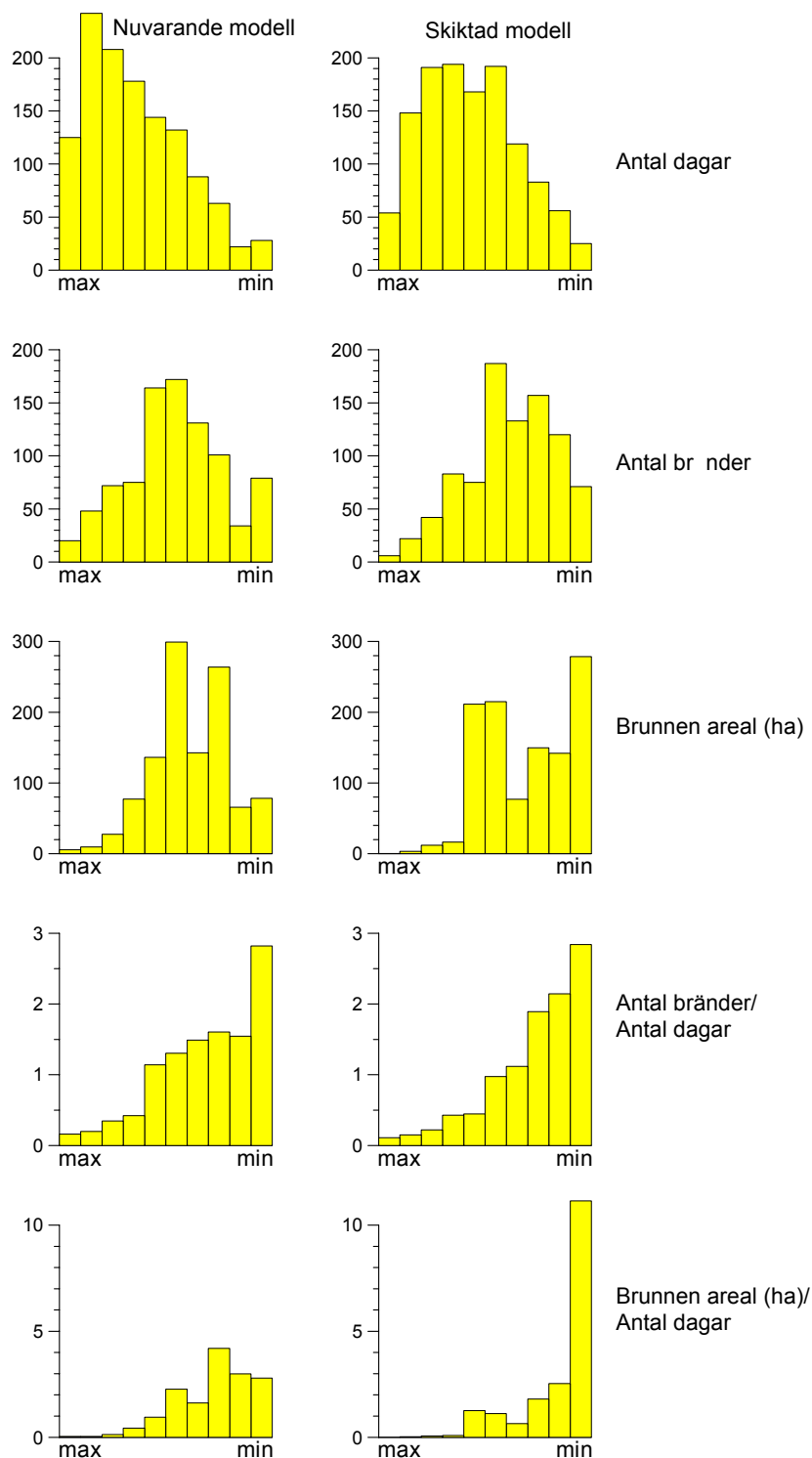
Vid utvecklingen av den skiktade modellen testades olika metoder för sammanvägning av fuktighetsvärdena i de två markskikten. Testades olika viktningsfaktorer för fuktighetsvärdena vid beräkningen av det harmoniska medelvärdet och en mängd andra typer av medelvärdesbildning. Av alla de testade metoderna gav den nu föreslagna metoden (se avsnitt 3.2) högst korrelation till både antalet bränder och den nedbrunna arealen. Även olika metoder för att ta hänsyn till små nederbörds mängder testades under utvecklingsarbetet. Försök att utnyttja interceptionsrutinen i HBV-modellen gav sämre resultat än den enkla nederbörds korrektion med 10 enheter som här föreslagits. Tester gjordes även med en större korrektion (20 enheter) och olika gränsvärden för den nederbörds mängd som styr när korrektionen ska påföras. Baserat på de stationsdata som utnyttjats i dessa försök gav en nollgräns för nederbörd den högsta korrelationen till skogsbrandsstatistiken. Förändringar av metoden för nederbörds korrektion kan dock bli aktuella när modellen senare kommer att drivas med analyserade nederbördsdata i rutnätsform.

Sambandet mellan skogsbrandsstatistiken och de fuktighetsvärden som beräknats med de två modellerna har också studerats genom att antalet bränder och nedbrunnen areal inom olika intervall av fuktighetsvärdena beräknats. Figur 11 visar denna fördelningen på fuktighetsskalan mellan 0 och 100, där ökande värden innebär ökande fuktighet och därmed minskande brandrisk. Av figuren framgår att variationsomfånget på denna skala är mindre för den skiktade modellen än för nuvarande modell. Fördelningen i tiden är också mer normalfördelad för den skiktade modellen, eftersom fuktighetsvärden på mellannivå förekommer oftare. För den skiktade modellen märks en förskjutning mot alltmer ökande antal bränder och nedbrunnen areal vid låga fuktighetsvärden jämfört med nuvarande modell. Ökningen av brandfrekvensen vid sjunkande fuktighet är även jämnare för den skiktade modellen, både när det gäller antalet bränder och den nedbrunna arealen (se de två nedersta diagrammen i figur 11).

Den minskade variationsbredden för fuktighetsvärdena innebär att de nivåer för brandriskindex som för nuvarande används måste justeras vid kommande tillämpningar av den skiktade modellen. Figur 12 visar motsvarande värden som figur 11, men redovisade på så sätt att hänsyn tagits till modellernas olika variationsbredd. Varje intervall motsvarar i denna figur 10% av den totala fuktighetsvariationen för respektive modell. Denna bearbetning visar, för den skiktade modellen, samma förskjutning mot ökande brandfrekvens vid sjunkande fuktighet som framgår av figur 11.



Figur 11. Antal dagar, antal bränder, nedbrunnen areal samt brandfrekvens i olika intervall av fuktighetsvärdet beräknat med nuvarande modell (till vänster) och med en skiktad modell (till höger).



Figur 12. Antal dagar, antal bränder, nedbrunnen areal samt brandfrekvens inom 10%-intervall av den totala fuktighetsvariationen för respektive modell under perioden 1989-98 beräknat med nuvarande modell (till vänster) och med en skiktad modell (till höger).



## 6. Slutsatser och diskussion

Det försök till vidareutveckling av HBV-modellen för brandriskbedömning som gjorts i denna studie har gett flera positiva resultat som pekar på fördelar med den nya modifierade modellen. Genom att utnyttja en sammanvägning av fuktighetsvärden i flera markskikt har hänsyn tagits till hur vatteninnehållet i djupare markskikt förändras under brandrisksäsongen. Framförallt har mer realistiska brandriskvärden erhållit under våren, eftersom växtlighetens vattentillgång och vatteninnehåll beskrivs på ett mer nyanserat sätt i den skiktade modellen. Den korrektion som införts de dagar då det faller regn, medför att även små nederbördsmängder tillfälligt kan påverka brandriskvärdet.

De metoder som använts för att utvärdera modellresultaten, tyder på en större samvariation med inträffade skogsbränder för den skiktade modellen. Sammantaget för hela säsongen erhålls något högre korrelationskoefficienter med den skiktade modellen och dess säsongsdynamik stämmer bättre överens med statistiken över när skogsbränder har uppstått. Brandfrekvensen i olika intervall av det skiktade fuktighetsvärdet visar också en tydligare ökning mot höga brandriskvärden än nuvarande modell. Eftersom långa tidsserier av daglig skogsbrandsstatistik är sällsynta, och modellen hittills endast kunnat utvärderas i ett försöksområde, är dock resultatens allmängiltighet osäker. Osäkerheter i utvärderingsmetoden uppstår också genom olika brister i skogsbrandsstatistiken, t ex kan felaktig klassning i olika brandtyper förekomma.

För fortsatt utveckling av den föreslagna fuktighetsmodellen bör rikstäckande modellsimuleringar utföras med högupplösta analyserade indata. Vid dessa simuleringar kan ingående parametervärden komma att modifieras och standardvärden fastställas för rikstäckande tillämpningar. Eftersom variationsbredden för den skiktade modellen är mindre än för nuvarande modell måste också nya nivåer för brandriskindexen fastställas i samband med dessa simuleringar. Även metoden för korrektion av brandriskvärdet vid nederbörd kommer att ses över och kan komma att modifieras när modellen drivs med dessa indata. Möjligheten finns också att i framtiden göra nya tester med en förbättrad metod för interceptionsberäkning i modellen.

## 7. Slutord

Detta arbete har utförts vid SMHIs forskningssektion med finansiering av SMHI och Räddningsverket. Göran Lindström vid SMHI har bidragit med värdefulla råd och synpunkter. Räddningsverket, Statistiska Centralbyrån samt Räddningstjänsterna i Jönköpings och Kalmar län har tillhandahållit skogsbrandsstatistik. Till alla dem som på olika sätt bidragit med material och erfarenheter som hjälp till arbetet riktas ett varmt tack.

## 8. Referenser

Bergström, S. (1976)

Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI Rapporter, RHO 7, Norrköping

Bergström, S. (1992)

The HBV model - its structure and applications.  
SMHI Reports Hydrology RH 4, Norrköping

Bergström, S. (1995)

The HBV model. In: Singh VP (ed) Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, p 443-476

Eriksson, B. (1981)

Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige. SMHI Rapporter, RMK 28, Norrköping

Gardelin, M. (1992)

Soil moisture. In: Sandén, P. and Warfvinge, P. (eds) Modelling groundwater response to acidification. SMHI, Reports Hydrology RH 5, Norrköping, p 40-47

Gardelin, M. (1996)

Brandriskprognoser med hjälp av en hydrologisk modell - Slutrapport. FoU-rapport R53-127/96, Statens Räddningsverk, Karlstad

Gardelin, M. (1997)

Brandriskprognoser med hjälp av en kanadensisk skogsbrandsmodell. FoU-rapport P21-168/97, Statens Räddningsverk, Karlstad

Gardelin, M. och Lindström, G. (1994)

Brandriskprognoser med hjälp av en hydrologisk modell - en förstudie. FoU-rapport P21-091/94, Statens Räddningsverk, Karlstad

Gardelin, M. och Sjöö, A. (1999)

Realtidsförsök med högupplösta brandriskprognoser. FoU-rapport P21-284/99, Statens Räddningsverk, Karlstad

Gardelin, M., Häggmark, L., Ivarsson, K.-I. och Sjöö, A. (1998)

Brandriskvärden beräknade ur analyserade meteorologiska indata. FoU-rapport P21-217/98, Statens Räddningsverk, Karlstad

Lindström, G., Gardelin, M., Johansson, B., Persson, M. och Bergström, S. (1996)

HBV-96 - En areellt fördelad modell för vattenkrafthydrologin. SMHI, Reports Hydrology, RH 12, Norrköping.

Thornthwaite, C.W. (1948)  
An approach toward a rational classification of climate.  
Geogr. Rev., 38, p 55 – 94

Van Wagner, C.E. (1987)  
Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index  
System. Forestry Technical Report 35. Canadian Forestry Service, Ottawa,  
Ontario, Canada.

Wallén, C.C. (1966)  
Global solar radiation and potential evapotranspiration in Sweden.  
Tellus, Vol. 18:4, p 746-800