



UPPSALA
UNIVERSITET



UPTEC W 16 009

Examensarbete 30 hp
Maj 2016

Analys och modellering av effekter på förändrad vattenföring i brandskadad och avverkad skog

Robin Johansson

REFERAT

Analys och modellering av effekter på förändrad vattenföring i brandskadad och avverkad skog

Robin Johansson

I Västmanlands län startade den 31 juli 2014 en skogsbrand som utvecklades till den största branden i svensk modern historia. Den torra sommaren i kombination med starka vindar gjorde att branden spred sig snabbt och ett område på ca 14 000 hektar drabbades. Historiskt sett har skogsbränder varit frekvent förekommande i boreala skogar men i takt med att brandbekämpningen effektiviserats släcks de flesta bränder innan de hinner sprida sig. Förväntade klimatförändringarna med ett varmare och torrare klimat skulle förlänga brandssäsongen, vilket innebär att stora bränder riskerar att förekomma mer frekvent i framtiden.

Syftet med denna studie var att undersöka om och i så fall hur vattenföringen förändras till följd av skogsbränder och avverkning av brandskadad skog. För att identifiera eventuella skillnader användes HYPE-modellen som är framtagen av SMHI för att beräkna flödet i vattendrag där det inte finns tillgängliga mätstationer. Det är inte bestämt hur brandskadade områden ska representeras i modellen. För att efterlikna de nya förhållandena utfördes därför under projektets gång en kalibrering av de parametrar som antogs kunna påverkas av en brand.

Från ett av de brandskadade avrinningsområdena, Valsjöbäcken, finns uppmätta flöden mellan 1979 och 1998 från en av SMHIs mätstationer. Dessa flöden användes för att kalibrera modellen för perioden innan branden. På så vis kunde det uteslutas att eventuella skillnader i flöde efter branden berodde på befintliga avvikelser i modellen. Resultaten utvärderades både visuellt och med hjälp av Nash Sutcliffes effektivitetskoefficient. Tryckgivare placerades ut i Valsjöbäcken efter branden av Institutionen för vatten och miljö vid SLU för att registrera vattennivån. Det utfördes även flödesmätningar i Valsjöbäcken som användes till att skapa en avbördningskurva för att kunna omvandla den uppmätta vattennivån till uppmätt flöde.

Simuleringar i HYPE visade att betydande förändringar skett gällande områdets hydrologiska egenskaper efter branden. De största skillnaderna observerades under vårfloden och fuktigare perioder under sensommar och höst. Det uppmätta flödet efter branden var större än det modellerade flödet under i stort sett hela den undersökta tidsperioden. De stora flödena under våren berodde på att snösmältningens hastighet ökade. Förlusten av vegetation bidrog till att mer nederbörd nådde markytan och att avdunstningen minskade vilket resulterade i mer tillgängligt vatten i området. Mer tillgängligt vatten, i kombination med att markens vattenhållande förmåga minskade och andelen ytavrinning ökade, bidrog även det till större flöden efter branden. Efter kalibrering av de berörda parametrarna steg värdet för Nash Sutcliffes effektivitetskoefficient från 0,567 till 0,830 vilket bekräftar de hydrologiska förändringarna.

Nyckelord: HYPE, hydrologi, modellering, skogsbrand, avverkning, kalibrering, Valsjöbäcken

*Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU),
Lennart Hjelm's väg 9, SE 75007 Uppsala*

ABSTRACT

Analysis and modeling of the effects on changes in discharge in fire-damaged and harvested forests

Robin Johansson

A forest fire started in the county of Västmanland on the 31st of July in the summer of 2014. As a result of a dry summer and hard winds, the fire rapidly increased in size and came to be the largest fire in modern Swedish history, covering a massive area of 14 000 hectares. Forest fires have been common historically and have occurred on a frequent basis in boreal woods, but due to more effective fire fighting over the years it has been possible to extinguish the majority of the fires before they have been able to increase in size. However, expected changes in the climate such as higher temperatures and less precipitation extend the fire season and large fires may therefore occur more frequently in the future.

The aim of this study was to analyse how the discharge alter as result of forest fires and trees felled due to fire damage. SMHI's model named HYPE was used in order to identify any possible differences in discharge. The model has been developed by SMHI to enable the calculation of discharge in areas where there are no available monitoring stations. It has however never been determined how fire damaged areas should be represented in this model. It was therefore required to calibrate those parameters in the model that supposedly are correlated to the effects of fires.

Discharge has been registered by SMHI between 1979 and 1998 in Valsjöbäcken, which is one of the fire-damaged watersheds in 2014. The data was used to calibrate the model for the period before the fire to eliminate any deviations that may have caused existent differences. The results were then evaluated both visually and by utilising the Nash Sutcliffe's efficiency coefficient. After the fire, the Department of Aquatic Sciences and Assessment at SLU placed a monitor at Valsjöbäcken to register the water depth. Discharge measurements were also performed and used to create a rating curve to convert registered water levels to discharge.

As a result of running simulations in HYPE, it was shown that significant alterations had occurred in terms of hydrological attributes in the affected area. The largest differences were noticed during spring flood and wet periods in the late summer and autumn period. It was also shown that the discharge registered after the fire was greater than the discharge calculated by the model. The high discharge during springtime is explained by the fact that the snow melted much faster. Also, the loss of vegetation allowed more precipitation to reach ground level and evaporation was decreased, which led to more water available for discharge in the area. After the fire, the increase in higher water levels in combination with a decrease of the capability for the ground to hold water resulted in a higher discharge. By calibrating the affected parameters, it was possible to see an increase in the Nash Sutcliffe's efficiency coefficient. The coefficient reached 0.830 compared to the previous 0.567, which confirms the observed hydrological changes.

Keywords: HYPE, hydrology, modeling, forest fire, forest harvesting, calibration, Valsjöbäcken

Department of aquatic science and assessment, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Lennart Hjelm's väg 9, SE 75007 Uppsala

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 30hp och är utfört inom Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik. Arbetet utfördes i samarbete mellan SMHI och Institutionen för vatten och miljö vid SLU. Ämnesgranskare för detta arbete var Stephan Köhler vid Institutionen för vatten och miljö vid SLU.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Johan Strömqvist vid SMHI och min ämnesgranskare Stephan Köhler för all hjälp under projektets gång.

Robin Johansson

Uppsala, Maj 2016

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Analys och modellering av effekter på förändrad vattenföring i brandskadad och avverkad skog

Robin Johansson

Den 31 juli 2014 startade en brand i Västmanlands Län som senare skulle sprida sig och bli den största skogsbranden i Sveriges moderna historia. Den torra sommaren och starka vindar gjorde att elden spred sig snabbt och det tog mer än en vecka att få kontroll på branden. När branden till slut var under kontroll hade ungefär 14000 hektar skog skadats eller förstörts av branden. Förr i tiden var stora bränder vanligt förekommande i Sverige. Anledningen till att det inte förekommer lika många stora bränder nu för tiden är att det finns mycket bättre brandbekämpning. De flesta bränderna släcks innan de hinner sprida sig. I framtiden finns det dock risk för att Sverige oftare kommer att drabbas av stora bränder. Om klimatet fortsätter att bli varmare och om det regnar mindre under sommaren ökar brandrisken.

Bränder har stor effekt på ett områdes hydrologiska egenskaper. Förlusten av träd och undervegetation minskar avdunstningen samtidigt som träden inte längre hindrar en del av regnet att nå ner till marken. Det regn som tidigare fastnade uppe bland trädkronorna och sedan avdunstade faller efter branden direkt ner till marken. Då avdunstningen är en av de viktigaste faktorerna som styr hur mycket vatten som finns tillgängligt att bidra till flödet i vattendrag kommer flödena att öka efter branden. Men det är inte bara skogen som tar skada vid kraftiga bränder. Även markens egenskaper kan förändras till följd av att det översta lagret helt enkelt brinner upp. Rötter och organiskt material som tidigare skapade hålrum i marken försvinner och marken packas ihop. Det finns då mindre utrymme kvar i marken som kan lagra vatten.

Syftet med detta arbete var att undersöka om, och i så fall hur, vattenflödet förändras i bäckar som återfinns i brandskadade områden. En modell som är utvecklad av SMHI användes för att kunna upptäcka eventuella skillnader före och efter branden i Västmanland. Modellen heter HYPE och det är en hydrologisk modell som SMHI använder för att beräkna vattenflödet i bäckar där det inte finns några mätstationer. Vetenskapliga modeller som HYPE försöker avbilda verkligheten så noggrant som möjligt. I HYPE beskrivs det undersökta området som en kombination av olika markanvändningar och jordarter. Varje möjlig kombination kallas för en markklass. För jordarter och markanvändning finns det flera olika parametrar som bestämmer dess egenskaper. Parametrarna beror av antingen jordart eller markanvändning men det finns även parametrar som är generella och gäller då för hela området.

Markanvändning och jordarter tilldelas specifika värden för samtliga parametrar vilket leder till att varje markklass får sina unika egenskaper. Eftersom bränder påverkar både markanvändning och jordart kommer parametrar i markklasser som drabbas av bränder att förändras. Till följd av detta utgjorde kalibrering av drabbade parametrar en stor del av arbetet inom projektet.

Efter branden placerade Institutionen för vatten och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) ut tryckgivare som registrerade vattennivån i flera bäckar inom det brandskadade området. Det utfördes även flödesmätningar av både SLU och SMHI i dessa vattendrag efter branden. Med hjälp av flödesmätningar kan en avbördningskurva som beskriver hur stort vattenflödet blir beroende på vattennivån skapas för ett vattendrag. En avbördningskurva

anpassades för Valsjöbäcken som är ett av de branddrabbade avrinningsområdena. Med hjälp av avbördningskurvan omvandlades de uppmätta vattennivåerna till ett flöde som kunde jämföras med simulerade flöden från HYPE. En bidragande faktor till valet av att studera Valsjöbäcken var att SMHI tidigare hade en mätstation som registrerade vattenflöde i bäcken. Detta kunde användas till att kalibrera modellen så den stämde överens med området innan branden och på så vis försäkra sig om att det var brandens effekter som sågs och inte redan befintliga skillnader mellan modellen och verkligheten.

Före branden stämde det modellerade och det uppmätta flödet väl överens redan innan kalibreringen så det gjordes endast små ändringar i modellen före branden. Detta var dock inte fallet efter branden då det var stora skillnader under framförallt våren och hösten. Modellens beräknade flöden var betydligt lägre än det verkliga flödet under dessa perioder. Det enklaste sättet att se dessa skillnader är att göra en graf för den simulerade tidsperioden med de båda flödena. Då kan visuella skillnader uppfattas direkt och möjligtvis kopplas till olika parametrar i modellen. Förutom att göra en visuell tolkning kan olika statistiska metoder användas och ge ett värde på hur bra modellen fungerar. I detta fall användes en metod som heter Nash Sutcliffes effektivitetskoefficient (NSE). Den ger ett värde mellan minus oändligheten och ett där ett är det optimala värdet. När modellens parametrar hade kalibrerats efter branden ökade NSE-värdet från 0,567 till 0,830 vilket är ytterligare ett bevis på att flödet förändrades av branden. De parametrar som krävde störst justeringar var avdunstning, hur snabbt och vid vilken temperatur snön smälter samt hur mycket vatten som kan lagras i marken.

Som tidigare nämnt förväntas stora bränder bli vanligare i framtiden. Med hjälp av nya värden på de parametrar som hade förändrats av branden kan eventuella förändringar i vattendrags flöden efter bränder förutses. Eftersom flödet blev högre efter branden kan detta vara extra viktigt i områden med stora vattendrag som hotar att översvämma bebyggda områden. Men som sagt så är varje jordart och markanvändning unik vilket begränsar användningsområdet för de kalibrerade parametrarna. Det är inte heller säkert att alla jordarter och markanvändningar reagerar på samma sätt till följd av en brand. En förutsättning för att de nya parametervärdena ska kunna användas är att det måste vara samma sorts markklasser i både det område som kalibrerades och det område som ska undersökas.

ORDLISTA

Avbördningskurva	Visar sambandet mellan vattennivå och vattenflöde
Avrinningsområde	Det område som bidrar till flödet i en bestämd punkt
Effektiv porositet	Sammanhängande porer som vatten kan flöda genom
Fältkapacitet	Vid markens fältkapacitet finns inget fritt vatten kvar i marken
HYPE	Förkortning av modellen HYdrological Predictions for the Environment
Makroporer	Större porer i marken där vatten kan flöda snabbt
Markklass	Kombination av markanvändning och jordart i HYPE
NSE	Nash-Sutcliffes effektivitetskoefficient ger ett värde hur väl simulerade värden stämmer överens med uppmätta värden
Parametrar i HYPE	Nedan följer en kort förklaring av kalibrerade parametrar i HYPE
cevpam	Amplitud för sinuskurvan som justerar avdunstning
cevpph	Ändrar fasen för sinuskurvan som justerar avdunstning
cevp	Bestämmer avdunstningens storlek (mm/grad/dag)
cmlt	Bestämmer hur snabbt snön smälter
wcep	Effektiv porositet
wcfc	Fältkapacitet
ttmp	Anger temperatur då snösmältning och avdunstning sker
rrsc	Ger flödet genom marken en tidsfördröjning
srrate	Andel vatten som bidrar till ytavrinning
mactrinf	Gränsvärde för flöde i makroporer
preccorr	Korrigerar hur stor del av nederbörden som når markytan
Perkolation	Flödet nedåt mot grundvattenytan i markprofilen
SLU	Sveriges Lantbruksuniversitet
SMHI	Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut
Transpiration	Avdunstning från växtlighet, främst via bladens klyvöppningar.
Vattenbalans	Nederbörd = Avdunstning + Avrinning + Lagring
Vissningsgräns	Markens vattenhalt då växtlighet inte längre kan ta upp vatten

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	1
1.1	SYFTE	1
1.2	AVGRÄNSNINGAR	1
2	TEORI.....	2
2.1	HYDROLOGISKA FÖRÄNDRINGAR EFTER BRANDEN	3
2.1.1	Avverkningens effekter	3
2.1.2	Bränders direkta effekt	4
2.2	TIDIGARE STUDIER	5
2.2.1	Sydafrika	5
2.2.2	Frankrike	6
2.3	HYPE.....	7
2.3.1	Indata	7
2.3.2	Flöden i HYPE	8
2.3.3	Avdunstning	9
2.3.4	Sjöar och vattendrag.....	9
2.3.5	Snö.....	10
2.3.6	Nash-Sutcliffe.....	10
3	MATERIAL OCH METOD	11
3.1	VAL AV AVRINNINGSOMRÅDE	11
3.1.1	Områdesbeskrivning.....	11
3.2	AVBÖRDNINGSKURVA.....	12
3.3	KALIBRERING	13
3.3.1	Modellanpassning i HYPE	14
3.4	INDATA TILL MODELLERING	16
4	RESULTAT	18
4.1	FÖRE BRANDEN.....	18
4.2	EFTER BRANDEN.....	20
5	DISKUSSION.....	24
5.1	ANPASSNING AV MODELLEN	24
5.2	AVVIKELSER EFTER KALIBRERING	25
5.3	OSÄKERHETER	26
5.4	TIDIGARE STUDIER	26
5.4.1	HYDROFOBA MARKSKIKT	27
5.5	ANVÄNDNINGSOMRÅDEN	28

6	SLUTSATS.....	29
7	REFERENSER	30

1 INLEDNING

Den 31 juli 2014 startade den största skogsbranden i svensk modern historia på grund av en gnista från en markberedare. Branden spred sig snabbt till följd av den torra sommaren i kombination med starka vindar. Mer än en vecka senare när branden var under kontroll hade ett område på ca 14 000 hektar drabbats och stora mängder skog behövde avverkas (Länsstyrelsen i Västmanland, 2014). Skogsbränder har länge varit vanligt förekommande i boreala skogsområden men i modern tid släcks de flesta bränderna innan de hinner sprida sig. Dock kan stora bränder bli vanligare i framtiden då det förväntas att klimatet blir varmare vilket leder till att brandrisksäsongen förlängs (Sjökvist et al., 2013). Eftersom stora bränder är ovanliga i dagsläget är effekter av en sådan händelse inte noggrant studerade. Då det förväntas att bränder uppstår mer frekvent i framtiden är det därför viktigt att studera dess påverkan på naturen.

Skogen har stor påverkan på ett områdes hydrologiska egenskaper. Växtligheten har en direkt påverkan på hur mycket vatten som finns tillgängligt att flöda i vattendrag. Träden fångar upp nederbörd som sedan avdunstar vilket leder till att endast en del av nederbörden når ner till marknivå. Avverkningar innebär således att mer nederbörd når marknivå vilket i kombination med att transpirationen minskar leder till att en ökad mängd vatten finns tillgänglig för avrinning. En ökad markfuktighet leder även till att markens förmåga att dämpa och fördröja flödestoppar minskar. Även markens egenskaper påverkas vid kraftiga bränder. I de fall då bränder går djupt ned i marken försvinner stora delar av humuslagret och markens förmåga att magasinera vatten minskar (Losjö och Ghasem, 2015).

För att kunna beräkna flöden i vattendrag där det inte finns installerade mätinstrument använder SMHI en modell som heter HYPE. Arbetet med HYPE påbörjades år 2005 och modellen är under ständig utveckling. Modellen är uppbyggd så att den kan användas för stora områden och finns till exempel uppsatt för hela Sverige och betecknas då S-HYPE. Till en början utformades modellen så enkelt som möjligt för att sedan förfinas i de områden där behovet fanns. Målet med utvecklingen är att hela modellen ska vara på samma nivå när det gäller detaljer och komplexitet (Lindström et al., 2010).

Det är inte klarlagt hur effekten av brandskadade områden bäst ska representeras i modellen. För att efterlikna de nya förhållandena samt att kunna använda modellen i framtiden för brandskadade områden behöver vissa av modellens parametrar ses över, till exempel genom att ytavrinningens andel av det avrinnande vattnet ökas. Dessutom bör parametrar kopplade till avdunstning undersökas för att fånga effekten av vegetationsförlusten. Jordens fältkapacitet i det översta markskiktet i modellen kan även behöva minskas för att representera effekten av förlorat organiskt material i marken.

1.1 SYFTE

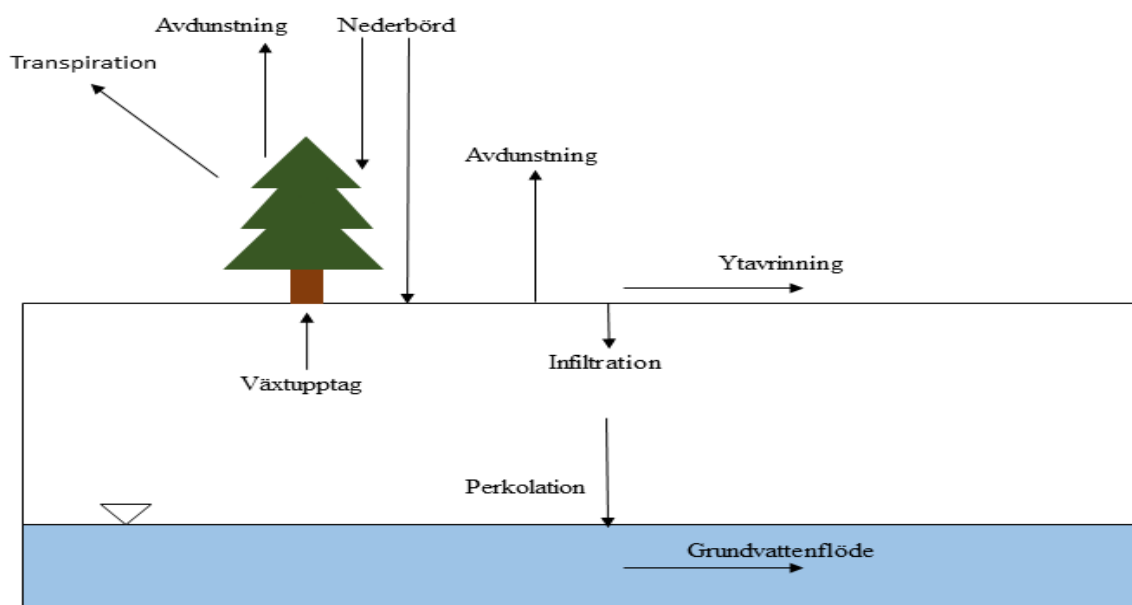
Projektet syftade till att studera om och i så fall hur vattenföringen har påverkats i brandskadad och avverkad skog.

1.2 AVGRÄNSNINGAR

I HYPE kan både vattenföring och flöden av näringsämnen modelleras men i detta arbete fokuserades endast att på vattenföring. Resultaten av modelleringen analyserades inte för hela brandområdet. Endast utvalda avrinningsområden med uppmätta vattenstånd användes i valideringen av resultaten.

2 TEORI

Den grundläggande frågan som behöver besvaras i hydrologiska modeller är hur flödet i ett vattendrag förändras till följd av nederbörd. Därför krävs kunskap om var vattnet hamnar, vilken väg vattnet tar till vattendraget och hur länge det stannar kvar i marken. All nederbörd når inte markytan eftersom växtligheten fångar upp en del av nederbörden (interception) varvid direkt avdunstning kan uppstå. Det vatten som når marknivå, nettonederbörden, kan delas upp i olika komponenter beroende på var den tar vägen. En del av vattnet kan rinna av direkt på markytan, då kallad ytvavrinning. Det resterande vattnet infiltrerar ner i marken där det kan lagras i den omättade zonen eller perkolera ner till grundvattnet (mättade zonen) där det kan rinna av marken som grundvattenutströmning, se Figur 1. Vatten kan även lämna marken genom växtupptag eller avdunstning. Vilken väg vattnet tar från att det når markytan har stor betydelse för hur stora flödestoppar det blir och hur lång tid det tar innan en flödestopp inträffar (Tarboton, 2013). Den nederbörd som faller på sjöar och vattendrag bidrar till en direkt ökning av flödet då vattnet inte påverkas av markprocesser som fördröjer flödet. Detta är extra viktigt att ta med i beräkningarna om det är ett område med stor andel ytvatten som undersöks.



Figur 1 Översikt av flödesvägar för nederbörd.

Infiltration är flödet genom markytan och det drivs av gravitationen och kapillärkraften. Den maximala hastigheten som marken kan absorbera vatten med beror på vegetation och jordart och kallas infiltrationskapacitet. Flertalet processer i marken påverkar infiltrationskapaciteten. När vattenhalten i marken ökar minskar kapillärkraften och det finns vissa jordarter som sväller när vattenhalten ökar vilket leder till att porvolymen minskar. Vid kraftig nederbörd kan markytan packas ihop men även slås sönder så att små partiklar sköljs med vattnet och täpper till porer i marken. Vegetationen har en viktig roll då den skyddar marken från regndroppars eroderande effekt samt att den tillför organiskt material till marken. Det organiska materialet är viktigt då det bidrar med föda till organismer och djur som lever i marken, vilka hindrar marken från att packas ihop (Tarboton, 2013).

Om regnintensiteten är lägre än infiltrationskapaciteten tränger all nederbörd ner i marken. I de fall då regnintensiteten överstiger infiltrationskapaciteten kommer det vatten som inte klarar av att tränga ner i marken att bidra till ytvavrinning eller ansamlas på marken för att sedan avdunsta eller infiltrera när markvattnet sjunkit undan. En viktig bidragande faktor till hur stort flödet blir i ett vattendrag är hur mycket vatten det finns lagrat i marken innan det regnar. I fuktiga klimat bidrar befintligt vatten med minst 50 % av det totala flödet vid en flödestopp (Buttle, 1994). För att det ska ske någon betydlig avrinning måste vattenhalten i marken vara tillräckligt stor, annars lagras vattnet i marken istället för att bidra till avrinning. Grundvattenytans nivå har följaktligen betydelse för hur stor avrinningen blir då det krävs mindre vatten för att den mättade zonen som bidrar till avrinning ska bli större. Infiltrerat vatten kan även flöda snabbt genom makroporer i marken och tillsammans med det befintliga vattnet i marken har de störst påverkan på ett vattendrags respons efter nederbörd, speciellt i områden där ytvavrinning sällan inträffar (Tarboton, 2013).

Den största lagringen av vatten sker i form av snö. Ett vanligt sätt att beskriva hur mycket snö som ackumuleras är att beräkna dess snö-vatten-ekvivalent (SWE). Det är ett mått på hur mycket vatten som skulle bildas om en viss mängd snö smälter, dvs. snödensitet multiplicerat med snödjup. Vanligtvis ökar mängden ackumulerad snö när höjden över havet ökar till följd av bland annat mer frekvent nederbörd samt mindre avdunstning (Winkler et al., 2010). Ackumulationen av snö i skogsmark påverkas av trädskronans utbredning, typ av träd och hur tät skogen är. I större del av Sverige är det snösmältningen under våren som ger upphov till de största flödena under året.

Markens vattenhalt påverkar både infiltrationskapaciteten och hur mycket vatten som kan lagras innan avrinning sker. Det innebär att det inte endast är regn- eller snösmältningsepisodens egenskaper som bestämmer hur flödet i ett vattendrag påverkas. Förhållandet i och på mark är minst lika viktiga för att kunna uppskatta flödeseffekter. Ett vattendrags flöde under perioder utan nederbörd betecknas som basflödet och det är då endast grundvattnet som bidrar till flödet (Tarboton, 2013).

2.1 HYDROLOGISKA FÖRÄNDRINGAR EFTER BRANDEN

Skogsbränder har direkt påverkan på hydrologin då stora delar av markvegetationen och humustäckets kan försvinna men även den efterföljande avverkningen av brandskadad skog kan förändra de hydrologiska förutsättningarna.

2.1.1 Avverkningens effekter

Totalavverkningar är betydligt vanligare än stora skogsbränder och det finns därför mer dokumentation om hur de hydrologiska egenskaperna förändras av en sådan händelse. Växtligheten har stor påverkan på vattenbalansen, speciellt i områden som är täckta av snö under en ansevärd del av året. I ett öppet landskap ackumuleras mer snö på marken och samtidigt är snötäcket mer exponerat för strålning än i ett skogsbeklätt område. Snösmältningen är därför större i öppna landskap vid temperaturer nära fryspunkten då strålningen är den drivande faktorn för hur mycket som smälter men när temperaturen stiger minskar skillnaden (Schelker et al., 2013). Det kan leda till att höga flöden uppstår tidigare på våren men flödet behöver dock inte alltid blir större i vattendrag med avrinning från öppna landskap. Vatten kan både avdunsta och lagras i marken innan det bidrar till flödet.

De flesta jordarter i Sverige har tillräckligt hög infiltrationskapacitet för att det inte ska ske någon ytavrinning förutom vid extrema väderförhållanden. Följaktligen sker den största delen av avrinningen under markytan. Avverkning kan påverka flödet under markytan genom att den ökade nettonederbörden leder till att mer vatten infiltreras ner i marken och bidrar till en högre grundvattenyta. En högre grundvattenyta gör att det krävs en mindre volym infiltrerat vatten för att öka det laterala flödet i marken. Då det inte krävs stora mängder vatten för att öka det laterala flödet får man en snabbare respons i vattendragen efter nederbörd (Winkler et al., 2010). Vid avverkningen kan även markens ytskikt packas ihop och infiltrationskapaciteten minska. Det faktum att träden inte fångar upp något regn gör att regnintensiteten på marken ökar vilket tillsammans med en minskad infiltrationsförmåga kan göra att ytavrinning bildas. Det krävs dock att stora delar av området har packats ihop vid avverkningen för att det ska ge någon större effekt.

Avdunstningen från våt barmark kan vara högre än avdunstning från ett skogsbeklätt område, men barmarken torkar oftast upp inom några dagar och då minskar avdunstningen betydligt. Under varma perioder resulterar det i ett torrt tunt ytskikt men marken under detta skikt är fortfarande fuktigt. Då inget upptag av vatten sker från träd och markvegetation, blir både avdunstningen och transpirationen från barmark i regel mindre än om det finns växtlighet (Winkler et al., 2010).

2.1.2 Bränders direkta effekt

Det sker ett direkt upptag av nederbörd även i markvegetationen men det tenderar att vara mindre än det upptag som sker via träden. Markvegetationen bidrar med både transpiration och direkt avdunstning från upptagen nederbörd, men dessa bidrag förloras efter bränder vilket leder till att mer vatten samlas i marken (Winkler et al., 2010). Som tidigare nämnt är det inte bara växtligheten som kan försvinna, utan även markens humustäcke kan skadas beroende på brandintensiteten. När humustäcket försvinner blir det mindre hållrum i marken som kan magasinera vatten (Losjö och Ghasem, 2015). I de fall bränder går djupt ner i marken tar det längre tid för växtligheten att komma tillbaka jämfört med om området endast hade avverkats. När skogen återigen börjar växa kan man vänta sig en högre transpiration till dess att skogen har återhämtat sig.

När organiska föreningar förångas i samband med bränder kan ett hydrofobt lager bildas i marken. Infiltrationen kan minskas betydligt av denna process vilket kan leda till att även grundvattenbildningen påverkas. Det vattenavstötande lagret kan bildas under det översta marklagret. I dessa fall blir infiltrationen hög till en början men när det översta lagret blir mättat begränsas infiltrationen. Eftersom både infiltrationen och grundvattenbildningen påverkas av bränder tenderar ytavrinningen att öka. Ytavrinning är en process som sker betydligt snabbare än infiltration och grundvattenflöde vilket resulterar i att flödestoppar blir större och tiden mellan nederbörd och flödestopp förkortas (Onodera and Ii, 2011).

2.2 TIDIGARE STUDIER

2.2.1 Sydafrika

I februari 1986 drabbades stora delar av ett forskningsområde i Sydafrika med planterad tallskog av en kraftig brand. Tack vare att det utfördes forskningsprojekt i det drabbade området fanns mätstationer som registrerade vattenflödet innan branden. Utöver vattenföring mättes även erosion och markens fuktighet. Redan efter de första fallen av nederbörd efter branden kunde det konstateras att de hydrologiska förutsättningarna hade förändrats i området. Efter branden jämfördes de 18 nederbördstillfällena under det första året med registrerade nederbördstillfällen före branden och flödestoppar som var 290% större efter branden observerades. Det totala flödet under det första året efter branden ökade endast med 12% men de stora skillnaderna registrerades under höga flöden (Scott och Van Wyk, 1990).

Fältobservationer visade att ett hydrofobt lager i marken ledde till att ytavrinningen bidrog med mer vatten till flödet i vattendragen. Metoderna som användes för att bestämma markens vattenavstötande förmåga var *water drop penetration time* (WDTP) och *critical surface tension* (CST). WDTP bestäms utifrån hur lång tid det tar för marken att absorbera en vattendroppe. I denna studie bestämdes WDTP genom att beräkna medeltiden för 10 vattendroppar vid varje mätpunkt. CST bestämdes med hjälp av flera olika alkohollösningar. Den lösning med högst ytspänning som gjorde marken fuktig bestämde värdet för CST. Utifrån erhållna värden för WDTP och CST bestämdes markens vattenavstötande förmåga enligt Ekvation 1, där RI (repellency index) är ett enhetslöst index (Scott och Van Wyk, 1990).

$$RI = \frac{WDTP}{CST} \quad (1)$$

Med hjälp av RI-värdet klassades marken som antingen avstötande, något avstötande eller absorberande. Ett värde över 1000 klassades som avstötande medan ett värde under 100 klassades som absorberande, samtliga värden mellan 100 och 1000 ansågs vara något avstötande. Mätningar utfördes vid 12 platser som inte drabbats av branden samt vid 12 punkter vardera där brandintensiteten varit låg respektive hög. För samtliga mätpunkter utfördes mätningar vid fyra olika djup i markprofilen (0-10, 10-30, 30-100, >100 mm) (Scott och Van Wyk, 1990).

Resultaten av mätningarna visade att det naturligt finns vattenavstötande material i marken. Andelen vattenavstötande material ökade något med djupet men dessa utgör endast en liten andel av marken (20-30%). Både vid låg och hög brandintensitet observerades en markant skillnad. Vid djup mellan 30-100 mm är nästan hela markprofilen vattenavstötande, 80-90%. Skillnaden mellan låg och hög brandintensitet var att vid hög intensitet är andelen klassad som avstötande störst, medan den största delen av marken vid låg brandintensitet är klassad som något avstötande. Vid djup större än 100 mm observerades ingen, eller endast liten, avvikelse mellan mätpunkter med låg brandintensitet och oskadade områden men vid mätpunkter med hög intensitet syntes skillnader även vid detta djup (Scott och Van Wyk, 1990).

Utöver brandområdet utfördes även mätningar, både före och efter branden, i ett närliggande område med liknande egenskaper som användes som referensområde. För att bestämma brandens eroderande effekt jämfördes förändringar av mängden material som transporterades bort från de båda områdena. Efter branden observerades en betydlig ökning av transporterat material inom brandområdet medans det under samma period inte skedde några förändringar inom referensområdet. Större flöden leder till mer tillgänglig energi som kan transportera material i vattendragen. Transporten av både suspenderat sediment och större material längs med vattendragens botten var ungefär fyra gånger större i det brandskadade området (Scott och Van Wyk, 1990).

2.2.2 Frankrike

Rimbaud är ett område i södra Frankrike som är en del av ett större forskningsområde som övervakats under en längre tid, sedan 1967 finns det kontinuerliga mätningar utförda. I augusti 1990 skadades 85% av området i en skogsbrand vilket gav en möjlighet att studera skogsbränders hydrologiska effekter. Den tidsperiod som mätningar utförts innan branden användes som referens för att bestämma avrinningsområdets normala respons vid nederbörd. Linjära regressioner och en hydrologisk modell kalibrerades med hjälp av referensperioden för att simulera hur vattenföringen hade sett ut om inte branden hade inträffat. Eventuella skillnader mellan det simulerade flödet och det uppmätta flödet efter branden analyserades sedan. Även ett referensområde användes för att kunna utesluta att eventuella skillnader berodde på klimatet under året efter branden. Studien syftade huvudsakligen till att undersöka dels hur den totala avrinningen under året förändrades samt hur områdets flödesregim påverkades (Lavabre et al., 1993).

Beräkningar gällande hur det totala flödet under ett år efter branden påverkades utfördes med hjälp av en variant av ekvationen för vattenbalansen (se Ekvation 2) där AL är årlig förlust, AP är årlig nederbörd och AR är årlig avrinning (Lavabre et al., 1993).

$$AL = AP - AR \quad (2)$$

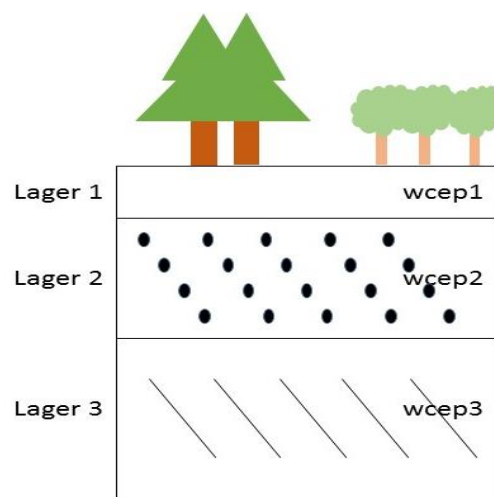
Eftersom det finns registrerade värden för nederbörd och avrinning både före och efter branden kan eventuella skillnader i årlig vattenförlust antas vara effekter som uppstått av branden. Vid jämförelser av det årliga flödet var det registrerade flödet 25% större än det beräknade flödet som erhöles med hjälp av referensperioden. Observationen att flödet ökade efter branden styrktes av att den årliga vattenförlusten. I Rimbauds avrinningsområde registrerades den lägsta förlusten sedan mätningarna började år 1967 samtidigt som referensområdet visade de största förlusterna någonsin. De låga vattenförlusterna anses bero på förlusten av vegetation i området (Lavabre et al., 1993).

Resultaten av jämförelser mellan flödestoppar före och efter branden visar på tydliga förändringar i områdets hydrologi. Tre gånger under det första året efter branden observerades flöden som var större än flödet med 10 års återkomsttid. Dessa höga flöden uppstod trots att nederbörden var lägre eller lika med vad som är normalt för regnintensitet med en återkomsttid på ett år. Efter branden leder följaktligen regnintensitet med ett års återkomsttid till ett flöde som motsvarar storleken av ett flöde med 10 års återkomsttid. Under hela den 23 år långa referensperioden översteg flödet med 10 års återkomsttid endast två gånger vilket ytterligare indikerar att flödesregimen har förändrats (Lavabre et al., 1993).

2.3 HYPE

Det område som ska modelleras delas vanligtvis upp i mindre delavrinningsområden. Delområden kan antingen vara separata eller sammankopplade med varandra genom vattendrag eller grundvattenflöde. Varje område klassificeras vanligtvis utifrån markanvändning och jordart, där olika kombinationer av dessa betecknas som en klass. Varje delavrinningsområde har en specifik fördelning av klasserna. Sjöar räknas också som en klass men behandlas på annat sätt av modellen än markklasserna. Det finns ingen geografisk anknytning för de olika klasserna i ett område utan de anges som en andel av hela områdets area.

Parametrar kan vara generella och gäller då för hela modellen men de kan även vara beroende av jordart eller markanvändning. Marken kan vid behov delas upp i maximalt tre lager med varierande tjocklek, se Figur 2. Det översta markskiktet är vanligtvis tunnast i modellen med en tjocklek mellan 0,1-0,25m. Det andra och tredje markskiktet har en större mäktighet och varierar mellan 0,5-1m respektive 1-2,5m. De olika lagren kan antingen ha samma fysikaliska egenskaper eller tilldelas separata värden på parametrarna ifall markens egenskaper skiljer sig mycket åt på olika djup i jordprofilen. (Lindström et al., 2010).



Figur 2. Tvärsnitt av markprofil i HYPE. Markskikten är tilldelade separata värden, i detta fall för den effektiva porositeten (wcep).

De parametrar som beror av markanvändning bestäms utifrån typ av växlighet eller gröda som växer i området. Tillsammans med de parametrar som beror av jordart utgör de markklassens specifika egenskaper. Det finns även regionala parametrar som erhålls från ett närliggande kalibrerat område, dessa korrigerar faktorer som till exempel nederbördsdata och avdunstning.

2.3.1 Indata

Det finns inget användargränssnitt i HYPE. Modellen drivs av temperatur och nederbörd och alla indata finns i flertalet separata textfiler, se Tabell 1. De filer som presenteras i Tabell 1 krävs för att modellen ska kunna användas. Det finns många fler tillgängliga indatafiler, som specifika filer för grödor och sjöar, men dessa behövs inte för att kunna köra modellen (SMHI, 2015a).

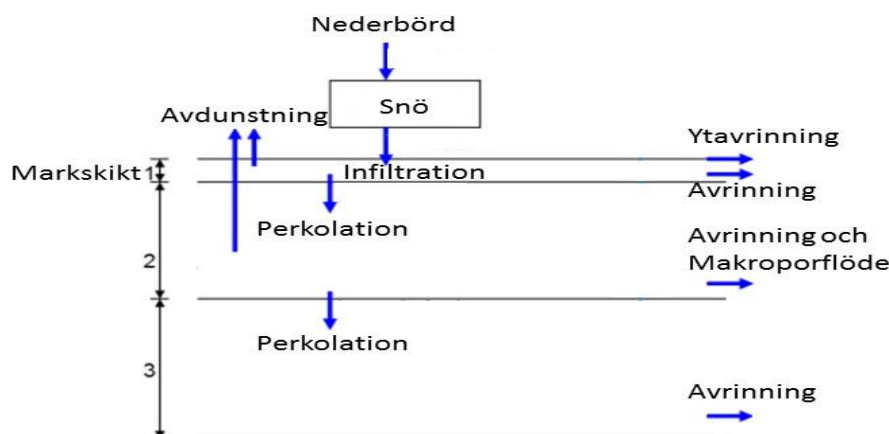
Tabell 1. Förklaring av de olika filerna i HYPEs indata.

Filnamn	Beskrivning
Pobs.txt	Nederbörd
Tobs.txt	Temperatur
Info.txt	Ger modellen instruktioner om vad som ska utföras
Geodata.txt	Områdesbeskrivning
Geoclass.txt	Definierar de olika mark- och sjöklasserna
Par.txt	Anger värden för samtliga parametrar i modellen

Info.txt bestämmer vilka beräkningar som ska utföras och ger alla instruktioner till modellen angående vad som ska modelleras. Områdesbeskrivningen finns i en egen fil, Geodata.txt, som bland annat anger hur stor andel av olika klasser som ett avrinningsområde består av samt vilka avrinningsområden som är sammankopplade med varandra. De egenskaper som olika jordarter och markanvändningar har gällande bland annat porositet, fältkapacitet samt generella parametrarna som gäller för samtliga områden anges i par.txt (SMHI, 2015a).

2.3.2 Flöden i HYPE

Markens vattenhållande förmåga bestäms utifrån markprofilens vissningsgräns, fältkapacitet och dess effektiva porositet. Om marken är uppdelad i flera lager kan dessa parametrar ges ett specifikt värde för varje skikt i profilen. Ytavrinning sker antingen när infiltrationen är låg eller när grundvattenytan når marknivå, se Figur 3. Storleken på ytavrinningen vid ett avrinningstillfälle styrs av parametrar som är knutna till jordart och definieras i par.txt-filen (SMHI, 2015b).



Figur 3. Översikt av flödesvägar i HYPE.

Avrinning och perkolation sker när mängden vatten överstiger fältkapaciteten. Det är endast den andel vatten som överstiger fältkapaciteten som perkolerar ner i marken. Hur stort flöde som kan uppstå mellan två olika markskikt begränsas av den maximala perkolationen och hur mycket vatten det underliggande lagret kan ta emot, vilket beror på vattenmättnadsgraden i det skiktet. Avrinning från ett skikt uppstår då vatten inte har möjlighet att perkolera ned till nästa markskikt. Samtliga marknivåer som är ovanför dräneringsdjupet kan bidra till avrinningen. I HYPE definieras dräneringsdjup som det största djupet varifrån markvatten kan bidra till avrinning. Vattennivån beräknas individuellt för samtliga lager utifrån hur stor del av

den effektiva porositeten som är vattenfylld. Vattennivån i det lager som ligger djupast och inte är helt vattenfyllt är systemets grundvattenyta. Djupet för grundvattenytan anges som det negativa avståndet från markytan till vattennivån vilket leder till att ett positivt avstånd betyder att marken är under vatten (SMHI, 2015b).

2.3.3 Avdunstning

I de fall då det inte finns några uppmätta värden för avdunstningen beräknas den potentiella avdunstningen utifrån temperaturen och antas ske när temperaturen stiger över ett bestämt gränsvärde, se Ekvation 3. Det finns flera sätt att beräkna avdunstningen i HYPE men den som beskrivs i Ekvation 3 är den som är mest använd. $epot_{base}$ beror endast av temperaturen och en hastighetskonstant som definieras i parameterfilen. $cevp_{corr}$ är en regional parameter som korregerar avdunstningen utifrån ett närliggande område som tidigare är kalibrerat.

$$epot = epot_{base} * epot_{corr} * (1 + cevp_{corr}) \quad (3)$$

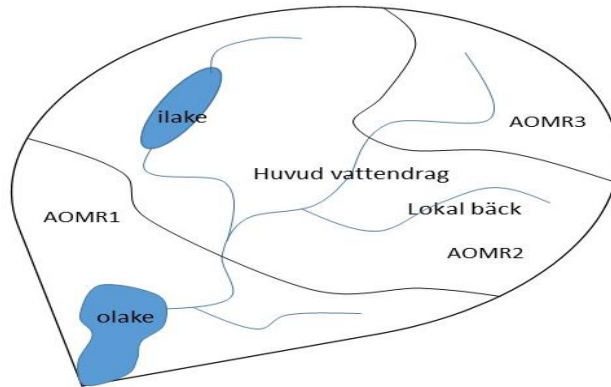
Eftersom avdunstningen varierar under de olika årstiderna då det vanligtvis är torrare luft på våren och fuktigare på hösten justeras den potentiella avdunstningen med korregeringsfaktorn $epot_{corr}$, se Ekvation 4. Korrektionen följer en sinuskurva så att den största avdunstningen sker på våren och den lägsta på hösten. Amplituden för kurvan bestäms av $cevp_{am}$ och tidpunkten för när den potentiella avdunstningen ska vara som störst kan justeras med hjälp av en parameter, $cevp_{ph}$, som ger en förskjutning av sinuskurvan (SMHI, 2015c).

$$epot_{corr} = 1 + cevp_{am} * \sin\left(\frac{2 * \pi * (dayno - cevp_{ph})}{365}\right) \quad (4)$$

Om marken är uppdelad i flera lager sker avdunstning från de två översta nivåerna och avtar exponentiellt som funktion av djupet. Avdunstning sker då mängden vatten överstiger fältkapaciteten, eller är en relativt stor andel av fältkapaciteten. Hur stor del av fältkapaciteten som måste vara vattenfylld för att avdunstning ska ske bestäms av en generell parameter som gäller för hela området som modelleras. När andelen vatten i marken är lika med eller lägre än vissningsgränsen sker ingen avdunstning. Avdunstning från sjöar och vattendrag antas ske med samma hastighet som den potentiella avdunstningen då temperaturen överstiger gränsvärdet (SMHI, 2015c).

2.3.4 Sjöar och vattendrag

I HYPE finns det både lokala bäckar och huvudvattendrag, se Figur 4. De huvudsakliga vattendragen kan definieras som en markanvändningsklass och på så vis erhålla en area men de kan även vara en-dimensionella. De upptar då inte någon yta i avrinningsområdet och mottar inte heller någon nederbörd. All lokal avrinning från de olika markklasserna inom ett område bidrar till flödet i de lokala vattendragen som sedan mynnar ut i den huvudsakliga strömfåran tillsammans med flödet från uppströms avrinningsområden. Fördröjningen av flödet beräknas utifrån vattendragets längd och den generella parametern $rivvel$ (maximal flödes hastighet). Hur stor fördröjningen blir beror även på avrinningsområdet då vattendragets längd beräknas från områdets area om inte längden anges (SMHI, 2015d).



Figur 4. Tre avrinningsområden (AOMR) med ett huvudvattendrag och lokala bäckar. I AOMR2 finns en lokal sjö och i AOMR1 finns en utloppssjö.

Precis som för vattendrag finns det två olika typer av sjöar i modellen, utloppssjöar (olakes) som är utlopp från ett avrinningsområde och lokala sjöar (ilakes), se Figur 4. De är två olika markklasser i modellen. Utloppssjöar tar emot allt lokalt vatten och det vatten som kommer från uppströms avrinningsområden medan lokala sjöar endast tar emot en del av den lokala avrinningen. Varje utloppssjö har ett specifikt tröskelvärde som gör att utflödet upphör om vattenytan sjunker under den angivna nivån. Sjöar kan tilldelas specifika avbördningskurvor för att beräkna utflödet som funktion av vattenstånd men en generell avbördningskurva används där avbördningskurvan inte har bestämts (SMHI, 2015d).

2.3.5 Snö

I HYPE finns nederbörd i form av både snö och regn om temperaturen ligger inom ett intervall kring ett visst gränsvärde, men när temperaturen sjunker under detta intervall består nederbörden endast av snö. Snö ackumuleras i modellen ända tills temperaturen överstiger samma gränsvärde som bestämmer i vilken form nederbörd faller (Lindström et al., 2010). Snötäckets tjocklek bestäms utifrån snöns densitet. Direkt efter ett snöfall är densiteten som lägst och stiger sedan som en funktion av antalet dagar. Snösmältningen beräknas utifrån gränsvärdestemperaturen, temperaturen i luften och en konstant parameter som är specifik för varje markanvändning.

2.3.6 Nash-Sutcliffe

Det finns många olika metoder för att undersöka hur väl en modell presterar. Nash-Sutcliffes effektivitetskoefficient (NSE) är en av de vanligaste metoderna för att beskriva noggrannheten i hydrologiska simuleringar och metoden finns integrerad i HYPE. Att metoden används i så pass stor utsträckning är ett bra skäl till att använda den då man kan jämföra precisionen med många andra resultat (Krause et al., 2005). NSE är definierad enligt Ekvation 5 där O är det observerade värdet, $\bar{O}$ är medelvärdet av samtliga observationer och P är det simulerade värdet.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

NSE har en skala från $-\infty$ till 1. Resultat mellan 0 och 1 anses vara acceptabla och 1 är det optimala värdet då simuleringarna och de uppmätta värdena överensstämmer helt.

3 MATERIAL OCH METOD

Vattenståndsmätningar är utförda i fem vattendrag inom brandområdet samt ett referensvattendrag. Mätningarna är utförda av Institutionen för vatten och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). De första mätningarna är från början av september 2014, endast en månad efter det att branden var under kontroll. Tryckgivare placerades i de utvalda vattendragen och registrerade vattennivån med ett intervall på 15 eller 30 minuter. Flödesmätningar är utförda av både Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) och Institutionen för vatten och miljö vid SLU i de utvalda vattendragen men det är inte samma metod som har använts vid mätningarna, så resultaten kan inte användas tillsammans för att skapa en avbördningskurva.

De ursprungliga avrinningsområdena i HYPE stämde inte överens med placeringen av mätstationernas avrinningsområden. En finare uppdelning krävdes för att flödet vid mätstationerna skulle kunna jämföras med de som modelleras. Utifrån tidigare examensarbete utfört av Anna Landahl (2015) angående brandområdet skapades därför nya avrinningsområden vid SMHI.

3.1 VAL AV AVRINNINGSSOMRÅDE

Valsjöbäcken ansågs vara ett lämpligt avrinningsområde, då det är den bäck med flest utförda flödesmätningar och SMHI har även äldre mätningar utförda vid en mätstation i vattendraget. Mätstationen var i bruk fram till 1998 men har sedan varit ur funktion. En tid efter branden reparerades mätstationen och är återigen i bruk. Det faktum att i stort sett hela Valsjöbäckens avrinningsområde och det område uppströms som bidrar till flödet vid mätstationen ligger inom brandområdet är ytterligare en faktor som gör området lämpligt att använda för kalibrering.

3.1.1 Områdesbeskrivning

I HYPE är det avrinningsområde som bidrar till flödet vid Valsjöbäckens mätstation uppdelat i två separata områden. Områdesbeskrivningen i detta avsnitt avser hela det område som bidrar till flödet. Valsjöbäcken är beläget väster om Sala i den nordvästra delen av brandområdet och dess avrinningsområde är 17,69 km², se Figur 5. Den öppna torvmarken var den markanvändning som drabbades lindrigast inom området. Även fast torven påverkades minst var det endast cirka en fjärdedel av all torvmark som inte drabbades av branden. Resterande del av torvmarken drabbades i ungefär lika stor omfattning av svedd, bränd samt hårt bränd mark. De skogbeksädda områdena drabbades kraftigast. Drygt 75 % av all skog blev hårt bränd och resterande skog blev även bränd men med lägre intensitet. Endast försumbart små skogspartier inom avrinningsområdet påverkades inte branden. Hur stor utbredning varje kategori utgjorde bestämdes utifrån ortofoton vilket gav vissa osäkerheter då olika kategorier var svåra att urskilja på dessa foton (Landahl, 2015).



Figur 5. Det heldragna blå området visar Valsjöbäckens avrinningsområde. Den streckade blå linjen visar det avrinningsområde uppströms som bidrar till flödet vid Valsjöbäckens mätstation. (Publicerad med tillstånd av ©SMHI).

Den dominerande jordarten är morän men det finns även mindre områden med torv, se Tabell 2. Växtligheten i avrinningsområdet består till största del av barrskog med mindre inslag av våtmarker och hyggen. Efter branden är dock den största delen av all skog och växtlighet död och fyller inte längre sin tidigare funktion ur ett hydrologiskt perspektiv.

Tabell 2. Dominerande markanvändning och jordart inom Valsjöbäckens avrinningsområde.

Markanvändning	Area (m ²)	% av area	Jordart	Area (m ²)	% av area
Åkermark	133125	0,75	Torv	3395625	19,20
Lövskog	174375	0,99	Morän	12140000	68,65
Barrskog	12896250	72,92	Urberg	1615000	0,91
Blandskog	275625	1,56			
Våtmark	1406875	7,95			
Hygge	2345000	13,26			
Vatten	496875	2,81			
Övrigt Vegetationstäck	90625	0,51			

Efter branden har delar av den brandskadade skogen avverkats. I stort sett all avverkning är utförd under perioden oktober 2014 till mars 2015 (Kling, 2015).

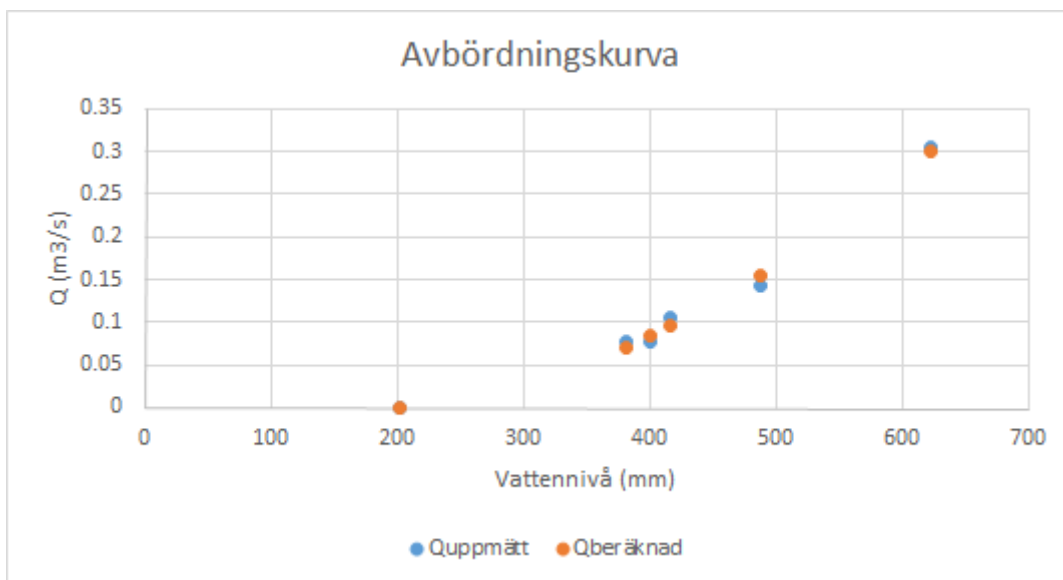
3.2 AVBÖRDNINGSKURVA

En av de viktigaste komponenterna inom hydrologiska undersökningar är tidsserier med uppmätt vattenföring. Mätosäkerheten är en av de starkast bidragande faktorerna till osäkerheter i flödesserier. I de flesta vattendrag finns inte mätstationer och då anpassas istället en avbördningskurva till utförda mätningar. Eftersom de mätningar som avbördningskurvor baseras på innehåller osäkerheter återfinns felen i avbördningskurvan. Flödet kan även förändras med tiden genom till exempel erosion, sedimentation eller förändrad växtlighet (Tomkins, 2014). Till följd av att avbördningskurvan är sammanlänkad med flera olika osäkerheter är det viktigt att utföra ett stort antal fältmätningar för att minimera osäkerheten.

För att erhålla en avbördningskurva för Valsjöbäcken anpassades de utförda flödesmätningarna med hjälp av Excel till en generell ekvation för avbördningskurvor, se Ekvation 6. Utflödet (Q) bestäms som en funktion av skillnaden mellan uppmätt vattennivå (h) och vattennivån då flödet är lika med noll (h_0). Konstanten a beror på avrinningsområdets storlek och n bestäms utifrån hur stor procent av avrinningsområdet som består av sjöar.

$$Q = a(h - h_0)^n \quad (6)$$

Vid beräkning av avbördningskurvan användes de uppmätta vattennivåerna i Valsjöbäcken som h i Ekvation 6. Därefter antogs ett initialt värde för samtliga konstanter för att erhålla en avvikelse mellan det beräknade och uppmätta flödet. I Excel summerades sedan avvikelsen vid samtliga mätningar. För att minimera avvikelsen utfördes sedan en anpassning av samtliga mätningar med konstanterna a , n och h_0 som fria variabler. Det beräknade flödet med Ekvation 6 plottades sedan mot det uppmätta värdet, se Figur 6.



Figur 6. Quppmätt är de flöden som är uppmätta i fält och Qberäknad är de flöden som erhöles efter att Ekvation 6 anpassades till de uppmätta flödena.

Vattenståndsmätningarna för Valsjöbäcken är utförda var 30:e minut men då HYPE använder en dag som tidssteg vid simuleringar, beräknades ett dagsmedelvärde för mätningarna. Därefter användes den uppmätta vattennivån vid tryckgivarmätningar som h i Ekvation 6 och på så vis omvandlades den uppmätta vattennivån efter branden till uppmätt vattenföring.

3.3 KALIBRERING

Initiala värden erhålls i HYPE genom att ange ett tidigare startdatum för modellen än den period som ska undersökas. Modellen använder sig av inkörningsperioden för att eliminera eventuella fel i de initiala värden som finns i modellen. I denna studie användes en inkörningsperiod på fem år. Den första simuleringen utfördes mellan åren 1990-1998 utan att ändra några parametrar och jämfördes med den uppmätta vattenföringen vid SMHIs mätstation. Därefter kalibrerades modellen för denna tidsperiod för att se hur väl modellen presterade innan branden och på så vis försäkra att de effekter som syns efter branden inte beror på modellen. De kalibrerade parametrarna innan branden användes vid modellering av tidsperioden efter branden och eventuella skillnader noterades. Sedan kalibrerades modellen återigen för att återspegla de nya förhållanden som branden har skapat.

3.3.1 Modellanpassning i HYPE

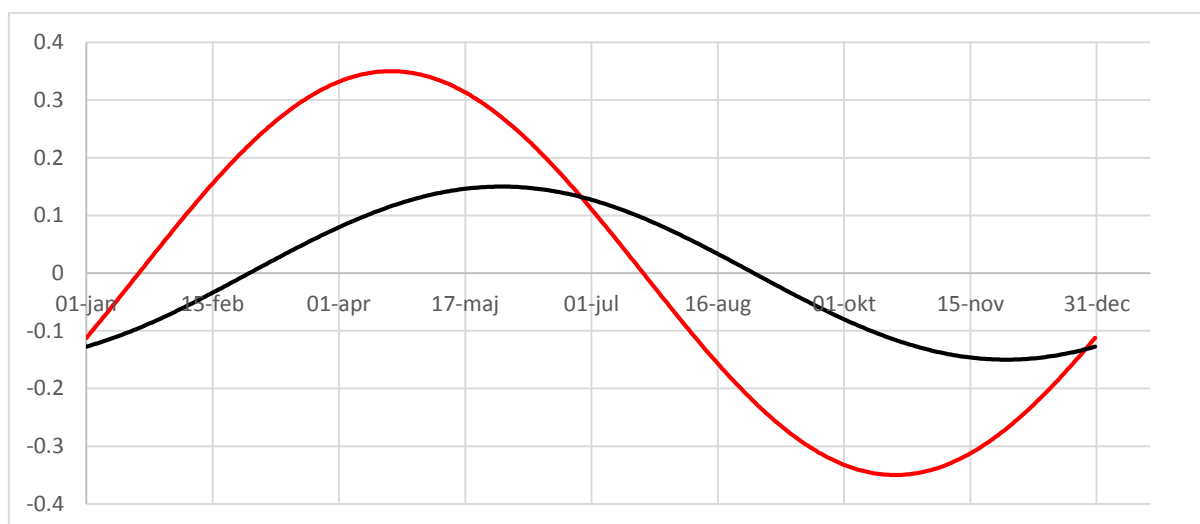
Kalibrering i HYPE är en iterativ process där varje parameter ändras var för sig och eventuella effekter studeras. Valet av parametrar som varierades under kalibreringen grundades dels på de förväntade förändringarna av branden men även på de visuella skillnader som kunde observeras innan kalibreringen. Eftersom avdunstningen har en stor påverkan på vattenbalansen i ett område och till stor del påverkas av växtligheten ansågs parametrar som berör avdunstningen (cevpam, cevpph och cevp) nödvändiga att kalibrera. Förlusten av vegetation innebar även att den parameter som bestämmer hur stor del av nederbörden som når markytan, preccorr, var av intresse att undersöka. De förväntade effekterna i marken, som mindre hålrum och sänkt kapacitet att lagra vatten samt hydrofoba markskikt, ledde till att parametrar som styr effektiv porositet, fältkapacitet och ytavrinning varierades. Under anpassningen av modellen undersöktes flertalet parametrar som inte berördes av hypotesen gällande vilka effekter branden skulle kunna tänkas orsaka. Detta utfördes för att undersöka om det fanns faktorer som inte påträffats i tidigare studier som kan påverka på de hydrologiska förutsättningarna efter en brand.

Resultaten utvärderades både visuellt och med hjälp av Nash-Sutcliffes effektivitetskoefficient. Vid samtliga simuleringar plottades det beräknade flödet mot det uppmätta flödet för att visuellt kunna se vad som händer med vattnet i modellen. De parametrar som gav en förbättrad anpassning av det beräknade flödet efter branden redovisas i Tabell 3.

Tabell 3. Redovisning av de parametrar som gav en förbättring vid kalibrering av modellen.

Parameter	Beskrivning
cevpam	Amplitud för sinuskurvan som korregerar avdunstning
cevpph	Förskjutning av sinuskurvan som korregerar avdunstning
cevp	Bestämmer avdunstningens storlek
cmlt	Bestämmer hur snabbt snön smälter
ttmp	Gränsvärde för snösmältning och avdunstning
rrsc1	Recessionskoefficient för det översta markskiktet
srrate	Andel ytavrinning
wcep1	Effektiv porositet i det översta markskiktet
wcfc1,2,3	Andel vatten tillgängligt för avdunstning men inte för avrinning
mactrinf	Gränsvärde för flöde i makroporer
preccorr	Korregerar hur stor andel av nederbörden som når markytan

Avdunstningen är som tidigare nämnt i regel som störst på våren och som lägst på hösten. De periodiska variationerna korrigeras av de två parametrar cevpam och cevpph vilka beskrivs i Figur 7. Hur kurvan för korrigeringen ändrades studerades visuellt för att få förståelse av vad som händer i modellen när dessa parametrar ändras. Den röda kurvan har ett större värde för cevpam vilket ger större variationer beroende på årstid och är förskjuten så att avdunstningen är som störst tidigare på våren jämfört med den svarta kurvan.



Figur 7. Visuell beskrivning av korrigerad avdunstning där den svarta kurvan har ett lägre värde för amplitud samt att den maximala korrigeringen av avdunstning inträffar senare på året jämfört med den röda kurvan.

Den klart dominerande markklassen i området är barrskog kombinerat med morän, se Tabell 4. Vid ändring av parametrar i andra förekommande markanvändningar och jordarter, som till exempel hygge och torvmark, blev eventuella effekter mycket små. Kalibrering i HYPE är en tidskrävande process vilket resulterade i att fokus lades på att endast ändra parametrar kopplade till barrskog och morän. Den eventuella förbättring som skulle kunna erhållas genom att kalibrera samtliga markklasser ansågs vara för liten i proportion till arbetet som krävs för att uppnå den.

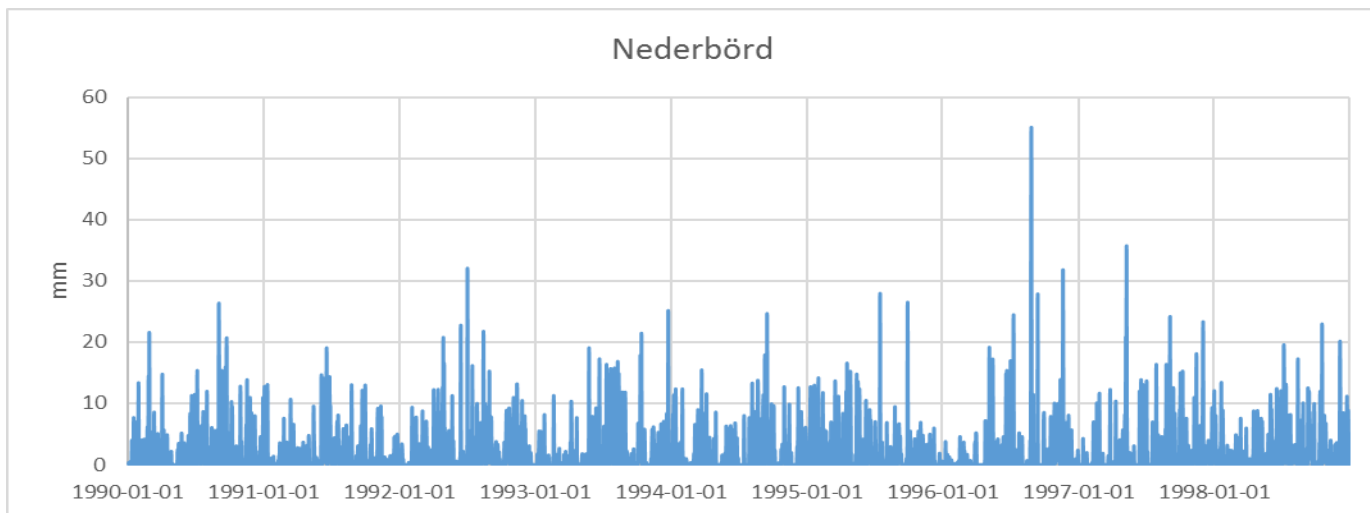
Tabell 4. Översikt av olika markklasser i HYPE inom Valsjöbäckens avrinningsområde.

Markklass nr.	Markanvändning	Jordart	Area (% av AOMR)
1	Sjö (olakes)	Vatten	1,01
7	Barrskog	Torv	15,26
10	Barrskog	Morän	69,57
11	Barrskog	Tunn jord/kalt berg	6,98
23	Sjö (ilakes)	Vatten	1,41
57	Hygge	Morän	3,73

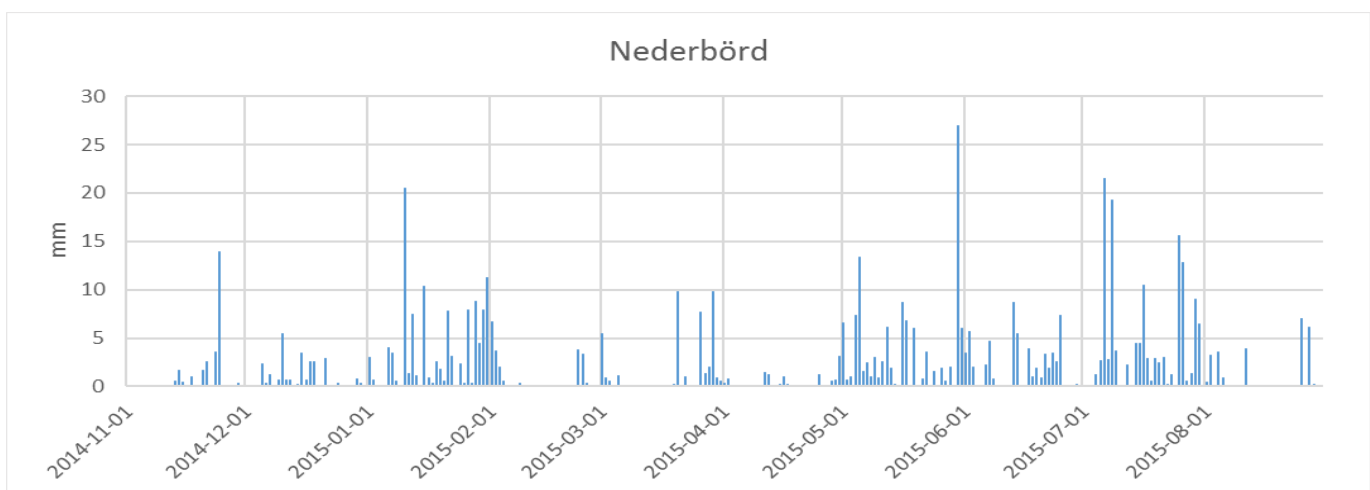
Markklasserna i HYPE beskriver området som det såg ut före branden. Istället för att ändra parametrar i befintliga markanvändningar och jordarter skulle en ny indelning av markklasser kunna tilldelas innan kalibreringen. Brandskadad skog och mark skulle då bli en egen markklass och anges som en area av avrinningsområdet. I detta fall är hela avrinningsområdet skadat av branden vilket leder till att de ursprungliga markklasserna inte existerar efter branden. I praktiken leder det till att markanvändningen barrskog representerar markanvändningen för brandskadad skog efter branden. Detsamma gäller för jordarten morän som efter kalibreringen representerar brandens effekter i markprofilen. Till följd av detta valdes att inte skapa nya markklasser innan kalibreringen utfördes. När modellen är kalibrerad kan de erhållna parametervärdena för barrskog och morän användas för att skapa en ny markanvändning och jordart vilka tillsammans kan representera en brandskadad markklass i avrinningsområden där inte hela arean är brandskadad.

3.4 INDATA TILL MODELLERING

Då det inte finns några mätstationer för temperatur och nederbörd inom brandområdet är dessa indata interpolerade värden framtagna av SMHI. Nederbörden i Valsjöbäcken för perioden 1990-1998 redovisas i Figur 8 och för perioden som simulerades efter branden redovisas i Figur 9.

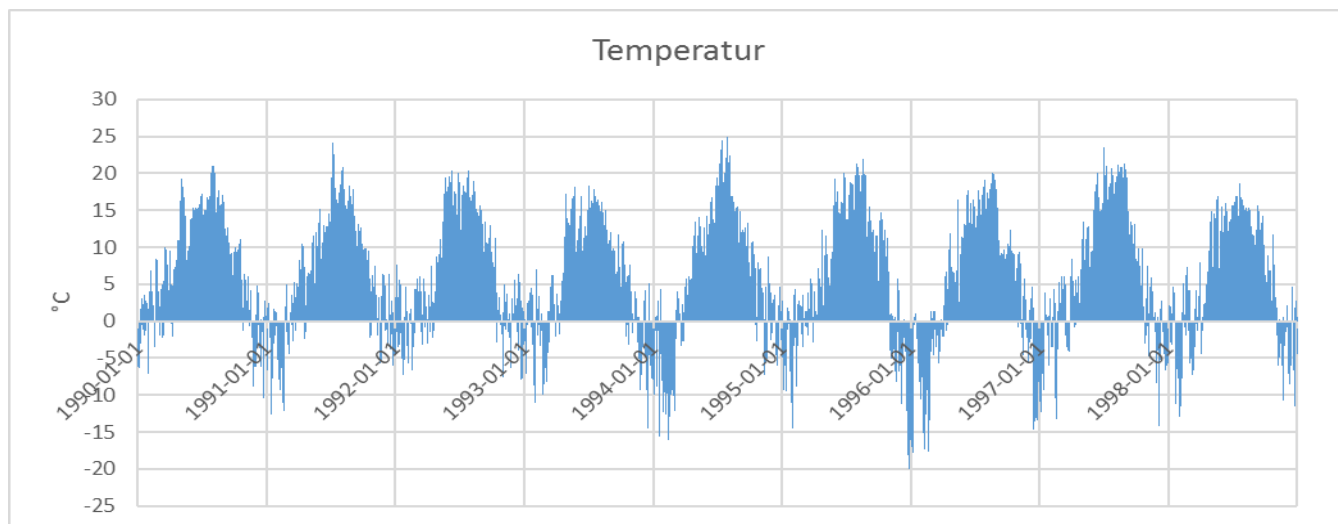


Figur 8. Nederbörd i Valsjöbäckens avrinningsområde mellan 1990-1998.

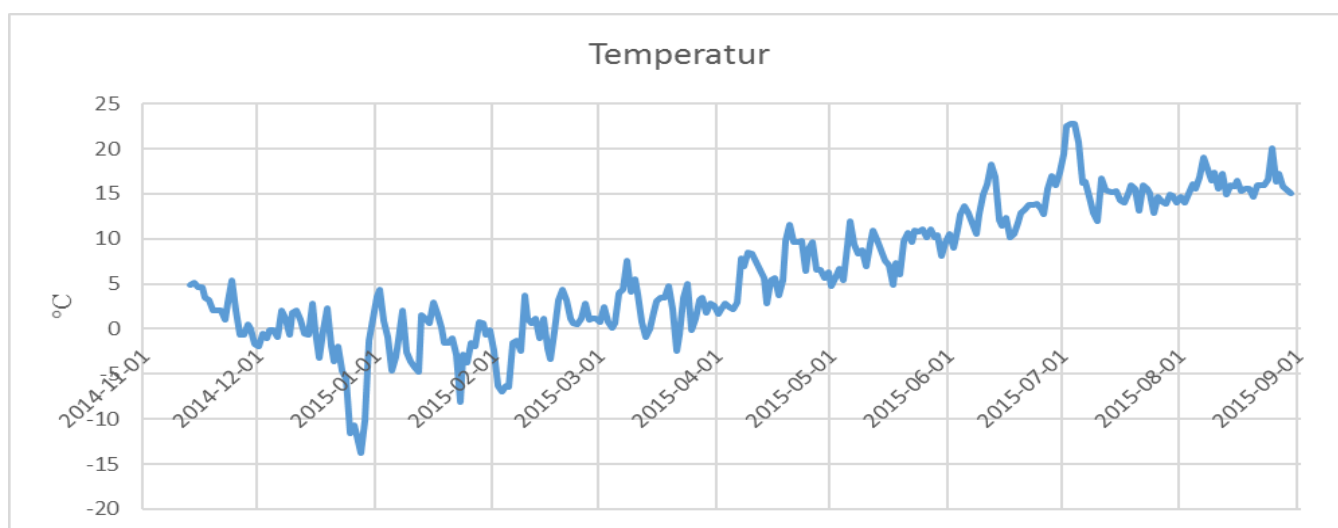


Figur 9. Nederbörd i Valsjöbäckens avrinningsområde under den simulerade perioden efter branden.

Temperaturen vid Valsjöbäcken för perioden 1990-1998 redovisas i Figur 10 och temperaturen för perioden som simulerades efter branden redovisas i Figur 11.



Figur 10. Temperatur inom Valsjöbäckens avrinningsområde under perioden 1990-1998.



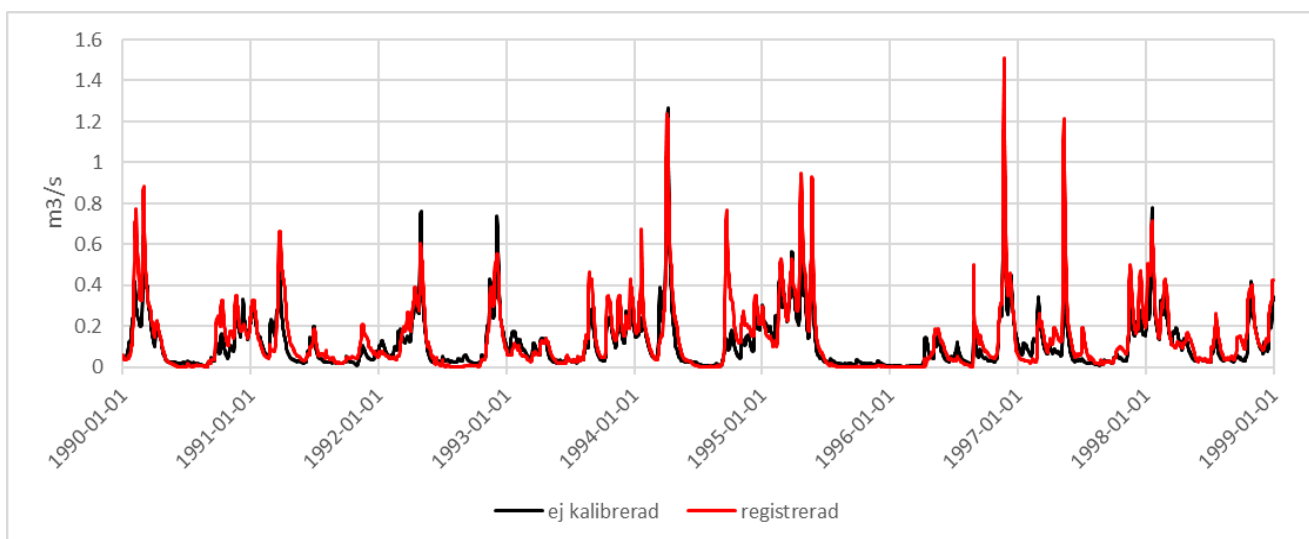
Figur 11. Temperatur inom Valsjöbäckens avrinningsområde under den simulerade perioden efter branden

4 RESULTAT

Följande kapitel redovisar simuleringar utförda både före och efter branden samt vilka parametrar som har justerats för att efterlikna de förhållanden som branden har skapat.

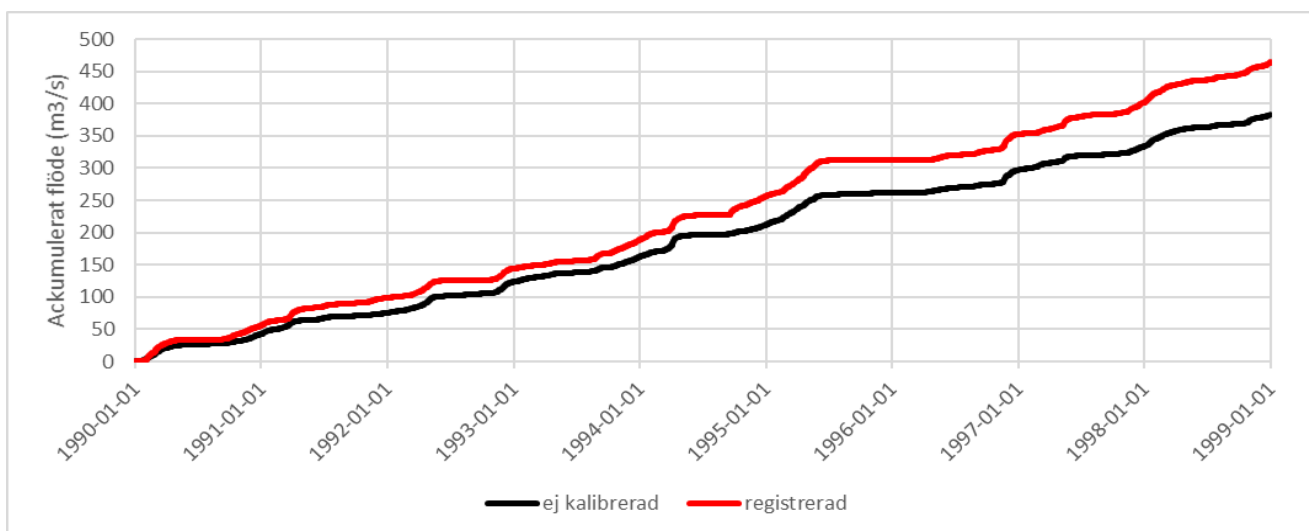
4.1 FÖRE BRANDEN

Vid simulering med originalparametrar för tidsperioden 1990-1998 erhöles ett NSE-värde på 0,785. Det modellerade flödet stämde väl överens med det registrerade flödet, se Figur 12. De mest frekvent förekommande avvikelserna observerades under hösten. Det modellerade flödet var generellt sett lägre under den perioden av året.



Figur 12. Den röda kurvan visar det registrerade flödet mellan 1990-1998 vid SMHIs mätstation. Den svarta kurvan visar det modellerade flödet för samma tidsperiod innan HYPE kalibrerades.

För att kunna utskilja eventuella avvikelser mellan simulerat och uppmätt flöde jämfördes även den ackumulerade vattenföringen, se Figur 13.



Figur 13. Jämförelse av ackumulerat flöde för både simulerade och uppmätta värden under perioden 1990-1998.

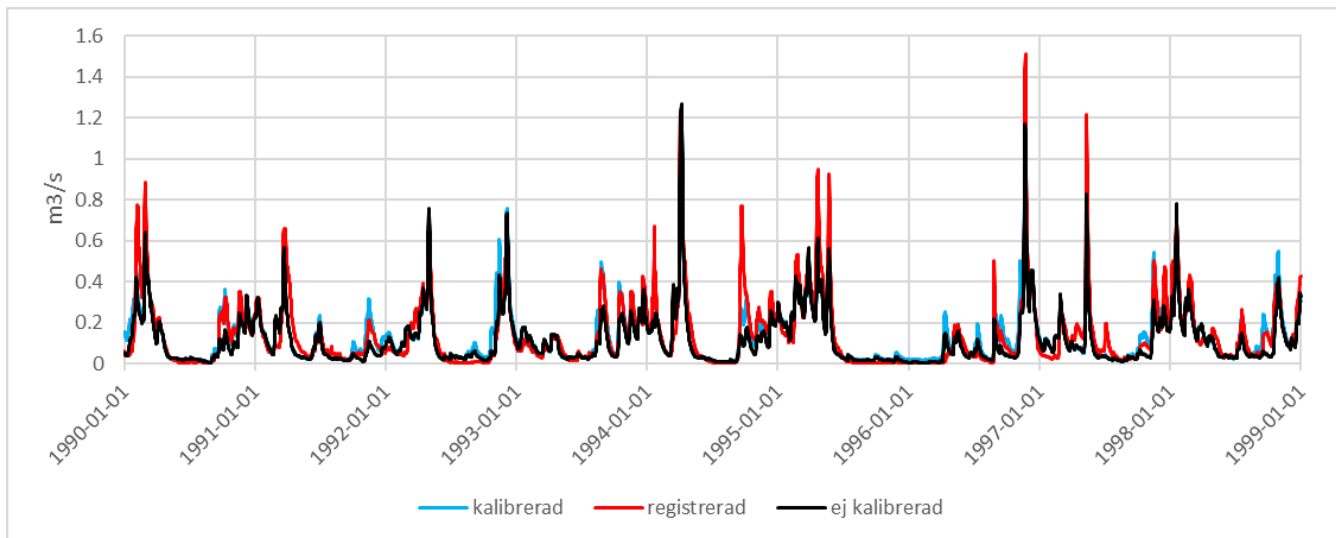
Jämförelsen av ackumulerat flöde innan branden visar att de simulerade värdena följer samma trend som det uppmätta flödet. Däremot ökar skillnaden mellan serierna med tiden vilket tyder på att mer vatten avdunstar i modellen medans mer vatten bidrar till avrinning i

verkligheten. Modellen stämde dock väl överens med de uppmätta flödena och till följd av detta utfördes endast små justeringar, se Tabell 5. Som tidigare nämnt i kapitel 3.3.1 ändrades varje parameter individuellt. Eftersom den visuella anpassningen är lika viktig som NSE-värdet kalibrerades varje parameter med hänsyn till båda dessa kriterier. När ytterligare kalibrering påverkade någon av dessa kriterier negativt utfördes inte några fler ändringar. De parametrar som styr avdunstningen kalibrerades eftersom det är dessa faktorer som har störst påverkan på vattenbalansen. Avdunstningen (cevp) minskades för att erhålla lägre vattenförlust och göra mer vatten tillgängligt för avrinning. Parametern cevpam gavs ett högre värde för att öka korrigeringen av avdunstning som beror på årstiderna och cevpph minskades så att den maximala avdunstningen inträffar tidigare på våren. Även markens effektiva porositet ökades marginellt i de två översta lagren.

Tabell 5 Parametervärden före och efter kalibrering av området innan branden.

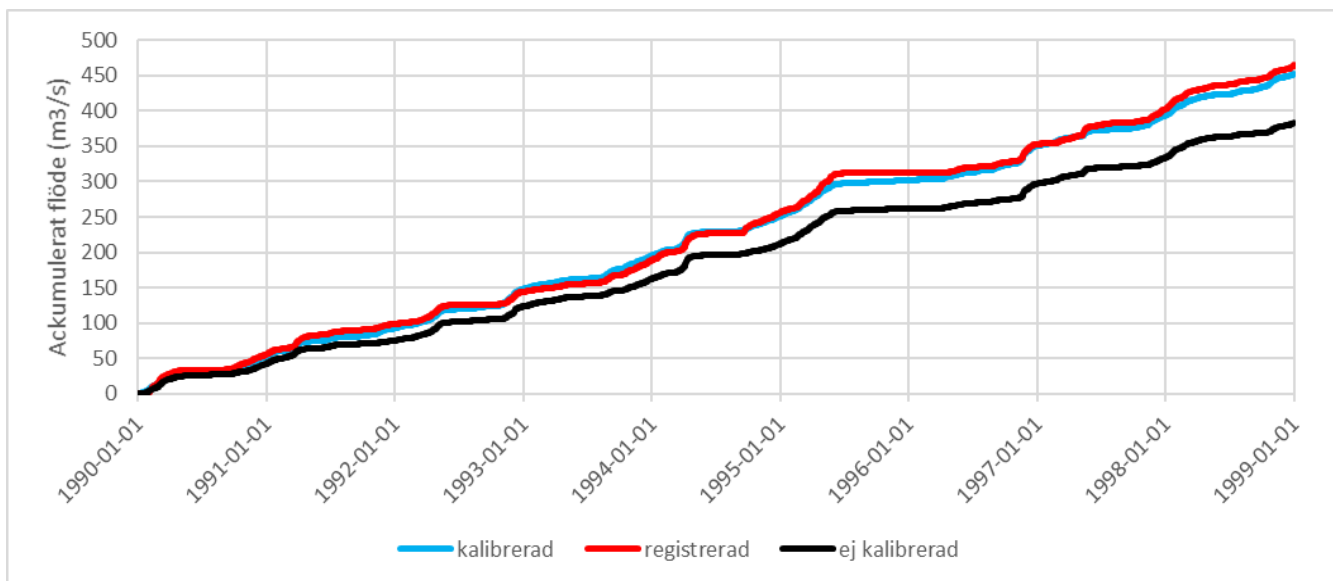
Parameter	Före kalibrering	Efter kalibrering	Område
cevpam	0,15	0,35	Generell
cevpph	60	20	Generell
cevp	0,23	0,20	Barrskog
wcep1	0,05	0,06	Morän
wcep2	0,05	0,06	Morän

Efter kalibrering av Valsjöbäckens avrinningsområde innan branden erhöles ett NSE-värde på 0,805. Kalibreringen gav som väntat endast små förbättringar men flödet under hösten blev något högre till följd av lägre avdunstning, se Figur 14.



Figur 14. Visuell redovisning av kalibrerat och ej kalibrerat flöde jämfört med uppmätt flöde före branden.

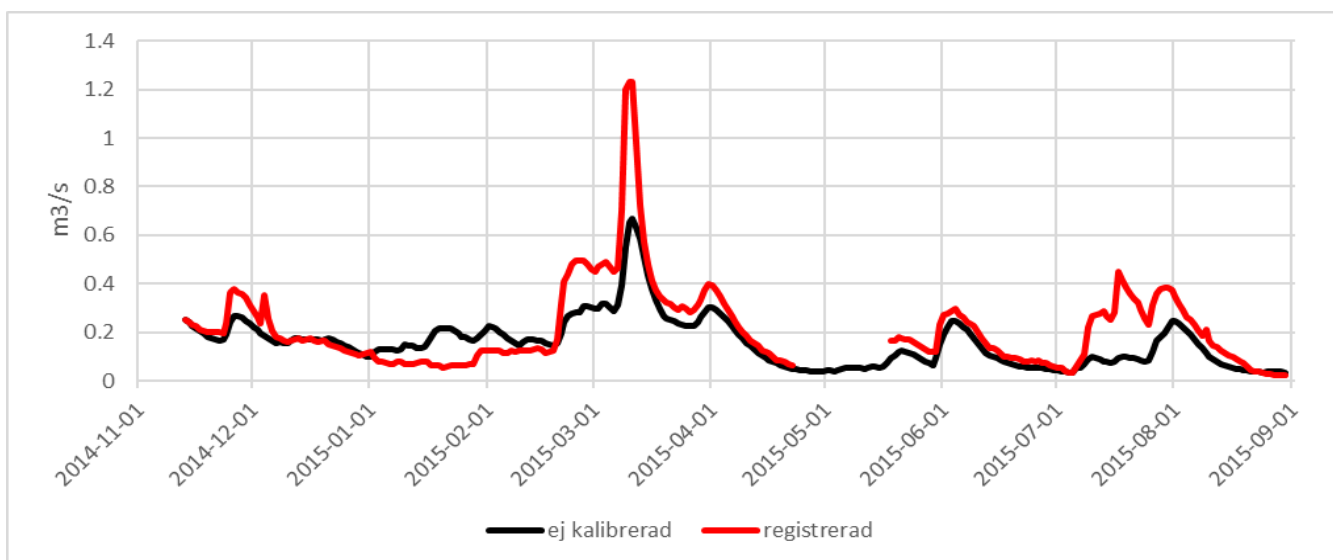
Efter kalibreringen jämfördes även det ackumulerade flödet, se Figur 15. Den kalibrerade uppsättningen av modellen följer det uppmätta flödet betydligt närmare än vid simuleringen utan kalibrerade parametrar.



Figur 15. Jämförelse av ackumulerat flöde för kalibrerade (blå kurva), ej kalibrerade (svart kurva) och registrerade (röd kurva) flöden mellan 1990-1998.

4.2 EFTER BRANDEN

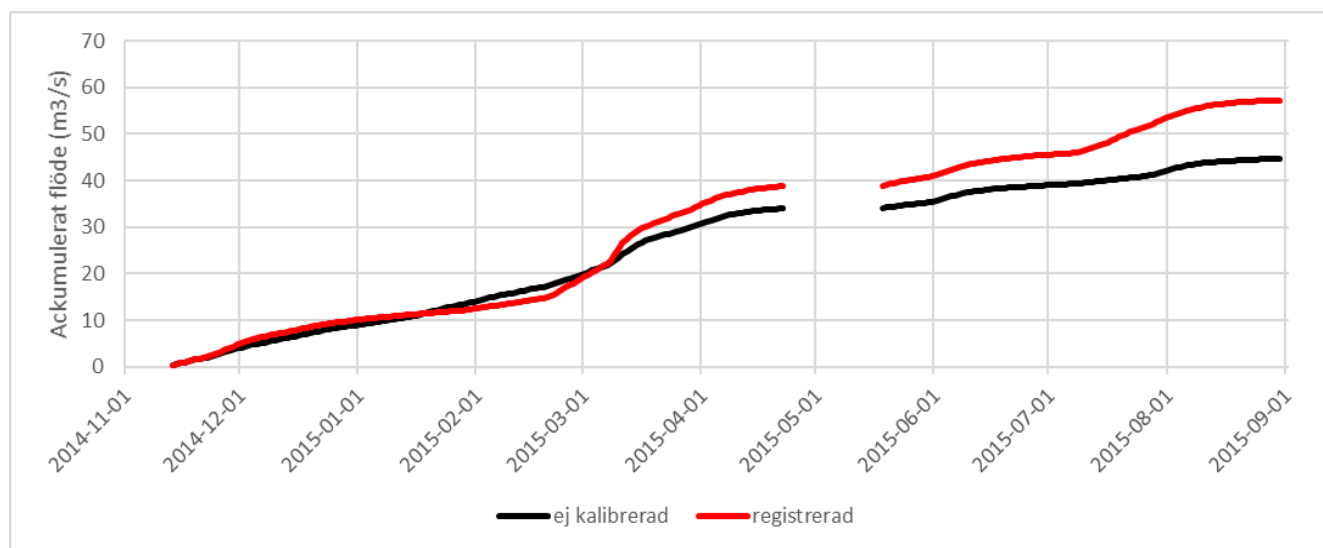
Vid simulering av tidsperioden efter branden med parametrar kalibrerade för området innan branden erhöles ett NSE-värde på 0,567. Det beräknade flödet var betydligt lägre än det registrerade vid höga flöden under våren, se Figur 16. Även under slutet av sommaren och början av hösten erhöles låga beräknade flöden jämfört med de registrerade.



Figur 16. Den röda kurvan visar det registrerade flödet och den svarta kurvan visar det modellerade flödet för den simulerade perioden efter branden.

Enligt Figur 16 har det skett betydande förändringar i de hydrologiska förhållandena till följd av branden. Det registrerade flödet är, bortsett från januari, större än det beräknade under hela den undersökta perioden. Det tyder på att mer vatten än vad som beräknas finns tillgängligt för att bidra till avrinning. Parametrar som påverkar detta är bland annat hur mycket vatten som når marknivå, avdunstning och markens förmåga att hålla kvar vattnet. Vårflodens flödestoppar är betydligt högre vilket tyder på att snön smälter snabbare än beräknat.

Även efter branden jämfördes det ackumulerade flödet, se Figur 17.



Figur 17. Jämförelse av ackumulerat flöde före kalibrering av HYPE för den simulerade perioden efter branden.

Ur Figur 17 kan det utläsas att betydligt mer vatten finns tillgängligt från mars månad och framåt än vad som beräknas i modellen. Detta är ytterligare ett bevis på att det finns mer tillgängligt vatten för avrinning vilket observeras genom generellt högre flöden i Figur 16. Tydligt är dock att flödet överskattas under januari och början av februari då det är den enda perioden då det ackumulerade flödet är större för modellerat flöde, vilket även det observeras i Figur 16.

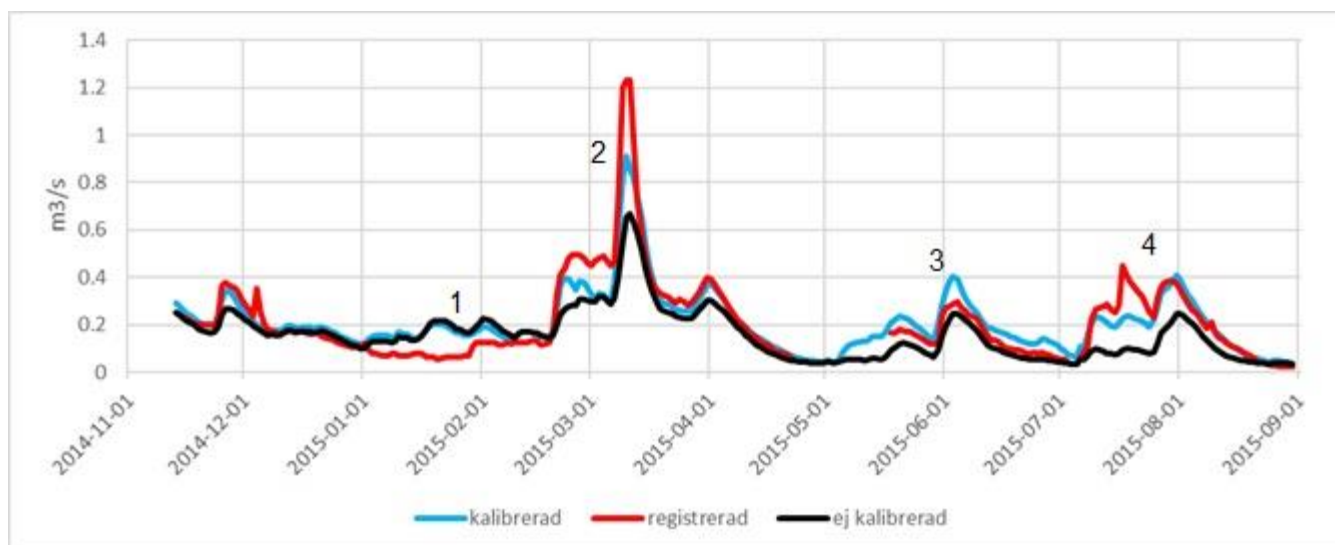
De parametrar i modellen som berör observerade effekter samt parametrar som antogs kunna förändras vid en brand kalibrerades och redovisas i Tabell 6.

Tabell 6. Redovisning av kalibrerade parametrar.

Parameter	Före kalibrering	Efter kalibrering	Område
cevp	0,2	0,18	Barrskog
cmlt	2	3,9	Barrskog
ttmp	0,3	1	Barrskog
rrsc1	0,15	0,1	Morän
srrate	0,03	0,07	Morän
wcep1	0,06	0,04	Morän
wcfc1	0,3	0,08	Morän
wcfc2,3	0,2	0,15	Morän
mactrinf	10	5	Morän
preccorr	-0,24145	-0,17145	Regional

Avdunstningen sänktes ytterligare för att återigen öka andelen vatten som finns tillgänglig för att bidra till avrinning. Det höga flödet under våren efterliknades genom att öka snösmältningens hastighet, parameter cmlt. När cmlt ökades inträffade vårflödet för tidigt i modellen vilket ledde till att temperaturen då snön smälter (ttmp) ökades och på så vis låg snötäcket kvar längre in på våren i modellen. Det blev en senare men snabbare snösmältning till följd av detta. Då det inte finns kvar någon växtlighet eller humustäcke som fördröjer flödet i det översta markskiktet minskades recessionen (rrsc1) i det översta lagret. Den

effektiva porositeten och markens fältkapacitet minskades även de för att efterlikna förlusten av humusämnen och organiskt material i marken. Mer nederbörd tilläts på markytan, preccorr sänktes, för att efterlikna avverkningens effekter. Efter slutförd kalibrering erhöles ett NSE-värde på 0,830 för den simulerade perioden efter branden, se Figur 18.



Figur 18. Modellen överskattar flödet under januari och februari, (1). Vid (2) erhålls ett betydligt större flöde efter kalibreringen. Vid punkt (3) överskattas flödet efter kalibreringen men detta vägs upp av en bättre anpassning med större flöde vid (4).

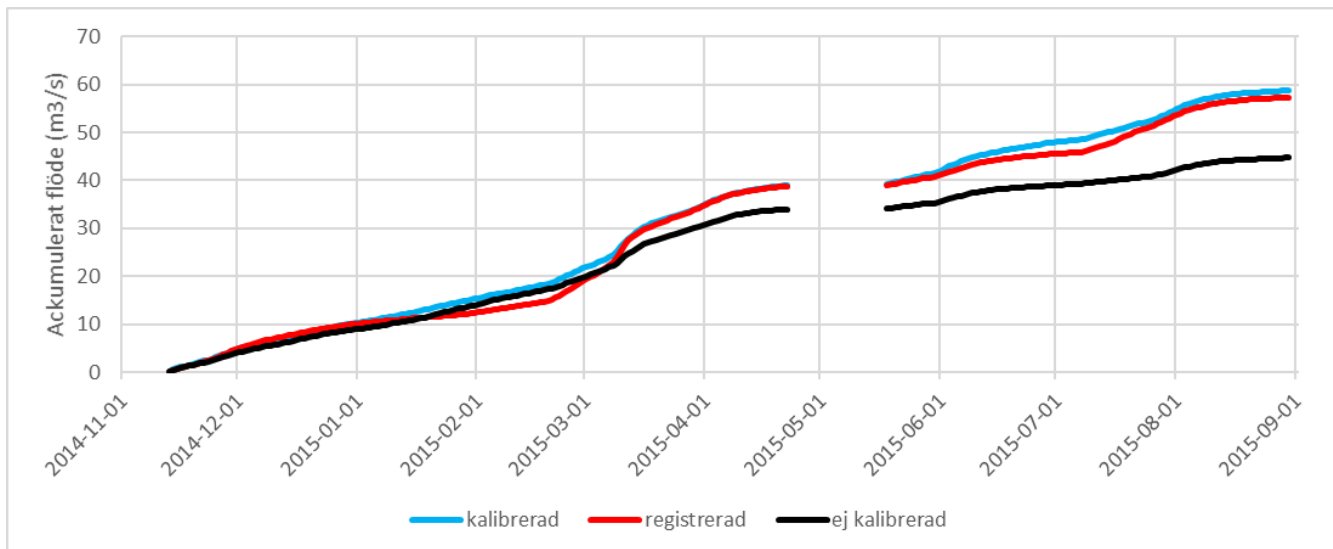
Även efter utförd kalibrering erhöles ett högre modellerat än registrerat flöde under januari och stora delar av februari (1). Kalibreringen gav ett större flöde under hela perioden men framförallt ökade flödet under våren (2) och hösten (4). På grund av osäkerheter i avbördningskurvan är absolutbeloppet av flödet osäkert men flödestoppen under vårfloeden motsvara cirka 200% av det modellerade flödet. Flödestopparna vid (3) och (4) styrs av samma parametrar i modellen. När anpassningen förbättras i punkt (4) överskattas flödet i punkt (3). Detta resulterade i att avvikelser vid (3) och (4) inte kunde undvikas.

En sammanställning av samtliga simuleringar före och efter branden redovisas i Tabell 7.

Tabell 7. Utförda simuleringar och dess NSE-värde.

Simulerad tidsperiod	Använda parametrar	NSE
1990-01-01 – 1998-12-31	Original	0,785
1990-01-01 – 1998-12-31	Kalibrerad för innan branden	0,805
2014-11-13 – 2015-08-30	Kalibrerad för innan branden	0,567
2014-11-13 – 2015-08-30	Kalibrerad för efter branden	0,830

För att undersöka om vattenbalansen förbättrats efter kalibreringen jämfördes återigen det ackumulerade flödet, se Figur 19.



Figur 19. . Jämförelse av ackumulerat flöde för kalibrerade, ej kalibrerade samt registrerade flöden efter kalibrering av HYPE.

Det ackumulerade flödet är högre i modellen än flödet som registrerats under större delen av den simulerade perioden men har en bättre anpassning än den ej kalibrerade simuleringen. Eftersom parametrar i HYPE är konstanta under hela den simulerade perioden kan inte brandtillfället representeras i modellen. Branden har skapat unika förhållanden i området som inte kan återskapas i modellen till följd av att marken fortfarande glöder långt efter att elden är släckt. Under modellens inkörningsperiod simuleras ingen brand vilket kan betyda att markens fuktighet överskattas i det initiala skedet av simuleringen. Ett mått på markens fuktighet i form av mängd vatten som krävs för att marken ska nå sin fältkapacitet undersöktes, se Figur 20.

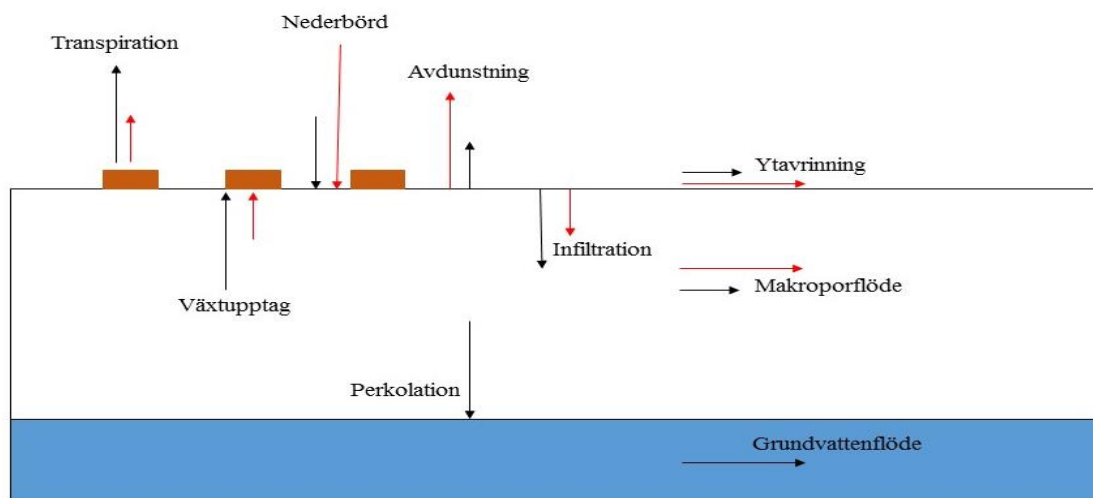


Figur 20. Kurvan visar den mängd vatten som krävs för att fylla marken till fältkapacitet, det vill säga att marken är vid fältkapacitet eller fuktigare då värdet är noll.

Figur 20 visar att det inte finns något underskott av vatten under hela vintern.

5 DISKUSSION

Kalibreringen innan branden var viktig för att säkerställa att eventuella skillnader som observerades när området modellerades verkligen berodde på branden. Även om det endast blev en liten förbättring av NSE-värdet så blev den visuella anpassningen mellan kurvorna bättre tack vare ett högre flöde under sensommar och höst till följd av en lägre avdunstning. Den simulering av tidsperioden efter branden som utfördes med parametrar kalibrerade för områdets egenskaper före branden visar att de hydrologiska förutsättningarna har förändrats, se Figur 21. Avdunstningen sker snabbare från barmarken efter branden men avtar som tidigare nämnt snabbt då det övre markskiktet torkar ut, vilket leder till en lägre total avdunstning. Visuellt observerades stora avvikelser framförallt under våren och hösten. Detta i kombination med ett lägre NSE-värde efter branden är tydliga indikationer på att branden och den efterföljande avverkningen har haft en märkbar påverkan. Framförallt förbättrades vattenbalansen i modellen efter kalibrering.



Figur 21. I figuren representerar de röda pilarna förändringar i flödet efter branden. En längre pil visar att flödet har ökat och en kortare pil visar flödet har minskat till följd av branden.

En tänkbar effekt av branden var att förlusten av markvegetation och humusämnen skulle leda till att fördröjningen av flödestoppar efter nederbörd skulle minska. Sådana effekter observerades inte, utan redan innan kalibrering av modellen var flödestopparna väl anpassade i tid men dock inte till storlek. Valsjöbäckens avrinningsområde består sammanlagt av drygt 10 % sjöar och våtmarker (se Tabell 2). Sjöar och vattendrag har en utjämnande effekt på flödet vilket kan vara en möjlig förklaring till att tajmingen stämde väl överens utan att kalibrering krävdes. Hur stor den utjämnande effekten var från våtmarker och sjöar undersöktes inte under detta projekt.

5.1 ANPASSNING AV MODELLEN

Vilka parametrar som gav den största förbättringen vid kalibrering är svårt att redovisa, då vissa parametrar påverkar varandra. När endast en parameter ändrades var för sig kunde förbättringen vara låg men i kombination med en annan parameter kunde stora förbättringar observeras. Till exempel gav en snabbare snösmältning ett större flöde under våren men tidpunkten för flödet var inte korrekt vilket gav en dålig anpassning av flödet. När snabbare snösmältning senare kombinerades med en högre temperatur då snösmältningen sker blev anpassningen avsevärt förbättrad. Detta ledde till att stora delar av kalibreringen utgick från

att kombinera visuella observationer från olika parametrar och på så vis erhålla en bra tajming av flödestoppar.

De största förbättringarna vid kalibreringen efter branden upplevdes då parametrar som påverkar snösmältning och avdunstning justerades. Gränsvärdet som bestämmer vid vilken temperatur snö smälter och avdunstning inträffar samt med vilken hastighet snön smälter ökades. Snön ligger då kvar längre in på våren samtidigt som den smälter snabbare när temperaturen är tillräckligt hög. Det gav ett större maximalt flöde under vårfloden vilket stämde överens med det registrerade flödet under våren. Avdunstningen och den andel av nederbörd som fångas upp innan det når markytan gavs ett lägre värde för att representera förlusten av träd och undervegetation. En minskad avdunstning och större andel vatten som når markytan bidrog till att det beräknade flödet närmade sig det uppmätta flödet genom att mer vatten fanns tillgängligt under hela tidsperioden. Markens effektiva porositet i det översta markskiktet och dess vattenhållande förmåga minskades samtidigt som andelen ytavrinning ökades för att undersöka om den hypotes som fanns gällande brandens effekter stämde. Samtliga av dessa parametrar som innan kalibreringen antogs kunna påverkas av branden gav en förbättrad anpassning av det beräknade flödet efter kalibrering.

5.2 AVVIKELSER EFTER KALIBRERING

Under januari månad (se (1) i Figur 18) överskattades flödet både före och efter kalibreringen. Det är den enda perioden då det modellerade och uppmätta flödet inte följer samma trend, det vill säga att de båda flödena inte ökar eller minskar vid samma tidpunkt. Detta kan bero på flera olika faktorer, bland annat genom att den nederbörd som faller i form av snö representeras som regn i modellen eller genom att snötäcket smälter i modellen men inte i verkligheten. Eftersom form av nederbörd i HYPE beror på en tröskeltemperatur, samt faller i blandad form inom ett intervall runt det angivna tröskelvärdet är det i detta fall inte omöjligt att nederbörden har representerats felaktigt i modellen. Istället för att ackumuleras som snö kan nederbörden fallit i form av regn och bidragit till ett ökat flöde. Följaktligen kan små förändringar i temperaturer runt detta tröskelvärde leda till betydande skillnader i avrinning. I detta fall är även temperatur och nederbördsdata interpolerade vilket kan betyda att det finns små avvikelser mot den egentliga temperaturen som var vid tidpunkten då nederbörden föll. Även om skillnader i interpolerad och verklig temperatur antas vara små kan det bidra till att en del av nederbörden inte antar rätt form i modellen.

En möjlig förklaring till högre modellerat flödet under vintern kan vara de mycket speciella förhållandena som uppstod efter branden. I markprofilen fanns glödrester kvar under lång tid efter det att branden var släckt. Till följd av varm mark och glödrester kan den nederbörd som föll avdunstat omedelbart istället för att infiltreras ner i marken. Markens fuktighet kan således varit näst intill obefintlig i det initiala skedet av simuleringen. Detta är inte fallet i modellen vilket visas i Figur 20 där markens vattenhalt aldrig sjunker under fältkapacitet förrän i början april. Hur lång tid efter branden som marken fortfarande var varmare än normalt är inte klarlagt. Om marken fortfarande var varmare än vanligt under våren kan det även varit bidragande faktor till den snabba snösmältningen som gav höga vårflödena (se (2) i Figur 18).

5.3 OSÄKERHETER

Avbördningskurvan för Valsjöbäcken är beräknad utifrån endast fem flödesmätningar. Det saknas uppmätta flöden både vid hög- och lågflöden vilket leder till osäkerheten ökar i dessa regioner av kurvan. Intervallet för mätningarna som använts för att beräkna avbördningskurvan sträcker sig mellan 0,07-0,30 m³/s. Till följd av att det inte finns några utförda mätningar utanför detta intervall är det osäkert hur flödet förändras när vattennivån inte är inom detta intervall. Generellt sett vid höga vattennivåer planar avbördningskurvor ut vilket resulterar i små flödesförändringar när vattennivån ändras. Det uppmätta flödet som beräknats utifrån avbördningskurvan varierar mellan 0,02 m³/s och 1,24 m³/s vilket är ett betydligt större intervall än det intervall då flödesmätningarna är utförda. Eftersom det inte finns utförda flödesmätningar i närheten av samma region av avbördningskurvan som det maximala flödet befinner sig i är det osäkert vid vilket flöde kurvan planar ut. Det maximala flödet kan finnas i den del av kurvan som har planat ut och om så är fallet skulle det maximala flödet vara lägre än vad som registrerats för den simulerade perioden. För att validera resultaten krävs att flertalet flödesmätningar utförs i Valsjöbäcken. Med fler mätningar kan en betydligt bättre anpassning av avbördningskurvan erhållas och resultaten blir då mer trovärdiga. I dagsläget är det som tidigare nämnt inte beloppet på flödet som kan anses trovärdig utan det är trender i flödet som är anses viktigast att analysera.

Under tidsperioden för simuleringen har markanvändningen inom området förändrats genom att skogen har avverkats. Den största delen av avverkningen utfördes mellan oktober och mars vilket leder till att nederbörden som når markytan kan ha överskattats i modellen under denna period. Eftersom avdunstningen är lägre från öppna ytor jämfört med skogsbeklädd mark kan även detta bidra till ett ökat flöde i modellen under perioden då avverkningen ännu inte var utförd. Avdunstningen har dock på grund av låga temperaturer mindre påverkan under vinterhalvåret då mestadels av avverkningen utfördes. Det är inte bara under tiden för avverkningen som områdets markanvändning har förändrats. I takt med att växtligheten återhämtar sig sker en ständig förändring i området. I HYPE är samtliga parametrar konstanta under hela den simulerade perioden vilket kommer kräva att modellen kalibreras om efter en viss tid. För att se brandens fulla effekt krävs mätningar över betydligt längre tidsperioder.

Det faktum att kalibreringen innan branden är utförd med flödesmätningar som är 20-25 år gamla kan ha en viss påverkan på resultatet. Markanvändningen kan ha förändrats under tidsperioden mellan kalibreringen och branden. Det kan till exempel varit större arealer med hyggen för 20 år sedan än vid tiden precis innan branden. Även rådande klimatförändringar kan vara en faktor att tänka på när resultat av simuleringar utförda för 20 år sedan analyseras. Stigande temperaturer har stor påverkan på avdunstning, samt faktorer som berör både snösmältning och ackumulation av snö. Eftersom både snöförhållanden och avdunstning är två av de viktigaste komponenterna som styr vattenbalansen, i form av lagring och förlust av vatten, kan dessa bidra med stora förändringar. Vilken effekt det har på resultatet är dock svårt att uppskatta.

5.4 TIDIGARE STUDIER

De tidigare studier som undersökts visade tydliga indikationer av ökning av både flödestoppar och det totala flödet under året efter en brand. Ökningen av den totala avrinningen ansågs i båda de studerade fallen bero på minskad avdunstning. Vattenförlusterna i form av avdunstning minskade samtidigt som andelen vatten som bidrog till avrinning ökade. Liknande observationer gjordes även under detta arbete. Den minskade avdunstningen

under kalibrering resulterade i att jämförelsen av det ackumulerade flödet stämde väl överens mellan modellerat och registrerat flöde. De höga flödestopparna som registrerades under denna studie stämmer väl överens med observationer i tidigare studier. Den största registrerade flödestoppen motsvarade ungefär 200% av det simulerade flödet vilket kan jämföras med flöden som var 290% högre i studien från Sydafrika. I Frankrike resulterade regnintensitet med ett års återkomsttid i uppmätta flöden som motsvarade flöden med 10 års återkomsttid. Samtliga av dessa liknelser med tidigare studier styrker resultaten i denna studie.

Bränder ger inte upphov till en homogen kombination av en ny markanvändning och jordart. I det tidigare examensarbetet gällande branden delades både torvmark och skogsmark upp i ett betydligt större antal variationer än vad som antogs i detta projekt. Under denna studie antogs hela skogsmarken påverkas på ett och samma sätt över hela området vilket inte är fallet i verkligheten. Vid det tidigare utförda arbetet delades till exempel skogsmarken upp i åtta olika kategorier som sträckte sig mellan obrända trädkronor till de mest extrema fallen då berg var i dagen. För att ge en mer exakt bild av hur områdets hydrologiska egenskaper påverkats av branden hade dessa olika kategorier kunnat användas. Det skulle dock krävas att ett lika stort antal nya markklasser som tidigare framtagna kategorier skulle kalibreras i HYPE vilket skulle vara väldigt tidskrävande. Det ansågs därför inte vara genomförbart att kalibrera området för varje tänkbar markklass.

Eftersom de tidigare framtagna kategorierna för skogsmarken är baserade på ortofoton fanns det vissa osäkerheter. Den visuella skillnaden var enligt Landahl (2015) svår att urskilja mellan vissa områden, till exempel fallen skog och avverkade områden. Hur stor del av området som avverkats till följd av branden finns angivet från skogsstyrelsen men områden med fallen och död skog skulle kunna bidra med liknande effekter som en totalavverkning. Det faktum att det inte med full säkerhet går att bestämma exakt hur stor del av brandområdet som utgörs av varje enskild kategorisering är ytterligare en anledning att inte utföra det tidskrävande arbetet att kalibrera flera olika markklasser.

5.4.1 HYDROFOBA MARKSKIKT

Enligt tidigare studier bildas en betydande andel vattenavstötande material till följd av både hög och låg brandintensitet. Fältobservationer visade att hydrofoba skikt i marken ökade ytavrinningen till följd av att infiltrationen minskade. Resultaten i HYPE förbättrades när ytavrinningen ökades vilket indikerar att det även i detta fall bildats hydrofoba lager. Observationen att hydrofoba partiklar skapas oavsett brandintensitet leder till att det viktigaste är att veta hur stort område som brunnit och inte med vilken intensitet. Däremot är det svårt att säga under hur lång tid effekterna kvarstår. En annan effekt som uppstår av bränder är att erosionen ökar, i studien utförd i Sydafrika var erosionen fyra gånger större efter branden. Den höga transporten av material kan betyda att effekterna av hydrofoba lager endast finns närvarande under de första nederbördstillfällena efter en brand. Därefter kan de vara bortspolade och infiltrationen ner i marken kan återgå till normala förhållanden. Vidare studier i fält krävs kontinuerligt för att kunna avgöra hur lång tid eventuella effekter av hydrofoba lager finns närvarande efter en brand.

5.5 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN

Som tidigare nämnt antas kraftiga skogsbränder bli vanligare i framtiden på grund av förväntade klimatförändringar. Eftersom denna studie, och även tidigare studier, indikerar att bränder har stor påverkan på flöden i ett vattendrag kan det i framtiden vara av stor vikt att kunna förutse eventuella förändringar. Skogsbränder kan komma att orsaka stora översvämningar. I brandskadade avrinningsområden med stora vattendrag, som ligger i närheten av bebyggelse, kan detta leda till betydande konsekvenserna för samhället. Stora vattendrag har dock en större dämpande effekt på flödet så det krävs att stora områden drabbas för att flödet ska ändras dramatiskt.

Förutom att städer kan översvämmas är det även viktigt ur ett samhällsperspektiv att kunna förutse flödet i vattendrag då användningen av vattenkraftverk är mycket utbred i Sverige. Det kan vara av stor vikt att veta hur flödet kommer förändras så att mängden vatten som magasineras i dammar inte är för stor om det skulle inträffa höga flödestopp. Med för stora mängder magasinerat vatten innan en eventuell flödestopp förloras stora mängder energi när vattnet måste släppas förbi kraftverket. Den värsta tänkbara utgången skulle vara att dammen brister och områden nedströms översvämmas men dammar har en stor utjämnande effekt på flödet vilket leder till att det skulle krävas extrema flöden för att något sådant skulle kunna inträffa.

Valsjöbäckens avrinningsområde består inte av endast morän och barrskog vilket antogs i kalibreringen. Bidraget från dessa två komponenter i modellen kanske är något lägre i verkligheten. Eftersom kalibreringen endast är utförd för barrskog och morän kan inte resultaten anses representativa för effekter av bränder generellt. Resultaten kan inte heller användas generellt för brandskadade områden i HYPE. Olika jordarter och markanvändningar påverkas inte på samma sätt av bränder. De effekter som observeras i moränjordar behöver nödvändigtvis inte uppstå vid bränder som drabbar andra jordarter. För att kunna använda de kalibrerade parametrarna till att förutse flödesändringar efter en brand krävs det att området som har brunnit består av liknande markanvändning och jordart som det kalibrerade området.

6 SLUTSATS

Det finns en tydlig påverkan från bränder och efterföljande avverkning på ett områdes hydrologiska egenskaper. Vattenbalansen förändras betydligt i området efter branden till följd av lägre vattenförluster via avdunstning. Efterföljande avverkning av brandskadad skog leder till att mer nederbörd når marknivå då inte träden fångar upp nederbörden. Kombinationen av lägre avdunstning och mer nederbörd som når marknivå resulterar i mer tillgängligt vatten som kan bidra till avrinningen. Detta leder till ett högre flöde under större delen av året. Markens försämrade förmåga att hålla vatten bidrar till att flödestopparna ökar eftersom endast en liten del av nederbörden magasineras i marken. Det skapas ett hydrofobt markskikt vid både låg och hög brandintensitet som sänker markens infiltrationskapacitet vilket leder till mer ytavrinning. I likhet med tidigare studier ökade det årliga flödet samt flödestopparna blev högre vilket styrker resultaten i denna studie.

Tiden efter en brand sker kontinuerliga förändringar genom att brandskadad skog avverkas men även i takt med att växtligheten återkommer. Förlusten av vegetation gör marken mer utsatt för erosion som även det förändrar områdets egenskaper. Hur lång tid efter branden som effekter från det hydrofoba markskiktet kvarstår behöver undersökas närmare. Detta för att se om de vattenavstötande partiklarna sköljs bort relativt snabbt efter branden eller om effekten kvarstår.

7 REFERENSER

Tryckta källor

- Buttle, J.M., 1994. Isotope hydrograph separations and rapid delivery of pre-event water from drainage basins. *Prog. Phys. Geogr.* 18, 16–41. doi:10.1177/030913339401800102
- Kling, H., 2015.
- Krause, P., Boyle, D.P., Bäse, F., 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Adv. Geosci.* 5, 89–97. doi:10.5194/adgeo-5-89-2005
- Landahl, A., 2015. Kemiska och fysiska effekter i ytvatten efter skogsbranden i Västmanland 2014.
- Lavabre, J., Torres, D.S., Cernesson, F., 1993. Changes in the hydrological response of a small Mediterranean basin a year after a wildfire. *J. Hydrol.* 142, 273–299. doi:10.1016/0022-1694(93)90014-Z
- Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J., Arheimer, B., 2010. Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales.
- Losjö, K., Ghasem, A., 2015. Skogsbranden i Västmanland 2014. Förändrad hydrologi i brandområdet (No. NR 3 2015).
- Onodera, S., Li, J.T.V.S., 2011. Effect of Forest Fires on Hydrology and Biogeochemistry of Watersheds, in: Levia, D.F., Carlyle-Moses, D., Tanaka, T. (Eds.), *Forest Hydrology and Biogeochemistry, Ecological Studies*. Springer Netherlands, pp. 599–621.
- Schelker, J., Kuglerová, L., Eklöf, K., Bishop, K., Laudon, H., 2013. Hydrological effects of clear-cutting in a boreal forest – Snowpack dynamics, snowmelt and streamflow responses. *J. Hydrol.* 484, 105–114. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.01.015
- Scott, D.F., Van Wyk, D.B., 1990. The effects of wildfire on soil wettability and hydrological behaviour of an afforested catchment. *J. Hydrol.* 121, 239–256. doi:10.1016/0022-1694(90)90234-O
- Sjökvisst, E., Axén Mårtensson, J., Sahlberg, J., Andréasson, J., Hallberg, K., 2013. Framtida perioder med hög risk för skogsbrand (No. 978-91-7383-323-3).
- Tarboton, D.G., 2013. Rainfall- Runoff Processes.
- Tomkins, K.M., 2014. Uncertainty in streamflow rating curves: methods, controls and consequences. *Hydrol. Process.* 28, 464–481. doi:10.1002/hyp.9567
- Winkler, R.D., Moore, D.R., Redding, T.E., Spittlehouse, D.L., Smerdon, B.D., Carlyle-Moses, D.E., 2010. *Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia*.

Websidor

- SMHI, 2015a. HYPE file references [WWW Document]. URL http://www.smhi.net/hype/wiki/doku.php?id=start:hype_file_reference#setup_files (Hämtad 2015-11-30).
- SMHI, 2015b. Land routines [WWW Document]. URL http://www.smhi.net/hype/wiki/doku.php?id=start:hype_model_description:hype_land (Hämtad 2015-11-30).
- SMHI, 2015c. Processes above ground [WWW Document]. URL http://www.smhi.net/hype/wiki/doku.php?id=start:hype_model_description:processes_above_ground (Hämtad 2015-12-02).
- SMHI, 2015d. Rivers and lakes [WWW Document]. URL http://www.smhi.net/hype/wiki/doku.php?id=start:hype_model_description:hype_routing (Hämtad 2015-12-03).

Personlig kommunikation

Kling, H., 2015. Skogsstyrelsen