

Modelluppdatering och fördjupad analys med Emåns vattendragsmodell



Länsstyrelsen i Kalmar län

Rapport
maj 2018

Denna rapport har tagits fram inom DHI:s ledningssystem
för kvalitet certifierat enligt ISO 9001 (kvalitetsledning) av Bureau Veritas

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



Modelluppdatering och fördjupad analys med Emåns vattendragsmodell

Framtagen för Länsstyrelsen i Kalmar län
Kontaktperson Erika Nilsson



Emån, bron vid Fredriksborg söder om Tigerstad

Foto: Ola Nordblom, 2017-10-06.

Projektledare	Ola Nordblom
Kvalitetsansvarig	Lars-Göran Gustafsson
Handläggare	Markus Petzén, Paul Widenberg, Ola Nordblom
Uppdragsnummer	12803406
Godkänd datum	2018-05-XX
Version	1.0
Klassificering	Öppen



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Bakgrund och syfte	1
2	Introduktion till Emåns vattendragsmodell	2
3	Uppdatering av den hydrauliska modellen	4
3.1	Underlagsdata.....	4
3.2	Uppdatering av MIKE 11-modellen	4
3.2.1	Uppdateringar av huvudfåran	4
3.2.2	Uppdateringar i Mörlunda-området.....	5
3.2.3	Uppdateringar i Brusaån	7
3.3	Uppdatering av kopplad MIKE 11/21-modell	8
3.4	Kalibrering	8
4	Uppdatering av den hydrologiska modellen med fokus på intensiva sommarregn	10
5	Simulering av torrperioder	12
5.1	Simulering av torrperioder i dagens klimat	12
5.2	Simulering av torrperiod i ett framtida klimat	15
6	Kartering av kritiska förhållanden för översvämningar	19
6.1	Scenarier.....	19
6.2	Resultat	19
7	Åtgärdsstudie Brusaån – Ingatorp	21
7.1	Bakgrund och syfte	21
7.2	Historiska högflöden i Brusaån	21
7.3	Beskrivning av åtgärder	23
7.3.1	Potentiella magasin uppströms Ingatorp	23
7.3.2	Åtgärd 1. Ökad uppdämning av Hjalten	25
7.3.3	Åtgärd 2. Ökad uppdämning i våtmarksområdet uppströms travbanan	25
7.3.4	Åtgärd 3. Invallning i Ingatorp	25
7.4	Kompletterande inmätningar och modelluppdateringar	26
7.5	Referensnivåer på sträckan Hjaltevad – Ingatorp.....	27
7.6	Resultat från simuleringar före och efter åtgärder	28
7.6.1	Scenarier.....	28
7.6.2	Nuläge	28
7.6.3	Åtgärd 1.....	31
7.6.4	Åtgärd 2.....	35
7.6.5	Åtgärd 1+2	36
7.6.6	Resultat – Åtgärd 3	38
7.7	Slutsatser från åtgärdsstudien	38
7.8	Sammanfattning av arbetsmetod	39
8	Fördjupad analys för Mörlunda-området	40
8.1	Bakgrund och syfte	40
8.2	Översvämning av Emåns huvudfåra.....	40
8.3	Uppskattning av magasinsvolymer för flödesdämpning	42

8.3.1	Förutsättningar	42
8.3.2	Beräkning av volymer	43
8.4	Magasinering i tvåstegs-magasin	45
8.5	Diskussion.....	45
9	Analys av våtmarkspotential	46
9.1	Bakgrund och syfte	46
9.2	Förutsättningar och antaganden	46
9.3	Modellering av återställda våtmarker	48
9.4	Åtgärdsscenarioer	48
9.5	Resultat från simuleringar	49
9.6	Diskussion och slutsatser	56
10	Referenser.....	57

BILAGOR

BILAGA A – GIS-leverans

BILAGA B – Area- och volymsberäkningar

1 Bakgrund och syfte

DHI Sverige har på uppdrag av Länsstyrelsen i Kalmar län vidareutvecklat vattendragsmodellen för Emån, samt gjort fördjupade analyser med modellen. Uppdraget innefattar en fortsättning på det arbete med modelluppbyggnad och analys som gjordes under 2015-2016, och som redovisades i en rapport hösten 2016 (DHI, 2016). DHIs uppdrag utgör en del i projektet "Emån – en långsiktigt hållbar resurs för samhälle och miljö" som Länsstyrelserna i Kalmar och Jönköping driver tillsammans med Emåförbundet.

Syftet med det aktuella uppdraget är att uppdatera delar av vattendragsmodellen, verifiera några av de tidigare modellresultaten, samt öka kunskapen om effekter av olika åtgärder. Syftet har också varit att underlätta fortsatt användning av vattendragsmodellen för t.ex. kartläggningar och åtgärdsanalyser.

Uppdraget innehåller följande delmoment, vilka har avgränsats efter diskussioner med Länsstyrelsen och Emåförbundet:

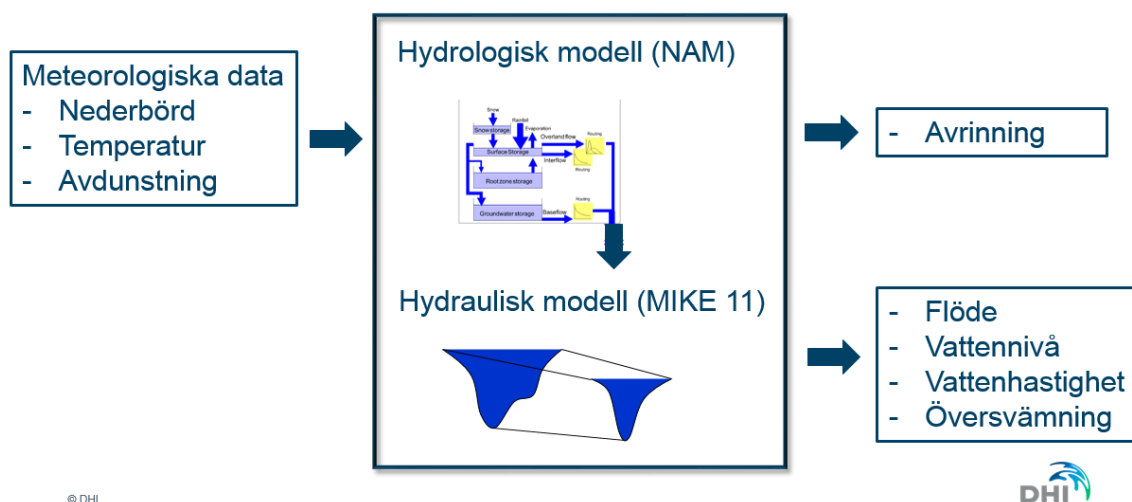
- Uppdatering av den geometriska beskrivningen av Emåns huvudfåra i den hydrauliska modellen (MIKE 11).
- Uppdatering av den hydrauliska modellen över Mörlundaområdet (kopplad MIKE 11/21-modell).
- Uppdatering av den hydrologiska modellen (NAM) med fokus på intensiva sommarregn.
- Fördjupade kontroller och analyser av torrperioder (NAM + MIKE 11).
- Dynamisk modellering av höglöden (NAM + kopplad MIKE 11/21)
- Åtgärdsstudie i Brusaån (NAM + MIKE 11).
- Fördjupad analys för Mörlundaområdet med fokus på Tigerstad kanal (NAM + MIKE 11).
- Modellering av effekter av våtmarker (NAM + MIKE 11)

I föreliggande rapport redovisas modelluppdateringar och resultat från analyser. Modellresultat i form av översvämningsutbredning, vattennivåer och vattendjup redovisas i GIS-skikt, samt via den publika webbsidan: <http://eman.dhigroup.com/>. Förutom rapporten och GIS-skikten ingår modellfiler och resultatfiler i leveransen till Länsstyrelsen.

2 Introduktion till Emåns vattendragsmodell

Vattendragsmodellen för Emån är uppbyggd i det endimensionella modellsystemet MIKE 11 (MIKE by DHI, 2017a). Modellen består av en hydrologisk del (NAM) som beskriver avrinningen från olika delområden, samt en hydraulisk del (MIKE 11) som beskriver hydrauliken, d.v.s. flöde, vattenstånd och vattenhastighet längs vattendraget. Modellerna är kopplade genom att beräknad avrinning från NAM-modellen tillförs som lateralt inflöde till MIKE 11 så att hydrologin och hydrauliken kan simuleras parallellt. NAM-modellen går även att köra som en fristående modell.

Figur 2-1 visar en principskiss över vattendragsmodellen, samt in- och utdata. NAM-modellen drivs med meteorologiska data i form av nederbörd, temperatur och potentiell avdunstning. Resultatet är beräknad avrinning från olika delområden baserat på områdenas storlek och egenskaper. Avrinningen går vidare till MIKE 11 för beräkning av flöden, vattennivåer, vattenhastigheter och översvämningsutbredning.



Figur 2-1. Principskiss över vattendragsmodellen med en hydrologisk del (NAM) och en hydraulisk del (MIKE 11).

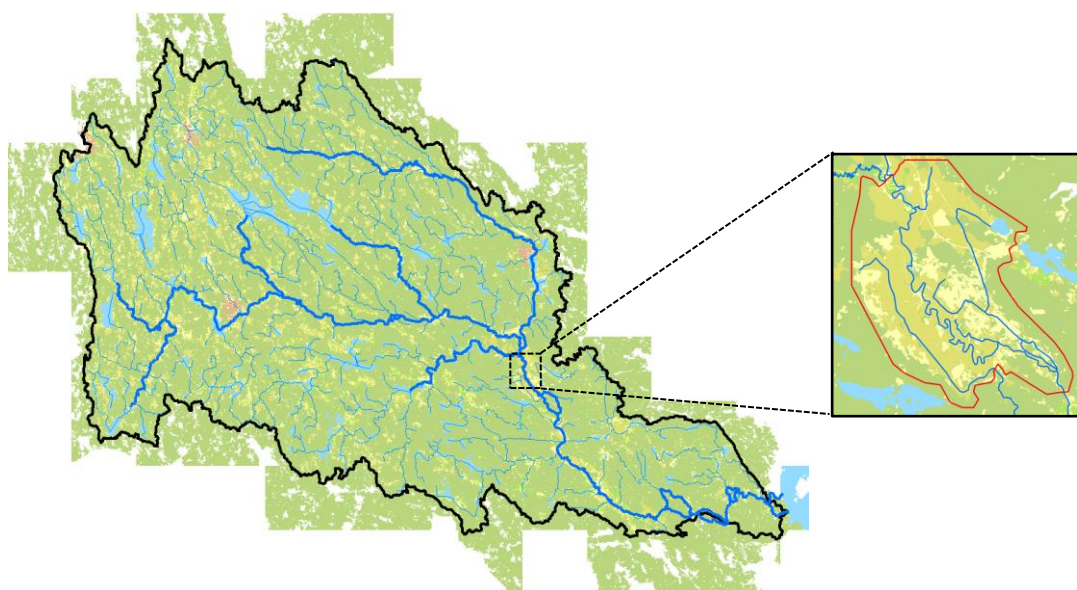
Emåns avrinningsområde har i NAM-modellen delats in i 21 delavrinningsområden av varierande storlek enligt Figur 2-2 nedan. Den totala arean för hela avrinningsområdet är 4468 km². Modellen drivs med data från SMHI Öppna data i 15 stationer med nederbörd och 5 stationer med temperatur (dygnsvärden).

MIKE 11-modellen beskriver huvudfåran från Prinsasjön till utloppet i Östersjön, samt delar av biflödena Linneån/Kroppån, Solgenån, Pauliströmsån, Brusaån/Silverån och Gårdvedaån enligt Figur 2-3 nedan. Den totala längden på delsträckorna i den hydrauliska modellen är 396 km. I Mörlundaområdet har en 2D-modell, MIKE 21 (MIKE by DHI, 2017b), kopplats till MIKE 11 för simulering av mer komplicerade översvämningsförlopp (Figur 2-3).

För en mer utförlig beskrivning av vattendragsmodellens uppbyggnad och användningsområden hänvisas till den tidigare rapporten (DHI, 2016). I följande avsnitt beskrivs vilka uppdateringar som har gjorts av modellerma i det aktuella uppdraget.



Figur 2-2. Indelning av Emåns avrinningsområde i 21 delavrinningsområden för beräkning av avrinning.



Figur 2-3. Geografisk avgränsning för 1D-modellen (MIKE 11) markerad med blå linje, samt för 2D-modellen (MIKE 21) över Mörlunda-området markerad med röd linje.

3 Uppdatering av den hydrauliska modellen

3.1 Underlagsdata

Underlag till modelluppdateringar har erhållits från Länsstyrelsen och Emåförbundet och utgörs av allmänt kartunderlag, data från inmätningar och kalibreringsdata, se Tabell 3-1.

Tabell 3-1. Underlagsdata för uppdatering av hydrauliska modeller.

Underlag	Källa
Nationella höjdmodellen (NH, grid 2+)	Lantmäteriet via Länsstyrelsen
Äldre ritningar från dikningsföretag	Länsstyrelsen
Brodata	Trafikverkets brodatabas
Data för dammar, dammprotokoll	Länsstyrelsen
Kartunderlag (fastighetskartan)	Lantmäteriet via Länsstyrelsen
Nivå- och flödesdata	Emåförbundet, SMHI (Vattenwebb)
Data från biotopkartering i Emån	Länsstyrelsen
Bottenprofiler för Brusaån, Hjaltevad - Högebro (data från 2017)	Länsstyrelsen
Bottenprofiler för huvudfåran mellan Aby bro och Grape bro, samt anslutande diken inom Mörlunda-området (data från 2017)	Länsstyrelsen via Emåförbundet
Flöden och nivåer från översvämningarna i nedre delen av Silverån och i Emån i juli 2012	Länsstyrelsen
Nivåer från översvämningen i Brusaån i juni/juli 2007	Eksjö kommun

3.2 Uppdatering av MIKE 11-modellen

3.2.1 Uppdateringar av huvudfåran

För att få en enhetlig beskrivning av vattendraget och underlätta framtida användning och utveckling av modellen har huvudfåran från Prinsasjön till utloppet i Östersjön uppdaterats. Stomlinjen som i tidigare modellversioner var översiktligt beskriven nedströms Grumlan följer nu en mittlinje genom vattendraget enligt fastighetskartans normalvattenpolygon på samma sätt som övriga delar av modellen. Längs den uppdaterade stomlinjen har sektionindelningen gjorts om och förtätats. Längden på de olika delsträckorna och antalet tvärsektioner i respektive gren av modellen framgår av Tabell 3-2. Den sammanlagda längden av alla delsträckor i modellen är ca 400 km och antal tvärsektioner ca 1800, förgreningar ej inräknade. Detta ger ett genomsnittligt avstånd mellan tvärsektionerna på drygt 200 m.

Tabell 3-2. Delsträckor i MIKE 11-modellen.

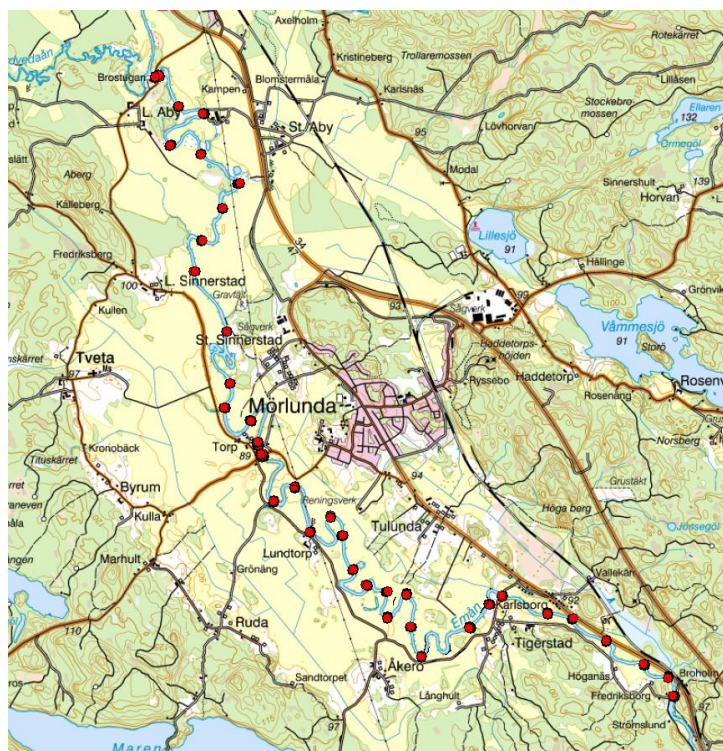
Delsträcka	Längd (km)	Antal tvärsektioner
Emåns huvudfåra	206	815
Linne/Kroppån	21	85
Solgenån	20	95
Pauliströmsån	27	181
Gårdvedaån	37	209
Brusaån/Silverån	85	404

De nya tvärsektionerna har höjdsatts med data från höjdmodellen (NH-data) utanför åfåran. Inom åfåran saknas generellt bottenprofil. Bottenprofilen har därför konstruerats baserat på information från höjdmodellen på liknande sätt som i det tidigare projektet (DHI, 2016). Den tidigare använda metoden har dock utvecklats vidare genom att åfårans tvärsektionsarea beräknas i varje sektion i modellen baserat på fallprofilen enligt NH-data, ett känt eller uppskattat flöde vid tidpunkten för Lantmäteriets laserskanning, samt rimliga antaganden om bottenrâhet och sektionsform. Metoden för beräkning av bottenprofiler kan sägas motsvara det omvända (inverterade) problemet till det som den färdiga MIKE 11-modellen ska användas till, eftersom en given fallprofil för vattenytan används för att beräkna en tvärsektionsarea och sedan motsvarande vattendjup i varje sektion. Parametrarna i beräkningen har anpassats så att erhållna vattendjup visar rimlig överensstämmelse med medeldjupet enligt biotopkarteringsdata. Jämförelser har även gjorts med Trafikverkets broritningar för att kontrollera att bottenprofilerna hamnar rätt i höjddled. Förutom i Emåns huvudfåra nedströms Prinsasjön har beräkningsproceduren gått igenom i Brusa/Silverån och Gårdvedaån.

Ovanstående metod ger en bra generell beskrivning av åfårans bottenprofil i tvärled och längsled så att modellens friktionsparameter (Mannings tal) ska kunna kalibreras in mot uppmätta flöden och nivåer från tidigare höglöden. För detaljerade utredningar av framförallt översvâmningsproblem är det viktigt att modellresultaten kontrolleras mot observerade högvattennivåer. I vissa fall kan det även vara motiverat att mäta in botten och uppdatera tvärsektionerna i modellen med riktiga bottenprofilen innan kalibrering. Detta har gjorts för huvudfåran inom Mörlundaområdet, samt i Brusaån på sträckan Hjaltevad – Ingatorp – Högebro, se den fortsatta beskrivningen nedan.

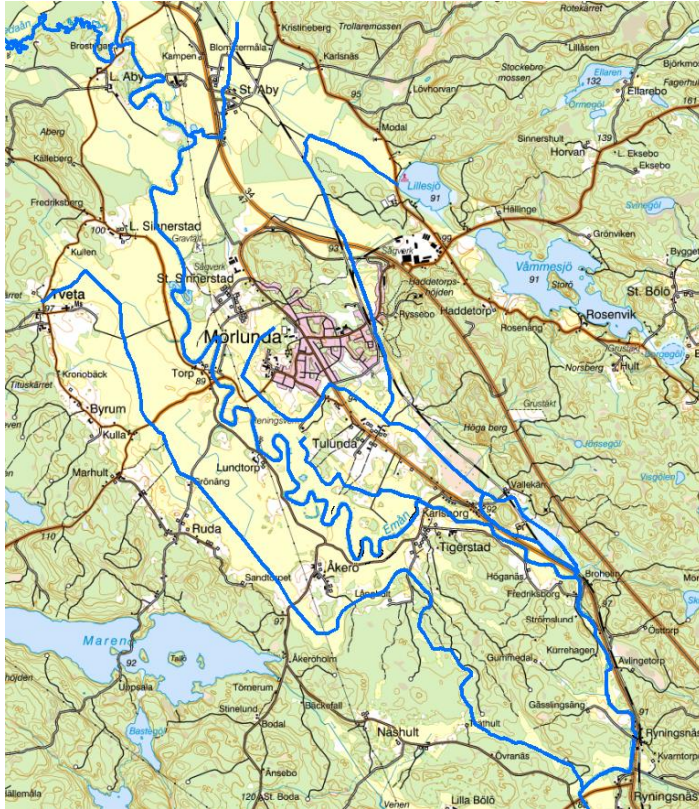
3.2.2 Uppdateringar i Mörlunda-området

I Mörlunda-området har modellen uppdaterats med bottenprofilen från inmätningar (lodningar) av tvärprofiler i huvudfåran. Inmätningarna utfördes av Emåförbundet på uppdrag av Länsstyrelsen våren 2017 och omfattar ett 30-tal tvärprofiler mellan Aby och Tigerstad, samt en längsgående mittprofil för hela sträckan, se Figur 3-1.



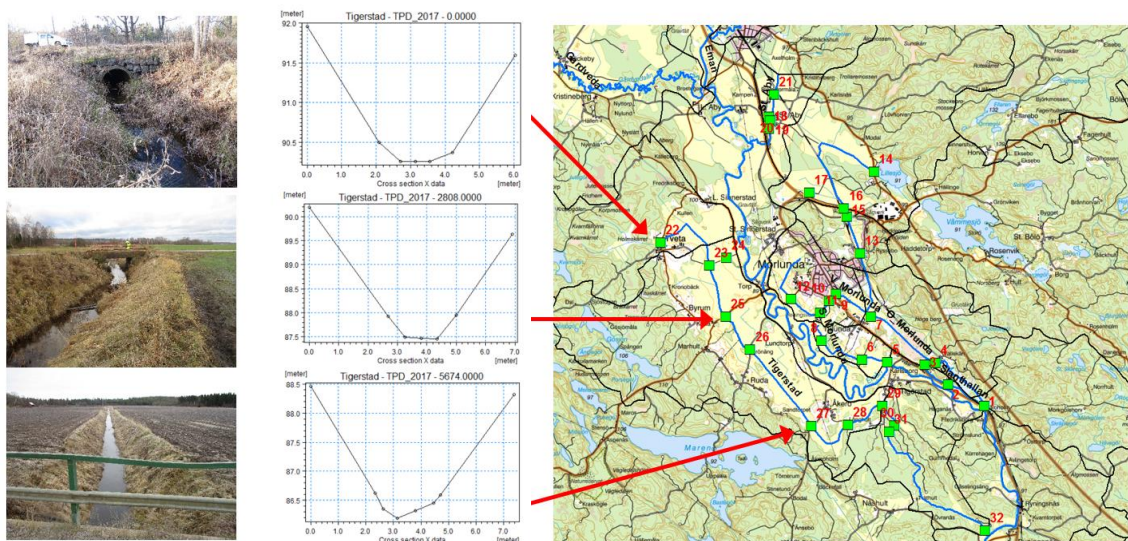
Figur 3-1. Emåns huvudfåra genom Mörlunda-området med markering av punkter där tvärprofiler har mätts in genom lodning (röda symboler).

I Mörlundaområdet har även de större diken (biflödena) som ansluter till Emåns huvudfåra lagts in i MIKE 11-modellen. Dikena inkluderar bl a Tigerstad kanal väster om Emån och det större diket (Järnvägsdiket) genom Mörlunda öster om Emån, se Figur 3-2.



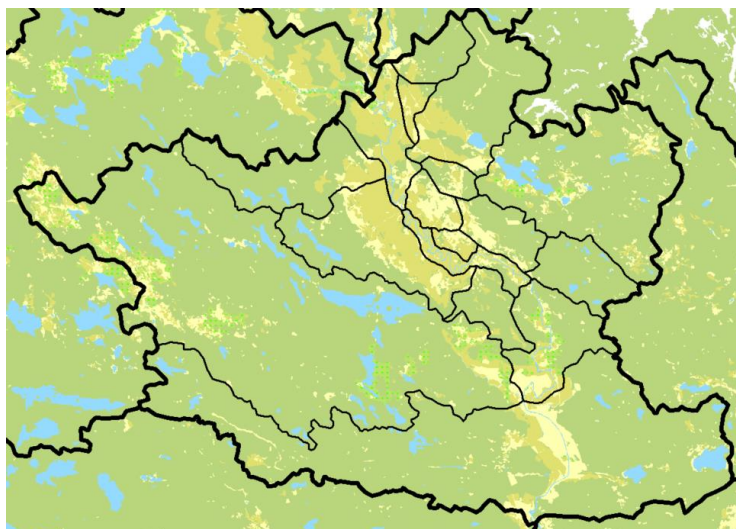
Figur 3-2. Emåns huvudfåra genom Mörlundaområdet med anslutande större diken i MIKE 11-modellen (blå linjer).

Dikessektioner, vägtrummor och broar har mätts in på utvalda platser i dikessystemet som underlag till beskrivningen i MIKE 11, se Figur 3-3. Inmätningarna gjordes av Hultsfreds kommun på uppdrag av Länsstyrelsen våren 2017.



Figur 3-3. Exempel på inmätta dikessektioner i Tigerstad kanal, samt markering av platser för inmätning av dikessektioner och trummor i Mörlunda-området (gröna symboler).

Det större NAM-området mellan Gårdvedaåns utlopp och Blankaström har delats in i mindre delområden som belastar huvudfåran och anslutande diken i MIKE 11-modellen, se Figur 3-4.



Figur 3-4. Delavrinningsområden i NAM-modellen efter anpassning till MIKE 11-modellen av huvudfåran och dikessystemet i Mörlandaområdet.

3.2.3 Uppdateringar i Brusaån

På sträckan mellan Hjärtevad och Högebro har modellen av Brusaån uppdaterats med data från inmätningar av tvärprofiler i ett 30-tal punkter, samt geometrier för samtliga brokulvertar och skibord. Inmätningarna gjordes av en mätkonsult sommaren 2017 på uppdrag av Länsstyrelsen enligt ett förslag på mätpunkter som togs fram av DHI.



Figur 3-5. Del av Brusaån mellan Hjärtevad och Högebro med markering av punkter där tvärprofiler, brokulvertar och skibord har mätts in (gröna symboler).

3.3 Uppdatering av kopplad MIKE 11/21-modell

All data för tvärsektioner, vägtrummor och brokulvertar ligger i den uppdaterade MIKE 11-modellen och följer automatiskt med till den koppade MIKE 11/21-modellen. MIKE 21-modellen beskriver flodplanets topografi och råhet och har inte ändrats jämfört med tidigare modellversion (DHI, 2016). Uppdateringen av den kopplade MIKE 11/21-modellen innebär därför bara att kopplingen i sidled mellan MIKE 11 och MIKE 21 har gjorts om.

I den uppdaterade kopplade modellen kan vatten vid höga nivåer i Emån strömma mellan huvudfåran i MIKE 11 via flodplanet i MIKE 21 över till dikessystemet i MIKE 11. Vattennivån i dikessystemet i MIKE 11 kan också stiga genom bakåtdämning från huvudfåran så att vatten leds över till flodplanet i MIKE 21 längre upp i dikessystemet.

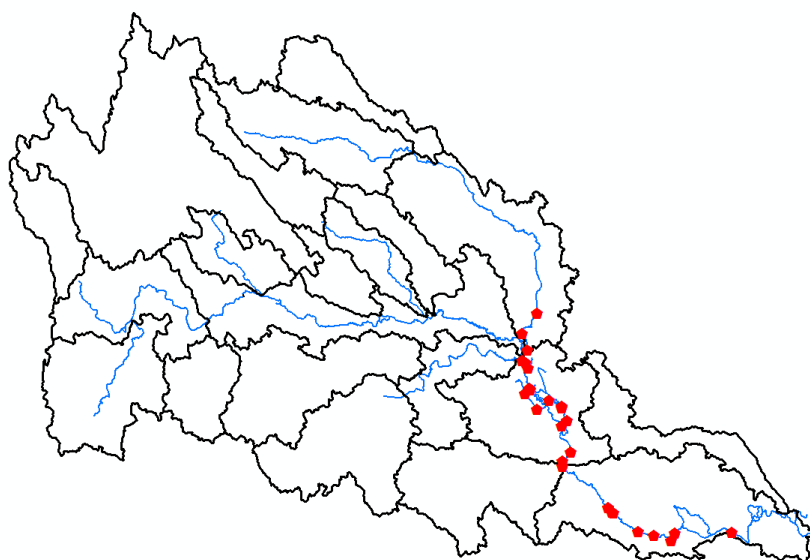
Skillnaden mot den tidigare modell-versionen ligger framförallt i att dikenas kapacitet att avleda vatten, antingen från den lokala tillrinningen eller från översvämning av huvudfåran, beskrivs på ett mer korrekt sätt i den uppdaterade modellen. En modellteknisk fördel är att den lokala tillrinningen till dikessystemet kan hanteras i MIKE 11 på samma sätt som tillrinningen till huvudfåran.

3.4 Kalibrering

Modellen har kalibrerats mot observerade flöden och nivåer från översvämningen i juli 2012. Maxflödet vid Blankaström uppgick då till ca 110 m³/s, vilket ungefär motsvarar ett 10-årsflöde. Erhållna nivådata från Länsstyrelsen omfattar enbart punkter på sträckan mellan Målilla och Fliseryd, se Figur 3-6. Uppgifterna gäller en tidpunkt några dygn innan flödet kulminerar. Flödet vid Blankaström är då ca 95 % av maxflödet, vilket gör att nivåerna ändå är jämförbara med modellerade maxnivåer.

Beräkningarna är gjorda med MIKE 11-modellen. Tillrinningen har beräknats med NAM-modellen som drivs med observerade data (dygnsvärden) för temperatur och nederbörd. Resultatet efter injustering av modellens friktionsparameter visas i Tabell 3-3.

Beräknade maxnivåer är i de flesta fall något högre än observerade nivåer, vilket även gäller beräknat maxflöde i Blankaström (ca 110 m³/s). Med något undantag ligger absolutfelet i intervallet 0.1-0.3 m, vilket bör betraktas som ett bra resultat.



Figur 3-6. Markering av platser med nivådata från översvämningen i juli 2012 (röda symboler).

Tabell 3-3. Observerade och beräknade nivåer för översvämningen i juli 2012.

Plats	Obs. nivå (m)	Beräknad nivå (m)	Differens (m)
Hagelsrum	95.41	95.75	0.34
Målilla	94.66	94.57	-0.09
Rosenfors	92.90	92.28	-0.62
L. Aby Bro	91.66	92.02	0.36
Stora Aby	92.04	91.93	-0.11
Kättebro	91.75	91.79	0.04
Torps gamla bro	91.29	91.31	0.02
Vägen Torp-Mörlunda	90.90	91.24	0.34
Tigerstad bro	90.12	90.24	0.12
Utlopp fr. Järnvägsdiket	89.45	89.66	0.21
Grapes bro	89.06	89.50	0.44
Uppstr. Bro mot Gässlingsäng	88.51	88.33	-0.18
Bro mot Fågelfors	85.54	85.70	0.16
Sjöbotten	84.48	84.65	0.17
Häckleberget	83.55	83.78	0.23
Uppstr. Tingebo	63.71	63.80	0.09
Nedstr. Tingebo	63.36	63.72	0.36
Järnvägsbron (Ruda)	62.68	62.90	0.22
Åsebo	61.01	60.80	-0.21
Bro gamla Ekhult	60.35	60.36	0.01

Modellen har även kalibrerats mot maxnivåer vid Hjaltevad och Ingatorp från översvämningen sommaren 2007. Denna kalibrering beskrivs närmare i Avsnitt 7.

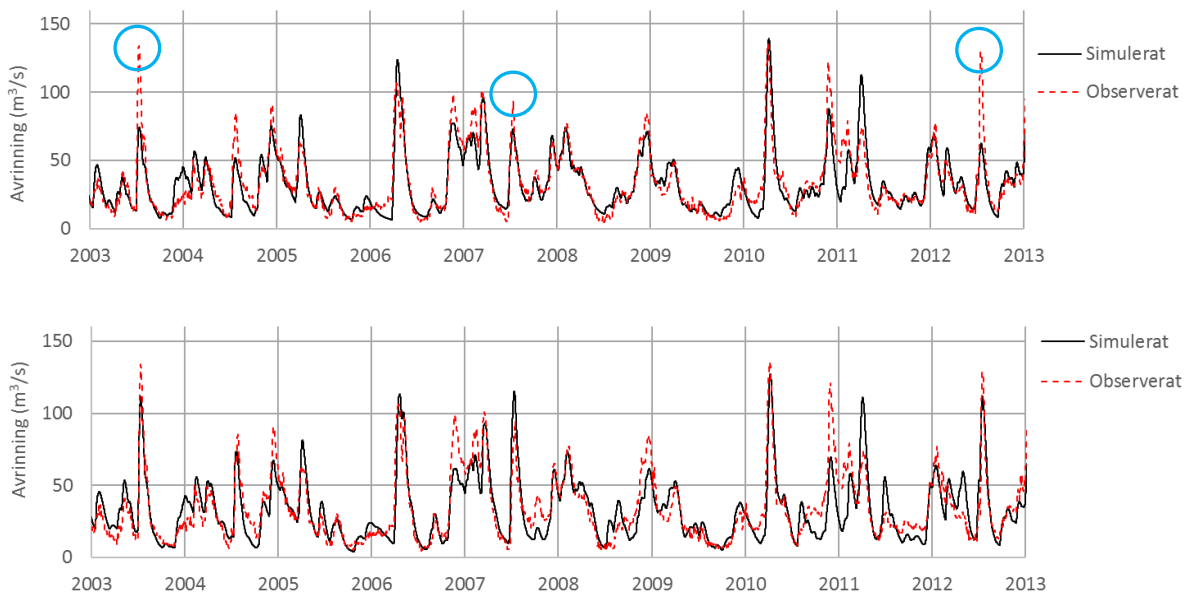
4 Uppdatering av den hydrologiska modellen med fokus på intensiva sommarregn

Tidigare analyser med Emåns vattendragsmodell (DHI, 2016) har visat att den hydrologiska modellen (NAM) generellt underskattar avrinningen vid intensiva sommarregn. Sådana regn är ofta lokala händelser, vilket med ett gles stationsnät innebär svårigheter att uppskatta regnvolym och fördelning över avrinningsområdet. Avvikelsen mellan beräknad och observerad avrinning kan delvis också bero på inställningen av parametrarna i NAM-modellen.

Eftersom det saknas detaljerat underlag för justering av nederbördsvolym och rumslig fördelning över området har analysen inriktats på att undersöka om det är möjligt att bättre beskriva avrinningen vid intensiva sommarregn med någon annan kombination av modellparametrarna. En ny kalibrering har gjorts med särskilt fokus på de intensiva sommarregnen 2003, 2007 och 2012. Vid kalibreringen används en automatisk rutin i NAM-modellen som gör en optimering av upp till 9 parametrar mot observerad flödesserie. För en beskrivning av NAM-modellens parametrar hänvisas till den tidigare studien (DHI, 2016).

I den nya kalibreringen har avrinningskoefficienten för överland flow (CQOF) satts till värdet 0.8 så att en stor andel (80 %) av den beräknade avrinningen går till snabb ytavrinning när marken är vattenmättad. En annan förändring är att den potentiella avdunstningen (månadsmedelvärde) har flyttats 1 månad framåt i tiden i syfte att minska avdunstningen i modellen under senvår och sommar. Detta bidrar till att höja markvattenhalten i modellen under juni-juli, vilket tillsammans med det högre värdet på avrinningskoefficienten bidrar till ökad ytavrinning i samband med kraftiga sommarregn. Med dessa förutsättningar har övriga modellparametrar optimerats i en ny auto-kalibrering.

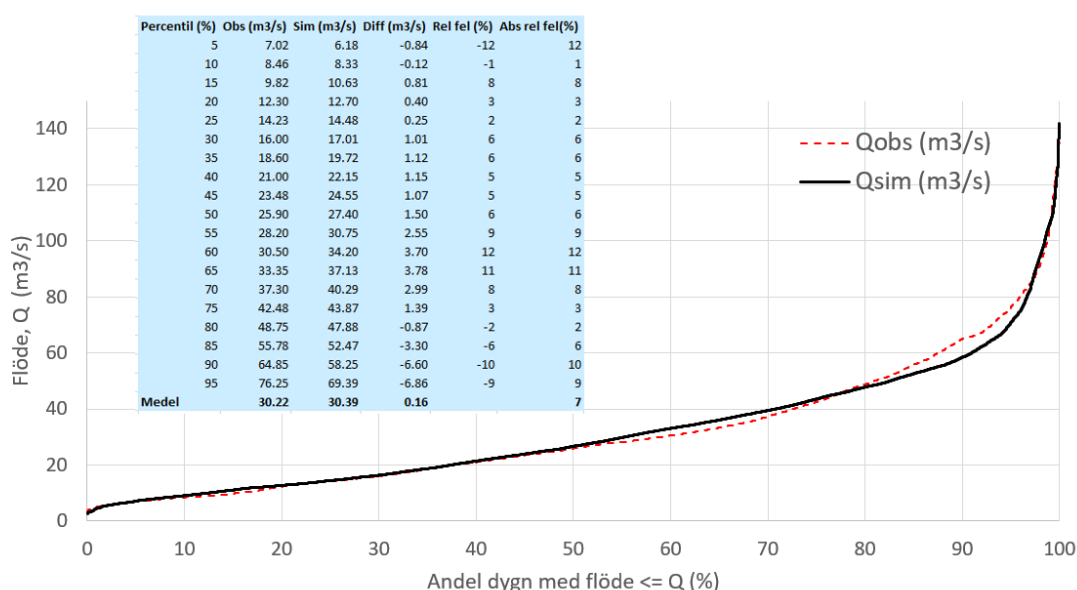
Figur 4-1 visar slutresultatet från kalibreringen mot observerade flöden vid Emsfors tillsammans med den tidigare kalibreringen (DHI, 2016). Vid alla tre tillfällen med kraftig sommarnederbörd 2003, 2007 och 2012 ökar den beräknade avrinningen. För sommarregnet 2003 ökar maxflödet från 73 till 111 m³/s (observerat 134 m³/s), för sommarregnet 2007 ökar maxflödet från 72 till 111 m³/s (observerat 95 m³/s) och för sommarregnet 2012 ökar maxflödet från 62 till 112 m³/s (observerat 130 m³/s).



Figur 4-1. Resultat från kalibrering av NAM-modell mot flödesdata från Emsfors. Tidigare kalibrering (överst) och ny kalibrering (underst).

Modellens förklaringsgrad är ett mått på hur väl hydrografens form beskrivs av modellen och uttrycks med R^2 -värdet (Nash-Sutcliffe koefficienten). Med de nya modellparametrarna sjunker R^2 -värdet från tidigare 0.81 (DHI, 2016) till 0.79. Detta är en marginell försämring som beror på att en av parametrarna (CQOF) hålls konstant vid kalibreringen. Resultatet uppvägs av att modellen presterar väsentligt bättre vid de intensiva sommarregnen. Parametervärdena i den slutliga kalibrerade NAM-modellen redovisas för Emsfors, Stensåkra och Mariannelund (Brusafors) i Tabell 4-1.

Varaktighetsdiagrammet i Figur 4-2 är ett sätt att jämföra den beräknade och observerade flödesfördelningen. Det relativa felet i flödet redovisas i 5 %-percentilsteg över hela varaktighetsintervallet, med ett genomsnittligt relativt fel på 7 %. Diagrammet visar god överensstämmelse mellan beräknade och observerade flöden över hela intervallet, även vid låga och höga flöden.



Figur 4-2. Varaktighetsdiagram för beräknade och observerade flöden (period 1996-2016).

Tabell 4-1. Sammanställning av parametervärden i den uppdaterade NAM-modellen.

Parameter	Förklaring	Emsfors $R^2 = 0.79$	Stensåkra $R^2 = 0.80$	Brusafors $R^2 = 0.74$
U_{max}	Max vatteninnehåll i ytmagasin (mm)	17.4	21.9	27.2
L_{max}	Max vatteninnehåll i rotzonsmagasin (mm)	400	340	400
CQOF	Avrinningskoefficient för overland flow (-)	0.8	0.8	0.8
CKIF	Tidskonstant för interflow (tim)	394	200	706
CK ₁₂	Tidskonstant för interflow och overland flow (tim)	234	194	70
TOF	Tröskelvärde för overland flow (-)	0.35	0.19	0.36
TIF	Tröskelvärde för interflow (-)	0.24	0.41	0.11
TG	Tröskelvärde för påfyllning av grundvattenmag. (-)	0.53	0.52	0.24
CK _{BF}	Tidskonstant för grundvattenflöde (tim)	5985	5998	2500

5 Simulering av torrperioder

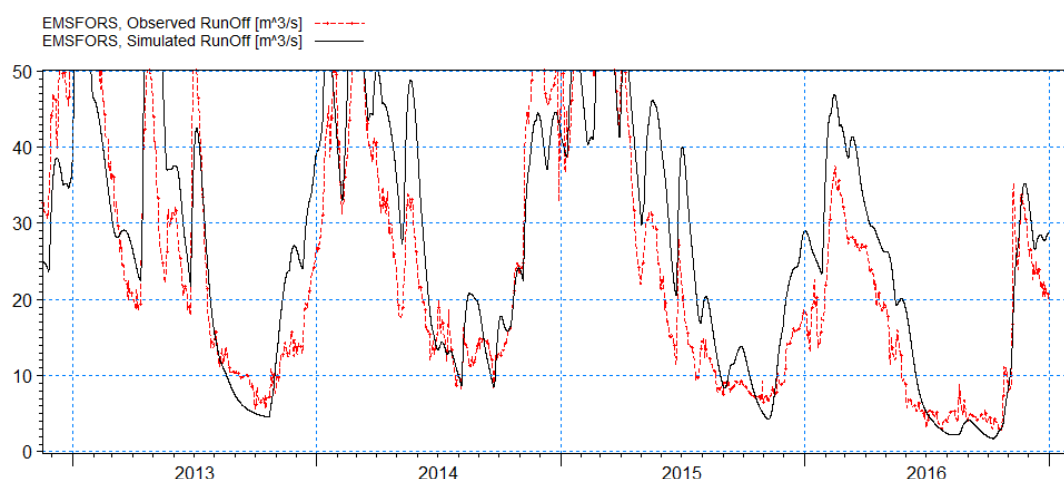
5.1 Simulering av torrperioder i dagens klimat

Simulering av flöden under torrperioder är en intressant tillämpning av vattendragsmodellen och möjliggör analyser av effekter på lågflöden av förändringar i t.ex. reglering, markanvändning eller klimat.

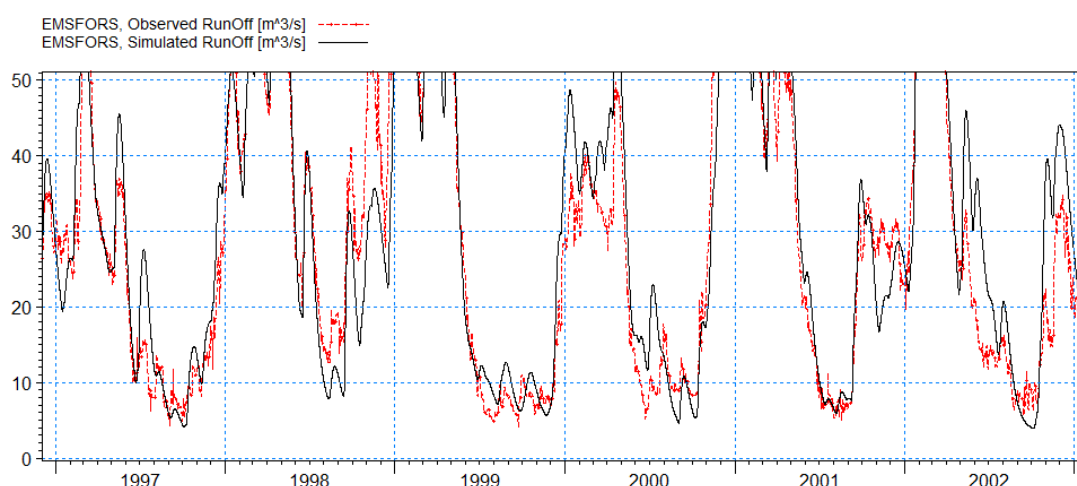
Den simulerade flödesserien för Emsfors med den uppdaterade NAM-modellen (Figur 4-1) visas i Figur 5-1 för åren 2013-2016. Under senare år är det framförallt åren 2013 och 2016 som innehåller längre perioder med flöden under 10 m³/s vid Emsfors. Även 2009 innehåller en relativt lång period med låga flöden. Torrperioden 2016 var dock betydligt värre än 2009 och 2013 med avseende på torrperiodens tidiga start, längd och lägsta flöde (ner till 3 m³/s). Flödena 2016 nådde då under 10 m³/s redan i slutet på maj, vilket är ca 2 månader tidigare än 2009 och 2013. Torrperioden 2016 pågick även länge, ca 5 månader, fram till slutet på oktober. Perioder liknande 2016 går att hitta i den uppmätta flödesserien från Emsfors 1964, 1989 och 1992, vilket betyder 4 gånger totalt under den ca 60 år långa mätserien, eller i genomsnitt var 15:e år.

Figur 5-1 visar att den simulerade avrinningen med NAM-modellen är lägre än observerade flöden under torrperioden 2013 och 2016. Detta är troligtvis en effekt av regleringen, vilken inte beskrivs direkt i NAM-modellen. För torrperioden 2016 är det en tidsförskjutning inledningsvis på ca 3 veckor mellan den simulerade och observerade serien. Flödena 2016 överskattas generellt i modellen under hela den föregående vintern och våren, vilket även påverkar torrperiodens start. Våren 2013 är modellerade och observerade flöden bättre i fas, men skiljer sig mot slutet av året då flödena ökar snabbare i modellen. Det finns således tydliga skillnader mellan den NAM-beräknade flödesserien och den observerade serien, även under torrperioder. Som tidigare har konstaterats klarar dock modellen av att beskriva det generella mönstret både för kortare och längre torrperioder, samt ger lågflöden i nivå med observationer. Detta bekräftas även av modellresultaten för åren i början av den simulerade perioden, se Figur 5-2.

Motsvarande överensstämmelse med observerade flöden under torrperioder erhålls för Stensåkra och Mariannelund (Brusafors).



Figur 5-1. Resultat från NAM-modellen för perioden 2013-2016 (svart heldragen linje), jämfört med flödesdata från Emsfors (röd streckad linje).



Figur 5-2. Resultat från NAM-modellen för perioden 1997-2002 (svart heldragen linje), jämfört med flödesdata från Emsfors (röd streckad linje).

För att undersöka betydelsen av regleringen av magasinerna, i första hand Solgen, men även Hjortesjön, St. Bellen och Hulingen, har beräkningar med MIKE 11-modellen gjorts för torrperioderna 2013 och 2016 med tillrinning enligt NAM-modellen. Analysen fokuserar på lågflöden vid Emsfors och bygger på följande förutsättningar:

- Inga bevattningsuttag har tagits med i modellen eftersom de enda uppgifter som har fåtts fram gällande bevattningsuttag är domen från 2002 (Miljödomstolen Växjö Tingsrätt, 2002), där det maximala uttaget under juli och augusti på 100 l/s skulle ha marginell effekt på modellerade flöden vid Emsfors.
- Tappningen från Solgen baseras på det faktiska förhållandet mellan tappning och nivån i Solgen 2013 respektive 2016 enligt data från dammägaren (Skånska Energi, 2017), med en minimitappning på 1.4 m³/s. För övriga magasin antas minimitappningar enligt den tidigare utredningen (DHI, 2016).
- Jämförelsen nedan görs enbart mellan beräknade flöden med MIKE 11-modellen och beräknad avrinning med NAM-modellen för att illustrera effekterna av regleringen under torrperioderna.

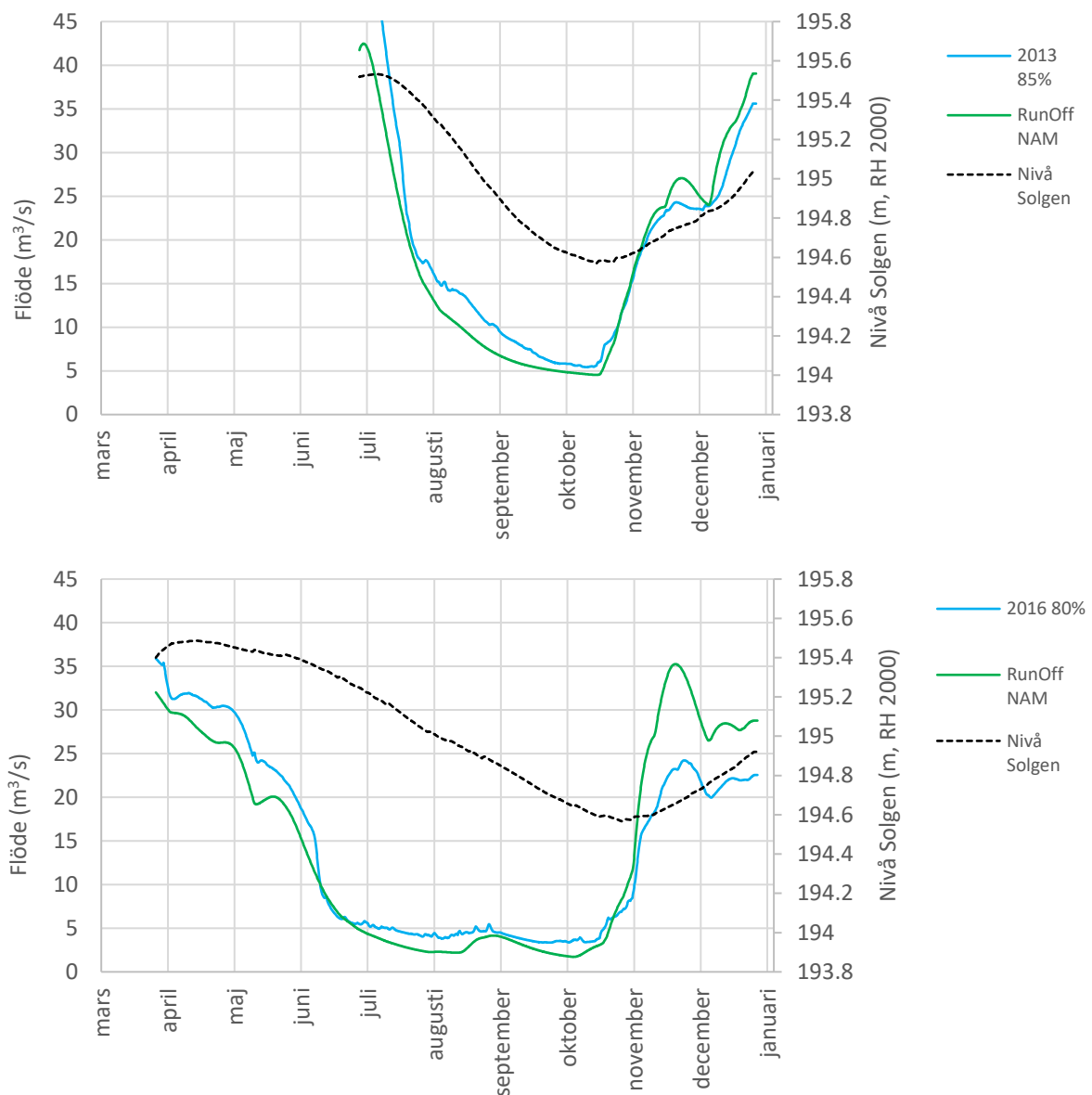
Tabell 5-1 visar en sammanställning över simulerade scenarier. Beräkningarna för respektive år har gjorts med aktuell fyllnadsgrad i Solgen vid inledningen av respektive torrperiod. Sänkings- och dämpningsgräns för Solgen är ca 193.9 m respektive ca 195.8 m (RH 2000).

Tabell 5-1. Simulerade scenarier i MIKE 11-modellen.

Scenario	Inledning av torr-period	Initialt relativt vatteninnehåll i rotzonsmagasin (%)	Initial-nivå Solgen (m)	Initial fyllnads-grad Solgen (%)
2013_85%	13-07-01	74	195.5	85
2016_80%	16-04-01	64	195.4	80

Figur 5-3 visar beräknade flöden med MIKE 11-modellen vid Emsfors, beräknad avrinning med NAM-modellen och beräknade nivåer i Solgen. För torrperioden 2013 (övre figuren) visar beräkningarna att regleringen höjer lågflödet i Emsfors med 3-5 m³/s i början av torrperioden och ca 1 m³/s mot slutet av torrperioden. För torrperioden 2016 (nedre figuren) blir höjningen som mest ca 2-3 m³/s. Beräknade flöden blir lägre än 5 m³/s i nästan 100 dagar sammanlagt under torrperioden.

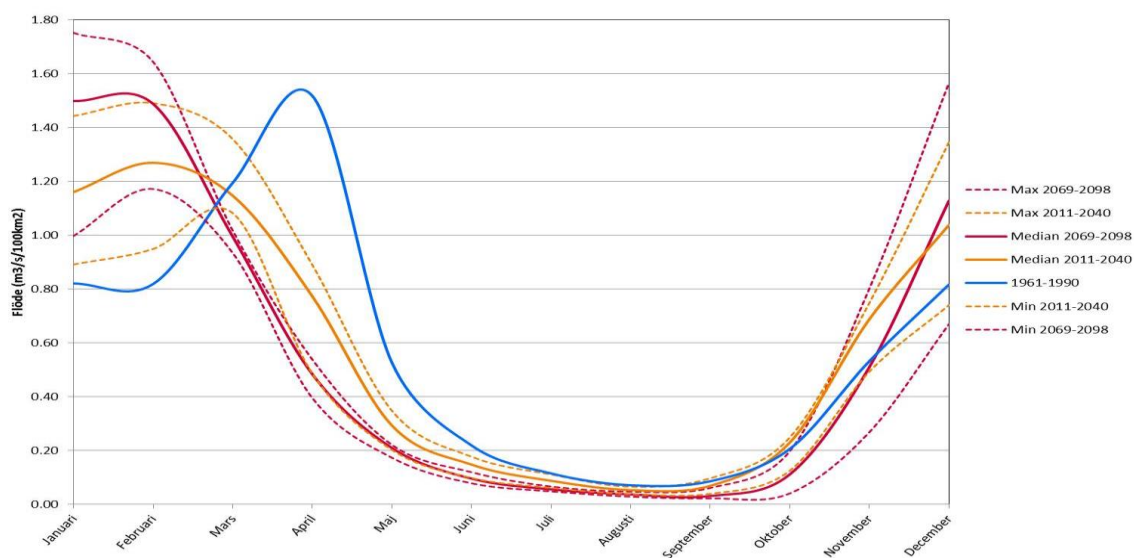
I slutet av torrperioden 2013 och 2016 återstår ca 5 dm eller ca 13 miljoner m³ vatten till sänkingsgränsen i Solgen. Denna volym motsvarar t.ex. ett flöde på 2 m³/s under de ca 50 dagar 2013 som flödet är mindre än 10 m³/s, eller 1 m³/s under de ca 100 dagar 2016 som flödet är mindre än 5 m³/s. Om flödet vid Emsfors antas nå en kritisk gräns vid 5 m³/s skulle nästan hela den återstående volymen i Solgen krävas för att höja lågflödena 2016 så att flödet aldrig når under 5 m³/s. Detta visar på begränsade möjligheter att upprätthålla ett flöde på minst 5 m³/s i Emsfors under en så lång torrperiod som 2016 enbart genom ökad avsänkning av Solgen.



Figur 5-3. Simulerade flöden vid Emsfors 2013 (överst) och 2016 (underst). Beräknat flöde med MIKE 11-modellen (blå linje), beräknad avrinning med NAM-modellen (grön linje), samt beräknade nivåer i Solgen (svart streckad linje).

5.2 Simulering av torrperiod i ett framtida klimat

Enligt den tidigare klimatanalysen för Kalmar län (DHI, 2013) väntas vårfloden i vattendragen i Kalmar läns inland inträffa i genomsnitt omkring 2 månader tidigare mot slutet av seklet, vilket betyder i början/mitten av februari istället för i början/mitten av april enligt referensperioden 1961-1990 (Figur 5-4). Vårfloden blir också lägre p.g.a. minskad snömagasinerings. Detta i kombination med ökad avdunstning och förlängd vegetationsperiod betyder lägre flöden sommar och höst, samt längre torrperioder. Den senaste klimatanalysen för Kalmar län (SMHI, 2015) visar liknande trender för RCP-scenarier. Exempelvis beräknas antal dagar då tillrinningen är lägre än MLQ (period 1963-1992) öka i norra Kalmar läns inland från 30-40 dagar för referensperioden till 50-70 dagar för RCP 4.5 och 60-80 dagar för RCP 8.5 mot slutet av seklet.



Figur 5-4. Trender för tillrinningens årsdynamik i ett framtida klimat i Kalmar läns inland (DHI, 2013).

För att illustrera en möjlig extrem situation i ett framtida klimat har torrperioden 2016 gjorts ännu mer extrem genom att flytta tidsserierna för temperatur och nederbörd några veckor bakåt i tiden (tidigarelägga) och reducera nederbörden under vintern och våren, så att torrperioden inleds ca 1 månad tidigare. Det betyder att torrperioden förlängs med ca 1 månad till omkring 6 månader. Det är ca 2 månader längre än en uppskattad genomsnittlig torrperiod i den observerade flödesserien för Emsfors, vilket är en förändring i paritet med trenderna i klimatanalyserna.

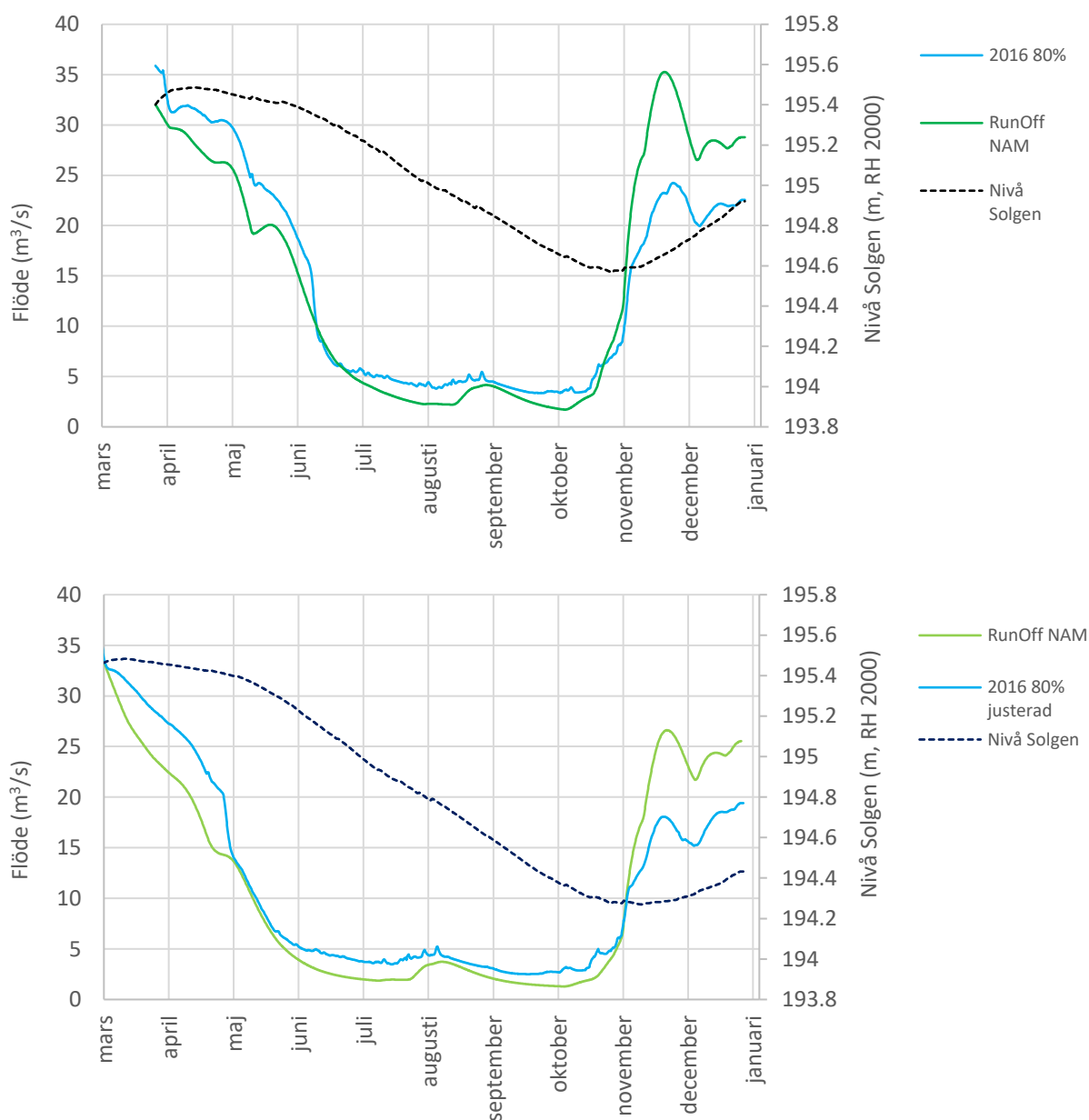
Tabell 5-2 visar en sammanställning över simulerade scenarier, dels baserat på data för nederbörd och temperatur från 2016 enligt föregående avsnitt, dels med justerad temperatur och nederbörd enligt ovan. Fyllnadsgraden i Solgen antas i båda fallen vara 80 % i inledningen av torrperioden. Regleringsstrategin för magasinerna är densamma.

Tabell 5-2. Simulerade scenarier i modellen.

Scenario	Start torrperiod	Rel. vatteninnehåll (%)	Initial-nivå Solgen (m)	Initial fyllnadsgrad Solgen (%)	Kommentar
2016_80%	16-04-01	0.64	195.4	80	Aktuell nederbörd och temp
2016_80%_just	16-03-01	0.63	195.4	80	Justerad nederbörd och temp

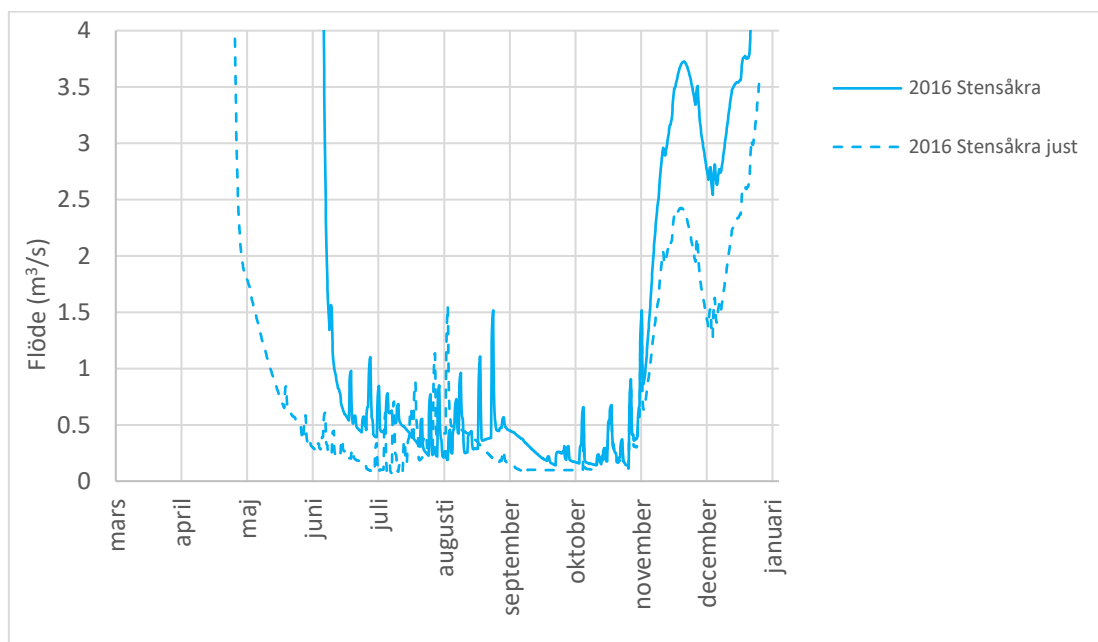
Figur 5-5 visar resultaten för Emsfors. Antal dagar när flödet i Emsfors understiger 5 m³/s ökar från ca 100 till ca 140. Beräkningarna visar också att lågflödena minskar ytterligare. Effekten på lågflödena av regleringen blir ungefär densamma som tidigare.

Nivåerna i Solgen sjunker ytterligare ca 3 dm med den förlängda torrperioden och det återstår bara 3 dm till sänkingsgränsen i slutet av torrperioden. Det motsvarar ca 7 miljoner m³ vatten, eller 1 m³/s i 60 dagar. Denna reserv hade inte räckt till för att höja lågflödena vid Emsfors till 5 m³/s. Resultatet bekräftar den tidigare slutsatsen att det inte går att upprätthålla ett flöde vid Emsfors på 5 m³/s under en längre torrperiod än 2016 enbart genom ytterligare avsänkning av Solgen.

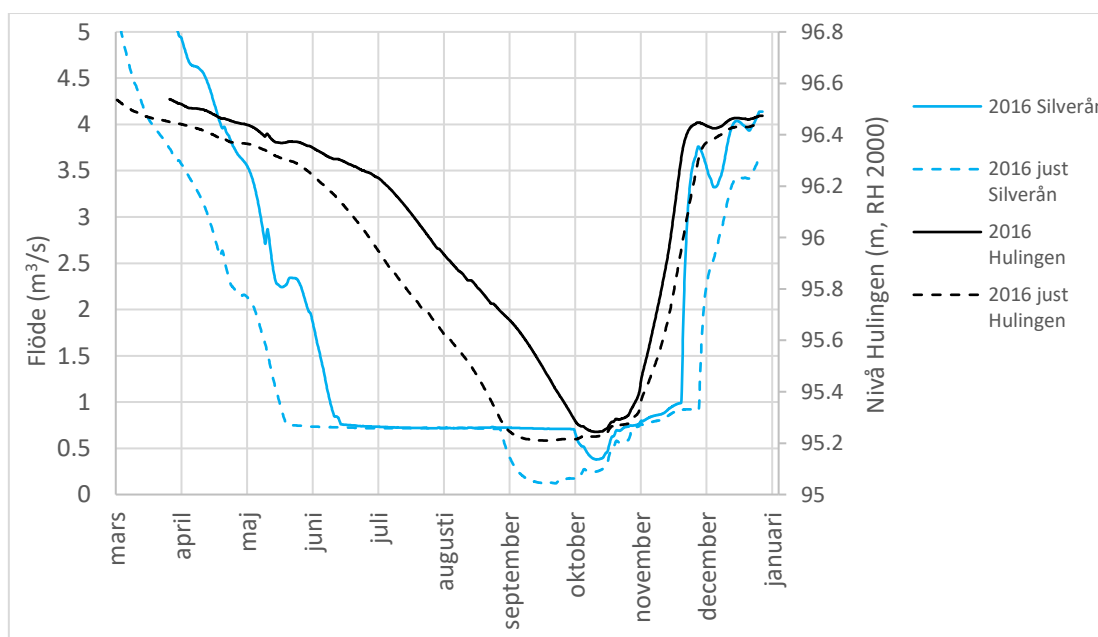


Figur 5-5. Simulerade flöden vid Emsfors för en torrperioden baserad på 2016 års data (överst), samt med förlängd torrperiod (underst). Beräknat flöde med MIKE 11-modellen (blå linje), beräknad avrinning med NAM-modellen (grön linje), samt beräknade nivåer i Solgen (svart streckad linje).

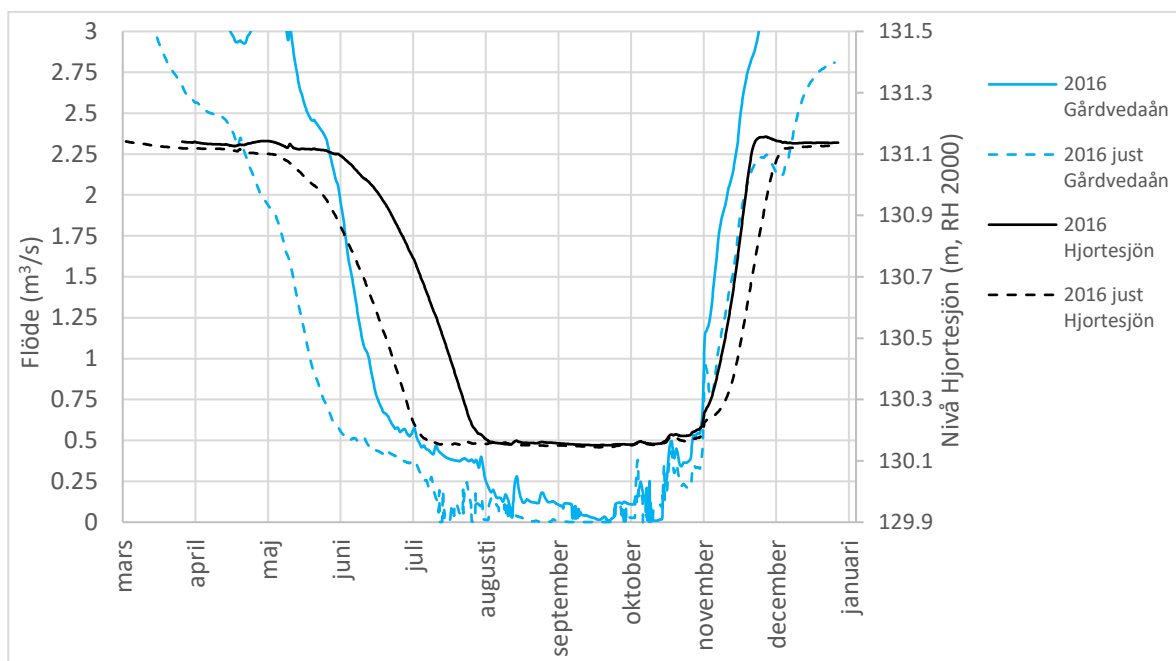
Beräknade flöden med MIKE11-modellen visas även för Stensåkra (Figur 5-6), Silverråns utlopp i Emån (Figur 5-7) och Gårdvedaåns utlopp i Emån (Figur 5-8). För Silverrån och Gårdvedaån visas också nivåerna i magasinerna Hulingen respektive Hjortesjön. Magasinens bidrag till lågflödena framgår tydligt när flödena avtar då magasinerna når sänkingsgränsen. Detta inträffar både för torrperioden baserad på 2016 års data och för den förlängda torrperioden.



Figur 5-6. Simulerade flöden i Emån vid Stensåkra för en torrperiod baserad på 2016 års data (2016 Stensåkra), samt med förlängd torrperiod (2016 Stensåkra just).



Figur 5-7. Simulerade flöden i Silverrån vid utloppet i Emån för en torrperiod baserad på 2016 års data (2016 Silverrån), samt med förlängd torrperiod (2016 just Silverrån). Diagrammet visar även vattennivån i Hulingen med sänkingsgräns 95.26 m och dämningssgräns 96.76 m.



Figur 5-8. Simulerade flöden i Gårdvedaån vid utloppet i Emån för en torrperiod baserad på 2016 års data (2016 Gårdvedaån), samt med förlängd torrperiod (2016 just Gårdvedaån). Diagrammet visar även vattennivån i Hjorteshön med sänkingsgräns 130.15 m och dämningssgräns 131.45 m.

6 Kartering av kritiska förhållanden för översvämningar

6.1 Scenarier

Som komplement till den tidigare utredningens stationära beräkningar och översvämningsskartor för 10-årsflödet och 100-årsflödet (DHI, 2016) har den kopplade MIKE 11/21-modellen använts för att göra dynamiska (tidsvarierande) beräkningar av flöden och nivåer längs huvudfåran och de större biflödena i modellen.

Beräkningar har gjorts för 4 scenarier i vilka NAM-modellen belastades med regn med återkomsttiden 3, 10, 30 och 100 år, se Tabell 6-1. De valda scenarierna täcker tillsammans in ett brett flödesintervall i varje beräkningsspunkt i modellen och beskriver samtidigt hydrodynamiken på ett mer realistiskt sätt jämfört med de tidigare stationära beräkningarna.

Regnen antas vara lika fördelade över hela avrinningsområdet och ha 2 dygns varaktighet. I samtliga scenarier antas att den hydrologiska situationen initialt motsvarar situationen precis före det kraftiga regn som ledde till översvämningar på flera platser i juli 2012. Det betyder en relativt blöt sommarsituation initialt.

Tabell 6-1. Sammanställning över valda regnscenarier.

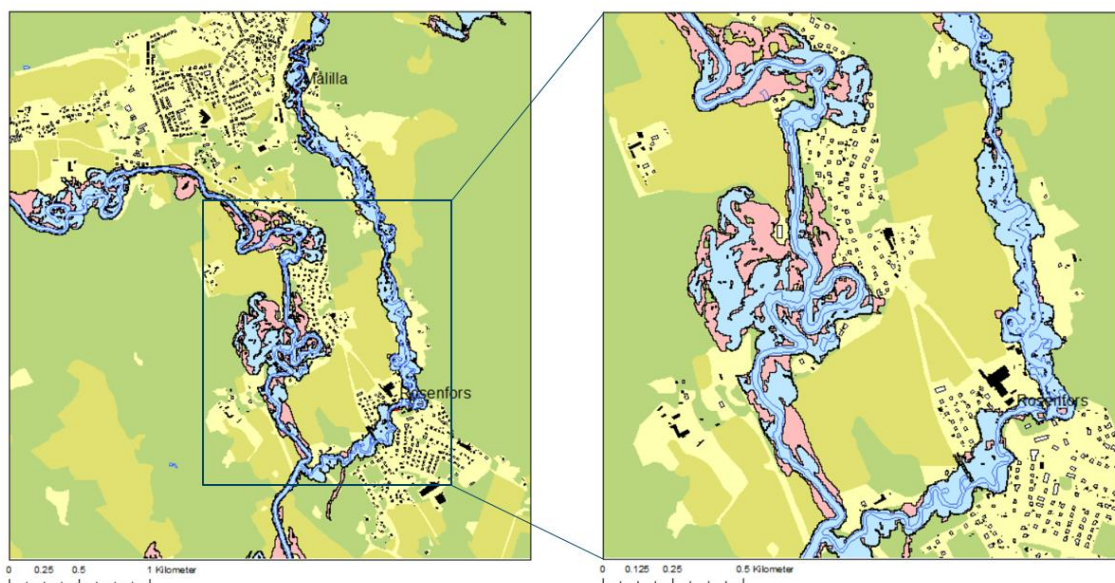
Scenario	Återkomst tid regn (år)	Regnmängd under 2 dygn (mm)
3-årsregn	3	70
10-årsregn	10	87
30-årsregn	30	110
100-årsregn	100	148

6.2 Resultat

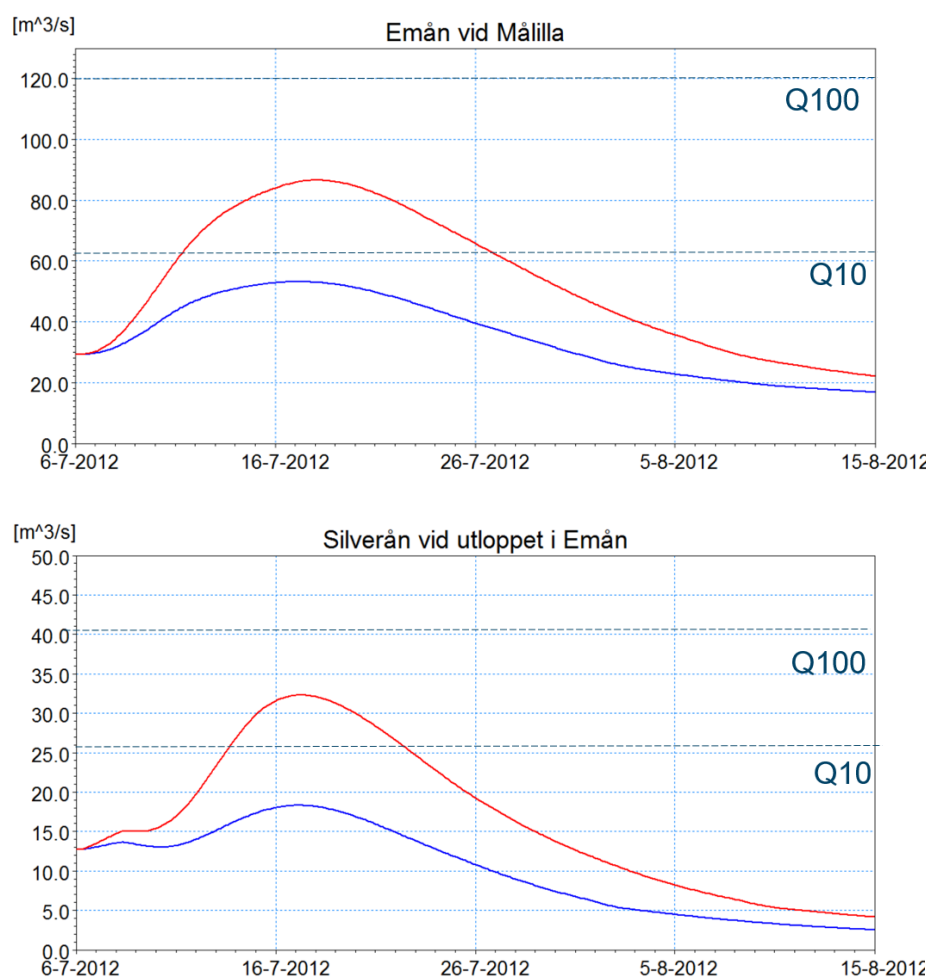
Översvämningsspolygoner, nivå raster och djup raster har tagits fram från beräknade maxnivåer, se exempel i Figur 6-1 nedan. Djup raster-filerna har sedan använts för att beräkna översvämrad markarea och motsvarande vattenvolym. I Bilaga A finns en sammanställning över levererade GIS-skikt och i Bilaga B redovisas resultat från area- och volymsberäkningar.

Tidsserier för flöden och nivåer har beräknats i varje tvärsektion i MIKE 11-modellen, se exempel i Figur 6-2. Tidsserierna redovisas på utvalda platser via informationssystemet. Maxnivå, maxflöde och tidsfördröjning till flödesmaximum redovisas sektionsvis i en shape-fil, se Bilaga A.

Resultaten från scenarierna visar tillsammans kopplingen mellan flöde och översvämningssutbredning på olika platser i vattendraget. Kombinerat med information om t.ex. vägar och bebyggelse ger det information om när vattnet når kritiska nivåer i olika delar av vattendraget. Resultaten utgör ett underlag för att identifiera översvämningsskänsliga områden, samt platser där det kan behöva göras åtgärder för att minska risken för översvämningar.



Figur 6-1. Exempel på beräknad översvämningsutbredning vid Målilla för 10-årsregn och 100-årsregn.



Figur 6-2. Exempel på beräknade flödeshydrografer vid Målilla (överst) och Silveråns utlopp (underst) för 10-årsregn (blå linje) och 100-årsregn (röd linje). Streckade linjer markerar 10-årsflödet och 100-årsflödet i vattendraget i motsvarande punkter.

7 Åtgärdsstudie Brusaån – Ingatorp

7.1 Bakgrund och syfte

I detta avsnitt redovisas resultat från en åtgärdsstudie med fokus på att mildra konsekvenser av översvämningar i Brusaån genom Ingatorp. Bakgrunden till utredningen är de frågor kring möjliga åtgärder som tagits upp av Eksjö kommun i dialogen med Länsstyrelsen och Emåförbundet med anledning av de översvämningar som har drabbat samhällena längs Brusaån de senaste 15 åren.

I studien används Emåns vattendragsmodell för att analysera effekterna av olika åtgärder på flöden, nivåer och översvämningsutbredning. Syftet med modelleringen är att undersöka vilken potential olika åtgärder har att sänka högvattennivåerna och därmed minska översvämningsrisken i Ingatorp.

Åtgärdsstudien utgör ett exempel på hur man kan arbeta med vattendragsmodellen för att utreda en viss frågeställning. De moment som ingår är till stor del generella och studien kan därför fungera som "Pilotstudie" eller exempel på arbetsmetod som kan tillämpas i andra delar av Emåns avrinningsområde.

7.2 Historiska högflöden i Brusaån

Samhällena längs Brusaån, framförallt Ingatorp, har drabbats av flera översvämningar på senare år i samband med kraftiga sommarregn. Det senaste tillfället var i juli 2012 då flödet i Brusaån uppmättes till 19 m³/s i SMHIs mätstation Brusafors i Mariannelund. Det är det högsta flöde som har uppmätts sedan mätningarna började 1954. Andra tillfällen med höga flöden inträffade sommaren 2007 och sommaren 2003 då flödet i Brusafors uppgick till drygt 17 m³/s. Sedan får man gå tillbaka till vårfloeden 1977 för att finna motsvarande flöden.

I övre delen av Brusaån var situationen särskilt besvärlig under högflödet i juni 2007. Stora regnmängder kom då på kort tid i övre delen av Brusaåns avrinningsområde, vilket gjorde att översvämningen 2007 blev värre än 2012. I SMHIs nederbördsstation Prästkulla uppmättes 118 mm på ett dygn 26-27 juni 2007. Flödet i ån steg snabbt och ledde till översvämningar i Bruzaholm, Hjaltevad och Ingatorp (Figur 7-1). I Ingatorp fick bl. a. äldreboendet evakueras p.g.a. vattenskadorna i samband med översvämningarna.



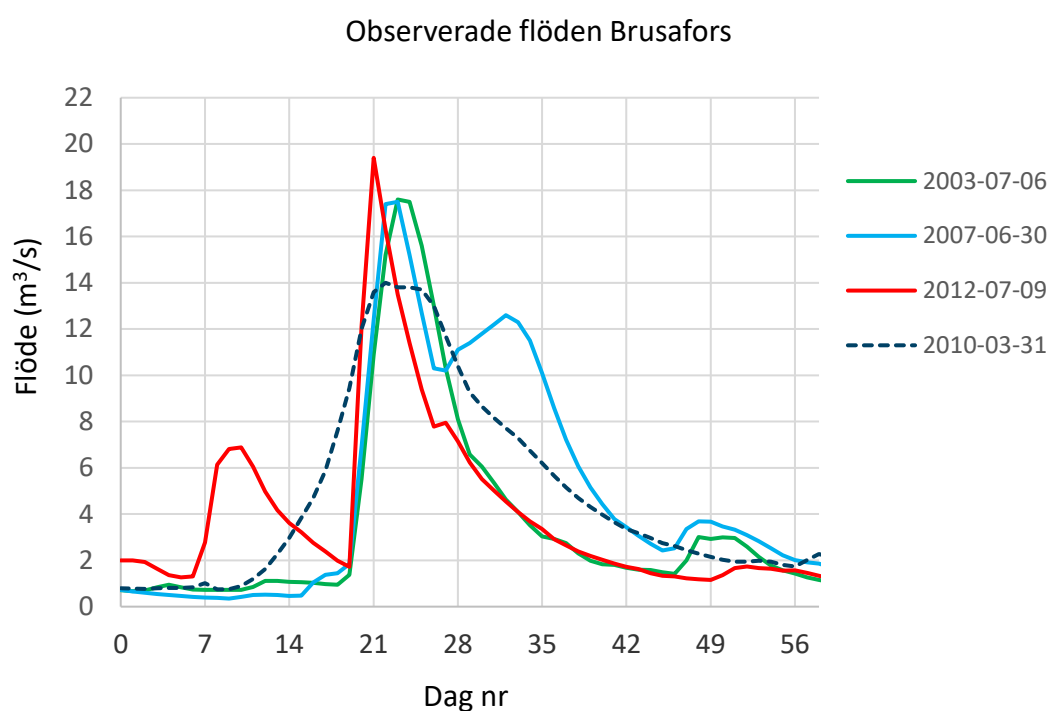
Bruzaholm, översta dammen, 2007-06-27.

Figur 7-1. Översta dammen vid Bruzaholm, 2007-06-27. Bild från Emåförbundets årsrapport 2007 (Emåförbundet, 2007).

Figur 7-2 visar observerade flöden under sommaröversvämningarna 2012, 2007 och 2003, samt under vårflo den 2010 enligt data från Brusafors. Hydrograferna har plottats på samma tidsaxel för att underlätta jämförelser. Vårflo den 2010 med maxflöde 14 m³/s ledde inte till några större problem med översvämningar längs Brusaån, även om enstaka byggnader runt Ingatorpasjön kan ha drabbats.

Med frekvensanalys på flödesserien från Brusafors har DHI uppskattat återkomsttiden för maxflödet i juli 2012 (19 m³/s) till omkring 50 år. Återkomsttiden för maxflödet 2007 och 2003 (17.5 m³/s) uppskattas till 30 år och återkomsttiden för maxflödet 2010 (14 m³/s) till 10 år.

Baserat på erfarenheterna från de tidigare händelserna kan man dra slutsatsen att ett 10-årsflöde i Brusaån kan hanteras utan alltför stora problem, medan 30-årsflödet leder till relativt omfattande översvämningar, speciellt i Ingatorp.



Figur 7-2. Flödeshydrografer från Brusafors vid tidigare högflöden plottade på samma tidsaxel. Datumen anger tidpunkten då flödet kulminerade.

7.3 Beskrivning av åtgärder

7.3.1 Potentiella magasin uppströms Ingatorp

En möjlig åtgärd för att mildra konsekvenser av översvämningar i Ingatorp är att dämpa flödena genom ökad magasinering längre upp i avrinningsområdet. I Brusaåsystemet som är sjöfattigt (sjöprocent ca 2) är det i första hand sjön Hjälden med sammanhängande sjöar direkt uppströms Hjärtevad som har kapacitet att magasinera större volymer vatten vid ett högflöde. I Hjälden ska det enligt uppgifter från Emåförbundet dessutom vara möjligt att nyttja en större regleringsamplitud än vad som sker idag. Utöver Hjälden har våtmarksområdet mellan Hjärtevad och Ingatorp identifierats som ett potentiellt magasin för flödesdämning uppströms Ingatorp.

I Figur 7-3 visas möjliga ytor för magasinering upp- och nedströms Hjärtevad. Markerad yta för Hjälden inkluderar sammanhängande sjöar uppströms och visar vattenutbredningen vid nivån +165.5 m i sjön. Det motsvarar högsta högvatten (HHV) för Hjälden enligt vattendomen från 1962 (Söderbygdens vattendomstol, 1962). Regleringen av Hjälden sker i dagsläget med ett fast skibord med bredden 12 m och tröskelnivå på +164.3 m (RH 2000), se Figur 7-3.

Nedströms Hjälden visas vattenytans utbredning vid nivån +164.66 m (RH 2000). Det motsvarar maxnivån i Hjärtevad under översvämningarna i juni 2007 enligt uppgifter från Eksjö kommun (Eksjö kommun, 2017). Det potentiella magasin i våtmarksområdet som har analyserats i denna utredning begränsas till området uppströms bron i höjd med travbanan enligt Figur 7-3.



Figur 7-3. Markering av potentiella ytor för magasinering (överst), befintligt skibord vid Hjäldens utlopp (underst till vänster), befintlig bro i höjd med travbanan (underst till höger). Foto: Emåförbundet.

Referensnivåer enligt vattendomen för Hjältens reglering redovisas i Tabell 7-1. Mer aktuella uppgifter om t.ex. HHV har inte varit möjligt att få fram till utredningen. Det är inte heller känt hur högt Hjälten steg under höglödet i juni 2007. Sänkingsgräns (SG) anges i domen, medan dämninggräns (DG) saknas. I denna utredning simuleras en reglering som håller sjön under dammkrönets nivå, d.v.s. dammkrönets nivå antas som dämninggräns.

Tabell 7-1. Nivåuppgifter från Hjältens vattendom i lokalt höjdsystem och i RH 2000.

Nivåuppgifter för Hjälten	Lokalt höjdsystem (m)	RH 2000 (m)
HHV	165.26	165.52
Dammkrön (DK) utlopp	165.20	165.46
MHV	164.46	164.72
Skibordskrön utlopp	164.04	164.30
MV	163.80	164.06
MLV och SG	163.60	163.86
LLV	163.50	163.76

Tabell 7-2 visar potentiella ytor och volymer i Hjälten med sammanhängande sjöar uppströms, i våtmarksområdet mellan Hjälten och travbanan, samt norr om travbanan. Av tabellen framgår att Hjälten kan magasinera ca 1000 000 m³ vatten mellan skibordsnivån (+164.3 m) och dammkrönet.

I våtmarksområdet mellan Hjälten och travbanan ryms teoretiskt ca 300 000 m³ mellan lägsta marknivå (+163 m enligt NH-data) och en antagen acceptabel dämningnivå på +164.6 m. Det motsvarar ungefär maxnivån i Hjärtevad i juni 2007 (+164.66 m). Däröver antas konsekvenserna av en uppdamning bli för stora i Hjärtevad. I våtmarksområdet norr om travbanan ryms ca 50 000 m³ mellan lägsta marknivå (+163.6 m enligt NH-data) och nivån +164.6 m.

Tabell 7-2. Potentiella ytor och volymer för ökad magasinering uppströms Ingatorp.

Nivå (m)	Hjälten		Våtmark Hjälten - travbanan		Våtmark norr om travbanan	
	Area (km ²)	Volym (10 ⁶ m ³)	Area (km ²)	Volym (10 ⁶ m ³)	Area (km ²)	Volym (10 ⁶ m ³)
163			0.025	0.000		
163.1			0.027	0.003		
163.2			0.034	0.006		
163.3			0.053	0.011		
163.4			0.083	0.019		
163.5			0.115	0.030		
163.6			0.164	0.048	0.007	0.001
163.7			0.188	0.066	0.011	0.002
163.8			0.209	0.086	0.015	0.004
163.9			0.234	0.109	0.023	0.006
164			0.256	0.134	0.029	0.009
164.1			0.277	0.162	0.034	0.012
164.2			0.299	0.191	0.038	0.016
164.3	0.762	0.000	0.323	0.223	0.062	0.022
164.4	0.762	0.076	0.341	0.256	0.074	0.029
164.5	0.764	0.153	0.354	0.291	0.085	0.037
164.6	0.769	0.229	0.365	0.327	0.106	0.049
164.7	0.785	0.307	0.376	0.364	0.117	0.060
164.8	0.813	0.388	0.389	0.403	0.127	0.072
164.9	0.838	0.472	0.401	0.442	0.134	0.086
165	0.859	0.558				
165.1	0.880	0.646				
165.2	0.897	0.735				
165.3	0.916	0.827				
165.4	0.929	0.920				
165.5	0.942	1.014				

7.3.2 Åtgärd 1. Ökad uppdämning av Hjälten

I analysen av en ökad uppdämning av Hjälten antas att sjön däms upp till dammkrönets nivå (ca +165.5 m). Vidare antas att regleringen sker på ett nära optimalt sätt för ett bestämt flödes-scenario. I utredningen valdes 10-årsflödet eftersom det verkade rimligt att dimensionera åtgärden för en relativt frekvent händelse som 10-årsflödet.

En optimal användning av magasinet innebär att hela magasinvolymen nyttjas till att dämpa toppen i flödespulsen. I praktiken betyder det att tappningen styrs så att nivån i magasinet hålls ner i början av förloppet genom att tappa lika stort flöde som rinner in till sjön (tillrinningen). Detta fortgår upp till en vald kritisk tappning (strypflöde) från magasinet som man inte vill överskrida. Tappningen hålls sedan konstant (= strypflödet) samtidigt som magasinet börjar fyllas upp. Vid högsta tillåtna nivå i magasinet börjar man återigen tappa tillrinningen för att hindra att sjön stiger ytterligare.

Hur stort strypflödet behöver vara bestäms genom att testa olika värden i modellen. När strypflödet är optimalt inställt för ett visst flödesscenario har tillrinningen kulminerat när magasinet är fullt och hunnit sjunka till ungefär strypflödets storlek så att tappningen från magasinet håller sig omkring det kritiska värdet även då magasinet börjar sänkas av.

Även med en styrning av tappningen som är optimerad för 10-årsflödet kan den ökade magasineringen i Hjälten antas sänka de högsta flödena och nivåerna vid Ingatorp vid mer extrema händelser som t.ex. 30-årsflödet. Detta har också undersökts med modellen.

7.3.3 Åtgärd 2. Ökad uppdämning i våtmarksområdet uppströms travbanan

I våtmarksområdet uppströms bron i höjd med travbanan i Hjältevad finns det enligt uppskattningen ovan en potentiell magasinvolym på omkring 350 000 m³ upp till nivån +164.6 m som teoretiskt sett skulle kunna nyttjas för flödesdämning.

I praktiken är det inte möjligt att använda hela denna magasinvolym till att dämpa toppen i flödespulsen, inte ens med en optimalt inställd reglering. Till skillnad från Hjälten råder inte fri utströmning i höjd med travbanan, d.v.s. det sker bakåtdämning från sträckan nedströms, vilket gör att det inte går att tappa önskat flöde (tillrinningen) i början av förloppet utan att en del av magasinet samtidigt fylls upp. Uppskattningsvis kan bara 1/3 av volymen, eller ca 100 000 m³, användas till att dämpa flödestoppen vid 10-årsflödet.

Vid simulering av Åtgärd 2 läggs en begränsning (strykning) av flödet in i modellen i höjd med bron vid travbanan för nivåer upp till +164.5 m. Ett skibord med hög kapacitet ser till att nivån inte stiger över +164.5 m. Analysen görs på liknande sätt som för Åtgärd 1 genom att iterera fram en optimal kritisk tappning för 10-årsflödet och sedan simulera effekterna upp- och nedströms både för 10-årsflödet och 30-årsflödet.

7.3.4 Åtgärd 3. Invallning i Ingatorp

En annan typ av åtgärd för att minska risken för översvämningar i Ingatorp är att anlägga en ca 700 m lång vall som skyddar den närmaste bebyggelsen runt ån och runt Ingatorpasjön. Det vall-alternativ som har studerats illustreras med röd linje på kartan i Figur 7-4. Vallens sträckning följer i stort sett kanten på svämplanet för att så lite som möjligt hindra vattnets utbredning vid höga flöden. Nedströms stenalvsbron i Ingatorp ansluter vällen till den befintliga vall som anlades vid äldreboendet efter översvämningen i juni 2007.



Figur 7-4. Vall-alternativ som har studerats i åtgärdsanalysen (röd linje).

7.4 Kompletterande inmätningar och modelluppdateringar

För att kunna beräkna nivåer och flöden med tillräcklig noggrannhet har det gjorts kompletteringar av dataunderlaget till modellen på sträckan Hjärtevad - Högebro (ca 14 km). Det underlag som fanns sedan tidigare utgjordes framförallt av typsektioner i handlingarna från det ca 100 år gamla dikningsföretaget i Brusaån. Detta bedömdes vara alltför osäkert som underlag till modellens tvärsektioner och det fanns också oklarheter kring höjdsystemet i de äldre handlingarna.

Kompletterande data utgörs av inmätta tvärsektioner på drygt 30 platser mellan Hjärtevad och Högebro, samt geometrier för samtliga brokulvertar och skibord längs den aktuella sträckan. Inmätningarna gjordes av en mätkonsult på uppdrag av Länsstyrelsen enligt ett förslag på mätpunkter som togs fram av DHI.

Anledningen till att inmätningar gjordes ner till Högebro som ligger ca 9 km nedströms Ingatorp var att våtmarker mellan Vallnäs och Högebro inledningsvis fanns med i diskussionen om potentiella översvämningsytor för att kompensera ev. kapacitetshöjande åtgärder i åfåran nedströms Ingatorp. Länsstyrelsen valde senare att fokusera utredningen på sträckan uppströms Ingatorp och flödesdämpande åtgärder, vilka bedömdes vara mer verkningsfulla för att minska översvämningsriskerna i Ingatorp. För den analys som redovisas här hade det varit tillräckligt att göra inmätningar ner till Vallnäs. All inmätt data har dock arbetats in i modellen.

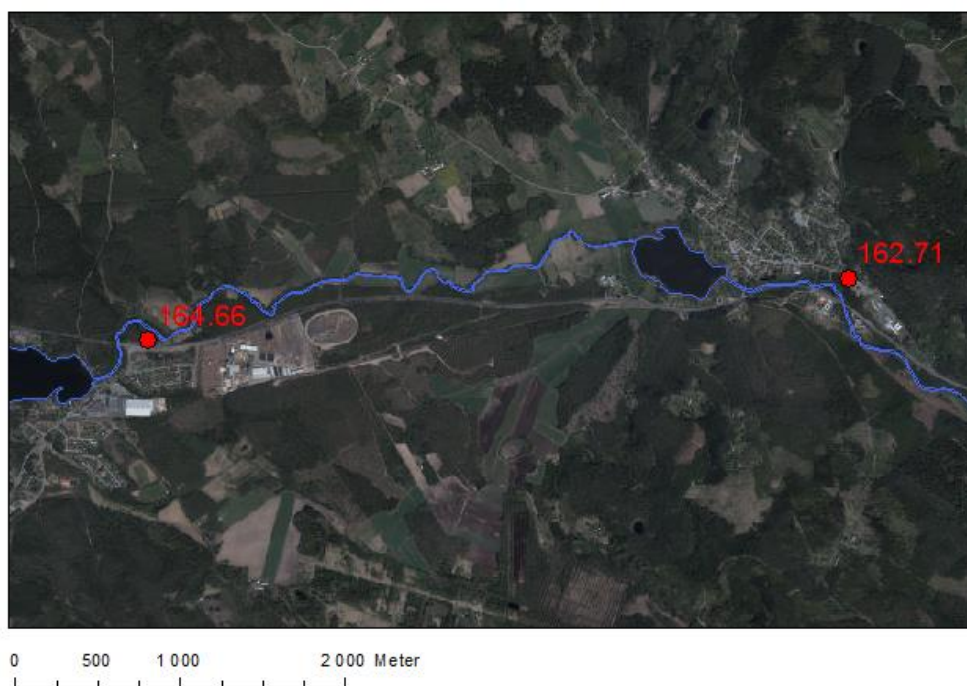
Efter inmätningarna uppdaterades modellens beskrivning av åfåran, alla brokulvertar, samt skibordet vid Hjältens utlopp. Modellen kalibrerades sedan mot de två kända referensnivåerna vid Hjärtevad och Ingatorp från översvämningen 2007 (Figur 7-5).

7.5 Referensnivåer på sträckan Hjärtevad – Ingatorp

Tabell 7-3 visar de referensnivåer på sträckan Hjärtevad – Ingatorp som har använts i analysen. Särskilt viktiga är de maxnivåer i Hjärtevad och Ingatorp från översvämningen 2007 som erhållits från Eksjö kommun (Figur 7-5), eftersom modellen har kalibrerats in mot dessa nivåer. Uppgifter om hur högt Hjärten och Ingatorpasjön steg under högflödet 2007 har inte gått att få fram till utredningen. Osäkerheten i de nivåer i Tabell 7-3 som har hämtats från NH-data uppskattas till ca ± 0.1 m (± 0.05 m på hårda ytor som t.ex. vägar).

Tabell 7-3. Referensnivåer (m, RH 2000) mellan Hjärtevad och Ingatorp.

Nivå	Beskrivning
+162.5	Vatten når upp till de lägst liggande husen vid Ingatorpasjön enligt NH-data.
+162.7	Vatten når upp till husen norr om ån mellan stenvalvsbron och den närmaste bron nedströms enligt NH-data. Motsvarar ungefär maxnivån nedströms Stenvalvsbron i juni 2007.
+162.8	Flera hus runt Ingatorpasjön översvämmas enligt NH-data. Vägbanan norr om Stenbron i Ingatorp svämmar över från uppströmssidan enligt NH-data, vilket leder till marköversvämning vid äldreboendet.
+163.2	Krönnivå för anlagd vall vid äldreboendet i Ingatorp
+164.66	Maxnivå i Hjärtevad nedströms väg 40 i juni 2007.
+165.46	Nivå dammkrön utlopp Hjärten
+165.52	HHV Hjärten enligt vattendomen.



Figur 7-5. Högsta vattennivå i Hjärtevad och Ingatorp vid översvämningen i juni 2007 enligt uppgifter från Eksjö kommun.

7.6 Resultat från simuleringar före och efter åtgärder

7.6.1 Scenarier

Tabell 7-4 visar en sammanställning över simulerade scenarier. Nuläge och Åtgärd 1 simuleras både för 10- och 30-årsscenario. Åtgärd 2 simuleras enbart för 10-årsscenario, medan kombinationen av Åtgärd 1 och 2 simuleras enbart för 30-årsscenario. Valet av flödesscenario för respektive åtgärd motiveras i redovisningen nedan.

Tillrinningen i scenarierna har beräknats med NAM-modellen. Simuleringen av 30-årsflödet utgår från den faktiska hydrologiska situationen i juni 2007. Simuleringen av 10-årsflödet utgår från samma situation före det kraftiga regnet 26-27/6, men sedan har nederbördsvolymen reducerats så att beräknat maxflöde i Brusaån motsvarar ett flöde med 10-års återkomsttid (ca 14 m³/s).

Nivån i Hjälden före det kraftiga regnet ligger någon decimeter över tröskelnivån för befintligt skibord i samtliga scenarier.

Tabell 7-4. Simulerade scenarier i modellen.

Scenario	Åtgärd	Beskrivning
Q10_0	Nuläge	Dagens förhållanden, 10-årsflöde
Q30_0	Nuläge	Dagens förhållanden, 30-årsflöde
Q10_1	Åtgärd 1	Åtgärd 1 - Uppdämning Hjälden, 10-årsflöde
Q30_1	Åtgärd 1	Åtgärd 2 - Uppdämning Hjälden, 30-årsflöde
Q10_2	Åtgärd 2	Uppdämning uppströms Travbanan, 10-årsflöde
Q30_12	Åtgärd 1+2	Uppdämning Hjälden+Travbanan, 30-årsflöde
Q30_3	Åtgärd 3	Invallning Ingatorp, 30-årsflöde

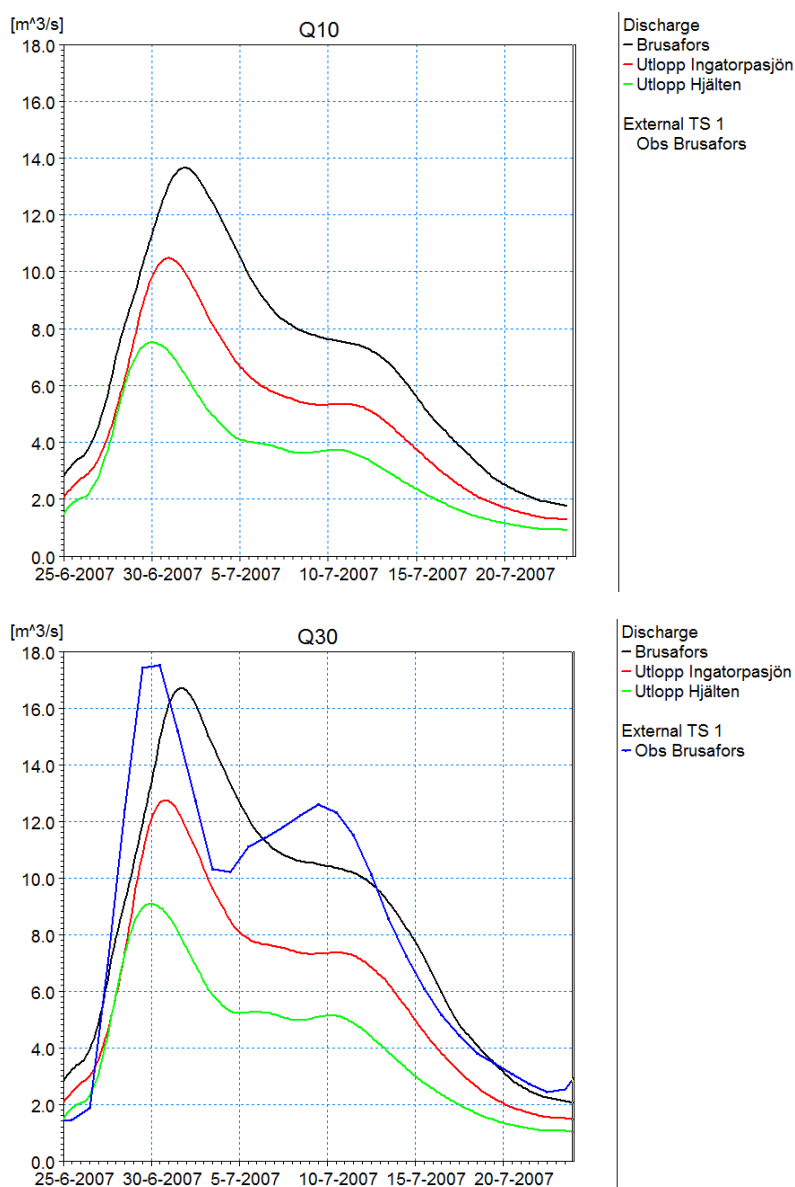
7.6.2 Nuläge

Resultaten från simuleringarna av nuläget redovisas med flödeshydrografer vid utloppet från Hjälden och Ingatorpasjön, samt vid Brusafors för 10-årsflödet och 30-årsflödet (Figur 7-6). Simulerade nivåer redovisas som maxnivå-profiler på sträckan Hjaltevad – Ingatorp (Figur 7-7), tillsammans med referensnivåer enligt Tabell 7-3. Den maximala översvämningsutbredningen i Hjaltevad och Ingatorp visas i Figur 7-8.

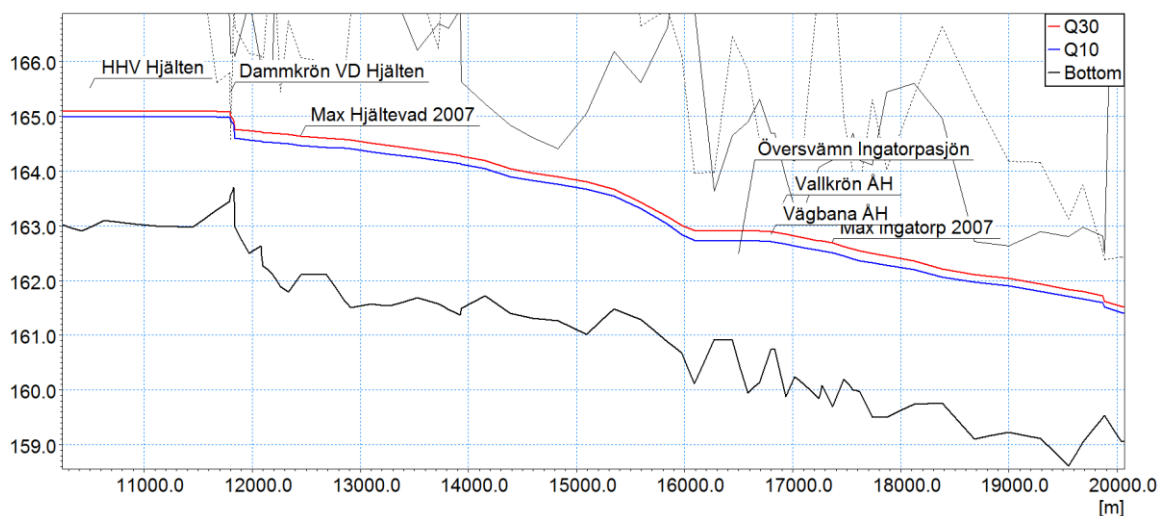
Kommentarer till resultaten:

- Såväl maxvärdet som formen på den simulerade 30-årshydrografen överensstämmer väl med observerade flöden vid Brusafors. Motsvarande beräknade hydrografer vid Hjaltevad och Ingatorp kan inte verifieras mot observationer (saknas) men bedöms vara rimliga.
- Maxflödet i Hjaltevad och Ingatorp hamnar på 9 m³/s respektive 13 m³/s för 30-årsflödet. Motsvarande maxflöden för 10-årsscenario blir 7.5 m³/s respektive 10.5 m³/s.
- Maxnivå-profilen för 30-årsflödet tangerar observerade maxnivåer i Hjaltevad och Ingatorp från 2007 eftersom modellen är kalibrerad mot dessa punkter. I Hjälden blir beräknad maxnivå för 30-årsflödet +165.1 m och i Ingatorpasjön +162.9 m. Dessa nivåer har inte kunnat verifieras mot observationer, men verkar rimliga. Det innebär för Hjälden att den antagna potentiella magasinvolymen inte används fullt ut vid 30-årsflödet med nuvarande reglering (fast skibord).

- Nivåprofilerna visar att vissa kritiska nivåer i Ingatorp överskrids vid 30-årsflödet. Det gäller t.ex. vid stenvalvsbron där vägbanan överströmmas norr om ån och längs bebyggelsen på sträckan nedströms bron. För 10-årsflödet blir max-nivåerna generellt ca 0.2 m lägre och hamnar då under de kritiska nivåerna nedströms Ingatorpasjön. Runt Ingatorpasjön sker dock översvämningar av de lägsta områdena och enstaka byggnader även för 10-årsflödet.
- Vid järnvägsbron ca 3 km nedströms Ingatorp syns ett litet "hack" i nivåprofilerna p.g.a. att bron ger en lokal nivåhöjning. Detta påverkar dock inte nivåerna i Ingatorp eftersom dämningseffekten av bron inte sträcker sig så långt uppströms.
- Den beräknade maximala översvämningsytan i Hjärtevad och Ingatorp visar att vägbanan norr om stenvalvsbron i Ingatorp överströmmas för 30-årsflödet. Även äldreboendet översvämmas i detta fall som motsvarande höglödet 2007. Detta sker trots att det har anlagts vallar mot ån nedströms bron eftersom vattnet tar sig in från sjösidan.



Figur 7-6. Nuläge. Simulerade hydrografer för 10-årsflödet (överst) och 30-årsflödet (underst), tillsammans med observerade flöden i Brusafors 2007 (underst).



Figur 7-7. Nuläge. Simulerade maxnivå-profiler mellan Hjaltevad och Ingatorp för 10-årsflödet och 30-årsflödet. Referensnivåer enligt Tabell 7-3. Tunna linjer över vattenytans nivå markerar högsta punkten i modellens tvärsektioner.



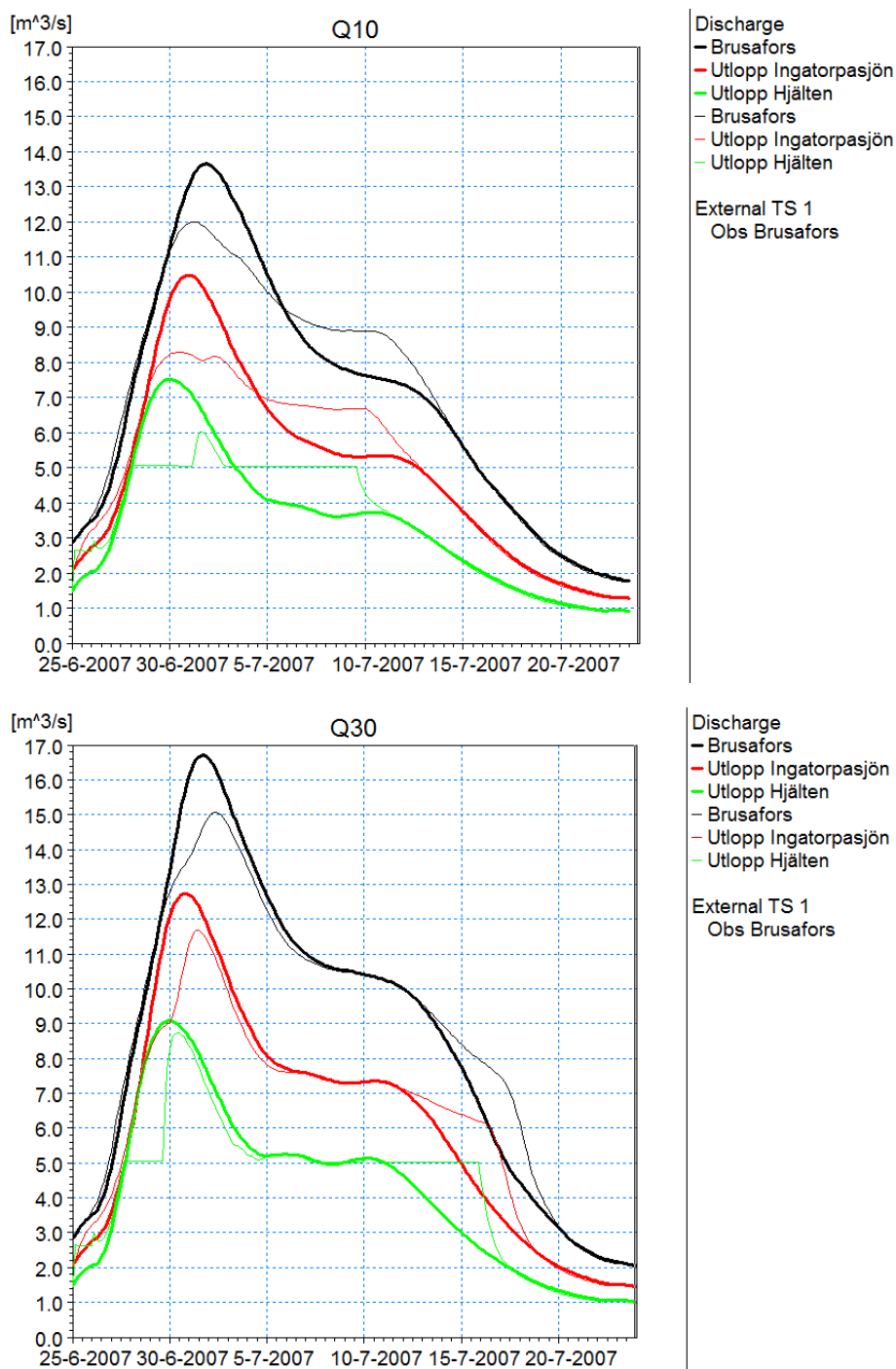
Figur 7-8. Nuläge. Maximal översvämningsutbredning i Hjaltevad (överst) och Ingatorp (underst) för 10-årsflödet (blått) och 30-årsflödet (rött).

7.6.3 Åtgärd 1

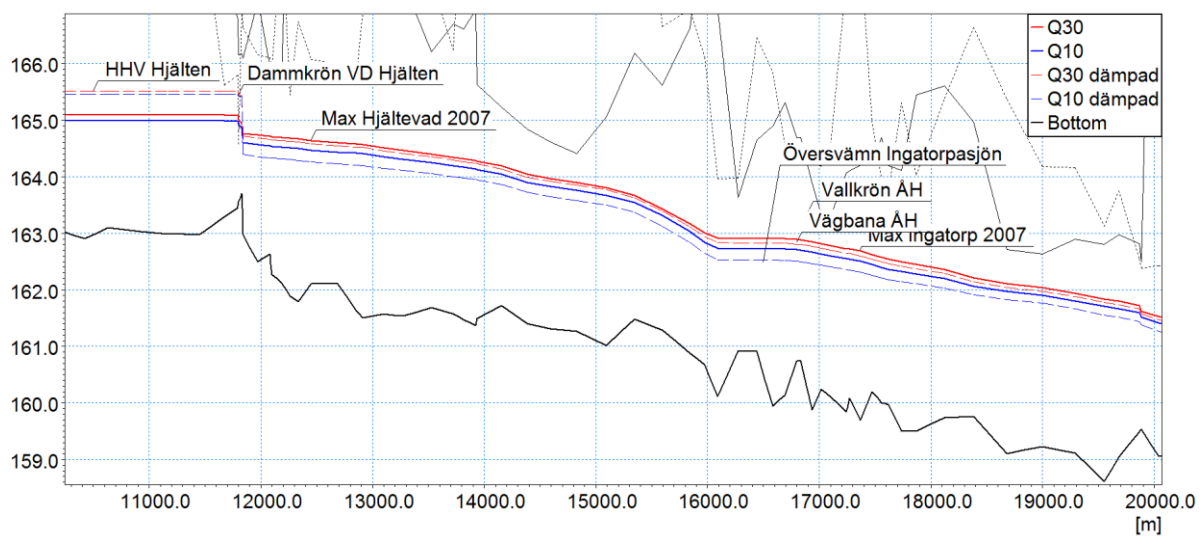
Resultat från simuleringar av 10- och 30-årsflödet med ökad uppdämning av Hjälten redovisas med flödeshydrografer (Figur 7-9), maxnivå-profiler (Figur 7-10) och översvämningsskartor (Figur 7-11 och Figur 7-12).

Kommentarer till resultaten:

- Ett strypflöde på ca 5 m³/s dämpar effektivt flödestoppen för 10-årsflödet. Den volym som nyttjas för flödesdämpning i modellen är drygt 600 000 m³. Det är betydligt mindre än den potentiella magasinvolymen enligt höjdmodellen. Skillnaden beror främst på att stenvälsbron dämmer upp nivån några decimeter innan flödestoppen kommer och utflödet börjar strypas.
- Maxflödet i Ingatorp sänks från 10.5 m³/s före åtgärd till 8 m³/s efter åtgärd. Samtidigt sträcks hydrografen ut i tiden när avrinningen fördröjs från magasinet. Motsvarande maxflöde i Brusafors minskar från 13.5 m³/s före åtgärd till 12 m³/s efter åtgärd. Det dämpade flödet motsvarar ungefär ett 5-årsflöde i Brusafors, vilket bör gälla även det dämpade flödet i Ingatorp.
- Med samma strypflöde (5 m³/s) vid Hjälten för 30-årsflödet fylls magasinet upp innan tillrinningen kulminerar. Det visar att strypflödet är för lågt för att effektivt dämpa flödestoppen i 30-årsflödet. Reduceringen av maxflödet i Ingatorp blir därför mindre än för 10-årsflödet, från ca 13 m³/s före åtgärd till ca 12 m³/s efter åtgärd.
- I Brusafors dämpas maxflödet i 30-årsscenarioet från knappt 17 m³/s före åtgärd till 15 m³/s efter åtgärd. Det dämpade flödet motsvarar lite mer än ett 10-årsflöde i Brusafors. Med ett strypflöde optimerat för 30-årsscenarioet (borde ligga på ca 6.5 m³/s) hade det dämpade flödet både i Ingatorp och Brusafors motsvarat ett 10-årsflöde.
- Maxnivåprofilerna visar att Hjälten däms upp till ca +165.5 m efter åtgärd, medan nivåerna minskar nedströms i båda scenarierna.
- För 10-årsscenarioet minskar maxnivån i Ingatorp med ca 0.2 m. Nivån i Ingatorpasjön hamnar på +162.5 m, vilket motsvarar den lägsta kritiska nivån för översvämningar runt sjön. Detta visar att det finns en potential i åtgärden att helt undvika översvämningar i Ingatorp för 10-årsscenarioet.
- För 30-årsscenarioet minskar maxnivån i Ingatorp med 0.1 m och hamnar precis under de kritiska nivåerna för översvämning av vägbanan norr om stenvälsbron i Ingatorp, samt bebyggelsen nedströms. Det visar att åtgärden ger en effekt även för 30-årsflödet, trots att tappningen i modellen inte var optimerad för detta flödesscenario. Med en optimal tappning för 30-årsflödet hade maxnivåerna i Ingatorp sänkts med ytterligare ca 0.1 m och hamnat på nivåer motsvarande 10-årsflödet före åtgärd.



Figur 7-9. Åtgärd 1. Simulerade hydrografer för 30-årsflödet (överst) och 10-årsflödet (nederst). Före åtgärd visas med feta linjer efter åtgärd med tunna linjer.



Figur 7-10. Åtgärd 1. Simulerade nivåprofiler mellan Hjaltevad och Ingatorp för 10- och 30-årsflödet. Före åtgärd visas med heldragna linjer efter åtgärd med streckade linjer. Tunna linjer över vattenytans nivå markerar högsta punkten i modellens tvärsnitt.



Figur 7-11. Åtgärd 1. Maximal översvämningsutbredning i Hjaltevad (överst) och Ingatorp (underst) för 10-årsflödet före åtgärd (mörkblått) och efter åtgärd (ljusblått).



Figur 7-12. Åtgärd 1. Maximal översvämningsutbredning i Hjältevad (överst) och Ingatorp (underst) för 30-årsflödet före åtgärd (rosa) och efter åtgärd (ljusblått).

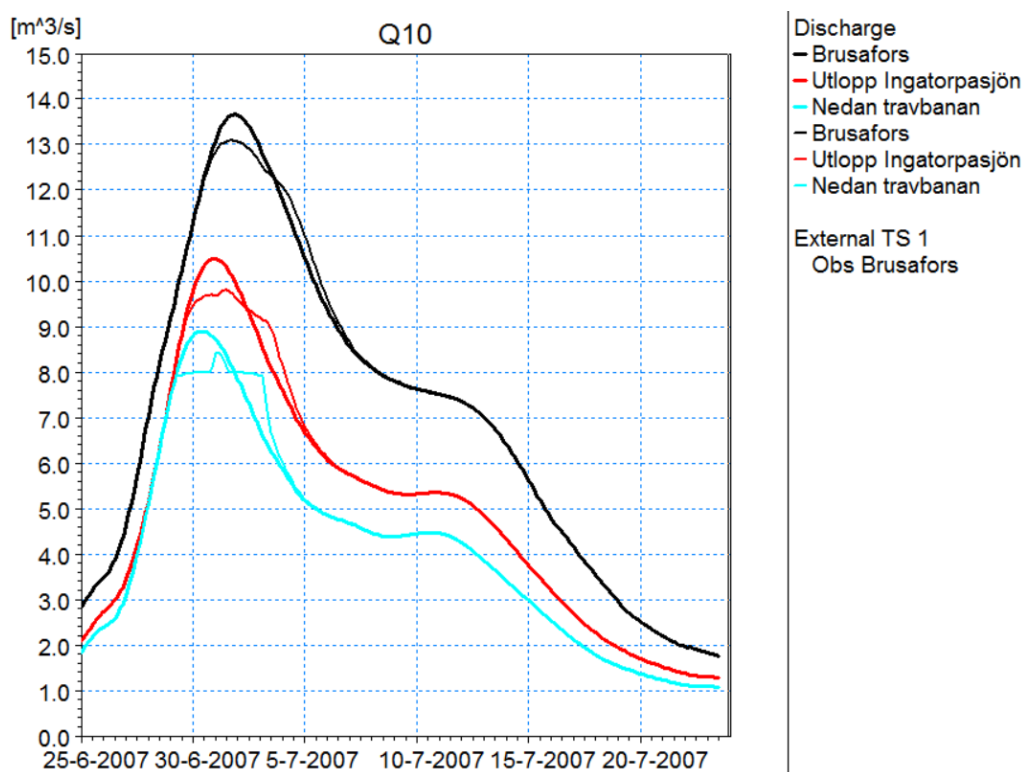
7.6.4 Åtgärd 2

Resultat från simuleringar av 10-årsflödet med ökad uppdamning uppströms travbanan redovisas med flödeshydrografer (Figur 7-13) och maxnivå-profiler (Figur 7-14).

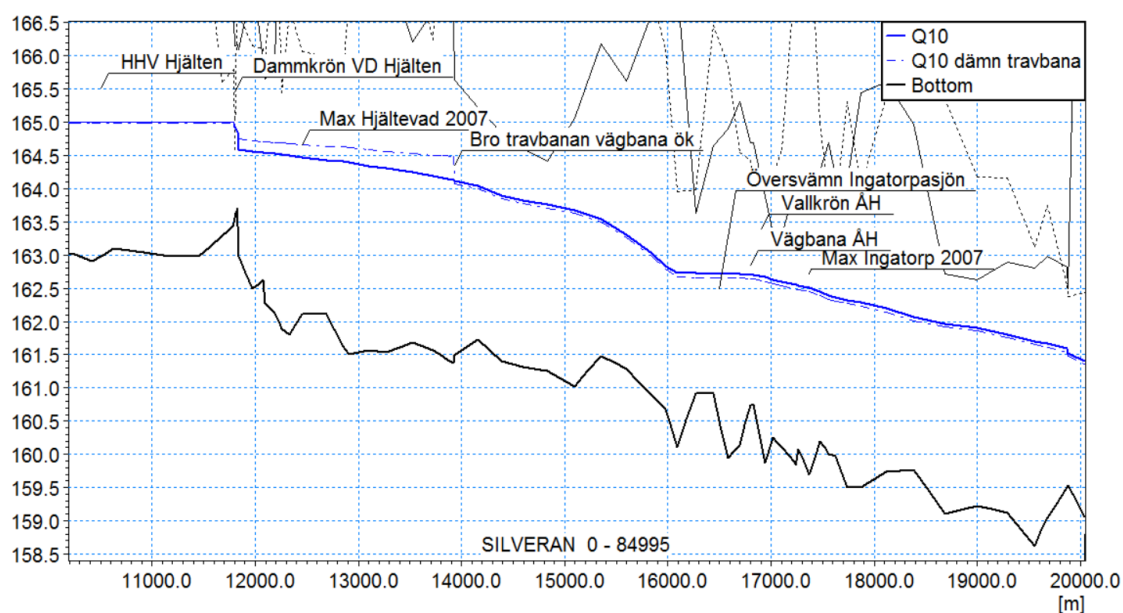
För 30-årsflödet är den antagna högsta nivån i våtmarksområdet (ca +164.6 m) uppnådd redan före åtgärd. Därmed finns inte utrymme för ytterligare uppdamning för 30-årsflödet. Det fallet har därför inte simulerats i modellen.

Kommentarer till resultaten:

- Strypflödet behöver sättas till 8 m³/s för att få en effektiv dämpning av flödetoppen. Den volym som nyttjas för flödesdämpning är drygt 100 000 m³.
- Maxflödet i Ingatorp sänks från 10.5 m³/s före åtgärd till 9.8 m³/s efter åtgärd, och i Brusafors från 13.5 m³/s före åtgärd till 13 m³/s efter åtgärd.
- Nivån uppströms travbanan stiger till den antagna maxnivån ca +164.6 m i Hjaltevad efter åtgärd, medan nivåerna minskar något nedströms. Maxnivåerna i Ingatorp minskar som mest med ca 0.05 m.



Figur 7-13. Åtgärd 2. Simulerade hydrografer för 10-årsflödet före åtgärd (feta linjer) och efter åtgärd (tunna linjer).



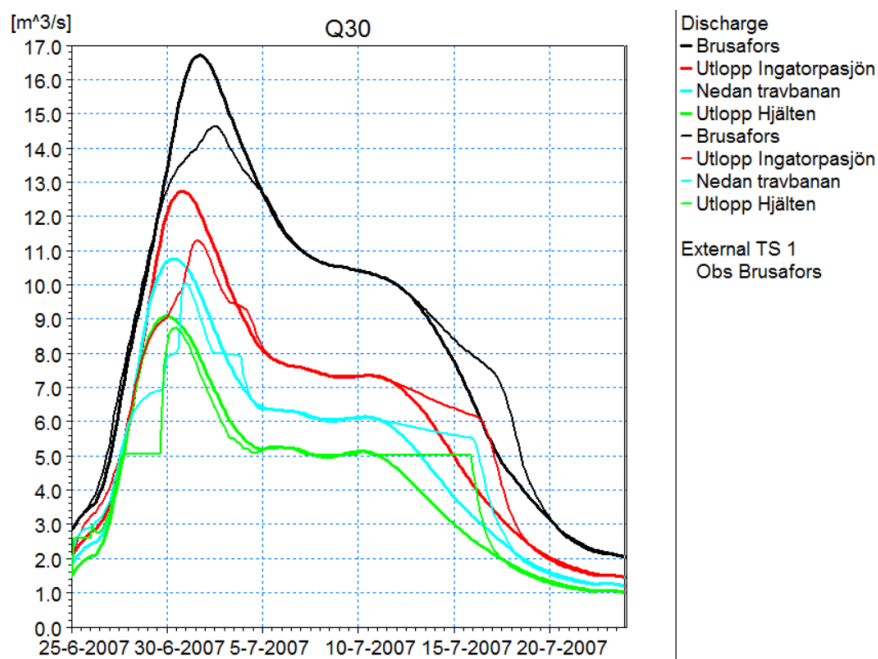
Figur 7-14. Åtgärd 2. Simulerade nivåprofiler mellan Hjärtevad och Ingatorp för 10-årsflödet, före åtgärd (heldragen linje) och efter åtgärd (streckad linje). Tunna linjer över vattenytans nivå markerar högsta punkten i modellens tvärsektioner.

7.6.5 Åtgärd 1+2

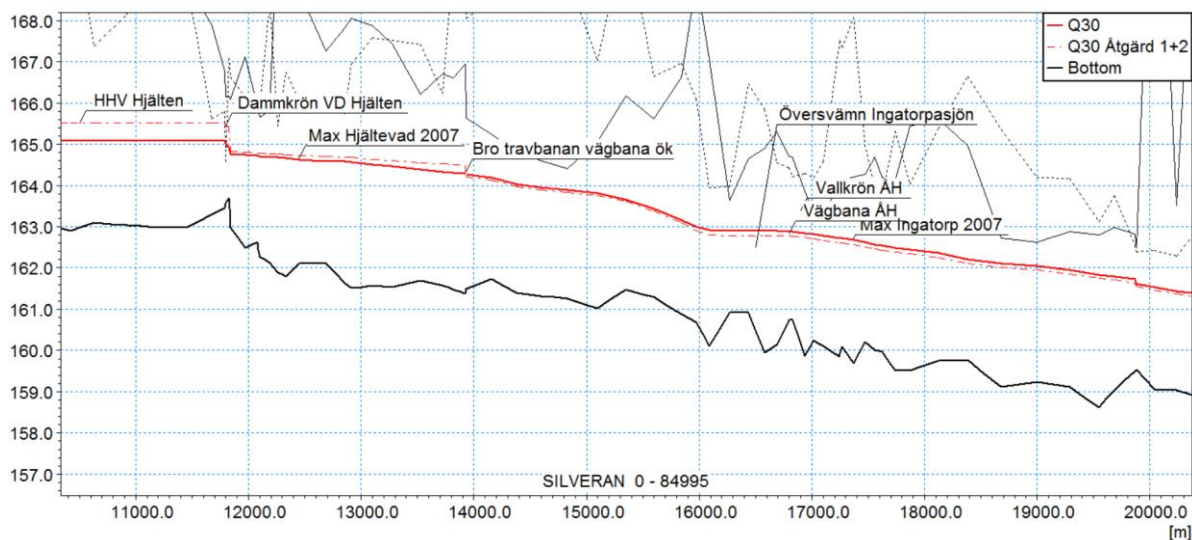
Enligt resultaten från analysen av Åtgärd 1 finns utrymme kvar för ökad uppdämning uppströms travbanan för 30-årsflödet, vilket gör kombinationen av Åtgärd 1 och 2 intressant att studera för 30-årsflödet. För 10-årsflödet är kombinationen mindre intressant eftersom enbart Åtgärd 1 ger tillräcklig sänkning av maxnivåerna i Ingatorp.

Resultat från simulering av 30-årsflödet redovisas med flödeshydrografer (Figur 7-15) och maxnivå-profiler (Figur 7-16).

Resultaten visar att Åtgärd 2 bidrar till att sänka maxflödena i Ingatorp och Brusafors med ytterligare ca 0.5 m³/s jämfört med enbart Åtgärd 1. Detta ger dock ganska liten effekt på maxnivåerna i Ingatorp. Antagen maxnivå i Hjärtevad överskrids med någon decimeter.



Figur 7-15. Åtgärd 1+2. Simulerade hydrografer för 30-årsflödet före åtgärd (feta linjer) och efter åtgärd (tunna linjer).



Figur 7-16. Åtgärd 1+2. Simulerade nivåprofiler mellan Hjältevad och Ingatorp för 30-årsflödet, före åtgärd (heldragen linje) och efter åtgärd (streckad linje). Tunna linjer över vattenytans nivå markerar högsta punkten i modellens tvärsnitt.

7.6.6 Resultat – Åtgärd 3

Den föreslagana placeringen av vallen längs kanten på svämplanet innebär att den skulle skära av en mycket liten del av volymen på svämplanet. Begränsningen av flödeskapaciteten på sträckan bör också bli liten när vallen ligger så pass långt ut från åfåran. Påverkan på flöden och nivåer uppströms och nedströms bör därför bli försumbar. För att kontrollera detta har en beräkning gjorts för 30-årsflödet med justerad bredd på tvärsektionerna längs vallen, men utan några flödesdämpande åtgärder uppströms. Resultaten bekräftar att vallen inte påverkar flöden och nivåer för 30-årsscenarioet.

Om vallen skulle dimensioneras för att klara 30-årsflödet utan andra åtgärder uppströms innebär det att den måste klara vattennivåer upp till ca +163 m.

7.7 Slutsatser från åtgärdsstudien

Resultaten visar att en ökad uppdämning av Hjälten skulle kunna reducera maxflödena ner till Brusafors från ett 10-årsflöde till ungefär ett 5-årsflöde, respektive från ett 30-årsflöde till ungefär ett 10-årsflöde. Det skulle innebära att översvämningar i Ingatorp i stort sett undviks helt vid 10-årsflödet och kan hanteras utan större problem även vid 30-årsflödet. För detta krävs ett effektivt nyttjande (optimal reglering) av en magasinsvolym i Hjälten på minst 600 000 m³.

Konsekvenser av en ökad uppdämning av Hjälten och sammanhängande sjöar uppströms till den antagna dämningssgränsen +165.5 m har inte utretts. Det kan dock noteras att en lägre dämningssgräns i Hjälten skulle kunna ge lika stor effektiv magasinsvolym om det görs åtgärder som minskar strömningsförlusterna genom stenvälsbron och i ån fram till dammtröskeln strax nedströms Hjälten.

I våtmarksområdet uppströms travbanan är den tillgängliga volymen för flödesdämpning betydligt mindre än i Hjälten (ca 1/6), vilket också visar sig genom en mindre sänkning av flöden och nivåer i Ingatorp. Även i kombination med ökad uppdämning i Hjälten ger en ökad uppdämning i våtmarksområdet relativt små effekter nedströms.

Vallar längs kanten av svämplanet är en möjlig alternativ åtgärd för att lokalt minska konsekvenserna av översvämningar på den mest kritiska sträckan i Ingatorp. Åtgärden skulle ha försumbar påverkan på maxflöden och nivåer upp/nedströms för 30-årsflödet och sannolikt även för 100-årsflödet, men kan ha andra nackdelar och t.ex. försvåra avledning av dagvatten till ån vid kraftiga regn.

Sammanfattningsvis har åtgärdsstudien visat att ingen av åtgärderna skulle innebära att man flyttar problemen i Ingatorp till områden längre nedströms. Eventuella fortsatta utredningar får visa om gjorda antaganden kring dämningssnivåer ger rimliga konsekvenser uppströms Ingatorp.

7.8 Sammanfattning av arbetsmetod

Momenten i åtgärdsstudien kan fungera som exempel på en arbetsmetod som kan tillämpas i andra delar av Emåns avrinningsområde, eller i andra vattendrag, för att utvärdera åtgärder eller förändringar av olika slag. Problemet som ska studeras kan handla både om risker för översvämningar och vattenbrist. Förutsättningen är att det finns en vattendragsmodell att utgå ifrån. De viktigaste momenten sammanfattas i Tabell 7-5 med den aktuella studien som exempel.

Tabell 7-5. Lista över arbetsmoment i åtgärdsstudien.

Moment	Kommentar och exempel
1. Identifiera problem och syfte	Syfte, avgränsning och detaljeringsgrad för åtgärdsstudien bestäms så tidigt som möjligt. Här har Länsstyrelsen och kommunen en viktig roll genom sin lokalkännedom och erfarenheter från tidigare händelser. I den aktuella studien var det översvämningssproblemen i Ingatorp som hade identifierats av kommunen. Åtgärdsstudiens syfte var att utreda möjligheterna att minska översvämningssvårigheten genom förebyggande åtgärder.
2. Identifiera möjliga åtgärder	Även här har Länsstyrelsen och kommunen en viktig roll och kan ge information om t.ex. vilka områden som kan tillåtas bli översvämmade, eller som måste skyddas. I den aktuella studien identifierades våtmarksområden uppströms och nedströms Ingatorp som möjliga översvämningssytor. Även kapacitetshöjande åtgärder (muddring, breddning) och invallningar diskuterades. Det framkom också tidigt att det kunde vara möjligt att nyttja en större regleringsamplitud i Hjalten.
3. Översiktlig analys och avgränsning	Potentialen för olika åtgärder kan ofta uppskattas genom enklare analyser. I den aktuella studien gjordes uppskattningar av potentiella volymer för flödesdämpning baserat på höjdmodellen. Även effekter av muddring/breddning av ån nedströms Ingatorp uppskattades. Tre åtgärder valdes ut för fortsatta analyser med modellen.
4. Inhämtning av kompletterande underlag	Kompletterande underlag kan behövas för att säkerställa att modellen kan beskriva dagens situation före åtgärder. Det kan t.ex. handla om att mäta in tvärsnitt och strukturer längs en sträcka som i den aktuella studien. Observerade flöden och nivåer från tidigare högfloden är särskilt viktig information för kalibrering och kontroll av modellen.
5. Uppdatering och kontroll av modellen	Kompletterande underlag arbetas in i modellen och därefter görs en ny kalibrering och kontroll (validering) av modellen.
6. Simulering och analys före/efter åtgärd	I detta moment ingår simuleringar för nuvarande situation. Om en åtgärd dimensioneras för ett flödesscenario med en viss återkomsttid bör åtgärden även simuleras för ett mer extremt flödesscenario eller ett klimatanpassat flöde.
7. Uppföljning och komplettering	Efter redovisning och utvärdering kan det finnas behov av kompletterande analyser av t.ex. alternativa åtgärder eller flödesscenarier. Det kan också behöva göras mer detaljerade analyser på hela eller delar av sträckan. I den aktuella studien användes en 1D-modell (MIKE 11) för simuleringarna, men för mer detaljerade analyser eller mer komplicerade fall rekommenderas en 2D-modell (MIKE 21) som kopplas till MIKE 11.

8 Fördjupad analys för Mörlunda-området

8.1 Bakgrund och syfte

I detta avsnitt redovisas resultat från en fördjupad analys för Mörlunda-området med fokus på Tigerstad kanal. Bakgrunden till utredningen är att de tidigare resultaten med vattendragsmodellen (DHI, 2016) indikerade att den lokala tillrinningen är en viktig orsak till översvämningar i Tigerstad kanal och andra delar av dikessystemet. Det betyder att Tigerstad kanal riskerar att svämma över i samband med t.ex. kraftiga sommarregn (skyfall) även när det inte är höga flöden och översvämningar längs huvudfåran.

Syftet med utredningen är att undersöka förutsättningarna för att kunna magasinera en del av den lokala belastningen på Tigerstad kanal i samband med kraftiga regn och därmed minska risken för skador på omkringliggande åkermark. Analysen ska besvara följande frågor:

- Vid vilket flöde i Emåns huvudfåra börjar vattnet svämma över vallar och naturliga leveer till Tigerstad kanal och övriga delar av dikessystemet? Frågan är väsentlig för att förstå kopplingen till översvämningar i Emån och betydelsen av den lokala tillrinningen.
- Hur stora vattenvolymer rinner fram till Tigerstad kanal i olika regnsituationer enbart p.g.a. den lokala tillrinningen?
- Är det möjligt att magasinera en del av den lokala tillrinningen till Tigerstad kanal genom att skapa volymer i diket i form av tvåstegsmagasin¹?

Den fördjupade analysen för Mörlunda-området följer väsentligen samma arbetsmoment som i åtgärdsstudien för Brusaån, men inkluderar inte simuleringar med åtgärder (magasin) inlagda i modellen.

8.2 Översvämning av Emåns huvudfåra

Med utgångspunkt från simuleringen av översvämningen i juli 2012 (jfr. Avsnitt 3.4) går det att uppskatta ungefär vid vilket flöde i huvudfåran som vattennivån stiger över vallar, leveer och andra trösklar (vägar) längs Mörlunda-platån, så att översvämning sker till omgivande lågpunkter och diken öster och väster om huvudfåran.

I Figur 8-1 har 16 punkter markerats på sträckan mellan L. Sinnerstad och Tigerstad. Punkterna markerar trösklar där vatten från Emåns huvudfåra kan ta sig vidare till dikessystemet öster och väster om åfåran vid höga vattennivåer. I de flesta fall är det vallen på vardera sidan om åfåran som utgör den kritiska tröskeln, men i några fall är det vägbankar en bit från åfåran som bestämmer om vattnet kan ta sig vidare. För översvämning till Tigerstad kanal handlar det om punkterna 1, 2, 4, 6, 8, 10, 11, 14 och 15. Övriga punkter berör områden och diken öster om huvudfåran. Motsvarande tröskelnivåer enligt NH-data redovisas i Tabell 8-1. Osäkerheten i tröskelnivåerna uppskattas ligga inom ± 0.1 m för vallar/leveer och ± 0.05 m för vägbankar.

¹ Här används benämningen tvåstegs-magasin istället för den mer etablerade benämningen tvåstegs-dike eftersom det primärt är magasinivolum som man vill åstadkomma.



Figur 8-1. Markering av kritiska trösklar för översvämning från Emåns huvudfåra till dikessystemet öster och väster om Emån på sträckan mellan L. Sinnerstad och Tigerstad.

Tabell 8-1. Tröskelnivåer för punkter i Figur 8-1 enligt NH-data.

Punkt	Tröskelnivå (m)	Kommentar
1	91.8	Väg
2	91.6	Väg
3	91.1	Vall
4	91.4	Väg
5	91.1	Vall
6	91.1	Väg
7	91.2	Vall
8	91.1	Vall längs vägen
9	90.5	Vall
10	91.0	Väg
11	90.8	Vall
12	90.5	Vall
13	90.4	Vall
14	90.7	Vall
15	90.4	Vall
16	90.1	Vall

Genom att jämföra beräknade nivåer längs huvudfåran i simuleringen av översvämningen 2012 med identifierade trösklar går det att avläsa vid vilken tidpunkt och vilket flöde överströmning sker. Resultaten visar att trösklar i punkterna 3, 9, 12 och 13, som alla berör områden öster om huvudfåran, börjar översvämmas ungefär samtidigt. Beräknat flöde i Emån är då omkring 90 m³/s vid Tigerstad bro, respektive 95 m³/s vid Blankaström. Därefter översvämmas punkterna 5, 6, 15 och 16 när flödet ökar till 100 m³/s vid Tigerstad bro, respektive 105 m³/s vid Blankaström. Då har översvämningen även börjat sprida sig till områden väster om huvudfåran och Tigerstad kanal p.g.a. överströmning av trösklar i t.ex. punkterna 6 och 15. Resultaten visar även att trösklarna i punkterna 1, 2, 4, 7, 8, 10, 11 och 14 ligger så pass högt att de inte överströmmas för en händelse motsvarande juli 2012.

Observerade maxnivåer från juli 2012 bekräftar att huvudfåran svämmar över både till östra och västra sidan vid ett flöde på ca 110 m³/s i Blankaström (10-årsflödet). Simuleringarna visar att detta sker strax innan flödet kulminerar och att översvämningen börjar på den östra sidan.

8.3 Uppskattning av magasinvolym för flödesdämpning

8.3.1 Förutsättningar

Vid beräkning och analys av tillrinningen till Tigerstad kanal har det antagits att det inte sker någon samtidig översvämning från Emåns huvudfåra och inte heller någon överströmning av vatten till Tigerstad kanal från sjön Maren. Enbart den lokala belastningen från Tigerstad kanals avrinningsområde har beaktats.

Analysen har gjorts för regn (typregn) med 10, 30 och 100 års återkomsttid och 2 dygns varaktighet. Den hydrologiska situationen vid simuleringens start motsvarar situationen dygnet före det kraftiga regnet den 7-8 juli 2012. Markvattenhalten var då redan relativt hög p.g.a. att det kom mycket regn (ca 80 mm) i området i slutet av juni (24-26/6).

Scenarierna betecknas med P10, P30 och P100 med återkomsttid och regnmängd enligt Tabell 8-2. Det verkliga regnet den 8-9 juli, vilket ungefär motsvarar ett regn med 30-års återkomsttid, finns också med i tabellen.

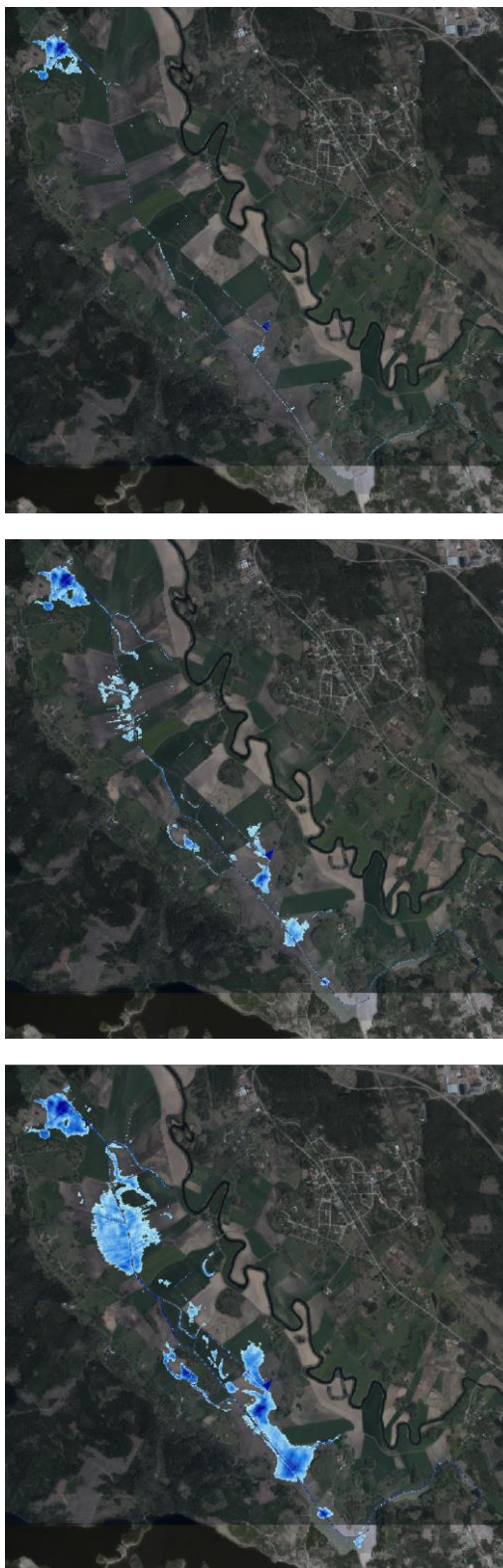
Tabell 8-2 visar även beräknad tillrinning enligt NAM-modellen fram till den punkt där åkermarken slutar i höjd med Tigerstad. En stor del av denna volym rinner vidare genom nedre delen av Tigerstad kanal och vidare ut i Emån, medan en del blir kvar och orsakar översvämning av åkermarken. Med MIKE 11-modellen beräknades hur stor volym som skulle behöva tas om hand (magasinerats) lokalt för att förhindra översvämningar för 10-, 30- och 100-årsregnet.

Tabell 8-2. Scenarier och beteckningar som används i analysen.

Scenario	Återkomsttid (år)	Regnmängd under 2 dygn (mm)	Tillrinning till Tigerstad kanal (m ³)
8-9 juli 2012	~ 30	~ 110	1 100 000
P10	10	87	700 000
P30	30	110	950 000
P100	100	148	1400 000

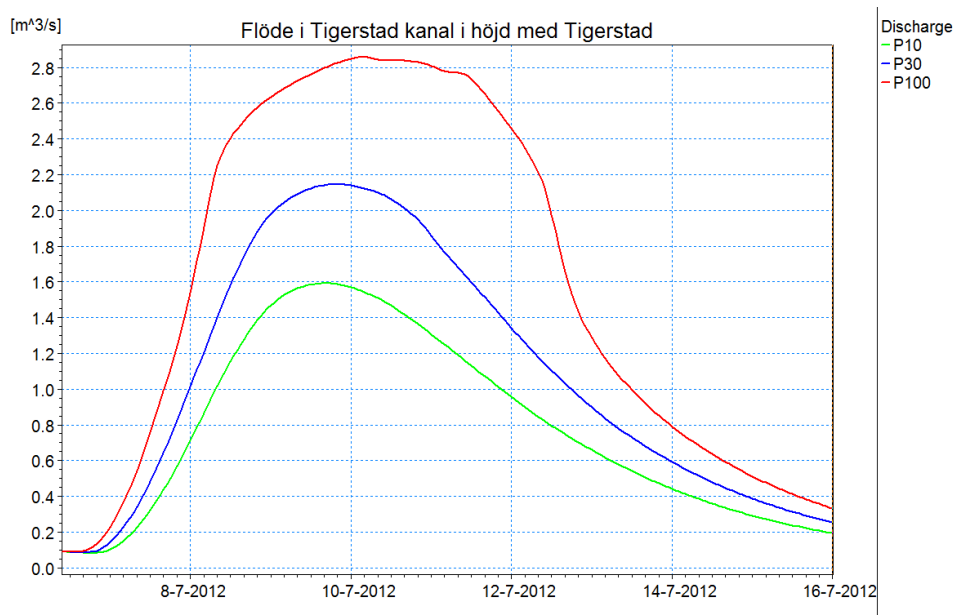
8.3.2 Beräkning av volymer

Figur 8-2 visar den beräknade maximala översvämningssutbredningen längs Tigerstad kanal vid belastning av modellen med 10-årsregnet, 30-årsregnet och 100-årsregnet.



Figur 8-2. Beräknad maximal översvämningssutbredning för 10-årsregnet (överst), 30-årsregnet (mitten) och 100-årsregnet (underst).

Beräknade hydrografer i Tigerstad kanal i höjd med Tigerstad visas i Figur 8-3.



Figur 8-3. Beräknade hydrografer i Tigerstad kanal i höjd med Tigerstad för 10-, 30- och 100-årsregnet.

Med utgångspunkt från 10-årsregnet och den begränsade marköversvämningen för detta scenario kan man anta att flödet i Tigerstad kanal i höjd med Tigerstad får vara högst 1.6 m³/s för att undvika marköversvämningar längre uppströms. Med detta antagande ger hydrograferna i Figur 8-3 storleken på den volym som skulle behöva fördröjas uppströms Tigerstad för 30- och 100-årsregnet för att flödet vid Tigerstad inte ska överstiga 1.6 m³/s. För 10-årsregnet antas ingen fördröjning behövas. Volymen blir omkring 100 000 m³ för 30-årsregnet och 400 000 m³ för 100-årsregnet.

Det är dock troligt att maxflödet (Q_{max}) fram till Tigerstad skulle behöva vara lägre för att dräneringen av åkermarken ska fungera. Ett rimligt krav är att nivån i Tigerstad kanal ska hållas under de lägsta marknivåerna för omkringliggande åkermark. Detta innebär att Q_{max} vid Tigerstad behöver sänkas till ca 1.1 m³/s. Den erforderliga magasinvolymen blir då 90 000 m³ för 10-årsregnet, 250 000 m³ för 30-årsregnet och 600 000 m³ för 100-årsregnet.

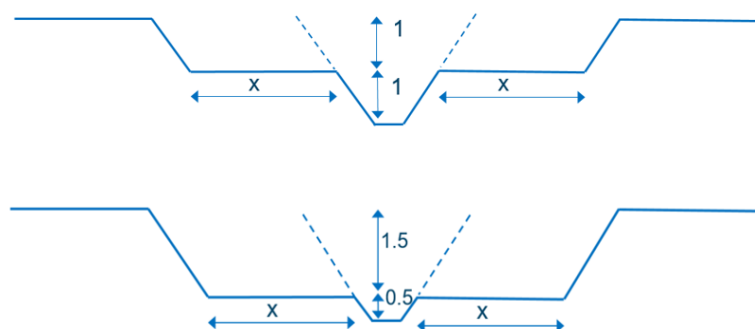
Beräkningen ovan ger storleksordningen på de volymer som skulle krävas för att dämpa den lokala flödesbelastningen på Tigerstad kanal och därmed undvika en del av problemen med översvämningar i lågpunkter. Resultaten för det lägre och högre värdet på Q_{max} sammanfattas i Tabell 8-3. Tabellen visar även varaktigheten för flöden som överstiger Q_{max} . Efter dämpning av flödestoppen skulle varaktigheten för det dämpade flödet bli ungefär dubbelt så lång.

Tabell 8-3. Beräknad erforderlig magasinvolym med två olika antaganden om högsta flöde (Q_{max}) i Tigerstad kanal i höjd med Tigerstad.

Regn	Återkomst tid (år)	Regnmängd under 2 dygn (mm)	Erforderlig magasinvolym (m ³) för $Q_{max}=1.6$ m ³ /s	Erforderlig magasinvolym (m ³) för $Q_{max}=1.1$ m ³ /s	Varaktighet, $Q > Q_{max}$ (tim)
P10	10	87	0	90 000	0 – 80
P30	30	110	100 000	250 000	70 – 110
P100	100	148	400 000	600 000	110 - 130

8.4 Magasinering i tvåstegs-magasin

Som exempel på magasin för flödesdämpning används ett tvåstegs-magasin där ett konstgjort svämplan schaktas ut på vardera sidan om dikesfåran. Detta illustreras i Figur 8-4 för två olika höjdlägen på svämplanet. Erforderlig bredd (x) på vardera sidan om diket beror på erforderlig magasinvolym, magasinets längd och höjden på svämplanet. Om ett tvåstegs-magasin anläggs längs en 7000 m lång sträcka av Tigerstad kanal, vilket motsvarar den sträcka som går genom åkermark, erhålls dimensioner enligt Tabell 8-4.



Figur 8-4. Principskiss för tvåstegs-magasin i ett 2 m djupt dike med svämplan 1 m över botten (överst), respektive svämplan 0.5 m över botten (underst).

Tabell 8-4. Beräkning av erforderlig bredd (x) på varje sida i tvåstegs-magasin med längden 7000 m.

Regn	Åter-komst-tid (år)	Regnmängd under 2 dygn (mm)	Erforderlig magasin-volym (m ³) för $Q_{\max}=1.6 \text{ m}^3/\text{s}$	Erforderlig magasin-volym (m ³) för $Q_{\max}=1.1 \text{ m}^3/\text{s}$	Bredd, x (m) med sväm-plan 1 m ovan botten	Bredd, x (m) med sväm-plan 0.5 m ovan botten
P10	10	87	0	90 000	0 – 6	0 – 4
P30	30	110	100 000	250 000	7 – 18	5 – 12
P100	100	148	400 000	600 000	30 - 40	19 - 29

8.5 Diskussion

Beräkningen ovan ska betraktas som en första uppskattning av erforderliga volymer och dimensioner på magasin för flödesdämpning i Tigerstad kanal. Hur effektivt flödesdämpningen fungerar i praktiken i ett tvåstegs-magasin beror på magasinets utformning, t.ex. höjden på svämplanet och flödesbelastningen. För att diket ska fungera som magasin behövs också åtgärder som motverkar snabbare avrinning vid höga flöden p.g.a. större tvärsnittsarea. Det skulle t.ex. kunna handla om att anlägga trösklar vinkelrätt ut från diket på det konstgjorda svämplanet.

Hydrauliska beräkningar och analyser av funktionen hos tvåstegs-magasin ligger utanför den aktuella utredningen, men åtgärden kan relativt enkelt läggas in och analyseras med vattendragsmodellen. Andra alternativ till utformning och placering av magasin, t.ex. längre upp i det lokala avrinningsområdet till Tigerstad kanal, kan också undersökas med modellen.

9 Analys av våtmarkspotential

9.1 Bakgrund och syfte

I detta avsnitt redovisas simuleringar av effekterna av att återställa en del av den våtmarksyta som har försvunnit i Emåns avrinningsområde genom olika markavvattningsprojekt från slutet av 1800-talet och framåt. Exempel på åtgärder är utdikningar av åkermark och skogsmark, rensningar av sjöar och åar, sjösänkningar och invallningar.

Syftet med utredningen är att simulera effekterna av att återställa en del av den förlorade våtmarksytan i Emåns avrinningsområde genom att lägga in fiktiva magasin som dämpar och fördröjer avrinningen i modellen. Magasinen avser i första hand att öka avrinningen under torrperioder, i andra hand att dämpa höglöden. Analysen ska betraktas som en förstudie med syfte att uppskatta den totala våtmarkspotentialen, d.v.s. hur stora våtmarksytor och volymer som sammanlagt krävs för att uppnå en signifikant påverkan på flödena i Emåns huvudfåra och de större biflödena under längre torrperioder, samt tillfällena med höga flöden.

9.2 Förutsättningar och antaganden

Länsstyrelsen har genom GIS-analyser uppskattat hur stor våtmarksyta (area) som har försvunnit i olika delar av Emåns avrinningsområde sedan slutet av 1800-talet. Analysen bygger på jämförelser mellan områden markerade som sankmark i generalstabskartan från 1880 och i dagens fastighetskarta. De sankmarker som antas ha försvunnit är de som är markerade i generalstabskartan, men inte återfinns i fastighetskartan inom en sökradie på några hundra meter. I vissa fall finns sankmarken kvar inom sökradien, men arean har minskat. För enskilda sankmarker kan arean också ha ökat.

Den beräknade förändringen av arean för samtliga sankmarker i generalstabskartan delades upp på 280 delområden i Länsstyrelsens GIS-analys. Dessa visar med några få undantag en nettoförlust av sankmarksarea. Den totala förlusten för alla 280 delområdena uppgår till 228 km². Siffran antas motsvara förluster av permanent blöta områden i landskapet, eftersom dessa ytor var särskilt viktiga att redovisa i generalstabskartan, men den inkluderar inte förluster av temporära våtmarker eller svämplan.

Den beräknade våtmarksförlusten i de 280 delområdena fördelades på modellens 21 delavrinningsområden. Arean förlorad våtmark varierar mellan 3 och 8 % av delavrinningsområdenas area, med ett genomsnitt på 5 %, se Tabell 9-1.

Förutom arean förlorad våtmark har Länsstyrelsen beräknat hur stor uppströmsareal som avrinner till var och en av de förlorade våtmarkerna. Denna information visade sig dock vara svår att överföra till en totalsiffra för varje delavrinningsområde i modellen, eftersom samma uppströmsareal i många fall har räknats flera gånger om vattnet passerar genom flera våtmarker innan det når fram till vattendraget.

I brist på specifika uppgifter per delavrinningsområde har schablonmässigt antagits för samtliga 21 delavrinningsområden i modellen att 2/3 av området area avrinner via de förlorade våtmarkerna, medan 1/3 avrinner direkt till ån. Antagandet illustreras i Figur 9-1 för Brusaåns avrinningsområde uppströms Mariannelund. I detta fall är de förlorade våtmarksytorna lokaliserade utanför en linje som i grova drag avgränsar 1/3 av avrinningsområdet som direkt belastar ån, vilket ger visst stöd för antagandet. Antagen andel som avrinner via våtmarkerna bedöms ha mindre betydelse för resultaten så länge värdet ligger inom rimliga gränser, eftersom det framförallt är våtmarksvolymen som är avgörande (beskrivs närmare i följande avsnitt).

Analysen tar inte hänsyn till ev. ökad avdunstning med ökad våtmarksyta.

Tabell 9-1. Sammanställning av våtmarksförlust i modellens 21 delavrinningsområden.

Delavrinningsområde i modellen	Avrinningsområdesarea (km ²)	Våtmarksförlust (km ²)	Våtmarksförlust (%)
Brusa/Silverån ovan Mariannelund	240	15	6
Silverån övre delen (biflöde från norr till Brusa/Silverån)	122	3	3
Brusa/Silverån nedan Mariannelund	339	10	3
Emån ovan Prinsasjön	103	6	6
Emån från Prinsasjön till Stensåkra	203	10	5
Linneån ovan utlopp i Emån	241	15	6
Hjärtån	110	8	7
Solgenån ovan utlopp Solgen	619	49	8
Solgenån nedan utlopp Solgen	98	6	6
Pauliströmsån ovan utlopp St Bellen	131	6	5
Pauliströmsån nedan utlopp St Bellen	89	3	3
Gnyltån	74	3	5
Sällevadsån	102	5	4
Gårdvedaån ovan utlopp Hjortesjön	257	10	4
Skärveteån	263	14	5
Gårdvedaån nedan utlopp Hjortesjön exkl Skärveteån	134	5	4
Emån från Stensåkra till inlopp Gårdvedaån	332	13	4
Emån från inlopp Gårdvedaån till Blankaström	251	8	3
Nötån	228	14	6
Lillån	140	7	5
Emån från Blankaström till mynningen i Östersjön	392	18	4
Totalt	4467	228	5



Figur 9-1. Illustration av schablonmässig uppdelning av ett delavrinningsområde (Brusaån uppströms Mariannelund) i 1/3 som direkt belastar ån (inom gulmarkerad linje) och 2/3 som först passerar igenom förlorade våtmarker (gröna områden på kartan).

9.3 Modellering av återställda våtmarker

De återställda våtmarkerna beskrivs med 21 magasin, ett för varje delavrinningsområde (NAM-område) i vattendragsmodellen. Varje våtmarksmagasin består av ett undre och ett övre magasin. Det undre magasinet används för att hålla uppe flödet under torrperioder medan det övre magasinet används för flödesdämpning under höglöden.

Våtmarksmagasinen belastas med 2/3 av den beräknade avrinningen från NAM-området, medan resterande del belastar vattendraget direkt. Utflödet från våtmarksmagasinen fördelas lateralt till vattendraget p.s.s. som den direkta avrinningen. Den återställda våtmarksytan i varje NAM-område antas därmed vara fördelad längs vattendraget, även om våtmarkerna simuleras med ett enda stort magasin per NAM-område.

Parametrar som beskriver våtmarksmagasinen är area, djup och ett avbördningssamband som stryker utflödet upp till en tröskelnivå (fördröjd avrinning från undre magasin) och därefter tillåter viss överdämning (dämpning av höglöde i övre magasin). Avbördningskapaciteten för undre och övre magasin har ställts in individuellt för varje våtmarksmagasin med hänsyn till belastning och magasinvolym. Ett effektivt nyttjande av magasinerna innebär att det undre magasinet är tomt i slutet av torrperioden, respektive att höglödet kulminerar innan det övre magasinet är fullt. Parametrarna har först uppskattats och därefter justerats en gång efter testkörning i modellen.

9.4 Åtgärdsscenarioer

Två åtgärdsscenarioer har analyserats. Scenarierna representerar 50 % respektive 25 % återställning av uppskattad våtmarksförlust-area och skiljer sig även när det gäller antagen höjd (djup) för undre och övre magasin:

- **Scenario A**

50 % av den uppskattade våtmarksförlust-arean i respektive delavrinningsområde i modellen återställs. Varje magasin delas upp i ett undre och ett övre magasin, vardera med vattendjupet 0.3 m.

- **Scenario B**

25 % av den uppskattade våtmarksförlust-arean i respektive delavrinningsområde i modellen återställs. Varje magasin delas upp i ett undre och ett övre magasin, vardera med vattendjupet 0.15 m.

De undre magasinerna i Scenario A har tillsammans kapacitet att fördröja avrinningen av 34 miljoner kubikmeter vatten. Det motsvarar t.ex. ett flöde på 3 m³/s under 4 månader. För Scenario B blir motsvarande siffra 8.5 miljoner kubikmeter vatten eller 3 m³/s under 1 månad, alternativt 0.75 m³/s under 4 månader. En flödesökning med någon eller några kubikmeter per sekund under flera månaders tid innebär ett väsentligt bidrag till lågvattenföringen i Emån (jfr. MLQ vid Emsfors, ca 6 m³/s). Jämförelsen visar att antagen undre magasinvolym är rimlig i förhållande till önskad effekt på låglödena.

När det gäller dämpning av höglöden klarar de övre magasinerna tillsammans att magasinera t.ex. 20 m³/s under 20 dygn för Scenario A. För Scenario B räcker de övre magasinerna till 20 m³/s under 5 dygn, alternativt 5 m³/s under 20 dygn. En sänkning av maxflödet vid Emsfors med 20 m³/s skulle t.ex. innebära att 10-årsflödet reduceras till ett 5-årsflöde. Det visar att antagen övre magasinvolym har potential att signifikant påverka höglöden i Emån, åtminstone för Scenario A.

Figur 9-2 illustrerar principen med undre och övre magasin. Avståndet mellan lägsta och högsta skibordströskeln mostvarar det övre magasinet (0.3 m eller 0.15 m). Det undre magasinet ligger under lägsta skibordströskeln och kräver någon form av bottenutskov för att tömmas (finns inte med på bilden).



Figur 9-2. Illustration av dämme med undre och övre magasin. Bildkälla okänd.

9.5 Resultat från simuleringar

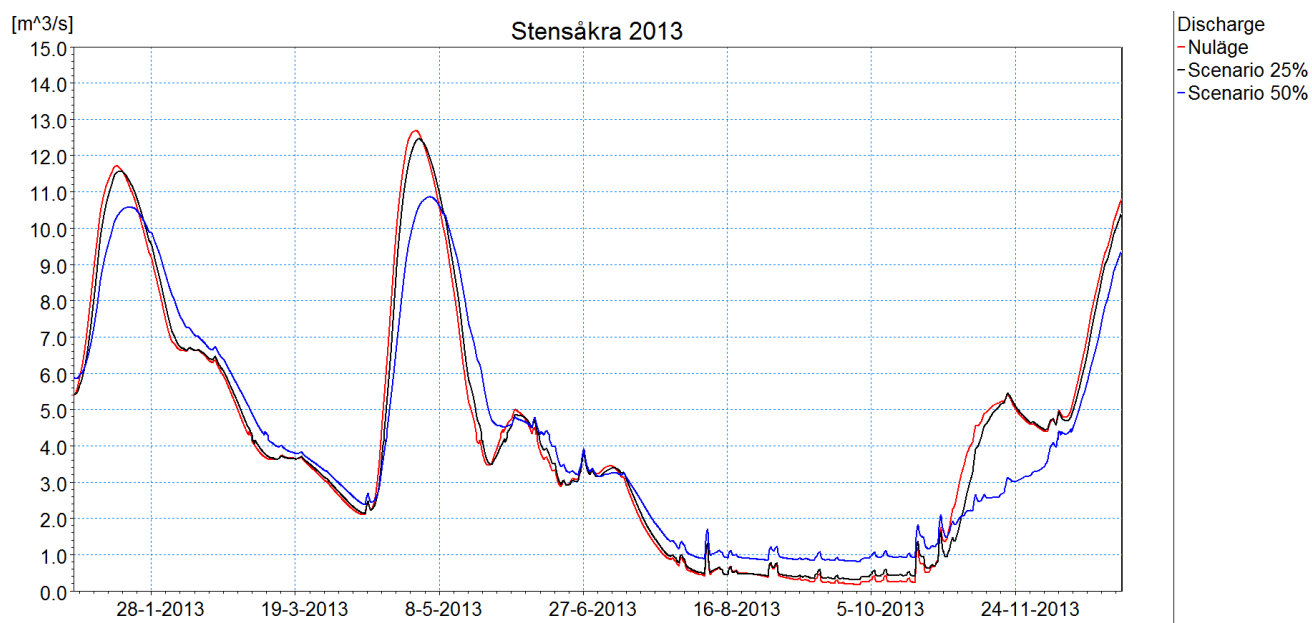
Simuleringar har gjorts för perioden 2012-2013, vilken innehåller både ett högflöde med ca 10 års återkomsttid (juli 2012) och en längre torrperiod (hösten 2013). Beräknade flöden visas för några utvalda platser i Figur 9-3 till Figur 9-8 för 2013, samt i Figur 9-9 till Figur 9-14 för 2012. Simulerade max- och minflöden för hela perioden sammanfattas i Tabell 9-2.

Resultaten visar att åtgärderna har en utjämnande effekt på flödena på samtliga platser. Vid Emsfors höjs flödet under torrperioden 2013 från 6 m³/s före åtgärder till 8 m³/s i Scenario A, respektive 6.5 m³/s i Scenario B.

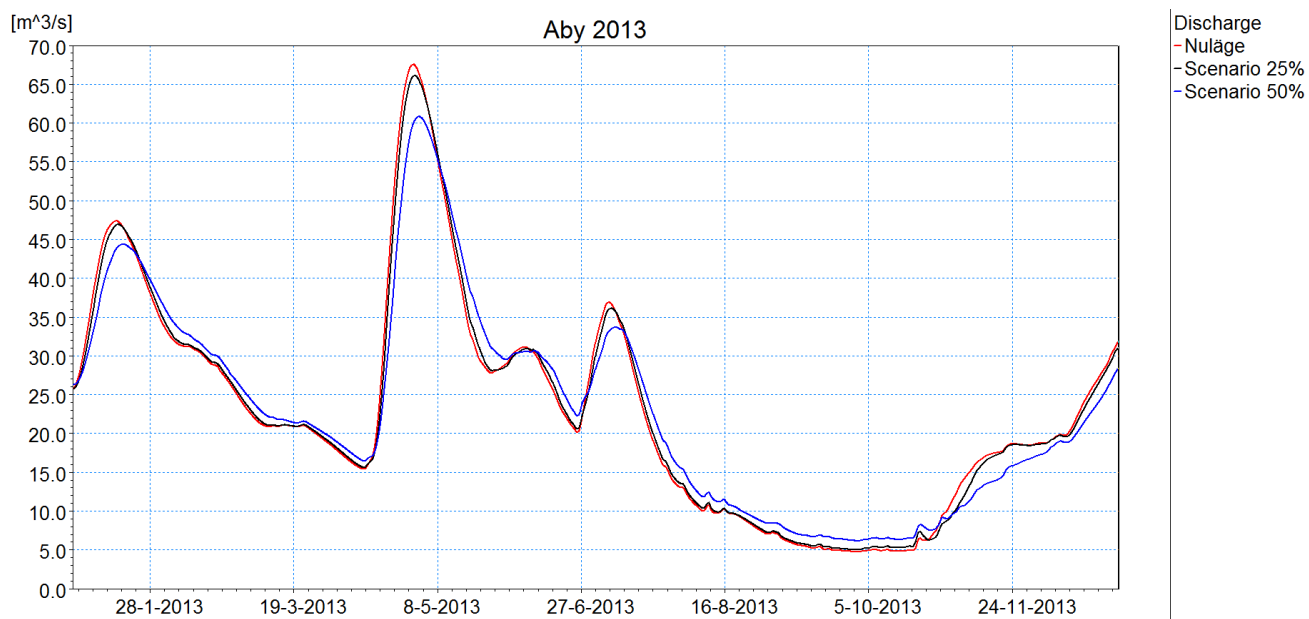
Under högflödet i juli 2012 minskar maxflödet vid Aby bro från 106 m³/s före åtgärder till 94 m³/s i Scenario A och 102 m³/s i Scenario B. Vid Emsfors minskar maxflödet från 123 m³/s före åtgärder till 113 m³/s i Scenario A och 117 m³/s i Scenario B.

Tabell 9-2. Sammanställning av min- och maxflöden före åtgärder i utvalda punkter i modellen, samt ökning (+) eller minskning (-) av flödena efter åtgärder. Simuleringsperiod 2012-2013.

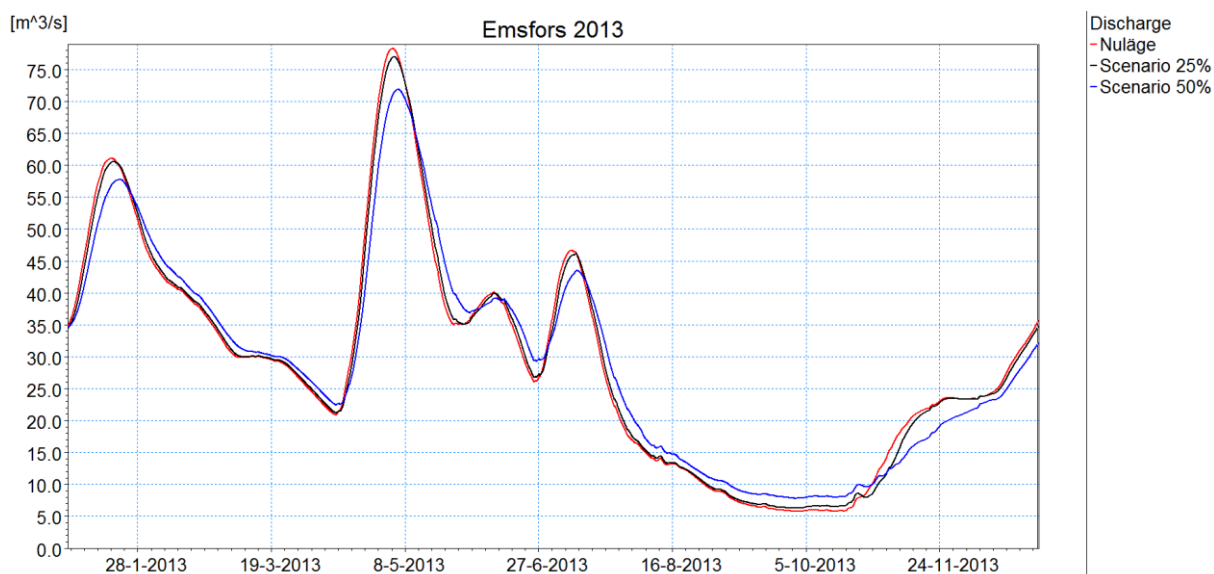
Plats	Före åtgärder (absolutvärde)		Scenario A (förändring)		Scenario B (förändring)	
	Q _{min}	Q _{max}	ΔQ _{min}	ΔQ _{max}	ΔQ _{min}	ΔQ _{max}
Emån ovan Stensåkra (Vetlanda)	0.3	17	+0.7	-1.5	+0.2	0
Emån vid Aby Bro	5.0	106	+1.5	-12.0	+0.3	-4
Emån vid Emsfors	6.0	123	+2.0	-10.0	+0.5	-6
Brusaån vid Mariannelund	0.3	19	+0.2	-0.5	+0.1	-0.2
Silverån vid mynningen i Emån	0.8	22	+0.1	-0.2	0	0
Gårdvedaån mynningen Emån	1.0	19	+0.2	-1.0	+0.1	0



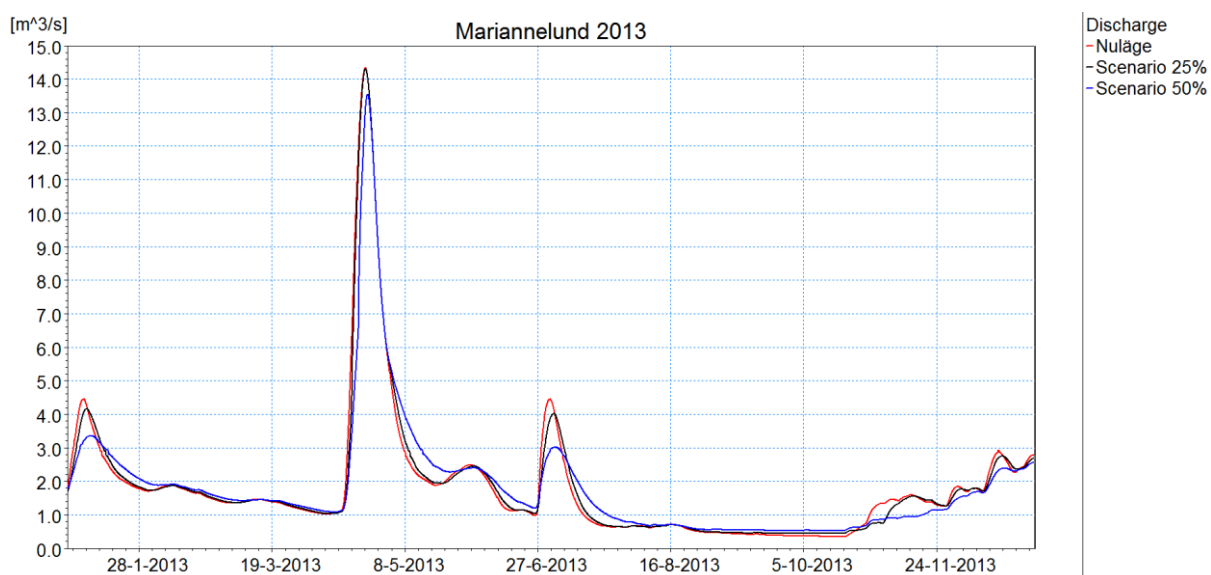
Figur 9-3. Simulerade flöden i Emån vid Stensåkra 2013, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



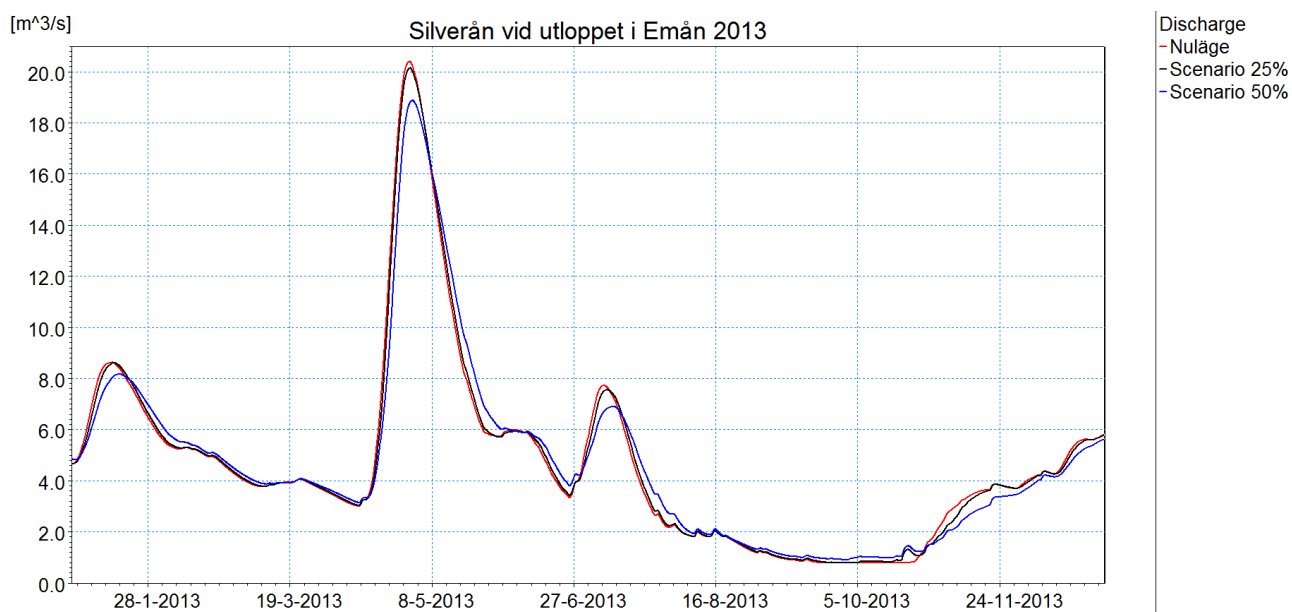
Figur 9-4. Simulerade flöden i Emån vid Aby bro 2013, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



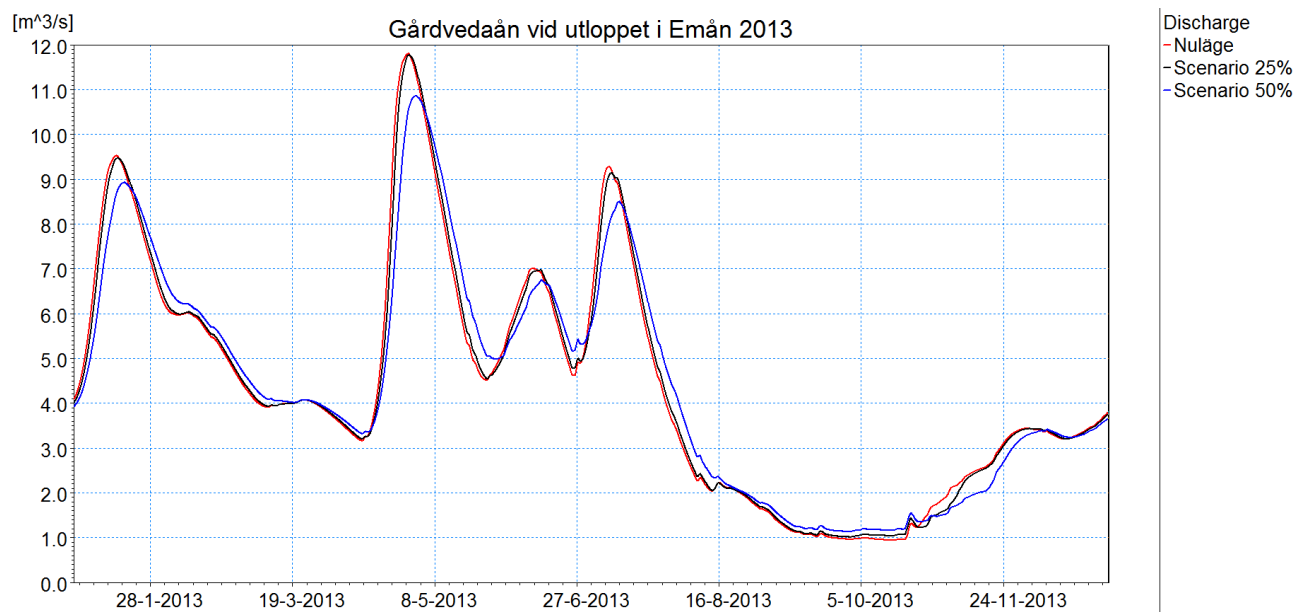
Figur 9-5. Simulerade flöden i Emån vid Emsfors 2013, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



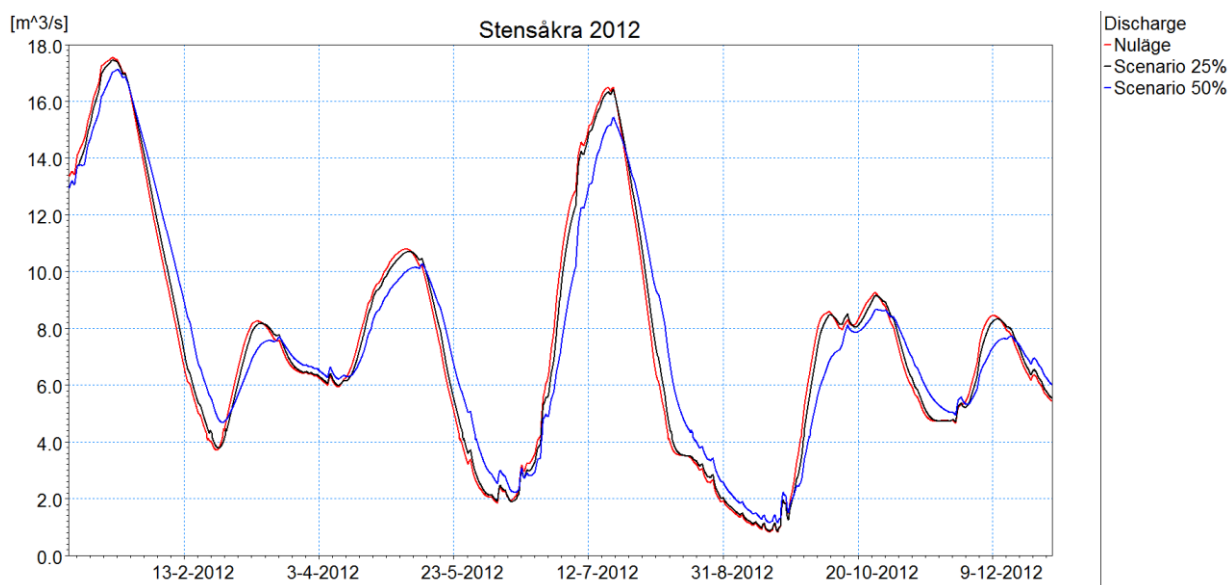
Figur 9-6. Simulerade flöden i Brusaån vid Mariannelund 2013, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



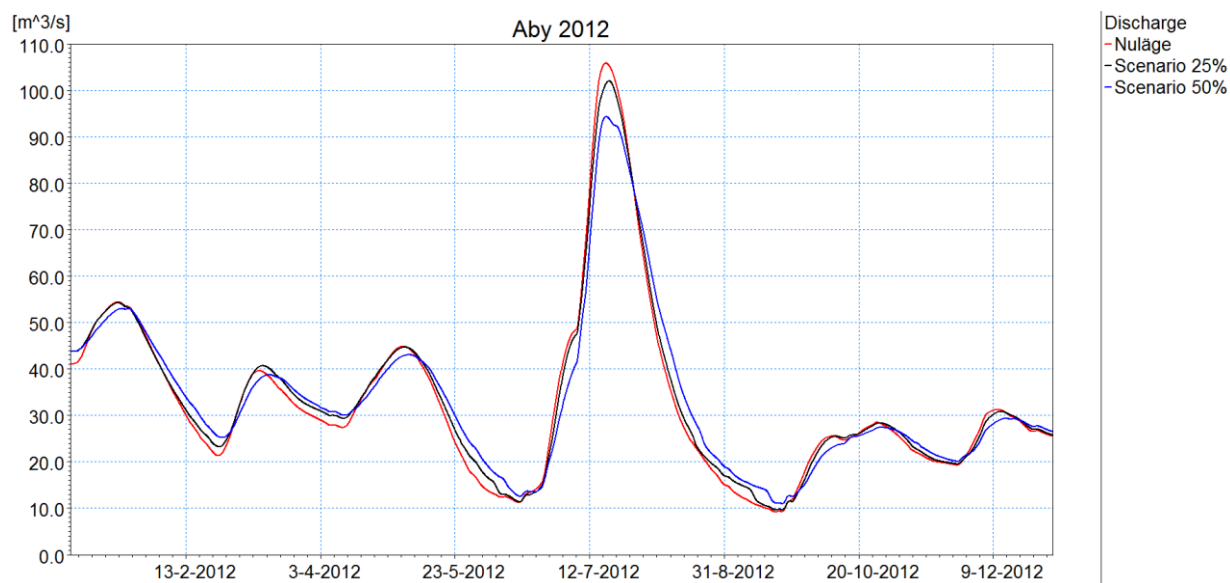
Figur 9-7. Simulerade flöden i Silverån vid utloppet i Emån 2013, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



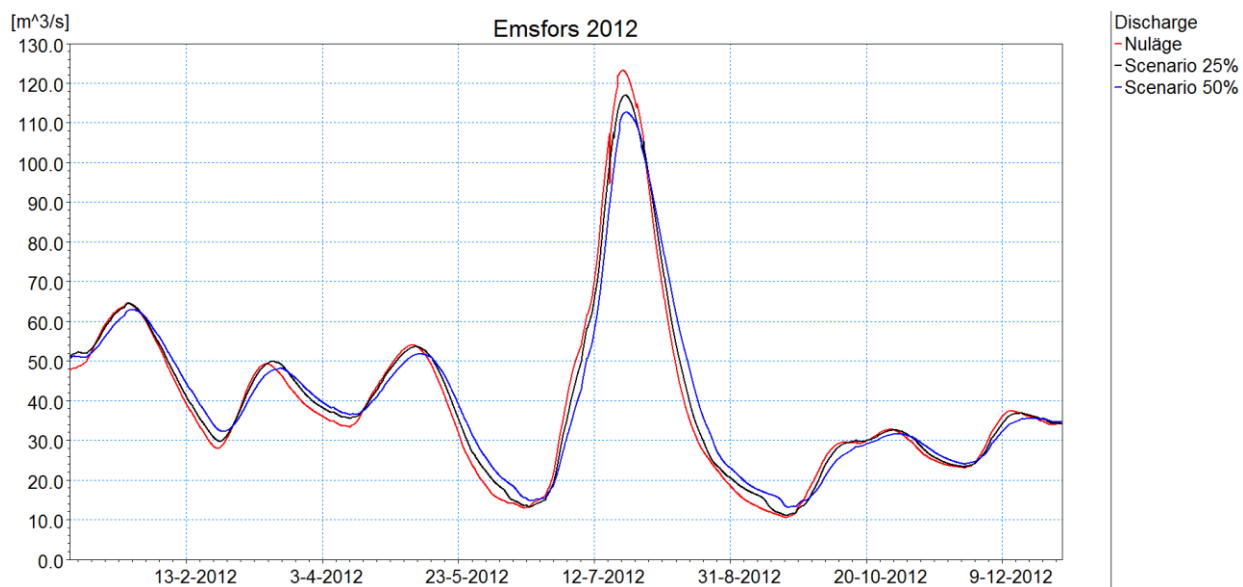
Figur 9-8. Simulerade flöden i Gårdvedaån vid utloppet i Emån 2013, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



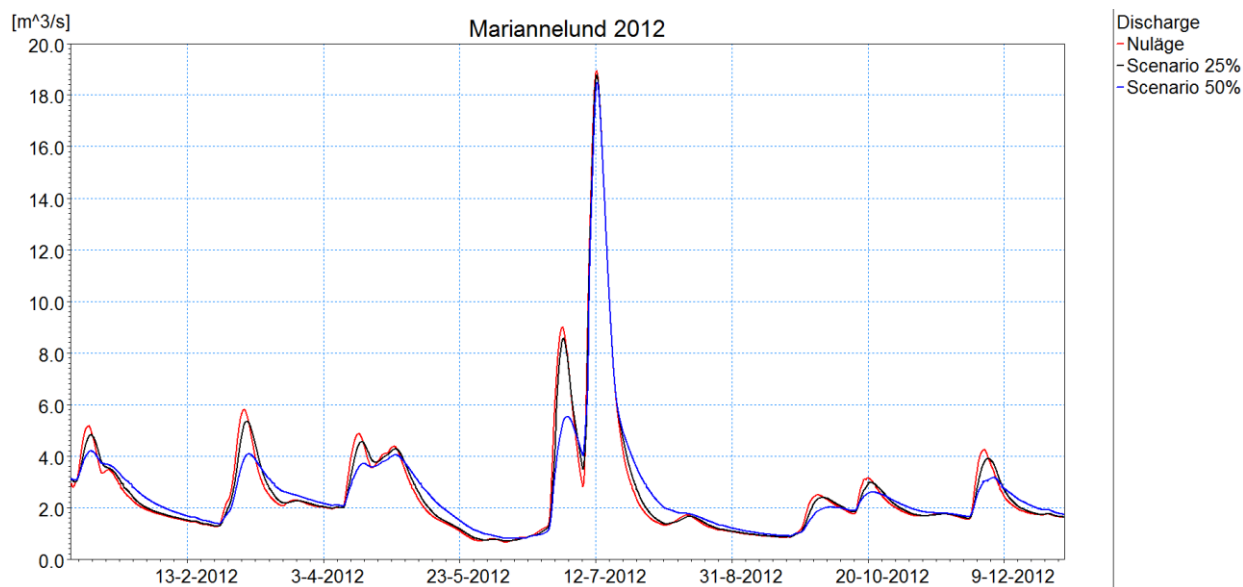
Figur 9-9. Simulerade flöden i Emån vid Stensåkra 2012, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



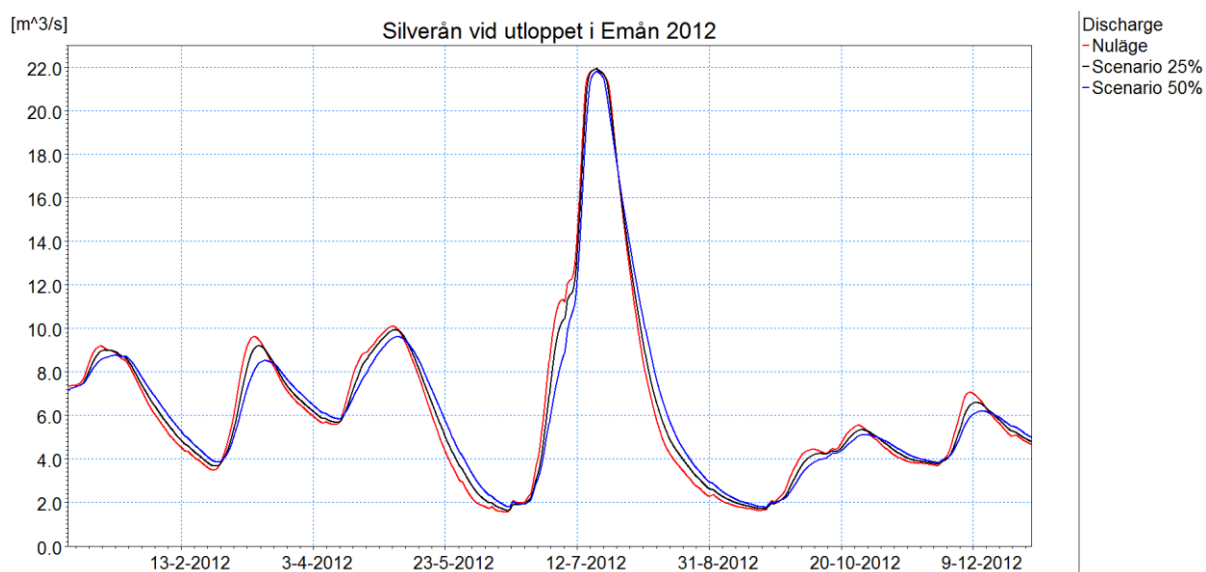
Figur 9-10. Simulerade flöden i Emån vid Aby bro 2012, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



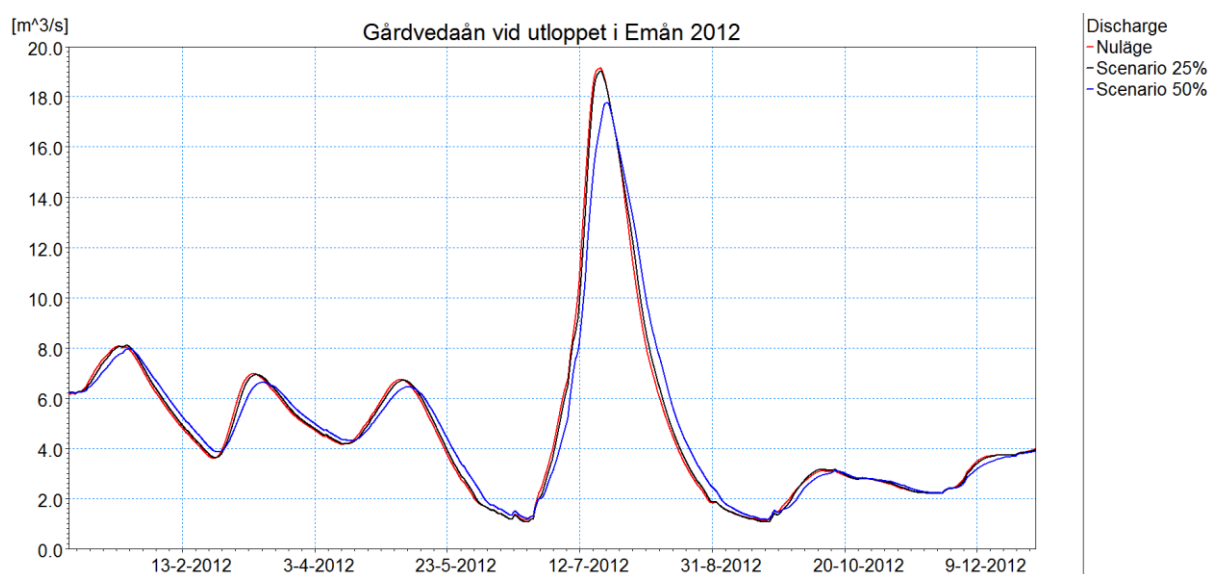
Figur 9-11. Simulerade flöden i Emån vid Emsfors 2012, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



Figur 9-12. Simulerade flöden i Brusaån vid Mariannelund 2012, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



Figur 9-13. Simulerade flöden i Silverån vid utloppet i Emån 2012, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).



Figur 9-14. Simulerade flöden i Gårdvedaån vid utloppet i Emån 2012, Nuläge (röd), Scenario 25% (svart) och Scenario 50% (blå).

9.6 Diskussion och slutsatser

Simuleringarna ger ungefär de resultat man kan förvänta sig med omkring med 4 gånger så stor höjning av lågflödet vid Emsfors i Scenario A jämfört med Scenario B, vilket motsvarar volymsförhållandet mellan de totala våtmarksmagasinen. Förhållandet mellan flödesändringen (ΔQ_{\min}) i Scenario A och Scenario B varierar mellan olika platser i avrinningsområdet, från ca 2 till ca 5, enligt Tabell 9-2. Det beror sannolikt på att tappningen från undre våtmarksmagasin inte var optimalt inställd i alla delavrinningsområden, men det kan också bero på regleringen av sjömagasinen.

Enligt resultaten ger modellen inte full effekt på låglödena, utan bara ca hälften av den teoretiska höjningen vid Emsfors. Det kan delvis bero på inställningen av tappningen från undre våtmarksmagasin, men beror också på att minimitappningen från sjöarna (Solgen, St. Bellen, Hulingen och Hjortesjön) inte har höjts upp i scenarierna. Därmed ger höjningen av lågvattenföringen från avrinningsområden uppströms sjöarna inte full effekt nedströms, utan bidrar istället till att höja nivån i sjöarna. Från Solgen hade tappningen från mitten av juli till mitten av oktober 2013 kunnat höjas med ca 0.4 m³/s i Scenario A och 0.1 m³/s i Scenario B med samma avsänkning av sjön, vilket hade lett till motsvarande höjning av flödena nedströms. För de andra sjöarna hade en justerad tappning gjort mindre skillnad på resultaten. Det betyder att flödet i Emsfors 2013 skulle öka från 6 m³/s till minst 8.4 m³/s i Scenario A och 6.6 m³/s i Scenario B.

Det finns utrymme för att optimera tappningen från våtmarksmagasinen och även justera tappningen från sjömagasinen i modellen, och därmed närma sig den teoretiska höjningen av lågflödena. I praktiken skulle det dock vara svårt att styra avrinningen från våtmarkerna så effektivt, vilket gör att en mindre optimal men realistisk reglering kan vara mer intressant att arbeta vidare med.

För högflödena beror flödesdämpningen i en viss punkt i vattendraget framförallt på inställningen av avbördningen från övre våtmarksmagasinet i uppströms delområden. Optimering av avbördningen skulle kräva fler iterationer med modellen. För Scenario A erhålls ändå en flödesdämpning som lokalt kan minska konsekvenserna av översvämningar för 10-årsflödet. Exempelvis ger en dämpning av flödet genom Mörlundaområdet från 104 till 94 m³/s en nivå-sänkning med 0.1-0.2 m, vilket kan göra skillnad där vattennivåerna ligger nära vallkrön eller andra trösklar i terrängen. För scenario B blir dock slutsatsen att volymen i övre våtmarksmagasinet inte räcker till för att dämpa flödena och minska översvämningensrisken för 10-årsflödet.

Sammanfattningsvis ger analysen en uppfattning om hur stora våtmarksytor och volymer som krävs för att uppnå en viss höjning av lågflöden och dämpning av högflöden. Den återskapade våtmarksytan i modellen utgår från Länsstyrelsens uppskattning av förlorad våtmarksyta (sankmarksyta) sedan slutet av 1800-talet, medan våtmarksvolymen (höjden för undre och övre magasin) har ansatts utifrån önskad effekt på låg- och högflöden.

10 Referenser

- /1/ DHI (2013). *Uppdatering av klimatanalys för Kalmar län*. Rapport framtagen för Länsstyrelsen i Kalmar län, Uppdragsnr. 12802085, 2013-02-13.
- /2/ DHI (2016). *Vattendragsmodell för Emån – Modelluppbyggnad och inledande simuleringar*. Rapport framtagen för Länsstyrelsen i Kalmar län, Uppdragsnr. 12802459, 2016-09-29.
- /3/ Eksjö kommun (2017). Maxnivåer i Brusaån under översvämningen 2007. Mailkonversation med Thomas Hellström, Eksjö kommun 2017-06-05.
- /4/ Emåförbundet (2007). *Årsrapport 2007*. Emåförbundet 2008-01-15.
- /5/ MIKE by DHI (2017a). *MIKE 11 – A modelling system for rivers and channels*. Reference Manual.
- /6/ MIKE by DHI (2017b). *MIKE 21 FLOW MODEL. Hydrodynamic Module*. User Guide.
- /7/ Skånska Energi (2017). Nivåer och tappning från Solgen. Uppgifter erhållna från Skånska Energi AB, 2017-04-04.
- /8/ SMHI (2015). Framtidsklimat i Kalmar län enligt RCP-scenarier. SMHI Klimatologi Nr 26, 2015.
- /9/ Miljödomstolen Växjö Tingsrätt (2002). Dom gällande tillstånd till vattenbortledning från Emån med biflöden för bevattningsändamål. Växjö Tingsrätt, M155-259/99, 2002-04-04.
- /10/ Söderbygdens vattendomstol (1962). Dom gällande ansökan om tillstånd för Hjältens reglering. Dom AD 6/1962 meddelad i domstolens kansli i Växjö 21 dec 1962.

BILAGOR



BILAGA A – GIS-leverans



A Översvämningsskikt

Tabell A1 visar en sammanställning över levererade översvämningsskikt och Tabell A2 förklarar innehållet i shape-filen "Nivåer och flöden sektionsvis".

Filerna levereras i ArcGIS-format (shape och raster). Alla GIS-skikt är i projektionen SWEREF 99 TM. Nivåer anges i höjdsystemet RH 2000.

Tabell A1. Sammanställning över levererade översvämningsskikt.

Scenario	Data	Datotyp	Filnamn
3-årsregn	Utbredning	Shape	3y_ndb
	Nivå	Raster	3y_ndb_moh
	Djup	Raster	3y_ndb_djup
10-årsregn	Utbredning	Shape	10y_ndb
	Nivå	Raster	10y_ndb_moh
	Djup	Raster	10y_ndb_djup
30-årsregn	Utbredning	Shape	30y_ndb
	Nivå	Raster	30y_ndb_moh
	Djup	Raster	30y_ndb_djup
100-årsregn	Utbredning	Shape	100y_ndb
	Nivå	Raster	100y_ndb_moh
	Djup	Raster	100y_ndb_djup

Tabell A2. Innehåll i shape-filen "Nivåer och flöden sektionsvis".

Fält	Förklaring
Branch	Namn på vattendrag
Chainage	Längdkoordinat längs vattendrag (m)
3y_maxH	Beräknad maxnivå för 3-årsregn (m, RH 2000)
3y_maxQ	Beräknat maxflöde för 3-årsregn (m ³ /s)
3y_dT	Tidpunkt för flödesmax räknat från regnets början (dygn)
10y_maxH	Beräknad maxnivå för 10-årsregn (m, RH 2000)
10y_maxQ	Beräknat maxflöde för 10-årsregn (m ³ /s)
10y_dT	Tidpunkt för flödesmax räknat från regnets början (dygn)
30y_maxH	Beräknad maxnivå för 30-årsregn (m, RH 2000)
30y_maxQ	Beräknat maxflöde för 30-årsregn (m ³ /s)
30y_dT	Tidpunkt för flödesmax räknat från regnets början (dygn)
100y_maxH	Beräknad maxnivå för 100-årsregn (m, RH 2000)
100y_maxQ	Beräknat maxflöde för 100-årsregn (m ³ /s)
100y_dT	Tidpunkt för flödesmax räknat från regnets början (dygn)

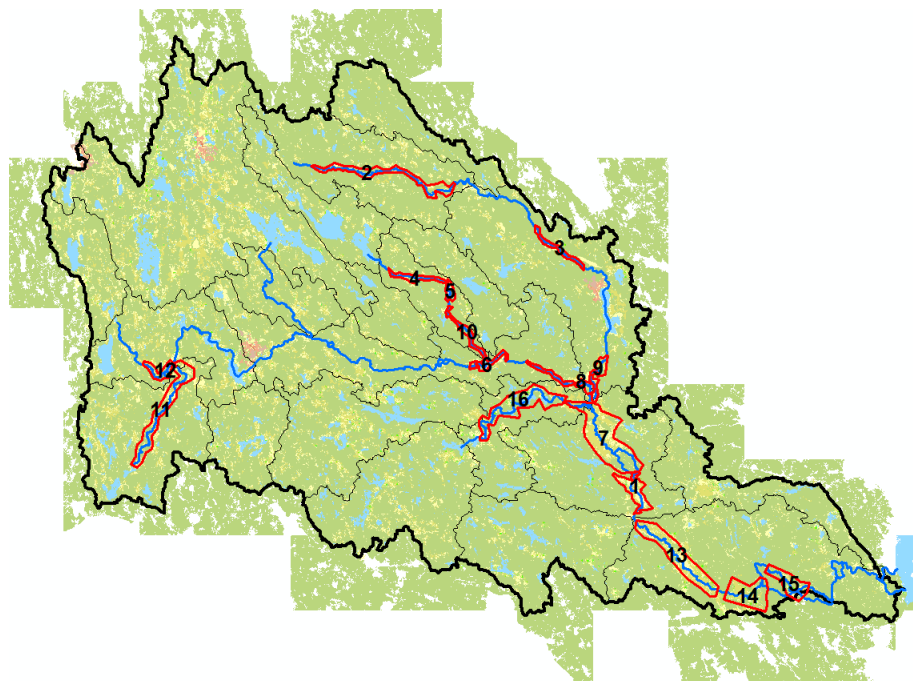


BILAGA B – Area- och volymsberäkningar



B Area- och volymsberäkningar

Beräkning av översvämmad markarea och vattenvolym har gjorts för 3-års, 10-års, 30-års och 100-årsregnet. Resultaten redovisas för 16 delområden enligt Länsstyrelsens förslag på områdesindelning, se Figur D-10-1 och Tabell D-10-1.



Figur D-10-1. Områdesindelning för beräkning av översvämmad markarea och vattenvolym.

Tabell D-10-1. Beräknad area och vattenvolym i översvämmade områden för 3-, 10-, 30- och 100-årsregn.

Nr	Område	3y		10y		30y		100y	
		Area (ha)	Volym (10 ⁶ m ³)	Area (ha)	Volym (10 ⁶ m ³)	Area (ha)	Volym (10 ⁶ m ³)	Area (ha)	Volym (10 ⁶ m ³)
1	Ryningen	543	4.5	576	5.4	614	6.5	668	8.5
2	Bruzaån	105	0.4	189	0.8	274	1.5	395	2.7
3	Silverdalen	63	0.2	74	0.3	87	0.5	101	0.7
4	Pauliström1	46	0.1	57	0.1	81	0.2	121	0.4
5	Pauliström2	20	0.0	25	0.0	31	0.0	44	0.1
6	Järnforsen	137	0.7	149	0.9	161	1.2	176	1.7
7	Mörlunda	174	1.0	269	1.7	595	3.6	1417	11.1
8	Måilla	115	0.8	147	1.2	178	1.8	201	2.6
9	Silverån	124	0.5	147	0.8	169	1.0	190	1.5
10	Pauliström3	17	0.0	26	0.1	37	0.1	51	0.2
11	Linneån	107	0.3	135	0.5	186	0.7	270	1.2
12	Nävelsjö-Åhult	62	0.3	70	0.4	88	0.5	117	0.7
13	Högsby1	173	0.7	279	1.3	492	2.9	609	4.9
14	Högsby2	88	0.4	228	1.5	265	2.4	552	6.9
15	Fliseryd	147	0.8	160	1.0	174	1.3	193	1.6
16	Gårdveda	101	0.2	125	0.4	159	0.5	223	0.9

