



Översvämningar i Arbogaån

Betydelsen av magasinering i de största sjöarna



Länsstyrelsen
Örebro län

Länsstyrelsen – en samlande kraft

Sverige är indelat i 21 län och varje län har en länsstyrelse och en landshövding. Länsstyrelsen är regeringens ombud i länet och ska både förverkliga den nationella politiken och samtidigt ta hänsyn till regionala förhållanden och förutsättningar. Länsstyrelsen är alltså en viktig länk mellan länets kommuner och dess invånare å ena sidan och regeringen, riksdagen och de centrala myndigheterna å den andra sidan.

Titel: Översvämningar i Arbogaån – Betydelsen av magasinering i de största sjöarna

Utgivare: Länsstyrelsen i Örebro län

Författare: Norconsult, Länsstyrelsen i Örebro län

Kontaktperson: Daniel Bergdahl och Christian Brun

Publikationsnummer: 2017:45

Bilder: Norconsult

Förord

Översvämningar kan medföra allvarliga konsekvenser för människor, bebyggelse och transportsystem. Överlag är flacka områden utsatta och framförallt jordbruksområden. Arbogaåns vattensystem har flera gånger drabbats av översvämningar. Flera tätorter har drabbats bl.a. Lindesberg, Nora och Arbogaån men även mindre orter som Frövi, Vedevåg och Bångbro. Senast var under vintern år 2000. I Arbogaån finns många dammar med reglering för elproduktion genom vattenkraft.

Syftet med denna rapport är att undersöka förutsättningarna att minska översvämningar i Arbogaåns vattensystem, genom magasinering av vattnet i reglerade sjöar.

Rapporten är framtagen av Norconsult, på uppdrag av Länsstyrelsen Örebro.

December 2017



Peder Eriksson

Enhetschef, Vatten och Naturmiljö

Länsstyrelsen i Örebro län

Sammanfattning

Kan de största sjöarna i Arbogaåns vattensystem; Ljusnaren, Råsvalen, Vikern, Fåsjön, Norasjön, Väringen, Norrmogen och Sörmogen, bidra till att minska översvämningsrisken i ån genom att magasinera vatten vid höga flöden? För att svara på frågan utvecklades en befintlig 1-dimensionell hydraulisk modell över Garhytteån, Storån, Dalkarlshytteån, Bohrsån och Arbogaån genom att Rällsälven (Ljusnaren till utflödet i Garhytteån), Dyltaåsystemet (Hagbyån, Bornsälven, Hammarbyån och Järleån) och Sverkestaån (Norrmogen till utloppet i Arbogaån) lades till.

Beräkningar genomfördes för en situation där prioritet på att hålla dämningsskärmen i sjöarna (nedströmsstrategi) jämfördes med ett fall där magasineringens förmåga utnyttjades för att dämpa flöden nedströms (uppströmsstrategi). I andra beräkningsfall jämfördes samma strategier för hur tänkta situationer på våren (magasin vid sänkningsgräns) och hösten (magasin vid dämningsskärmen) inverkar samt hur längden på flödesepisoden påverkar resultatet.

Vikern har störst potential för en uppströmsstrategi följt av Ljusnaren. Norrmogen och Sörmogen har lämpliga omgivningar men liten potential. Råsvalen och Norasjön är olämpliga för en uppströmsstrategi då översvämningskänsliga tätorter riskerar att påverkas. Väringens trånga utlopp gör sjön mindre betydelsefull för en uppströmsstrategi. Om samtliga sjöars magasin används i en uppströmsstrategi sänktes nivån nedströms vid bron för Västerleden i Arboga med 0,37 m för en höstsituation och med 0,42 m för en vårsituation. En kortare flödessekvens ger inte oväntat lägre nivåer men den relativa skillnaden mellan nivåer vid en nedströmsstrategi och uppströmsstrategi är liten.

I beräkningsfallen användes ett framtida 100 årsflöde (år 2098) då 113 m³/s släpps vid dammen i Dalkarlshyttan i Lindesberg och 307 m³/s rinner genom Arboga.

Mälarens nivå antogs i beräkningarna ligga på +1,3 m (RH2000).

En terrängmodell skapades från nationella höjddatabasen och ritningar med batymetri. Terrängmodellen användes som geometrisk indata till den hydrauliska modellen och för att beskriva vattenutbredning utifrån beräknade nivåer i tvärsektionslägen.

Vattenutbredningsskikt framställdes för att visa effekten av en magasinering i sjöarna på nivåer nedströms. Totalt karterades 17 kartområden mellan Rällsälven i norr till Mälaren i skala 1:50 000.

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	4
Innehåll	5
Inledning	7
Syfte	7
Organisation	7
Bakgrund	8
Arbetsätt.....	11
Hydrologi.....	12
Terrängmodell.....	13
Anläggningsdata och beskrivning av vattendragen	13
Magasinsvolymmer	15
Beräkningsförutsättningar	16
Kalibrering.....	17
Beräkningsscenarier	17
Framställning av vattenutbredningsskikt.....	18
Översvämningskartor	19
Resultat.....	20
Hydraulisk modell.....	20
Beräknade nivåer.....	21
Vattenutbredningsskikt.....	22
Slutsatser och kommentarer	25
Referenser	29
Bilagor.....	30
Bilaga 1.....	1
Vattenståndsprofiler för Rällsälven, Dyltaåsystemet och Sverkestaån. ...	1
Bilaga 2.....	3
Översvämnningar i Arbogaån – kartor Q100 med magasinering av vatten i sjöar, 2015-03-02.....	3

Inledning

I Arbogaåns vattensystem är översvämningsriskerna stora samtidigt som regleringsgraden är låg. Det finns dock ett antal sjöar där ytan är så stor att en magasinering av vatten kan tänkas påverka riskerna för översvämning. De sjöar som bedöms kunna påverka översvämningsriskerna är Råsvalen i Dalkarlshytteån, Våringen i Arbogaån, Ljusnaren i Rällsälven, Fåsjön, Vikern och Norasjön i Dyltaåsystemet samt Norrmogen och Sörmogen i Sverkerstaån.

Syfte

Projektet syftar till att undersöka förutsättningarna att påverka översvämnningar i Arbogaån genom att magasinera vatten i ovan nämnda sjöar. Ett verktyg för detta skapas genom att befintlig modell för Arbogaån utvecklas och biflödena Rällsälven, Dyltaån och Sverkestaån läggs till. Beräkningar genomförs för att se hur en magasinering påverkar nivåerna i Arbogaån. GIS-data skapas för att visa utbredningar på översvämnningar. Effekterna av en regleringsstrategi för att undvika nedströmseffekter i möjligaste mån kartläggs.

Organisation

Magnus Jewert har varit projektledare och genomfört hydrologisk analys och hydrauliska beräkningar. Marina Alexandrov har framställt GIS-data och kartor. Johan Östberg har kvalitetgranskat.

Bakgrund

Stora flöden i Arbogaån har under det senaste seklet förekommit år 1916, 1936, 1966, 1977 och 2000 [1]. Under senare delen av perioden har höga vattenföringar uppträtt under sommar, höst och vår. År 2000 hade området stora flöden på sommaren, orsakade av häftiga skyfall. Dessutom steg flödena under hösten med stora nederbördsmängder under oktober och november. I Rällsälven uppmättes $22 \text{ m}^3/\text{s}$ och i Dalkarlshyttan $88 \text{ m}^3/\text{s}$ [2]. En detaljerad beskrivning av förloppet vid detta tillfälle ges i [3].

Den största översvämningen i ån inträffade 1977 och förloppet beskrivs i detalj i [4]. Enligt SMHI [2] orsakades 1977 års stora vårflode av att ett stort snömagasin, temperaturer över de normala och en betydande regnmängd under april och maj sammanföll. Flödet var på flera platser betydligt större än ett flöde med 100-års återkomsttid. I Rällsälven, vid Ljusnaren, beräknades flödet till $55 \text{ m}^3/\text{s}$ och i Dalkarlshyttan till $174 \text{ m}^3/\text{s}$. I Frövifors uppskattades flödet till $200 \text{ m}^3/\text{s}$ och i den andra grenen i Dyltaån vid Hammarby uppskattades flödet till $108 \text{ m}^3/\text{s}$ av länsstyrelsen i Örebro län [1]. Översvämningarna år 1977 dokumenterades med flyg den 10 maj, dagen efter att kulmen nåtts i Lindesbergsområdet [4]. Nedan följer några bilder fotograferade vid tillfället (se Figur 2.A.-2.N.).



Figur 2.A. Stjärnfors vid Rällsälven.



Figur 2.B. Åstigen Lindesberg.



Figur 2.C. Lindesberg södra infarten.



Figur 2.D. Vedevågs bruk.



Figur 2.E. Frövifors.



Figur 2.F. Frövi.



Figur 2.G. Hinseberg, Frövi.



Figur 2.H. Fåsjön och Born.



Figur 2.I. Nora.



Figur 2.J. Hammarby.



Figur 2.K. Ervalla.



Figur 2.L. Väringen vid Kägelholms gård.



Figur 2.M. Väringen.



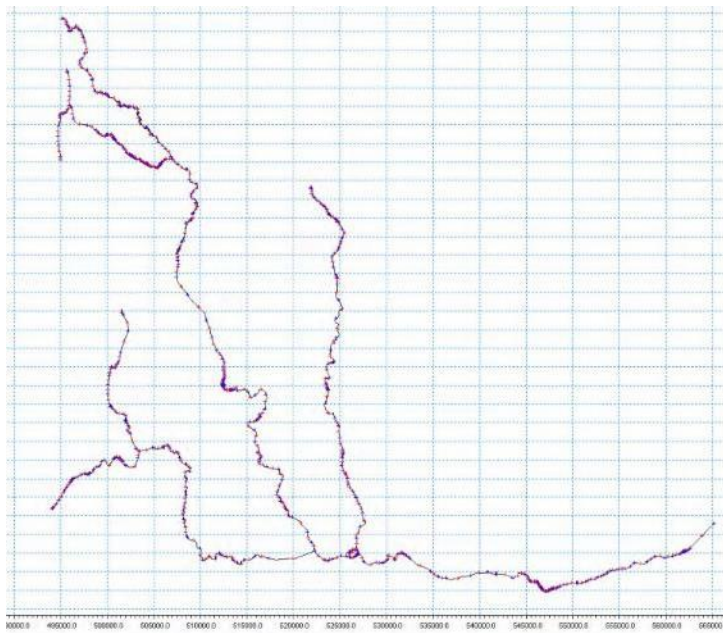
Figur 2.N. Ödeby kyrka vid Väringen.

Arbetsätt

En 1-dimensionell befintlig hydraulisk modell över Garhytteån, Storån, Dalkarlshytteån, Bohrsån och Arbogaån utvecklades genom att Rällsälven, Dyltaåsystemet och Sverkestaån lades till. För detaljer runt förutsättningar och för antaganden i hydraulisk modellering och översvämningskartering med ursprungsmodellen hänvisas [5] och [6]. Den nya utvecklade modellen över Rällsälven omfattar sträckan Ljusnaren till utflödet i Garhytteån. Dyltaåsystemet innehåller Hagbyån (sträckan Vikern-Norasjön), Bornsälven (sträckan Fåsjön – Norasjön), Hammarbyån och Järleån (dessa vattendrag benämns gemensamt för Dyltaåsystemet i rapporten). För Sverkestaån byggdes modell på sträckan Norrmogen via Sörmogen till utloppet i Arbogaån. En bild över den utvecklade modellens nätverk visas i figur 2 nedan. För detaljer om programvaran som använts i beräkningarna se [7] och [8].

En terrängmodell skapades för geometriska indata till den hydrauliska modellen och för att beskriva den beräknade vattenutbredningen.

Beräkningar för en situation där prioritet på att hålla dämningssgränsen i sjöarna (nedströmsstrategi) jämfördes med ett fall där magasineringsförmågan utnyttjades för att dämpa flöden nedströms (uppströmsstrategi).



Figur 2. Modellens nätverk.

Hydrologi

Ett flöde med 100 års återkomsttid framräknat med hänsyn till klimatförändringar för år 2098 användes i beräkningarna (se tabell 2.1). Flödet är detsamma som använts i översvämningsskarteringen av Arbogaån år 2013 [5] och är väsentligt lägre än vad som uppträdde på flera platser år 1977. I Dalkarlslyttan motsvarar t ex det modellerade flödet ca 65% av den vattenföring som uppträdde 1977 ($174 \text{ m}^3/\text{s}$). Det modellerade flödet har valts för att ett flöde med 1977-års magnitud inte bedömts kunna påverkas genom reglering av sjöarnas magasin.

I beräkningarna har två flödessekvenser använts: 1) en längre på 38 dagar, och 2) en kortare på 19 dagar. I båda fallen utgjorde startvärdet på flödet ca 20–30% av maxvärdet. Maxflödena på sekvenserna är desamma och framgår av tabell 3.1.A.

För de nya vattendrag som lagts till i modellen, fördelades det flöde som tidigare kom in i en punkt i modellnätverket (i 2013 års modell) längs de nya modellsträckorna. Tillrinningen i Dyltaån och Sverkestaån fördelades på de olika sträckorna med hjälp av skalering enligt flöden för delområden som beräknats av SMHI (HYPE) [9].

För Rällsälven användes hela inflödet i Norrsjön som tillrinning till Ljusnaren.

Nivån i Mälaren antogs vara ett framtida medelvärde på årshögsta (se tabell 3.1).

Tabell 3.1.A. Hydrologiska uppgifter för Arbogaån använda i beräkningarna.

Hydrologiska uppgifter Q100 (2098) Arbogaån	Flöde eller nivå
Lindesberg, Dalkarlslyttan	$113 \text{ m}^3/\text{s}$
Utlöpp sjön Väringen	$199 \text{ m}^3/\text{s}$
Arboga, Grindeberga	$307 \text{ m}^3/\text{s}$
Mynningen i Mälaren	$328 \text{ m}^3/\text{s}$
Nivå i Mälaren (RH2000)	+1,30

Terrängmodell

Som terrängunderlag till Sverkestaån, Dyltaåsystemet och Rällsälven användes laserskannade höjddata från nationella höjddatabasen (NNH, 2011).

Vattendragens batymetri togs från ritningar för brolägen (Trafikverket, Batman) och där data saknades antogs ett djup om 2 m och en slänt på 1:2. En terrängmodell med 2 m upplösning skapades från dessa data. Terrängmodellen användes dels för att framställa tvärsektioner i de vattendrag som lades in i modellen och dels för att generera skikt för vattenutbredningen utifrån resultaten av de hydrauliska beräkningarna.

Anläggningsdata och beskrivning av vattendragen

Data för dammanläggningarna i de vattendrag som lagts till modellen har hämtats från olika källor. Generellt har Damminventering i Örebro län, 1980 [10] använts där nyare och mer detaljerad information ej funnits att tillgå. Den senare daterade informationen består av en utredning om dammbrott i Sverkestaån (SwedPower, 2005) [11], DTU-manual för Ringaby dammar (Norconsult 2012) [12], DTU manual för Dalkarlslyttans kraftverksdamm (Norconsult 2013) [13]. Vattendomar och utdrag ur länsstyrelsernas databas har använts för Fåsjön, Norasjön och Vikern. Publikationerna ”Översvämningar i Örebro län” (2011) [1], ”I översvämningarnas spår – analys av översvämningarna år 2000” [3] (båda Länsstyrelsen i Örebro län) Mälaren-Hjälmaren Vårflöden 1977 i Arbogaån, Hedströmmen och Kolbäcksån (Kommittén för Mälarens vattenvård), [14] ”Hydrologiska förhållanden extremåren 1977, 2000 och 2002 i Svartån/Eskilstunaån och Arbogaån” (SMHI) [2] och Utredningsrapport om avbördningsförbättrande åtgärder vid sjön Väringens utlopp (Mark och Marin) [15] har använts som bakgrundsinformation och i viss mån i kalibrering av modellen. I tabellerna nedan sammanfattas anläggningsdata använda i beräkningarna.

Tabell 3.3 A. Anläggningsdata för Sverkestaån. Nivåuppgifter i tabellen är RH2000. Höjderna är omvandlade enligt RH2000 = RH-00 + 0,55 m.

Anläggning	Sänkningsgräns		Dämningsgräns		Dammkrön	
	nivå (RH2000)	avbördn (m3/s)	nivå (RH2000)	avbördn (m3/s)	nivå (RH2000)	avbördn (m3/s)
Norrmogen	+101.76	0	+105.16	54	+105.3	58
Sörmogen	+100.54	2.2	+102.2	41	+102.79	61
Nyhammar	-	-	+97.55	35	+97.95	75
Grönbo	-	-	+82.55	40	+82.98	56
Kåfalla rd	-	-	+78.55	7	+80.05	63
Kåfalla krv	-	-	+77.25	69	+77.75	99
Storbo rd	-	-	+71.34	29	+71.95	53
Storbokrv	-	-	+71.34	i.u.	+71.6	i.u.
Rockhammar	-	-	+62.34	87	+63.55	143
Lustholmen	-	-	+47.6	60.8	+48	61.8
Stensta	-	-	+42.2	76.1	+42.7	83.1
Stenby	-	-	+37.2	31.6	+37.8	38.4

Uppgifter i kursivt är antagna med hjälp av terrängunderlaget.

Tabell 3.3 B. Anläggningsdata för Rällsälven. Nivåuppgifter i tabellen är RH2000. Höjderna är omvandlade enligt RH2000 = RH-70 + 0,18 m.

Anläggning	Sänkningsgräns		Dämningsgräns		Dammkrön	
	nivå (RH2000)	avbördn (m3/s)	nivå (RH2000)	avbördn (m3/s)	nivå (RH2000)	avbördn (m3/s)
Stjernfors	+161.08*	0.0	+163.53	57.6	+164.16	83.5
Rällsälven	-	-	+129.3	50	+129.8	91
Dammen	-	-	+116	50	+116.5	100.5
Rällså	-	-	+109.8	50	+110.9	122.9

*avser tröskelnivå det vill säga praktisk sänkningsgräns vid anläggningen. Uppgifter i kursivt är antagna med hjälp av terrängunderlaget.

Tabell 3.3 C. Anläggningsdata för Dyltaåsystemet med Järleån, Hagbyån Bornsälven, Hammarbyån, Järleån och Dylltaån. Nivåuppgifter i tabellen är RH2000. Höjderna är omvandlade enligt $RH2000 = RH-70 + 0,18 \text{ m}$.

Anläggning	Sänkningsgräns		Dämningsgräns		Dammkrön	
	nivå	avbördn	nivå	avbördn	nivå	avbördn
	(RH2000)	(m3/s)	(RH2000)	(m3/s)	(RH2000)	(m3/s)
Gyttorp krv	+112.55	+20.2	+113.95	+55.1	+114.6	+63.7
Hagby	-	-	+98.2	+38	+99.35	+60
Borns krv	+87.8	+36.1	+88.2	+45.5	+88.45	+49.7
Hammarby krv	+83.27	+31.7	+83.6	+41.9	+84.1	+69.2
Järle kvarnd.	-	-	+50.2	+39.4	+51.2	+50
Axbergshammar	-	-	+44.3	+114.4	+44.5	+145.7
Dyltaåns krstn	-	-	+41.8	+64.2	+42	+72.2

Uppgifter i kursivt är antagna med hjälp av terrängunderlaget.

Tabell 3.3 D. Anläggningsdata för Dalkarlshytteån och Arbogaån (Ringaby herrdamm och kraftverksdamm. Nivåuppgifter i tabellen är RH2000. Höjderna är omvandlade enligt $RH2000 = RH-00 + 0,55 \text{ m}$.

Anläggning	Sänkningsgräns		Dämningsgräns		Dammkrön	
	nivå	avbördn	nivå	avbördn	nivå	avbördn
	(RH2000)	(m3/s)	(RH2000)	(m3/s)	(RH2000)	(m3/s)
Dalkarlshyttans krv	+60.45	3.6	+61.35	32	+63.55	160
Ringaby herrdamm	+32.06	136.2	+32.36	171	+32.72	231
Ringaby tröskdamm	+32.06	7.7	+32.36	12	+32.92	19
Ringaby krvidamm	+32.06	24.7	+32.36	27	+32.92	30

Magasinsvolym

En enkel modell i Excel skapades för att analysera sjöarnas magasinvolym. I modellen är magasinvolymen skillnaden mellan tillrinning till sjön och avrinning genom den reglerande dammens utskov. Tappning genom kraftverken antogs vara stoppad och högflödet avbördas enbart via dammens utskov. Uppgifter på tillgänglig amplitud och magasinstyr togs från flera källor. Arbetsmaterial för teknisk beskrivning Stjärnfors kraftverk (Norconsult 2015) [16] användes för Ljusnaren. För Råsvälen togs uppgifter från Dalkarlshyttans kraftverksdamm DTU manual [13]. För Vikern, Fåsjön och Norasjön användes uppgifter från Länsstyrelsen i Örebro läns databas som baserar sig på uppgifter från kraftverksägarna. Uppgifter för Väringsen kommer från DTU-manual för Ringaby dammar [12]. För Sverkestaån användes data från "Flodvågsberäkning och konsekvensklassning för fem dammar i Sverkestaån" (SwedPower 2005) [11]. Uppgifterna sammanfattas i tabell 3.4. Excelmodellen har använts för att bestämma hur mycket vatten som ska tappas från regleringsdammarna då vatten magasineras i sjöarna. Sjöarnas magasin beskrivs i beräkningarna av tvärsektioner i den hydrauliska modellen. Volymen

har kontrollerats genom att den ackumulerade skillnaden mellan inflöde och utflöde beräknats för magasinerna under sekvensen.

Tabell 3.4 Regleringsamplitud mellan dämningssgräns (DG) och sänkningsgräns (SG), fribord (avstånd mellan DG och dammkrön (DK)) och sjöyta.

	Ljusnaren ¹	Råsvälen	Vikern	Fåsjön	Norasjön	Väringen	Normogen	Sörmogen
Amplitud DG-SG(m)	2,45	0,9	1,4	0,4	0,33	0,3	3,4	1,66
Fribord DK-DG(m)	0,63	2,2	0,65	0,25	0,5	0,36	0,16	0,59
Magasinsyta ² (km ²)	15,2	22,7	10	10	7,6	20	5	4

¹ Amplitud avser dämningssgräns – tröskelnivå, Magasinsyta inkluderar Salbosjön som har gemensamt magasin med Ljusnaren till 1,3 m under dämningssgräns.

Beräkningsförutsättningar

När beräkningen startar råder ett tillstånd av stationärt flöde i vattensystemet. Sjöarnas nivå ligger på eller strax under dämningssgräns i scenario 1 och 2. I scenario 3–6 börjar beräkningarna vid sänkningsgräns (se beskrivning av beräkningsscenarier nedan). Tillrinningen avbördas och magasinerna hålls så länge som möjligt vid dämningssgräns/sänkningsgräns eller så lågt som möjligt med hänsyn till vad utskoven kan tappa. I scenario 1 utnyttjas maximal avbördningskapacitet så fort vattenytan stiger ovanför dämningssgränsen. I uppströmsstrategin har utskovens kapacitet begränsats så mycket att magasinerna får en maximal överdämning. Strypningen av kapaciteten har gjorts så att kulmen på flödessekvensen reducerats. Där uppgifter på högsta tekniska gräns för överdämning vid dammarna funnits att tillgå (Dalkarlshyttan och Ringaby dammar) har detta använts för att avgöra hur högt magasinet tillåts att stiga. För övriga dammar har ingen dammsäkerhetsbedömning gjorts utan utgångspunkten har varit att ta upp nivån till strax under dammkrönet.

Kalibrering

Modellen kalibrerades med hjälp av en tidigare modellkörning [5]. Två platser i översvämningsskänsliga tätorter valdes för att kalibrera in flöden och nivåer. I tabell 3.6 visas resultatet av kalibreringen.

Tabell 3.6 Kalibreringsresultat för modellen.

Plats	Underlag		Modellresultat	
	Flöde (m ³ /s)	Nivå (RH2000)	Flöde (m ³ /s)	Nivå (RH2000)
Lindesberg, bro Bergslagsvägen	117	+63,26	117	+63,25
Arboga, bro Västerleden	306	+5,11	306	+5,10

Någon validering av modellen har inte gjorts utan beräkningsmodellen gäller vid det angivna flödet.

Beräkningsscenarier

Två övergripande regleringsstrategier har använts i beräkningarna. I den ena strategin gavs prioritet på att hålla dämningssgränsen i sjöarna vilken benämns nedströmsstrategi nedan. I den andra utnyttjades magasineringsförmågan i sjöarna på olika sätt och i olika omfattning för att minska flödena i ån vilket kallas för uppströmsstrategi nedan. Upp- och nedströmsstrategierna har kombinerats med olika förhållanden i magasinets nivå vid starten av beräkningarna (sänkningsgräns (SG) eller dämningssgräns (DG)) och för längden på flödessekvensen (38 dagar eller 19 dagar). I samtliga beräkningsfall antas tappningen i kraftverken vara stoppad och vatten avbördas genom dammarnas utskov.

Följande beräkningsscenarier och regleringsstrategier har analyserats:

- SC 1. Nedströmsstrategi, Q100, 38 dagars sekvens, magasinets nivåer vid magasinets dämningssgräns (DG), utskoven avbördar fullt ovan DG.
- SC 2. Uppströmsstrategi, Q100, 38 dagars sekvens, vatten magasineras ovan dämningssgräns (DG) och upp till dammkrön (DK) eller strax under DK.
- SC 3. Nedströmsstrategi, Q100, 38 dagars sekvens magasinets nivåer vid sänkningsgräns (SG), utskoven avbördar fullt till DK.
- SC 4. Uppströmsstrategi, Q100, 38 dagars sekvens, magasinets nivåer vid sänkningsgräns (SG), vatten magasineras upp till dammkrön (DK) eller strax under DK.
- SC 5. Nedströmsstrategi, Q100, 19 dagars sekvens, magasinets nivåer vid sänkningsgräns (SG), utskoven avbördar fullt till DK.
- SC 6. Uppströmsstrategi, Q100, 19 dagars sekvens, magasinets nivåer vid sänkningsgräns (SG), vatten magasineras upp till dammkrön (DK) eller strax under DK.

För scenarier med uppströmsstrategi har beräkningar för olika kombinationer med avseende på vilket eller vilka magasin som använts gjorts. Följande sjömagasin (A-F) har använts:

- A. Ljusnaren
- B. Vikern, Fåsjön och Norasjön
- C. Norrmogen och Sörmogen
- D. Råsvälen
- E. Väringen
- F. Ljusnaren, Vikern, Fåsjön, Norasjön, Norrmogen, Sörmogen, Råsvälen och Väringen
- G. Ljusnaren, Vikern, Fåsjön, Norrmogen och Sörmogen
- H. Vikern och Fåsjön.

Framställning av vattenutbredningsskikt

Vid beräkningarna skapas resultatfiler i Mike11, innehållande vattennivåer vid beräkningssektioner. Dessa används sedan i ArcGIS [16] för att generera översvämningsskikt med hjälp av terrängmodellen. Vattennivåer interpoleras mellan tvärsektioner och jämförs sedan med terrängmodellen för att kartera området som översvämmas, d.v.s. där vattennivåerna ligger ovan marknivån.

Interpolering har inte gjorts över dammanläggningar då detta leder till felaktiga utbredningsskikt. Brobanor är borttagna ur terrängmodellen. Detta gör att det i samtliga vattenutbredningsskikt ser ut som att broarna är överströmmade. Detta är inte fallet. För att kunna avgöra om en bro överströmmas eller inte måste beräknade vattennivåer jämföras med nivån på brobanan.

Översvämningsskikt har framställts för:

- SC1
- SC2F
- SC2G
- SC4G

Översvämningsskator

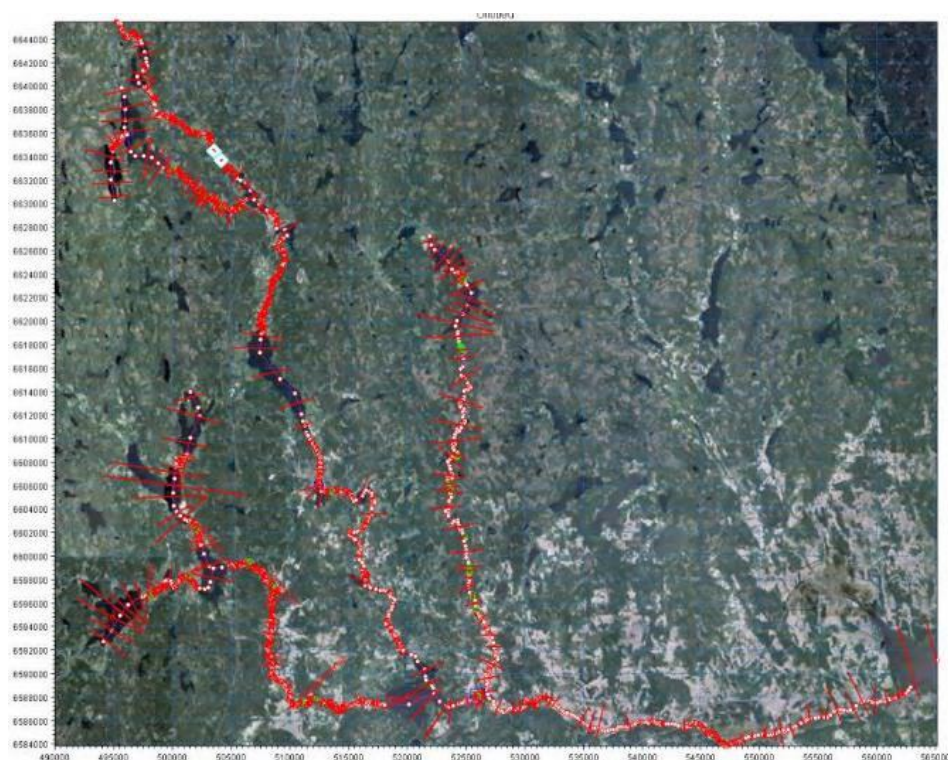
Översvämningsskator har framställts för ån (se bilaga 1). Kartutsnitten täcker Rällsälven och Garhytteån i norr till Mälaren i sydöst, Dyltaåsystemet från Vikern i väster till Väringen och Sverkestaån från Norrmogen i nordöst till utloppet i Arbogaån. Sju nya områden har karterats längs Rällsälven (1st), Dyltaåsystemet (3st) och Sverkestaån (3st). Totalt har 17 områden karterats i skala 1:50 000. Som bakgrund till översvämningsskikten användes terrängkartan. På översvämningsskatorna visas normalvattenytan tillsammans med översvämningsskikt:

- SC1 - (Q100 nedströmsstrategi början vid dämningssgräns).
- SC2F - (Q100 uppströmsstrategi samtliga sjöar början vid dämningssgräns).

Resultat

Hydraulisk modell

En hydraulisk 1-dimensionell modell över vattensystemet med inflöden, hydrauliska parametrar, tvärsektioner och dammanläggningsdata har framställts. Modellen är en utveckling och påbyggnad av modeller som framställts och använts i tidigare karteringar [5] och [6]. Den totala längden av modellerade vattendrag ökades från 144 km i ursprungsmodellen till 290 km. I den nya modellen är det totala antalet tvärsektioner 443st jämfört med 209st tidigare. 23 nya dammanläggningar har representerats i modellen. Tre dammar har ändrats i ursprungsmodellen för att effekter av en förhöjd nivå i Råsvalen och Väringen ska kunna studeras. 17st nya broar har förts in i modellen genom att broarnas dimensioner lagts in i geometrin för tvärsektionerna. En bild över modellnätverket visas i figur 3.1. Profiler över modellen för Rällsälven, Dyltaån och Sverkestaån visas i bilaga 1.



Figur 3.1 Modellens nätverk med ortofoto som bakgrund.

Beräknade nivåer

Nedan redovisas resultat av beräknade nivåer. I beräkningarna har en uppströmsstrategi använts för att magasinera vatten i respektive sjömagasin för att minska översvämningar nedströms. I scenario 2 överdämades sjöarnas magasin så att volymen från dämningssgräns till dammkrön kunde nyttjas (se tabell 4.2.1). I scenario 4 och 6 användes även regleringsmagasinet och volymen från sänkningsgräns till dammkrön togs i anspråk. Scenario 1 är ett jämförelsefall i vilket vatten tappas från sjön i enlighet med utskovens kapacitet och för en regleringsstrategi beskriven ovan. I beräkningsfallet F ”Samtliga sjöar” ingår även Råsvalen och Väringen vilket påverkar nivåerna i Lindesberg eftersom det ger en situation med förhöjt magasin i Råsvalen jämfört med SC1. I beräkningsfall G har ingen aktiv reglering gjorts för att magasinera vatten i sjömagasinen Råsvalen och Väringen. Tvärtom har hela anläggningarnas kapacitet använts för att förhindra lokala uppströmseffekter.

Tabell 4.2.1: Beräknade nivåer vid Q100 och för en situation då vatten magasineras i respektive sjö(ar).

	SC1 Q100	SC2A Ljusnaren	SC2B Vikern, Fåsjön, Norasjön	SC2C Norrmogen, Sörmogen	SC2D Råsvalen	SC2E Väringen	SC2F Samtliga sjöar i tabellen
Lindesberg, bro Bergslagsvägen	+63,25	+63,11	+63,25	+63,25	+63,78	+63,25	+63,59
Arboga, bro Västerleden	+5,11	+5,02	+4,96	+5,06	+4,99	+5,03	+4,74

I scenario 3-6 ändrades startnivån i magasinerna till sänkningsgräns och i scenario 5- 6 kortades längden på flödessekvensen till 19 dagar. Trots att sekvensen kortades användes samma maximala värde på flödet som tidigare. Med den förändrade modellen undersöktes hur sjöarnas magasineringsförmåga inverkar på flöden och nivåer nedströms (se tabell 4.2.2).

Tabell 4.2.2: Beräknade nivåer vid Q100 och för en situation då sjöarnas nivå initialt ligger på sänkingsgräns och för 38 och 19 dagars flödessekvens.

	SC1 - lång sekvens start dämningsgräns	SC3 - lång sekvens start sänkingsgräns	SC4A - Ljusnaren start sänkingsgräns	SC4F - Samtliga sjöar start sänkingsgräns	SC4G - Ljusnaren, Fåsjön, Vikern, Norr, Sörmogen start sänkingsgräns	SC4H- Vikern och Fåsjön	SC5 - Q100 kort sekv. start sänkingsgräns	SC6F - Samtliga sjöar kort sekv. start sänkingsgräns
Lindesberg Bergslagsv.	+63,25	+63,15	+63,12	+63,12	+63,12	+63,15	+62,13	+62,64
Arboga, bro Västerleden	+5,11	+5,00	+5,01	+4,69	+4,88	+4,98	+4,46	+4,22

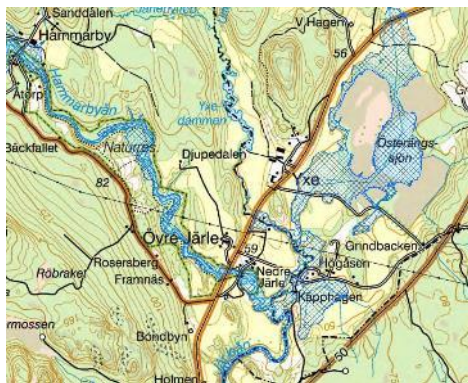
Vattenutbredningsskikt

Nedan visas några exempel på vattenutbredningsskikt som framställts med resultaten från den hydrauliska modellen. En jämförelse kan i vissa fall göras med flygfoton från 1977-års översvämning visade i kapitel 2. Det är dock viktigt att komma ihåg att det finns stora osäkerheter både om den faktiska vattenföringen vid olika platser och skillnader mellan antagna regleringsstrategier i modellen och i hur vattnet tappades från dammar och kraftverk vid det aktuella tillfället. I Nora tycks de södra delarna av tätorten vara översvämningsskänsliga. I figur 3.3.A. visas en bild på hur översvämningen kan tänkas se ut (SC1). Nedströms fallsträckan efter Järle kvarndamm finns ett flackt område som översvämmas (se figur 3.3B). Jämför med bilder i figurer 2.I och 2.J.

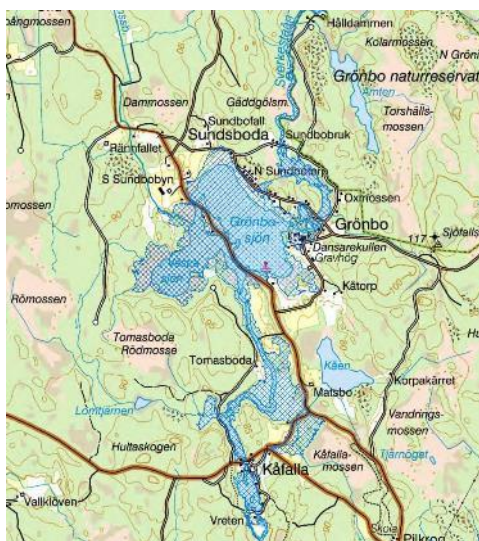
I Sverkestaån finns stora områden med låglänt och översvämningsskänslig terräng. Vid inloppet i Sörmogen finns mindre områden som översvämmas. Mellan Grönbo och Kåfalla samt mellan Storbo och Rockhammar (se figur 3.3.C) finns betydligt större områden som drabbas.



Figur 3.3.A. Nora med utloppet ur Norasjön och Hammarby hyttedamm. Översvämningsskänsliga områden runt Sunnanlid.



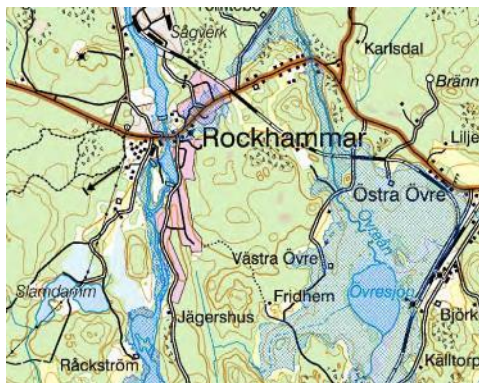
Figur 3.3.B. Hammarbyån och Järleån, översvämmingar nedströms fallsträckan vid Järle kvarndamm.



Figur 3.3.C Sverkestaån i området vid Grönbo och Kåfalla under ett 100-årsflöde.

Rällsälven är inte lika översvämningskänslig som de båda andra vattendragen. Fallhöjden från Ljusnaren är ca 67 m på en sträcka om ca 10 km ned till Norrsjön. Dammarnas avbördningsförmåga är också relativt goda. I figur 3.3.E visas det karterade 100-års flödet för Rällsälven. Jämför med bild från det höga flödet år 1977 i figur 2.A.

Söder om Lindesberg finns översvämningskänsliga områden, se figur 3.3.F och jämför med bild från översvämmningen år 1977 i figur 2.B och 2.C. Väringen och området vid Ervalla svämmades över ordentligt och även den nordöstra sidan av sjön och ön med Kägelholms gård har låglänta marker. Jämför med bild i figur 2.K. och 2.L.



Figur 3.3.D Sverkestaån och området vid Rockhammar vid 100-års flöde.



Figur 3.3.E Rällsälven karterat för 100-års flödet.



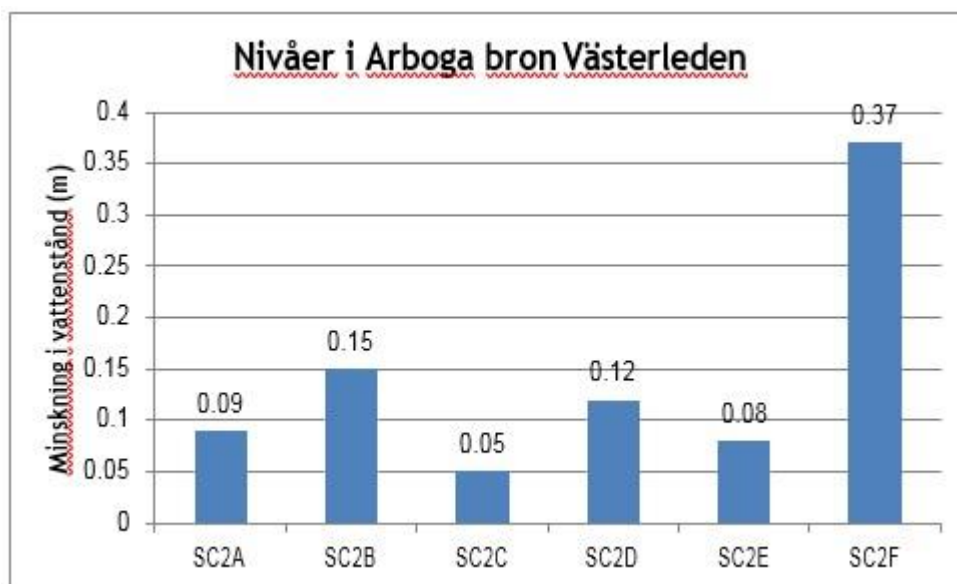
Figur 3.3.F Södra Lindesberg runt Lindesjön är översvämningssensibelt område.



Figur 3.3.G Väringen med det flacka området vid Ervalla.

Slutsatser och kommentarer

En uppströmsstrategi med aktiv reglering för att magasinera vatten för sjöarna i Arbogaån kan spela en viss roll för att lindra översvämningar nedströms för det undersökta flödesfallet. Uppströmsstrategin har jämförts med en nedströmsstrategi, då dammanläggningarnas avbördningskapacitet används fullt ut för att så långt som möjligt förhindra att dämningensgränsen överskrids. En situation med två olika magasin nivåer har undersökts. Regniga höstar kan betydande flöden uppträda när magasinerna redan fyllts till dämningensgräns inför vintern. Ett beräkningsfall som startar vid dämningensgräns har undersökts dels för var och ett av sjömagasinen i de olika biflödena och dels för effekten av en uppströmsstrategi för samtliga sjöar samtidigt. Sjöarnas inverkan på nivåer i nedre delen av ån (i Arboga) i form av minskning i vattenstånd jämfört med nedströmsstrategin visas i figur 5A. Beräkningar som utgår från sänkningsgräns visas nedan i figur 5B.



Figur 5A. Effekter av uppströmsstrategier vid Västerbron i Arboga för magasin nivåer vid dämningensgräns i sjöarna. A=Ljusnaren, B=Vikern, Fåsjön och Norasjön, C=Norrmogen och Sörmogen, D=Råsvalen, E=Väringen, F= Samtliga sjöar.

Nedan följer kommentarer om var och ett av de analyserade sjömagasinen (data för sjömagasinen finns i tabell 2.4).

Råsvalen har det största magasinet i systemet. Att en uppströmsstrategi i sjön inte ger större dämpning på flödena nedströms beror på att det finns trånga partier från Råsvalen ned till regleringsdammen i Dalkarlshyttan. Det finns en naturlig tröskel i utloppet av sjön och även mellan Lindesjön och kraftverksdammen uppstår betydande fallförluster vid höga flöden. Utskovskapaciteten vid anläggningen avbördar vid en nivå på dämningensgräns ca 30% av det i beräkningarna använda 100-års flödet och ca 140 % vid en nivå vid dammkrön. Vid höga flöden kan därför inte Råsvalens magasin användas

till att dämpa flöden i den utsträckning som den stora sjöytan kan ge intryck av. Lindesbergs tätort som är översvämningsskänslig på flera platser utgör också en begränsning för att använda en uppströmsstrategi för Råsvalen (se figur 2.B och 2.C).

Ljusnaren har det näst största magasinet i Arbogaån. Tillsammans med Salbosjön som kan nyttjas som magasin från ca 1,3 m under dämningssgräns är ytan betydande. En magasinering av vatten i sjön innebär att flödet i de nedre delarna av Arbogaån dämpas och sjömagasinet utgör ca 25% av effekten från samtliga sjöar. Ljusnaren är med sitt läge en mer lämplig sjö för en uppströmsstrategi.

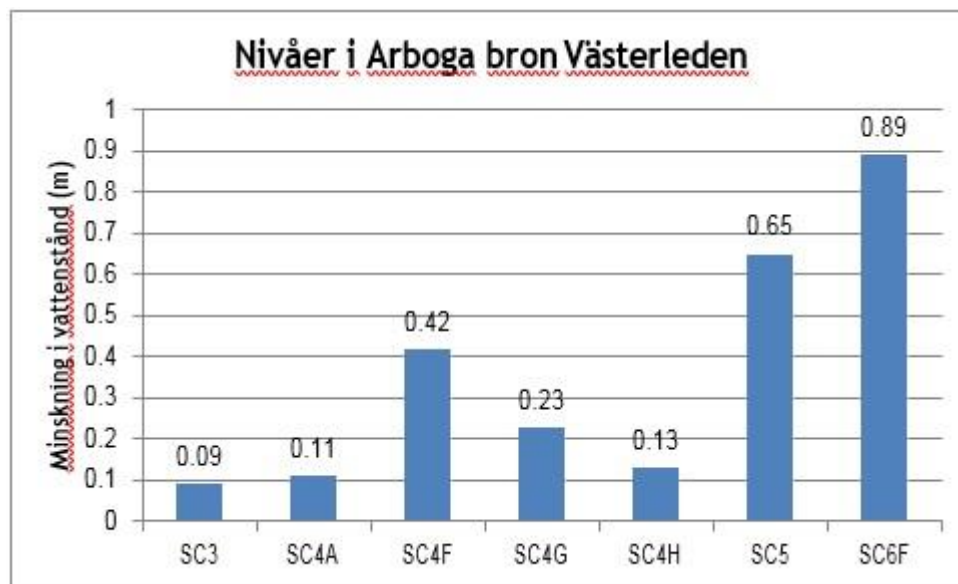
Vikern har det tredje enskilt största magasinet vilket beror på en stor regleringsamplitud. I beräkningarna har Vikern använts tillsammans med Fåsjön i en uppströmsstrategi för Dyltaåsystemet. Vikern svarar då för ca 2/3 av det tillgängliga magasinet. Tillsammans svarar sjöarna i resultatet för ca 40 % av samtliga sjöars effekt av flödesdämpningen. Att använda Vikern och Fåsjön i en uppströmsstrategi har även fördelen att risken för översvämningar i Nora minskar.

Normogen har det fjärde största magasinet om man räknar in regleringsamplituden. Tillsammans med Sörmogen har sjön använts i en uppströmsstrategi för Sverkestaån. Regleringsdammarnas utförande och omgivning gör att sjöarna är lämpliga för en uppströmsstrategi. Att Sverkestaån i sig är översvämningsskänslig ger en fördel då riskerna för översvämningar lokalt minskar. Sjöarnas bidrag till att minska flödena i nedre delen av Arbogaån är dock relativt litet och utgör ca 14% av samtliga sjöars effekt på nivåminskningen i Arboga.

Väringen är den näst största sjön till ytan (20 km²) men har ett av de minsta magasinerna på grund av liten regleringsamplitud och i det här sammanhanget relativt litet fribord. Ett par andra saker gör att sjön inte lämpar sig särskilt väl för en uppströmsstrategi. Det finns omfattande fallförluster vid höga flöden på en sträcka om ca 1800 m uppströms regleringsdammen Ringaby herrdamm. Fallförlusterna beskrivs i detalj i utredning [15]. Omgivningarna runt sjön är låglänta och stora områden blir översvämmade. Det finns riksväg och järnväg med hög trafikintensitet i området som riskerar att stängas av vid höga vattenstånd. Om man trots allt använder en uppströmsstrategi för Väringen bidrar sjön med ca 22% av samtliga sjöars inverkan på nivån vid Västerledenbron i Arboga.

Ett par andra aspekter som kan påverka nyttan av en uppströmsstrategi har undersökts och resultaten visas i figur 5B. Inför ett vårflöde är ofta magasin som använts för kraftverksproduktion avsänkta ned mot magasinets sänkningsgräns. Ett beräkningsfall som startar vid sänkningsgräns ger som förväntat lägre nivåer då en större del av tillrinningen kan magasineras. Den ökande nyttan av en uppströmsstrategi blir däremot marginell. Detta beror på att utskovens kapacitet är liten vid låga magasinarnivåer vilket gör att en stor del av tillrinningen magasineras även vid en nedströmsstrategi. Men en marginellt

större effekt av en uppströmsstrategi fås (0,42 m i stället för 0,37 m, se SC4F i figur 5B och SC2F i figur 5A). En kortare flödessekvens (19 dygn i stället för 38) ökade däremot inte alls nyttan av en uppströmsstrategi. Nivån minskade visserligen jämfört med 38-dagars sekvensen för nedströmsstrategin med 0,65 m men nyttan av en uppströmsstrategi blev marginellt mindre (0,34 m jämfört med 0,37m). Resultat av körningarna visas i figur 5B.



Figur 5B. Effekter av uppströmsstrategier vid Västerbron i Arboga för magasinivåer vid sänkningsgräns i sjöarna och för kortare flödesepisoder. SC3=nivåer vid nedströmsstrategi då den långa sekvensen börjar på sänkningsgräns, SC4=Uppströmsstrategi då den långa sekvensen börjar på sänkningsgräns, SC5=kort sekvens sänkningsgräns, SC6=Uppströmsstrategi kort sekvens vid sänkningsgräns, A=Ljusnaren, F= Samtliga sjöar, G= Ljusnaren, Vikern, Fåsjön, Norrmogen och Sörmogen, H=Vikern och Fåsjön.

I den här typen av analyser finns flera osäkerhetsfaktorer. Fallförluster i Bottenån genom Lindesberg och mellan Väringen och Ringaby dammar är som beskrivits ovan betydande vid högre flöden. Det finns osäkerheter om hur stora dessa fallförluster är vid höga flöden och därför också hur de påverkar möjligheterna att magasinera vatten i Råsvalen och Väringen. Modellen bedöms beskriva fallförlusterna vid Väringens utlopp bättre än de som berör Råsvalen, uppströms Bottenån och vid utloppet av Lindesjön.

Det finns vissa osäkerheter om faktiska magasinivolymer i beräkningsmodellen. I den hydrauliska modellen är magasinivolymer över normalvattenytan bättre skattad än i det lägre registret ned till sänkningsgräns. Alltså bör större tillförlitlighet sättas vid beräkningsfallen som utgår från dämningssgräns än de som börjar vid sänkningsgräns. Orsaken till att magasinerna under dämningssgräns är mer osäkra är brist på batymetriska data. Här skulle en analys av tappningar vid kraftverken kunna ge bättre information om tillgängligt magasin ned till sänkningsgräns.

Vattenutbredningen på översvämningsskikten är i vissa områden mer osäkra och anledningarna till detta är flera. Den hydrauliska modellen är en 1-dimensionell modell som kräver att vattenvägarna är kända och representerade med tvärsektioner. Vattenytan interpoleras mellan tvärsektionerna. Vid översvämningen år 1977 bröts nya fåror på flera platser. För att hantera detta skulle en 2-dimensionell modell som tillåter att vattnet rinner över terrängen i låga partier behövas. Sådana effekter är svåra att beskriva med en 1-D modell. Terrängdata har en noggrannhet på 0,2 m vilket ger vissa osäkerheter om vattnets utbredning när GIS-data framställs.

Referenser

- [1] Översvämningar i Örebro län. En analys av inträffade översvämningar i länets större avrinningsområden. Publ. Nr: 2011:18. Länsstyrelsen i Örebro län. 2011.
- [2] Hydrologiska förhållanden extremåren 1977, 2000 och 2002 i Svartån/Eskilstunaån och Arbogaån. 2004–46. SMHI. 2004-09-15.
- [3] I översvämningarnas spår – analys av översvämningarna år 2000 – erfarenheter och slutsatser. Slutrapport. Länsstyrelsen i Örebro län. 2001.
- [4] Vårfloden 1977 – en utvärdering. Utvärderingsgruppen Länsstyrelsen i Örebro län
- [5] Översvämningsskartering utmed Arbogaån. Med detaljerad översvämningsskartering för det identifierade området med betydande översvämningssrisk Lindesbergsområdet samt detaljerad skartering för Arboga. Sträckan Ställdalen till Mälaren. Rapport nr 16 2013-12-10. MSB. 2013.
- [6] Översiktlig översvämningsskartering längs Arbogaån sträckan Ställdalen till Mälaren. SRV D-nr 249-276-1999. SMHI Räddningsverket 1999
- [7] Danish Hydraulic Institute, 2008. Mike 11 Reference Manual.
- [8] Danish Hydraulic Institute, 2008. Mike 11 User Guide.
- [9] SMHI. HYPE. Modellerade vattenföringar för delavrinningsområden.
<http://www.smhi.se/Professionella-tjanster/Professionella-tjanster/Miljo-och-klimat/Vattenmiljo/referensguide-till-smhi-vattenwebb-1.22742>
- [10] Damminventering mm. 1980 i Örebro län. Del 3, Inventering av dammar i Arbogaåns avrinningsområde. Länsstyrelsen i Örebro län 1981:3
- [11] Flodvågsberäkning och konsekvensklassning för fem dammar i Sverkestaån. SwedPower AB. 2005.
- [12] DTU-manual Ringaby dammar Norconsult AB. 2012-04-23.
- [13] DTU-manual Dalkarlslyttans kraftverksdamm. Norconsult AB 2013-01-23.
- [14] Mälaren-Hjälmaren Vårfloden 1977 i Arbogaån, Hedströmmen och Kolbäcksån. En hydrologisk utvärdering Kommittén för Mälarens vattenvård publikation nr 32, 1978.
- [15] Utredningsrapport om avbördningsförbättrande åtgärder vid sjön Väringsen utlopp. Mark och Marin 2003.
- [16] Teknisk beskrivning Stjärnfors kraftverk (arbetsmaterial). Norconsult. 2015.
- [17] ArcGIS 9.3.1 GIS by ESRI. 2009.

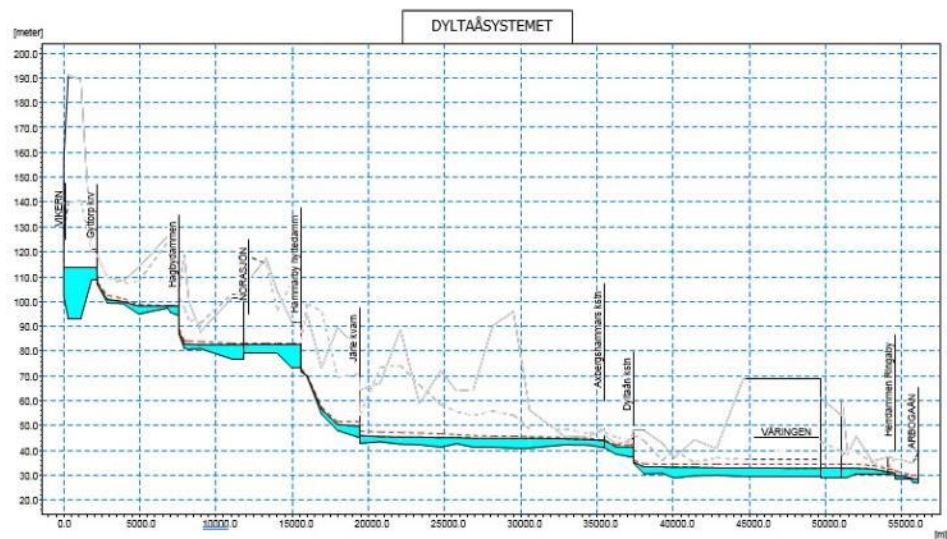
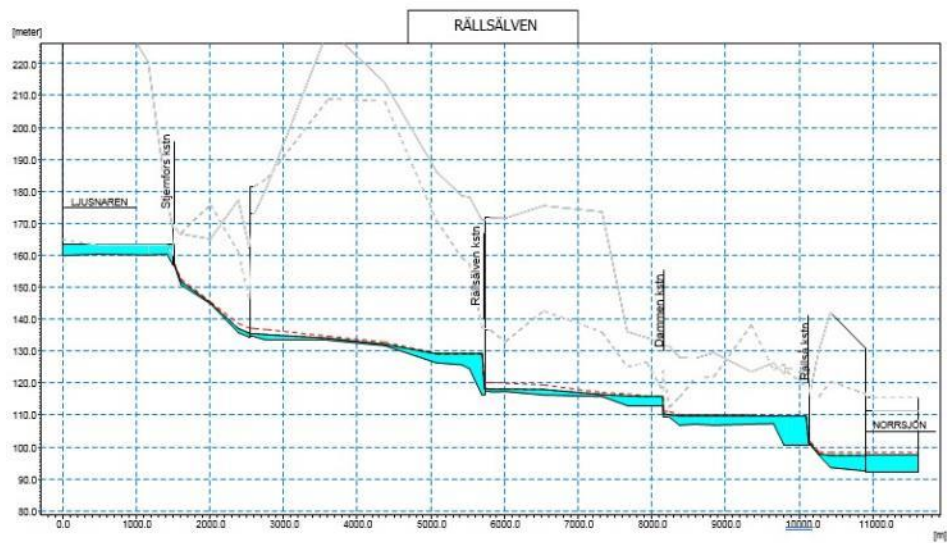
Bilagor

Bilaga 1. Vattenståndsprofiler Rällsälven, Dyltaåsystemet och Sverkestaån med startnivåer och maximalt vattenstånd. 2015-03-02.

Bilaga 2. Översvämningskartor översiktskarta med bladindelning, kartor för områdena 1–17 1:50 000. Översvämningskikt på terrängkartan 2015-03-02.

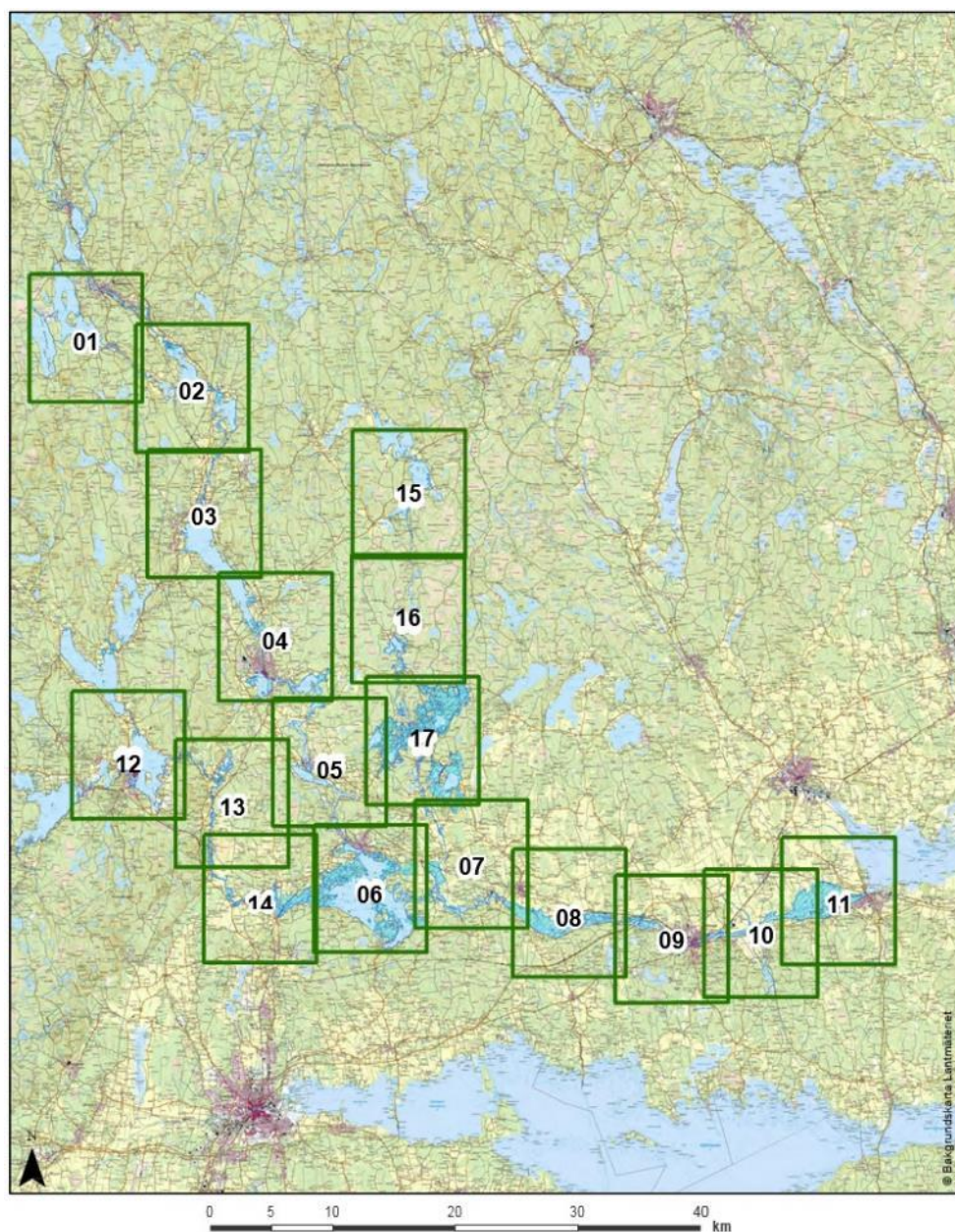
Bilaga 1.

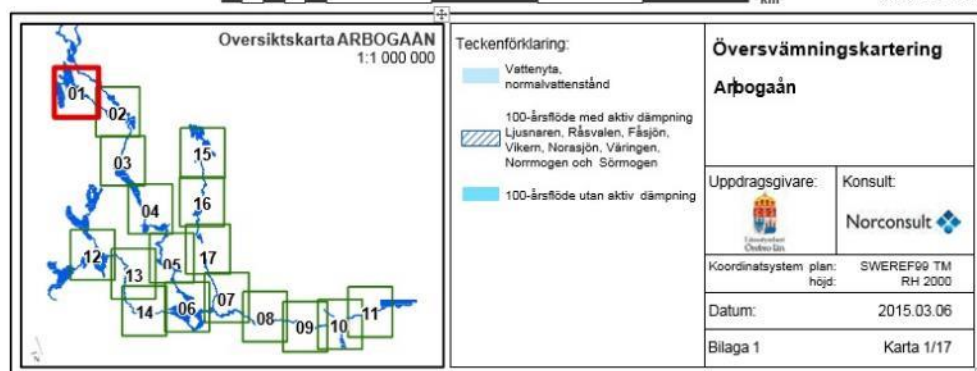
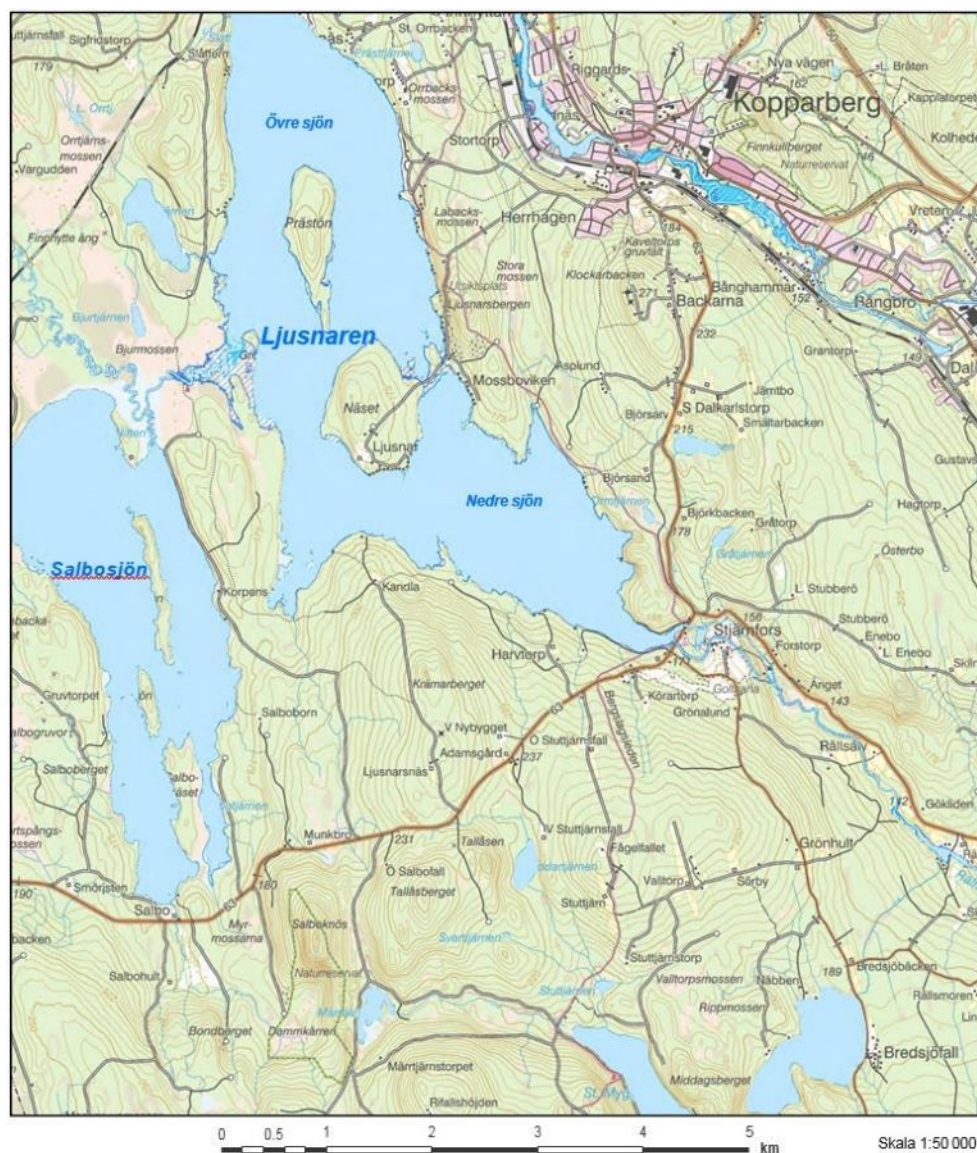
Vattenståndsprofiler för Rällsälven, Dyltaåsystemet och Sverkestaån.

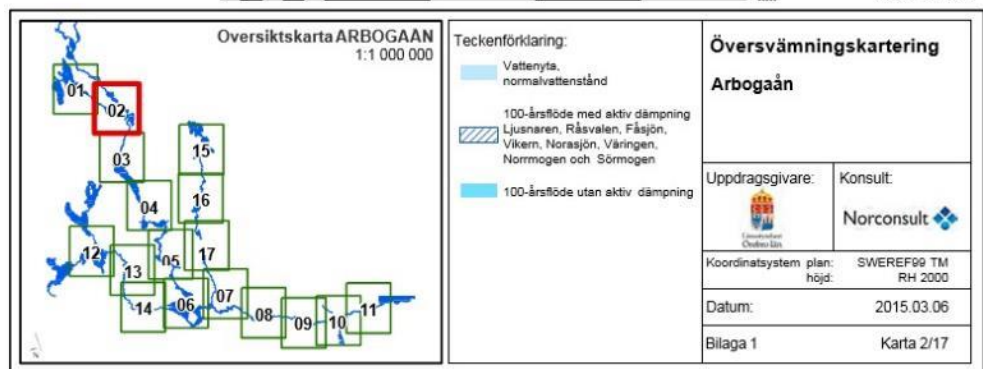


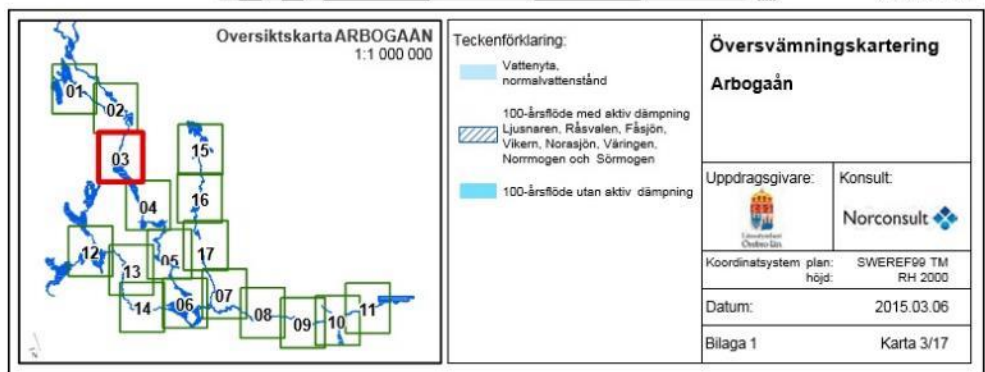
Bilaga 2.

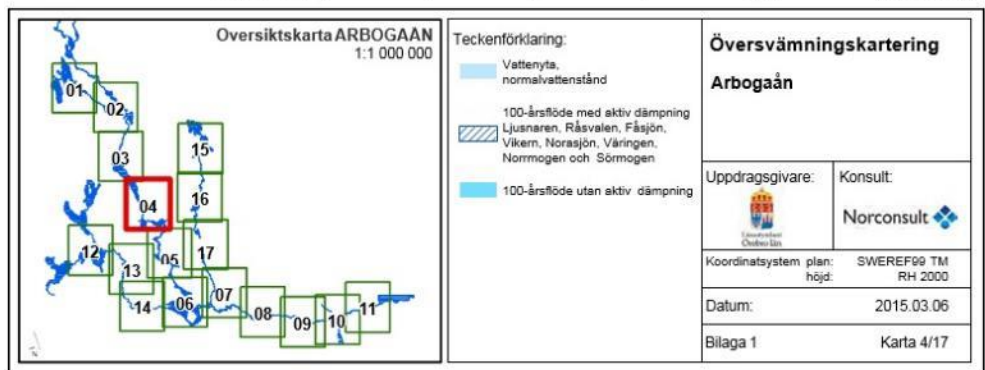
Översvämningar i Arbogaån – kartor Q100 med
magasinering av vatten i sjöar, 2015-03-02.

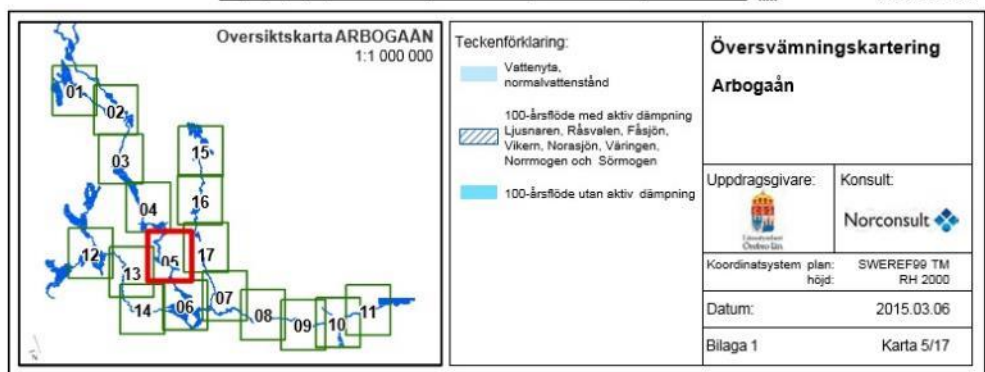
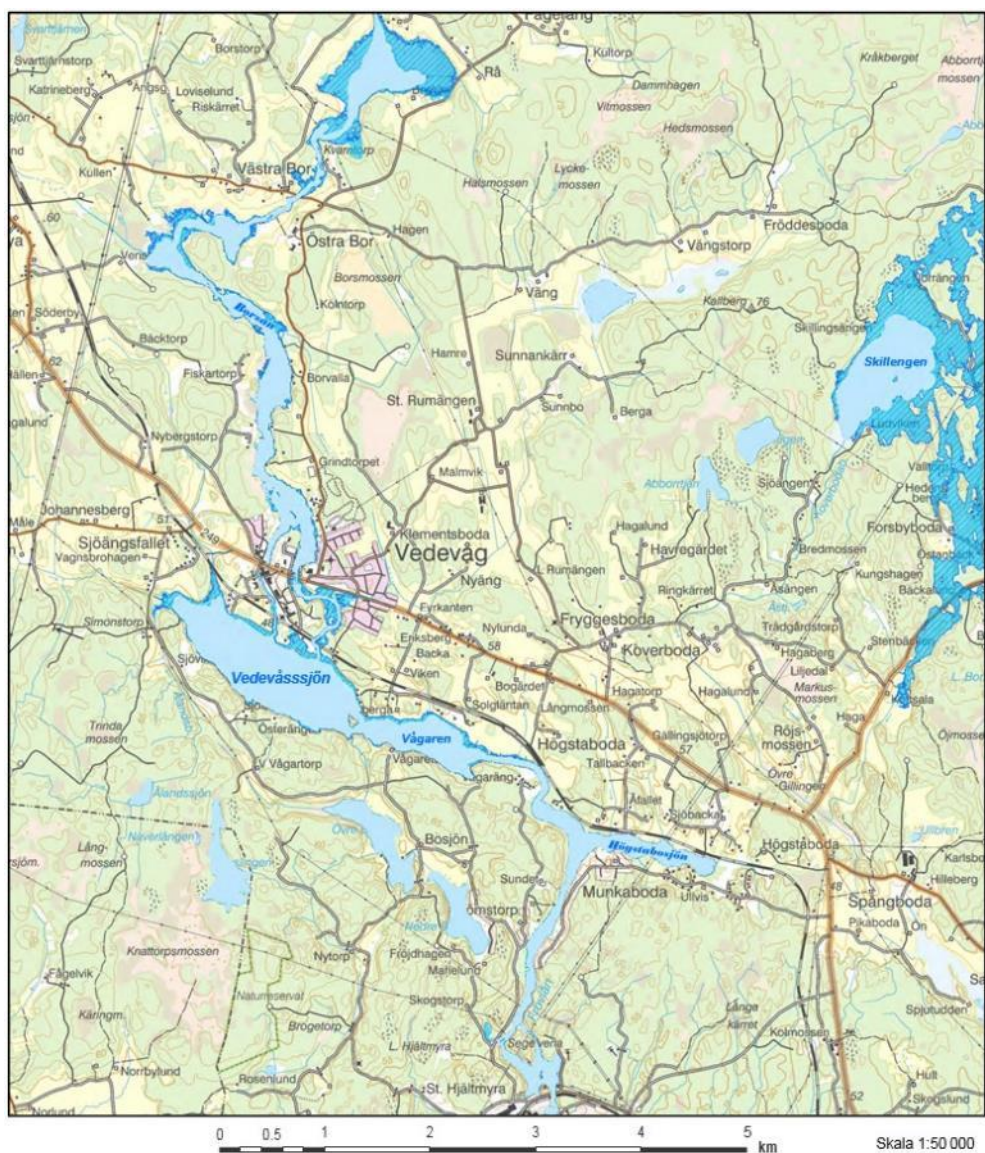


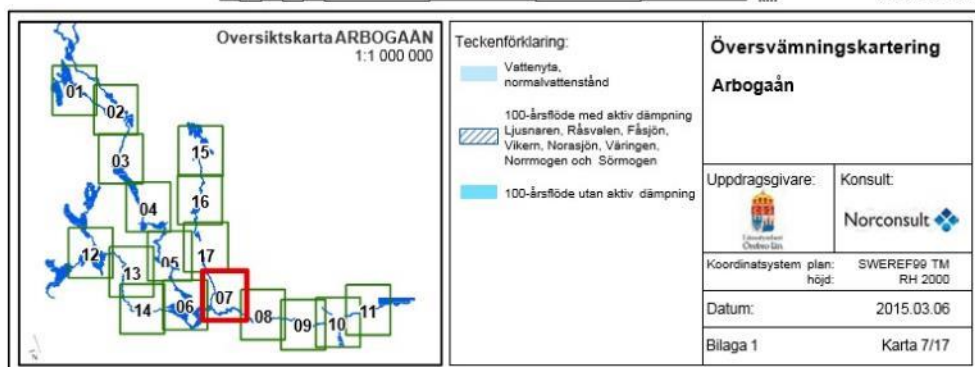


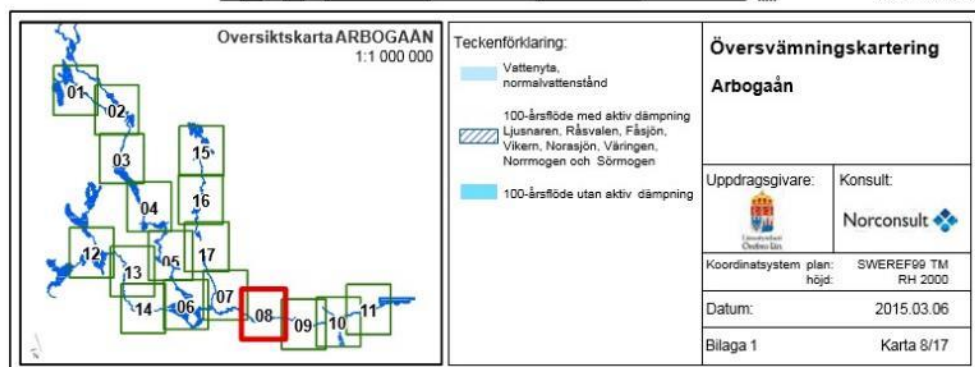


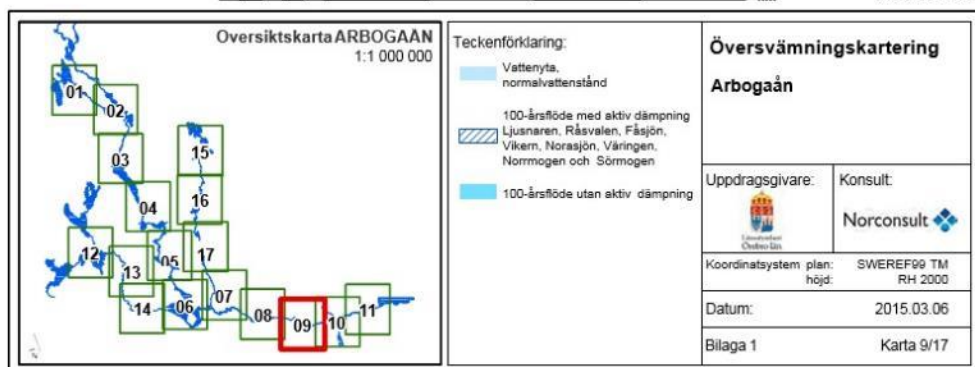


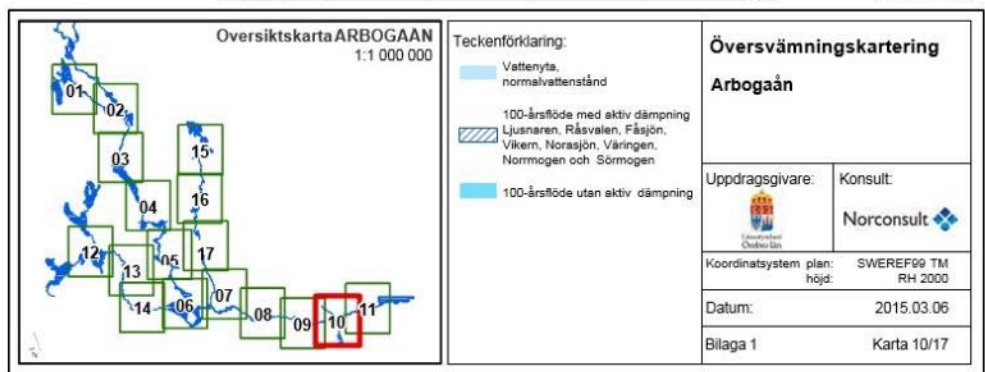


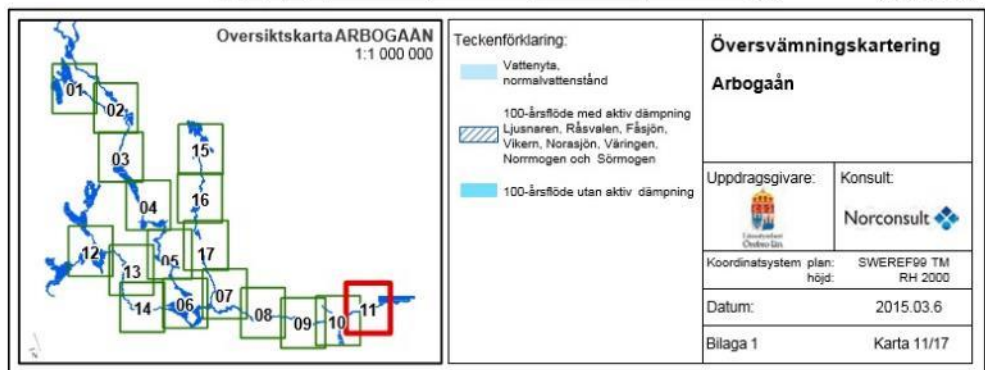
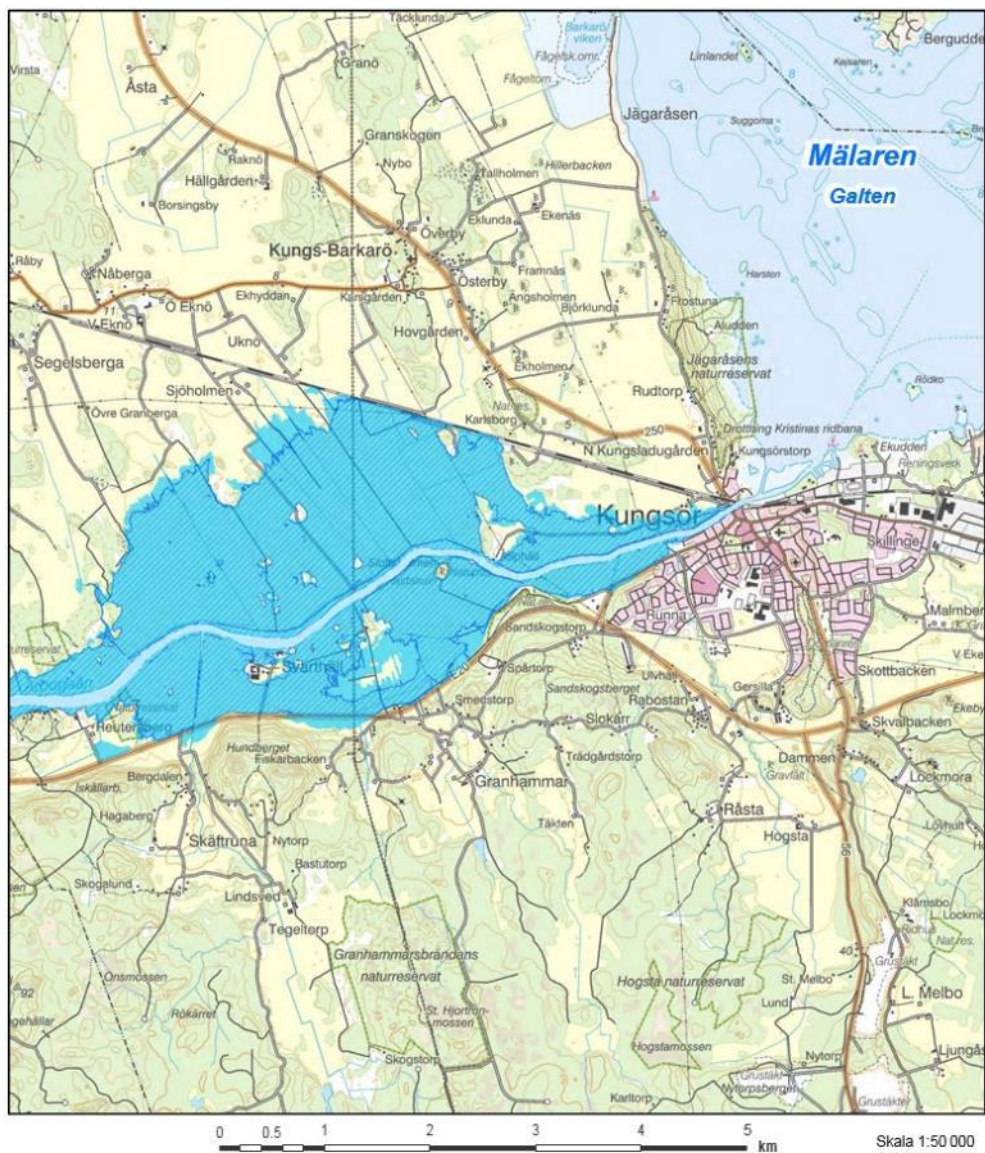


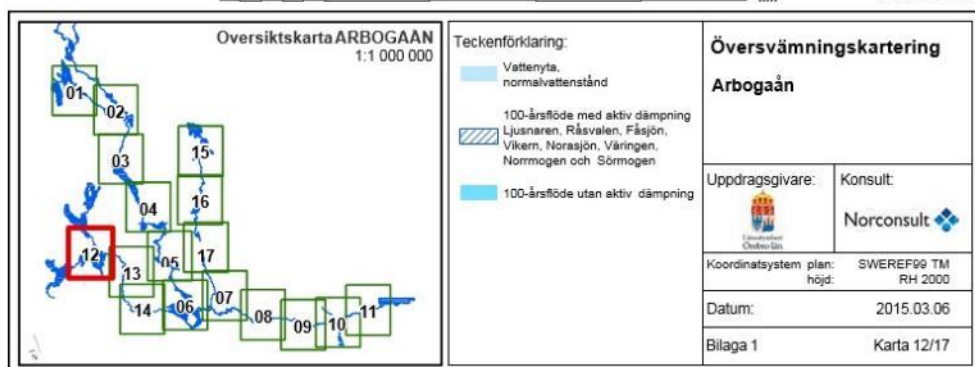
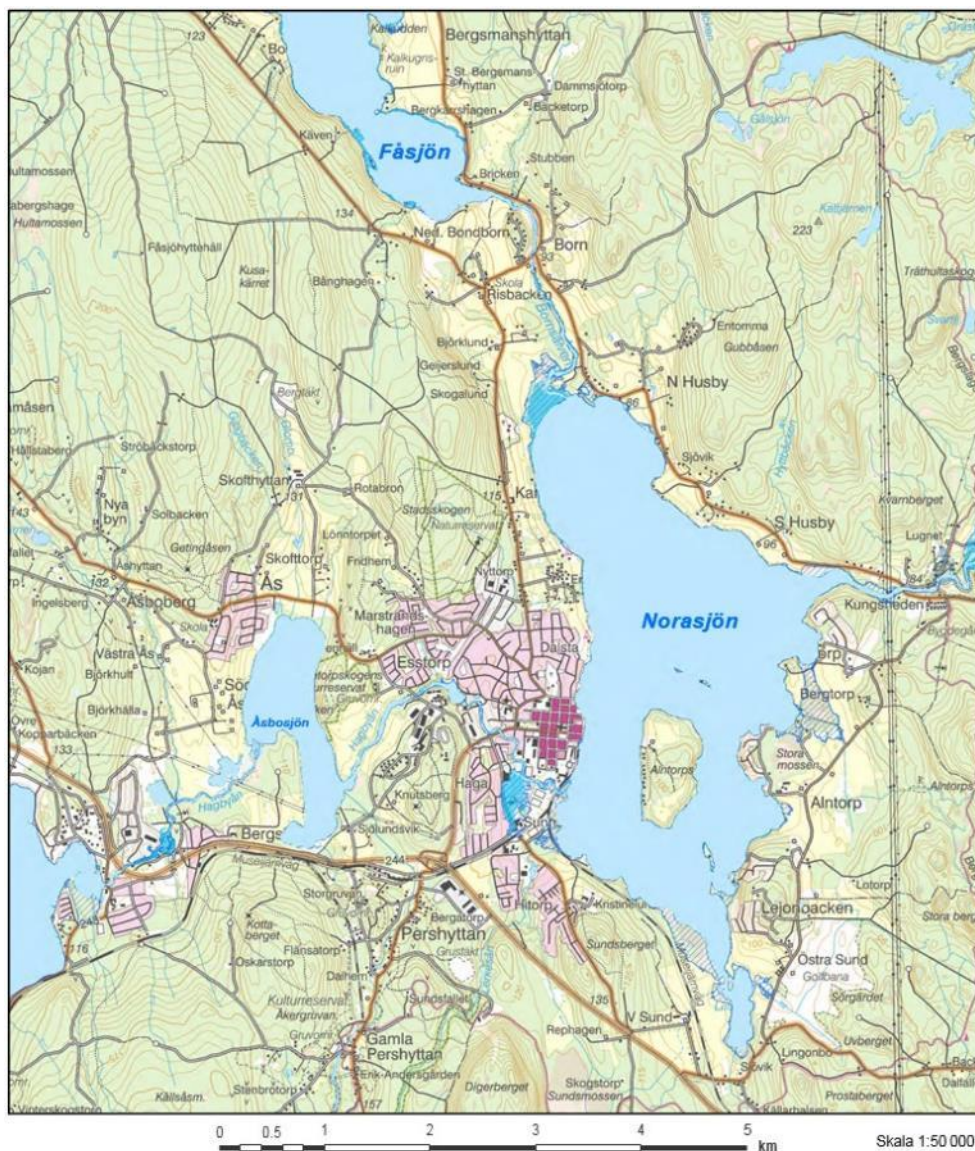


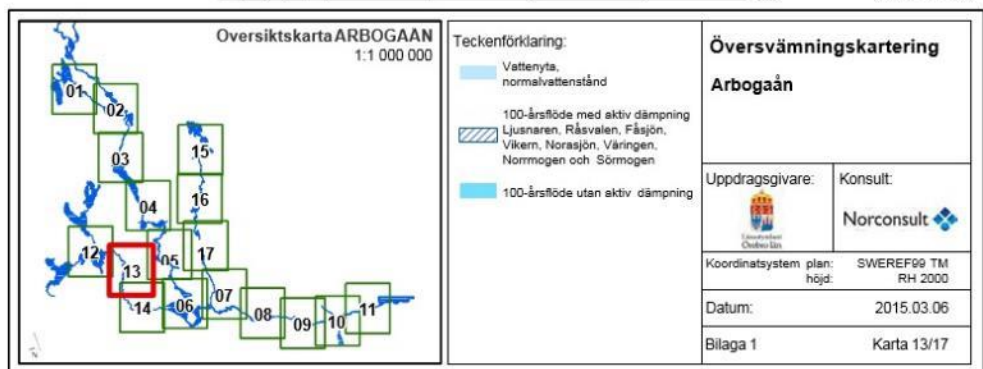


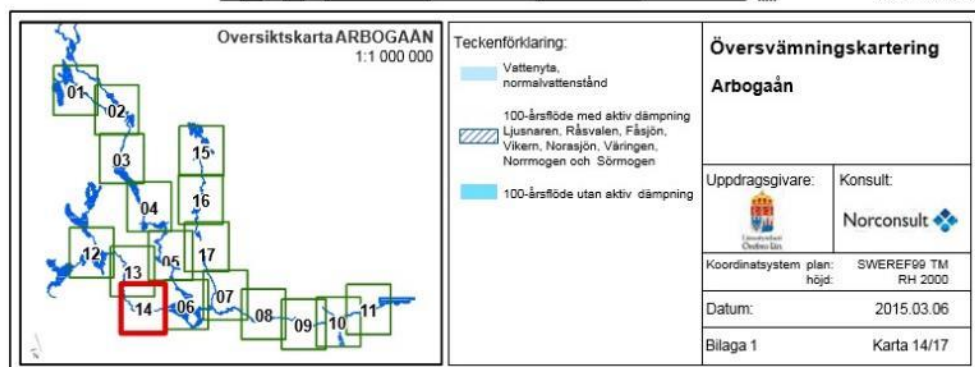


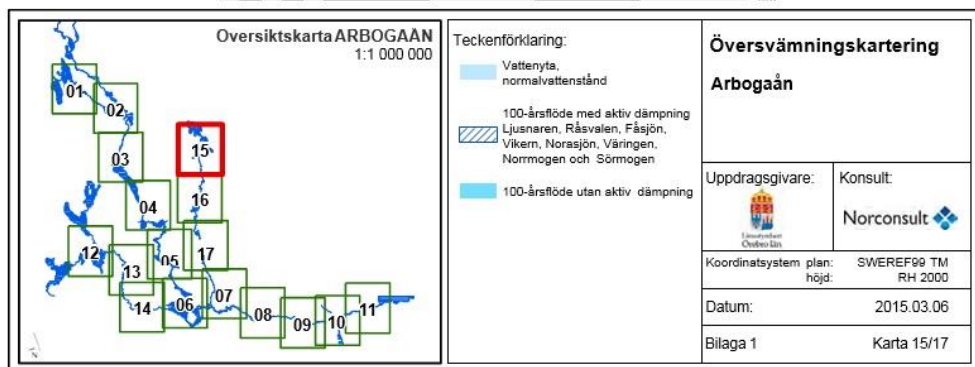


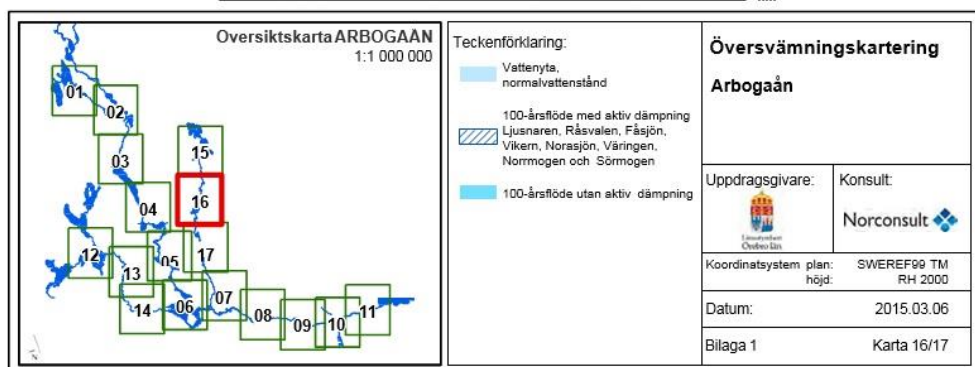
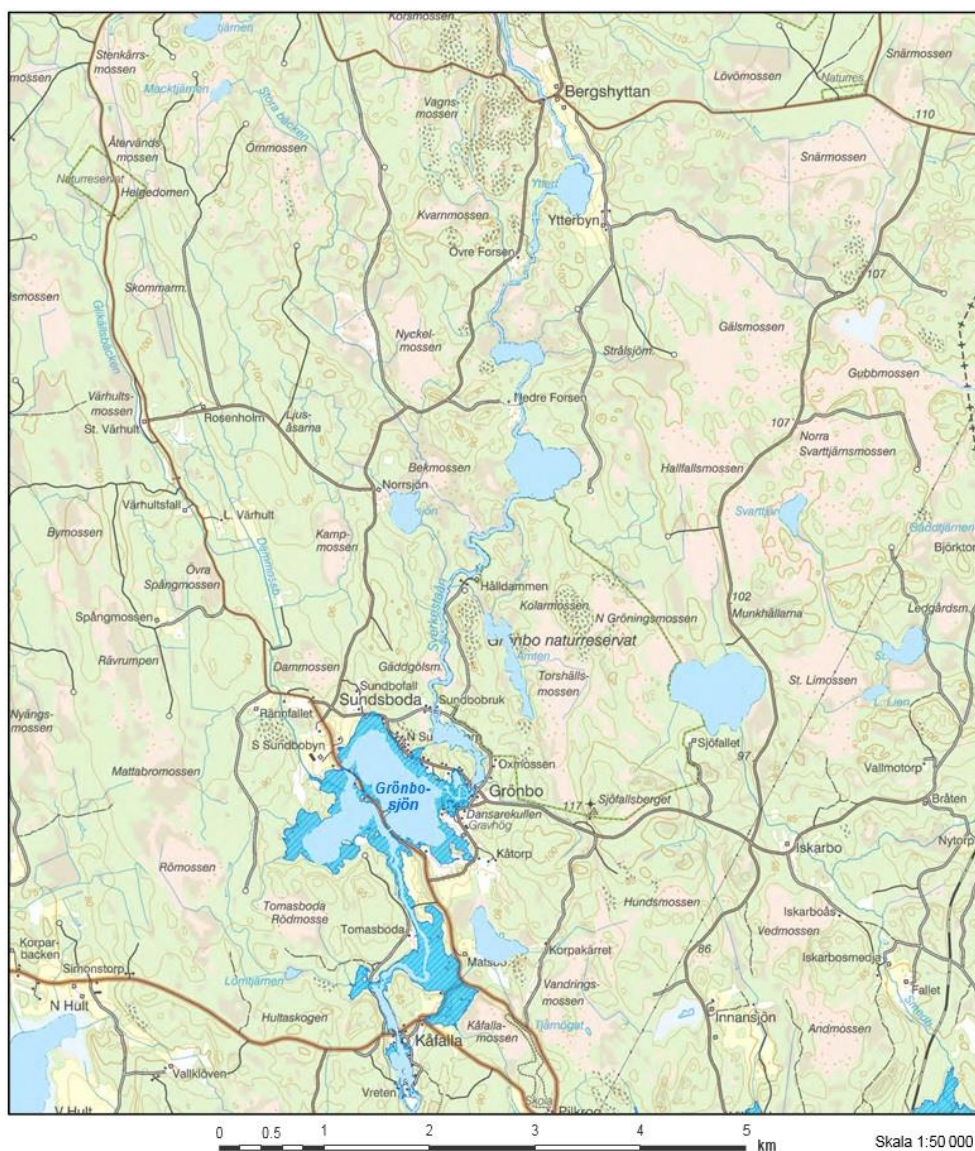


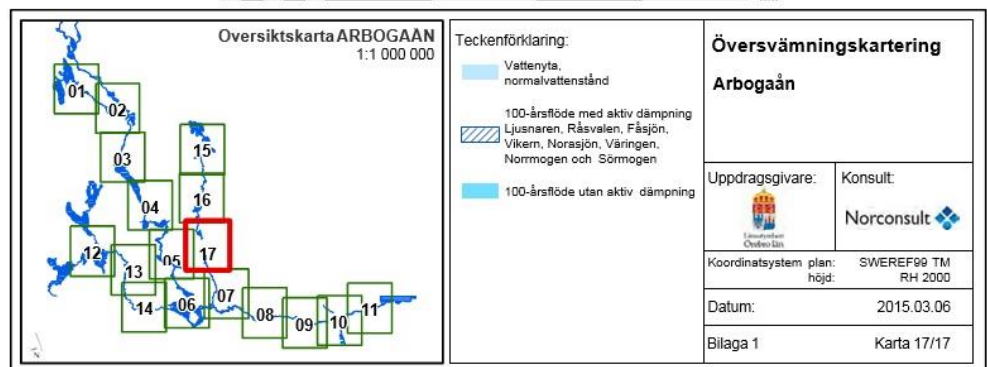
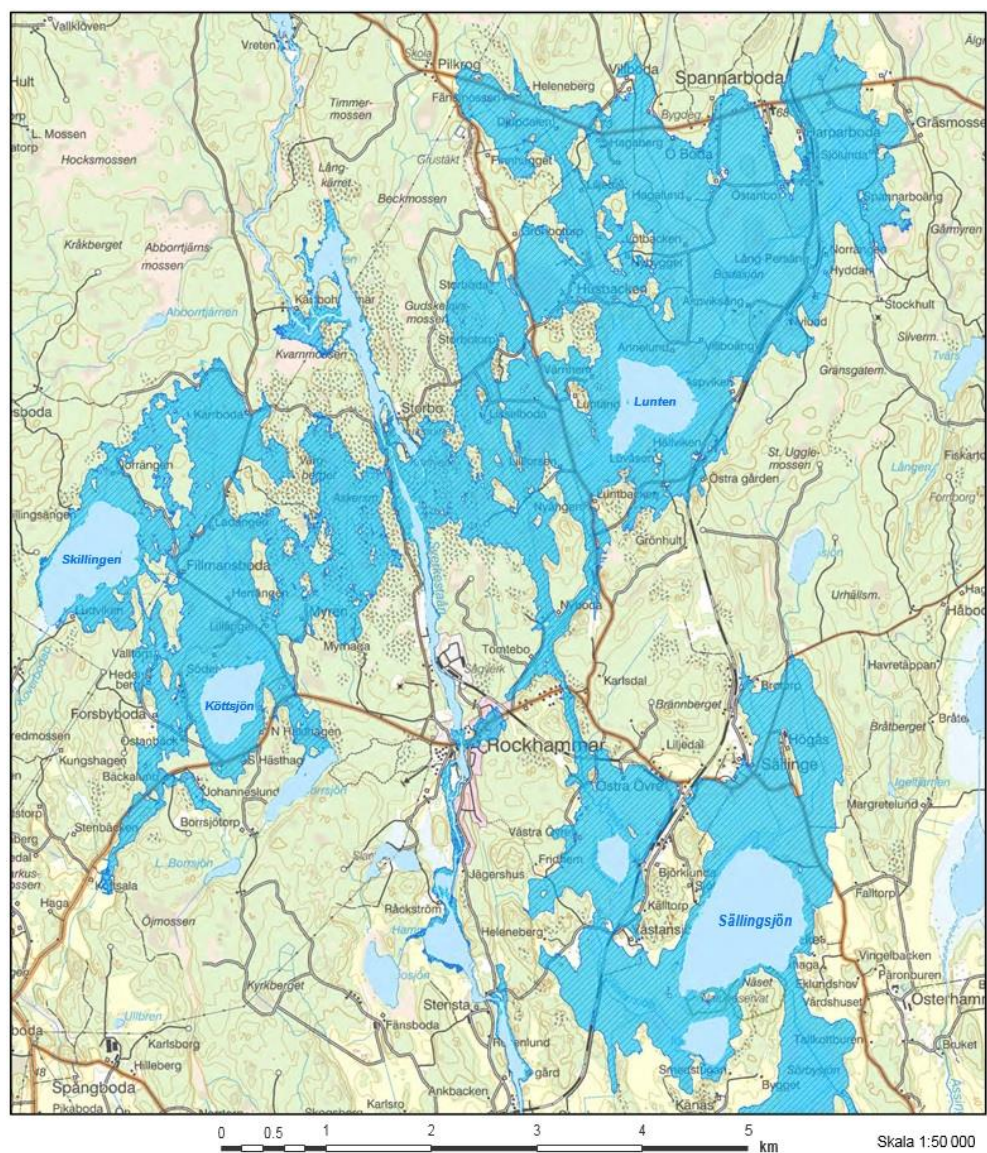














Länsstyrelsen
Örebro län

Länsstyrelsen i Örebro län
Stortorget 22, 701 86 Örebro
010-224 80 00
orebro@lansstyrelsen.se
www.lansstyrelsen.se/orebro