

Byälven - Åtgärdsanalys

Karin Dyrestam, Hans Björn, Jonas German och Gitte Berglöv



Pärbild

Fotograf: Karin Dyrestam, SMHI. Bildtext: Byälven i Säffle

RAPPORT NR 2022-57**TITEL**

Byälven - Åtgärdsanalys

FÖRFATTARE

Karin Dyrestam, Hans Björn, Jonas German och Gitte Berglöv

UPPDRAGSGIVARE

Ida Olsson, Säkerhetssamordnare, 156. Räddningstjänsten, 671 81 Arvika

Telefon 0570-82604

E-post ida.m.olsson@arvika.se

PROJEKTANSVARIG

Karin Dyrestam SMHI 601 76 Norrköping

Telefon 011-495 8007

E-post: karin.dyrestam@smhi.se

KLASSIFICERING

Affärssekretess

SMHI DIARIENUMMER

2022/453/9.5

VERSION 01 – 2023-01-31

Version	Datum	Granskning	Granskad av
01	2023-01-16	Granskning	Sofia Åström

Begreppslista

MLQ	Medellågvattenföring. Ett långtidsmedelvärde av varje års lägsta dygnsvattenföring.
MQ	Medelvattenföring. Långtidsmedelvärde av vattenföringen. Medelvärde beror på val av tidsperiod och tidsperiodens längd.
MHQ	Medelhög vattenföring. Ett långtidsmedelvärde av varje års högsta dygnsvattenföring. MHQ har en återkomsttid på strax över 2 år.
HQ50	Ett 50-årsflöde inträffar (eller överträffas) i genomsnitt en gång under en 50-årsperiod. Hög vattenföring med en återkomsttid av 50 år.
HQ100	Ett 100-årsflöde inträffar (eller överträffas) i genomsnitt en gång under en 100-årsperiod. Hög vattenföring med en återkomsttid av 100 år.
HQ200	Ett 200-årsflöde inträffar (eller överträffas) i genomsnitt en gång under en 200-årsperiod. Hög vattenföring med en återkomsttid av 200 år.
BHF	Begreppet används inom fysisk planering för det flöde som beräknas enligt beräkningsmetodik I för flödesdimensionering av dammar. Flödet modelleras fram genom att göra en osannolik kombination av kritiska faktorer så som regnmängd, snösmältning, hög markvattenhalt och fyllnadsgrad i vattenmagasin. Flödet beräknas enligt "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svenska kraftnät, m.fl. 2022)".
MLW	Medellåg nivå. Långtidsmedelvärde av varje års lägsta vattennivå.
MW	Medelvattennivå. Långtidsmedelvärde av vattenståndet. Medelvärde beror på val av tidsperiod och tidsperiodens längd.
MHW	Medelhög nivå. Långtidsmedelvärde av varje års högsta vattennivå. I detta fall gäller det vattennivån i Väneren.
Vattenreglering	Mänsklig påverkan på vattenståndet i en sjö genom styrning av vattenflöden.
Tidigare strategin	I föreliggande rapport menas den strategi som tillämpades 2008 – 2022 gällande tappningen av Väneren.
Tappning	Den mängd vatten som tappats från en reglerad sjö. Anges oftast i kubikmeter per sekund m ³ /s.
Tappningsstrategi	En strategi som anger hur tappningen från en sjö ska skötas.
Tillrinning	Det vatten som rinner till en sjö
RH2000	Rikets Höjdsystem 2000, RH2000, är Sveriges nya nationella höjdsystem. Baseras på precisionsavvägningen som utfördes under åren 1979–2003
RH00	Rikets höjdsystem 1900, RH00, baseras på den första precisionsavvägningen av Sverige som genomfördes under åren 1886–1905. Nivåer anges i meter över havet.
Återkomsttid	Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid.
Karakteristisk vattenföring	En uppsättning vattenföringsparametrar som används för att karaktärisera hydrologin i en punkt i ett vattendrag. Vanliga parametrar är, högsta hög vattenföring (HHQ), medelhög vattenföring (MHQ), medelvattenföring (MQ), medellågvattenföring (MLQ), lägsta lågvattenföring (LLQ) och återkomsttider ex 50-, 100-års flöde.
Karakteristiskt vattenstånd	En uppsättning vattenståndparametrar som används för att karaktärisera hydrologin i en punkt i ett vattendrag. Vanliga parametrar är, högsta hög vattenstånd (HHW), medelhög vattenstånd (MHW), medelvattenstånd (MW), medellågvattenstånd (MLW), lägsta lågvattenstånd (LLW).

Sammanfattning

I samband med höga flöden och vattennivåer riskerar Byälven att översvämma gator och kommunal infrastruktur längs flera sträckor i Säffle tätort. Nödräddpunkter från flera spillvattenpumpstationer behöver stängas och ersättas med nödpumpar, i vissa fall under lång tid vilket är mycket resurskrävande. Utöver risker i tätorten Säffle riskeras också vissa vägar och husfastigheter utanför Arvikas översvämningsskydd att översvämmas nedströms Arvika, framförallt i Glafs fjorden och Harefjorden. Även jordbruksmark nedströms Arvika, framförallt i Gillbergadalen, står översvämmad under långa perioder. Efter de kraftiga flödena som medförde översvämningar år 2000 etablerades en vattendragsmodell (hydraulisk modell) för Byälven med syfte att kunna simulera åtgärder för att minska översvämningssriskerna.

SMHI har fått i uppdrag att undersöka två olika åtgärdsförslag för att ta reda på om vattennivån går att sänka i Byälven, främst vid Säffle och i Glafs fjorden. Det ena åtgärdsförslaget är att ta bort dammkonstruktionen under Strömbron i den befintliga vattendragsmodellen och simulera med olika flöden för att undersöka om det blir en förändring av vattennivån. Det andra åtgärdsförslaget handlar om att analysera en ny tappningsstrategi, för att undersöka ifall det är möjligt att sänka vattennivån vid en högflödessituation genom en förändrad förhandstappning.

Under vintrarna 2019/2020 och 2020/2021 var det två flödestoppar som orsakade problem med bl.a. översvämningar. SMHI har räknat fram återkomsttiderna för de två flödestopparna för att förstå ungefär vid vilka återkomster som områdena längs Byälven, (på sträckan Glafs fjorden till Vänern), får problem. Utifrån analyser har återkomsttider på flödessituationernas flödestoppar beräknats till ca 10–20 år.

Justering av den befintliga modellen och simuleringar har gjorts med olika flöden i kombination med ett medelvattenstånd (MW) i Vänern. Simuleringar har även gjorts med några sannolika kombinationer av flöden i Byälven och vattennivåer i Vänern. Resultat från den befintliga modellen används som referensnivå när skillnaderna i vattennivån räknas fram.

I Åtgärdsförslaget *"Borttagande av dammkonstruktion"*, har dammkonstruktionen under Strömbron tagits bort från modellen. Skillnaden i vattennivåerna presenteras på tre platser: Glafs fjorden vid Arvika, SMHI:s mätstation: Säffle övre och Stadshusparken i Säffle.

Vid simuleringarna med MW i Vänern blir vattennivåskillnaden ca 15–35 cm vid SMHI:s mätstation: Säffle övre, och ca 15–40 cm, vid Stadshusparken i Säffle, vid flöden mellan MHQ-HQ200klim. Motsvarande sänkning i Glafs fjorden är beräknad till ca 5–20 cm.

Vid BHF, som har en låg sannolikhet att inträffa, är sänkningen vid Säffle övre beräknad till ca 40 cm och vid Stadshusparken i Säffle till ca 45 cm samt i Glafs fjorden till ca 25 cm.

Borttagandet av dammen resulterar även i en sänkning på ca 5–40 cm vid Glafs fjorden och 20–70 cm vid Säffle övre samt 25–70 cm vid Stadshusparken i Säffle, vid de låga flödena MLQ och MQ tillsammans med nivån +44,52 m i Vänern. (Vilket motsvarar MW i Vänern).

En sannolik kombination av ett högt flöde i Byälven, t.ex. ett 100-årsflöde och en hög nivå i Vänern, t.ex. uppmätta vattennivån 2001-01-13 i Vänern (45,98 m) blir sänkningen av vattennivån -23 cm istället för -30 cm vid Stadshusparken i Säffle. Åtgärden får inte full effekt.

En sannolik kombination av ett lågt flöde i Byälven, t.ex. ett MLQ och en låg nivå i Vänern (MLW) ger en sänkning av vattennivån vid Stadshusparken i Säffle med ca 90 cm.

I Åtgärdsförslaget *"Ny tappningsstrategi"* har beräkningar och analyser gjorts för att ta reda på om det är möjligt att förhandtappa innan en högflödesperiod, för att vara mer beredd. Resultaten visar dock att förhandstappningen inte ger någon effekt på vattennivån i Byälven vid en högflödessituation.

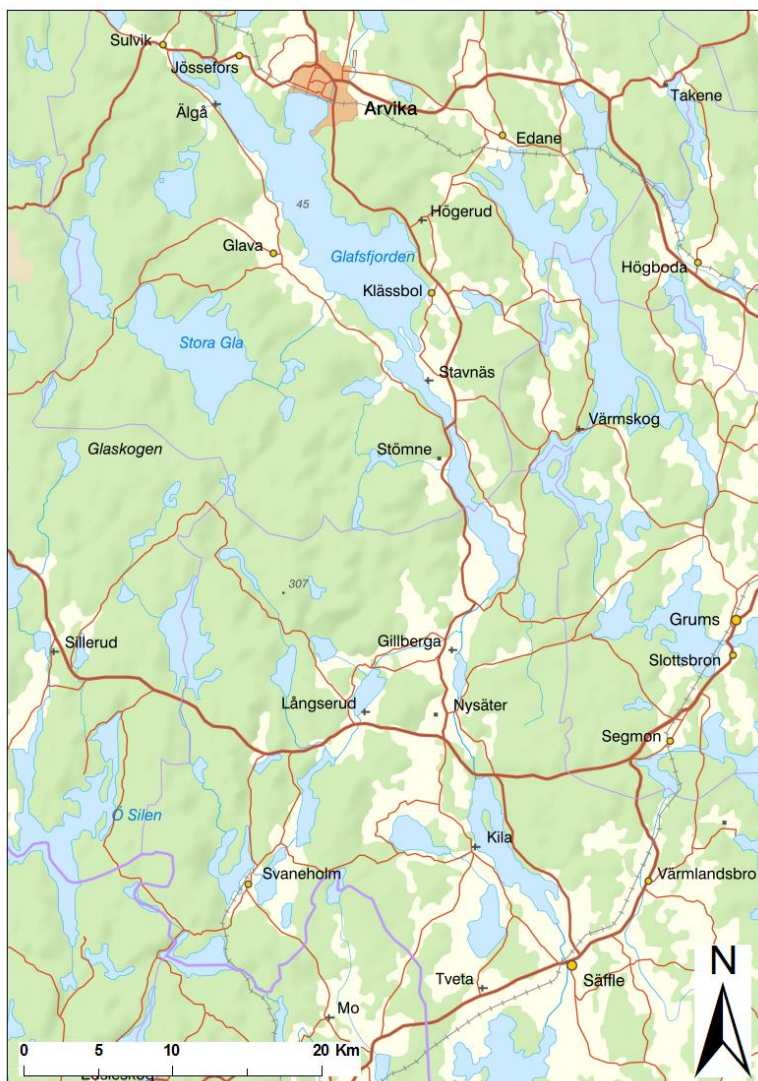
Innehåll

1	Bakgrund och syfte	1
2	Tidigare utredningar	2
3	Förutsättningar	2
4	Metod	2
4.1	Flöden och återkomsttider	2
4.2	Vattennivåer i Vänern	4
4.3	Vattendragsmodell	5
4.4	Åtgärdsförslag	7
4.4.1	Borttagande av dammkonstruktion	7
4.4.2	Tappningsstrategi	8
5	Resultat	8
5.1	Åtgärdsförslag - Borttagande av dammkonstruktion	8
5.2	Åtgärdsförslag – Ny tappningsstrategi	10
6	Diskussion	12
6.1	Jämförelser med tidigare utredningar	12
7	Slutsatser	15
8	Referenser	16

1 Bakgrund och syfte

I samband med höga flöden och vattennivåer riskerar Byälven att översvämma gator och kommunal infrastruktur längs flera sträckor i Säffle tätort. Nödräddpunkter från flera spillvattenpumpstationer behöver stängas och ersättas med nödpumpar, i vissa fall under lång tid vilket är mycket resurskrävande. Utöver risker i tätorten Säffle riskeras också vissa vägar och husfastigheter utanför Arvikas översvämningsskydd att översvämmas nedströms Arvika, framförallt i Glafs fjorden och Harefjorden. Även jordbruksmark nedströms Arvika, framförallt i Gillbergadalen, står översvämmad under långa perioder. Efter de kraftiga flödena som medförde översvämningar år 2000 etablerades en vattendragsmodell (hydraulisk modell) för Byälven med syfte att kunna simulera åtgärder för att minska översvämningssriskerna. Vattendragsmodellen sattes upp inom ramen för ett examensarbete och har sedan fortsatt utvecklats av MSB och SMHI och den används av SMHI för att leverera specialprognoser i samband med högflödesperioder. I Figur 1 visas tätorterna Arvika och Säffle samt Jössefors där Jösseälven mynnar i Glafs fjorden.

SMHI har fått i uppdrag att undersöka två olika åtgärdsförslag för att ta reda på om vattennivån går att sänka i Byälven, främst vid Säffle och i Glafs fjorden. Det ena åtgärdsförslaget är att ta bort dammkonstruktionen under Strömbron och det andra åtgärdsförslaget handlar om att titta på en förändrad tappningsstrategi.



Figur 1: Översiktskarta där Jössefors, Arvika, Säffle och Glafs fjorden visas.

2 Tidigare utredningar

Efter översvämningarna år 2000 har ett antal utredningar genomförts med syfte att analysera hur olika åtgärder kan sänka vattennivåerna i Byälven och därigenom minska översvämningensriskerna.

- Projekt Byälven Etapp II. Simulering av översvämningar i Byälven (Midbøe & Persson, 2005). Etablering av hydraulisk modell för Byälven och simulering av olika åtgärder för att minska översvämningensriskerna.
- Projekt Byälven Etapp III. Åtgärder kring Backeströmmen (Midbøe, 2005). Uppgradering av modellen samt undersökning av ytterligare åtgärdsförslag. I rapporten redovisas även kostnader för enskilda åtgärder respektive kombinationer av åtgärder.
- Projekt Byälven. Byälven genom Säffle – nya dammluckor (Midbøe, 2010). Rapporten redovisar kostnader för åtgärder i form nya dammluckor som medför större genomströmningskapacitet.

3 Förutsättningar

De underlag och förutsättningar som nyttjats i föreliggande utredning är nedanstående:

- Befintlig vattendragsmodell som bygger på tidigare modeller från Midbøe & Persson 2005, Midbøe 2005 samt MSB 2015.
- Ritningar på dammkonstruktionen
- Inmätningar av dammkonstruktionen för att verifiera höjdskillnaden mellan ritningens höjdsystem och RH2000.
- Dataserier med flöden och vattennivåer
- Dammjournaler från Sjöfartsverket
- Koordinatsystem SWEREF99 TM och Höjdsystem RH2000
- Slusskanalen är stängd vid simuleringarna

4 Metod

Analyser av flödesdata har gjorts för att kunna ta fram återkomsttider för de flödeshändelser som var under vintrarna 2019/2020 och 2020/2021. Dessutom har karakteristiska flöden beräknats för att kunna göra simuleringar med både höga och låga flöden.

Anpassning av den befintliga vattendragsmodellen har gjorts för att kunna simulera olika flödestillfällen och för att använda i arbetet med åtgärdsförslaget ”borttagande av dammkonstruktion”.

Data över flöden och vattennivåer på olika platser i Byälven har analyserats i arbetet med åtgärdsförslaget ”Tappningsstrategi” för att se om det går att sänka vattennivåerna vid en högflödessituation genom att starta förhandstappningen tidigare än vad dagens vattendom tillåter.

4.1 Flöden och återkomsttider

Under vintrarna 2019/2020 och 2020/2021 var det höga flödestoppar som orsakade problem längs med Byälven. För att få en förståelse för hur ofta det riskerar att bli problem har återkomsttider beräknats för de högsta flödena under de två vinterperioderna. Återkomsttider för olika flöden i Byälven har beräknats baserat på tillgängliga observationer från mätstation vid Säffle i Byälven enligt metodik som beskrivs nedan.

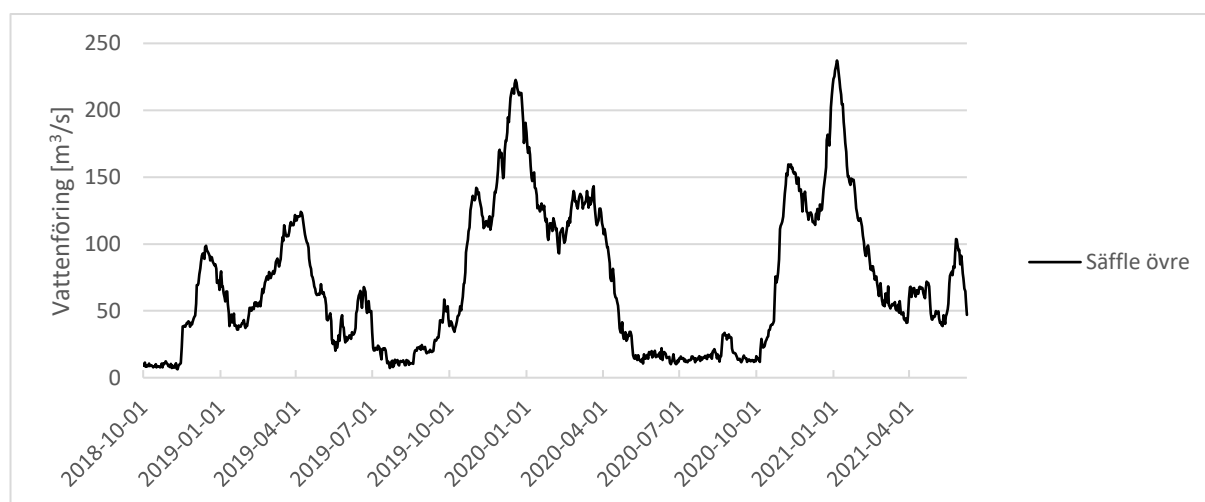
Observationer på vattenföring i Byälven finns tillgängligt i SMHI:s databas för period 1968–2008 vid mätstationen Säffle damm, samt 2019–2021 för den nyare mätstationen Säffle övre (hela år).

Observerad vattenföring vid den tidigare mätstationen Säffle damm har beräknats med hjälp av luckformler som slutar fungera när alla luckor är öppna, vilket medför att historiska observationer vid höga flöden bedöms vara osäkra. Under höglödestillfället år 2000 gjordes mätningar på plats så detta tillfälle bedöms dock vara korrekt. Medelvärden samt återkomsttider för höglöden har trots osäkerheterna i mätdata ändå beräknats baserat på den sammanslagna tidsserien med observationer från dessa stationer (1968–2008 samt 2019–2021, totalt 44 år med data). Vid frekvensanalys har årsmaximum som bedöms tillhöra samma händelse rensats bort och ersatts av näst högsta observerade flöde för aktuellt år. Flera sannolikhetsfördelningar har testats vid frekvensanalysen varav GEV (Generalized extreme value distribution) och Gumbel (Extreme value distribution) uppvisar bäst anpassning till data. De tillämpade fördelningarna finns att läsa utförligare om i t.ex. Coles (2001). Parametrarna till samtliga fördelningar har beräknats med ”maximum-likelihood”-metoden som finns beskriven i bl.a. Blom m fl. (2005) respektive Bowman och Shenton (1998).

Resultat från medelvärdesberäkning samt frekvensanalys baserad på observationsdata redovisas i Tabell 1 tillsammans med resultat från tidigare genomförda beräkningar (MSB 2015, samt SMHI:s historiska flödesstatistik.) För MQ och MHQ är resultaten ungefärligt desamma medan resultaten för HQ50 och HQ100 skiljer sig åt. Uppgifter från SMHI:s flödesstatistik beskriver att hänsyn tagits till ytterligare ett antal tillfällen med högt vattenstånd och bedömningen är att återkomsttiderna ligger i det högre spannet enligt tidigare beräkningar. Osäkerheterna i resultaten är dock stora eftersom kvalitén på observationsdata vid höglödestillfällena är bristfällig.

Tabell 1: MQ och MHQ samt beräknade återkomstvärden för Byälven vid Säffle där konfidensintervall anges inom parentes. Resultat i ljusgrå text bedöms inte vara representativa.

Källa	Tidsperiod	MQ	MHQ	HQ50	HQ100	Fördelning
Observationsdata Säffle damm + Säffle övre	1968-2008 och 2019-2021	55,7	138	241 (183-300)	263 (188-338)	Gumbel
Observationsdata Säffle damm + Säffle övre	1968-2008 och 2019-2021	55,7	138	266 (187-366)	300 (193-446)	GEV
Historisk flödesstatistik SMHI		57,8	141	322	360	
MSB rapport 50					320	



Figur 2: Observerad vattenföring [m³/s] vid mätstationen, Säffle övre.

I Figur 2 redovisas observerad vattenföring för de senaste åren och ur grafen kan utläsas två tillfällen med höga flöden under vintrarna 2019/2020 respektive 2020/2021. Högsta vattenföringarna som observerades var 222 m³/s (2019-12-19) respektive 237 m³/s (2021-01-05). Dessa flöden bedöms motsvara ungefärlig återkomsttid på HQ10 – HQ20 (om antagandet görs att HQ100 ligger i

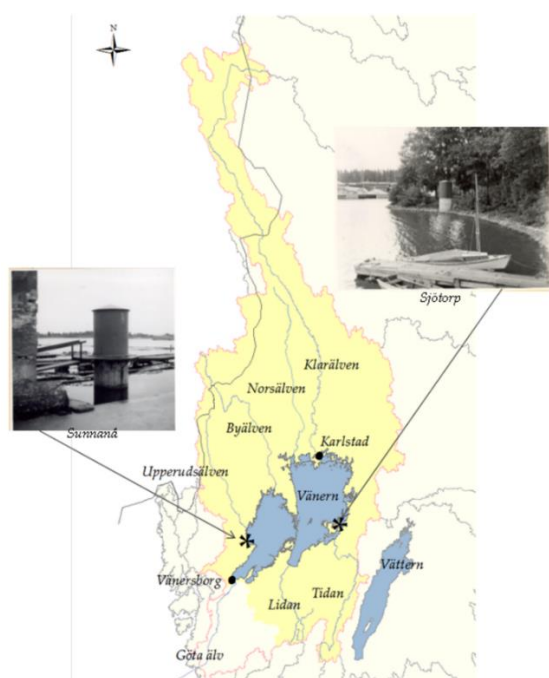
storleksordningen 320 - 360 m³/s enligt resonemang ovan). År 2020-11-11 var det en mindre flödestopp på 160 m³/s vilket motsvarar i storleksordningen 3–5 års återkomsttid. En sammanställning på vinterflödena med respektive återkomsttid finns i Tabell 2.

Tabell 2: Sammanställning av återkomsttider för flödestillfällen under vintrarna 2019/2020 och 2020/2021.

Datum	Flöde [m ³ /s]	Återkomsttid
2019-12-19	222	10–20 år
2021-01-05	237	10–20 år
2020-11-11	160	3–5 år

4.2 Vattennivåer i Vänern

Regelbundna vattenståndsmätningar från Vänern finns sedan 1807. Vattenståndsserien i Vänern för perioden 1807–2016 finns redovisad i rapporten Eklund m. flera 2017. Vänerns officiella vattenstånd är ett medelvärde från två mätplatser i Vänern, Sunnanå och Sjötorp på sjöns västra respektive östra sida, se Figur 3. Vänerns vattennivå anges ofta i det gamla höjdsystemet Rh00 i Vänersborg eftersom detta används i vattendomen. Skillnaden mellan RH00 och RH2000 som har använts i föreliggande rapport är +0,309 m i Vänersborg, enligt Eklund m. flera 2017. (RH00+0,309=RH2000).



Figur 3: I figuren visas Vänerns avrinningsområde i gult med de olika vattendragen som rinner till Vänern utpekade. De två mätplatserna (Sunnanå i väster och Sjötorp i öster) där vattenståndet i Vänern mäts visas på kartan. Bild: SMHI¹

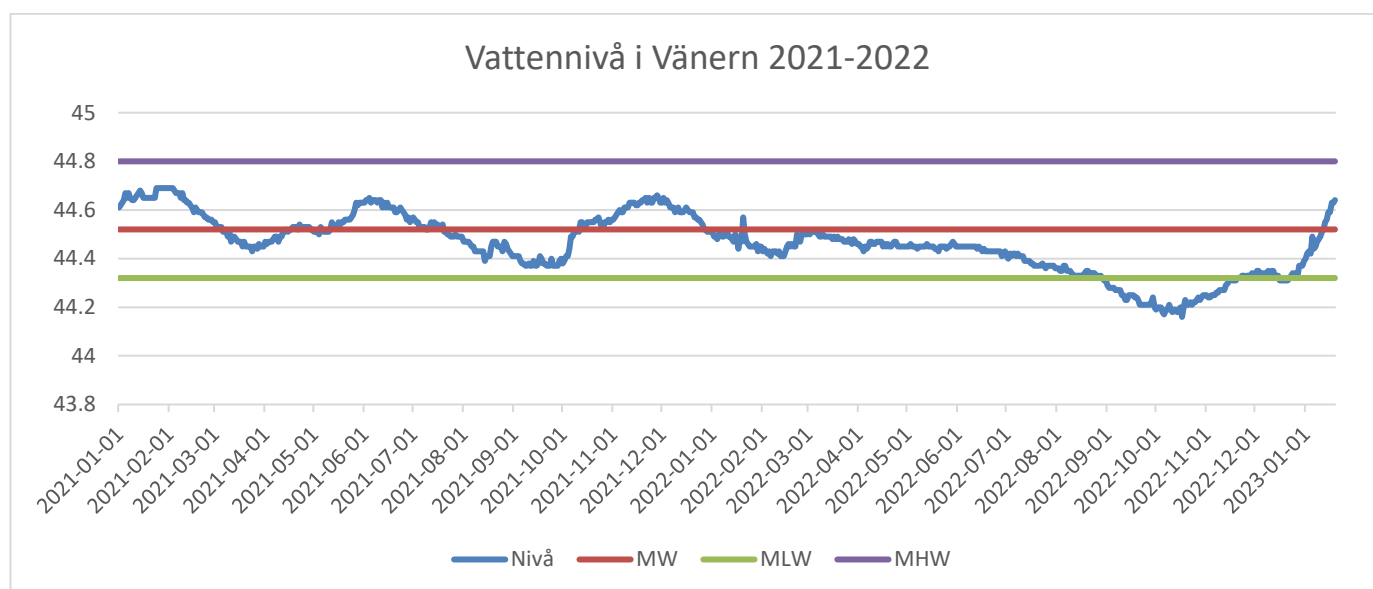
Vänern och Byälven ingår i samma avrinningsområde vilket gör att dom inte är helt oberoende av varandra. Låga flöden i Byälven kan inträffa samtidigt som det är låga nivåer i Vänern och om det är höga flöden i Byälven kan det sammanfalla med höga vattennivåer i Vänern.

I Figur 4 visas vattennivån i Vänern för åren 2021–2022 tillsammans med de karakteristiska vattennivåerna MLW (44,32), MW (44,52) och MHW (44,80) för Vänern. Vilket ger en indikation på när det ofta är lite lägre eller lite högre nivåer i Vänern. Utifrån dataserien 1961–1990 gällande nivåer i Vänern med tidigare strategi inträffar MW +/- 0,1m (44,42 - 44,62m) 46 % av dagarna och MHW +/- 0,1m (44,70 - 44,90 m) 14% av dagarna.

¹ <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/de-stora-sjoarna/fakta-om-vanern-1.4732>

Tabell 3: Karakteristiska vattennivåer i Vänern (perioden 1961–1990) som gäller för den tidigare strategin (2008–2022) enligt Eklund m. flera 2017.

	Vattennivå [m] i RH00	Vattennivå [m] i RH2000
MLW	44,01	44,32
MW	44,21	44,52
MHW	44,49	44,80
2001-01-13	45,67	45,98



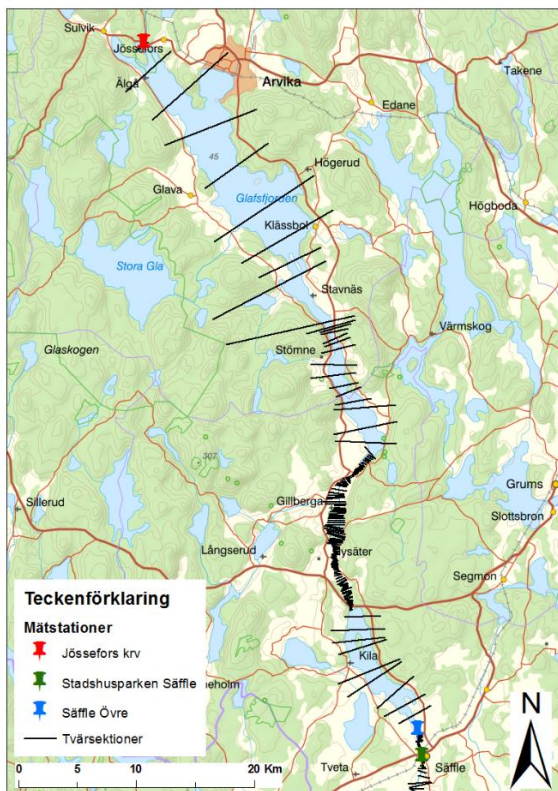
Figur 4: Uppmätta vattennivåer i Vänern i RH2000 tillsammans med karakteristiska vattennivåer MLW (44,32 m), MW (44,52 m) och MHW (44,80 m). De uppmätta vattennivåerna i Vänern är från SMHI:s mätserie.

4.3 Vattendragsmodell

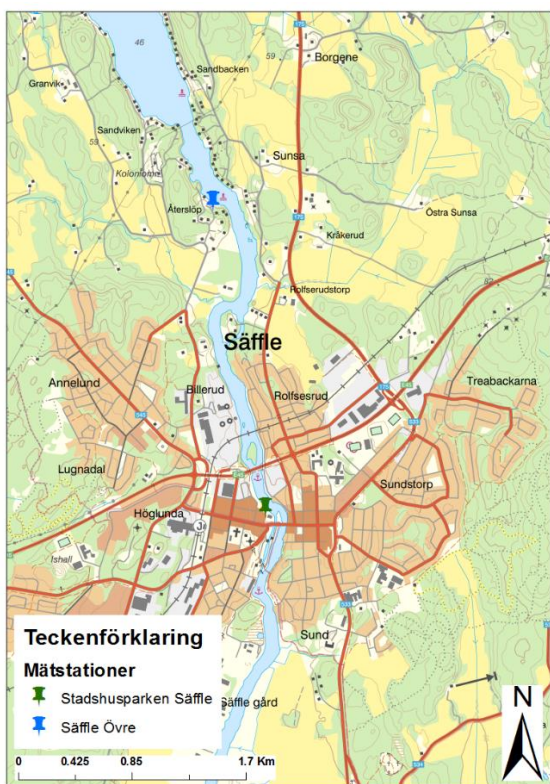
På SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst används en vattendragsmodell för att skapa specialprognoser för vattennivåer i Byälven under höga flödessituationer. Modellen bygger, som tidigare nämnts, på vattendragsmodeller från Projekt Byälven och MSB (MSB 2015).

Vattendragsmodellen är en fysikalisk modell som är uppbyggd av tvärsektioner som beskriver vattendraget med fysikaliska parametrar så som tvärsnittsarea, som vattnet kan flöda genom, lutning, friktion m.m.

I föreliggande uppdrag har vattendragsmodellen anpassats för att kunna simulera vattennivåer vid olika flöden. Flöden och vattennivåer används från mätstationerna Jössefors krv och SMHI:s mätstation ”Säffle övre”. Vattendragsmodellen kontrolleras och justeras utifrån dessa mätstationer. I Figur 5 visas de tre mätstationerna Jössefors krv, SMHI:s mätstation ”Säffle övre” och Stadshusparken i Säffle samt tvärsektionerna från vattendragsmodellen. I Figur 6 visas de två mätplatserna i Säffle lite tydligare.



Figur 5: Vattendragsmodellen är uppbyggd av tvärsektioner (de svarta strecken i figuren) från Jössefors i norr till Väneren i söder. Mätstationerna Jössefors kv, SMHI:s station Säffle övre och Stadshusparken i Säffle, är markerade på kartan. I Tabell 5 presenteras vattennivåskillnaden från dessa tre platser.



Figur 6: Mätstationerna inzoomade på de i Säffle.

Med den anpassade vattendragsmodellen har simuleringar gjorts med olika flöden, som sammanställts i Tabell 4, för att få fram vattennivåer i Byälven, som den ser ut idag (utan några åtgärder).

Vattennivåerna har sedan använts som en referens vid jämförelse med vattennivåer då ett åtgärdsförslag simulerats. Alla simuleringar har gjorts med stationära flöden och vattennivån i Vänern har ansatts till +44,52 som motsvarar medelvattennivån för perioden 1961–1990.

Ytterligare några specifika händelser har simulerats för att undersöka om nivåförändringen blir större eller mindre vid olika vattennivåer i Vänern. 100-årsflödet (HQ100) har simulerats ihop med vattennivån MHW i Vänern samt den höga vattennivån som mättes upp den 13 jan 2001. För att se om vattennivåförändringen inte blir lika stor som vid ett MW.

Tabell 4: En sammanställning av de karakteristiska flödena och flödeshändelserna som har använts vid simulering av vattendragsmodellen med och utan åtgärd. Även flödets ursprung finns med.

Karakteristiska flöden/flödeshändelser	Flöde [m³/s]	Källan
MLQ	13	Beräknad statistik
MQ	56	Beräknad statistik
MHQ	138	Beräknad statistik
2019-12-19	222	Observerat
2021-01-05	237	Observerat
2020-11-11	160	Observerat
HQ100	320	MSB 2015
HQ100klimat	389	MSB 2015
HQ200	396	MSB 2015
HQ200klimat	428	MSB 2015
BHF	545	MSB 2015

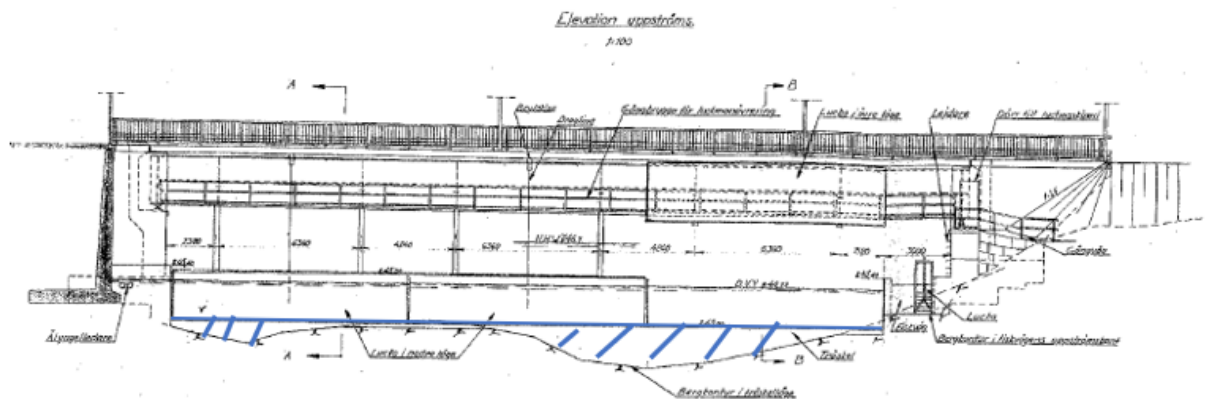
4.4 Åtgärdsförslag

Det är två olika åtgärdsförslag som analyserats för att ta reda på om det går att åstadkomma en vattennivåförändring (sänkning) vid framförallt höga flöden. Det ena åtgärdsförslaget handlar om att ta bort dammkonstruktionen som finns under Strömbron. Det andra åtgärdsförslaget handlar om att analysera om det går att minska översvämningsriskerna i Byälven med en ny tappningsstrategi, genom att öppna luckorna helt vid ett tidigare skede för att sänka av vattennivån inför en högflödessituation.

4.4.1 Borttagande av dammkonstruktion

Åtgärdsförslaget är att ta bort den dammanläggning som finns under Strömbron för att försöka sänka vattennivån i Byälven. I vattendragsmodellen (beskrivs i kap. 4.3) har dammkonstruktionen tagits bort. Det betyder att dammluckor och dammtröskeln (cementklacken mot botten, markerat i blått i Figur 7) har tagits bort från vattendragsmodellen.

Simuleringar i vattendragsmodellen, utan dammkonstruktionen, har gjorts med flödena som visas i Tabell 4. De framräknade vattennivåerna från vattendragsmodellen med och utan åtgärd har jämförts och skillnaden i vattennivå har räknats fram. Den framräknade vattennivåskillnaden vid borttagandet av dammen redovisas i Tabell 5.



Figur 7: Ett utdrag från ritningen av dammen. I vattendragsmodellen har dammkonstruktionen (som markerats med blåa sträck) tagits bort.

4.4.2 Tappningsstrategi

Åtgärdsförslaget som utvärderats är att vid blöta väderlägen, med risk för stigande flöden, öka avtappningen (ny tappningsstrategi) från Glafs fjorden tidigt för att skapa volymer så att den bättre kan utjäma flödena och inte nå så höga vattennivåer (och därmed flöden genom Säffle). Arbetet lades upp på ett sådant sätt att analysen först utfördes översiktligt, och med medvetna förenklingar, för att kunna utvärdera idén innan en fördjupad analys görs.

Data över lucköppningar i dammen i Säffle, flöden vid SMHI:s mätstation samt vattenstånd i Glafs fjorden inhämtades, för åren 2018–2021. Utifrån detta togs dels ett ungefärligt avbörningssamband (relationen mellan vattenstånd och vattenföring) för Glafs fjorden fram (giltigt för alla luckor öppna i Säffle), dels observerad tillrinning till Glafs fjorden.

5 Resultat

5.1 Åtgärdsförslag - Borttagande av dammkonstruktion

Resultatet för åtgärdsförslag "Borttagande av dammkonstruktion", visas i Tabell 5. För att få fram förändringen i vattennivå med och utan åtgärd har vattennivåerna från simuleringarna för de två modelluppsättningarna jämförts med varandra.

I Tabell 5 redovisas skillnaden i vattennivå på tre platser i Byälven. Ena platsen är i Glafs fjorden i höjd med Arvika och de andra två är vid SMHI:s mätstation "Säffle övre" och vid Stadshusparken i Säffle. Mätstationerna visas i Figur 5 och i Figur 6 visas de två stationerna i Säffle tydligare.

Tabell 5: Framräknade vattennivåskillnader i Säffle vid Stadshusparken, Harefjorden (SMHI:s mätstation "Säffle övre") och Glafs fjorden vid jämförelsen av vattennivåer från modellen med och utan åtgärd.

	Flöden i Byälven vid Säffle övre	Vänern	Stadshusparken i Säffle	SMHI-Mätstation: Säffle övre	Glafs fjorden
	[m ³ /s]	MW [m]	Nivåsänkning [m]	Nivåsänkning [m]	Nivåsänkning [m]
MLQ	13	44,52	-0,72	-0,69	-0,38
MQ	56	44,52	-0,25	-0,20	-0,05
MHQ	138	44,52	-0,14	-0,13	-0,03
<i>2020-11-11</i>	160	44,52	-0,16	-0,15	-0,04
<i>2019-12-19</i>	222	44,52	-0,21	-0,20	-0,08
<i>2021-01-05</i>	237	44,52	-0,22	-0,20	-0,07
HQ100	320	44,52	-0,30	-0,27	-0,12
HQ100klim	389	44,52	-0,36	-0,32	-0,17
HQ200	396	44,52	-0,37	-0,32	-0,17
HQ200klim	428	44,52	-0,39	-0,34	-0,19
BHF	545	44,52	-0,44	-0,39	-0,25

Vid borttagandet av dammkonstruktionen kommer det bli en sänkning av vattennivån i Säffle vid Stadshusparken och vid SMHI:s mätstation "Säffle övre" på ca 0,70 m, vid lågflödet MLQ, när vattennivån i Vänern har en medelvattenyta (MW), se Tabell 5. Detta beror på att dammkonstruktionen vid befintliga förhållanden håller upp vattennivån vid låga flöden. En utrivning av dammkonstruktionen resulterar även i att vattennivån i Vänern får ett betydande inflytande längre uppströms i Byälven, jämfört med idag. Hade Vänerns vattennivå varit högre än MW vid simuleringen med MLQ hade sänkningen av vattennivån varit mindre än de ca 0,70 m i Säffle som visas i Tabell 5. Dock kan sänkningen bli så stor som ca 0,90 m om det låga flödet (MLQ) sammanfaller med en lågvattennivå i Vänern (MLW), se Tabell 6.

Även vid ett medelflöde (MQ) och en medelnivå (MW) i Vänern blir det en sänkning som till viss del beror på att dammluckorna har hållit upp vattennivån. Sänkningen blir ca 0,2 m vid SMHI:s mätstation "Säffle övre" och ca 0,25 m vid Stadshusparken i Säffle men bara ca 0,05 i Glafs fjorden.

Vid de högre flödena (MHQ-BHF) står alla luckorna helt öppna vilket gör att sänkningen av vattennivån enbart beror på själva konstruktionen. När dammkonstruktionen är borttagen blir det en sänkning av vattennivån på ca 0,15–0,4 m vid SMHI:s mätstation "Säffle övre" samt ca 0,15–0,45 m vid Stadshusparken i Säffle och en sänkning på ca 0,05–0,25 m i Glafs fjorden. Sänkningen av vattennivån blir större ju högre flödet blir med en medelvattennivå i Vänern.

Beräkningar har även utförts för kombinationer av höga flöden i Byälven och höga vattennivåer i Vänern för att analysera hur åtgärdens effekt påverkas vid sådana situationer. Om vattennivån i Vänern ligger på MHW vid ett 100-årsflöde i Byälven blir det ingen skillnad i nivåsänkning vid de tre platserna jämfört med simulering med medelnivå i Vänern, se Tabell 5 och Tabell 6. Motsvarande resultat gäller alla flöden i spannet MHQ-HQ100.

Vid ett 100-årsflöde i kombination med den extremt höga vattennivån 45,98 m i Vänern (2001-01-13) blir åtgärdens effekt något mindre än om vattennivån i Vänern ligger på MW eller MHW, se Tabell 6. Vid Stadshusparken i Säffle blir sänkningen enligt beräkningarna -0,23 m istället för -0,30 m, dvs åtgärden får då inte full effekt.

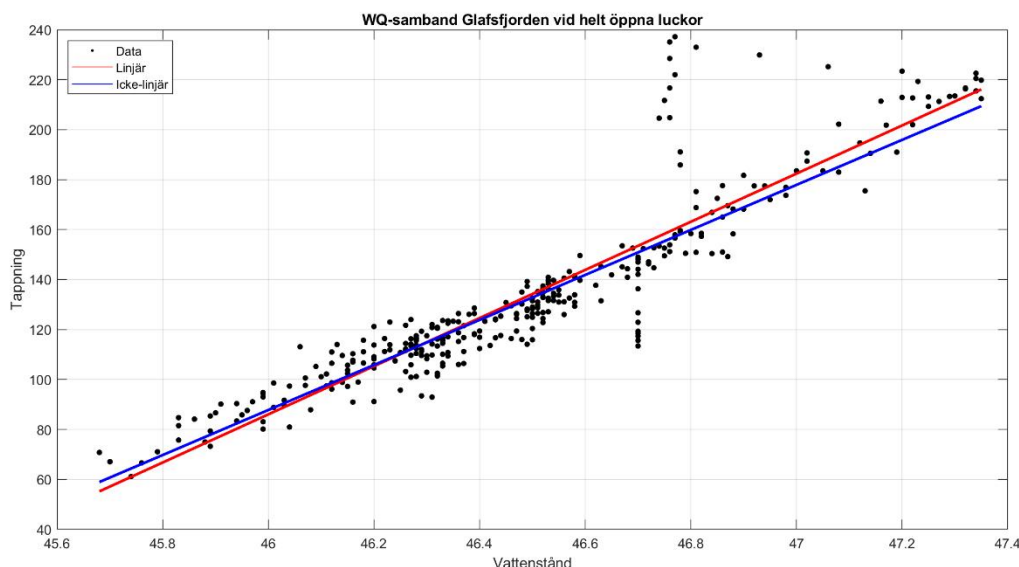
Tabell 6: Framräknade vattennivåskillnader i Säffle, SMHI:s mätstation Säffle övre och Glafs fjorden vid jämförelsen av vattennivåer från modellen med och utan åtgärd vid kombinationer av lågt flöde ihop med låg nivå i Vänern samt ett högt flöde ihop med olika höga nivåer i Vänern. Nivåerna för Vänern är i RH2000.

	Flöde [m ³ /s]	Nivå i Vänern [m]	Stadshusparken i Säffle [m]	SMHI- Mätstation: Säffle övre [m]	Glafs fjorden [m]
MLQ	13	44,32 (MLW)	-0,90	0,90	-0,40
HQ100	320	44,80 (MHW)	-0,30	-0,26	-0,12
HQ100	320	45,98(2001-01-13)	-0,23	-0,21	-0,10

5.2 Åtgärdsförslag – Ny tappningsstrategi

I följande kapitel redovisas resultatet från utredningen gällande en ”Ny tappningsstrategi”. I utredningen har det analyserats om det går att ta fram en ny tappningsstrategi för Byälven för att kunna sänka av vattennivån i Glafs fjorden innan en höglödesperiod.

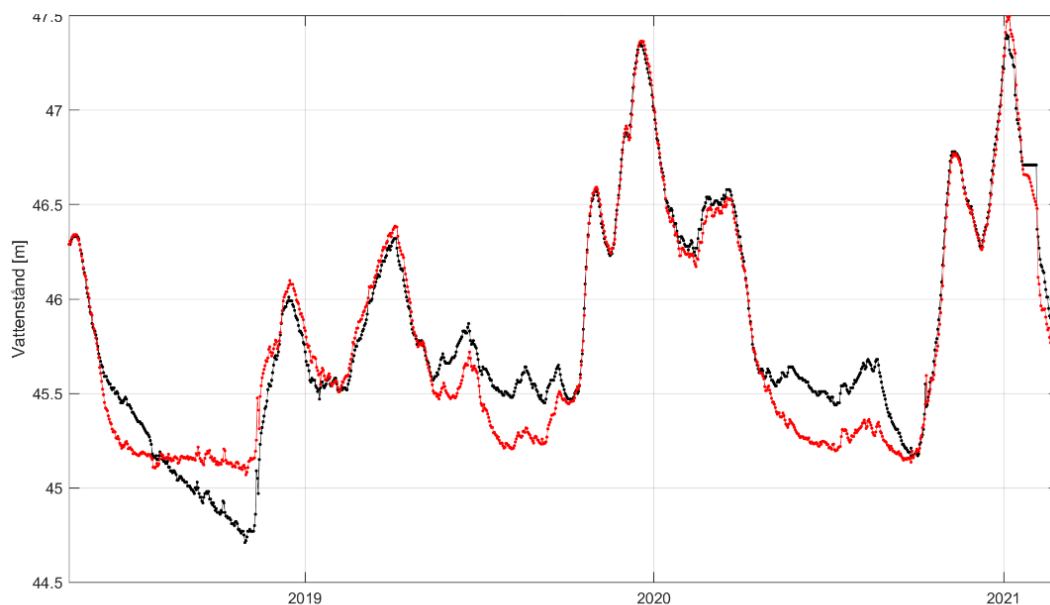
I Figur 8 visas sambandet mellan flödet ut från Glafs fjorden (tappningen från Glafs fjorden i m³/s) mot vattenstånd i Glafs fjorden vid tillfällena då samtliga dammluckor under Strömbron i Säffle varit öppna. Detta kallas för ett avbördningssamband för Glafs fjorden. Två regressionslinjer (anpassning av ett matematiskt samband till observationerna) har skapats utifrån tappningen och vattennivån. Den röda linjen visar ett linjärt samband och den blåa linjen visar på ett icke-linjärt samband.



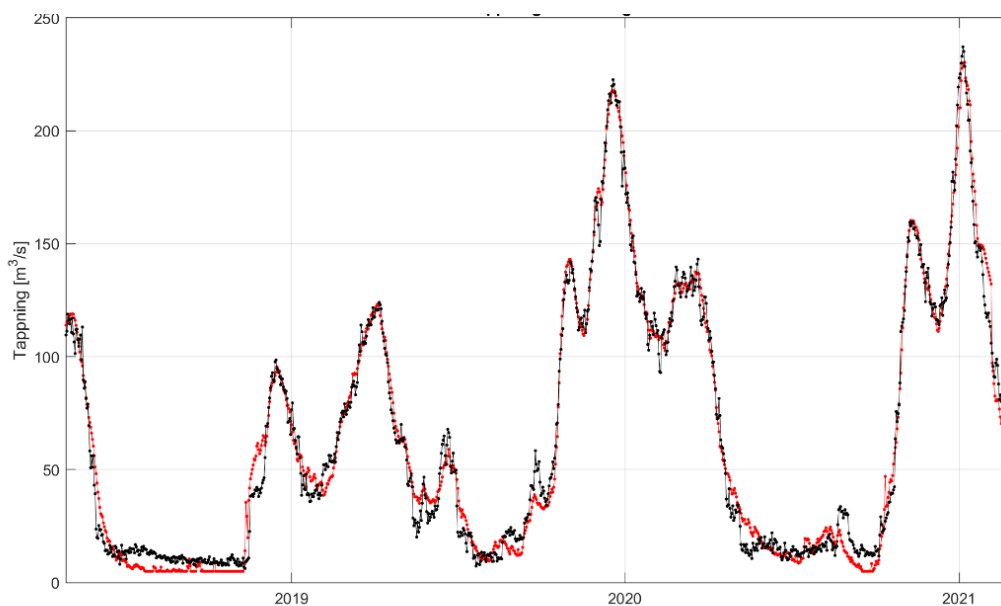
Figur 8 Avbördningssamband för Glafs fjorden. Punkterna representerar ett värde för varje dag som luckorna i Säffle varit fullt öppna. Den röda linjen är en linjär regressionslinje och den blåa är en icke-linjär regressionslinje.

I den första ansatsen har inga försök att ta bort orimliga och felaktiga data gjorts, men anpassningen till regressionerna påverkas i liten utsträckning, vilket kan ses i Figur 8. Det ska också noteras att det tillkommer en hel del areal (och vatten) nedströms Glafs fjorden och att det därför inte heller är att förvänta ett entydigt samband mellan vattenföringen i Säffle och vattennivån i Glafs fjorden. I följande beräkningar redovisas enbart resultaten från den linjära regressionen då skillnaden är liten. I Figur 9 visas vattennivån med fullt öppna luckor i Säffle och i Figur 10 visas flöden från Glafs fjorden om luckorna hade stått fullt öppna i Säffle. Vid de låga nivåerna 2019 avsänktes vattennivån i Glafs fjorden mer än vad beräkningarna (se Figur 9) ger. Detta är ett exempel på de begränsningar som föreligger i beräkningen (avtappningsförmågan vid låga nivåer är sannolikt större än vad det extrapolerade

avbörningssambandet visar). Samtidigt syns att vid ökande tillrinningar och stigande vattennivåer försvinner felet snabbt och föreligger inte vid andra tillfällen vid något högre vattennivåer.



Figur 9 Resultande vattenstånd med fullt öppna luckor i Säffle. Svart linje observerat vattenstånd, röd beräknat med avbörningssambandet.



Figur 10 Resultande flöden från Glafsforden (i Säffle för observerat) om luckorna stått öppna i Säffle. Svart linje observerat flöde, röd beräknat med avbörningssambandet.

Resultaten visar att avsänkning av Glafsforden inte skapar tillräcklig volym för att hålla nere de höga vattennivåerna, Glafsforden fylls helt enkelt upp för tidigt under flödestillfället och vid kulminationen av vattenstånden är effekten försumbar. Eftersom skillnaden är så liten i vattenstånd och flöden vid högre nivåer/flöden är det knappast meningsfullt att gå vidare med mer förfinade beräkningar.

6 Diskussion

Byälven (på sträckan Glafs fjorden till Vänern) är ett komplext vattendrag som är svårmodellerat. Vattendragsmodellen är svår att få stabil vilket till stor del beror på att vattendraget är mycket flackt och att det finns dämpningar i Glafs fjorden och Harefjorden som är svåra att fånga i en modell. I Byälven finns mätstationerna Jössefors krv (som mäter inflödet till Glafs fjorden från Jösseälven), Kyrkviken i Arvika (vattennivå) och SMHI:s mätstation Säffle övre (som mäter flöde och vattennivå i Harefjorden). Då det finns en stor komplexitet i att simulera Byälven, framförallt med flödeshydrografer (vilket först testades), har det i detta uppdrag valts att gå vidare med simulering med stationära flöden. En simulering med ett stationärt flöde är en något förenklad simulering, men eftersom det som efterfrågas i uppdraget är att redovisa vilken förändring i vattennivåer det blir före och efter en åtgärd, kan metoden användas med gott resultat. En och samma vattennivå i Vänern har använts som randvillkor vid simuleringarna med alla flöden i Tabell 5 för att nivåförändringarna ska kunna jämföras med varandra. Resultaten visar att nivåsenkning ökar med stigande flöde då dammkonstruktionen (betongtröskeln) rivs ut. Detta gäller flödena MHQ upp till BHF. Vid lågflöden (MLQ) blir nivåsenkningen större beroende på att dammkonstruktionen vid befintliga förhållanden håller uppe vattennivån.

Utifrån att Byälven och Vänern ingår i samma avrinningsområde och att dom då inte är helt oberoende av varandra är det inte osannolikt att det är höga flöden i Byälven samtidigt med höga vattennivåer i Vänern. Detsamma gäller vid låga flöden i Byälven, såsom exempelvis MLQ, vilket skulle kunna inträffa samtidigt med låga vattennivåer i Vänern, såsom exempelvis MLW. För att förstå hur Vänerns olika vattennivåer kan påverka sänkningen av vattennivån i Byälven har ytterligare tre kombinationer av flöden och vattennivåer simulerats. Analysen visar att låga vattennivåer i Vänern kommer ha stor påverkan på vattennivåerna i Byälven vid en utrivning av dammkonstruktionen. Vid en låg vattennivå i Vänern (MLW) i kombination med MLQ blir sänkningen upp till 90 cm vid de två platserna i Säffle och ca 40 cm i Glafs fjorden vilket sannolikt kommer få konsekvenser för sjöfarten. När det gäller kombinationen av höga flöden i Byälven och höga vattennivåer i Vänern visar analysen att åtgärden med dammutrivning ger full effekt även vid MHW. Vid extrema vattennivåer i Vänern får inte dammutrivningen full effekt.

Om simuleringar av vattendragsmodellen med en flödeshydrograf ska göras behövs en stor arbetsinsats för att anpassa modellen för varje simulering vilket är tidskrävande. Flödesfördelningen (hydrografens fördelning) på sträckan behöver justeras manuellt för varje situation. Detta kommer fortsatt göras vid varje högflödessituation då en specialprognos tas fram. För denna åtgärdsutredning är det dock som nämnts tidigare mest tidseffektivt att göra simuleringar med stationära flöden vilket resulterar i korrekta förändringar i vattennivån.

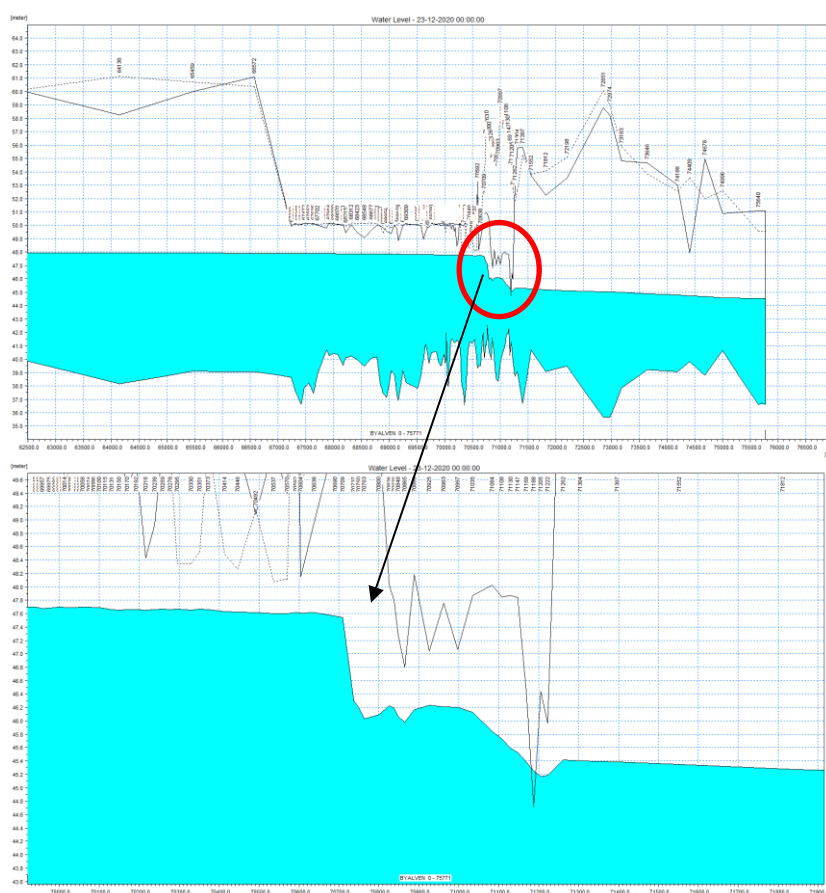
6.1 Jämförelser med tidigare utredningar

I den tidigare utredningen (Midbøe & Persson, 2005) simulerades effekter i form av nivåsenkningar för olika åtgärder längs Byälven vid det maxflöde som inträffade hösten 2000. Flödet vid Säffle kulminerade i månadsskiftet november/december och var något högre än ett 200-årsflöde enligt sammanställningen av karakteristiska flöden i Tabell 4. Beräkningarna för åtgärden att riva ut dammkonstruktionen gav i nämnda utredning en nivåsenkning i Glafs fjorden på ca 20 cm och i Harefjorden på ca 40 cm. För att nå en större nivåsenkning simulerades en utrivning av dammkonstruktionen i kombination med öppning av slussen. En ytterligare nivåsenkning på ca 10 cm i Glafs fjorden respektive ca 25 cm i Harefjorden kunde då konstateras. Denna åtgärds kombination skulle då totalt resultera i en nivåsenkning på ca 30 cm i Glafs fjorden och ca 65 cm i Harefjorden enligt Midbøe & Persson, 2005.

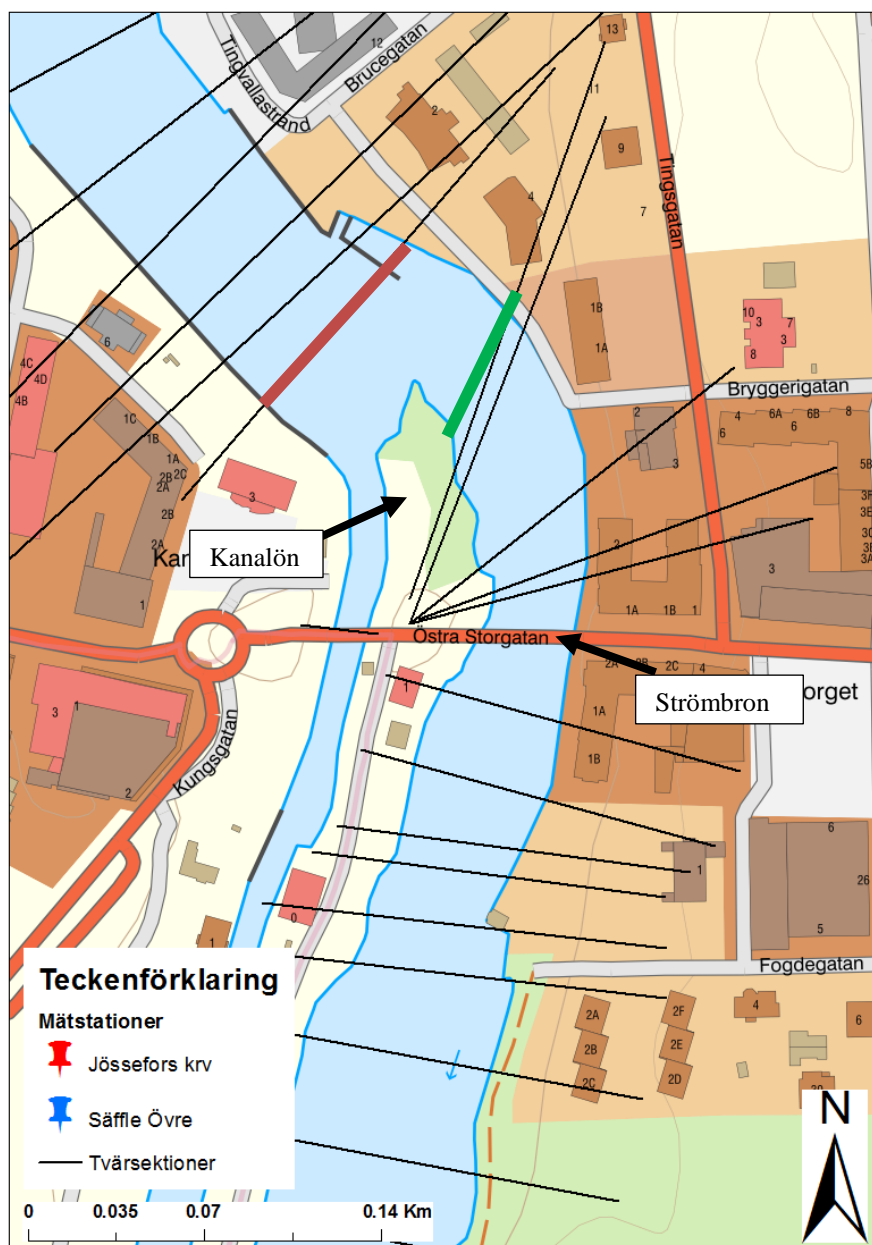
De beräkningar som utförts i föreliggande utredning, då en utrivning av dammkonstruktionen simulerats, resulterar i nivåsenkningar i Glafs fjorden och Harefjorden (SMHI:s mätstation Säffle övre) som ligger i samma storleksordning som för motsvarande åtgärd i tidigare genomförda utredning (Midbøe & Persson, 2005). Ingen ny beräkning av hur nivåsenkningen skulle påverkas vid en öppning av slussen har genomförts. Tidigare resultat bedöms trovärdiga men eftersom beräkningarna var

behäftade med ett visst mått av osäkerhet kan fortsatta studier behövas för att ta fram aktuella verifieringsberäkningar av åtgärden

Om en större sänkning av vattennivån ska åstadkommas vid de höga flödena behövs kombinationer av flera åtgärder och enligt de tidigare rapporterna (Midbøe & Persson, 2005) och (Midbøe, 2005) sker de största sänkningarna vid en kombination av åtgärder där bl.a. en öppning av slussen ingår. Modelleringsarna visar att det finns en bestämmande sektion strax uppströms dammen, där vattnet sjunker kraftigt på en kort sträcka, se Figur 11. Det som händer är att vattendraget går från att vara brett till att bli betydligt smalare där vattendraget delar upp sig och går på var sin sida om kanalön, se Figur 12. Vattnet öster om kanalön går i Byälvens huvudfåra (Backeströmmen) och passerar dammen under Strömbron. Väster om kanalön ligger den stängda slusskanalen. Om slusskanalen skulle vara öppen får vattnet en större tvärsnittsarea att passera igenom vilket med stor sannolikhet skulle medföra en ytterligare sänkning av vattennivån i enlighet med tidigare utredningar.



Figur 11: Strax ovan dammen finns en bestämmande sektion där vattnet sjunker kraftigt på en väldigt kort sträcka. Detta motsvarar Byälven där den går från bred till smal enligt Figur 12.



Figur 12: Karta som visar tvärsektioner (från vattendragsmodellen) i Byälven uppströms och nedströms Strömbron samt kanalön. Det röda strecket visar var vattendraget är brett och det gröna strecket visar var vattendraget är smalare.

I den tidigare utredningen (Midbøe, 2005) simulerades även effekter på vattennivåerna vid en kombination av slussöppning och mycket omfattande åtgärder i Backeströmmen. Då en 10 m bred och ca 6 m djup ränna schaktas/sprängs fram i Backeströmmen förbi kanalön, och motsvarande urtag i tröskeln under Strömbron görs, är nivå-sänkningarna beräknade till 46 cm i Glafsforden och 101 cm i Harefjorden vilket bedöms vara trovärdiga resultat.

I den åtgärd som simulerats i föreliggande utredning har endast själva betongtröskeln vid dämnet (blåmarkerad i Figur 7) tagits bort, ingen schaktning/sprängning i Backeströmmen har gjorts.

7 Slutsatser

- De högsta flödestopparna som inträffade vintrarna 2019/2020 och 2020/2021, då det var problem med översvämningar, har en återkomsttid på ca 10–20 år.
- Borttagande av dammen resulterar i en sänkning av vattennivån vid SMHI:s mätstation ”Säffle övre” med ca 15 – 35 cm och med ca 15 - 40 cm, vid Stadshusparken i Säffle, vid flöden mellan MHQ-HQ200klim. Motsvarande sänkning i Glafs fjorden är beräknad till ca 5–20 cm. Vid BHF, som har en låg sannolikhet att inträffa, är sänkningen vid mätstationen Säffle övre beräknad till ca 40 cm och vid Stadshusparken i Säffle till ca 45 cm samt i Glafs fjorden till ca 25 cm. Resultaten gäller vid nivån +44.52 (MW) i Vänern.
- Borttagandet av dammen resulterar även i en sänkning på ca 5–40 cm vid Glafs fjorden och ca 20–70 cm vid Säffle övre samt 25–70 cm vid Stadshusparken i Säffle, vid de låga flödena MLQ och MQ tillsammans med nivån +44,52 m i Vänern. (Vilket motsvarar MW i Vänern).
- Om låga nivåer i Vänern (MLW) och låga flöden (MLQ) sammanfaller sänks vattennivån vid Stadshuset i Säffle med ca -0,90 cm
- Vid kombinationen av ett 100-årsflöde tillsammans med MHW i Vänern påverkas inte nivå-sänkningen vid en damnutrivning jämfört med MW.
- Vid kombinationen av den höga uppmätta vattennivån 2001 i Vänern (+45,98 m) och ett 100-årsflöde sammanfaller påverkas sänkningen av vattennivån i Byälven. Nivå-sänkning av vattennivån blir -0,23 m istället för -0,3 m vid Stadshusparken i Säffle. Åtgärden når inte full potential.
- Analys av åtgärd i form av ny förhandstappning av Glafs fjorden, för att vara mer beredd vid en högflödesperiod, resulterar inte i någon sänkning av vattennivån vid högflödestillfället.

8 Referenser

Blom m fl. (2005). Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar, ISBN 91-44-02442-8

Bowman, K. O., Shenton, L. R. (1998). Estimator: Method of Moments, pp 2092-2098, Encyclopedia of statistical sciences, Wiley

Coles, S. (2001). An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer-Verlag. ISBN 1- 85233-459-2.

Eklund, A, Tofeldt, L., Johnell, A, Andersson, M., Tengdelius-Brunell, J., German, J., Sjökvist, E., Rasmusson, M., Harbman, U., Andersson, E. (2017). Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vänern. SMHI Klimatologi Nr 44.

Eklund, A., Ericsson, A, Södling, J. (2022). Justering av naturanpassad tappningsstrategi för Vänern. SMHI rapport Nr 2021-11, ver 4.1, 2022-04-11.

Midbøe, F. & Persson, H. (2005). Projekt Byälven Etapp II. Simulering av översvämningar i Byälven.

Midbøe F. (2005). Projekt Byälven Etapp III. Åtgärder kring Backeströmmen.

MSB (2015). *Översvämningsskartering utmed Byälven, Sträckan från Glafs fjorden till mynningen i Vänern*, MSB Rapport nr 50, 2015-11-17.

Svenska kraftnät, Energiföretagen Sverige och SveMin (2022). Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar.

SMHI har en livsviktig roll som pålitlig expertmyndighet. Genom vår gedigna kunskap om väder, vatten och klimat bidrar vi till att öka hela samhällets hållbarhet.

Vi samlar in mängder av data som vi bearbetar, modellerar och visualiserar utifrån olika scenarier. Vi följer omvärldens utveckling och genom vår egen forskning utvecklar och sprider vi kunskap och tjänster som bygger på vetenskaplig grund. Vi utvärderar, analyserar, prognostiserar och följer upp. Varje dag, dygnet runt, året om.

Därför vågar vi lova dig ständigt aktuella beslutsunderlag som gör det lättare att planera på både kort och lång sikt – allt från din utflykt till framtidens infrastruktur. Våra underlag hjälper samhället att nå de nationella miljökvalitetsmålen och hantera morgondagens globala utmaningar.

SMHI omsätter 916 miljoner kronor och har cirka 670 medarbetare. Huvudkontoret finns i Norrköping. SMHI har också kontor i Göteborg och Uppsala.

SMHI. Alltid de bästa underlagen för dina beslut.

SMHI

SMHI – SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

601 76 Norrköping • Besöksadress Folkborgsvägen 17 • Telefon 011-495 80 00 • E-Post smhi@smhi.se • www.smhi.se