



Utfärdat av:
Carolina Cantone

Skapat datum
2020-11-27

Senaste version sparad
2021-01-15

Dokumenttyp
Rapport

Dokumentnamn
Flödesmodellering i Klarälven nu och i framtiden – del två

Dnr:
822-2020

Fastställt av
Jessica Lovell och Jonas German

Fastställt datum
2020-12-03

Informationshantering:
Normal

Flödesmodellering i Klarälven nu och i framtiden – del två

Carolina Cantone

Uppdragsinformation

Uppdragstagare SMHI 601 76 Norrköping	Kontaktperson Carolina Cantone 011 – 495 8369 Carolina.cantone@smhi.se
Uppdragsgivare Länsstyrelsen Värmlands Län Våxnäsgatan 5 651 86 Karlstad	Kontaktperson Elin Ljunggren 010-224 73 45 elin.ljunggren@lansstyrelsen

Innehåll

1	BAKGRUND	1
2	SYFTE	1
3	METODIK	1
3.1	Hydrologisk modell och indata	1
3.2	Statistiska analyser	3
3.2.1	Flödesstatistik	3
3.2.2	Histogram	3
4	RESULTAT	4
4.1	Histogram	4
4.1.1	Höljes	4
4.1.2	Karlstad	7
5	SLUTSATSER	11
6	REFERENSER	12

1 Bakgrund

SMHI har av Länsstyrelsen Värmland fått i uppdrag att utföra en analys av hur flödet i Klarälven kan komma att påverkas av ett förändrat klimat. Denna rapport är framtagen på beställning av Länsstyrelsen Värmland.

I första delen av uppdraget har Länsstyrelsen Värmland efterfrågat en analys av framtida flöden i en punkt vid Edforsen i Klarälven. Första delen var en del i projektet C5a (Cluster for Cloud to Coast Climate Change Adaptation) inom programmet Interreg Nordsjön, finansierat av den europeiska regionala utvecklingsfonden och av det nationella myndighetsnätverket för klimatanpassning. Fördelningen av olika flödestyper till mitten och slutet av seklet utvärderades i Edforsen genom att använd olika statistiska verktyg, bland annat med hjälp av varaktighetskurvor och histogram. Resultat från denna analys presenterades den 10e november 2020 inom workshopen ”helhetsperspektiv vid klimatanpassning i Klarälvsområdet”.

Länsstyrelsen Värmland har därefter beställt ett nytt uppdrag från SMHI för att analysera framtida flöden även vid utloppen av Höljessjön och vid Karlstad. I denna rapport presenteras metodik och resultat från denna analys.

2 Syfte

För ett effektivt klimatanpassningsarbete behövs fördjupad kunskap om hur vanliga olika typer av flöden kommer att bli i framtiden och vilka effekter de kan ha på t.ex. sedimenttransport och intressenter längs med Klarälven. Ett sätt att undersöka detta är att ta fram varaktighetskurvor som visar med vilken frekvens olika typer av flöden kan väntas inträffa nu och i framtiden. Två olika utsläppscenarier har använts för att simulera flödet till mitten och slutet av seklet.

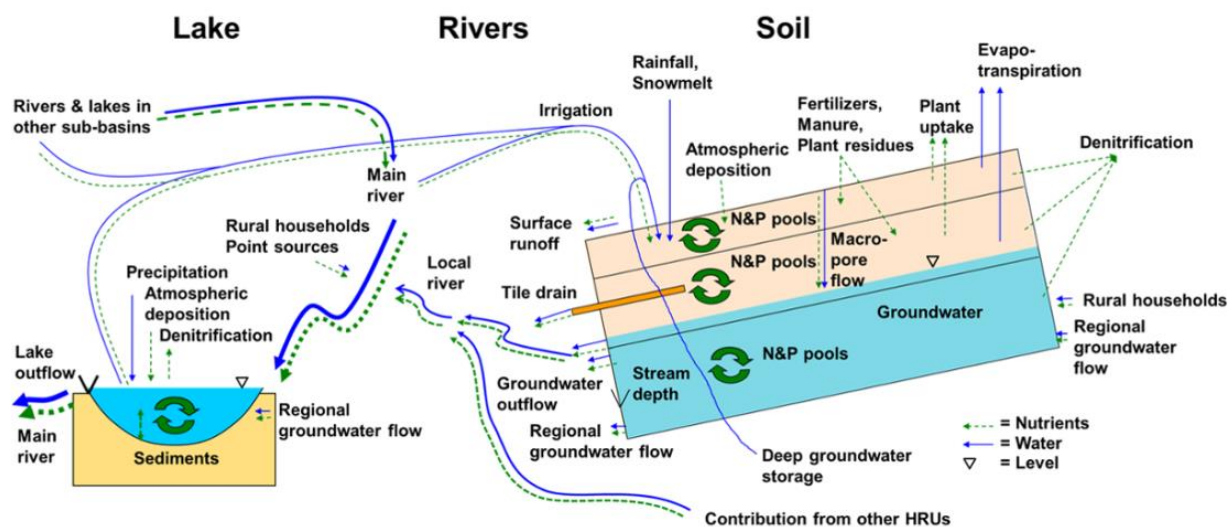
3 Metodik

En flödesanalys för nuvarande samt framtida klimat utfördes för två avrinningsområden i Klarälven, vid utloppet av Höljessjön och vid Karlstad. Analysen av olika typer av flöden baserades på den hydrologiska modellen S-HYPE som kördes med historisk nederbörd och temperatur samt för två olika utsläppscenarier för framtida perioder. Det modellberäknade flödet jämfördes mot det uppmätta flödet när data fanns tillgängligt.

3.1 Hydrologisk modell och indata

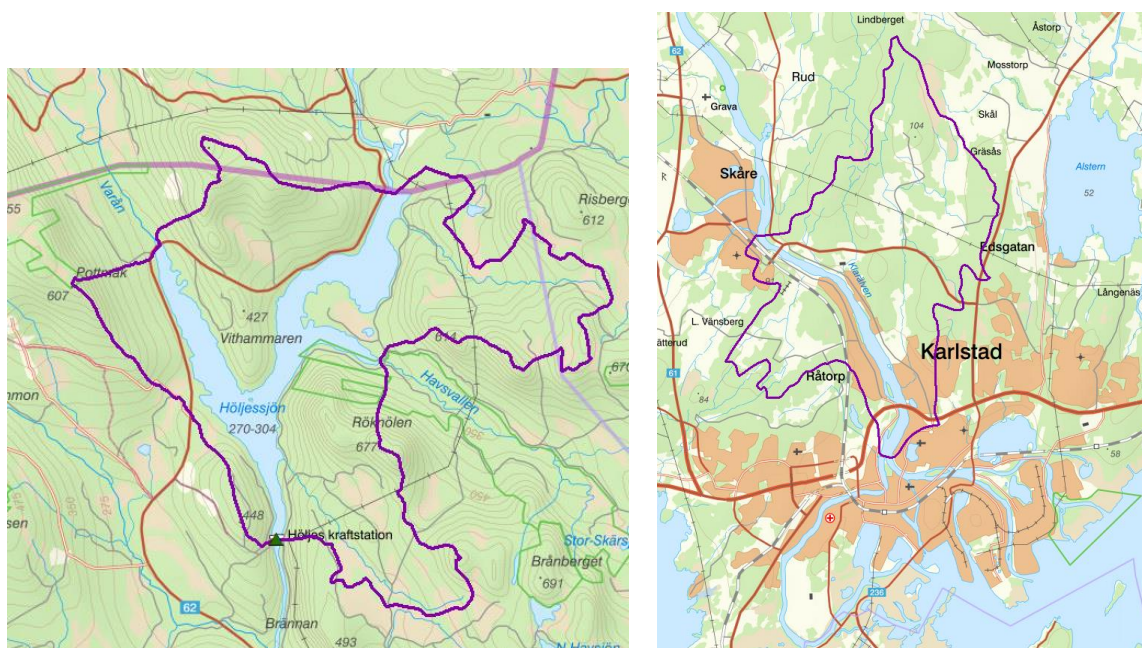
HYPE är en hydrologisk modell för integrerad simulering av flöden och omsättning av vatten och näringsämnen (Ref 1). Avrinningsområdet delas upp i klasser beroende på markanvändning, jordart och höjd. Modellens parametrar är kopplade till denna geografiska information, vilket underlättar beräkningar i avrinningsområden utan observationer. Modelleringen är gjord med S-HYPE som är en specialuppsättning av HYPE-modellen anpassad till svenska förhållanden. Den rumsliga indelningen är densamma som i Svenskt Vattenarkiv (SVAR). HYPE simulerar vattenflöden och ämnen från nederbörd genom mark och åar och sjöar till vattendragets utlopp (Figur 1).

Drivdata till modellen är observerad nederbörd och temperatur som hämtats från SMHI:s databas med areellt fördelad temperatur och nederbörd (Ref 2, 3).



Figur 1. Schematisk bild av HYPE-modellen.

Delavrinningsområdena för Höljes och Karlstad visas i Figur 2. SMHI har inte en egen station vid utloppet av Höljessjön utan får tillgång till flödesdata av Fortum. Mätdata på tappning från Höljes kraftverk innehåller både produktion och spill, dvs det som går genom kraftversturbiner och genom torråran. Höljes kraftverk har markerats med en grön triangel i Figur 2.



Figur 2. Karta som visar Höljes delavrinningsområde (till vänster) och Karlstad delavrinningsområde (till höger) som violblåa polygoner. Den gröna triangeln visar lokaliseringen av Höljes kraftstation.

Flödet simulerades för tre tidsperioder, se Tabell 1. För perioderna ”mitten av seklet” och ”slutet av seklet” kördes modellen med två olika utsläppscenarier, RCP4.5 och RCP8.5 körda med 9 olika globala klimatmodeller och nedskalade med en regional klimatmodell. RCP8.5 motsvarar en fossil-intensiv framtid med höga utsläpp av växthusgaser och RCP 4.5 innefattar stringent klimatpolitik med starka utsläppsminskningar (Ref 4). För mer information om klimatmodeller och utsläppscenarier se SMHI:s

kunskapsbank (Ref 4). I den här analysen visas framtida resultat som medelvärde över de använda globala klimatmodellerna.

Tabell 1. Lista över de tre perioderna där flödet har simulerats.

	30-årsperiod
Referens	1961–1990
Mitten av seklet	2040–2069
Slutet av seklet	2070–2099

Med begreppet vattenföring eller vattenflöde menas den mängd vatten per tidsenhet som rinner fram i ett vattendrag och anges vanligen som volym per tidsenhet [m^3/s]. Det modellberäknade flödet i den här analysen definieras som *naturligt*, eftersom flödets variationer under året påverkas av naturliga förhållanden (snösmältning, regn, avdunstning, mm.) och inte av mänskliga ingrepp, t.ex. vattendragens reglering för vattenkraftproduktion. I modellen tar in sjön hela tillrinningen från uppströms liggande avrinningsområden och utflödet från sjön beskrivs med en förenklad avbördnings ekvation när vattenståndet är högre än en viss tröskelnivå. Anledningen till att simulera naturligt flöde även i ett reglerat vattendrag som Klarälven beror på osäkerheten i regleringsstrategi i framtiden. Den här metodiken tillåter därmed en jämförelse av effekten av ett förändrat klimat på ett modellberäknat flöde.

Det simulerade resultaten i Höljes jämförs även mot uppmätta tappning vid kraftverket, se Tabell 2 (Ref 5).

Tabell 2. Observationskälla

Stationsnamn	Stationsnummer	Tidsserie som ingår i analysen
Höljes krv	2224	1962-01-01 – 1990-12-31

3.2 Statistiska analyser

Beräknat flöde i olika perioder samt observerat flöde analyserades med olika statistiska verktyg.

3.2.1 Flödesstatistik

- MQ: medelflöde på 30-års referensperiod
- MHQ: medel av högsta årliga flöde på 30-års referensperiod
- MLQ: medel av lägsta årliga flöde på 30-års referensperiod

I den här analysen beräknades flödesstatistik utifrån observerad tidsserie (Tabell 3).

Tabell 3. Flödesstatistik från tidsserie vid Höljes station

	MHQ	MQ	MLQ
Flödet [m^3/s]	360	93	29

3.2.2 Histogram

Ett stapeldiagram som beskriver frekvensen av ett visst flödets intervall under en viss period.

4 Resultat

Resultaten har beräknats som dygnsmedelvärde för de tre ovan nämnda beräkningsperioderna. Modellresultat har sedan bearbetats för att presentera data med de beskrivna statistiska verktygen i avsnitt 3.2.

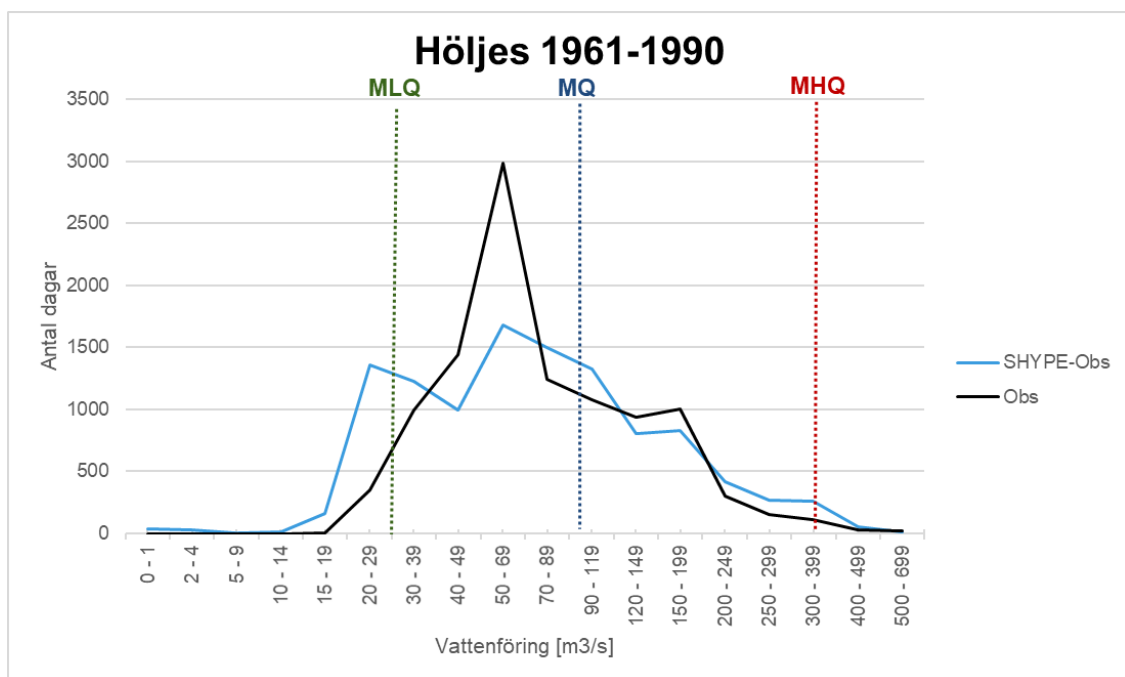
4.1 Histogram

Ett histogram är ett sätt att presentera resultat för att beskriva hur ofta ett visst flöde händer under en viss tidsperiod. I denna analys byggs histogrammet som beskriver antal dagar för en beräkningsperiod (30 år ~ 11 000 total antal dagar) där ett fast flödesintervall inträffar. Antal dagar syns i y-axeln på graferna. Fast flödesintervall syns i x-axeln och det räknas på logaritmisk skala som ger en mjukare fördelning av flödesvärdena. Histogram visas i denna sektion separat per beräkningsperiod som medelvärde av de 9 klimatmodellerna över 30-års beräkningsperioden.

Vid Höljes syns i diagrammen även flödesstatistiken (MQ, MLQ och MHQ) som beräknades utifrån mätningar enligt Tabell 3.

4.1.1 Höljes

Under referensperioden (1961–1990) skiljer sig flödesfördelningen mellan simulerat och observerat flöde på grund av regleringar i Höljes (Figur 3).

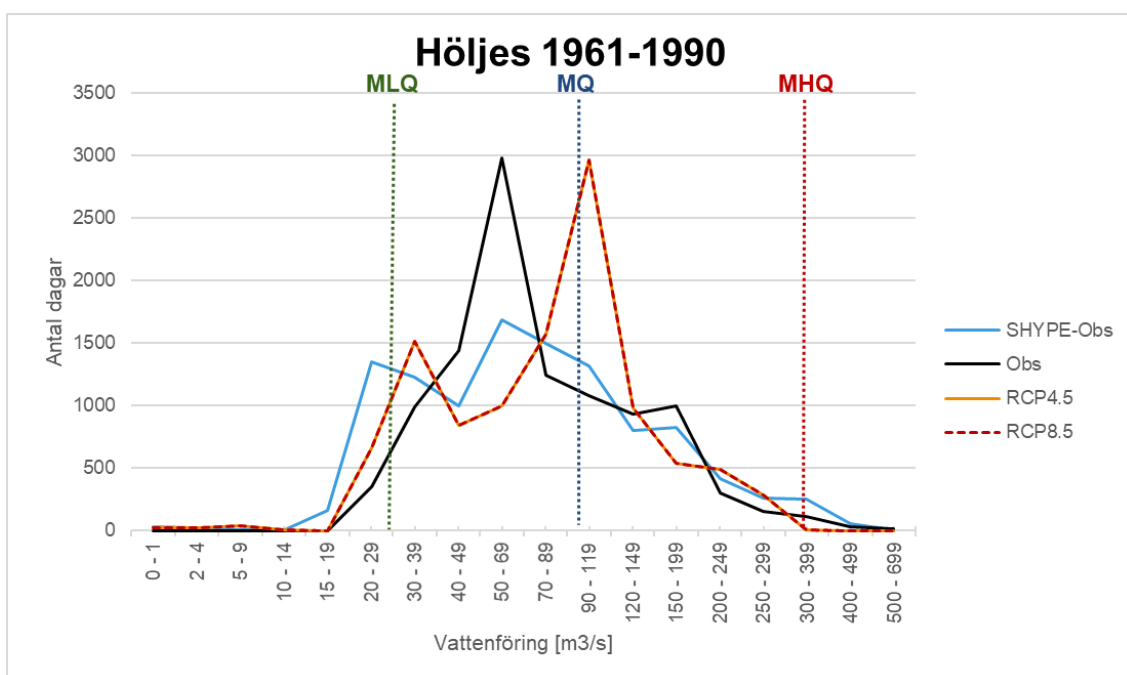


Figur 3 Histogram för uppmätt flöde (svart linje) och simulerat flöde med nuvarande klimat (ljusblå linje) för referensperioden. Vertikala linjer är flödesstatistik beräknade utifrån mätning tidsserie under referensperioden.

Histogram utifrån mätningar (svart linje i Figur 3) visar att det vanligaste flödet (det som inträffar högsta antal dagar under beräkningsperioden) är inom intervallet 50–70 m³/s där kurvan har en väldigt tydlig topp med 3000 dagar där denna typ av flöde inträffar (omkring 27 % av tiden). Samma flödesmängd inträffar som medel under referensperioden omkring 15 % av tiden enligt simulering med den hydrologiska modellen S-HYPE. Vad gäller låga flöden visar histogrammen att flöde mindre än 15 m³/s är ovanligt under referensperioden enligt mätningar, medan det sker flöde mindre än 10 m³/s enligt resultat från modellberäkningar. Överlag kan sägas att simulerade, naturliga låga flöden inträffar oftare

än observerat under referensperioden. Regleringen kan göra att perioder med lågflöden blir kortare eller högre. Under vintern sköts regleringen i Höljes genom att hålla tappningen för produktion som syns i Figur 3 och Figur 4 där observerade låga flöden är ovanligare än de simulerade på ett naturligt sätt. Höga flöden större än MHQ ($360\text{m}^3/\text{s}$) inträffar 1–2 % av beräkningsperioden enligt observationer och modellresultat, medan flöden över $400\text{m}^3/\text{s}$ är ovanliga vid utloppet av Höljessjön.

I Figur 4 visas diagram för referensperioden 1961–1990 med resultat från klimatmodeller körda enligt två olika utsläppscenarier. Både klimatscenarier RCP4.5 och RCP8.5 har samma dynamik (orange och streckad röd linje respektive) och visar en förskjutning i flödesmängd och antal dagar jämfört med det simulerade under referensperioden (ljusblå linje). Det simulerade flödet som kommer ske större delen av tiden (upp till 3000 dagar som motsvarar omkring 27% av beräkningsperioden) ligger på $90\text{--}120\text{m}^3/\text{s}$. En mindre topp på 1500 dagar (omkring 14 % över tiden) händer i flödesintervallet $30\text{--}40\text{m}^3/\text{s}$. Klimatmodeller representerar extrema flöden mindre väl – både låga och höga – genom att underskatta antal dagar flödena inträffar med nuvarande klimat jämfört med SHYPE simulering under referensperioden (ljusblå linje).

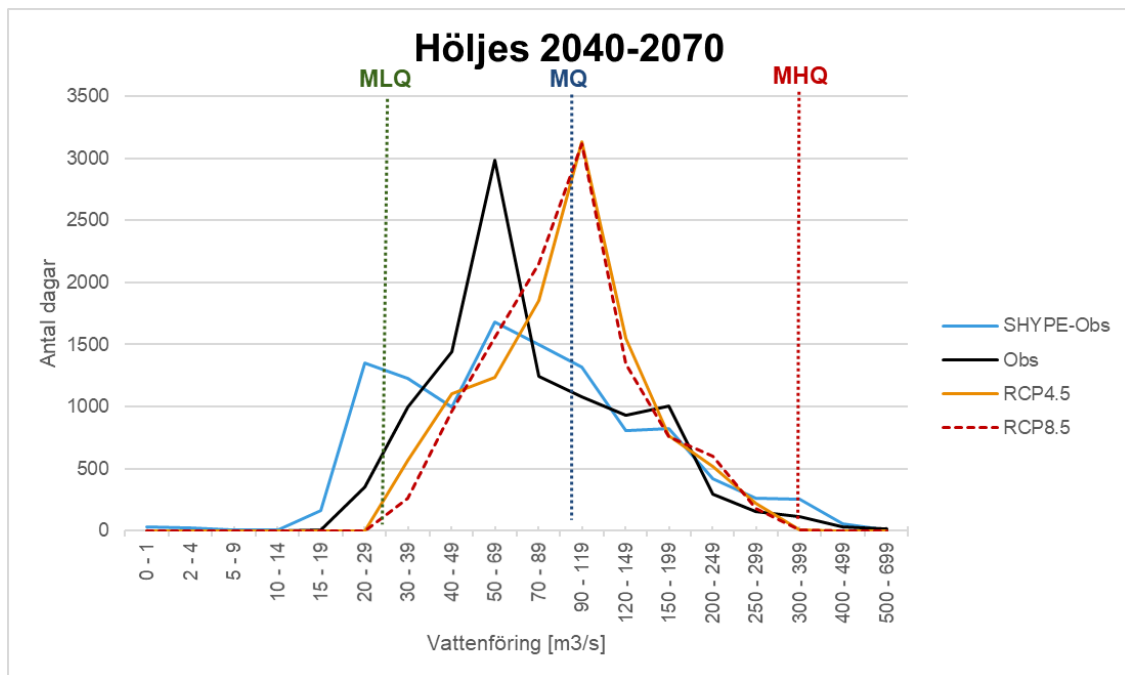


Figur 4. Histogram för uppmätt flöde (svart linje), simulerat flöde med nuvarande klimat (ljusblå linje) och klimatscenarier RCP4.5 (orange linje) samt RCP8.5 (streckad röd linje) för referensperioden. Vertikala linjer är flödesstatistik beräknade utifrån en tidsserie av mätningar under referensperioden.

Till mitten av seklet (beräkningsperiod 2040–2070) är skillnaden mellan modellerat flöde med de två olika klimatscenarierna RCP4.5 och RCP8.5 inte betydande (Figur 5).

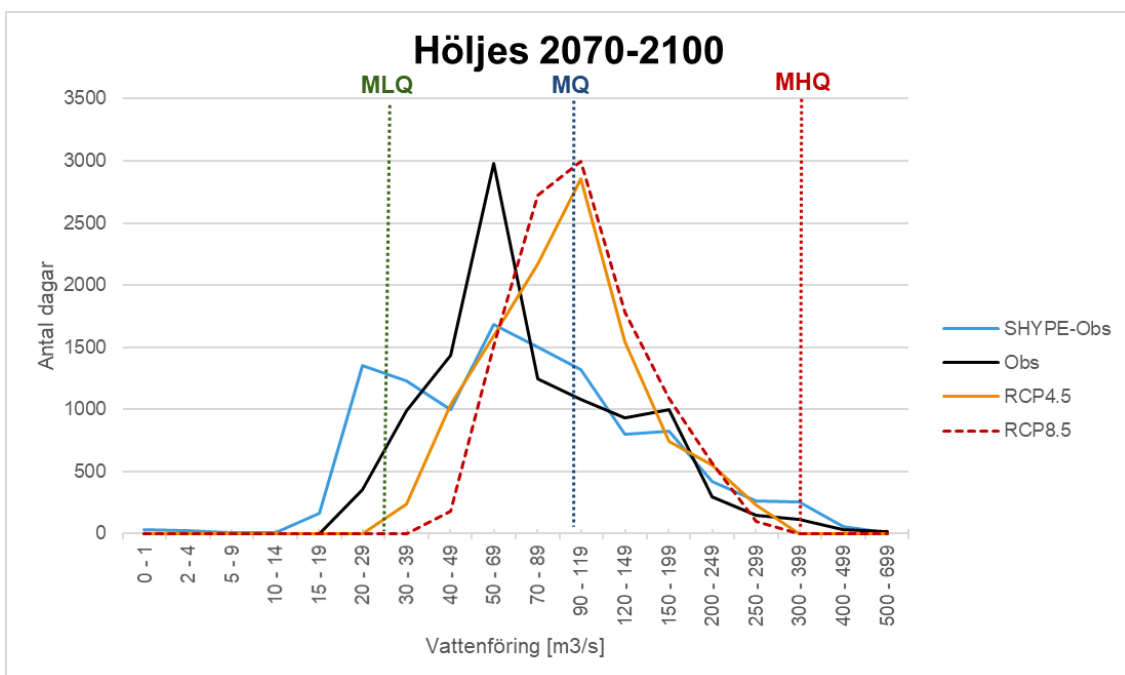
Framtida flöde modellerat enligt klimatscenarier för intervallen $90\text{--}120\text{m}^3/\text{s}$ kommer inträffa 28 % av tiden (cirka 3100 dagar) jämfört med simulering för referensperioden, där dessa flöden inträffar bara 12 % av tiden. Låga flöden mindre än $20\text{m}^3/\text{s}$ kommer vara ovanliga i mitten av seklet där antal dagar dessa flöde inträffar är i genomsnitt noll. Under referensperioden inträffar ett flöde mellan $10\text{--}30\text{m}^3/\text{s}$ mer än 10 % av tiden. Den här resultaten kan tolkas som att flödet till mitten av seklet inte blir så lågt som det simulerade i nuvarande klimat. Samma slutsats gäller vattenföring över MHQ ($360\text{m}^3/\text{s}$) som kommer bli mer sällsynt i till mitten av seklet. Varmare temperaturer i Värmland under vintrar i mitten av seklet påverkar nederbörd som kommer vara mer i form av regn än i form av snö under vintern och hösten. Det gör att vårfloedestopparna kommer vara mindre än under referensperioden på grund av

mindre snötäcke som ackumuleras under vintern. Samtidigt kommer de låga flödena som för närvarande inträffar under vinter inte inträffa eftersom nederbörd faller i form av regn (Ref 7).



Figur 5. Histogram för uppmätt flöde (svart linje), simulerat flöde med nuvarande klimat (ljusblå linje) och klimatscenarier RCP4.5 (orange linje) samt RCP8.5 (streckad röd linje) i mitten av seklet. Vertikala linjer är flödesstatistik beräknade utifrån en tidsserie av mätningar under referensperioden.

Påverkan av olika utsläppscenarier är starkare i slutet av seklet, där flödesfördelning under beräkningsperioden ändras med båda klimatscenarierna jämfört med tidigare perioder (Figur 6).



Figur 6. Histogram för uppmätt flöde (svart linje), simulerat flöde med nuvarande klimat (ljusblå linje) och klimatscenarier RCP4.5 (orange linje) samt RCP8.5 (streckad röd linje) i slutet av seklet. Vertikala linjer är flödesstatistik beräknade utifrån en tidsserie av mätningar under referensperioden.

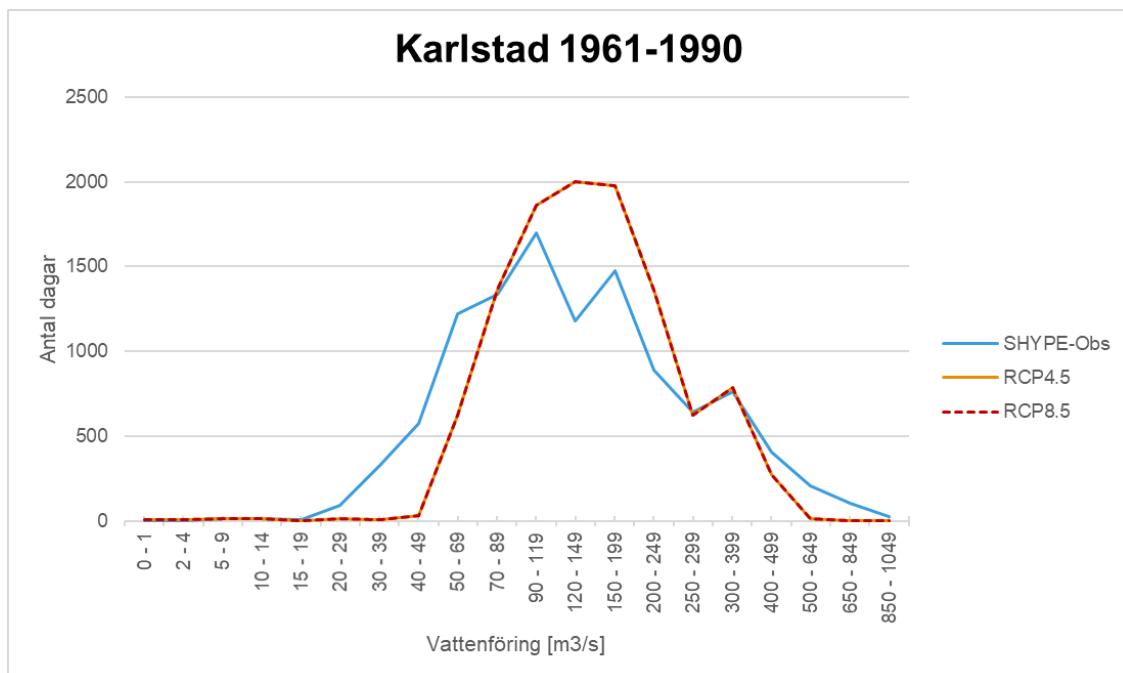
Till slutet av seklet kommer vattenföring mellan 70–120 m³/s vara det som inträffar oftast, i genomsnitt 22 % av tiden (2500 dagar, orange linje) och 26% av tiden (2850 dagar, röd streckad linje) enligt RCP4.5 och RCP8.5 respektive. Samma flödesintervall inträffar under referensperiod enligt S-HYPE (ljusblå linje i Figur 6) i genomsnitt bara 13 % av tiden (1400 dagar).

Flöden mellan 50 till 250 m³/s kommer inträffa betydligt mer i slutet av seklet än under referensperioden. Tvärtom kommer extrema flöden – både låga under 30 m³/s och höga över 400 m³/s – inte inträffa i slutet av seklet. Den största skillnaden mellan klimatscenarioer gäller låga flöden. Resultat från RCP4.5 visar att flöden under 40 m³/s kommer inträffa bara 2 % av tiden i median till slutet av seklet medan enligt RCP8.5 syns samma resultat för flöde upp till 50 m³/s för perioden 2070–2100. Under referensperioden motsvarar låga flöden vinter och höst, medan höga flöden motsvarar vårflödets toppar.

Resultaten kan tolkas enligt klimatanalys i Värmland (Ref 7) som effekt på ett varmare klimat i framtiden, med varmare vintrar och kraftigare nederbörd som kommer att ske mer i form av regn än snö under kalla säsonger. Det resulterar i att en stor mängd vatten rinner av i form av avrinning/flöde under vinter och höst och en tidig början av vårflod. Vårflödestopparna kommer inte heller vara lika höga som kan ses under referensperioden.

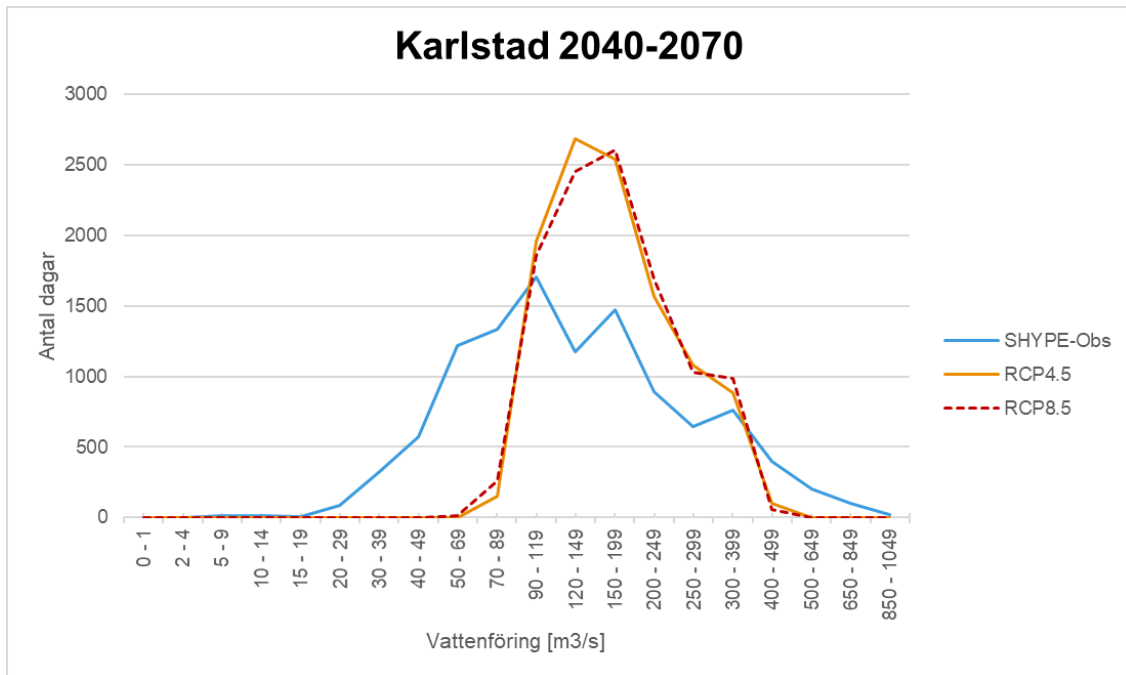
4.1.2 Karlstad

I Figur 7 visas histogram beräknade i Karlstad för referensperioden 1961–1990 med resultat från klimatmodeller körda enligt två olika utsläppscenarier, RCP4.5 och RCP8.5 (orange och streckade röd linje, respektive) jämförda med simulering med S-HYPE (ljusblå linje). Båda klimatscenarioer RCP4.5 och RCP8.5 visar samma dynamik som följer resultaten ganska bra från simulering med nuvarande klimat. Simulerade flöden med S-HYPE (ljusblå linje) som inträffar med högst antal dagar ligger på 90–120 m³/s och 150–200 m³/s (16% och 13% av beräkningstiden, respektive). Resultaten från klimatmodeller (orange och röd streckade linje) visar en uppskattning av antal dagar under samma flödesintervall, med en genomsnittsfrekvens upp till 18% av tiden. Låga flöden under 15 m³/s inträffar under referensperioden mindre än 0,1 % av tiden, medan höga flöden över 400 m³/s inträffar omkring 2 % av tiden. Klimatmodeller verkar inte beskriva låga och höga flöden under referensperioden särskilt väl.



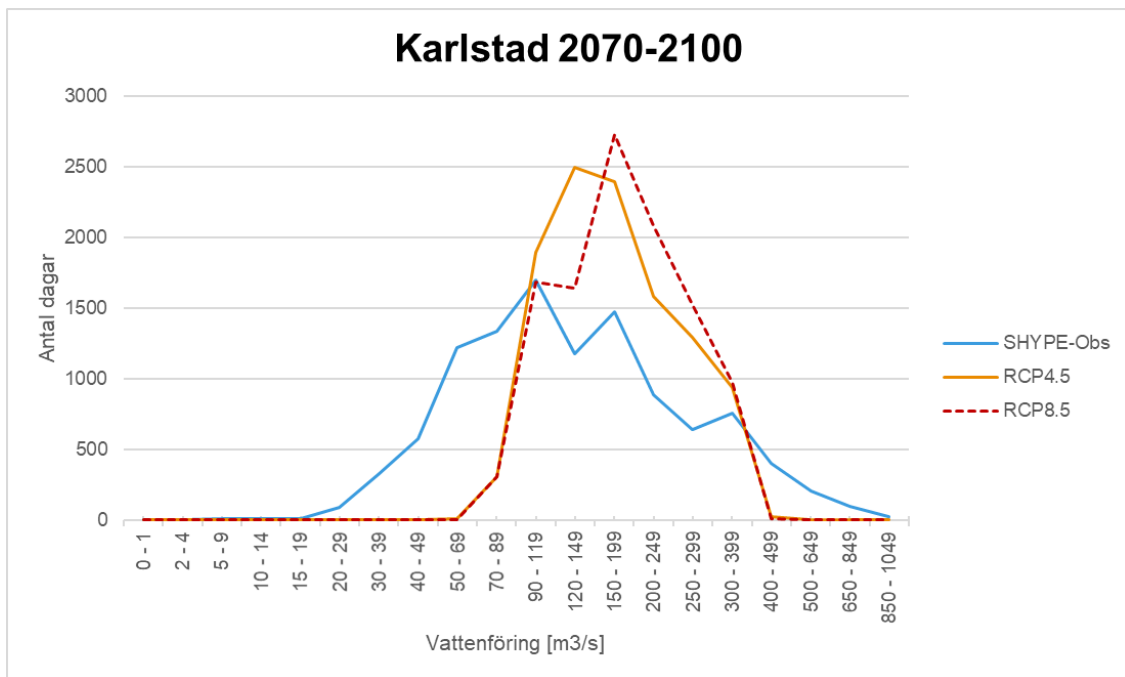
Figur 7. Histogram för simulerat flöde med nuvarande klimat (ljusblå linje) och klimatscenarioer RCP4.5 (orange linje) samt RCP8.5 (streckad röd linje) för referensperioden.

Också i Karlstad är skillnaden mellan modellerat flöde med de två olika klimatscenarier RCP4.5 och RCP8.5 inte betydande till mitten av seklet (beräkningsperiod 2040–2070) (Figur 8). Framtida flöden modellerade enligt klimatscenarier för intervallet 120–200 m³/s kommer inträffa mer än 22 % (2500 dagar) i median av tiden jämfört med 12 % av tiden simulerat för referensperioden. Låga flöden, mindre än 70 m³/s, kommer vara ovanliga i mitten av seklet där antalet dagar dessa flöden inträffar är i genomsnitt noll. Under referensperioden inträffar ett flöde mellan 15–70 m³/s i genomsnitt 5 % av tiden, och bara mellan 40-70m³/s under 10% av tiden. Dessa resultat kan tolkas som att flödet till mitten av seklet inte blir så lågt som det simulerade i nuvarande klimat. Liknande slutsats kan dras för vattenföring över 500 m³/s som motsvarar vårflodstoppar vilka kommer inte vara lika stora som under referensperioden.



Figur 8. Histogram för simulerat flöde med nuvarande klimat (ljusblå linje) och klimatscenarier RCP4.5 (orange linje) samt RCP8.5 (streckad röd linje) till mitten av seklet.

I slutet av seklet (beräkningsperiod 2070–2100) är påverkan av olika utsläppscenarier lite starkare och det speglas på flödesfördelning körda med RCP4.5 och RCP8.5 (Figur 9).



Figur 9. Histogram för simulerat flöde med nuvarande klimat (ljusblå linje) och klimatscenarier RCP4.5 (orange linje) samt RCP8.5 (streckad röd linje) till slutet av seklet.

Till slutet av seklet kommer vattenföring mellan 120–150 m³/s enligt RCP4.5 vara det som inträffar oftast, i genomsnitt 23 % av tiden (2500 dagar, orange linje i Figur 8). Samma flödesintervall inträffar under referensperiod enligt S-HYPE (ljusblå linje i Figur 8) bara 11 % av tiden (1200 dagar). Resultaten från simulering med RCP8.5 visar att det vanligaste flödet ligger på intervallet 150–200 m³/s och det kommer att inträffa 25 % av tiden (2700 dagar, streckade röd linje i Figur 8) som median till slutet av seklet.

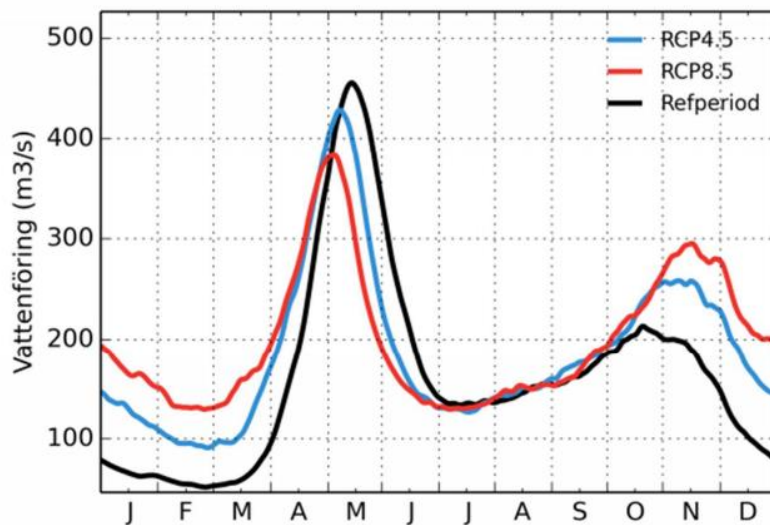
Resultat för flöden som är mindre än 70m³/s till slutet av seklet är lika som dem till mitten av seklet, dvs. låga flöden i perioden 2070–2100 kommer bli ovanligare än i referensperiod. Samma slutsats gäller höga flöde som överstiger 500m³/s.

Resultaten från den här analysen visar att i slutet av seklet kommer det inte finnas lika många olika flödesfördelningar under året som det fanns under referensperioden. Vattenföring till slutet av seklet blir i genomsnitt av större mängd med mindre avvikelse mellan ytterligheterna.

Histogrammen i Karlstad har jämförts med resultaten från klimatrapporten ”Framtidsklimat i Värmlands län” som utfördes av SMHI under 2017 (Ref 7). Klimatrapportens mål var att simulera meteorologiska och hydrologiska parametrar med påverkan av olika klimatscenarier i framtiden. Jämförelse mellan de hydrologiska resultaten är inte direkta eftersom klimatanalys av de hydrologiska parametrarna i Värmlands län som utfördes 2017 baseras på resultat från den hydrologiska modellen HBV som satts upp för länet. I detta arbete har svenska uppsättning av HYPE använts men modellen har inte lokalanpassats för länet eller för Karlstad.

Kapitel 8 i rapporten från 2017 visar hur medelvärden för tillrinningens årscykel kommer förändras i framtiden på grund av ett förändrat klimat i punkt som kallas ”Klarälven Vänern” (Figur 10) som motsvarar delavrinningsområdet som användes för att ta fram histogram i denna analys. Referensperioden i klimatstudie är 1963–1992 (svart linjen i figuren) och framtidsperiod är 2069–2098. Beräkningar gjordes enligt RCP4.5 och RCP8.5 klimatscenarier (blå och röd linje respektive).

Klarälven Vänern



Figur 10. Tillrinningens årsdynamik i Karlstad. Svart linje representerar referensperioden 1963–1992 och de två övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069–2098. Blå linje avser medelvärden av beräkningar enligt RCP4.5 och röd linje representerar motsvarande för RCP8.5.

För inloppet till Vänern visar framtidsscenarierna i Figur 10 på tidigare vårflödestoppar, högre vinter och höstflöde medan tillrinningen under sommaren inte påverkas.

Under vintermånaderna (januari, februari och mars i Figur 10) kommer flödet vara mycket högre än det som varit under referensperioden enligt båda klimatscenarierna. Ökningen av tillrinningen under vintrarna förklaras av klimatrapporten med att nederbörden ökar generellt i länet och att nederbörd som regn istället för snö kommer bli allt vanligare i ett framtida varmare klimat. Därmed kommer vinternederbörden att rinna av under vintern i stället för att, som under kalla vintrar, lagras som snö och bilda tillrinning när snön smälter under våren. Den framtida dynamiken under vintern förklarar resultat som också syns i Figur 9 där antal dagar med flöde mindre än $70 \text{ m}^3/\text{s}$ i genomsnitt kommer vara nära eller lika med noll i slutet av seklet beroende på klimatscenario.

En förändrad säsongsdynamik under vintern resulterar i en tidigare snösmältningstid och mindre snötäcke som ackumuleras under vintern. Det kommer att orsaka tidigare vårflöde och även mindre vårflödestopp i slutet av seklet enligt båda klimatscenarierna i Figur 10. En kraftigare effekt syns dock i simuleringen med RCP8.5. Samma dynamik visas även i Figur 9 i form av antal dagar när vissa flödets intervall inträffar. Med antagandet att flöden över $300 \text{ m}^3/\text{s}$ motsvarar vårflöden i genomsnitt av beräkningsperioden visar Figur 9 att det inte kommer finnas dagar när flödet överstiger $400 \text{ m}^3/\text{s}$ i slutet av seklet med simuleringar med båda utsläppscenarierna.

Höstflöde kommer också bli högre än det under referensperioden till slutet av seklet enligt båda RCP-scenarierna (Figur 10).

Den övergripande ökade tillrinningen under vinter- och höstsäsonger resulterar i en ökad tillrinning under hela året i genomsnitt av beräkningsperioden (Figur 10). Det motsvarar resultat som syns i histogrammet i Figur 9 vilket visar att en större flödesmängd (120 upp till $400 \text{ m}^3/\text{s}$) kommer bli vanligare till slutet av seklet som median för en 30-årsperiod.

Till slutet av seklet påverkas sommarflödet inte av olika utsläppscenarierna (Figur 10). Högre temperaturer kommer att medföra att mer vatten bildar avdunstning eller används av växterna, dessutom kommer också nederbörd öka till slutet av seklet enligt klimatrapporten. En oförändrad tillrinning av framtida sommarflöden kan alltså förklaras som effekt av ökade avdunstning och längre vegetationsperiod i framtiden samt högre nederbördsmängd under säsongen.

5 Slutsatser

- På grund av osäkerheter i framtida regleringsstrategi i vattendraget föredras det att modellera naturligt flöde för att analysera påverkan på ett förändrat klimat på framtida flöden, trots att vattendraget är reglerat. Att modellera framtida säsongsbetonad och årlig vattenresurshantering i framtiden hade krävt att ett antal antaganden sattes upp i modellen.
- Klimatanalysen på hydrologiska indikatorer innebär olika osäkerhetskällor som delvis kommer från klimatmodeller, samt från den hydrologiska modellen.

Påverkan av framtida klimat på flöden i Värmlands län:

- Under vintermånader kommer större flöden än de under referensperioden bli vanligare på grund av ökade temperaturer som gör att nederbörd kommer att ske mer i form av regn än av snö. Det innebär att en större vattenmängd avrinner istället för att ackumuleras i form av snö.
- Vårflöde kommer inträffa tidigare än för referensperioden i slutet av seklet. Även vårflödestoppar kommer att bli mindre än de som observerades under referensperioden. Den här effekten gäller för båda klimatscenarioer, men med en kraftigare påverkan med RCP8.5. Ökade temperaturer under hela året orsakar tidig snösmältningstid, medan snötäcket blir mindre än normalt.
- Sommarflöden kommer inte påverkas av klimatscenarioer på grund av en balanserad effekt på ökad nederbörd under sommaren med längre växtperiod och avdunstning.
- Ökade temperaturer och nederbörd påverkar höstflödet som kommer öka i framtiden.
- Enligt klimatanalysrapport (Ref 7) kommer både årsmedeltemperatur och nederbörd öka kraftigare i norra delarna av Värmland än i södra. Till exempel, temperaturökningen i Höljes beräknas bli i genomsnitt 1 grad högre än i Karlstad i slutet av seklet enligt RCP8.5. Nederbördsökningen kommer också att vara större vid i Höljes, och den kommer att ske mer i form av regn än av snö på grund av varmare temperaturer. Det här orsakar en ökning på 20–25 % i lokal medeltillrinning i Höljes till slutet av seklet jämfört med referensperioden enligt RCP8.5. Under samma förutsättningar kommer ökning på lokal medeltillrinning vara i storleksordningen 10–15 % i Karlstad. Även den totala tillrinningen, dvs. det ackumulerade flödesbidraget från alla avrinningsområden som ligger uppströms, kommer öka i Värmland. Klimatrapporten visar dock att minst ökning gäller områden närmast Väneren.

Lokal klimatpåverkan på flödestyp i Höljes och Karlstad:

- Högre vinter- och höstflöde motsvarar en högre flödesmängd överlag i slutet av seklet, och en minskning av tiden där nuvarande låga och höga flöde kommer inträffa.
- Vid utloppet av Höljessjön kommer flödeintervall 90–120 m³/s till mitten samt till slutet av seklet inträffa i genomsnitt omkring 15 % oftare än simulerat under referensperioden, enligt båda RCP-scenarioer. Flödesintervall 50–150 m³/s kommer vara det som sker oftast i mitten och slutet av seklet, medan låga flöde mindre än 30 m³/s eller höga flöde över 300 m³/s fångas inte av klimatmodeller.
- Vid Karlstad kommer flödesintervall 150–200 m³/s till mitten samt till slutet av seklet inträffa i genomsnitt omkring 10 % oftare än simulerat under referensperioden, enligt båda RCP-scenarioer. En liknande framtida dynamik som i Höljes gör att låga och höga flöden som för närvarande inträffar kumulativt omkring 10% av tiden under beräkningsperiod inte kommer att ske till mitten och slutet av seklet.
- Både i Höljes och Karlstad kommer det i framtiden inte finnas lika många olika flödesfördelningar under året som det finns under referensperioden. Vattenföring till slutet av seklet blir i genomsnitt av större mängd med mindre avvikelse mellan ytterligheterna.

6 Referenser

1. Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J. & Arheimer, B. (2010). Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41.3–4, 295-319.
2. Johansson, B. (2000). Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains. An evaluation from a hydrological perspective. *Nordic Hydrology*, 31, 207-228.
3. Johansson, B. och Chen, D. (2005). Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden. *Climate Research*, 29, 53-61
4. Klimatmodeller och utsläppsscenarier:
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatmodeller-och-scenarier/hur-fungerar-en-klimatmodell-1.470>
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/rcp-er-den-nya-generationen-klimatscenarier-1.32914>
5. Hydrologiska observationer på SMHI:s VattenWebb: <https://vattenwebb.smhi.se/station/>
6. Stoner, A. M., Hayhoe, K., Yang, X. & Wuebbles, D. J. An asynchronous regional regression model for statistical downscaling of daily climate variables. *Int. J. Climatol.* 33, 2473–2494 (2013).
7. Nylén L., Asp M., Berggreen-Clausen S., Berlöv G., Björk E., Axén-Mårtensson J., Ohlsson A., Persson H., Sjökvist E. 2017. Framtidsklimat i Värmlands län – enligt RCP-scenarier. SMHI Klimatologi Nr 17.
https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.95722!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/Framtidsklimat_i_V%C3%A4rmlands_l%C3%A4n_Klimatologi_nr_17.pdf