

ELFORSK



DAMMSÄKERHET

Analys av osäkerheter vid beräkning av
dimensionerande flöden för dammar i
flödesdimensioneringsklass I

Elforsk rapport 11:31

Analys av osäkerheter vid beräkning av dimensionerande flöden för dammar i flödes- dimensioneringsklass I

Elforsk rapport 11:31

Johan Andréasson, Sten Bergström, Marie Gardelin,
Jonas German, Barbro Johansson, Göran Lindström och Jörgen
Rosberg

November 2011

Förord

Denna rapport är ett resultat från Elforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete som syftar till att långsiktigt stödja kraftindustrin dammsäkerhetspolicy.

Elforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete har en styrgrupp bestående av: Jonas Birkedahl – Fotum, Claes-Olof Brandesten – Vattenfall Vattenkraft, Lars Hammar – Vattenfall Vattenkraft, Anders Isander – E.ON, Martin Johansson – Skellefteå Kraft, Anders Sjödin – Statkraft, Gunnar Sjödin – Vattenregleringsföretagen, Rolf Steiner – Fortum samt Cristian Andersson – Elforsk. Adjungerade till gruppen är också Maria Bartsch och Anna Engström-Meyer – Svenska Kraftnät.

Projektet "Osäkerheter vid beräkning enligt flödesdimensioneringsklass I" har analyserat vilka skillnader som uppstår vid beräkningar av dimensionerande flöden för dammar i flödesdimensioneringsklass I, om dessa genomförs med olika förutsättningar. Projektet har finansierats av Elforsk och Svenska Kraftnät. Osäkerheten i flödesdimensioneringen av dammar är viktig eftersom den inverkar på konstruktionslösningar och kostnader. Frågan har också aktualiserats i relation till den osäkerhet som tillförs på grund av klimatförändringar.

Stockholm, december 2011



Cristian Andersson

Sammanfattning

2009 beviljades SMHI, av Elforsk, ett tvåårigt forskningsprojekt med titeln *Osäkerheter vid beräkning enligt flödesdimensioneringsklass I*. Syftet med projektet var att analysera vilka skillnader som uppstår vid beräkningar av dimensionerande flöden för dammar i flödesdimensioneringsklass I, om dessa genomförs med olika förutsättningar. Effekterna av följande faktorer har studerats:

1. Beräkning med meteorologiska stationsdata respektive areella indata.
2. Användning av olika tidsperioder för beräkning av det dimensionerande snötäcket.
3. Användning av olika tidsperioder för dimensioneringsberäkningen.
4. Beräkning med olika versioner av den hydrologiska HBV-modellen.
5. Beräkningar baserade på olika kriterier och metoder för modellkalibreringar.

I tillägg har projektet analyserat de studerade faktorernas betydelse i relation till den osäkerhet som tillförs på grund av klimatförändringar, såsom dessa kvantifierats av Andréasson m.fl. (2011) i ett angränsande projekt.

Föreliggande rapport är den formella slutrapporten för projektet *Osäkerheter vid beräkning enligt flödesdimensioneringsklass I*. Där dras följande huvudsakliga slutsatser:

- Spridningen i beräkningsresultaten är generellt större på grund av skillnaderna mellan klimatscenarier än för övriga studerade faktorer sammantaget.
- Skillnaden i resultat mellan att använda areella indata eller stationsindata slår åt olika håll även i närliggande områden.
- Användning av en särskild anpassning av modellens förmåga att beskriva de högsta flödestopparna under kalibreringsperioden (toppfelsvikt) ger i allmänhet högre dimensionerande tillrinning med variation från +1% till +25%.
- HBV96 ger i allmänhet högre dimensionerande tillrinning än HBV76 med variation från -5% till +25%.
- Det förefaller som om valet av dimensioneringsperiod orsakar minst osäkerhet i beräkningsresultaten.

Dessa slutsatser visar att det kan finnas skäl att se över beräkningar gjorda med tidiga versioner av HBV-modellen och enkla kalibreringsmetoder. De visar också att det är viktigt att beakta klimatosäkerheten vid framtida flödesdimensioneringar.

Summary

In 2009 the Swedish Meteorological and Hydrological Institute was commissioned a two-year research project, by Elforsk, with the title *Uncertainties in calculations according to Flood Design Category I*. The aim was to analyze differences in design flood determinations for dams in Flood Design Category I, if these are carried out under different conditions. The effects of the following factors have been studied:

1. Calculations based on observations at meteorological stations as compared to gridded areal data.
2. The use of different time periods for the estimation of the design snowpack.
3. The use of different time periods for the design simulation.
4. Calculations based on different versions of the HBV hydrological model.
5. Calculations based on different criteria and methods for the calibration of the hydrological model.

In addition the project has put the effects of the studied factors in relation to the uncertainty that is caused by climate change, as this is quantified by Andréasson et al., (2011) in a neighboring project.

The present report is the formal final report for the project *Uncertainties in calculations according to Flood Design Category I*. It leads to the following main conclusions:

- The spread in calculated design floods caused by differences between climate scenarios is generally greater than the joint uncertainty caused by all other studied factors together.
- The differences in results between the use of areal data or station data differ in signs even in neighboring basins.
- The use of a special adjustment of the model's performance for the highest peak flows during a calibration period in general leads to higher design floods, with a variation from +1% to +25%.
- Model version HBV96 in general simulates higher design floods than model version HBV76, with a variation from -5% to +25%.
- It seems that the choice of design period is the factor that causes the least uncertainty in the resulting design floods.

This set of conclusions shows that there may be reasons to reconsider design flood estimations made by early versions of the HBV model and with simple calibration schemes. It also shows that it is important to consider climate change in future determinations of design floods for dams.

Innehåll

1	Bakgrund	1
1.1	Projektets syfte.....	2
2	Metoder	2
2.1	Hydrologisk modell.....	2
2.2	Beräkning av flöden och vattenstånd i flödesdimensioneringsklass I	4
2.3	Regleringsstrategier	5
2.4	Beräkningssystem	6
2.5	Meteorologiska databaser.....	6
2.6	Beräkningsområden.....	7
2.7	Kalibrering	10
2.8	Tidsperioder	12
2.9	Analysmetod	13
3	Resultat	14
3.1	Beräkningsmetodikens osäkerheter	14
3.2	Analys av klimatosäkerheten	21
4	Diskussion och slutsatser	27
5	Referenser	28

1 Bakgrund

Under 2007 utkom en nyttgåva av riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svensk Energi m.fl., 2007). Där skärptes kravet på att klimatfrågan skall behandlas vid flödesdimensionering. Samma år, i augusti 2007, genomfördes en workshop vid Svenskt vattenkraftscentrum på temat *Osäkerheter vid flödesdimensionering*, med deltagare från kraftindustrin, konsulter, Svenska Kraftnät och SMHI m.fl. SMHI:s syn på de viktigaste faktorerna som påverkar osäkerheten vid flödesdimensionering sammanfattades då i åtta punkter. Beräkningarnas osäkerhet påverkas i första hand av:

1. Val av databas
2. Val av beräkningsperiod
3. Frekvensanalys av snön (val av period, fördelningsfunktion)
4. Val av hydrologisk modell och modellversion (föreskrives ej i riktlinjerna)
5. Kalibrering av den hydrologiska modellen
6. Beskrivning av regleringsstrategin
7. Kompetens och erfarenhet hos den som utför arbetet
8. Klimatförändringar

För att ge stöd åt arbetet med att klimatanpassa riktlinjerna för flödesdimensionering initierade Elforsk och Svenska Kraftnät 2007 ett fortsättningsprojekt över fyra år med titeln *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv*. Uppdraget gavs åt SMHI med Johan Andréasson som projektledare. Till projektet knöts också en styrgrupp bestående av följande medlemmar: Olle Mill (t.o.m. 2010), Maria Bartsch och Anna Engström-Meyer (fr.o.m. 2010) från Svenska Kraftnät, Lars Hammar (t.o.m. 2008) och Christian Andersson (fr.o.m. 2009) från Elforsk, Claes-Olof Brandesten från Vattenfall, Agne Lärke från Fortum, Björn Norell från Vattenregleringsföretagen, Lars-Åke Lindahl från SveMin, Jan Liif från Statkraft och Sigrid Eliasson från E.ON.

2008 tillsattes *Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv* med representanter från myndigheter (Svenska Kraftnät och SMHI), från vattenkraftbranschen (Svensk Energi, Vattenfall, Fortum, Vattenregleringsföretagen och E.ON) och från gruvindustrin (SveMin). Kommittén har som mål att bland annat genomföra en kartläggning av vilka dammar som är mest sårbara, samt att ta fram en vägledning för hur klimatfrågan ska beaktas vid flödesdimensionering av dammar. Kommitténs medlemmar var till stor del desamma som styrgruppen till det Elforskprojekt där metodik för att beräkna dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring togs fram (Andréasson m.fl. 2011).

Kommittén identifierade att det fanns ett behov av att värdera de osäkerheter som tillförs beroende på klimatfrågan gentemot andra föreliggande osäkerheter som finns inbyggda i flödesdimensioneringsmetodikerna. Som en

följd av detta ombads SMHI, i november 2008, att inkomma med en ansökan till Elforsk och Svenska Kraftnät om ett kompletterande projekt till Elforsks klimatprojekt. Syftet med projektet skulle vara att belysa några av de övriga osäkerheterna för att på så sätt ge en mer komplett bild av den totala osäkerheten vid flödesdimensionering. Resultaten av denna ansökan blev att Elforsk beviljade ett forskningsprojekt över två år med titeln *Osäkerheter vid beräkning enligt flödesdimensioneringsklass I*. Liksom för systerprojektet gavs uppdraget åt SMHI med Johan Andréasson som projektledare. Till projektet knöts också samma styrgrupp som redan var tillsatt för systerprojektet och som till stora delar består av samma personer som kommittén.

Föreliggande rapport är projektets formella slutrapport. I rapporten används även resultat från systerprojektets slutrapport *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring – metodutveckling och scenarier* (Andréasson m.fl. 2011) för att sätta osäkerheterna i perspektiv till varandra.

1.1 Projektets syfte

Syftet med projektet *Osäkerheter vid beräkning enligt flödesdimensioneringsklass I* är att utreda vilka skillnader som uppstår vid beräkningar av flöden i flödesdimensioneringsklass I om dessa genomförs med olika databaser, för olika tidsperioder och med olika modellversioner.

Effekterna av följande faktorer har studerats:

1. Beräkning med meteorologiska stationsdata respektive areella indata (dvs. data interpolerade till gridformat).
2. Användning av olika tidsperioder för beräkning av det dimensionerande snötäcket.
3. Användning av olika tidsperioder för dimensioneringsberäkningen.
4. Beräkning med olika versioner av den hydrologiska HBV-modellen.
5. Beräkningar baserade på olika kriterier och metoder för modellkalibreringar.

I tillägg till dessa faktorer har under projektets genomförande beslutats att dessa faktorer ska sättas i relation till den osäkerhet som tillförs från klimatförändringar, vilka kvantifierats inom Elforsks klimat-projekt (Andréasson m.fl. 2011).

2 Metoder

2.1 Hydrologisk modell

Enligt riktlinjerna för beräkningarna av flöden enligt flödesdimensioneringsklass I skall förloppet av det dimensionerande flödet simuleras med tillämpning av vedertagen hydrologisk modellteknik. I praktiken har den hydrologiska HBV-modellen kommit att bli standard.

HBV-modellen har utvecklats vid SMHI sedan början av 70-talet (Bergström, 1995, Lindström m.fl., 1997). Modellen är begreppsmässig, d.v.s. den bygger på en förenklad fysikalisk beskrivning och kalibreras till specifika vattendrag. Den har en enkel struktur och är i grunden uppbyggd av tre huvudmoduler; en för beräkning av snöns ackumulation och avsmältning, en för beräkning av markfuktighet och en tredje rutin för beräkning av vattnets vägar och hur vattenflöden påverkas av magasinering i grundvatten och sjöar. Modellen är semidistribuerad, vilket innebär att avrinningsområdet delas in i delområden inom vilka höjder och vegetationszoner (skog, öppet landskap, glaciär och sjöar) klassificeras. Den har dessutom speciella funktioner för att separat hantera större sjöar och sjöregleringar.

Indata till HBV-modellen är nederbörd, lufttemperatur och potentiell avdunstning.

HBV-modellen har en lång historia. Den har modifierats efterhand och det finns flera olika versioner i bruk både i Sverige och utomlands. En omfattande uppgradering gjordes 1996, vilket medförde förbättringar av delar av modellen och av dess kalibrering (Lindström m.fl., 1996). Speciellt viktigt för beräkningen av dimensionerande flöden var att en ändring i modellens responsfunktion infördes. Den nya rutinen medför att extrema flöden beskrivs på ett bättre sätt. Denna modellversion är numera standard vid SMHI. Flera av de dimensioneringsberäkningar som genomförts med HBV-modellen har dock gjorts innan 1996 och då med den äldre modellversionen. Även efter 1996 har ett antal förbättringar skett av HBV-modellens struktur.

Olofsson och Sanner (1998) har jämfört skillnader mellan den gamla HBV-versionen (HBV76) och den nyare HBV96 vad det gäller storleken på det dimensionerande flödet. De konstaterar att HBV96 i genomsnitt ger bättre kalibreringar för samtliga kalibreringskriterier och även vad det gäller okulär jämförelse mot mätningar. I studien genomfördes jämförelser för 11 olika områden i Sverige. För 9 av dessa ökade den dimensionerande tillrinningen när HBV96 användes jämfört med när HBV76 användes. Den genomsnittliga ökningen var + 13%, men ökningen var tydligast i mellersta och södra Sverige (+ 21% baserat på fyra områden) jämfört med beräkningsområden i fjällen (+ 9% baserat på sju områden).

Areella indata (se t.ex. Johansson och Chen (2003 och 2005)), dvs. nederbörd- och temperaturdata interpolerade till gridformat, har införts och börjat användas av SMHI för hydrologisk produktion och även för dimensioneringsberäkningar. I en studie av Olofsson och Ryman (2003), där areella indata utvärderades mot stationsdata för hydrologiska prognoser, ökade underskattningen av vattenföringens beräknade årsmax. Detta kunde tolkas som att areella indata har en utjämnande effekt på nederbörd och temperatur och därmed inte resulterar i lika höga maxflöden. Betydelsen av valet av interpolationsmetod för indata (areella indata och stationsindata) specifikt för dimensioneringsberäkningar har hittills bara studerats för några få räkneexempel (Olofsson och Sanner 1998). Denna jämförelse indikerade en ökning av den dimensionerande tillrinningen med införandet av areella indata.

Olofsson och Lindström (2000) utvärderade införandet av ett nytt kriterium för användning vid automatisk kalibrering av HBV modellen. Kriteriet som kallas toppfelskriterium, mäter och minimerar det systematiska felet i toppflöden. Författarna konstaterar att det nya kriteriet ger en klar förbättring

av modellens förmåga att beräkna de höga flödena utan att mer än marginellt försämra modellens prestanda för övriga flöden. I rapporten rekommenderas att det nya toppfelskriteriet används vid automatkalibreringar och att det ska införas i standardversionen av HBV, vilket därefter också har gjorts.

2.2 Beräkning av flöden och vattenstånd i flödesdimensioneringsklass I

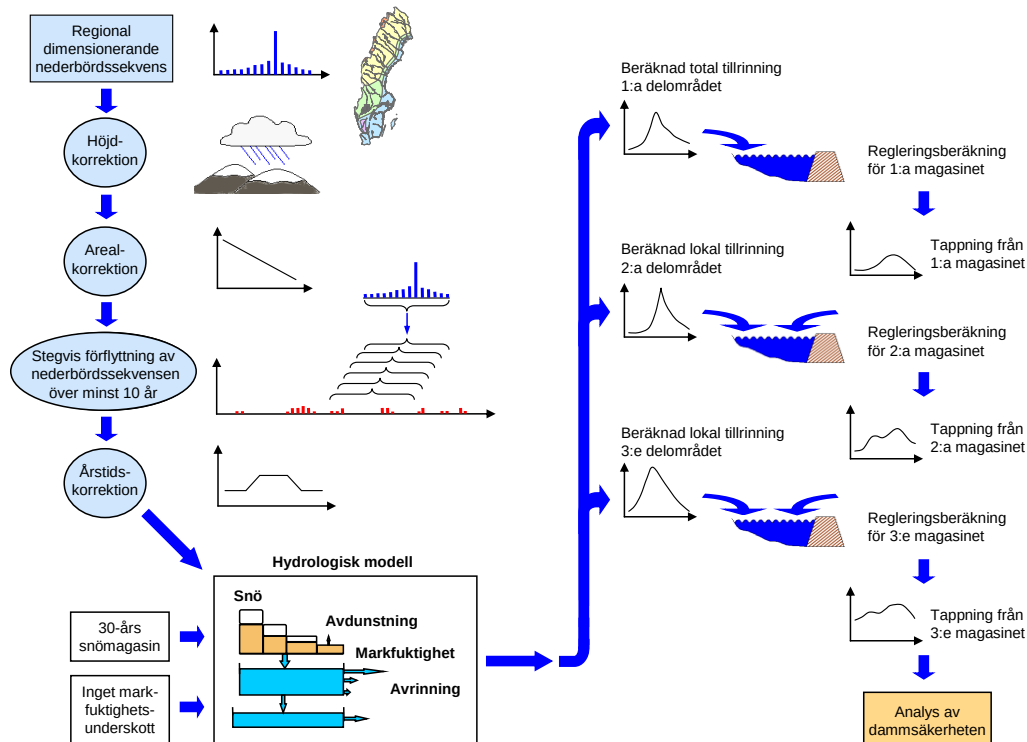
Beräkningarna av de dimensionerande flödena har utförts enligt riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar för dammar i riskklass I (Svensk Energi m.fl., 2007). Metoden bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver följderna av att extremt stora nederbörds mängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. I beräkningarna antas stora nederbörds mängder samverka med effekterna av en snörik vinter. Beräkningsgången illustreras schematiskt i Figur 1.

För beräkningarna har HBV-modellen kalibrerats mot långa tidsserier av tillrinningsdata på ett sådant sätt att särskild vikt lagts vid att beskriva höga flödestoppar så bra som möjligt. Därefter har frekvensanalys gjorts av det modellberäknade snömagasinets årliga maximivärden, och snöns maximala vatteninnehåll med en återkomsttid av 30 år har bestämts. Detta värde på snötäcket läggs i dimensioneringsberäkningarna in på det senaste datum vid vilket snötäcket kulminerat under något av de analyserade åren. I beräkningen antas samma relativa fördelning av snön mellan områdets höjdzoner och delområden, som modellberäkningen uppvisat under det år då snötäcket varit maximalt.

Vid dimensioneringsberäkningens början antas att hela området saknar markvattenunderskott. Enligt riktlinjerna ska regleringsmagasinen antas vara avsänkta till nivåer som bedöms vara rimliga när vårfloden förväntas bli kraftig. I den aktuella analysen har magasinen i samtliga fall antagits avsänkta till sänkningsgränsen. Produktionstappning har antagits ske i den omfattning som bedömts vara rimlig när en kraftig vårflod förutses. Förutom produktionstappningen, antas ingen övrig tappning ske fram tills dess att dämningensgräns uppnås. Vid nivåer över dämningensgräns antas maximal avbördning ske genom utskoven. När dämningensgräns uppnåtts, vilket förutsätts ske senast 1 augusti, tillåts magasinen inte avsänkas igen förrän den kritiska flödesperioden är över.

I dimensioneringsberäkningen beräknas de kritiska flöden och vattenstånd som uppstår då den verkliga observerade nederbörden under olika perioder byts ut mot en dimensionerande nederbördssekvens. Den 14 dagar långa nederbördssekvensen ersätter verklig nederbörd vid olika tidpunkter, genom att sekvensens start under beräkningen förskjuts i tiden i steg om ett dygn i taget. Varierande nederbördssekvens används för olika regioner i landet och den dimensionerande nederbörden korrigeras även för höjd över havet och för avrinningsområdets storlek. Dessutom tillkommer en årstidskorrektion som definieras på olika sätt i de olika regionerna. När den mest intensiva nederbörden antas falla (under dygn nio i sekvensen), förutsätts att produktionstappningen faller bort och att avbördning bara kan ske genom utskov.

Enligt riktlinjerna skall beräkningen av det dimensionerande flödet baseras på en klimatserie om minst 10 år.



Figur 1. Schematisk beskrivning av beräkningsgången vid beräkning av ett flöde av flödesdimensioneringsklass I enligt Riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar.

2.3 Regleringsstrategier

Regleringen har i beräkningarna av flöden enligt flödesdimensioneringsklass I beskrivits enligt riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svensk Energi m.fl., 2007). I korthet innebär detta

- Befintliga magasin är avsänkta till nivåer som bedöms rimliga när vårfloden förväntas bli kraftig.
- När magasinet börjar fyllas, förutsätts att minimitappning sker i föreskriven omfattning, samt att den produktionstappning pågår, som bedöms rimlig vid en prognos som förutser kraftig vårflod. Om förtappning kan antas bli föreskriven, får hänsyn tas till denna.
- När den mest intensiva nederbörden antas falla (från dygn 9 i nederbördssekvensen och därefter), förutsätts att produktionstappningen faller bort och att avbördning bara kan ske genom dammanläggningens utskov (maximal avbördningsförmåga enligt avbördningskurva).

- Efter det att de i systemet ingående magasinen nått sina respektive dämningssgränser, vilket förutsätts ha skett senast den 1 augusti, antas magasinen inte bli avsänkta under dämningssgränsen förrän den för regionen kritiska flödesperioden är över.

I detta projekt har dessutom vissa förenklingar av regleringsrutinerna tillämpats:

- Nivån som bedöms vara rimlig när vårfloden förväntas bli kraftig har alltid förutsatts vara sänkningsgräns.
- Avsänkningssfasen beskrivs inte i regleringsstrategin.
- Produktionstappning har alltid antagits vara 20 % av utbyggnadsvattenföringen.
- Ingen förtappning har använts i beräkningarna.

2.4 Beräkningssystem

Inom projektets ram har ett omfattande arbete lagts ned på att utveckla hanterbara beräkningssystem. De två viktigaste systemen och deras användningsområde sammanfattas nedan:

- Automatisering av kalibreringen av HBV-modellen för flera testområden, flera kalibreringspunkter, flera tidsperioder och med flera olika kalibreringskriterier. I systemet ingår även rutiner för att spara och sammanställa resultat från kalibreringsberäkningarna.
- Automatisering av beräkningar med HBV-modellen enligt flödesdimensioneringsklass I för olika tidsperioder för dimensioneringsberäkningen och snöberäkningen samt rutiner för att spara resultat och loggfiler.

2.5 Meteorologiska databaser

För simuleringarna har två olika databaser med nederbörd och temperatur använts som indata till HBV-modellen.

För samtliga beräkningsområden har nederbörd och temperatur hämtats från den databas, PTHBV, som SMHI byggt upp med särskild inriktning på hydrologisk modellering. Databasen innehåller interpolerade värden på nederbörd och temperatur, vilka anges i ett rikstäckande rutnät med upplösningen 4x4 km. Data från SMHIs meteorologiska stationer har i denna databas interpolerats till gridrutorna med hjälp av en geostatistisk interpolationsmetod som benämns optimal interpolation. Metoden innebär att hänsyn tas både till stationernas avstånd från beräkningsrutan och till deras inbördes korrelation. För att i interpolationen kunna beskriva den rumsliga variationen, utnyttjas höjddata samt (för nederbörd) även information om

typisk vindriktning och vindstyrka under olika delar av året och i olika delar av landet. Detaljer om hur interpolationen utförs beskrivs av Johansson (2000) och Johansson och Chen (2003 och 2005). I databasen har den observerade nederbörden även korrigerats för mätförluster, som framför allt orsakas av att en del av nederbörden blåser förbi mätaren. Mätförlusterna har beräknats enligt Alexandersson (2003). I dessa beräkningar tas hänsyn till hur vindutsatt mätstationen är och om nederbörden faller som snö eller regn, vilket avgörs utifrån temperaturen.

Samtliga beräkningsområden har också drivits med nederbörd och temperatur från meteorologiska stationsdata. I detta fall viktas olika stationer till ett arealmedelvärde för beräkningsmodellens olika delområden i modelluppsättningen. Detta är den metod som historiskt har använts på SMHI, innan tillkomsten av PTHBV och som också har använts för merparten av de genomförda dimensioneringsberäkningarna i Sverige. Då det är en mer arbetskrävande metod att tillämpa och också beroende av subjektiva bedömningar används denna metod alltmer sällan i det operationella arbetet på SMHI.

2.6 Beräkningsområden

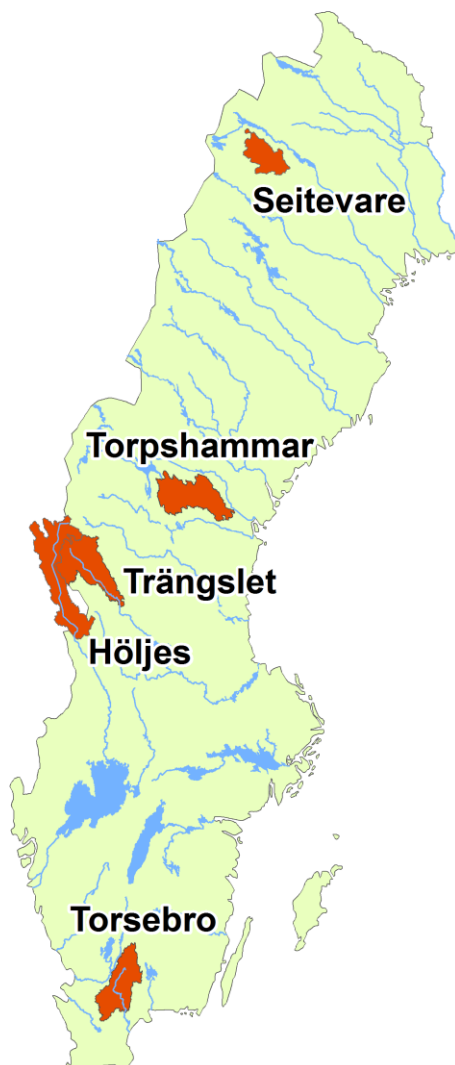
För analysen av osäkerheter vid beräkning av flöden i flödesdimensioneringsklass I valdes följande fem testområden ut:

1. **Seitevare**, längst upp i Lilla Luleälv i nordvästra Lappland. Dimensioneringsberäkningar har utförts för tillrinningen till Seitevare kraftverk som ligger vid utloppet av Tjaktajauremagasinet. Tillrinningsområdet, som är cirka 2300 km² stort, sträcker sig upp i fjälltrakterna och består till cirka 5 % av glaciärer. Områdets medelhöjd är högre än 900 m.ö.h. och endast cirka 25 % av tillrinningsområdet är skogsbevuxet. Magasinet innehåller 1650 miljoner m³ reglerbar vattenvolym.
2. **Torpshammar** representerar förhållandena i skogslandskapen i södra Norrlands inland. Det dimensionerande flödet har bestämts vid Torpshammars kraftverk som ligger vid Grönstadammen i Ljungans största biflöde, Gimån. Tillrinningsområdet är cirka 4 300 km² stort. Magasineringen sker huvudsakligen längre upp i vattendraget, uppströms Leringsforsdammen, i sjön Leringen med en reglerbar volym av 360 miljoner m³.
3. **Trängslets** tillrinningsområde är cirka 4 500 km² stort och ligger i Dalarnas län, där en del sträcker sig in i Norge. Området är en del av Dalälvens avrinningsområde och utgör den översta delen av Österdalälven. Trängsletdammen är Sveriges högsta damm och dämmer upp den 7 mil långa Trängsletsjön med en reglerbar volym av 880 miljoner m³.
4. **Höljesdammens** tillrinningsområde är cirka 6002 km² stort och ligger i Klarälven. Merparten av tillrinningsområdet ligger

i Norge (Trysilleva). Höljesdammen har en reglerbar volym av 270 miljoner m³.

5. **Torsebro kraftverk** ligger i Helge å, cirka en mil uppströms Hammarsjön och Kristianstad. Tillrinningsområdet är cirka 3 700 km² stort. Höga flöden i Helge å och därmed högt vattenstånd i Hammarsjön har stundtals hotat översvämma det lågt liggande Kristianstad. Påverkan av regleringar i Helge å bedöms vara liten vid höga flöden. Därför har inga regleringar inkluderats i beräkningarna.

Samtliga områden har även använts i systerprojektet (Andréasson, m.fl. 2011), varifrån de modelluppsättningar som använder areella indata (PTHBV) har hämtats. Modelluppsättningar med manuellt viktade stationer har satts upp inom detta projekt. Samtliga områden återfinns på kartan i Figur 2.



Figur 2. Beräkningsområden för osäkerhetsberäkningar av flöden i flödesdimensioneringsklass I.



Figur 3. Flygbild över Seitevare-dammen med Tjaktjajaure-magasinet nästan uppe vid dämningssgräns (överst till vänster, copyright Vattenfall, fotograf Jennie Nilede), utskov i Torpshammar med pågående spill (överst till höger, copyright Vattenfall, fotograf Erik Nordström), flygbild över Trängslet-dammen (mitten till vänster, copyright Fortum, fotograf Stefan Sjödin), Höljesdammen med pågående spill (mitten till höger) och dammlucka i Torsebro (nederst, copyright E.ON).

2.7 Kalibrering

Vid kalibrering av den hydrologiska modellen optimeras modellens parametrar för att uppnå bästa möjliga överensstämmelse mellan beräknad och observerad tillrinning. Den hydrologiska modellens förmåga att beskriva höga flödesförlopp utgör grunden för dimensioneringsberäkningar och beror av flera faktorer såsom modellstruktur, kalibreringsmetod och val av tidsperiod för kalibreringen. Även vidareutveckling av befintliga hydrologiska modeller påverkar därför dimensioneringsresultaten.

I Flödeskommitténs riktlinjer (Svensk Energi m.fl., 2007) är det inte stipulerat vilken hydrologisk modell som ska användas för dimensioneringsberäkningarna. I stort sett alla, enligt riktlinjerna genomförda dimensioneringsberäkningar, har ändå gjorts med HBV-modellen. Det är känt att vidareutvecklingen av HBV-modellen till HBV-96 (Lindström m.fl., 1997) resulterade i högre toppflöden än den modellversion som användes före HBV-96. Detta medför även högre dimensionerande flöden i dimensioneringsberäkningar genomförda med HBV-96 jämfört med den tidigare modellversionen (Olofsson och Sanner, 1998).

Kalibreringen av modellen är mycket viktig för det slutliga dimensioneringsresultatet. Olika tidsperioder ger något olika kalibreringar och det är viktigt att se till att den använda kalibreringsperioden innefattar år med höga flöden. Det har också skett en utveckling av de kriterier som används vid kalibreringen. Numera används ofta ett så kallat "toppfelskriterie", som särskilt belönar modellens förmåga att beskriva höga flödestoppar.

Flera känslighetsanalyser av parametervärdenas betydelse för det dimensionerande flödet genomfördes under riktlinjernas första år (se t.ex. Bergström m.fl., 1992; Harlin, 1992; Harlin och Kung 1992; Harlin m.fl., 1992 och Lindström m.fl., 1992). Dessa utgick ofta från en referenskalibrering från vilken ett fåtal av modellens parametrar sedan varierades. I denna studie har olika modellkalibreringar tagits fram genom att använda olika varianter av de utvärderingsvillkor (kriterier) som används för att optimera modellens parametrar i den automatiska kalibreringen (Tabell 1). Dimensioneringsberäkningar har sedan genomförts utifrån respektive kalibrerings bästa parameteruppsättning. Tanken med detta angreppssätt är att skapa en uppsättning modeller, som var och en vore tänkbar för tillämpning vid en dammdimensionering, endast genom små förändringar av hur modellens kalibrering genomförs.

Det är här viktigt att understryka att det vid en kalibrering för verklig användning vid en dimensionering alltid görs en manuell granskning av modellens prestanda, framförallt vad det gäller dess beskrivning av de högsta observerade flödeshändelserna. Denna manuella kontroll har i detta projekt inte varit möjlig då det har genomförts ett stort antal kalibreringar.

Vid en automatisk kalibrering av HBV-modellen sker vanligen kalibreringen uppifrån och ned, det vill säga först kalibreras volymparametrar (regn och snö), därefter markparametrar (vattenhållande förmåga och avdunstning) och

sist responsparametrar (recession och fördröjning av avrinning). Beroende på vilka gränser dessa parametrar tillåts variera inom, och hur kalibreringskriteriet formuleras, erhålls olika parameteruppsättningar.

Tabell 1. Sammanfattning av de sex olika kalibreringsvarianter som har använts. De tre sista kolumnerna avser vikter som har använts för det viktade kalibreringskriteriet. HBV96 – SFCF, har enbart använts för modeller med areella indata.

Nr	Beteckning	Responsrutin	Vikt R^2	Vikt volym	Vikt toppvärde
1	HBV96 - Ref	HBV96	1,00	0,10	0,15
2	HBV96 – Ny ordning	HBV96	1,00	0,10	0,15
3	HBV96 – alfa 0,6	HBV96	1,00	0,10	0,15
4	HBV96 – R^2	HBV96	1,00	0,10	
5	HBV96 - SFCF	HBV96	1,00	0,10	0,15
6	HBV76 - Ref	HBV76	1,00	0,10	0,15

Nedan följer en kort sammanfattning av vad som utmärker de olika kalibreringsvarianterna.

1. HBV96 – Ref

Denna kalibrering utgår från SMHI:s metodbeskrivning för kalibrering av HBV-modellen för flödesdimensionering och inkluderar toppfelskriteriet.

2. HBV96 – Ny ordning

I denna kalibrering har modellens parametrar optimerats i en annan ordning än vad som normalt görs om SMHI:s metodbeskrivning följs. Istället för att optimera parametrarna i ordningen (volymparametrar – markparametrar – responsparametrar) så har volymparametrarna optimerats sist. I övrigt samma som HBV96 – Ref.

3. HBV96 – Alfa 0,6

Skiljer sig från HBV96 – Ref, enbart genom en begränsning av responsparametern *Alfa* till maximalt 0,6. *Alfa* är exponenten i responsrutinen och styr hur höga flöden extrapoleras. Det är praxis att *Alfa* tillåts variera mellan 0 och 1,0 vid flödesdimensionering.

4. HBV96 – R^2

Samma som HBV96 – Ref, men inkluderar inte toppfelskriteriet i kalibreringen.

5. HBV96 - SFCF

Parametern *SFCF* står för snöfallskorrektion. Denna används normalt tillsammans med parametern för regnnederbördskorrektion (*RFCF*) vid kalibrering då stationsindata utnyttjas. När areella indata nyttjas har redan hänsyn tagits för skillnader i mätförlust av snö- och regnnederbörd och de tillåts normalt inte ha olika värden. Då snömagasinet är en så central del i dimensioneringsberäkningen tillåts det ibland avsteg från denna regel för att uppnå den bästa kalibreringen. I detta fall har *SFCF* tillåtits variera oberoende av *RFCF*. Har enbart tillämpats på modeller med areella indata då modeller med stationsindata redan tillämpar denna uppdelning av nederbörds-korrektion. I övrigt samma kalibrering som HBV96 – Ref.

6. HBV76 – Ref

Motsvarande HBV96 – Ref, men med kalibrering av den ursprungliga responsrutinen, enligt SMHI:s interna metodbeskrivning (parametrarna *K0*, *K1* och *UZL*). Skillnaden mellan HBV96 och HBV76 är egentligen större än enbart responsrutinen, men det torde vara denna förändring som har den största betydelsen för dimensioneringsberäkningar.

2.8 Tidsperioder

Enligt riktlinjerna ska den fullständiga dimensioneringsperioden göras över minst en 10-årsperiod som är representativ för klimatförhållandena i området.

En sammanställning av dimensioneringsberäkningar som utförts fram till 2003 (många med dimensioneringsperiod under 1980-talet), visar att det dimensionerande tillfället ofta uppnåddes något av åren 1979, 1981, 1984, 1985, 1987 eller 1991 (Brandesten m.fl., 2006). SMHI:s erfarenhet är att även år 2000 ofta är dimensionerande. Då nya beräkningar inkluderar indata från den senaste 20-årsperioden betyder det att alla år som är längre tillbaka i tiden än så inte beaktas i beräkningen. Exempelvis om en beräkning genomförs år 2009 och använder indata för dimensioneringsberäkningen från perioden 1989-2008, betyder detta att flera år som tidigare varit kända för att generera det dimensionerande tillfället inte längre är med i beräkningen och att ett annat år kommer att ge det dimensionerande tillfället. Detta är en följd av tillämpningen av riktlinjerna som kan orsaka skillnader i det beräknade dimensionerande flödet.

Olika värden på det dimensionerande snötäcket kommer att erhållas om det beräknas från olika tidsperioder. Normalt ska så lång tidsperiod som möjligt användas för snöberäkningen, vilket gör att detta beräknade värde ändras över tiden när fler år inkluderas i frekvensanalysen.

För att studera effekten av att välja olika tidsperioder har perioder enligt Tabell 2 använts. Vad det gäller kalibrering så har den tillgängliga perioden med indata delats i två oberoende delar. För snöberäkningen har tre olika tidsperioder använts. Vanligtvis används så lång period som möjligt, vilket här representeras av perioden 1961-2009. Perioden 1961-1990 representerar vad som fanns tillgängligt då Flödeskommitténs riktlinjer kom och då de flesta av dagens gällande dimensioneringsberäkningar genomfördes. Perioden 1980-

2009 representerar en senare period som skulle kunna påverka resultatet om vi har en trend i klimatet.

För dimensioneringsperioden har tre perioder använts. Perioderna har valts ut så att de är lika långa. Perioden 1977-1992 är närmast vad som kan tänkas var tillgängligt då flertalet av genomförda dimensioneringsberäkningar gjordes i början på 1990-talet. Perioden 1993-2008 är närmast vad som skulle gälla för en dimensioneringsberäkning som genomförs på SMHI idag (de sista 20 åren).

Samtliga modeller har beräknats med kombinationen av tidsperioder som ges av variant 1 och 2. Variant 3 till 6 har använts för modellerna med kalibreringsvarianten HBV96 – Ref, med syftet att studera betydelsen av snöberäkningsperiod (variant 3 och 4) och dimensioneringsperiod (variant 5 och 6).

Tabell 2. Sammanställning av tidsperioder och kombinationer som har använts för olika steg i beräkningen. Den faktor som studeras av varje variant är markerad med fet stil.

	Kalibrering	Snöberäkning	Dimensionering
Variant 1	1983-2004	1961-2009	1993-2008
Variant 2	1962-1983	1961-2009	1993-2008
Variant 3	1983-2004	1961-1990	1993-2008
Variant 4	1983-2004	1980-2009	1993-2008
Variant 5	1983-2004	1961-2009	1977-1992
Variant 6	1983-2004	1961-2009	1961-1976

2.9 Analysmetod

Grundtanken för att påvisa varje enskild faktors betydelse för beräkningsresultatet har varit att jämföra beräkningarna parvis, där endast en faktor skiljer de två beräkningarna åt (se Tabell 3). Exempelvis har dimensioneringsberäkningen med stationsdata och PTHBV-data jämförts för varje beräkning där de övriga faktorerna varit desamma (kalibreringsperiod, snöberäkningsperiod, dimensioneringsperiod och kalibreringsvariant). På så sätt har många fler jämförelser än det faktiska antalet dimensioneringsberäkningar kunnat göras, då varje dimensioneringsberäkning kan användas för mer än en parvis jämförelse.

För att slutligen kunna jämföra den totala spridningen i beräkningsresultaten har samtliga dimensioneringsberäkningar jämförts mot samma referensdimensionering. Denna referensdimensionering har utgjorts av kalibreringen HBV96 – Ref med tidsperioder för beräkningen enligt *variant 1* i Tabell 2. Denna dimensioneringsberäkning är den som ligger närmast vad som skulle använts vid en verklig dimensioneringsberäkning om den hade genomförts av SMHI idag.

För de fyra första faktorerna i Tabell 3 (A-D) har de parvisa jämförelserna centrerats kring medelvärdet av de jämförda differenserna. För dessa

jämförelser saknar därför tecknet på differenserna betydelse. De jämförs enbart med syftet att beskriva spridningen i det erhållna beräkningsresultatet.

För de fyra övriga faktorerna (E-H) har jämförelserna gjorts med verklig avvikelse från jämförelsevärdet. Dessa jämförs således med syftet att även studera tecknet på differensen i resultatet.

I Tabell 3 visas antalet jämförelser som har legat till grund för utvärderingen av respektive faktors betydelse för osäkerheten i beräkningsresultaten. För den undersökta faktorn kalibreringsperioder har exempelvis 11 parvisa jämförelser gjorts. Dessa kommer från de 5 olika kalibreringsvarianterna med stationsindata och de 6 kalibreringsvarianterna med areella indata, vilka har jämförts parvis för två olika tidsperioder för kalibrering (1962-1983 och 1983-2004)

Tabell 3. Antal kombinationer av beräkningar som har jämförts för respektive faktor som har varierats för att beräkna bidraget till osäkerheten i slutresultatet.

Variant	Faktor som varierats	Antal parvisa jämförelser
A	Kalibreringskriterier	14
B	Kalibreringsperioder	11
C	Snöperioder	4
D	Dimensioneringsperioder	4
E	HBV96 – HBV76	4
F	PTHBV – Station	10
G	Med toppfelsvikt – utan toppfelsvikt	4
H	Totalt (Avvikelse referensdimensionering)	31

I kapitel 3.2 jämförs de beräknade osäkerheterna som beror på metodiken för flödesdimensionering med de osäkerheter som beror på framtida klimatförändringar så som de har beräknats Elforsks klimat-projekt (Andréasson m.fl. 2011). Referensdimensioneringen för analysen av klimatosäkerheten är inte densamma som den som har använts i detta projekt. Istället har varje klimatsimulering jämförts med sin egen referenssimulering för historiskt klimat så som det beskrivs av klimatmodellen.

3 Resultat

3.1 Beräkningsmetodikens osäkerheter

I det följande redovisas de osäkerheter som uppstår på grund av kalibreringskriterier, kalibreringsperioder, snöperiod, dimensioneringsperiod

modellversion och val av indata. Osäkerheter som orsakas av framtida klimatförändringar behandlas i kapitel 3.2.

Notera att det inte är möjligt att peka ut var i det beräknade utfallsrummet som den för respektive anläggning gällande dimensioneringen skulle placera sig.

Figurerna visar sammanfattningar av skillnader i det resulterande dimensionerande vattenståndet från samtliga dimensioneringsberäkningar för respektive område. För de fyra första faktorerna i figurerna till vänster om det lodräta strecket (A-D) har de parvisa jämförelserna centrerats kring medelvärdet av de jämförda differenserna. Dessa jämförelser illustrerar således spridningens storlek för respektive faktor.

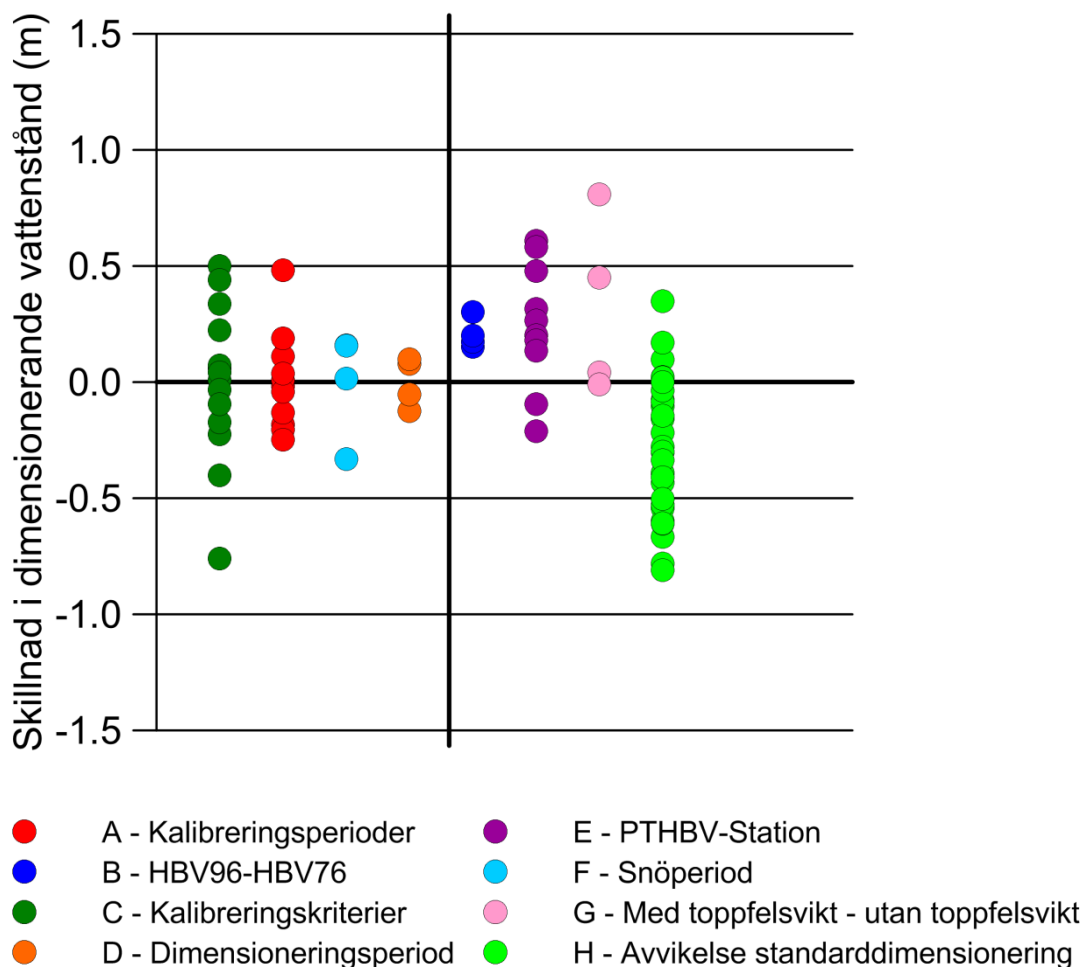
För de fyra övriga faktorerna till höger om det lodräta strecket (E-H) har jämförelserna gjorts med verklig avvikelse från jämförelsevärdet. Avvikelseernas tecken (+ eller -), dvs. om de avviker åt det positiva eller negativa hållet, kan därmed användas för att beskriva om det finns någon systematik i avvikelsen.

Seitevare

En sammanfattning av skillnader i det resulterande dimensionerande vattenståndet från samtliga dimensioneringsberäkningar för Seitevare visas i Figur 4. För Seitevare har metoden för kalibrering störst betydelse följt av valet av kalibreringsperiod. Period för beräkning av dimensionerande snötäcke har betydelse, men den är betydligt mindre. Valet av dimensioneringsperiod har liten betydelse för beräkningsresultatet.

För Seitevare ger HBV96 genomgående högre värden än HBV76, även om skillnaden är förhållandevis liten. Val av indata har stor betydelse. Majoriteten pekar mot högre värden från PTHBV-modellerna. Modeller som har kalibrerats med toppfelsvikt ger antingen samma resultat eller avsevärt högre dimensionerande vattenstånd.

Den totala spridningen i beräkningsresultaten ges av den sista faktorn, avvikelse referensdimensionering, och är drygt 1 m (1,16 m). Referensdimensioneringen placerar sig i den övre delen av detta intervall.



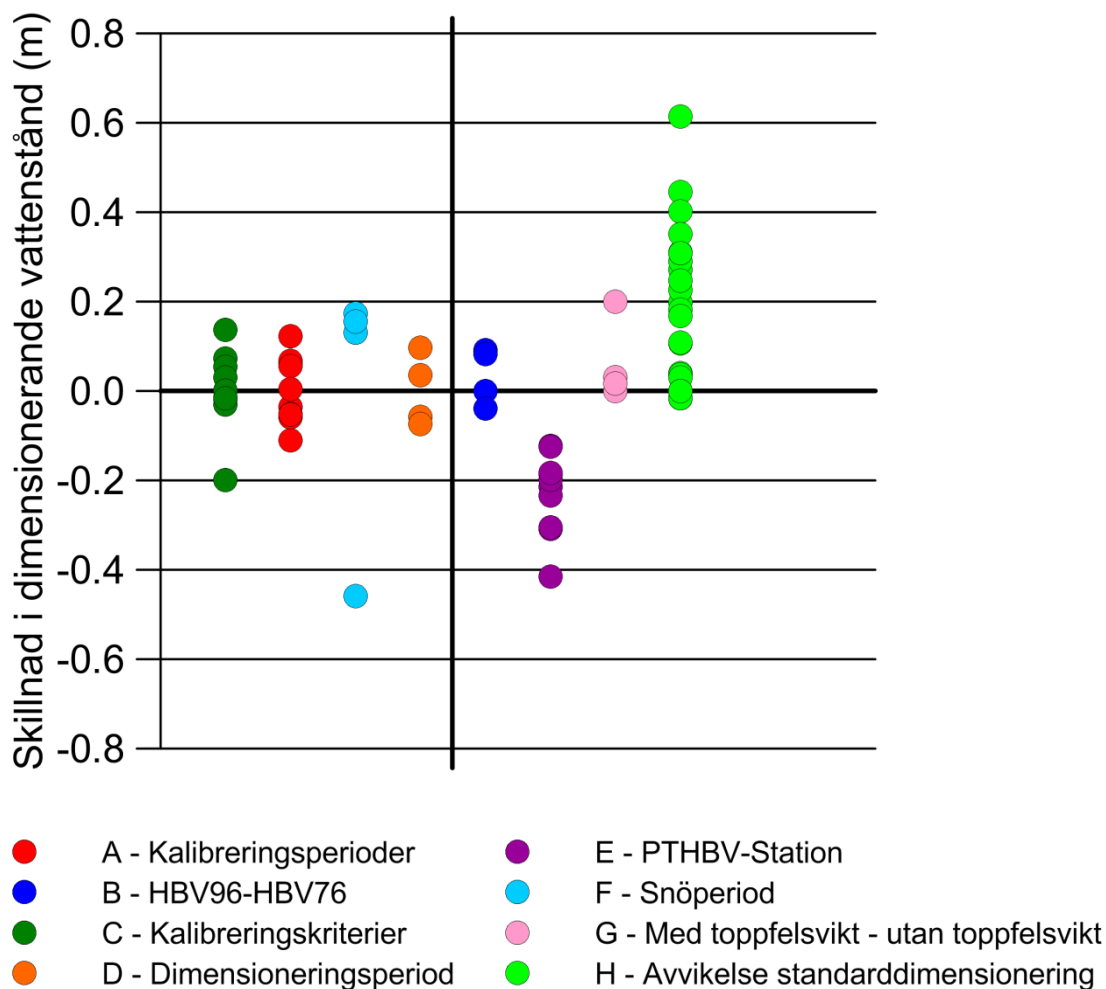
Figur 4. Spridning i dimensionerande vattenstånd för **Seitevare** för olika faktorer som varierats. De fyra första faktorerna (A-D) har normaliserats så avvikelsen beräknas från medelvärdet av simuleringarna. De fyra sista faktorerna (E-H) visar även vilket tecken differensen har.

Torpshammar

En sammanfattning av skillnader i det resulterande dimensionerande vattenståndet från samtliga dimensioneringsberäkningar för Torpshammar visas i Figur 5. För Torpshammar har metoden för kalibrering ungefär samma betydelse som valet av kalibreringsperiod och dimensioneringsperiod. Ingen av dessa faktorer påverkar resultatet i någon större utsträckning. Period för beräkning av dimensionerande snötäcke kan ha stor betydelse, vilket visas av att en beräkning avviker mycket från de övriga.

För Torpshammar är skillnaden mellan HBV96 och HBV76 liten och inte systematisk. Val av indata har stor betydelse och PTHBV-indata ger generellt lägre dimensionerande vattenstånd än stationsindata. Modeller som har kalibrerats med toppfelsvikt ger antingen samma resultat eller högre dimensionerande vattenstånd.

Den totala spridningen i beräkningsresultaten, avvikelse referensdimensionering, är drygt 0,6 m (0,63 m). Referensdimensioneringen placerar sig i den nedre delen av detta intervall.



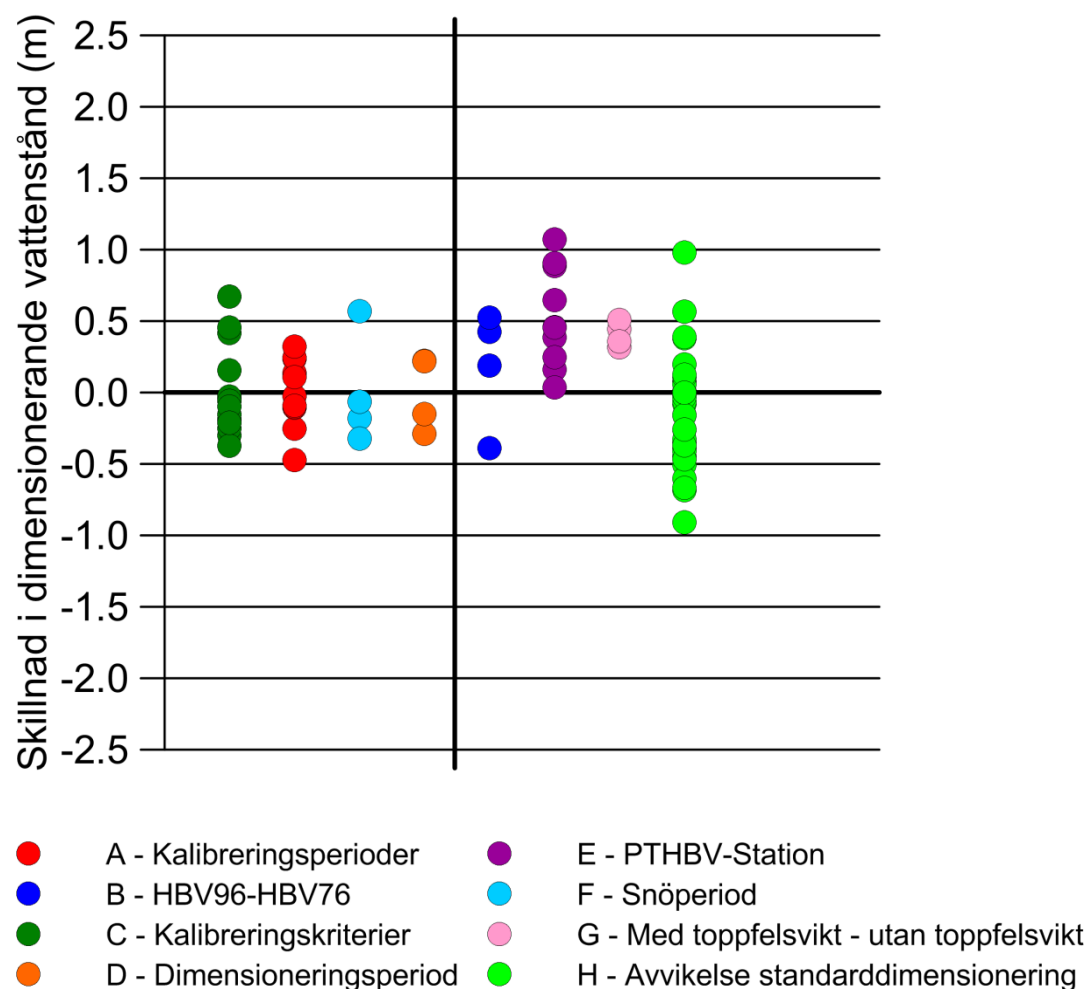
Figur 5 Spridning i dimensionerande vattenstånd för **Torpshammar** för olika faktorer som varierats. De fyra första faktorerna (A-D) har normaliserats så avvikelserna beräknas från medelvärdet av simuleringarna. De fyra sista faktorerna (E-H) visar även vilket tecken differensen har.

Trängslet

En sammanfattning av skillnader i det resulterande dimensionerande vattenståndet från samtliga dimensioneringsberäkningar för Trängslet visas i Figur 6. Variationen mellan beräkningarna är generellt stor. Metoden för kalibrering, val av kalibreringsperiod och snöperiod resulterar alla i stor spridning i resulterande dimensionerande vattenstånd. Dimensioneringsperioden har också betydelse för beräkningsresultatet, men spridningen i resultat är mindre.

För Trängslet är skillnaden mellan beräkningar utförda med HBV96 och HBV76 stor. Flertalet beräkningar pekar mot högre värden med HBV96, men i ett fall ger HBV76 högre värde. Val av indata har stor betydelse och PTHBV-indata ger generellt högre dimensionerande vattenstånd än stationsindata. Modeller som har kalibrerats med toppfelsvikt ger entydigt högre dimensionerande vattenstånd.

Den totala spridningen i beräkningsresultaten, avvikelse referensdimensionering, är hela 1,9 m (1,89 m). Referensdimensioneringen placerar sig i mitten av detta intervall.



Figur 6. Spridning i dimensionerande vattenstånd för **Trängslet** för olika faktorer som varierats. De fyra första faktorerna (A-D) har normaliserats så avvikelsen beräknas från medelvärde av simuleringarna. De fyra sista faktorerna (E-H) visar även vilket tecken differensen har.

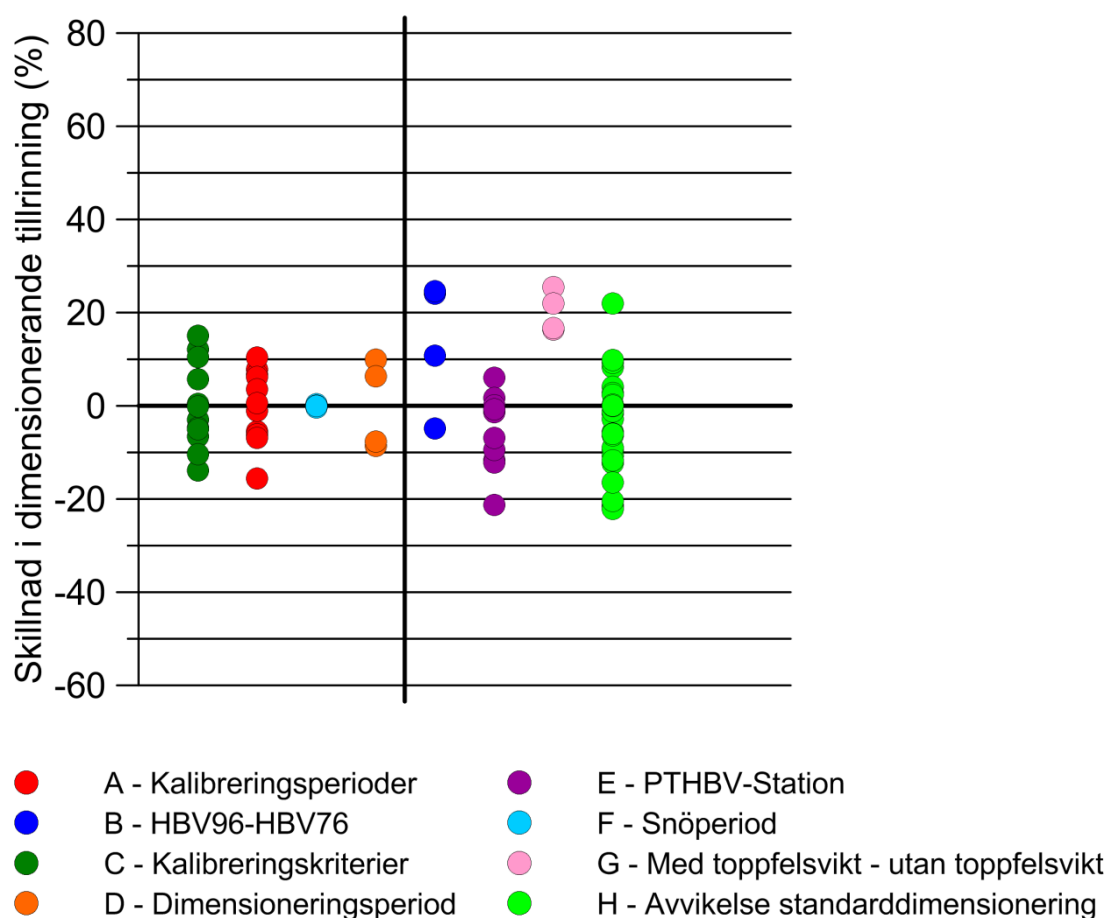
Torsebro

Till skillnad från övriga beräkningsområden har den dimensionerande *tillrinningen* analyserats för Torsebro, som saknar magasin i anslutning till kraftverket.

En sammanfattning av skillnader i den resulterande dimensionerande tillrinningen från samtliga dimensioneringsberäkningar för Torsebro visas i Figur 8. För Torsebro har metoden för kalibrering och valet av kalibreringsperiod stor betydelse för resultatet. Även val av dimensioneringsperiod har betydelse, men den är något mindre. Period för beräkning av dimensionerande snötäcke verkar helt sakna betydelse.

För Torsebro är skillnaden mellan beräkningar utförda med HBV96 och HBV76 stor. Flertalet beräkningar pekar mot högre värden med HBV96, men i ett fall ger HBV76 högre värde. Val av indata påverkar resultatet, men skillnaden är inte entydig. Modeller som har kalibrerats med toppfelsvikt ger generellt högre dimensionerande tillrinning.

Den totala spridningen i beräkningsresultaten ges av den sista faktorn, avvikelse referensdimensionering, och varierar från + 22% till -22% jämfört med referensdimensioneringen.



Figur 8. Spridning i dimensionerande flöde för **Torsebro** för olika faktorer som varierats. De fyra första faktorerna (A-D) har normaliserats så avvikelserna beräknas från medelvärden av simuleringarna. De fyra sista faktorerna (E-H) visar även vilket tecken differensen har.

3.2 Analys av klimatosäkerheten

I detta kapitel jämförs osäkerheterna som beror på metodiken för flödesdimensionering med de osäkerheter som beror på framtida klimatförändringar så som de har beräknats inom Elforsks klimatprojekt (se Andréasson m.fl. 2011).

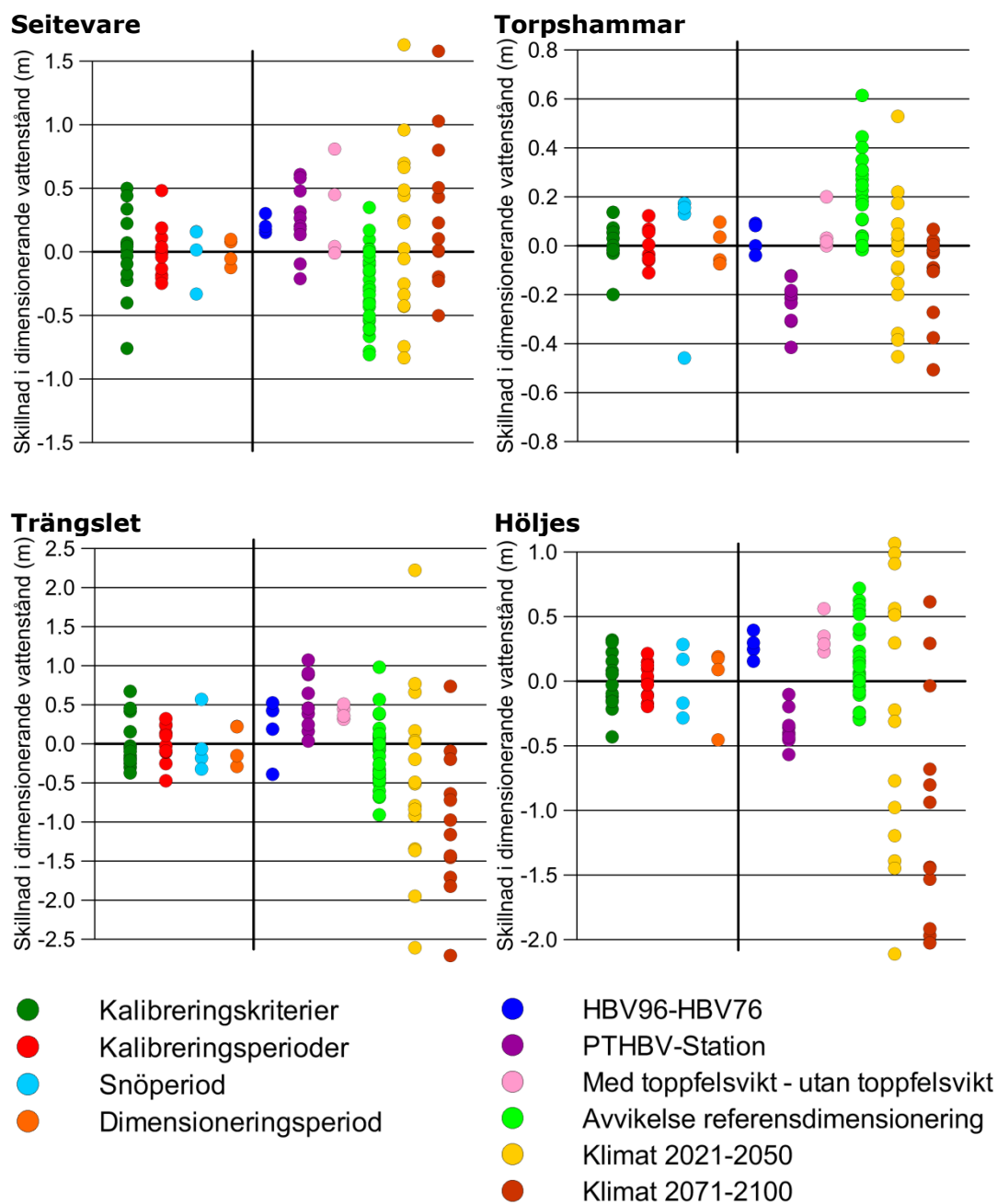
I Figur 9 visas en sammanställning av dimensioneringsberäkningarnas avvikelser i dimensionerande vattenstånd för Seitevare, Torpshammar, Trängslet och Höljes. I tillägg till den informationen som finns i Figur 4 till Figur 7 visas här även den spridning i beräkningsresultat som ges av dimensioneringsberäkningar för framtida klimat i mitten på seklet och för slutet på seklet (resultat hämtat från Andréasson m.fl. 2011). Den totala

spridningen i beräkningsresultaten som beror på metodikens inbyggda osäkerheter ges av faktorn *avvikelse referensdimensionering*. I Tabell 4 har avvikelserna i dimensionerande vattenstånd orsakade av beräkningsmetodiken jämförts med avvikelserna orsakade av framtida klimatförändringar.

Resultaten visar genomgående att den osäkerhet som tillförs beräkningen av dimensionerande vattenstånd på grund av beräknade klimatförändringar är större än de osäkerheter som orsakas av beräkningsmetodiken. De största osäkerheterna uppstår för samtliga områden i det korta framtidsperspektivet (mitten på seklet).

I Figur 10 och Tabell 5 visas motsvarande sammanställningar för dimensionerande tillrinning. Även i detta fall uppstår den största spridningen då klimataspekten beaktas.

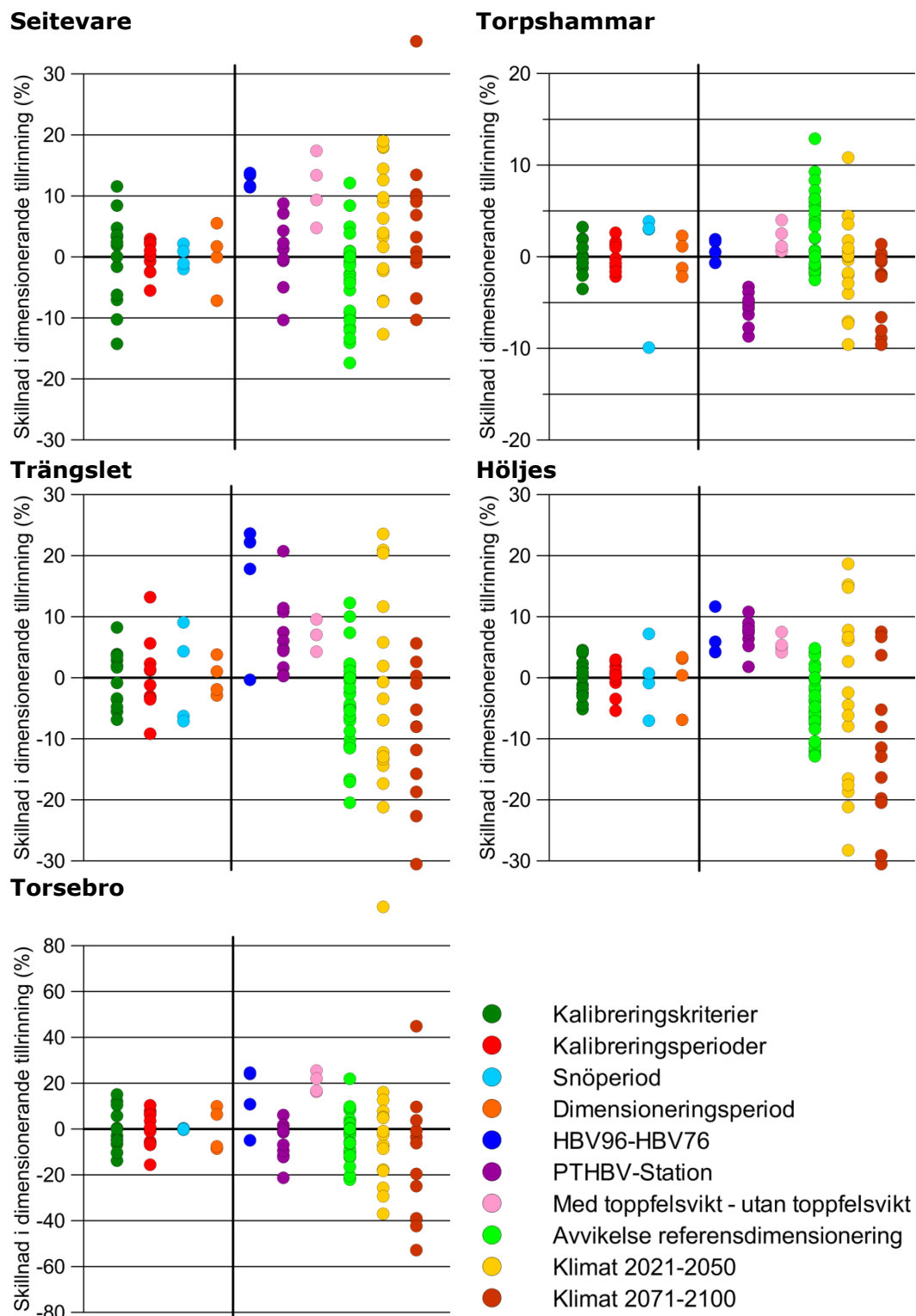
Medelvärde högst upp till vänster (rad 1, kolumn 1) i Tabell 4 och Tabell 5 visar hur mycket medelvärdet av samtliga beräkningar avviker från referensdimensioneringen.



Figur 9. Spridning i dimensionerande vattenstånd för olika faktorer som varierats. I tillägg till dessa visas även variationen som orsakas av klimatets förändring för 16 klimatscenarier 2021-2050 och 12 klimatscenarier 2071-2100.

Tabell 4. Sammanställning av avvikelser i det dimensionerande vattenståndet från referensdimensioneringen och avvikelser orsakat av klimatförändringar för mitten på seklet och slutet på seklet redovisat som medel, max, min samt den totala spridningen.

		Medel	Max	Min	Spridning
S e i t e v a r e	Avvikelse från referensdimensionering (m)	-0.30	0.35	-0.81	1,16
	Avvikelse klimat 2021-2050 (m)	0.14	1.63	-0.83	2,46
	Avvikelse klimat 2071-2100 (m)	0.31	1.58	-0.50	2,08
T o r p s h a m m a r	Avvikelse från referensdimensionering (m)	0.17	0.61	-0.02	0,63
	Avvikelse klimat 2021-2050 (m)	-0.04	0.53	-0.45	0,98
	Avvikelse klimat 2071-2100 (m)	-0.12	0.07	-0.51	0,58
T r ä n g s l e t	Avvikelse från referensdimensionering (m)	-0.16	0.98	-0.91	1,89
	Avvikelse klimat 2021-2050 (m)	-0.45	2.22	-2.61	4,83
	Avvikelse klimat 2071-2100 (m)	-1.02	0.74	-2.71	3,45
H ö l j e s	Avvikelse från referensdimensionering (m)	0.12	0.72	-0.30	1,02
	Avvikelse klimat 2021-2050 (m)	-0.31	1.07	-2.11	3,18
	Avvikelse klimat 2071-2100 (m)	-0.99	0.61	-2.03	2,64



Figur 10. Spridning i dimensionerande tillrinning för olika faktorer som varierats. I tillägg till dessa visas även variationen som orsakas av klimatets förändring för 16 klimatscenarier 2021-2050 och 12 klimatscenarier 2071-2100.

Tabell 5. Sammanställning av avvikelser i den dimensionerande tillrinningen från referensdimensioneringen och avvikelser orsakat av klimatförändringar för mitten på seklet och slutet på seklet redovisat som medel, max, min samt rangordning av avvikelserna beroende på dess inbördes storlek.

		Medel	Max	Min	Spridning Rangordning
S e i t e v a r e	Avvikelse referensdimensionering (%)	-3	17	-12	3
	Avvikelse klimat 2021-2050 (%)	-5	19	-13	2
	Avvikelse klimat 2071-2100 (%)	-6	35	-10	1
T o r p s h a m m a r	Avvikelse referensdimensionering (%)	3	3	-13	2
	Avvikelse klimat 2021-2050 (%)	1	11	-10	1
	Avvikelse klimat 2071-2100 (%)	3	1	-10	3
T r ä n g s l e t	Avvikelse referensdimensionering (%)	-4	20	-12	3
	Avvikelse klimat 2021-2050 (%)	2	24	-21	1
	Avvikelse klimat 2071-2100 (%)	9	6	-31	2
H ö l j e s	Avvikelse referensdimensionering (%)	-4	13	-5	3
	Avvikelse klimat 2021-2050 (%)	3	19	-28	1
	Avvikelse klimat 2071-2100 (%)	11	8	-31	2
T o r s e b r o	Avvikelse referensdimensionering (%)	-5	22	-22	3
	Avvikelse klimat 2021-2050 (%)	1	97	-37	1
	Avvikelse klimat 2071-2100 (%)	14	45	-53	2

4 Diskussion och slutsatser

Den genomförda studien har syftat till att på ett systematiskt sätt skatta bidraget till den totala osäkerheten i beräknade dimensionerande nivåer och flöden. Det har dock inte varit möjligt att ta med alla tänkbara källor till osäkerheter. Exempelvis uppstår osäkerheter även beroende på hur regleringen vid dimensioneringsberäkningen beskrivs. Studien har inkluderat olika typer av meteorologiska indata, men har inte beaktat de osäkerheter som också finns i de tillrinningsserier som den hydrologiska modellen har kalibrerats mot.

För att kunna utvärdera ett så stort beräkningsunderlag som har tagits fram inom projektet har det inte varit möjligt att manuellt granska och justera kalibreringarna. Vid en verklig dimensioneringsberäkning genomförs alltid en okulär besiktning av modellens förmåga att korrekt beskriva de högsta observerade flödestopparna. Denna okulära besiktning bidrar troligen till att minska skillnader mellan olika modellkalibreringar i det verkliga fallet.

För de parvisa jämförelserna har olika antal beräkningar kunnat genomföras för olika källor till osäkerheter. Denna skillnad i antal kan också påverka den spridning som erhållits för olika källor. Samma förhållande gäller även för den skattade klimatosäkerheten där fler klimatscenarier varit tillgängliga för det korta framtidsperspektivet.

De genomförda dimensioneringsberäkningarna har jämförts med en referensdimensionering. Denna referensdimensionering ska inte förväxlas med den för respektive anläggning gällande dimensioneringsberäkningen. Det är till och med så att det inte går att säga var i det beräknade osäkerhetsintervallet den gällande dimensioneringsberäkningen skulle placera sig. Referensdimensioneringen är den dimensionering som har mest gemensamt med vad som skulle ha använts vid en dimensioneringsberäkning om den genomförts idag.

Den referensdimensionering som har använts som utgångspunkt ger i genomsnitt **3%** högre dimensionerande tillrinning jämfört med genomsnittet av samtliga beräkningar (varierar från -3% till +5% beroende på område). Övriga beräkningar avviker som mest **± 22%** från denna beräkning. I övrigt dras följande huvudsakliga slutsatser:

- Spridningen i beräkningsresultaten är generellt större på grund skillnaderna mellan klimatscenarier än för övriga studerade faktorer sammantaget.
- Skillnaden i resultat mellan att använda areella indata eller stationsindata slår åt olika håll även i närliggande områden (jfr Höljes/Trängslet).
- Användning av en särskild anpassning av modellens förmåga att beskriva de högsta flödestopparna under kalibreringsperioden (toppfelsvikt) ger i allmänhet högre dimensionerande tillrinning med variation från +1% till +25%.

- HBV96 ger i allmänhet högre dimensionerande tillrinning än HBV76 med variation från -5% till +25%.
- Det förefaller som om valet av dimensioneringsperiod orsakar minst osäkerhet i beräkningsresultaten.

Dessa slutsatser visar för det första att det kan finnas skäl att se över beräkningar gjorda med tidiga versioner av HBV-modellen och enkla kalibreringsmetoder. De visar också att det är viktigt att beakta klimatosäkerheten vid framtida flödesdimensioneringar.

Av praktiska skäl är det troligt att areella indata (PTHBV) kommer att bli standard vid flödesdimensionering i framtiden. Dessutom är detta en förutsättning för att kunna tillämpa den metodik som har utvecklats inom Elforsks klimatprojekt (Andréasson m.fl. 2011).

5 Referenser

- Alexandersson, H. (2003). Korrektur av nederbörd med enkel klimatologisk metodik. SMHI Meteorologi, nr 111, Norrköping.
- Andréasson, J., Bergström, S., Gardelin, M., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K. och Rosberg, J. (2011). Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring – Metodutveckling och scenarier. Elforsk rapport 11:25.
- Bergström, S. (1995) The HBV Model. In: Singh, V.P. (ed.). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources publications, Highlands Ranch, Colorado, pp. 443-476.
- Bergström, S., Harlin, J. & Lindström, G. (1992) Spillway design floods in Sweden. I: New guidelines. Hydrological Sciences Journal, 37, 5, 505-519.
- Brandesten, C.-O., Larsson, P. and Uljanova, M. (2006). Dammsäkerhet - Uppföljning dimensioneringsberäkningar (Dam safety – Follow-up of design flood assessments, in Swedish). Elforsk rapport 06:10
- Harlin, J., Lindström, G., Sundby, M. och Brandesten, C.-O. (1992) Känslighetsanalys av Flödeskommitténs Riktlinjer för dimensionering av hel älv. SMHI Rapport Hydrologi nr. 38.
- Harlin, J. & Kung, C.S. (1992) Parameter uncertainty and simulation of design floods in Sweden. Journal of Hydrology, Vol. 137, pp. 209-230.
- Harlin, J. (1992) Modelling the hydrological response of extreme floods in Sweden. Nordic Hydrology, Vol. 23, pp. 227-244.
- Johansson, B. och Chen, D. (2003). The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling. International Journal of Climatology, 23, 1523-1535.
- 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.

- Johansson, B. (2000). Areal Precipitation and Temperature in the Swedish Mountains. An evaluation from a hydrological perspective. *Nordic Hydrology*, 31, 207-228.
- Lindström, G. & Harlin, J. (1992) Spillway design floods in Sweden. II: Applications and sensitivity analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 37, 5, 521-539.
- Lindström, G., Gardelin, M., Johansson, B., Persson, M. och Bergström, S. (1996) HBV-96 – En areellt fördelad modell för vattenkrafthydrologin. SMHI, Rapporter Hydrologi, nr 12, Norrköping.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. and Bergström, S., 1997. Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology* 201, 272-288.
- Olofsson, J. och Lindström, G. (2000). Förbättring av automatkalibrering i HBV-96 – toppvärden. SMHI-rapport nr 2000-9.
- Olofsson, J. och Ryman, J. (2003). Areella indata för bättre prognoser. SMHI rapport nr 2003-18.
- Olofsson, J. och Sanner, H. (1998). Skillnader i dimensionerande flöden mellan gamla modellen och nya HBV-96. SMHI uppdragsrapport för Vattenregleringsföretagens Samarbetsorgan (VASO), Norrköping 1998.
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007). Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar – Nyutgåva 2007.



ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535
www.elforsk.se