



Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar

Utgåva 2015

Svensk Energi, Svenska kraftnät och SveMin (2015)
Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för
dammanläggningar - Utgåva 2015
ISBN 978-91-976721-6-0

Omslagsbild: Porjus kraftverk i Stora Luleälv. Foto: Sten Bergström, SMHI

Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar

Utgåva 2015

**Svenska kraftnät
Svensk Energi
SveMin**

Förord

Detta dokument är en reviderad utgåva av de riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar, som utgavs av Flödeskommittén år 1990 och som efter en första omarbetning utgavs år 2007. I denna andra omarbetning har bl.a. riktlinjernas tillämpning i ett föränderligt klimat tydliggjorts och vikten av att dimensioneringsberäkningar för dammanläggningar i ett vattendrag hanteras samlat i en gemensam modell framhålls. Vidare har avsnitt om dokumentation av dimensioneringsberäkningar och tillhörande bilagor med beräkningsexempel utvecklats.

Riktlinjerna vänder sig i första hand till dammägare och till konsulter som utför dimensioneringsberäkningar. De utgör inte rättsligt bindande normer eller föreskrifter.

Riktlinjerna har fastställts av Svenska kraftnät, Svensk Energi och SveMin. Dessa huvudmän följer tillsammans med Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI), genom den s.k. Flödeskonferensen, riktlinjernas tillämpning och ändamålsenlighet samt föreslår vid behov ändringar och tillägg. Flödeskonferensen tillsatte 2011 en arbetsgrupp för utveckling av dokumentation av dimensioneringsberäkningar. 2013 gavs arbetsgruppen i uppdrag att ansvara för en uppdatering av riktlinjerna. Arbetsgruppen har sedan 2013 haft följande sammansättning: Maria Bartsch (Svenska kraftnät, ordförande), Jonas German (SMHI), Peter Lindström (Skellefteälvens Vattenregleringsföretag), Agne Lärke (Fortum Generation AB) samt Björn Norell och Camilla Hamberg (Vattenregleringsföretagen).

Stockholm i mars 2015



Mikael Odenberg
Generaldirektör
Svenska kraftnät



Pernilla Winnhed
Verkställande direktör
Svensk Energi



Per Ahl
Verkställande direktör
SveMin

Innehållsförteckning

SUMMARY	1
SAMMANFATTNING	2
1 BAKGRUND	3
2 FÖRÄNDRINGAR JÄMFÖRT MED 1990 OCH 2007 ÅRS RIKTLINJER .	5
2.1 Förändringar i 2007-års utgåva.....	5
2.2 Förändringar i 2015-års utgåva.....	6
3 TILLÄMPNING	7
4 INDELNING I FLÖDESDIMENSIONERINGSKLASSER.....	9
5 DIMENSIONERING AV DAMMANLÄGGNINGAR I FLÖDESDIMENSIONERINGSKLASS I	11
5.1 Metodik.....	11
5.2 Dataunderlag	13
5.3 Modellstruktur	13
5.4 Modellkalibrering.....	13
5.5 Snömagasin	13
5.6 Starttillstånd	14
5.7 Regleringsstrategi.....	14
5.8 Avbördningsförmåga	14
5.9 Flödesdämpning.....	15
5.10 Nederbördssekvens	15
5.11 Dimensionerande flöden och vattenstånd	19
5.12 Lokal dimensionering	20
5.13 Vindpåverkan	20
5.14 Analys.....	20
5.15 Stora sjöar med begränsad tappningsförmåga	20
6 DIMENSIONERING AV DAMMANLÄGGNINGAR I FLÖDESDIMENSIONERINGSKLASS II	21
6.1 Metodik.....	21
6.2 Dataunderlag	22
6.3 Avbördningsförmåga	22
6.4 Vindpåverkan	22
6.5 Analys.....	22
7 UTFÖRANDE OCH DOKUMENTATION.....	23

7.1	Dokumentation av beräkning av klass I-flöden.....	23
7.2	Dokumentation av beräkning av 100-årstillrinning.....	24
REFERENSER.....		25
BILAGOR BERÄKNINGSEXEMPEL.....		27
BILAGA A PRINCIPIELL BERÄKNINGSGÅNG FÖR ETT VATTENDRAGSSYSTEM		28
BILAGA B DIMENSIONERINGSBERÄKNING FÖR DAMM I FLÖESDIMENSIONERINGSKLASS I		31
BILAGA C BERÄKNING AV 100-ÅRSTILLRINNING FÖR DAMM I FLÖESDIMENSIONERINGSKLASS I OCH II		42

Summary

The Swedish design flood guidelines were originally published by The Swedish Committee for Design Flood Determination (Flödeskommittén) in 1990. The application of the guidelines is an important upgrade of the Swedish dam safety criteria regarding extreme floods. The following report constitutes a third revised edition of the guidelines. The intent of the original guidelines is basically unchanged here and the methods have not been revised. The new edition does, however, address how to apply the guidelines to a changing climate and includes recommendations for documentation and examples of design flood calculations.

Design flood determination is based on a classification into two categories depending on the potential consequences of a dam failure during flood conditions. Flood Design Category I should be applied to dams for which failure could cause loss of life or personal injury, serious damage to infrastructure, property or the environment, or other large economic damage. Flood Design Category II should be applied to dams for which failure could only cause considerable damage to infrastructure, property or the environment. Other dams, that in the case of dam failure cannot cause such damages mentioned above, belong to Category III.

Design flood determination in Flood Design Category I should be based on hydrological modelling techniques that describe the effects of extreme precipitation under particularly unfavourable hydrological conditions. In the calculations, extreme precipitation is assumed to coincide with a previous wet autumn, heavy snowmelt and wet soils. Critical flows and water levels are simulated over a period of at least ten years, by systematic replacement of observed precipitation in different areas, using a moving 14-day design precipitation sequence. The different flood generating factors, each within limits of what has been observed, are combined to give the most critical total effect on the river system. With all unfavourable conditions assumed to occur at the same time, the result is very extreme floods.

Dams in Flood Design Category I should be able to withstand and pass a flood determined by this method without serious damage to the structure. The return period of floods cannot be estimated using this approach. However, comparisons with frequency analysis indicate that such floods, on average, have return periods exceeding 10,000 years. An additional stipulation is that dams in Flood Design Category I should also in general be able to discharge inflow with a return period of at minimum 100 years at full supply level.

Dams in Flood Design Category II should in general be able to discharge inflow with a return period of at minimum 100 years at full supply level. Frequency analysis is applied for this determination. Dams in Flood Design Category II should also, without serious damage to the structure, be able to withstand and pass a reasonable higher flood determined by cost-benefit analysis.

The guidelines do not set discharge criteria for Category III dams.

Sammanfattning

Flödeskommitténs riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar publicerades ursprungligen 1990 i Flödeskommitténs slutrapport. Tillämpning av riktlinjerna innebär en angelägen uppgradering av svensk dammsäkerhet vad avser förmågan att klara extrema flöden. Föreliggande rapport utgör en tredje omarbetad utgåva av dessa riktlinjer. Innebörden av de ursprungliga riktlinjerna kvarstår i huvudsak oförändrad och beräkningsmetodiken har inte reviderats. Dock behandlas riktlinjernas tillämpning i ett föränderligt klimat och rekommendationer om dokumentation av dimensioneringsberäkningar och beräkningsexempel tillkommit.

Vid bestämningen av de dimensionerande flödena tillämpas en indelning i flödesdimensioneringsklasser, som bygger på vilka konsekvenser dammbrott skulle kunna medföra i samband med höga flöden. Flödesdimensioneringsklass I tillämpas för dammanläggningar som i händelse av dammbrott skulle kunna medföra förlust av människoliv eller annan allvarlig personskada, allvarlig skada på infrastruktur, betydande miljövärde eller annan stor ekonomisk skadegörelse. Flödesdimensioneringsklass II tillämpas för dammanläggningar som, i händelse av dammbrott, skulle kunna medföra betydande skador endast på infrastruktur, egendom eller miljövärde. Övriga dammar, som vid dammbrott inte skulle medföra ovan nämnda skador, tillhör flödesdimensioneringsklass III.

Bestämning av det dimensionerande flödet i flödesdimensioneringsklass I bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver följderna av att extremt stora nederbördsmängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. I beräkningarna antas extrema nederbördsmängder samverka med en föregående blöt höst, kraftig snösmältning och vattenmättade markförhållanden. Kritiska flöden och vattenstånd simuleras under minst en tioårsperiod genom att den verkliga observerade nederbörden i det beräknade området successivt byts ut mot en 14 dygn lång dimensionerande nederbördssekvens. De olika flödesskapande faktorerna, vilka var och en för sig ligger inom ramen för vad som har inträffat, kombineras på det sätt som ger den mest kritiska samlade effekten på älvsystemet. Den samlade effekten, när de ogynnsamma förhållandena inträffar samtidigt, blir mycket extrema flöden.

Dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I ska, utan allvarlig skada på dammanläggningen, kunna motstå och framsläppa ett dimensionerande flöde som beräknas på detta sätt. Flödenas återkomsttid kan inte anges med denna metod, men jämförelser med frekvensanalys indikerar att flöden som beräknas på detta sätt i genomsnitt har återkomsttider över 10 000 år. Dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I ska vid dämningssgränsen i allmänhet även kunna framsläppa tillrinning med en återkomsttid av minst 100 år.

Dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass II ska vid dämningssgränsen i allmänhet kunna framsläppa tillrinning med en återkomsttid av minst 100 år. För bestämning av detta flöde tillämpas frekvensanalys. Dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass II ska dessutom, utan allvarlig skada på dammanläggningen, kunna motstå och framsläppa ett rimligt högre flöde som bestäms genom kostnads-/nyttoanalys.

Riktlinjerna berör inte avbördningskrav för dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass III.

1 Bakgrund

Våren 1985 beslutade vattenkraftindustrin och SMHI att tillsätta Flödeskommittén, med uppgift att utarbeta riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden vid kraftverks- och regleringsdammar. Kommittén, som bestod av representanter från vattenkraftindustrin och SMHI, inventerade de dimensioneringsmetoder som tidigare använts i Sverige och utomlands, och initierade bl.a. studier av observerade höga flöden och extrem arealnederbörd i Sverige. Man utvecklade ett system för klassificering av dammanläggningar med avseende på dammbrottskonsekvenser i samband med höga flöden. Vidare utvecklades en ny metod för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar i klassen med de största konsekvenserna vid dammbrott. Arbetet redovisades i Flödeskommitténs slutrapport (Flödeskommittén, 1990). Svenska Kraftverksföreningen och Statens Vattenfallsverk (numera Svensk Energis medlemsföretag) åtog sig att följa riktlinjerna och att ta ett aktivt ansvar vid tillämpningen av dessa. Riktlinjerna utformades ursprungligen för vattenkraftens dammanläggningar, men har även tillämpats för skyddsvallar och gruvdammar samt för bestämning av flöden vid översvänningskartering.

Arbetet med tillämpning av riktlinjerna har pågått sedan 1990 och innebär en angelägen uppgradering av svensk dammsäkerhet vad avser förmågan att klara extrema flöden. Ett särskilt samråd i form av den s.k. Flödeskonferensen etablerades 1991 mellan huvudmännen för riktlinjerna. Flödeskonferensens uppgift är att följa upp riktlinjernas ändamålsenlighet och hur deras tillämpning fortskrider samt vid behov föreslå ändringar och tillägg. Riktlinjerna kompletterades under de inledande åren med tre tillägg.

Efter publiceringen av Flödeskommitténs riktlinjer 1990 har metodiken för flödesberäkning presenterats i internationella tidskrifter (Norstedt m.fl., 1992; Bergström m.fl., 1992; Lindström och Harlin, 1992). Metoden har även diskuterats vid ett flertal vetenskapliga konferenser. Ett antal extrema flöden har också inträffat i reglerade älvar, bland annat åren 1995 och 2000. En sammanställning av utförda dimensioneringsberäkningar enligt Flödeskommitténs riktlinjer fram till år 2003 omfattar närmare 700 punkter i landet (Brandesten m.fl., 2006). Den samlade bedömningen är att riktlinjerna beskriver en extrem flödesutveckling på ett realistiskt sätt.

Händelserna kring Vänern under hösten och vintern 2000/2001 visade dock att riktlinjerna inte kan tillämpas kategoriskt för Vänern på grund av de speciella förhållanden som råder för detta system. På initiativ av Flödeskonferensen och i samarbete med gruvindustrin bildades år 2002 Kommittén för komplettering av Flödeskommitténs riktlinjer, KFR. Kommittén gavs i uppgift att göra en översyn av riktlinjerna avseende stora sjöar med begränsad tappningsförmåga, samt avseende gruvdammar och andra dammanläggningar med små tillrinningsområden. Kommittén fick dessutom i uppdrag att diskutera en övergripande strategi för hur klimatfrågan bör hanteras. Kommitténs arbete redovisades i en rapport som utgavs 2005 (KFR, 2005).

Sedan riktlinjerna ursprungligen publicerades i Flödeskommitténs slutrapport har frågan om hur ett framtida förändrat klimat kan komma att påverka extrema flöden blivit alltmer uppmärksammat. Ett flertal studier av tänkbara förändringar av de extrema flödena i Sverige har genomförts (Bergström m.fl., 2001; Gardelin m.fl., 2002;

Andréasson m.fl., 2004; Andréasson m.fl., 2007). Resultaten visar att en global uppvärmning troligen leder till lägre vårflöden i Sverige, men samtidigt medför en ökande risk för regnflöden under sommar, höst och vinter. Förändringen beror på att vintrarna förväntas bli kortare och mindre stabila, samt på att nederbörden beräknas öka, främst i västra och norra Sverige.

Svenska kraftnät, Svensk Energi och SveMin utsåg i samverkan KFR att ansvara för att ta fram en ny utgåva av riktlinjerna. Denna publicerades 2007 och ersatte riktlinjerna i Flödeskommitténs slutrapport och de därefter gjorda tilläggen. Den nya kortare utformningen innebär att allt bakgrundsmaterial inte kunde inkluderas. För fördjupning och mer information om riktlinjernas bakgrund hänvisas till Flödeskommitténs slutrapport och till KFRs rapport från 2005.

2008 bildades Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv genom en överenskommelse mellan Svenska kraftnät, Svensk Energi, SveMin och SMHI. Kommittén analyserade och värderade under 2008-2011 klimatfrågans betydelse för dammsäkerheten, och utarbetade en vägledning till dammägarna för utförande av framtida dimensioneringsberäkningar för dammar i ett klimat i förändring (Svenska kraftnät m.fl., 2011). Arbetet utfördes i nära samverkan med ett projekt för utveckling av metodik för att utnyttja klimatscenarier i dimensioneringsberäkningar (Andréasson m.fl., 2011a). Metoden för klimatanpassning av beräkningsmetoderna har därefter presenterats vid internationella konferenser (Bergström m.fl., 2012; Bergström och Andréasson, 2013; Andréasson m.fl., 2013). Elforsk har även låtit genomföra ett fortsättningsprojekt där resultat baserat på äldre klimatscenarier jämförs med nyare (Hallberg m.fl., 2014). Resultaten visar att den metodik som gemensamt utvecklats av kraftindustrin, Svenska kraftnät och SMHI är konsistent och ger goda resultat även för en ny generation klimatscenarier.

2010-2011 genomfördes även en studie av olika ingående osäkerheter vid dimensioneringsberäkningar (Andréasson m.fl., 2011b). Bl.a. drogs slutsatserna att det finns skäl att se över beräkningar gjorda med äldre modellversioner och att det är viktigt att beakta klimatosäkerheten vid framtida dimensioneringsberäkningar.

Flödeskonferensen tillsatte 2011 en arbetsgrupp med uppgift att bereda frågan om beskrivning av dammars flödesdimensionering och marginaler sett i ett vattendragsperspektiv. 2013 utökades arbetet till att genomföra en översyn av riktlinjerna som helhet, med huvudsaklig inriktning på tydliggörande av arbetssätt och dokumentation av dimensioneringsberäkningar. Syftet har även varit att inkludera andra resultat och erfarenheter som vunnits under senare år genom bl.a. Klimatkommitténs arbete. Som grund för översynen tog Flödeskonferensen även initiativ till att genomföra en uppföljning av riktlinjernas tillämpning fram t.o.m. år 2013 (German m.fl., 2014), med utgångspunkt från resultat från den tidigare uppföljningen och därefter lyfta frågeställningar.

2 Förändringar jämfört med 1990 och 2007 års riktlinjer

Detta dokument är en reviderad utgåva av de riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar, som ursprungligen utgavs av Flödeskommittén år 1990. I en första omarbetning som utgavs år 2007 inarbetades tillägg och ändringar som tillkommit efter 1990, och språket förenklades och förtydligades. De huvudsakliga uppdateringarna i denna andra omarbetning består i att avsnitt om dokumentation av dimensioneringsberäkningar har vidareutvecklats, att tillämpningsexempel har utvecklats och flyttats till bilagor samt att riktlinjernas tillämpning i ett föränderligt klimat har tydliggjorts. Beräkningsmetoden i riktlinjerna, och därmed innebörden av de ursprungliga riktlinjerna med tillägg, är dock i huvudsak oförändrad.

2.1 Förändringar i 2007-års utgåva

I 2007 års nyutgåva har bland annat slutsatserna i KFRs rapport från 2005 inarbetats. Det innebär att riktlinjernas tillämpning med hänsyn till förändringar av det framtida klimatet behandlades. Metoderna i riktlinjerna har dock inte reviderats och innebörden av de ursprungliga riktlinjerna med tillägg är i huvudsak oförändrad med följande undantag:

- Riktlinjernas giltighet för dimensionering enligt flödesdimensioneringsklass I har utökats till att omfatta tillrinningsområden ner till storleken 1 km² (avsnitt 5). Det innebär att riktlinjernas tillämpning för gruvindustrins dammanläggningar, som ofta har mycket små tillrinningsområden, har tydliggjorts. Vidare klargörs att riktlinjerna inte gäller för ett så långt tidsperspektiv som kan vara aktuellt för långtidsfasen för vissa gruvdammsdeponier (avsnitt 3).
- I nyutgåvan anges att dimensioneringsberäkning i flödesdimensioneringsklass I baseras på klimatdata som är representativa för förhållandena i området, medan det i Flödeskommitténs slutrapport angavs att de senast tillgängliga årens klimatdata används (avsnitt 5.2).
- De geografiska regionerna för riktlinjernas giltighet utökas till att omfatta hela Sveriges avrinningsområde, d.v.s. även delar av Norge och Finland (avsnitt 5.10).
- Reservation görs för riktlinjernas tillämpbarhet för Väneren och eventuella andra fall som liknar Väneren (avsnitt 5.15).
- Ingen skillnad görs mellan befintliga och nya dammanläggningar när det gäller anpassning av dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass II till ett genom kostnads-/nyttoanalys bestämt högre flöde än 100-årstillrinningen (avsnitt 6).
- De anvisningar som fanns i Flödeskommitténs slutrapport om tillfälliga dammar/fångdammar har inte tagits med i den nya utgåvan, då dessa anvisningar inte ansetts tillräckligt genomarbetade.

Vidare har begreppet *riskklass*, som användes i de ursprungliga riktlinjerna, ersatts med begreppet *flödesdimensioneringsklass* (avsnitt 4). Dessutom har avsnitt som berör dokumentation, kompetens, kvalitetskontroll samt tillämpningsexempel tillkommit (avsnitt 7 och 8).

2.2 Förändringar i 2015-års utgåva

I 2015 års utgåva har bland annat slutsatser och rekommendationer från Klimatkommittén samt relaterade utvecklingsprojekt om användningen av klimatscenarier för dimensioneringsberäkningar i ett klimat i förändring inarbetats (avsnitt 3). Vikten av samordning och fortlöpande informationsutbyte mellan dammägarna i ett älvsystem framhålls, samt att dimensioneringsberäkningar för dammanläggningar i ett vattendrag bör hanteras samlat i en gemensam modell (avsnitt 3).

Flödesdimensioneringsklass III har införts (explicit) för de anläggningar som faller utanför klass I och II, men krav på avbördningen anges inte i riktlinjerna (avsnitt 4).

Grundregeln att 100-årstillrinningen ska kunna avbördas vid dämmningsgränsen för såväl dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I som II har omformulerats med hänsyn till att denna kombination av tillrinning och nivå i magasinet i praktiken kan anses vara utesluten vid vissa anläggningar (avsnitt 4, 5 och 6).

Behovet av lämpliga beräkningsantaganden för uppströms liggande dammanläggningars magasinerings- och tappningskapacitet har tydliggjorts med hänsyn till att flödesdämpning inte bör överskattas, då det kan påverka dimensionerande flöde och vattenstånd för nedströms liggande dammanläggningar (avsnitt 5.8).

Vidare betonas värdet av god dokumentation och kvalitetssäkring av flödesdimensioneringsberäkningar. Beskrivningar om dokumentation av dimensioneringsberäkningar har utvecklats (avsnitt 7) liksom tillämpningsexempel och förklaringar av ingående poster i dokumentationen (avsnitt 8 har inarbetats i Bilagor med beräkningsexempel).

3 Tillämpning

Riktlinjerna är avsedda för bestämning av dimensionerande flöden för vattenkraftindustrins och gruvindustrins dammanläggningar. Beräkningsmetodiken kan tillämpas i valfri punkt i ett vattendrag, och har även kommit att tillämpas vid t.ex. kartering av översvämningsrisker och dimensionering av skyddsvallar för bebyggelse och infrastruktur.

Riktlinjerna kan tillämpas såväl för planerade dammanläggningar som för kontrollberäkningar av befintliga dammanläggningar.

Riktlinjerna berör inte temporära konstruktioner såsom fångdammar. Flödesdimensionering av dammanläggningar i ett så långt tidsperspektiv som kan vara aktuellt för efterbehandling av vissa gruvavfallsdeponier behandlas inte heller.

I beräkningsmetodiken betraktas älven som ett system, vilket ställer krav på informationsutbyte, samordning och samverkan mellan dammägarna. Eftersom tillrinningen till en anläggning påverkas av uppströms liggande anläggningar i vattendraget, så bör beräkningarna för samtliga anläggningar i ett vattendrag ligga i en och samma modell. Denna modell och beräkningarna bör förvaltas och hållas uppdaterad av en av anläggningsägarna gemensamt utsedd part. I Bilaga A redovisas ett exempel på principiell beräkningsgång för ett vattendragssystem.

Inom arbetet med beräkning av dimensionerande flöden och vattenstånd, simuleras processer och förlopp som en följd av meteorologiska och hydrologiska förutsättningar och händelser. Även strategier för reglering, damm- eller produktionsanläggningars fysiska förutsättningar och andra parametrar har stor betydelse. Det vill säga både parametrar som är möjliga, respektive inte möjliga, att styra har inverkan på resultatet av beräkningarna.

Vid eventuella förändringar av strategier för reglering eller fysiska förändringar vid damm- eller produktionsanläggningar, påverkas både beräkningsförutsättningarna och beräkningsresultatet. Det är därför av stor vikt att förändringar gällande hantering av magasin eller fysiska åtgärder, t.ex. ombyggnader av dammar, fångas upp i dimensioneringsarbetet. Dialogen mellan ägare av anläggningar och utförare av dimensioneringsberäkningar är nödvändig för att erhålla ett dimensioneringsunderlag av hög kvalitet.

Även det omvända förhållandet gäller, det vill säga att ägare av anläggningar får tillgång till viktigt underlag för dammsäkerhetsarbetet från dimensioneringsberäkningar. I det fortlöpande dammsäkerhetsarbetet ska hänsyn tas till alla faktorer som påverkar dammsäkerheten. I materialet från dimensioneringsberäkningar finns, utöver uppgifter om dimensionerande flöden och vattenstånd, många andra uppgifter som kan nyttjas i dammsäkerhetsarbetet och öka den hydrologiska förståelsen. Uppgifter som berör tidsfaktorer kan till exempel användas vid beredskapsplanering, åtgärdsplanering och planläggning av bemanning vid anläggningar. Underlag kan även nyttjas vid planering av den dagliga driften samt för bedömning av flödesutveckling och risker vid höga eller extremt höga flöden.

För att skapa förutsättningar för ett kvalitetssäkrat dammsäkerhetsarbete krävs god dokumentation av beräkningsförutsättningar och resultat från beräkningar av dimensionerande flöden och vattenstånd.

Bestämningen av de dimensionerande flödena bygger på simuleringar med hydrologiska modeller för flödesdimensioneringsklass I, och på statistiska metoder för flödesdimensioneringsklass II. I båda metoderna finns källor till osäkerhet som bör beaktas när resultaten utvärderas. Valet av tidsperiod som ligger till grund för beräkningarna har stor betydelse och bör ägnas särskild uppmärksamhet. Övriga osäkerhetsfaktorer diskuteras närmare i beskrivningen av beräkningsmetodiken (avsnitt 5.1 och 6.1).

Mot bakgrund av bland annat de osäkerheter som ett förändrat klimat tillför, bör beräkningsförutsättningarna ses över regelbundet. Jämförelser mellan inträffade flödessituationer och beräknade dimensionerande flöden bör utföras fortlöpande. Systemets känslighet för klimatförändringar bör analyseras genom utnyttjande av klimatscenarier. Härvid bör alternativa klimatscenarier som beskriver höga respektive mindre höga antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser användas. Vidare bör minst tre olika globala klimatmodeller utnyttjas, för vart och ett av de olika antagandena om framtida utsläpp av växthusgaser. För nedskalning till den regionala skalan bör en vetenskapligt förankrad och dokumenterad metod användas. För närvarande rekommenderas dynamisk nedskalning (Svenska kraftnät m.fl., 2011; Hallberg m.fl., 2014).

Nya förutsättningar kan leda till att dimensioneringsberäkningarna behöver revideras. Osäkerheter får dock inte hindra att nödvändiga dammsäkerhetshöjande åtgärder vidtas. På grund av dessa osäkerheter bör dessutom flexibilitet och marginaler skapas där så är rimligt.

4 Indelning i flödesdimensioneringsklasser

Vid bestämningen av dimensionerande flöden för dammanläggningar tillämpas en indelning i flödesdimensioneringsklasser. Denna indelning bygger på vilka konsekvenser dammbrott skulle kunna medföra i samband med höga flöden (Tabell 1). Dammanläggningar som i händelse av dammbrott inte skulle kunna orsaka skada för annan än dammägaren, berörs inte av riktlinjerna.

Tabell 1. Flödesdimensioneringsklasser för bestämning av dimensionerande flöden.

Flödesdimensioneringsklass	Konsekvens vid dammbrott (utöver de konsekvenser som följer av flödet i sig om dammen inte rasat)	Avbördningskrav
I	- Icke försumbar sannolikhet för förlust av människoliv eller annan allvarlig personskada - eller - Beaktansvärd sannolikhet för allvarlig skada på viktig trafikled, dammanläggning eller därmed jämförlig anläggning eller på betydande miljövärde - eller - Hög sannolikhet för stor ekonomisk skadegörelse	- Dammanläggningen ska, utan allvarlig skada på dammanläggningen, kunna motstå och framsläppa ett dimensionerande flöde, som beräknas enligt anvisningarna i avsnitt 5. - Dammanläggningen ska vid dämningssgränsen även kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år, om denna kombination av tillrinning och vattenstånd i magasinet inte kan anses vara utesluten, se anvisningar i avsnitt 6.
II	Icke försumbar sannolikhet för betydande skada på trafikled, dammanläggning eller därmed jämförlig anläggning, miljövärde eller annan än dammägaren tillhörig egendom i andra fall än som angetts vid flödesdimensioneringsklass I.	- Dammanläggningen ska vid dämningssgränsen kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år, om denna kombination av tillrinning och vattenstånd i magasinet inte kan anses vara utesluten, se anvisningar i avsnitt 6. - Dammanläggningen ska dessutom anpassas till ett flöde, som utan allvarlig skada på dammanläggningen, ska kunna motstås och framsläppas. Detta högre flöde bestäms genom kostnads-/nyttoanalys.
III	Försumbar sannolikhet för skada enligt ovan.	Berörs ej i dessa riktlinjer.

Klassificeringen bygger på marginalkonsekvensen, d.v.s. merskadan av ett dammbrott. Den skada som avses i detta sammanhang är den ökning av skadan på omgivningen som

en damms raserande innebär, utöver den skada som flödet skulle ha förorsakat, om dammen inte rasat.

Bedömningen av till vilken flödesdimensioneringsklass en viss dammanläggning ska hänföras görs från fall till fall. I första hand beaktas risken för människoliv och annan allvarlig personskada. Därefter beaktas ett dammbrotts konsekvenser för nedanförliggande dammanläggningar, allmänna anläggningar och enskild egendom. Till allmänna anläggningar hör viktiga trafikleder, exempelvis landsvägs- och järnvägsbroar, samt andra samhällsanläggningar av stor betydelse från allmän synpunkt, exempelvis anläggningar för vattenförsörjning, avloppsrening eller energiförsörjning. Miljön är ett annat allmänt intresse, som kan skadas i samband med en dammolycka. Både betydande skador på naturmiljön och boendemiljön, inklusive de sanitära förhållandena, samt historiska och kulturella värden beaktas i detta sammanhang. Konsekvenser i form av stor ekonomisk skadegörelse kan exempelvis gälla risk för översvämning av större industrianläggningar.

I arbetet med klassificering av dammanläggningar i flödesdimensioneringsklasser används begreppet sannolikhet. Med *hög sannolikhet* avses att det för en sakkunnig bedömare föreligger en hög grad av sannolikhet för att skadan ska inträffa. Med *icke försumbar sannolikhet* avses att det är långt ifrån säkert att förlusten eller skadan inträffar, men att man inte kan utesluta att så blir fallet utan bör räkna med den möjligheten. *Beaktansvärd sannolikhet* avses täcka området mellan hög och icke försumbar sannolikhet, och motsvarar närmast vad som i dagligt tal brukar kallas ganska stor ner till ganska liten sannolikhet.

När det exempelvis gäller fara för människoliv eller annan allvarlig personskada bedöms sannolikheten vara *hög* om det i riskområdet finns hus med åretruntboende. Sannolikheten bedöms vara *beaktansvärd* om några fritidshus finns i området och *icke försumbar* om där ligger en allmän campingplats. Består riskområdet enbart av skogsmark, där normalt ingen brukar vistas, får sannolikheten för att exempelvis en svampplockare eller en orienterare ska bli skadad anses så ringa att den är *försumbar*.

Sannolikheten för att en händelse ska inträffa kan beskrivas med händelsens återkomsttid. Under denna tidsperiod inträffar eller överträffas händelsen i genomsnitt en gång. Det innebär att sannolikheten för exempelvis ett 100-årsflöde är 1 på 100 för varje enskilt år. Eftersom man exponerar sig för risken under flera år blir den ackumulerade sannolikheten större. Sannolikheten för att ett 100-årsflöde inträffar under en 100-årsperiod är 63 %. Tabell 2 visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikheten.

Tabell 2. Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent.

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
100	39	63
1000	5,0	9,5
10 000	0,5	1,0

För dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I kan återkomsttiden för dimensionerande flöde, som beräknas enligt anvisningarna i avsnitt 5, inte anges. Jämförelser med frekvensanalys indikerar dock att flöden som beräknas på detta sätt i genomsnitt har återkomsttider över 10 000 år (Bergström m.fl., 2008).

5 Dimensionering av dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I

Dammanläggningar som dimensioneras enligt flödesdimensioneringsklass I ska utan allvarlig skada på dammanläggningen, kunna motstå och framsläppa ett dimensionerande flöde, som beräknas enligt anvisningarna i detta avsnitt. Grundregeln är också att ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år ska kunna framsläppas vid dämningssgränsen, om denna kombination av tillrinning och vattenstånd i magasinet inte kan anses vara utesluten. Detta krav har främst tillkommit för att minska risken för höga vattenstånd, som kan orsaka översvämningsskador längs magasinets stränder. För befintliga dammanläggningar får detta krav efterges i den mån det, med hänsyn till dammanläggningens säkerhet och med beaktande av risken för dämningsskador, bedöms tillräckligt att nämnda tillrinning kan framsläppas vid ett vattenstånd som överstiger dämningssgränsen. För bestämningen av 100-årstillrinningen tillämpas frekvensanalys enligt anvisningarna i avsnitt 6.

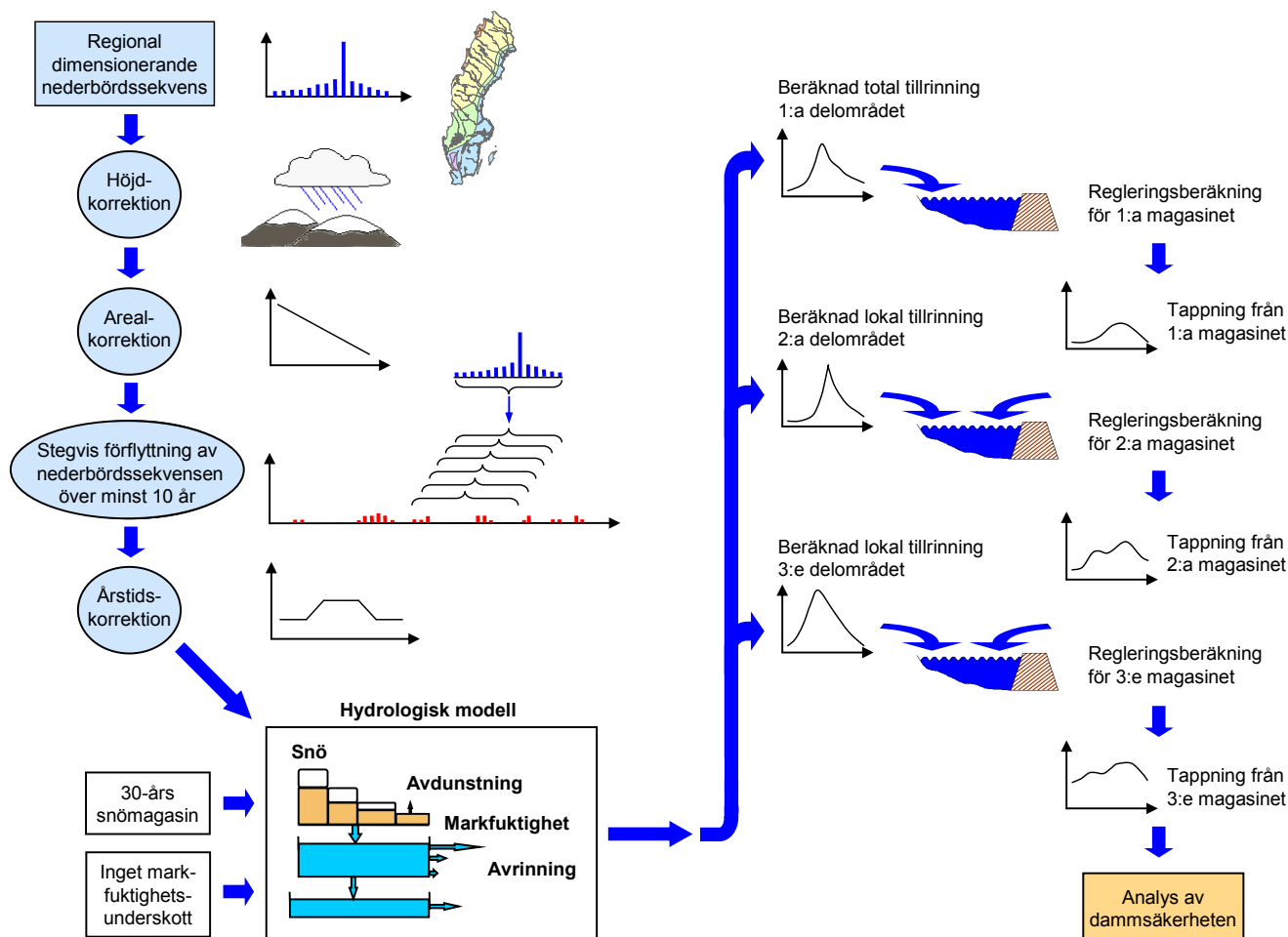
Den angivna metoden kan tillämpas för tillrinningsområden ner till storleken 1 km². För de minsta tillrinningsområdena finns det dock anledning att studera om högre tidsupplösning än ett dygn i beräkningarna kan ställa krav på högre avbördningsförmåga. Frågan har diskuterats i KFR, 2005.

5.1 Metodik

Metoden för bestämning av det dimensionerande flödet för dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver följderna av att extremt stora nederbörds mängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. Förloppet av det dimensionerande flödet simuleras med tillämpning av vedertagen hydrologisk modellteknik. I beräkningarna antas extrema nederbörds mängder samverka med effekterna av en snörik vinter med sen avsmältning, vilken även föregåtts av en nederbördsrik höst. Modellberäkningarna simulerar de kritiska flöden och vattenstånd som uppstår då den verkliga observerade nederbörden under olika perioder systematiskt byts ut mot en dimensionerande nederbördssekvens. Figur 1 beskriver översiktligt hur dimensioneringsberäkningarna utförs.

Dimensioneringsmetoden innebär att ett antal flödesskapande faktorer, vilka var och en för sig ligger inom ramen för vad som har inträffat, kombineras på det sätt som ger den mest kritiska samlade effekten på älvsystemet. Storleken av den dimensionerande nederbördssekvensen har fastställts genom analys av observerad extrem arealnederbörd i olika delar av Sverige, främst på observationer under åren 1881-1988 (Vedin och Eriksson, 1988). Observationer efter 1990 har i stort sett bekräftat rimligheten i dessa värden, även om en viss ökad frekvens av extrema regn har observerats (Alexandersson, 2005; Bergström m.fl., 2008; Wern 2012).

Den samlade effekten, när de ogynnsamma förhållandena inträffar samtidigt, blir mycket extrema flöden.



Figur 1. Principskiss över beräkning av dimensionerande flöde för en dammanläggning i flödesdimensioneringsklass I.

I många länder, där hydrologiska modellsimuleringar på liknande sätt utnyttjas för dimensioneringsberäkningar, används begreppen PMP (Possible Maximum Precipitation) och PMF (Probable Maximum Flood). PMP avser den teoretiskt sett största nederbörds mängd som är fysikaliskt möjlig över en viss areal, under en given tidsperiod och vid en viss tid på året. Definitionen av PMF varierar i olika länder, men avser ofta den mest kritiska kombinationen av meteorologiska och hydrologiska förhållanden som är rimlig i en given region. PMF bestäms genom olika typer av hydrologiska modellberäkningar där PMP används som indata. En principiell skillnad mellan dessa metoder och dimensionering av dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I enligt föreliggande riktlinjer, är att PMP-värdet bestäms teoretiskt och överskrider de nederbörds mängder som observerats, medan storleken av den dimensionerande nederbördssekvensen i flödesdimensioneringsklass I har bestämts genom analys av observerad extrem arealnederbörd.

Det finns flera källor till osäkerhet som bör beaktas när resultat från dimensioneringsberäkningar utvärderas och används. Resultaten påverkas av vilka meteorologiska och hydrologiska indata som används för modellberäkningarna, liksom av valet av hydrologisk modell. Modellens förmåga att beskriva högflödesförlopp utgör grunden för dimensioneringsberäkningen och beror av flera faktorer såsom modellstruktur,

kalibreringsmetod och val av tidsperiod för kalibreringen. Vidareutveckling av de hydrologiska modellerna, liksom utveckling av metoder för bestämning av indata, påverkar dimensioneringsresultaten, men bör minska osäkerheten. Hanteringen av regleringar och avbördning från naturliga sjöar kan ha stor betydelse för beräkningarna. Valet av beräkningsperiod för simulering av de extrema flödesförloppen, liksom för bestämning av det dimensionerande snötäcket, har också inverkan på beräkningsresultaten.

5.2 Dataunderlag

För de hydrologiska modellberäkningar, som utgör grunden för beräkning av flöden i flödesdimensioneringsklass I, behövs såväl meteorologiska som hydrologiska observationsserier. Kvaliteten i beräkningsresultaten beror av tillgång till och tillförlitlighet för detta dataunderlag. God kalibrering av den hydrologiska modellen kräver normalt cirka 10 års data. För att modellen ska kunna återge höga flöden på ett bra sätt bör dataserien omfatta såväl höga vårflöden som höga regnflöden. För modellberäkning av snömagasinet är det lämpligt att utnyttja en längre tidsperiod, eftersom ett maximalt snömagasin med återkomsttiden 30 år utnyttjas i dimensioneringsberäkningen.

Dimensioneringsberäkningen baseras på klimatdata som är representativa för klimatförhållandena i området och som omfattar en period av minst 10 år.

5.3 Modellstruktur

Modellens tillrinningsområden delas upp i delområden om de innehåller mer än ett regleringsmagasin, om de innehåller stora sjöar eller älvsträckor som kan tänkas fungera som magasin i en flödessituation, eller i övrigt är så heterogena att de inte bör behandlas som en enhet. Uppdelningen innebär att den lokala tillrinningen, magasinsutvecklingen och tappningen beräknas individuellt för varje delområde. Delområden kan även skapas vid platser där vattenföringsdata finns tillgängliga för att möjliggöra kalibrering av modellen i dessa punkter.

5.4 Modellkalibrering

Den hydrologiska modellen kalibreras mot befintliga tillrinningsserier. Särskild vikt bör därvid läggas vid att modellen återger höga flöden på ett så korrekt sätt som möjligt. Vid modellering av ett helt älvsystem bör dessutom stor vikt läggas vid att hela älvens funktion under extrema förhållanden beskrivs på ett realistiskt sätt.

5.5 Snömagasin

En simulering under tillgänglig tidsperiod görs med den hydrologiska modellen för att bestämma årliga maxvärden av det modellberäknade snömagasinets vatteninnehåll, varvid maxvärdet med 30 års återkomsttid bestäms med frekvensanalys. Det senaste datum vid vilket snötäcket kulminerat under något av de analyserade åren bestäms. I dimensioneringsberäkningen antas snömagasinet ha samma relativa fördelning mellan

höjdzoner och delområden som modellberäkningen uppvisat när det maximala snötäcket förekommit.

5.6 Starttillstånd

Beräkningen av det dimensionerande flödet startar vid vårens inträde efter en snörik vinter, som antas ha föregåtts av en nederbördsrik höst. Vid beräkningens början förutsätts därför följande förhållanden:

- Hela tillrinningsområdet saknar markfuktighetsunderskott.
- Befintliga magasin är avsänkta till nivåer som bedöms rimliga när vårfloden förväntas bli kraftig.
- Flödena i vattensystemet ligger vid normalvärden inför vårfloden.

Starttidpunkten inför varje års beräkning sätts till dagen efter det senaste datum vid vilket snötäcket kulminerat under något av de analyserade åren. Snöns maximala vatteninnehåll med 30 års återkomsttid läggs i beräkningen in vid starttidpunkten.

5.7 Regleringsstrategi

Följande regleringsstrategi tillämpas vid varje i systemet ingående regleringsmagasin av betydelse:

- När magasinet börjar fyllas, förutsätts att minimitappning utförs i föreskriven omfattning, samt att den produktionstappning pågår, som bedöms rimlig vid en prognos som förutser kraftig vårflod. Om förtappning är, eller 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 göras genom dammanläggningens utskov (maximal avbördningsförmåga enligt avbördningskurva).
- Efter det att de i systemet ingående magasinerna nått sina respektive dämningssgränser, vilket förutsätts ha inträffat senast den 1 augusti om inte detta är orimligt med hänsyn till kvarvarande snömagasin, antas magasinerna inte bli avsänkta under dämningssgränsen förrän den för regionen kritiska flödesperioden är över.

Vid tillämpning på gruvdammar och andra typer av dämmande konstruktioner anpassas regleringsstrategin efter de särskilda förutsättningar som gäller för dessa.

5.8 Avbördningsförmåga

I en dammanläggningens avbördningsförmåga får endast medräknas dokumenterad kapacitet hos de utskovsanordningar som håller sådan driftmässig status att de kan tas i anspråk när behov uppstår. Eventuella tappningsmöjligheter genom kraftverksturbiner får inte medräknas från och med dagen för nederbördssekvensens kulmen. Dessutom ska hänsyn tas till eventuella fallförluster i tillopps- och utloppskanaler och andra hinder för vattnets avrinning som kan påverka anläggningens totala förmåga att släppa förbi vatten.

Uppgifter om dammanläggningars tappningsförmåga samt magasinstabellertas fram och läggs in i modellen. För alla ovanförliggande magasin kan inledningsvis antas att respektive dammanläggnings magasinerings- och tappningskapacitet är sådan att flödet kan framsläppas utan att anläggningen skadas. Härvid görs lämpligen beräkningsantagandet att tillrinningen framsläpps om vattenståndet överskrider en för dammanläggningen bedömd lämplig högsta nivå. Denna nivå väljs så att magasineringen, och därmed flödesdämpningen, inte överskattas.

Om det efter genomförd dimensioneringsberäkning konstateras att behov av anpassningsåtgärder föreligger för en anläggning, så behöver modellen uppdateras med nya förutsättningar för det åtgärdsalternativ som väljs. Det kan vara t.ex. ändrade magasineringsförhållanden, ökad avbördningsförmåga och/eller förändrad tappningsstrategi. Därefter upprepas dimensioneringsberäkningen för anläggningen. Även dimensioneringsberäkningarna för nedströms liggande anläggningar kan behöva uppdateras, om förändringarna inte kan anses vara försumbara.

5.9 Flödesdämpning

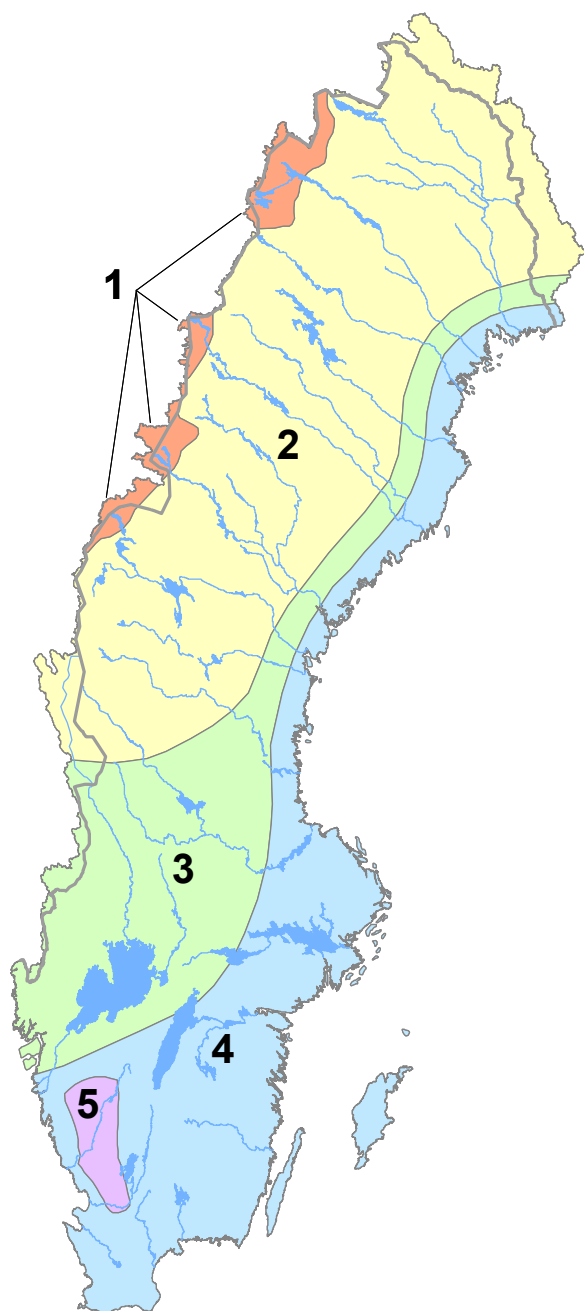
I dimensioneringsberäkningen för en befintlig dammanläggning, får hänsyn tas till realistiska möjligheter att dämpa flödet vid den aktuella dammanläggningen eller vid annan uppströms belägen dammanläggning, vars ägare åtagit sig att samverka om flödesdämpning.

Med *passiv flödesdämpning* menas att systemet har en tappningsförmåga som automatiskt begränsar och dämpar flödesförloppet. Det gäller för de allra flesta naturliga sjöar och för många regleringsmagasin. För att en dimensioneringsberäkning ska kunna tillgodoräkna sig effekten av passiv flödesdämpning krävs magasinutrymme som tas i anspråk när det dimensionerande flödet inträffar, samtidigt som tappning görs med full kapacitet. Detta innebär att inga aktiva åtgärder vidtas för att dämpa flödet. Flödet dämpas i detta fall automatiskt av systemets tappningsbegränsningar.

Aktiv flödesdämpning innebär att regleringsmagasinet aktivt utnyttjas för att minska flödena nedströms, genom att flödet via utskovet begränsas till mindre än dess fulla kapacitet vid ett visst vattenstånd. Liksom för passiv flödesdämpning krävs att det finns magasinsvolym som kan tas i anspråk när det dimensionerande flödet inträffar. Tillämpning av aktiv flödesdämpning är en komplicerad procedur som kräver noggrann analys av hela vattendragssystemets funktion i ett kritiskt flödesläge. Det krävs också en tappningsstrategi som är så robust att den kan tillämpas och får avsedd effekt även i de fall då kommunikationen upphör att fungera och information om tillstånden i nedströms magasin och anläggningar inte kan överblickas. Aktiv flödesdämpning bör tillämpas med försiktighet och bara i de fall då relativt stora magasinsvolymer med säkerhet kan göras tillgängliga för att uppnå den dämpande effekten i ett kritiskt läge. Metoden kräver också en väl inövad beslutsprocess som fungerar i kritiska lägen.

5.10 Nederbördssekvens

Förloppet av det dimensionerande flödet simuleras med hydrologisk modellteknik, där den verkliga nederbörden under 14 dygn ersätts av en dimensionerande nederbördssekvens. Nederbördssekvensen är specifik för olika regioner i landet och bestäms enligt regionindelningen i Figur 2.

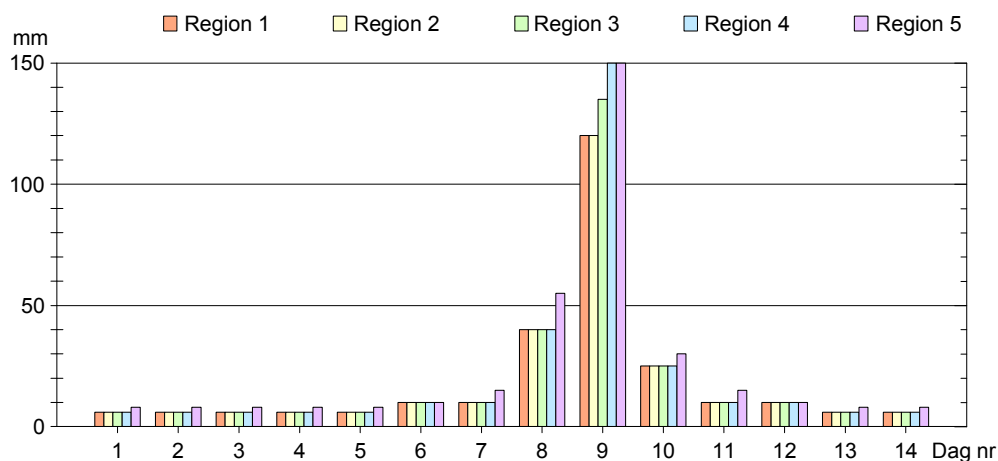


Figur 2. Regionindelning vid val av dimensionerande nederbördssekvens och årstidskorrektur.

Dimensionerande nederbördssekvenser för de olika regionerna ges i Tabell 3 och Figur 3.

Tabell 3. Dimensionerande nederbördssekvenser för olika regioner i landet
Värdena avser arealnederbörd över 1000 km² angiven i mm/dygn.
(Regionindelningen visas i Figur 2. Se även diagram i Figur 3.)

Dag nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Summa
Region 1	6	6	6	6	6	10	10	40	120	25	10	10	6	6	267
Region 2	6	6	6	6	6	10	10	40	120	25	10	10	6	6	267
Region 3	6	6	6	6	6	10	10	40	135	25	10	10	6	6	282
Region 4	6	6	6	6	6	10	10	40	150	25	10	10	6	6	297
Region 5	8	8	8	8	8	10	15	55	150	30	15	10	8	8	341



Figur 3. Dimensionerande nederbördssekvenser för olika regioner i landet.
Diagrammet avser arealnederbörd över 1000 km² angiven i mm/dygn.

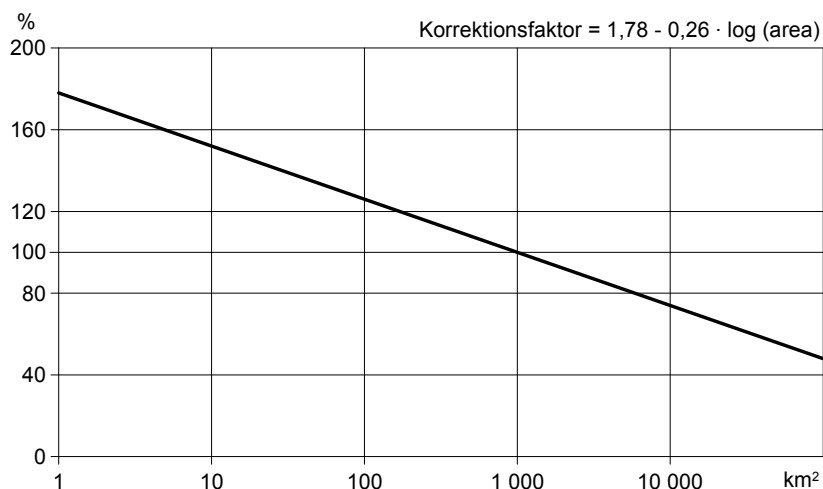
Om tillrinningsområdet ligger högt tas hänsyn till att nederbörden normalt ökar med höjden över havet. Ökningen beror av det geografiska läget och därför tillämpas olika korrekationer för olika avrinningsområden i landet (enligt Tabell 4).

Tabell 4. Höjdkorrigerings av nederbördssekvenserna samt referensnivå från vilken korrekationen görs.

Avrinningsområde	Höjdkorrektion (ökning av nederbördssekvensen per 100 m över referensnivån)	Referensnivå (m.ö.h.)
Torneälven t.o.m. Indalsälven	10 %	500
Ljungan och Ljusnan	10 %	600
Dalälven	5 %	600
Klarälven	5 %	700

Nederbördssekvensen korrigeras även för tillrinningsområdets storlek enligt Ekvation 1 (illustreras i Figur 4).

$$\text{Arealkorrektionsfaktorn} = 1,78 - 0,26 \cdot \log (\text{tillrinningsområdets area i km}^2) \quad \text{Ekv. 1}$$



Figur 4. Arealkorrektion av de dimensionerande nederbördssekvenserna.

Vidare korrigeras nederbördssekvensen beroende av vilken tid på året som nederbörden antas falla. Årstidskorrigeringen görs kontinuerligt vid den stegvisa förskjutning av nederbördssekvensen som beskrivs i avsnitt 5.11. Korrektionen skiljer sig åt i olika regioner i landet. I de flesta regionerna korrigeras alla nederbördsvärdena i sekvensen enligt ett gemensamt samband. I region 5 korrigeras dock sekvensens toppvärde och de övriga värdena enligt olika samband. Årstidskorrektionen illustreras i Figur 5 och görs enligt följande:

Region 1:

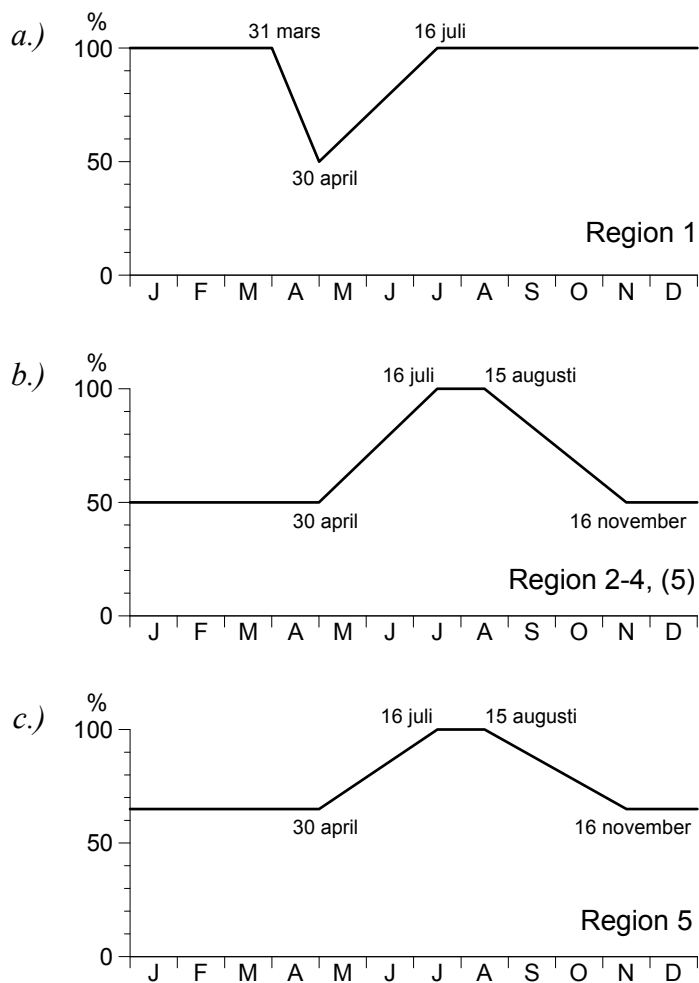
Nederbördssekvensens värden enligt Tabell 3, inklusive dess toppvärde, antas gälla till 100 % fr.o.m. 16 juli t.o.m. 31 mars. Därefter minskas värdena linjärt ner till 50 % den 30 april, varefter en linjär ökning till 100 % antas till den 16 juli.

Region 2 - 4:

Nederbördssekvensernas värden enligt Tabell 3, inklusive deras toppvärden, antas gälla till 100 % fr.o.m. 16 juli t.o.m. 15 augusti. Därefter minskas värdena linjärt ner till 50 % den 16 november. Fr.o.m. 16 november t.o.m. 30 april antas värdena ligga kvar på 50 %, varefter en linjär ökning till 100 % antas till den 16 juli.

Region 5:

Nederbördssekvensens toppvärde (dag 9) korrigeras enligt årstidsvariationen i regionerna 2 - 4, d.v.s. toppvärdet enligt Tabell 3 antas gälla till 100 % fr.o.m. 16 juli t.o.m. 15 augusti. Därefter minskas värdet linjärt ner till 50 % den 16 november. Fr.o.m. 16 november t.o.m. 30 april antas värdet ligga kvar på 50 %, varefter en linjär ökning till 100 % antas till den 16 juli. Övriga värden i nederbördssekvensen antas gälla till 100 % fr.o.m. 16 juli t.o.m. 15 augusti. Därefter minskas värdena linjärt ner till 65 % den 16 november. Fr.o.m. 16 november t.o.m. 30 april antas värdena ligga kvar på 65 %, varefter en linjär ökning till 100 % antas till 16 juli.



Figur 5. Årstidskorrektion av den dimensionerande nederbördssekvensen.
a.) Korrektion i region 1 av sekvensens samtliga värden.
b.) Korrektion i regionerna 2 - 4 av sekvensens samtliga värden, samt i region 5 av sekvensens toppvärde (dag 9).
c.) Korrektion i region 5 av sekvensens samtliga värden förutom toppvärdet.

5.11 Dimensionerande flöden och vattenstånd

Med den hydrologiska modellen simuleras extrema flöden under den valda tidsperioden. Den verkliga, uppmätta nederbörden under en 14-dagarsperiod byts ut mot den dimensionerande nederbördssekvensen (Tabell 3). Denna förskjuts därefter i tiden med motsvarande ändring av årstidskorrektionen, varefter en ny beräkning genomförs. Förskjutningen av nederbördssekvensen och motsvarande flödesberäkning görs i steg om ett dygn i taget för samtliga år som ingår i dimensioneringsberäkningen. Det högsta simulerade vattenståndet i alla dessa flödesberäkningar ger det dimensionerande tillfället.

För att undvika orealistiska kombinationer av hög nederbörd och hög temperatur under vårfloden, sänks den uppmätta temperaturen med 3°C under dagarna 9-14 av nederbördssekvensen under perioden 1 januari - 31 juli. För att undvika orealistiskt höga 14-dagars nederbördsmängder, orsakade av att den dimensionerande sekvensen hamnar i anslutning till observerade höga nederbördsmängder, är det tillåtet att reducera

observerade nederbördsvärden i anslutning till sekvensen så att ett löpande 14-dagarsvärde inte överstiger totalsumman av den dimensionerande sekvensen.

5.12 Lokal dimensionering

Förutom dimensionering för hela tillrinningsområdet, beräknas även det dimensionerande flödet för lokala tillrinningsområden till varje regleringsmagasin. Vid den lokala dimensioneringen tillämpas den höjd- och arealkorrektion av nederbördssekvensen, samt det dimensionerande snömagasin, som gäller för det aktuella lokala området, medan flödestillskottet från övriga delområden beräknas med hjälp av observerade klimatdata för den utvalda dimensioneringsperioden.

Om älvsystemet innehåller stora naturliga sjöar som dämpar flödet från en del av ett tillrinningsområde, utförs lokal dimensionering även för området nedströms om sjöarna.

5.13 Vindpåverkan

Vågor och snedställning av vattenytan på grund av vindpåverkan beaktas under antagande av vind i ogynnsammaste riktning med hastigheten 25 m/s för dammanläggningar ovanför trädgränsen och med 20 m/s för övriga dammanläggningar.

5.14 Analys

Osäkerheter i beräkningsförutsättningar och beräkningsresultat bör analyseras och lämpliga känslighetsanalyser utföras. Vilka analyser som bör göras kan exempelvis bero av det aktuella magasinets egenskaper och kvaliteten på indata som använts vid beräkningen.

Med utgångspunkt från beräkningsresultaten, och genomförda känslighetsanalyser, analyseras dammanläggningarnas förmåga att magasinera och avbörda de dimensionerande flödena. Detta innebär en samlad analys av förhållanden med betydelse för dammsäkerheten, innefattande hänsyn till vågor och snedställning av vattenytan samt vattenståndsutvecklingen i relation till höjder på tätkärnor och dammkrön.

I de fall då åtgärder krävs för att klara det dimensionerande flödet upprepas beräkningsproceduren efter justeringar av förutsättningarna i modellen.

5.15 Stora sjöar med begränsad tappningsförmåga

Ovanstående anvisningar kan i de flesta fall tillämpas även för stora sjöar med begränsad tappningsförmåga. En fördjupad analys krävs dock för Vätern, och eventuellt för andra sjöar som liksom Vätern, har speciella avbördningsförhållanden med bl.a. en övre gräns för tillåten tappning.

6 Dimensionering av dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass II

Dammanläggningar som dimensioneras enligt flödesdimensioneringsklass II ska vid dämningssgränsen kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år, om denna kombination av flöde och vattenstånd i magasinet inte kan anses vara utesluten. Beräkningen av 100-årsflödet grundas på tidsserier av tillrinningsdata till det aktuella magasinet. Extrapolering till önskad återkomsttid för flödet utförs med frekvensanalys.

Dammanläggningar som dimensioneras enligt flödesdimensioneringsklass II ska dessutom anpassas till ett flöde som, utan allvarlig skada på dammanläggningen, ska kunna motstås och framsläppas. Detta flöde bestäms genom kostnads-/nyttoanalys. Härvid ska ett rimligt högre flöde än 100-årstillrinningen väljas, om merkostnaden för detta inte väsentligt överskrider nyttan, d.v.s. det uppskattade värdet av att undvika risken för ett dammbrott på grund av att flödet överskrids.

För befintliga dammanläggningar får kravet på avbördning av 100-årstillrinningen vid dämningssgränsen efterges i den mån det, med hänsyn till anläggningens säkerhet och med beaktande av risken för dämningsskador, bedöms tillräckligt att nämnda flöde kan framsläppas vid ett vattenstånd som överstiger dämningssgränsen.

För befintliga anläggningar, där eventuellt brott vid någon ingående damm endast skulle innebära måttliga skadeverkningar, kan undantag från strikt tillämpning av dimensioneringsanvisningarna få göras. Avstegen ska i dessa fall vara skäliga och lämpliga vid en jämförelse mellan kostnader för och olägenheter av en ombyggnad å ena sidan och skaderisker å andra sidan.

6.1 Metodik

Tillflödet med 100 års återkomsttid beräknas med frekvensanalys. Det innebär att en tidsserie bestående av varje års högsta tillrinningsvärde anpassas till en frekvensfördelningsfunktion, varvid tillrinningen med en återkomsttid på 100 år beräknas. För regleringsmagasin som regelmässigt avsänks inför vårfloden får hänsyn till detta tas vid urvalet av årsmax för tillrinningen (German m.fl., 2014). Beräkningarna grundas på tillrinningen till magasinet och inte avrinningen. Därigenom undviker man att i beräkningarna tillgodoräkna sig effekten av en dämpning som inte alltid föreligger.

Frekvensanalysen har flera källor till osäkerhet. Valet av tidsperiod påverkar resultaten liksom valet av frekvensfördelning. Det kan vara svårt att tillämpa frekvensanalys i vattendrag som är starkt påverkade av regleringar, speciellt om regleringens omfattning ändrats gradvis under den tidsperiod som använts i beräkningarna. Det är lämpligt att prova fler än en typ av fördelningsfunktion och att genomföra beräkningen för olika tidsperioder. Frekvensanalysen kan kompletteras med beräkning av konfidensgränser för att få en bild av osäkerheten i beräkningen.

6.2 Dataunderlag

För frekvensanalysen krävs tidsserier av tillrinning till det berörda magasinet. Mätserien bör helst vara längre än 50 år, men när sådana data inte finns tillgängliga, kan man bli tvungen att utföra analysen på en kortare tidsperiod. En kortare serie ökar osäkerheten och ställer större krav på att den valda perioden kan anses vara representativ för klimatet i regionen. Om vattenföringsobservationer saknas för den aktuella platsen, får beräkningarna utföras med ledning av uppgifter om vattenföringen i annat avsnitt av det aktuella vattendraget eller i något närbeläget vattendrag.

6.3 Avbördningsförmåga

I en dammanläggnings avbördningsförmåga får endast medräknas dokumenterad kapacitet hos de utskovsanordningar som håller sådan driftmässig status att de kan tas i anspråk när behov uppstår. Eventuella tappningsmöjligheter genom kraftverksturbiner får inte medräknas. Dessutom ska hänsyn tas till eventuella fallförluster i tillopps- och utloppskanaler och andra hinder för vattnets avrinning som kan påverka anläggningens totala avbördningsförmåga.

6.4 Vindpåverkan

Vågor och snedställning av vattenytan på grund av vindpåverkan beaktas under antagande av vind i ogynnsammaste riktning med hastigheten 25 m/s för dammanläggningar ovanför trädgränsen och med 20 m/s för övriga dammanläggningar.

6.5 Analys

Osäkerheter i beräkningsförutsättningar och beräkningsresultat bör analyseras och vägas in vid den samlade bedömningen av dammens förmåga att magasinera och avbörda det flöde som dammen ska dimensioneras för.

7 Utförande och dokumentation

Beräkning av dimensionerande flöden är en komplicerad uppgift som kräver hydrologisk kompetens och kunskaper inom områdena vattenreglering och dammsäkerhet. Beräkningarna bör utföras av personal med erfarenhet av hydrologisk modellering och god kännedom om vattenreglering för dammar inom vattenkraft och gruvdrift.

Dimensioneringsberäkningar är en omfattande procedur som består av många arbetsmoment, vilket kräver att rutiner upprättas för att säkerställa kvaliteten i resultaten. Kvalitetssäkringen bör bland annat innebära att beräkningarna rutinmässigt kontrolleras av annan än den som utfört beräkningarna.

Höga krav bör ställas på dokumentation av beräkningsförutsättningar, modell och kalibrering samt beräkningsresultat. Varje dimensioneringsberäkning ska dokumenteras på ett sådant sätt att:

- beräkningen kan återskapas vid behov och eventuella orsaker till skillnader i resultat mellan olika beräkningsversioner kan klargöras;
- det kan visas att beräkningen följer gällande riktlinjer; en sakkunnig person ska med stöd av dokumentationen kritiskt kunna granska beräkningen och motiveringar till gjorda antaganden;
- det tydliggörs vilka eventuella osäkerheter och vilka förutsättningar för att göra en bra kalibrering som förelegat, så att man kan avgöra om det finns anledning att förnya beräkningarna när bättre förutsättningar finns;
- den på ett användarvänligt sätt möjliggör åtkomst till faktaunderlag som kan ge mervärden för dammsäkerhetsarbetet; därför bör exempelvis beräkningsvarianter med olika förutsättningar sparas.

7.1 Dokumentation av beräkning av klass I-flöden

Den modell som används för dimensioneringsarbetet bör handhas så att det lätt går att återskapa tidigare versioner av modelluppsättningen, och jämförelser av resultat mellan olika versioner bör möjliggöras, t.ex. genom passande namnsättning av indatafiler och resultatfiler.

Om både totala och lokala dimensioneringsberäkningar har gjorts bör även det beräkningssätt som inte ger det dimensionerande flödet dokumenteras.

För att tydliggöra utförda beräkningar, samt möjliggöra en bedömning av arbetets kvalitet bör dokumentationen struktureras på ett överskådligt sätt och innehålla följande punkter:

1. Anläggningsdata
2. Regleringsuppgifter
3. Modelluppgifter
4. Modellkalibrering
5. Dimensioneringsberäkning (total och lokal beräkning)
 - 5.1 Områdeskaraktäristik (för både totala och lokala beräkningar)
 - 5.2 Snöberäkning (för både totala och lokala beräkningar)
 - 5.3 Nederbördssekvens (för både totala och lokala beräkningar)
 - 5.4 Dimensioneringsuppgifter (för både totala och lokala beräkningar)
 - 5.5 Resultat dimensioneringsberäkning (för både totala och lokala beräkningar, för såväl vår- som hösttillfälle)
6. Känslighetsanalys
 - 6.1 Känslighetsanalys för förändrat klimat
 - 6.2 Analys av känslighet i indata och beräkningsförutsättningar
7. Utförare
8. Förvaltning/arkivering

Innehåll för respektive punkt beskrivs vidare i Bilaga B Dimensioneringsberäkning för damm i flödesdimensioneringsklass I.

7.2 Dokumentation av beräkning av 100-årstillrinning

Dokumentationen bör göras så att beräkningarna går att återskapa. Förutom de flödesdata som ingår i beräkningarna är det viktigt att urvalskriterium och tidsperiod för dataserien framgår samt vilka frekvensfördelningsfunktioner som använts. Frekvensanalysen bör presenteras grafiskt.

För att tydliggöra utförda beräkningar, samt möjliggöra en bedömning av arbetets kvalitet bör dokumentationen struktureras på ett överskådligt sätt och innehålla följande punkter:

1. Allmänna uppgifter
2. Frekvensanalys
3. Känslighetsanalys
4. Utförare
5. Förvaltning/arkivering

Om metodik enligt avsnitt 6.2 avseende vattenföringsobservationer från annan punkt i samma eller närliggande vattendrag använts, bör det dokumenteras vilken eller vilka mätstationer som använts och hur de är analyserade, samt motivering av varför dessa stationer valts. Exempel på beräkning av 100-årstillrinning visas i Bilaga C Beräkning av 100-årstillrinning för dammar i flödesdimensioneringsklass I och II.

Referenser

- Alexandersson (2005) Extrem nederbörd 1900-2004. SMHI Faktablad nr 4
- Andréasson, J., Bergström, S., Gardelin, M., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K., och Rosberg, J. (2011a) Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - metodutveckling och scenarier. Elforsk rapport 11:25
- Andréasson, J., Bergström, S., Gardelin, M., German, J., Johansson, B., Lindström, G. och Rosberg, J. (2011b) Analys av osäkerheter vid beräkning av dimensionerande flöden för dammar i flödes-dimensioneringsklass I. Elforsk rapport 11:31
- Andréasson, J., Bergström, S., German, J. och Hallberg, K. (2013) Hydrological flood design in Sweden – Climate change and inherent uncertainties In: *Climate and Land Surface Changed in Hydrology*. Proceedings of HO1, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden. IAHS Publ. 359. Pp 17-22
- Andréasson, J., Gardelin, M., Hellström, S.-S. och Bergström, S. (2007) Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat, andra upplagan, kompletterad med analyser för Umeälven. Elforsk rapport 07:15 (Första upplagan publicerad i Elforsk 06:80)
- Andréasson, J., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, L.P. och Lindström, G. (2004) Hydrological Change - Climate Change Impact Simulations for Sweden. AMBIO nr 4-5, 2004, 228-234
- Bergström, S., Andréasson, J. och Graham, L.P. (2012) Climate adaptation of the Swedish Guidelines for Design Floods for Dams. Contribution to the 24th ICOLD Congress in Kyoto (Japan) - June, 6th to 8th, 2012
- Bergström, S. och Andréasson, J. (2013) Accounting for climate change and uncertainty: experience from strategic adaptation projects in Sweden. In: *Climate and Land Surface Changed in Hydrology*. Proceedings of HO1, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden. IAHS Publ. 359. Pp 11-16
- Bergström, S., Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G., Petterson, A. och Rummukainen, M. (2001) Climate change impacts on runoff in Sweden - assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modelling. *Climate Research* 16, 101-112
- Bergström, S., Harlin, J. och Lindström, G. (1992) Spillway design floods in Sweden. I: New guidelines. *Hydrological Sciences Journal*, 37, 5, 505-519
- Bergström, S., Hellström, S.-S., Lindström, G. och Wern, L. (2008) Follow-up of the Swedish Guidelines for Design flood Determination from Dams. Svenska Kraftnät report No. 1:2008, BE 90
- Brandesten, C.-O., Larsson, P. och Uljanova, M. (2006) Dammsäkerhet - Uppföljning dimensioneringsberäkningar. Elforsk rapport 06:10
- Dammsäkerhet och klimatförändringar. Slutrapport från Kommittén för dimensionerande flöden för dammanläggningar i ett klimatförändringsperspektiv. Svenska Kraftnät, Svensk Energi, SveMin och SMHI (2011)

- Flödeskommittén (1990) Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Slutrapport från Flödeskommittén. Statens Vattenfallsverk, Svenska Kraftverksföreningen och Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut
- Gardelin, M., Andréasson, J., Carlsson, B., Lindström, G. och Bergström, S. (2002) Modellering av effekter av klimatförändringar på tillrinningen till vattenkraftssystemet. Elforsk rapport 02:27
- German, J., Söderling, J. och Hamberg, C. (2014) Dammsäkerhet. Uppföljning av dimensioneringsberäkningar – Kompletterande uppföljning t.o.m. 2013. Elforsk rapport 14:52.
- Hallberg, K., Andréasson, J., Axén-Mårtensson, J., Bergström, S., Dahné, J., Nylén, L. och Sjökvist, E. (2014) Metodbeskrivning och jämförande studie av dimensionerande flöden för dammanläggningar med två generationer klimatscenarier Elforsk rapport 14:27
- KFR (2005) Dimensionerande flöden för stora sjöar och små tillrinningsområden samt diskussion om klimatfrågan. Slutrapport från kommittén för komplettering av Flödeskommitténs riktlinjer. Elforsk rapport 05:17
- Lindström, G. och Harlin, J. (1992) Spillway design floods in Sweden. II: Applications and sensitivity analysis. Hydrological Sciences Journal, 37, 5, 521-539
- Norstedt, U., Brandesten, C.-O., Bergström, S., Harlin, J. och Lindström, G. (1992) Re-evaluation of hydrological dam safety in Sweden. International Water Power & Dam Construction, June 1992
- Svenska kraftnät, Svensk Energi, SveMin och SMHI (2011) Dammsäkerhet och klimatförändringar. Slutrapport från Kommittén för dimensionerande flöden för dammanläggningar i ett klimatförändringsperspektiv
- Vedin, H. och Eriksson, B. (1988) Extrem arealnederbörd i Sverige 1881-1988. SMHI Rapport Meteorologi nr 76
- Wern, L. (2012) Extrem nederbörd i Sverige under 1 till 30 dygn, 1900-2011. SMHI meteorologi nr 143

Bilagor Beräkningsexempel

Bilaga A Principiell beräkningsgång för ett vattendragssystem

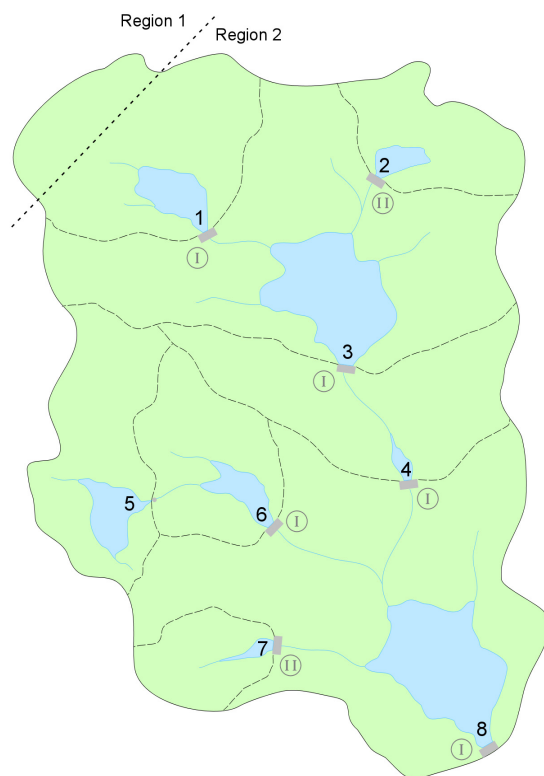
Bilaga B Dimensioneringsberäkning för damm i flödesdimensioneringsklass I

Bilaga C Beräkning av 100-årstillrinning för dammar i flödesdimensioneringsklass I och II

Bilaga A

Principiell beräkningsgång för ett vattendragssystem

Här beskrivs principerna för hur dimensioneringsberäkningar kan genomföras för olika delar av ett vattendragssystem där det ingår ett antal dammanläggningar och regleringsmagasin, samt naturliga sjöar och vattendragssträckor. Vattendragssystemets uppbyggnad illustreras schematiskt i Figur 1.



Figur 1 Schematisk bild av ett fiktivt system av dammanläggningar och regleringsmagasin. (I och II anger flödesdimensioneringsklass.)

Flödesdimensioneringsklass för de i systemet ingående dammanläggningarna bestäms utgående från konsekvenserna av ett eventuellt dammbrott enligt anvisningarna i avsnitt 4 (se Tabell 1). För dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass II görs även särskild kostnads-/nyttoanalys, som inte redovisas i detta exempel. För varje regleringsmagasin, och för områden nedströms stora sjöar, görs en bedömning av behovet av lokal dimensioneringsberäkning. Här redovisas exempel på några av de fall där det kan vara nödvändigt att utföra lokala dimensioneringsberäkningar. Beräkningsmetodiken kan i praktiken tillämpas på valfri punkt i vattendraget.

Dimensioneringsberäkningar utförs för olika punkter i vattendraget enligt följande:

Punkt 1 - flödesdimensioneringsklass I:

Total dimensionering görs för delområde 1. Vid beräkningen viktas den dimensionerande nederbördssekvensen och årstidskorrektur införs efter hur stor del av området som ligger i region 1 respektive region 2. Nederbörden arealkorrigeras och

höjdkorrigeras efter medelhöjden i delområde 1. Vid dammanläggning 1 tillämpas regleringsstrategi för dimensionering enligt beskrivningen i avsnitt 5.7.

100-årstillrinningen beräknas med frekvensanalys enligt anvisningarna i avsnitt 6.

Punkt 2 - flödesdimensioneringsklass II:

Som utgångspunkt för dimensioneringen beräknas tillrinnande flöden med återkomsttiden 100 år med frekvensanalys enligt anvisningarna i avsnitt 6. Om data finns tillgängliga, utnyttjas i första hand tidsserier bestående av varje års högsta tillrinning till punkt 2.

Punkt 3 - flödesdimensioneringsklass I:

Total dimensionering görs för delområdena 1-3. Nederbörden arealkorrigeras för summan av arealerna i områdena 1-3 och höjdkorrigeras individuellt för vart och ett av delområdena 1, 2 och 3. Tappningen från områdena 1 och 2 beräknas sedan genom modellsimulering med denna areal- och höjdkorrektion. Vid alla tre dammanläggningarna 1, 2 och 3 tillämpas regleringsstrategi enligt avsnitt 5.7.

100-årstillrinningen beräknas med frekvensanalys enligt anvisningarna i avsnitt 6.

Punkt 4 - flödesdimensioneringsklass I:

Total dimensionering görs för delområdena 1-4. Nederbörden arealkorrigeras för summan av arealerna i områdena 1-4, och höjdkorrigeras individuellt för områdena 1, 2, 3 och 4. Vid alla dammanläggningarna 1-4 tillämpas regleringsstrategi för dimensionering enligt avsnitt 5.7.

Eftersom dämpningen i magasinet i punkt 3 är stor och den lokala tillrinningen nedströms magasinet kan bli betydande, görs även en lokal dimensionering för delområde 4. Nederbörden arealkorrigeras och höjdkorrigeras då efter medelhöjden i delområde 4, d.v.s. den dimensionerande nederbörden antas falla endast över delområde 4, medan tillrinningen från övriga delområden beräknas med hjälp av observerade klimatdata för dimensioneringsperioden. Vid dammanläggning 4 tillämpas regleringsstrategi för dimensionering enligt avsnitt 5.7. Vid de uppströms liggande dammanläggningarna 1, 2 och 3 tillämpas den regleringsstrategi som bedöms vara rimlig vid den aktuella flödessituationen i dessa delområden.

100-årstillrinningen beräknas med frekvensanalys enligt anvisningarna i avsnitt 6.

Punkt 5:

Detta är en naturlig sjö som betraktas som ett delområde, eftersom man vill ta hänsyn till dess dämpande effekt på flödet till dammanläggningen i punkt 6. Sjöns avbördningskurva och magasinering vid olika vattenstånd bestäms eller beräknas. Osäkerheter i bestämningen av avbördningsförmågan har stor inverkan på dimensioneringsresultaten nedströms.

Punkt 6 - flödesdimensioneringsklass I:

Total dimensionering görs för områdena 5 och 6. Nederbörden arealkorrigeras för summan av arealerna i område 5-6 och höjdkorrigerings görs individuellt för respektive delområde.

Om sjöns dämpning är betydande, görs en lokal dimensionering för delområde 6. Den dimensionerande nederbörden antas då falla endast över delområde 6, medan tillrinningen från den naturliga sjön beräknas med hjälp av observerade klimatdata för dimensioneringsperioden.

100-årstillrinningen beräknas med frekvensanalys enligt anvisningarna i avsnitt 6.

Punkt 7 - flödesdimensioneringsklass II:

Som utgångspunkt för dimensioneringen beräknas tillrinnande flöden med återkomsttiden 100 år med frekvensanalys enligt anvisningarna i avsnitt 6. Om data finns tillgängliga, utnyttjas i första hand tidsserier bestående av varje års högsta tillrinning till punkt 7.

Punkt 8 - flödesdimensioneringsklass I:

Total dimensionering görs för områdena 1-8. Nederbörden arealkorrigeras för summan av arealerna i område 1-8 och höjdkorrigeras individuellt för respektive delområde. Vid dammanläggningarna 1-4 och 6-8 tillämpas regleringsstrategi för dimensionering enligt avsnitt 5.7.

Eftersom den lokala tillrinningen nedströms dammanläggningarna i punkt 3 och 6 kan bli betydande, görs en lokal dimensionering för delområdena 4, 7 och 8. Höjdkorrekturen beräknas individuellt för vart och ett av dessa områden. Den dimensionerande nederbörden antas falla endast över delområdena 4, 7 och 8, medan tillrinningen från övriga delområden beräknas med hjälp av observerade klimatdata för dimensioneringsperioden. Vid dammanläggningarna 4, 7 och 8 tillämpas regleringsstrategi för dimensionering enligt avsnitt 5.7. Vid de uppströms liggande dammanläggningarna 1-3 och 6 tillämpas den regleringsstrategi som bedöms vara rimlig vid den aktuella flödessituationen i dessa delområden.

Därefter bör ytterligare en kontroll göras, där den lokala tillrinningen från delområdena 4, 5, 6, 7 och 8 beräknas på motsvarande sätt. Vid denna lokala dimensionering antas den dimensionerande nederbörden endast falla över delområdena 4-8, medan tillrinningen från övriga delområden beräknas med hjälp av observerade klimatdata för dimensioneringsperioden. Höjdkorrekturen beräknas individuellt för vart och ett av delområdena. Vid dammanläggningarna 6-8 tillämpas regleringsstrategi för dimensionering enligt avsnitt 5.7. Vid de uppströms liggande dammanläggningarna 1-4 tillämpas den regleringsstrategi som bedöms vara rimlig vid den aktuella flödessituationen i dessa delområden.

100-årstillrinningen beräknas med frekvensanalys enligt anvisningarna i avsnitt 6.

Bilaga B

Dimensioneringsberäkning för damm i flödesdimensioneringsklass I

1 Beräkningsexempel

I detta exempel utförs en dimensioneringsberäkning för Håckrendammen som ligger i Storån, ett biflöde till Indalsälven. (För beräkningsexempel avseende 100-årstillrinning hänvisas till Bilaga C.)

1.1 Anläggningsdata

Håckrenmagasinet utgörs av en uppdämning av sjöarna Aumen, Hottöjen, Gesten, Korsjön och Håckren längs en sträcka av 25 km. Dammens tillrinningsområde är 1167 km², varav 8 % utgör sjö. Den totala magasinvolymen är 700 Mm³. Vattenmagasinet i Håckren utnyttjas både som årsregleringsmagasin och som korttidsreglering för Sällsjö kraftverk som ligger i anslutning till Håckrenmagasinet. Uppströms Håckren ligger Ottsjön, som är en naturlig sjö.

Eftersom ingen minimitappning är föreskriven, går vanligtvis allt vatten genom kraftverket och en tunnel med utlopp i Ockesjön. Vid mycket höga flöden kan vatten spillas via ett tornutskov genom den ursprungliga åfåran till Sällsjön.

1.2 Indata och modell

HBV-modellen har kalibrerats på tillrinningen till Håckrenmagasinet. Särskild vikt har lagts vid att beskriva höga flödestoppar på ett så korrekt sätt som möjligt. Tillrinningsområdet består av två delområden (Ottsjön och Håckren) i modellstrukturen. Total dimensioneringsberäkning görs för hela tillrinningsområdet.

För modellberäkningen utnyttjas meteorologiska indata från 3 nederbördsstationer och 2 temperaturstationer, samt vattenståndsdata för Håckren och vattenföringsuppgifter vid utloppet och inloppet. Klimatdata för perioden 1973-1991 har använts vid beräkningen. Perioden 1982-1991 har använts för kalibrering och 1973-1981 har använts som verifieringsperiod.

1.3 Dimensionerande snö och starttillstånd

En simulering för snöberäkning med HBV-modellen görs för perioden 1973-1991. Det största beräknade snömagasinet under dessa 19 år infaller 1976-05-02, då vatteninnehållet är 419 mm. Frekvensanalys av snömagasinets årliga maxvärden ger med Gumbel-fördelning ett snömagasin med 30 års återkomsttid som är 414 mm. Det senaste datumet då snömaximum inträffar är 6 maj (1981). Starttillstånd för dimensioneringsberäkningen skapas för följande dag, dvs. den 7 maj.

1.4 Regleringsstrategi

Regleringsstrategi för dimensionering tillämpas enligt anvisningarna i avsnitt 5.7.

Uppgifter sammanställs om gällande sänkings- och dämningssgränser, utbyggnadsvattenföring, minimitappning samt tappningsförmåga vid olika vattenstånd.

För modellberäkningarna sammanställs en regleringstabell som innebär att följande strategi tillämpas för Håckren:

- Före vårflodens start (t.o.m. 30 april) sker jämn avsänkning av vattenståndet ner till sänkingsgränsen (+ 466,00).
- När vårfloden börjat, tillämpas 0-tappning eftersom det inte finns någon föreskriven minimitappning.
- Vid vattenstånd mellan + 491,50 (1,40 m under dämningssgränsen) och + 492,40 tappas tillrinningen upp till utbyggnadsvattenföringen $110 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Vid vattenstånd över + 492,40 tappas maximal avbördning genom utskovet.
- Den 1 oktober börjar tappningsperioden, varvid rätlinjig avsänkning tillämpas t.o.m. 30 april året därefter.

1.5 Dimensionerande nederbördssekvens

Hela tillrinningsområdet ligger i region 2. Nederbördssekvens tillämpas enligt Tabell 3. Det dimensionerande värdet för dag 9 är 120 mm. Tillrinningsområdets medelhöjd är 820 m.ö.h., vilket (enligt Tabell 4) medför att sekvensen höjdkorrigeras med + 32,0 %. Tillrinningsområdet är 1167 km^2 , vilket (enligt Figur 4) medför arealkorrektion till 98,3 %. Den högsta dygnsnederbörden blir efter korrektionerna 156 mm.

1.6 Dimensioneringsberäkning

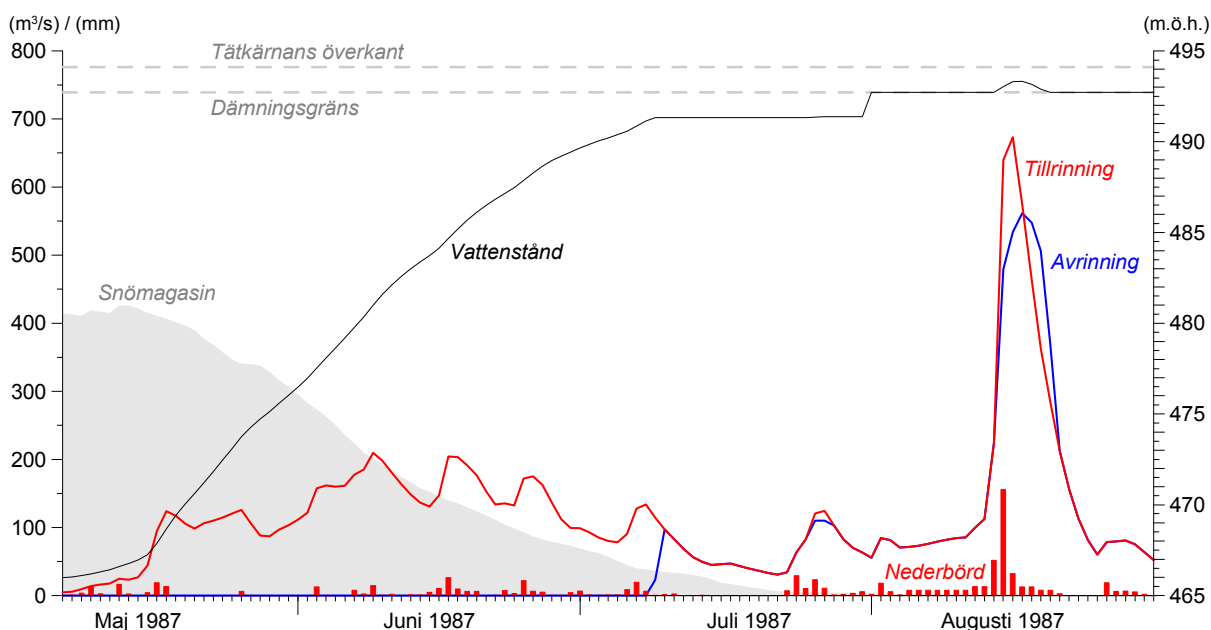
Dimensioneringsberäkningen baseras på klimatdata för perioden 1982-1991. För förskjutning av nederbördssekvensen används steglängden 1 dygn. Som startvattenstånd antas + 466,14, vilket betyder att magasinet i stort sett är tomt (0,14 m över sänkingsgränsen). Den kontinuerliga ändringen av årstidskorrektionen enligt Figur 5, liksom justering av temperatur och nederbörd enligt avsnitt 5.11, hanteras automatiskt av modellprogrammet.

1.7 Resultat

Det dimensionerande flödestillfället är ett hösttillfälle som inträffar i augusti 1987 (Figur 2). Både den största tillrinningen och det högsta vattenståndet erhålls när den dimensionerande nederbördssekvensen läggs över dagarna 7-20 augusti. Detta innebär att den största nederbörden (156 mm) faller den 15 augusti.

Den största tillrinningen till magasinet blir $675 \text{ m}^3/\text{s}$ och inträffar 16 augusti, medan det största utflödet inträffar 17 augusti och blir $560 \text{ m}^3/\text{s}$. Vattenståndet i magasinet blir som högst + 493,51 den 17 augusti, vilket innebär att dämningssgränsen överskrids med 0,61 m.

Resultatet av beräkningarna bör kontrolleras av någon annan än den som har utfört beräkningarna och dokumenteras enligt sammanställningen i stycke 2.



Figur 2 Dimensionerande flödestillfälle för Håckrendammen.

1.8 Känslighetsanalys

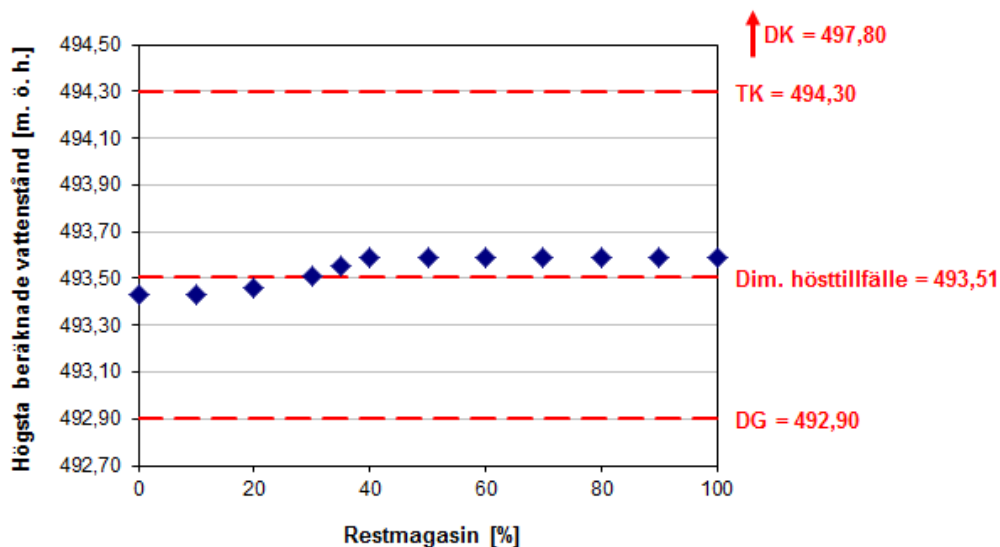
Med hänsyn till beräkningarnas inbyggda osäkerhet bör det finnas en marginal i anläggningen till vad dimensioneringsresultatet visar. Eventuellt kan det finnas behov av att göra analyser av hur stor marginalen bör vara. Vilka analyser som är lämpliga kan vara beroende av det aktuella magasinets egenskaper och/eller de indata som använts vid beräkningen.

Kvaliteten på indata påverkar kalibreringen av modellen, vilket kan innebära en felkälla i resultatet. Tillrinningsdata under högflödesperioder kan innehålla felkällor beroende på att en stor del av flödet går genom utskov med sämre flödesbestämningar. Hur långa serierna på indata är kan också påverka, eftersom risken kan finnas att perioden inte innehåller tillräckligt höga flöden för att kalibrera eller verifiera modellen på. Dokumentationen av indataserierna och kalibreringen (se kapitel 2.4 Modellkalibrering) är således viktig för att kunna dra slutsatser om resultatets tillförlitlighet.

Klimatet under tidsperioden som använts till beräkningarna påverkar också resultatet. Råder det osäkerhet i om valet av beräkningsperioder (för beräkning av 30-årssnön respektive dimensioneringsberäkningen) är representativ kan en annan beräkningsperiod testas.

En analys kan vara att testa magasinets känslighet för kvarvarande restmagasin. Är det säkert att man klarar sänka av magasinet till den tänkta nivån? Även om man bestämmer avsänkningen med hjälp av statistik så kan flera faktorer medföra att

magasinet vissa år inte sänks av lika mycket. Bedömer man att det finns risk för att det finns kvar restmagasin så bör det testas om resultaten är känsliga för detta. Är det ett magasin en bit ned i ett vattendrag bör samma resonemang föras om magasinen uppströms. Ett enkelt sätt att åskådliggöra restmagasinets påverkan på resultatet är att i beräkningarna i alla uppströms liggande magasin successivt ansätta fyllnadsgrader på t.ex. 0%, 10%, 20% osv. och redovisa resultaten av de resulterande dimensionerande vattenstånd. I Figur 3 visas en analys för Håckrens känslighet för kvarvarande restmagasin.



Figur 3 Känslighetsanalys för Håckren genom stegvis ökning av restmagasinet.

Ett annat sätt att analysera marginalen till anläggningens kritiska nivå är att testa hur mycket det går att öka nederbördssekvensen utan att det dimensionerande vattenståndet överskrider t.ex. tät kärnans krön eller dammkrönet.

I Tabell 1 visas en beräkning för Håckren där nederbördssekvensen justerats upp genom att förändra areafaktorn. Resultatet visar att för att högsta vattenstånd ska nå tät kärnans krön så krävs en ökning av areafaktorn från 0,983 till 1,320, vilket i det här fallet innebär en ökning av såväl nederbördsvolym, tillrinningsvolym och tillrinningsmaximum med ungefär 35 %.

Tabell 1 Känslighetsanalys för Håckren genom ökning av nederbördssekvensen.

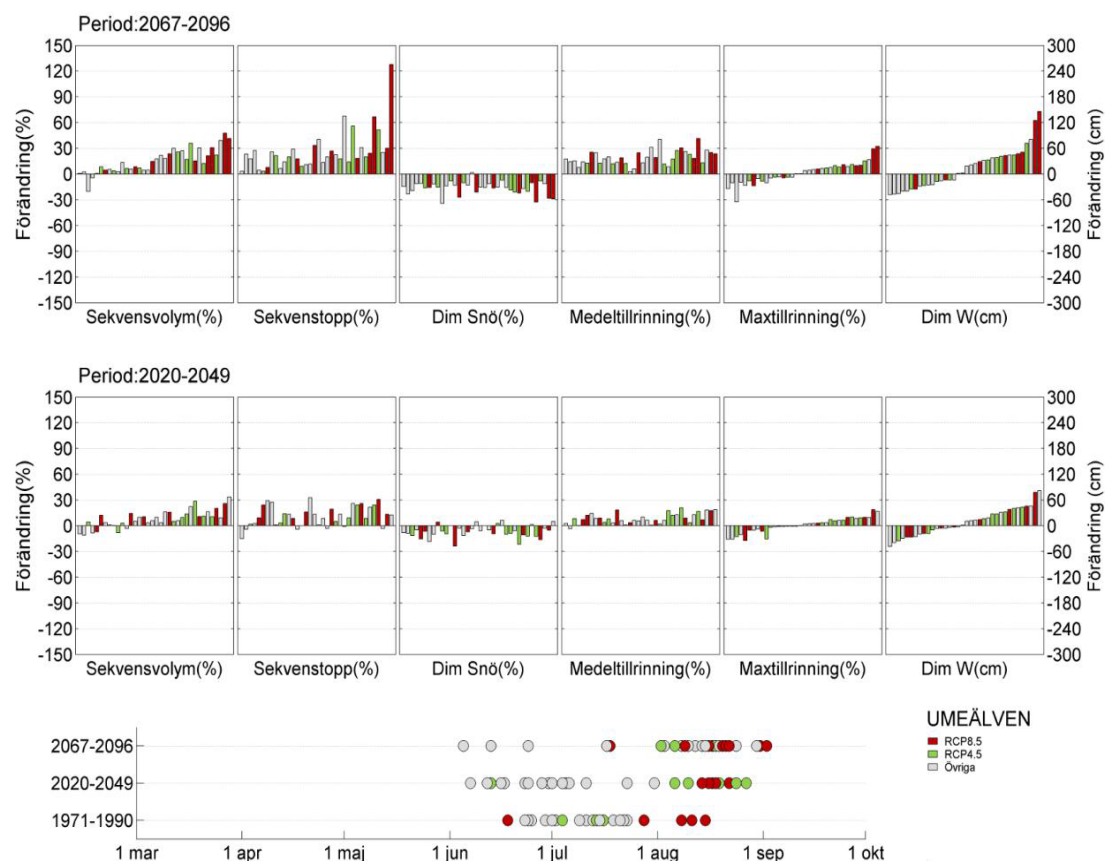
DG	TK	DK	Areafaktor	Nederbördssekvensens startdatum	Dim. tillfälle (datum)	Nederbördsvolym [mm]	Tillrinningsvolym [DE]	Tillrinningsmaximum [m³/s]	Högsta vattenstånd [m. ö. h.]	Ökning av nederbördsvolym [%]	Ökning av tillrinningsmaximum [%]	Ökning av tillrinningsvolymen [%]
492,90	494,30	497,80	0,983	7/8 -87	17/8 -87	345,2	4209,5	673,4	493,51	0	0	0
			1,320	7/8 -87	17/8 -87	463,2	5706,8	918,6	494,30	34,2%	36,4%	35,6%

Känslighetsanalyser kan göras längs hela älvsträckor, vilket ger fördelen att man kan se vilken anläggning som har den minsta marginalen. Denna marginal kan i sin tur bli marginalen för alla nedströms liggande anläggningar i älven.

1.9 Känslighetsanalys för förändrat klimat

Någon beräkning med klimatscenarier föreligger inte för Håckren, istället visas ett exempel på en redovisning av resultat för Pengfors i Umeälven (Hallberg m.fl., 2014), se Figur 4.

Eftersom Pengfors representerar nästan hela Umeälven och har ett förhållandevis litet magasin i förhållande till medelflödet är de staplar som representerar maximal tillrinning av störst intresse. Längst till höger i Figur 4 framgår förändring i dimensionerade vattenstånd, längst ner i figuren redovisas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de olika beräkningsperioderna.



Figur 4. Procentuell förändring för Pengfors i Umeälven av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning, maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 36 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (över) och 2020-2049 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna. Resultaten från klimatsimuleringarna har grupperats efter vilket utsläppsscenario och vilken generation klimatscenarier som använts (s.k. RCP-scenarier i rött och grönt, gruppen "övriga" s.k. SRES-scenarier i grått).

1.10 Analys av dimensioneringsberäkningen och dess påverkan på dammsäkerhetsarbetet

I det aktuella beräkningsexemplet visar beräkningarna att dämningssgränsen överskrids med 0,61 m vid det dimensionerande flödet, men att det finns marginal kvar till tät kärnans överkant. Det dimensionerande vattenståndet ligger 0,79 m lägre än denna och 4,29 m under dammens krön. Resultaten analyseras efter det att hänsyn även tagits till övriga förhållanden med betydelse för dammsäkerheten samt våguppspolning och snedställning av vattenytan på grund av vindpåverkan. Beräkningar av vindpåverkan ger i detta fall en höjning av vattennivån med ytterligare 5 cm.

Slutsatsen blir att dammen kan motstå och framsläppa ett dimensionerande flöde i flödesdimensioneringsklass I. På grund av osäkerheter avseende tillgängligheten för det befintliga utskovet för Håckrendammen, har anläggningen försetts med ett nytt utskov för att ytterligare höja säkerheten (se Figur 5).



Figur 5. Ombyggnadsarbeten för att förse Håckrendammen med ett nytt utskov och därigenom ytterligare höja säkerheten. (Foto: Vattenregleringsföretagen, 2006)

En kontroll görs även av anläggningens förmåga att vid dämningssgränsen avbörda ett tillrinnande flöde med 100 års återkomsttid. Med hjälp av frekvensanalys av tillrinningsdata bestäms 100-årstillrinningen, se vidare Bilaga C. Då tappningsförmågan vid dämningssgränsen är högre än den beräkningen är 100-årstillrinningen, så uppfyller dammen kriteriet att ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år ska kunna framsläppas vid dämningssgränsen.

2 Dokumentation av beräkning av dimensionerande flöde

Följande punkter är förslag på vad som kan vara bra att dokumentera vid beräkning av ett klass I-flöde.

1. Anläggningsdata

- *Koordinater*
Beräkningspunktens koordinat
- *Karakteristiska tillrinningssdata*
Karakteristiska tillrinningsdata vid beräkningspunkten är viktig för förståelsen av områdets hydrologi och för att kunna jämföra med modellresultaten.
LLT = Lägsta uppmätta dygnsmedeltillrinning
LT = Medel av alla årslägst dygnsmedeltillrinningar
MT = Medel av alla dygnsmedeltillrinningar
HT = Medel av alla årshögsta dygnsmedeltillrinningar
HHT = Högsta uppmätta dygnsmedeltillrinning
- *Statistiska flödesdata*
Återkomsttider på tillrinning räknas fram genom lämplig statistisk fördelning.
Beräkning av HT100 visar vilket flöde klass I-dammar ska kunna framsläppa utan att vattenståndet överskrider dämningssgränsen, och vad klass II-dammar bör klara av utan risk för dämningsskador. Uppgifter om återkomsttider kan också jämföras med flöden under kalibrerings-, och beräkningsperioden.
HT10 = statistisk 10-årstillrinning
HT50 = statistisk 50-årstillrinning
HT100 = statistisk 100-årstillrinning
- *Juridiska nivåer*
Regleringsrutinen kan innefatta juridiska nivåer och flöden.
DG = dämningssgräns
SDG = sommardämningssgräns
SG = sänkningsgräns
SSG = sommarsänkningsgräns
Qmin = mintappning
- *Dammtekniska nivåer*
Dammtekniska nivåer som är viktiga i dimensioneringsarbetet:
TK = tät kärna (jorddammar)
DK = dammkrön
- *Avbördningsförmåga*
Utskovens avbördningsförmåga vid fullt öppen damm ska redovisas.
- *Höjdsystem*
Det höjdsystem i vilken beräkningarna är gjorda ska anges.
- *Motiveringar till val av indata*
Olika uppgifter kan finnas på dammkrön, tät kärna beroende på dammkropp. Olika uppgifter kan också finnas på avbördningsförmågor där resultat framräknat med modellförsök kan vara att föredra.

2. Regleringsuppgifter

- *Min-, medel- och maxvattenstånd för varje dag på året*
Diagram som visar hur vattenståndet regleras under året.
- *Min-, medel- och maxtappning för varje dag på året*
Diagram som visar hur tappningen regleras under året.
- *Vårens lägsta vattenstånd alla reglerade år i serien*
Data över årslägst vattenstånd visar hur mycket man brukar sänka av magasinet inför vårfloden, vilket är en parameter i modellens starttillstånd.
- *Beskrivning över regleringsstrategin*
En beskrivning i text över modellens regleringsrutin som gör det möjligt för användare av data att kunna sätta sig in i hur tappningen från magasinet handhas i modellen.
Vid framtagandet av regleringsstrategin kan en del beräkningar underlätta. Dessa beräkningar bör också dokumenteras:
 - För magasin där tappningen planeras utifrån vårflodsprognosen kan en sådan göras utifrån starttillståndet med det dimensionerande snömagasinet. Resultatet från denna beräkning kan underlätta att ta fram rimliga regleringsstrategier inom ramen för riktlinjernas kapitel 5.7.
 - En typ av analys som kan behövas är att testa hur förtappning och aktiv dämpning påverkar resultatet för den aktuella anläggningen och anläggningarna nedströms.
- *Regleringsstrategi indatafil*
Indatafil över regleringsstrategin bör finnas tillgänglig.

3. Modelluppgifter

- *Modell, modellversion.*
Angivelse av modell och modellversion är viktig för att kunna återskapa gamla modellberäkningar.
- *Tidssteg*
Tidsupplösning på indata till modellen.
- *Leverantör*

4. Modellkalibrering

- *Högsta uppmätta tillrinning under kalibreringsperioden*
Ju längre återkomsttiden är för tillrinningstopparna som har använts vid kalibreringen och veriferingen av modellen, desto bättre förutsättningar finns för att modellen ska återge extrema flöden på ett bra sätt.
- *Kalibrerings PM*
Ett dokument beskrivande kalibreringen i beräkningspunkten där kalibreringens kvalitet bör ingå. Det bör innehålla:
 - ingående kalibreringsområden
 - uppgifter om indataseriernas längd
 - uppgifter om kalibreringsperiod

- verifiering av kalibreringen
- eventuella kommentarer angående tillrinningsseriens kvalitet och onormala parametervärden.

5. Dimensioneringsberäkning total (och lokal) dimensionering

Både totala och lokala beräkningar som har gjorts bör dokumenteras. Om man väljer att utelämna något beräkningsalternativ bör orsaken till det dokumenteras. Detta gäller följande uppgifter:

5.1 Områdeskaraktistik

- *Tillrinningsområde*
Det totala (eller lokala) tillrinningsområdets area ingår i beräkningen av nederbördssekvensens storlek.
- *Tillrinningsområdets medelhöjd*
Tillrinningsområdets medelhöjd ska redovisas i de fall värdet ingår i beräkningen av nederbördssekvensens storlek.
- *Modellstruktur*
Beräkningsområdets delområden och hydrologiska inbördes ordning ska presenteras.

5.2 Snöberäkning

- *Beräkningsperiod*
Val av period för beräkning av snömagasinets 30-åriga återkomsttid kan ha betydelse för resultatet.
- *Maximalt vatteninnehåll samt dess datum*
Det maximala modellberäknade vatteninnehållet i snön under beräkningsperioden samt det datum då det inträffat.
- *30 års snömagasin (ingår i starttillståndet i modellberäkningarna)*
Snöns vatteninnehåll med 30 års återkomsttid beräknat med lämplig fördelningsfunktion.
- *Senaste datum för snömaximum (ingår i starttillståndet i modellberäkningarna)*
Det senaste datumet under vilket det maximala vatteninnehållet inträffat under alla år i beräkningsperioden.

5.3 Nederbördssekvens

- *Region (ingår i beräkningen av nederbördssekvensens storlek)*
De regioner som beräkningsområdet ligger inom och deras inbördes förhållanden i procent.
- *Höjdkorrektion*
Den höjdberoende faktor som multipliceras med nederbördssekvensen.
- *Arealkorrektion*
Den faktor som beror av beräkningsområdets area.

5.4 Dimensioneringsuppgifter

- *Beräkningsperiod*
Tidsperioden som används i modellen för att leta efter det värsta tillfället.

5.5 Resultat dimensioneringsberäkning

Från både vår- respektive hösttillfället bör följande uppgifter redovisas:

- *Sekvensstart*
Nederbördssekvensens första dag
- *Maximal nederbörd i sekvensen*
Det högsta värdet i nederbördssekvensen (dag 9)
- *Maximal tillrinning*
Den högsta tillrinningen under flödestoppen
- *Maximalt utflöde*
Det högsta utflödet under flödestoppen
- *Högsta vattenstånd*
Det högsta vattenståndet under tillrinningstoppen
- *Hydrograf (bör sparas digitalt i t ex Excel)*
Visualisering av flödestoppen, gärna med alla följande parametrar i samma figur: tillrinning, utflöde, vattenstånd, snötäcke, nederbörd och temperatur (se Figur 2 i Bilaga B).

6. Känslighetsanalys

Här samlas analyser av osäkerheter i beräkningsförutsättningar och beräkningsresultat, samt analys med stöd av klimatscenarier. Vilka analyser som bör göras kan exempelvis bero av det aktuella magasinets egenskaper och kvaliteten på indata som använts vid beräkningen.

6.1 Känslighetsanalys för förändrat klimat

I en rapport om dimensioneringsberäkningarnas känslighet för förändrat klimat dokumenteras vilka utsläppscenarier, globala klimatmodeller, regionala klimatmodeller (eller motsvarande om annat än dynamisk nedskalning använts) och skaleringsmetodik som använts för att ta fram drivdata till den hydrologiska modellen. Normalt sett föregås analysen av anläggningens känslighet för ett förändrat klimat av en dimensioneringsberäkning enligt föreliggande riktlinjer och modellen är då redan dokumenterad, om så inte skulle vara fallet bör dokumentation upprättas om den använda hydrologiska modellen. Metodik för beräkning av nederbördssekvensens förändring ska också dokumenteras och framgå.

Utfallet av beräkningarna bör dokumenteras så att hela spridningen mellan scenarierna kan ses, exempelvis så som gjorts i Elforsk rapport 14:27 (Hallberg m.fl., 2014).

6.2 Analys för känslighet i indata och beräkningsförutsättningar

Känslighetsanalyser som genomförts och utfallet av dessa dokumenteras här. Metodiken för känslighetsanalyserna ska också framgå.

Beroende på magasinets egenskaper kan det finnas behov av att analysera anläggningens känslighet för variationer i beräkningsförutsättningar som regleringsrutin och magasinets vattenstånd vid beräkningsstart genom att variera dessa. Om osäkerheter råder om den använda dimensioneringsperioden är representativ kan en annan, eller en längre, beräkningsperiod användas.

Ibland kan det också finnas nytta av en analys av anläggningens marginal för att klara av ännu större tillrinning än vad resultatet på dimensioneringsberäkningen visar, varvid detta kan testas (se Bilaga B avsnitt 1.8).

7. Utförare

Två viktiga delar i kvalitetssäkringen är att ange vem/vilka som har utfört dimensioneringsberäkningarna och sammanställt dokumentationen, och vem/vilka som utfört granskningen av beräkningarna.

8. Förvaltning/arkivering

För att kunna återskapa och kontrollera beräkningsresultat ska platsen där originaldokumenten och beräkningarna finns lagrade anges.

Bilaga C

Beräkning av 100-årstillrinning för damm i flödesdimensioneringsklass I och II

1 Beräkningsexempel

I detta exempel utförs en frekvensanalys för att beräkna 100-årstillrinningen för kraftverksdammen vid Bålforsen i Umeälven. Anläggningen ligger cirka 90 km nedströms sjön Storuman och består av en betongdamm och kraftstation som driftsattes 1958. Magasinet används för korttidsreglering på dygnsbasis. All avbördning, upp till maximalt 315 m³/s, går vanligtvis genom kraftverket. Vid behov av högre tappning spills vatten genom utskoven, som har en kapacitet att avbörda totalt 2220 m³/s vid dämningensgränsen.

1.1 Indata

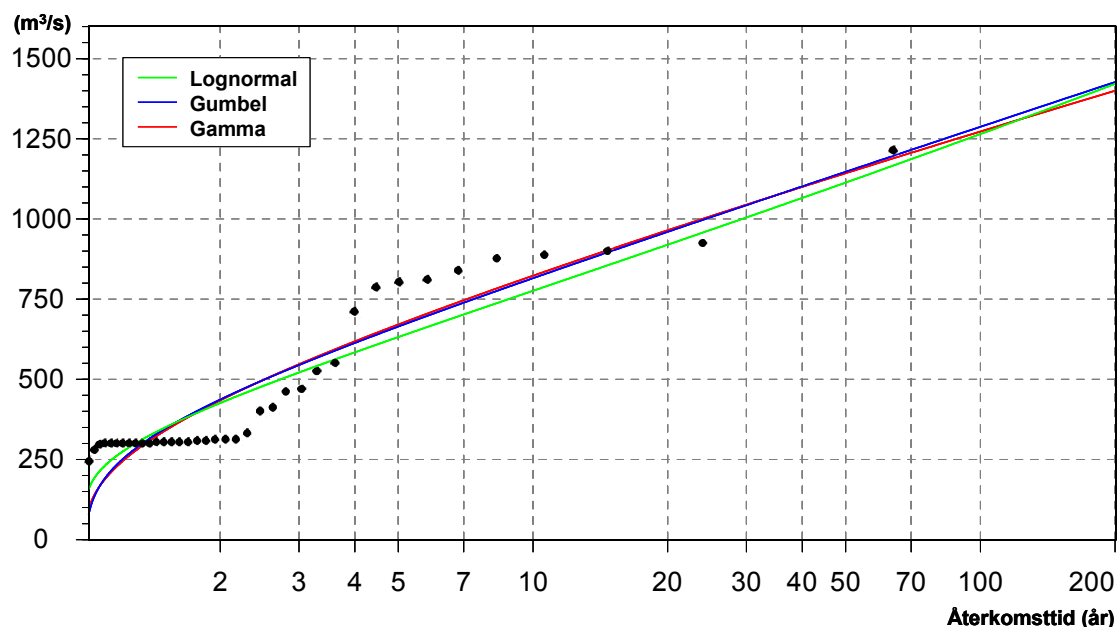
Analysen kan i detta fall baseras på uppmätta vattenföringsdata, eftersom magasinetsvolymen är liten och vattenföringen vid höga flöden i stort sett motsvarar tillrinningen. En period utan större förändringar av regleringsgraden väljs ut för analysen. Vattenföringsdata under perioden 1969-2006 ger 38 års högsta uppmätta vattenföringsvärden (Tabell 2).

Tabell 2. Årshögsta vattenföring (Q_{max}), samt datum när det inträffat vid Bålforsen under 38 år mellan 1969-2006.

År	Qmax (m ³ /s)	Datum för Qmax	År	Qmax (m ³ /s)	Datum för Qmax
1969	245	1969-11-25	1988	311	1988-05-28
1970	296	1970-12-18	1989	469	1989-07-07
1971	305	1971-01-28	1990	712	1990-07-24
1972	805	1972-07-14	1991	334	1991-07-17
1973	461	1973-07-24	1992	412	1992-09-03
1974	302	1974-04-29	1993	1215	1993-08-18
1975	299	1975-12-03	1994	302	1994-02-07
1976	301	1976-02-15	1995	525	1995-06-15
1977	303	1977-05-27	1996	305	1996-01-03
1978	299	1978-12-09	1997	549	1997-07-06
1979	301	1979-01-16	1998	877	1998-08-25
1980	300	1980-02-06	1999	306	1999-01-10
1981	901	1981-07-29	2000	888	2000-08-19
1982	299	1982-02-09	2001	786	2001-09-10
1983	401	1983-09-22	2002	312	2002-02-24
1984	303	1984-01-07	2003	279	2003-12-16
1985	811	1985-09-11	2004	841	2004-07-10
1986	308	1986-02-07	2005	312	2005-01-13
1987	924	1987-08-08	2006	309	2006-01-14

1.2 Frekvensanalys

Frekvensanalys utförs för 38 års uppmätta högsta vattenföringsvärden. Fördelningsfunktionerna Lognormal, Gumbel och Gamma (alla med 2 parametrar) anpassas till dataserien (Figur 6).



Figur 6 Frekvensanalys av årshögsta vattenföring vid Bålforsen.

1.3 Resultat

De olika fördelningsfunktionerna ger i detta fall liknande beräknad tillrinning med 100 års återkomsttid (Tabell 3).

Tabell 3 100-årstillrinning för Bålforsen beräknat med olika frekvensfördelningsfunktioner.

Frekvensfördelningsfunktion	Tillrinning med 100 års återkomsttid (m^3/s)
Lognormal	1265
Gumbel	1287
Gamma	1273

1.4 Analys

Resultaten visar att dammens avbördningskapacitet på $2220 \text{ m}^3/\text{s}$ med god marginal överstiger 100-årstillrinningen oavsett vilken av de tre fördelningsfunktionerna som används. En jämförelse med dimensioneringsberäkning enligt flödesdimensioneringsklass I, visar att dammen även klarar av att avbörda detta flöde ($2080 \text{ m}^3/\text{s}$). Med nuvarande avbördningskapacitet och regleringsrutiner, skulle

vattenståndet enligt dessa beräkningar då ligga vid dämningssgränsen. Slutsatsen blir att dammen vid Bålforsen uppfyller kravet enligt flödesdimensioneringsklass II, att vid dämningssgränsen kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år. I detta fall behöver inte kostnads-/nyttoanalys göras för att bestämma ett lämpligt högre flöde, eftersom marginalerna är så stora att dammen även klarar att avbörda ett flöde enligt flödesdimensioneringsklass I.

Det bör tilläggas att ovanstående exempel på beräkning av 100-årstillrinning är förhållandevis renodlat. Ofta medför regleringar att det kan vara svårt att få fram en lämplig och homogen mätserie för analysen. Det är viktigt att den serie som analyseras är vald så att den är representativ för de reglerade förhållandena. Spridningen mellan de olika fördelningsfunktionerna i Figur 6 är liten, vilket underlättar slutsatserna. Det är vanligt att spridningen blir betydligt större, och då krävs överväganden om vilken fördelningsfunktion som bäst beskriver det observerade datamaterialet.

2 Dokumentation av beräkning av 100-årstillrinning

Dokumentationen av beräkningen av 100-årstillrinningen bör inkludera en beskrivning av när uppströms regleringar är tagna i bruk och om de eventuellt ändrats, så att detta kan ställas i relation till den period då data för frekvensanalysen funnits. Dataseriens längd skall dokumenteras och när de använda högflödestillfällena inträffat bör också framgå.

Använda fördelningsfunktioner bör redovisas och valet av fördelningsfunktion motiveras.

Om inte mätdata i tillräcklig omfattning finns för den aktuella punkten och man i enlighet med riktlinjerna använder mätdata från en annan punkt, ska det dokumenteras vilken punkt som använts vid beräkningen.

1. Allmänna uppgifter

- *Koordinater*
Beräkningspunktens koordinat
- *Tillrinningsområde*
Arean av det totala och lokala tillrinningsområdet
- *Anläggningsdata*
Eventuella uppgifter om juridiska nivåer, dammtekniska nivåer, avbördningsuppgifter, förändringar i anläggningen och regleringen etc som har betydelse för frekvensanalysens genomförande.

2. Frekvensanalys

- *Tillrinningsserie*
Hela serien med reglerad tillrinning som använts
- *Urvalskriterium för data i analysen*
Motivering till data som ingår i analysen
- *Frekvensfördelningsfunktion/er*

Beskrivning av frekvensfördelningsfunktion/er som används i frekvensanalysen och motivering till vilken som valts som gällande

- *Resultat frekvensanalys*
HT10 = 10-årstillrinning
HT50 = 50-årstillrinning
HT100 = 100-årstillrinning
HT1000 = 1000-årstillrinning
HT10000 = 10000-årstillrinning

3. Känslighetsanalys

Beräkningen kan innehålla fler moment av osäkerheter som kan behöva belysas. En sådan är valet av fördelningsfunktion där resultat från flera fördelningsfunktioner bör redovisas. Beräkningens känslighet för osäkra indata kan testas om osäkerhet råder t.ex. för använda årsmaxvärden eller om tillgängliga dataperioder skiljer sig åt mellan datapunkterna.

Om en analys för känslighet för förändrat klimat har gjorts ska det dokumenteras vilka utsläppscenarier, globala klimatmodeller, regionala klimatmodeller (eller motsvarande om annat än dynamisk nedskalning använts) och skaleringsmetodik som använts för att ta fram drivdata till den hydrologiska modellen. Vilken hydrologisk modell som använts och hur den är uppsatt och kalibrerad bör också dokumenteras.

4. Utförare

Två viktiga delar i kvalitetssäkringen är att ange vem/vilka som har utfört beräkningarna och sammanställt dokumentationen, och vem/vilka som utfört granskningen av beräkningarna.

5. Förvaltning/arkivering

För att kunna återskapa och kontrollera beräkningsresultat ska platsen där originaldokumenten och beräkningarna finns lagrade anges.