

Flomdempingstjenester i utvidet miljødesign

Beskrivelse og uttesting av system for klassifisering av flomdempingspotensial i regulerte vassdrag

Bendik Hansen, Atle Harby



HydroCen

The main objective of HydroCen (Norwegian Research Centre for Hydropower Technology) is to enable the Norwegian hydropower sector to meet complex challenges and exploit new opportunities through innovative technological solutions.

The research areas include:

- hydropower structures
- turbine and generators
- market and services
- environmental design

The Norwegian University of Science and Technology (NTNU) is the host institution and is the main research partner together with SINTEF Energy Research and the Norwegian Institute for Nature Research (NINA).

HydroCen has about 50 national and international partners from industry, R&D institutes and universities.

HydroCen is a Centre for Environment-friendly Energy Research (FME). The FME scheme is established by the Norwegian Research Council.

The objective of the Research Council of Norway FME-scheme is to establish time-limited research centres, which conduct concentrated, focused and long-term research of high international calibre in order to solve specific challenges in the field.

The FME-centres can be established for a maximum period of eight years (an initial five-year period with the possibility of a three-year extension). HydroCen was established in 2016.

Flomdempingstjenester i utvidet miljødesign

Beskrivelse og uttesting av system for klassifisering av flomdempingspotensial i regulerte vassdrag

Bendik Hansen¹
Atle Harby¹

SINTEF Energi AS¹

HydroCen

Hansen, B., Harby, A. 2020. Flomdempingstjenester i utvidet miljødesign: Beskrivelse og uttesting av system for klassifisering av flomdempingspotensial i regulerte vassdrag – HydroCen rapport nr. 17.

Trondheim, september 2020

ISSN: 2535-5392

ISBN: 978-82-93602-18-7

FORSIDEBILDE

Flom i Hønefossen. Foto: Jon Strype

NØKKEWORD

Flom, flomdemping, magasin, miljødesign, vannkraft

© Norwegian Research Centre for Hydropower Technology (HydroCen)
2020

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

KONTAKTOPPLYSNINGER

HydroCen

Vannkraftlaboratoriet, NTNU

Alfred Getz vei 4

Gløshaugen,

Trondheim

www.hydrocen.no

Sammendrag

Hansen, B., Harby, A. 2020. Flomdempingstjenester i utvidet miljødesign: Beskrivelse og uttesting av system for klassifisering av flomdempingspotensial i regulerte vassdrag – HydroCen rapport nr. 17.

Hydrocen arbeidspakke 4.3 jobber med å utvide miljødesignkonseptet som ble etablert i forskningssenteret CEDREN. Forskjellige nye aspekter som er viktige for en helhetlig vurdering av positive og negative konsekvenser og tjenester av vannkraft skal legges til, og blant disse er temaet flomdempingstjenester. Denne rapporten går gjennom metodikken vi har utviklet for klassifisering av flomdempingstjenester fra vannkraftmagasin. Metodikken viser *potensiell* flomdemping på et oversiktsnivå ved å analysere lett tilgjengelige data om magasin størrelse, årstilsig, typisk magasinfylling over året, tappekapasitet og forholdet mellom reguleringsgrad og demping av flomtopp. Metodikken er ment for system med flere magasin, og en klassifisering vil bli gitt for hvert enkelt magasin sett i sammenheng med resten av systemet. Systemet som helhet blir også klassifisert. Metodikken er laget slik at det er enkelt å se på hvordan endringer i systemet påvirker flomdempingstjenester.

Med hjelp fra kraftselskapet Hydro har metodikken blitt anvendt i fem testvassdrag, og resultatene har blitt diskutert med de som har godt kjennskap til vassdragene. Metodikken har blitt forbedret basert på svakheter som ble oppdaget under uttesting og forslag fra diskusjoner. Resultater og kommentarer fra forfatterne er presentert i rapporten, i tillegg til kommentarer om hvor rimelig klassifiseringen virker og hvilke konklusjoner som kan dras. Basert på kunnskap om vassdragene fremstår klassifiseringene som rimelige, og metodikken kan ha nytteverdi for en grov analyse av konsekvenser av endringer i vassdraget.

Bendik Hansen, Sem Sælands vei 11, 7034 Trondheim, bendik.hansen@sintef.no
Atle Harby, Sem Sælands vei 11, 7034 Trondheim, atle.harby@sintef.no

Abstract

Hansen, B., Harby, A. 2020. Flood-dampening services in expanded environmental design: Description and testing of a system for classification of flood-dampening services in regulated rivers – HydroCen report nr. 17.

Hydrocen work package 4.3 works towards expanding the environmental design concept that was established in the research center CEDREN. Different aspects that are important for a holistic evaluation of the positive and negative consequences and services of hydropower are added, and among these is the topic "flood dampening services". This report goes through the method that was developed for the classification of flood dampening services from hydropower reservoirs. The method shows *potential* flood dampening on an overview level by analyzing readily available data about reservoir sizes, yearly runoff, reservoir filling through the year, drawdown capacity, and the relationship between degree of regulation and flood peak dampening. The method is intended for systems with multiple reservoirs, and a classification is given for each individual reservoir seen in relation to the rest of the system. The system as a whole will also be classified. The method made so that it is easy to see how changes in the system affects the flood dampening services.

The method has been applied in five different test-cases with the help of the power company Hydro, and the results have been discussed with those with local knowledge about the rivers. The method has been improved based on weaknesses that were discovered through the testing and suggestions from discussions. The results and comments from the authors are presented in this report, in addition to comments concerning how reasonable the classifications appear and which conclusions that can be drawn. Based on knowledge about the rivers and hydropower systems, the results appear reasonable, and the method can be useful for a coarse analysis of the consequences of changes in the river(s).

Bendik Hansen, Sem Sælands vei 11, 7034 Trondheim, bendik.hansen@sintef.no
Atle Harby, Sem Sælands vei 11, 7034 Trondheim, atle.harby@sintef.no

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
1 Innledning	6
2 Metode	7
2.1 Beskrivelse av metoden	7
2.1.1 Høstflom	7
2.1.2 Vårflom.....	8
2.1.3 Individuelt og totalt flomdempingspotensial.....	9
2.2 Klassegrenser	10
2.3 Nødvendig data og eksempler på kilder:	10
2.4 Fremgangsmåte.....	11
2.5 Nytteverdi av metoden:	12
2.6 Begrensninger og svakheter:.....	13
3 Utprøving i testvassdrag	14
3.1 Årdalsvassdraget (Tyin)	15
3.2 Suldalsvassdraget (Røldal/Suldal)	17
3.3 Fortunvassdraget (Fortun)	19
3.4 Orklavassdraget (Bjørset).....	21
3.5 Glommavassdraget ved Alvdal.....	23
4 Evaluering og diskusjon	25
5 Referanser	26
6 Vedlegg	27

1 Innledning

Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag (Forseth og Harby 2013) beskriver hvordan man kan evaluere, utvikle og gjennomføre tiltak for å forbedre levevilkårene for laksebestanden i regulerte vassdrag. Håndboka beskriver en omfattende metode for vurdering av flaskehals for lakseproduksjon. Håndboka omhandler kun laks og en forenklet beskrivelse av kraftproduksjon, men det er også andre interesser og tjenester å ta hensyn til i regulerte vassdrag, som f.eks. andre arter enn laks, biologisk mangfold, friluftsliv, estetiske verdier, fleksible energitjenester og flomdemping. Disse andre interessene og tjenestene skal inkluderes i «utvidet miljødesign» for å gi en mer helhetlig analyse av vassdraget og konsekvensene for endringer (positive og negative).

En metode for å klassifisere flomdempingsevnen til magasin i regulerte vassdrag har blitt utviklet i HydroCen arbeidspakke 4.3. Denne metoden bruker lett tilgjengelige data for å analysere det totale flomdempingspotensialet til et regulert vassdrag, samt betydningen av enkeltmagasin sett i sammenheng med hele systemet. Metoden har blitt betydelig endret siden den først ble foreslått i SINTEF-notatet «Flood dampening services from reservoirs» som ble utarbeidet i august 2019. Denne rapporten beskriver metoden for klassifisering av flomdempingspotensial og viser utprøving i fem testvassdrag.

2 Metode

Metoden er utviklet med tanke på at den skal være lett anvendbar med tanke på datagrunnlag, og vil derfor ikke gi svært detaljerte resultater. Den er ment å gi en oversikt og som en screening for å velge ut magasin for mer detaljerte studier eller grove analyser. Data som blir benyttet er for det meste data som alle regulanter har lett tilgjengelige for sine vassdrag. Metoden bør benyttes av, eller i samarbeid med, noen som har god kjennskap til reguleringen i vassdraget.

2.1 Beskrivelse av metoden

Metoden er basert på at det finnes et matematisk forhold mellom ledig reguleringsgrad (altså ledig magasinkapasitet/årstilsig) og demping av flomtopp for typiske vår/høstflommer (snøsmelting/regn). Demping av flomtopp har blitt valgt for å representere flomdemping i denne metoden, men det er viktig å merke seg at det finnes mange andre flomparametere som også kan være betydelige, som for eksempel varighet av flom og vannhastighet. Disse vil kreve betydelig mer detaljerte studier og kan eventuelt vurderes i videre undersøkelser. Metoden beskriver **potensialet til flomdemping i forhold til den uregulerte situasjonen for et punkt** (f.eks. et tettsted nedstrøms reguleringen). Systemet tar ikke hensyn til om flomdemping faktisk er viktig for punktet man ser på, det er en vurdering som må tas av brukeren. Forholdet mellom ledig reguleringsgrad og demping av flomtopp er undersøkt i Hansen (2018), hvor typiske innlandsflommer ble simulert gjennom 200 forskjellige teoretiske regulerte vassdrag med forskjellig form og magasinkapasitet. Denne undersøkelsen bør gjentas for andre regioner i Norge, for eksempel for kystnære regioner hvor man vil ha mer intense regnflommer og mindre snøsmelting.

Metoden tar hensyn til at det ikke er hensiktsmessig å dempe en flomtopp 100% (altså fjerne alt vann), men at man kan sette en grense for hva som er "nyttig" flomdemping. Dette åpner for muligheten for å undersøke om et enkelt magasin sett i sammenheng med hele systemet faktisk har potensiale til å være nyttig for flomdemping. Hvis man, for eksempel, definerer 40% demping av flomtopp som det maksimalt hensiktsmessige (altså at man ikke får verdi av flomdemping over 40%) og ser at dempingen av flomtopp for det relevante punktet nedstrøms reguleringsanleggene er over 40% selv uten magasin A, vil magasin A få en klassifisering for flomdempingspotensial tilsvarende "ingen". Dette er fordi reguleringsanleggene i systemet demper flommen nok selv uten det spesifikke magasinet. Dersom et magasin vises å bidra betydelig med flomdemping opp til den hensiktsmessige grensen, kan man si at det har stort potensial for flomdemping. Dersom et magasin får lavere klassifisering enn det kunne hatt pga. demping over den hensiktsmessige grensen i feltet vil dette bli markert med en eller flere stjerner (basert på hvor stort potensialet er) for å fremheve at magasinet faktisk kan bidra med flomdemping hvis det trengs.

2.1.1 Høstflom

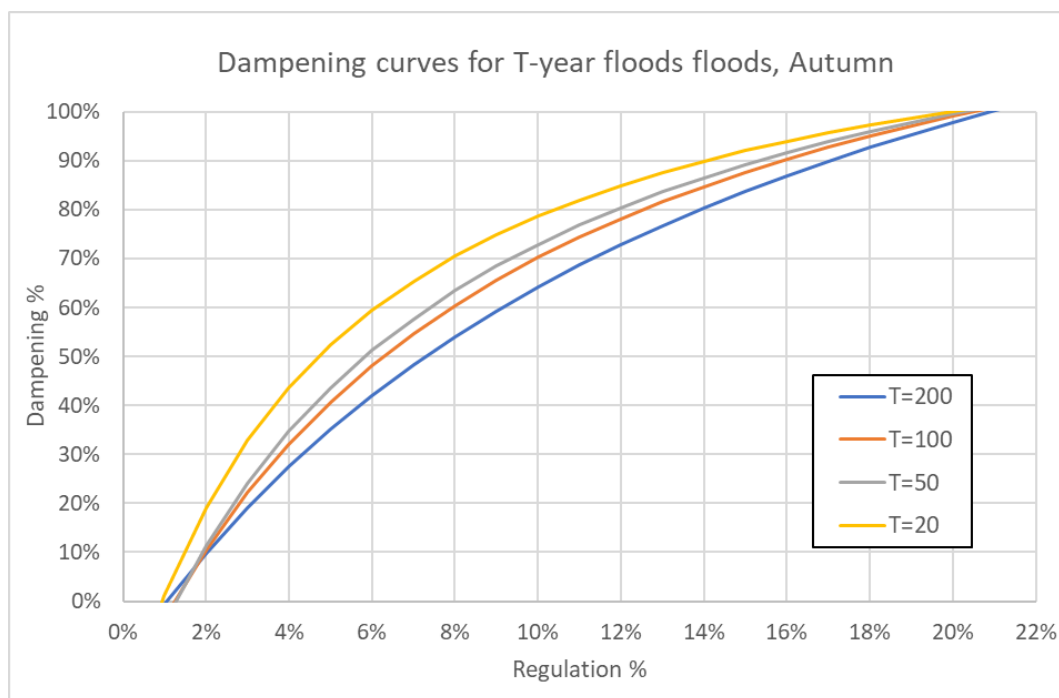
Sammenhengen mellom reguleringsgrad og demping av flomtopp ble utviklet i Hansen (2018). Disse kurvene beskriver hvor mye et system med flere magasin demper en flomtopp som en funksjon av ledig reguleringsgrad (altså ledig volum/årstilsig) når flommen kommer. Flommer av ulik størrelse og forløp ble simulert i teoretiske vassdrag med ulike størrelser og plasseringer av dammer. Demping av flomtopp ble så plottet mot ledig reguleringsgrad, og en statistisk regresjonsanalyse ble brukt for å finne en formel for forholdet mellom de to.

For beregningen av høstflom ble kurven for 50-års flom (Figur 1) brukt som en representativ verdi.

Formelen som ble brukt for **høstflom** er gitt i Ligning [1]:

$$Y = \frac{1 - 79.4198 * X}{-4.1045 - 54.1871 * X} \quad [1]$$

hvor Y er demping av flomtopp og X er ledig reguleringsgrad når flommer inntreffer.



Figur 1: Flomdempingskurver for høstflommer (fra Hansen (2018))

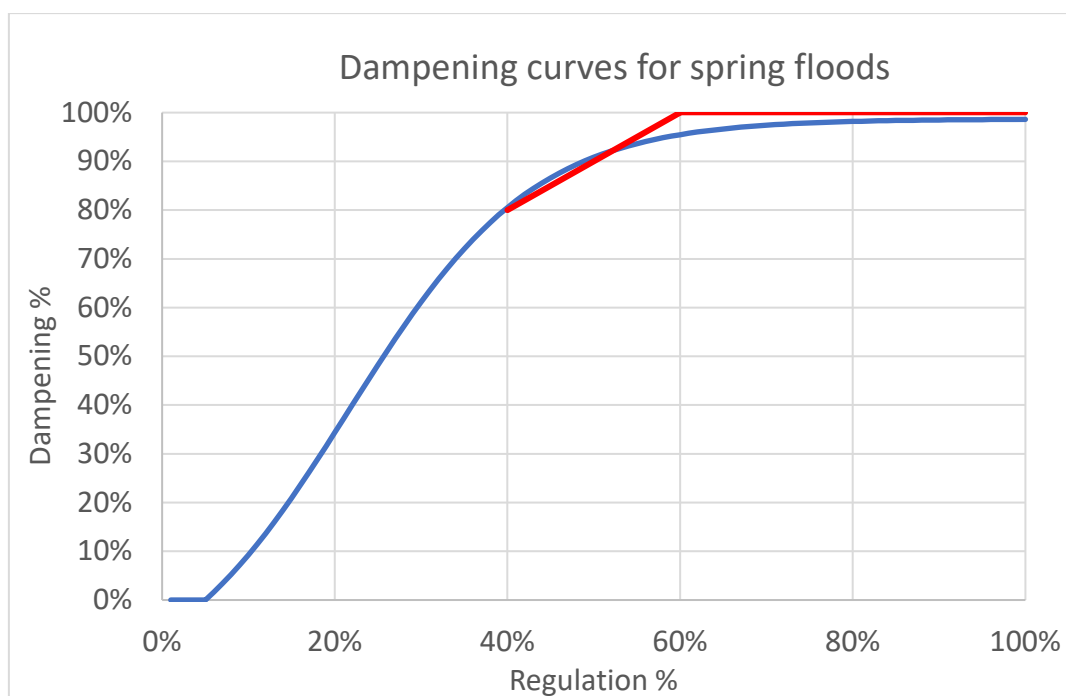
2.1.2 Vårflom

For vårflom er ikke flomdempingskurvene delt inn i gjentaksintervall. Kurvene ble utviklet for evaluering av system av mange magasin, ikke enkeltmagasin, så en liten endring ble derfor gjort: etter 40% reguleringsgrad går kurven i denne metodikken lineært opp til 100% demping ved 60% reguleringsgrad (Figur 2). Dette er fordi det er urimelig å si at et magasin ikke kan dempe tilnærmet 100% av sitt lokale tilsig med mindre det har 70% av årstilsiget sitt i ledig kapasitet. 60% ledig reguleringsgrad (altså 60% av årstilsig i ledig kapasitet) er satt som en konservativ øvre grense og det er antatt at det må ekstreme omstendigheter til før en vårflom har et volum tilsvarende mer enn 60% av det gjennomsnittlige årstilsiget.

Formelen som ble brukt for **vårflom** er gitt i Ligning [2]:

$$Y = -0.2089 + \frac{1.1958}{1 + e^{-(X-0.2163)/0.1069}} \quad [2]$$

hvor Y er demping av flomtopp og X er ledig reguleringsgrad når flommen inntreffer.



Figur 2: Flomdempingskurve for vårflo. Den røde linjen viser endringer i kurven for bruken i metoden beskrevet i denne rapporten.

På grunn an endringen i kurven for vårflo må man ta hensyn til tre forskjellige situasjoner i utregningen:

- I. Den ledige reguleringsgraden er lik eller under 40%. I så fall kan man bruke ligningen for vårfloer. (Y som i ligning [2].)
- II. Den ledige reguleringsgraden er mellom 40% og 60%. I dette tilfellet kan man bruke dempingen ved 40% reguleringsgrad (80.5%) og legge til prosentpoengene med reguleringsgrad over 40% direkte til dempingen (stigningstallet på kurven er 1:1 i den røde delen så 1% reguleringsgrad = 1% demping av flomtopp). ($Y=80.5+(X-40.5)$.)
- III. Den ledige reguleringsgraden er 60% eller mer. I dette tilfellet kan man sette flomdempingspotensialet for dette magasinet til 100%. ($Y=100$).

Disse utregningene blir gjort automatisk i Excel-arket som er beskrevet i vedlegg.

2.1.3 Individuelt og totalt flomdempingspotensial

Kurvene over blir brukt for å regne ut den lokale (altså rett nedstrøms det enkelte magasinet) flomdempingen fra hvert enkelt magasin i systemet. For å regne ut bidraget til flomdempingen for det definerte punktet nedstrøms, blir prosent demping av flomtopp ganget med prosentandelen av tilsiget til punktet som renner til det gitte magasinet. Hvis magasin A for eksempel har 50% flomdempingspotensial og dekker 20% av tilsiget til punkt B, bidrar magasin A med $0.5 \cdot 0.2 = 10\%$ flomdemping til punkt B. Dersom bidraget bringer den totale flomdempingen for punkt B over den hensiktsmessige grensen (f.eks. 40%) blir prosentpoengene over grensen trukket fra før klassifiseringen blir gjort (se seksjonen om fremgangsmåte for beskrivelse). Resultatene fra denne utregningen er grunnlaget for klassifiseringen i den nedre delen av Tabell 1.

For å regne ut det totale flomdempingspotensialet for systemet legger man sammen de individuelle bidragene til totalen (uten å trekke fra dersom det blir dempet over den hensiktsmessige grensen). Denne summen utgjør grunnlaget for klassifiseringen i den øvre delen av Tabell 1.

Se Fremgangsmåte for en mer detaljert beskrivelse av fremgangsmåten.

2.2 Klassegrenser

Klassegrensene for klassifisering av flomdempingspotensial er satt basert på skjønn, og det er rom for tilpasning dersom de viser seg å være urimelige. Bidraget fra *enkeltmagasin* til det totale flomdempingspotensial er målt som prosentpoeng bidrag til den totale dempingen av flomtoppen (i prosent), opp til et flomdempingspotensial på 40%. Hvis det totale flomdempingspotensialet er 40% eller høyere selv uten et individuelt magasin, får det aktuelle magasinet 0 prosentpoeng bidrag. For å bevare faktumet at et magasin kunne bidratt til flomdemping dersom det ikke var over den hensiktsmessige grensen kan man sette en eller flere stjerner etter klassifiseringen, hvor 1/2/3/4 stjerner betyr at klassifiseringen ville vært respektivt Lite/medium/Høyt/Svært høyt dersom det ikke var så mye annen flomdemping fra andre magasin i feltet.

Tabell 1: Klassegrenser for klassifisering av flomdempingspotensial i regulerte vassdrag. Dersom et magasin bidrar med over den hensiktsmessige grensen flomdempingspotensial vil det bli markert med 1/2/3/4 stjerner basert på om bidraget ville vært henholdsvis Lite/Moderat/Høyt/Svært høyt dersom det ikke var over grensen.

Klassegrenser for totalt flomdempingspotensial	
X = flomdempingspotensial som følge av reguleringen	
X < 5%	Ingen
5% ≤ X < 10%	Lite
10% ≤ X < 16%	Moderat
16% ≤ X < 30%	Høyt
30% ≤ X	Svært høyt
Klassegrenser for ett magasins flomdempingspotensial	
X = bidrag til hensiktsmessig flomdempingspotensial (prosentpoeng)	
X < 3%	Ingen (*/**/***/****)
3% ≤ X < 7%	Lite (**/***/****)
7% ≤ X < 12%	Moderat (***/****)
12% ≤ X < 19%	Høyt (****)
20% ≤ X	Svært høyt

2.3 Nødvendig data og eksempler på kilder:

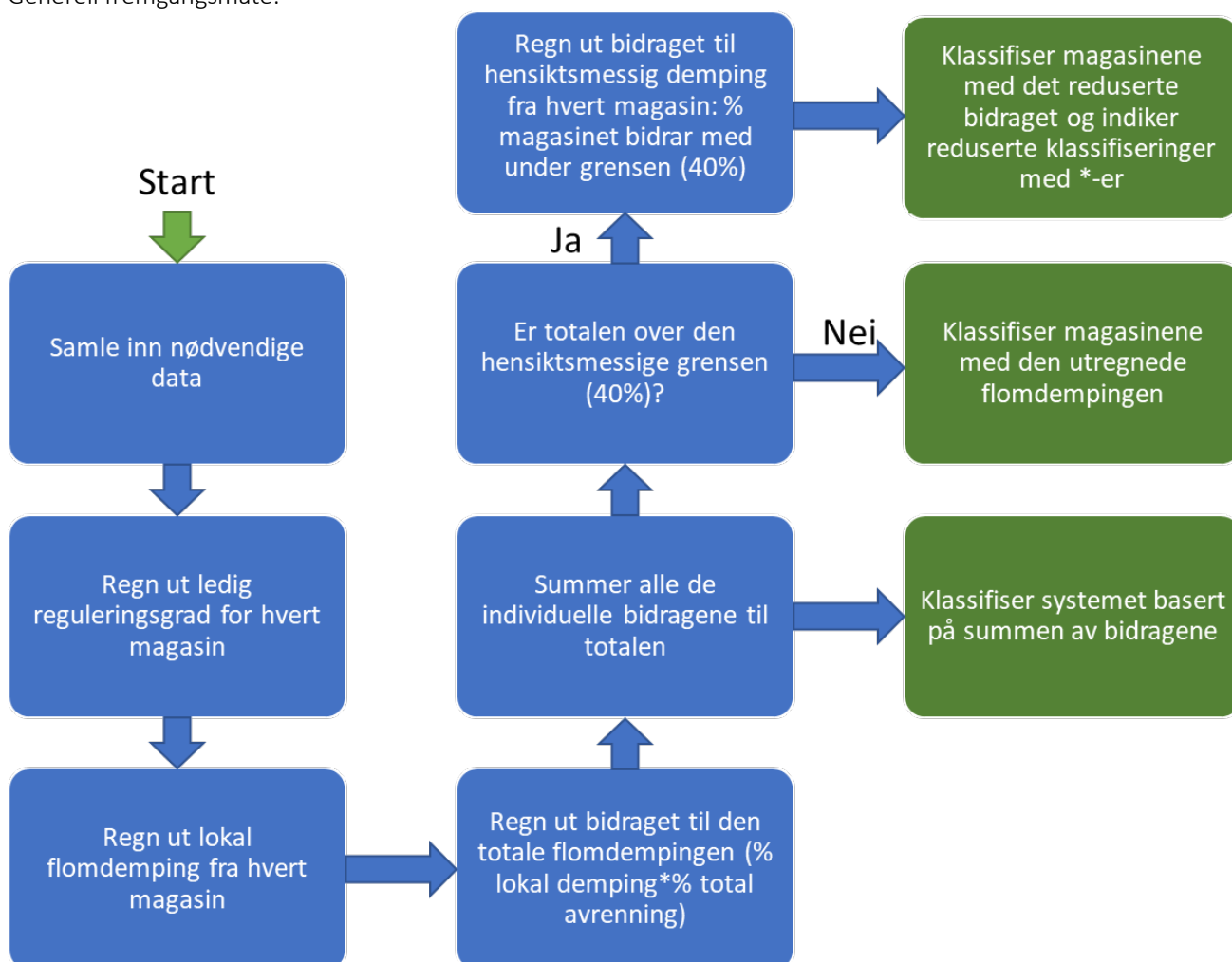
- Magasinkapasitet (per magasin)
 - Regulant
 - NVE Atlas
- Typisk fyllingsgrad året rundt (per magasin)
 - Regulant
 - NVE regionale data (veldig grov)
- Tappekapasitet (per magasin)
 - Regulant

- Vannveier, kraftverk og vannføringskapasiteter (felt, enhet)
 - Regulant (for kapasiteter og topologi)
 - NVE Atlas (for topologi)
- Manøvrering av infrastrukturen i flomsituasjon
 - Regulant
 - Annen lokalkunnskap
- Dato(er) hvor flomsituasjon typisk oppstår (felt)
 - NVE: historiske uregulerte vannføringsserier
 - Regulant: historiske uregulerte vannføringsserier som ikke er tilgjengelige hos NVE
- Forhold mellom tilgjengelig reguleringsgrad og flomdemping (region)
 - Foreløpig arbeid med "flomdempingskurver" fra SINTEF/NTNU
 - Disse kurvene trenger sannsynligvis mer arbeid for å tilpasse dem for ulike regioner

2.4 Fremgangsmåte

Et Excel-ark har blitt laget for enkel bruk av metoden, hvor alt man trenger å gjøre er punkt 1 i beskrivelsen under. Beskrivelse av fremgangsmåte er allikevel generell (gitt som et flyt-diagram i Figur 3), slik at leseren kan utføre den uavhengig av Excel-arket om det skulle være ønskelig. En veiledning for Excel-arket er gitt i vedlegg. Prosedyren gjentas (eller gjøres samtidig) for hver dato for flom som er valgt ut.

Generell fremgangsmåte:



Figur 3: Flyt-diagram for bruk av metoden.

- 1) Samle inn nødvendig data (beskrevet ovenfor)
 - a. Flomdempingskurver finnes i vedlegg til denne rapporten
- 2) Regn ut ledig reguleringsgrad i hvert magasin
 - a. Ledig magasinkapasitet/"uregulert" årstilsig til magasin
 - b. Ledig magasinkapasitet vil være ledig volum i magasinet basert på fyllingsgrad, fratrukket volumet som kan tappes med tappeluker og vannkraftverk på henholdsvis 7 og 3 dager for vår- og høstflom
 - c. "Årstilsig" kan justeres basert på hvordan overføringer driftes i flomsituasjon. Dersom bekkeinntak overfører en viss del av vannet i en flomsituasjon til et magasin, bør årstilsiget til magasinet og elva nødstrøms bekkeinntakene bli justert deretter. Det er viktig hvordan overføringene driftes i flomsituasjon, ettersom årstilsig i denne metodikken kun blir brukt for å beskrive flommen og flomtilsiget til et magasin. Se Tyn testvassdrag for et eksempel.
 - d. Det kan være hjelpsomt å bruke GIS og shapefiler fra NVE Atlas for å se det uregulerte årstilsiget til hvert nedbørfelt i vassdraget
- 3) Regn ut lokal flomdemping fra hvert enkelt magasin
 - a. Basert på ledig reguleringsgrad fra punkt 2 og ligningene for forhold mellom ledig reguleringsgrad og flomdemping (se ligning [1] og [2])
- 4) Regn ut hvert enkelt magasins bidrag til den totale flomdempingen
 - a. Et magasins bidrag til den totale dempingen vil være prosenten av det totale tilsiget som renner til magasinet ganget med dempingen av flomtopp i magasinet (hvis et magasin har 30% av totaltilsiget og demper sin lokale flomtopp 50%, vil bidraget til totalen være $30\% * 50\% = 15\%$).
- 5) Regn ut det hensiktsmessige bidraget til den totale flomdempingen
 - a. For hvert magasin, regn ut hva summen av flomdemping vil være med og uten det aktuelle magasinet. Dersom summen uten magasinet er over grensen for hensiktsmessig flomdemping bidrar det med 0%. Dersom summen uten magasinet er under grensen, bidrar magasinet med forskjellen mellom grensen og summen (opp til maksimum den verdien magasinet kunne bidra med til flomdemping). Se testvassdrag for eksempler.
- 6) Bruk klassegrensene i Tabell 1 for å fastsette klassifiseringen for flomdempingspotensial for hvert enkelt magasin og systemet som helhet (fra "Ingen" til "Svært høyt")
 - a. Flomdempingspotensialet for hvert enkelt magasin har allerede blitt regnet ut i punkt 3, og det totale flomdempingspotensialet i punkt 4 (den totale flomdemping med alle magasin).
 - b. Dersom et magasin bidrar med flomdemping over den hensiktsmessige grensen, sett stjerner etter instruksene i kapittel 2.2.

2.5 Nytteverdi av metoden:

Noen mulige bruksområder for metoden er listet opp under. Dersom man er oppfinnsom med bruk av inngangsdata, kan man sikkert finne flere gode bruksområder som ikke er listet opp her.

- Screening for prioritering av videre undersøkelser for drift med tanke på flomdemping.
 - For eksempel kan man gjøre en grov undersøkelse av hvordan endringer i drift eller vannveier kan påvirke flomdemping.
- Evaluering av konsekvenser pga. endrede vilkår med tanke på flomdempingspotensial.
 - Dersom krav om magasininfylling på visse tider av året for eksempel endres, kan man sette dette inn i systemet og se hvordan det påvirker flomdempingspotensialet til systemet.
- Flomdempingspotensial med tanke på klimaendringer.

- o Man kan se på endrede fyllingsmønstre og flomforløp og vurdere om man bør gjøre endringer for å ivareta eller øke flomdempingspotensialet i vassdraget. Slik systemet er satt opp nå er muligheten bare å endre fyllingsgrad, dato for flom, og type (høst/vår), men flomdempingskurver kan muligens også utvikles for typen flommer vi kan forvente i fremtiden.

2.6 Begrensninger og svakheter:

Metoden har naturligvis visse begrensninger. Noen er bevisste for å gjøre systemet enkelt å bruke, og noen er ting som kan forbedres i fremtiden.

- Systemet ser kun på demping av flomtopp, som ikke er den eneste viktige faktoren med tanke på flom. Vannhastighet, vannstigningsendringer og flomvarighet er eksempler på andre faktorer som kan være av betydning, men som vil kreve mer detaljert analyse eller modellering. Dette kan vurderes som tilleggsundersøkelser der det er spesielle behov, men vil ikke bli inkludert i metoden.
- Dersom metoden har flere magasin i serie (et magasin får tilsig fra et eller flere andre magasin) vil flomdemping noen ganger telles dobbelt, siden tilsiget til magasinet nedstrøms allerede er dempet fra oppstrøms magasin (så kanskje det ikke kommer noen flom til nedstrøms magasin). Dette kan muligens forbedres, men vil gjøre metodikken mer komplisert.
- Ligningene for forholdet mellom ledig reguleringsgrad og flomdemping er basert på begrensede studier av innlandsflommer. Det bør gjøres videre studier av flommer i andre regioner og typer nedbørfelt for å undersøke om forholdet er anvendbart i disse regionene også.
- Metoden ser på demping av flomtopp på et punkt, ikke langs hele vassdraget. Dersom det er flere steder som er utsatt for flomskader langs vassdraget kan det være vanskelig å få et helhetsinntrykk. Dette kan muligens forbedres eller implementeres i metoden ved å analysere flere punkt separat, eventuelt også beregne et gjennomsnitt av resultatene. Dette gjennomsnittet kan også vektas, avhengig av hvor viktig de ulike punktene er i forhold til flomfare og flomskader.
- Metoden antar at tilsiget er det samme per areal i hele vassdraget og tar ikke hensyn til at lokale hendelser som kan forårsake store skader (f.eks. lokale styrtflommer i små nedbørfelt). Metoden bør derfor ikke brukes i små vassdrag.
- Metoden tar ikke hensyn til hydrauliske forhold. Flomløp, ledeordninger og topografi, elveløp, innsjøer og magasin kan ha stor påvirkning på et flomforløp nedover i vassdraget, spesielt på kortere tidsskalaer.

3 Utprøving i testvassdrag

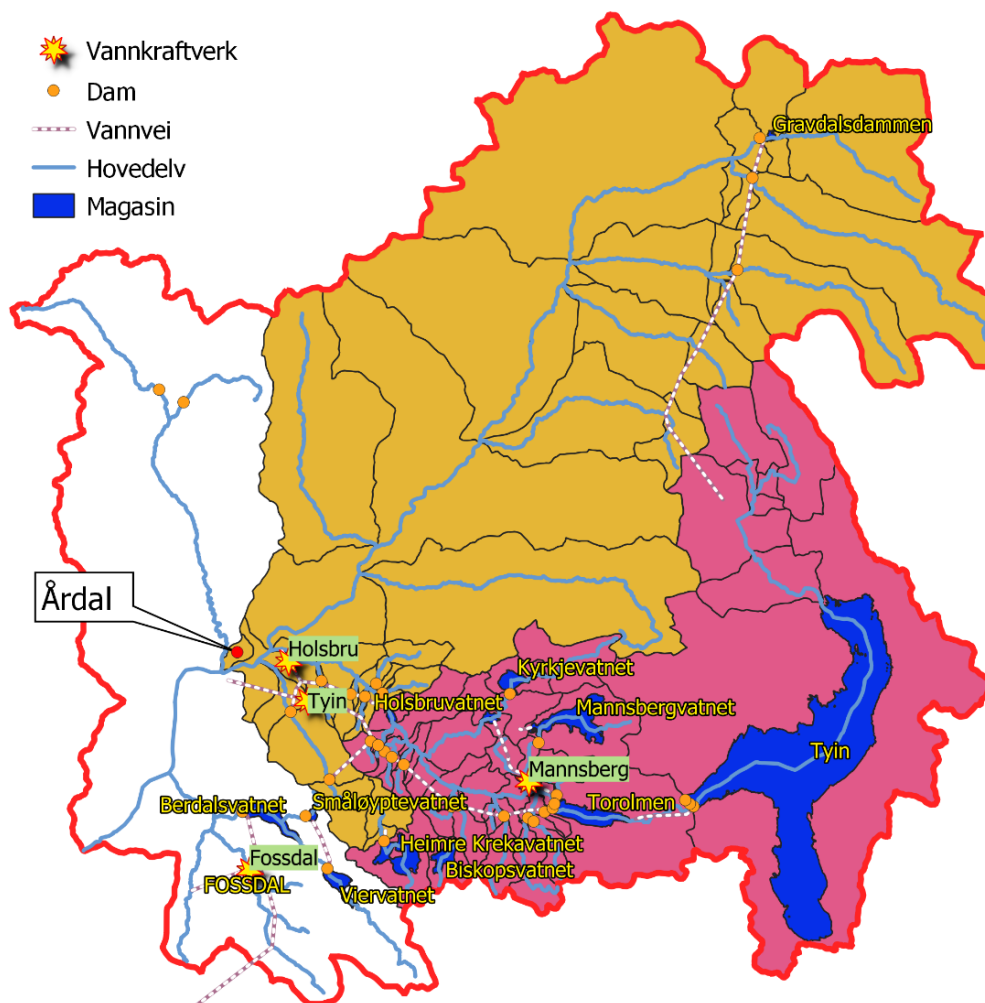
Hydro har stilt til rådighet og bidratt med data for tre av sine regulerte vassdrag: Årdalsvassdraget (Tyn), Suldalsvassdraget, og Fortunvassdraget. I tillegg ble metoden anvendt på to testvassdrag hvor vi allerede hadde data fra simuleringer om flomdempingsevnen i vassdragene: Orkla og øvre Glomma (Alvdal) (Figur 4). Resultater fra utprøving og noen kommentarer angående antakelser og bruk av metoden er gitt i dette kapitlet.

For alle testvassdragene ble det antatt at den maksimalt hensiktsmessige flomdempingen var 40% reduksjon av flomtopp (høyeste vannføring i flomforløpet). Metoden er anvendt av en person uten spesiell kjennskap til vassdragene i de fleste tilfellene, og det er derfor mulig at noen antakelser ikke stemmer. Vi har valgt datoene 1/5, 1/7 og 1/9 som representative for flomfare for de fleste vassdragene. 1/5 og 1/7 har blitt antatt å være snøsmelteflommer, mens 1/9 har blitt antatt å være en regnflom. For Glomma ble 1/6 brukt i stedet for 1/5 basert på trender i data, og det er også en snøsmelteflom.



Figur 4: Oversikt over testvassdrag. Testen i Glommavassdraget ble gjort i Alvdal.

3.1 Årdalsvassdraget (Tyin)



Figur 5: Regulering i Årdalsvassdraget. Rosa felt drenerer til regulerte magasin, mens brune drenerer rett til utløpet.

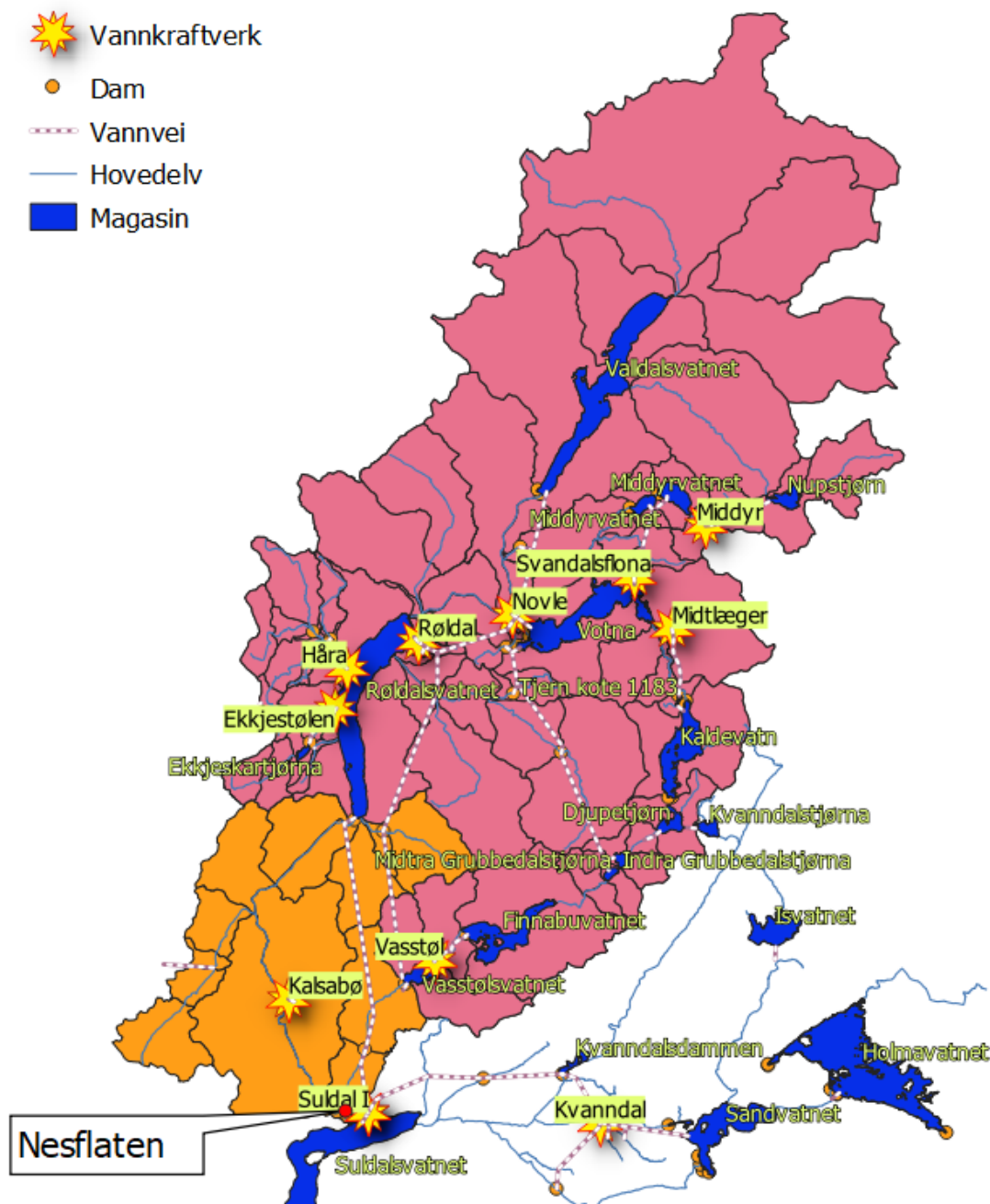
Figur 5 viser et kart over Årdalsvassdraget. Punktet for utregning av flomdempingspotensial ble satt i Årdal, nedstrøms utløpet til Holsbru kraftverk. Bekkeinntakene nord i feltet er vanskelige å komme til på kort varsel og det er antatt at de er åpne i flomsituasjoner og overfører 75% av tilsiget i elvene over til Tyin. Tilsiget til Årdal og Tyin er redusert/økt tilsvarende. Bekkeinntakene sør i feltet er antatt å være lukket i en flomsituasjon (etter samtale med Hydro).

Tabell 2: Klassifisering av flomdempingspotensial i Årdalsvassdraget.

	Flomdempingspotensial sett i sammenheng med systemet		
	1/5	1/7	1/9
Torolmen	Ingen	Ingen	Ingen
Biskopsvatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Mannsbergvatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Gravdalsdammen	Ingen	Ingen	Ingen
Tyin	Svært høyt	Høyt	Svært høyt
Nedre Breibottsvotni	Ingen	Ingen	Ingen
Heimre Krekavatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Kyrkjevatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Holsbruvatnet	Ingen	Ingen	Ingen
	Totalt flomdempingspotensial		
	1/5	1/7	1/9
Demping av flomtopp	0.36	0.20	0.24
Klassifisering	Svært høyt	Høyt	Høyt

Resultatene vist i Tabell 2 peker på Tyin som det eneste viktige magasinet for flomdemping i vassdraget. Det er mange andre magasin, men av forskjellige grunner får de en lav score. Noen demper sitt lokale tilsig betydelig, men har så små nedbørfelt at det blir ubetydelige for Årdal, andre har store nedbørfelt, men liten magasinkapasitet når flommen kommer. Resultatene peker også på at for de første snøsmelteflommene i året er flomdempingspotensialet allerede veldig nær grensen for det som er satt som hensiktsmessig (40%). Dersom det kommer flommer med stort volum senere når magasinene allerede har blitt betydelig fylt opp, er potensialet for demping mye lavere. I tillegg er potensialet lavere utover høsten ettersom magasinene er relativt fulle. Disse effektene er i all hovedsak påvirket kun av fyllingsgraden i Tyin. De andre magasinene langs hovedelven har liten magasinkapasitet og bidrar ikke til flomdempingspotensialet selv om de blir definert som tomme før flommen kommer.

3.2 Suldalsvassdraget (Røldal/Suldal)



Figur 6: Regulering i Suldalsvassdraget. Rosa felt drenerer til regulerte magasin, mens oransje drenerer rett til utløpet.

Figur 6 viser kart over Suldalsvassdraget. Punktet for utregning av flomdempingspotensial ble satt til Nesflaten, ved utløpet av elva til Suldalsvatnet. Dette punktet er forbigått av Suldal kraftverk, altså tappes produksjonsvannet forbi punktet i Nesflaten og rett ut i Suldalsvatnet. Overføringer mellom magasin gjorde det utfordrende å fastsette "årstilsig". Dette er imidlertid bare brukt som et overslag til å finne størrelse og volum på flom i feltet, ettersom flomstørrelse er definert som en funksjon av årlig tilsig til punktet. Siden nedbørfeltene til overføringene til Votna (fra Middyrvatnet) er såpass små ble dette tilsig antatt å gå i sine respektive elver i stedet for i overføringene. For Vasstølvatnet ble tappekapasiteten fra Røldal kraftverk antatt å være halvparten av kapasiteten i kraftverket (altså $22.5 \text{ m}^3/\text{s}$), siden det kommer produksjonsvann fra Valdalsvatnet. Den resterende kapasiteten til Røldal kraftverk ble satt som tappekapasitet for Valdalsvatnet.

Faktumet at kraftverket Suldal 1 kan lede betydelig vann ($70\text{m}^3/\text{s}$) forbi Nesflaten og dermed dempe flomtoppen belyste et nytt dilemma. Det ble ikke tatt med i beregningen (annet enn som tappekapasitet for Røldalsvatnet), ettersom det ikke er et resultat av magasinet, men kraftverket. Endringer i magasinet vil ikke påvirke denne kapasiteten for flomdemping, men det betyr også at resultatene ikke er helt representative for flomdempingspotensialet i vassdraget grunnet vannkraft. I noen tilfeller kan et slikt kraftverk faktisk bety at magasinene ikke er så viktige for flomdemping, siden kraftverket for seg selv har nok kapasitet til å opptre som en flomavleder og gjøre magasinenes flomdempingspotensial unødvendig. På den annen side kan det også være viktig å analysere hva som kan skje dersom kraftverket av ulike årsaker ikke er i drift når flommen inntreffer. Spesielt i forbindelse med flommer under kraftig uvær, er det ikke usannsynlig at andre forhold som for eksempel feil i strømnettet eller annen infrastruktur kan medføre stans i kraftproduksjonen.

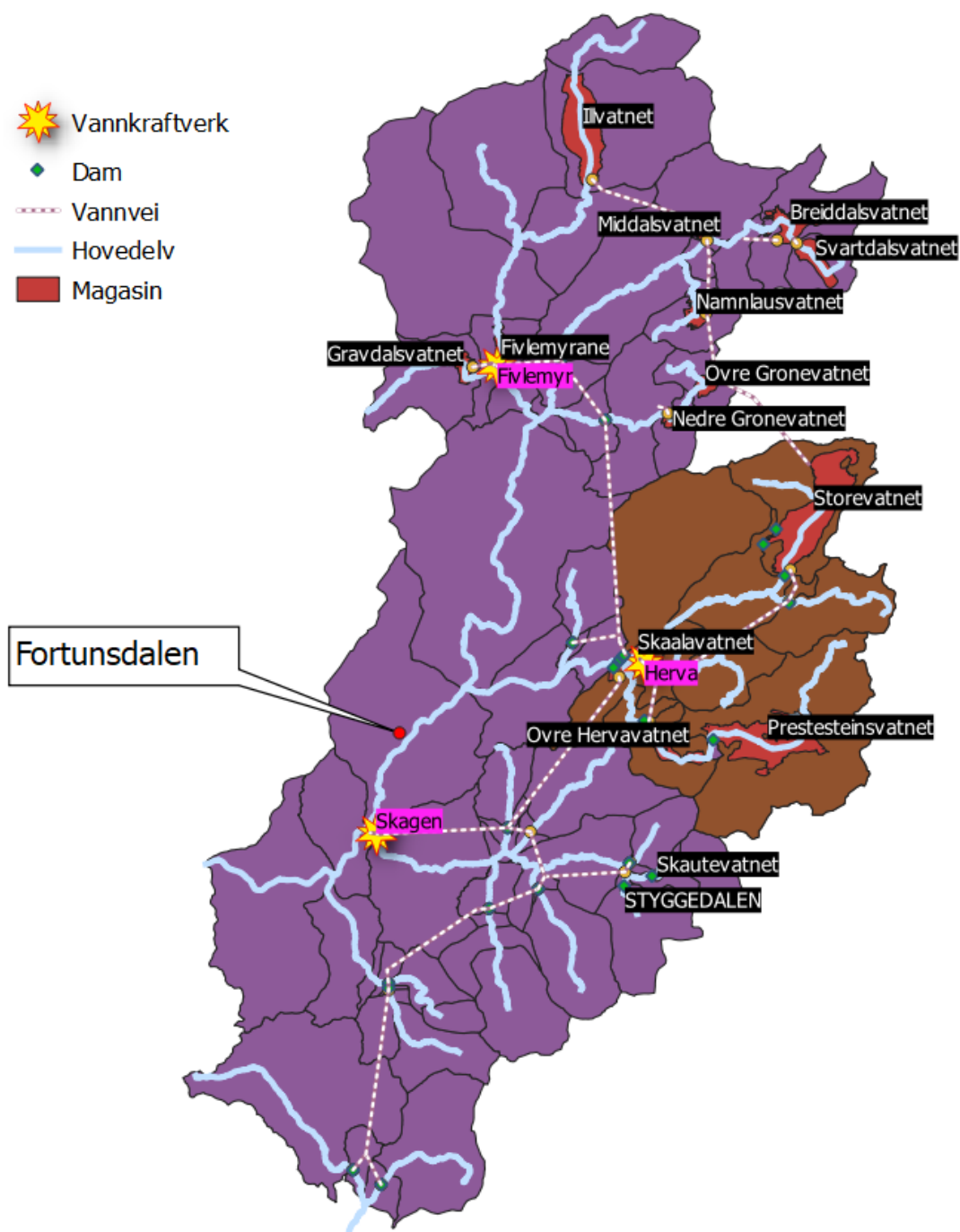
Som man kan se er det mange hensyn og antakelser som må tas med denne metoden, og det er derfor best om den brukes sammen med god kjennskap til systemet og hvordan det driftes.

Tabell 3: Klassifisering av flomdempingspotensial i Suldalsvassdraget. Stjerner etter klassifiseringen indikerer hvilken klassifisering magasinet ville fått dersom det ikke var over den hensiktsmessige grensen. 1/2/3/4 stjerner er henholdsvis Lite/Moderat/Høyt/Svært høyt.

	Flomdempingspotensial sett i sammenheng med systemet		
	1/5	1/7	1/9
Djupetjørn	Ingen	Ingen	Ingen
Røldalsvatnet	Ingen**	Ingen*	Ingen****
Indra Grubbedalstjørna	Ingen	Ingen	Ingen
Valldalsvatnet	Moderat****	Høyt****	Ingen****
Nupstjørn	Ingen	Ingen	Ingen
Finnabuvatnet	Ingen*	Ingen*	Ingen*
Votna	Ingen**	Ingen**	Ingen**
Middyrvatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Kaldevatn	Ingen	Ingen	Ingen
Vasstølsvatnet	Ingen	Ingen	Ingen*
	Totalt flomdempingspotensial		
	1/5	1/7	1/9
Demping av flomtopp	0.59	0.47	0.83
Klassifisering	Svært høyt	Svært høyt	Svært høyt

Resultatene i Tabell 3 viser at de fleste magasinene ikke er betydelige for flomdempingspotensialet slik systemet er i dag. Det betyr ikke at systemet ikke har stort flomdempingspotensial – som resultatene også viser har det den høyeste klassifiseringen det kan få totalt sett. Systemet totalt sett har et veldig høyt flomdempingspotensial, men det er så stor magasinkapasitet i feltet at de fleste individuelle magasinene ikke er avgjørende. Valldalsvatnet har en større betydning for vårflommer fordi Røldalsvatn (som i høstflommer kan dempe mye, men ikke hensiktsmessig) har et relativt lavt maksimalt volum og vårflommer har stort volum vann, så Røldalsvatn kan bidra mindre i en slik situasjon (altså blir Valldalsvatnet mer betydelig). For høstflommer er det mer enn nok magasinkapasitet for å nå den hensiktsmessige grensen selv uten Valldalsvatnet. Man kan også se at Votna ville hatt klassifiseringen "Moderat" dersom det ikke var så mye annen kapasitet i feltet. Hvis man i tillegg vurderer flomavledning fra Suldal 1 kraftverk ser man at systemet har et betydelig flomdempingspotensial som ligger langt over den hensiktsmessige grensen.

3.3 Fortunvassdraget (Fortun)



Figur 7: Regulering i Fortunvassdraget. Brune felt drenerer til regulerte magasin, mens lilla felt drenerer rett til utløpet.

Figur 7 viser kart over Fortunvassdraget. Punktet for utregning av flomdempingspotensial ble satt i Fortunsdalen oppstrøms Skagen kraftverk etter samtale med Hydro. Dette er igjen et utfordrende felt på grunn av alle overføringene, så mange antakelser måtte til. For å gjøre det overkommelig ble det antatt at overføringene ikke var betydelig i en flomsituasjon og at vannet gikk i sine respektive elver. Som i Suldalsvassdraget er det her et kraftverk som avleder vann fra det flomutsatte området. Igjen ble virkningen av kraftverket på flomdemping bare inkludert med tappekapasiteten (se beskrivelsen av Suldalsvassdraget for begrunnelse). Kapasiteten til Skagen kraftverk ble lagt til tappekapasiteten til Skålavatnet.

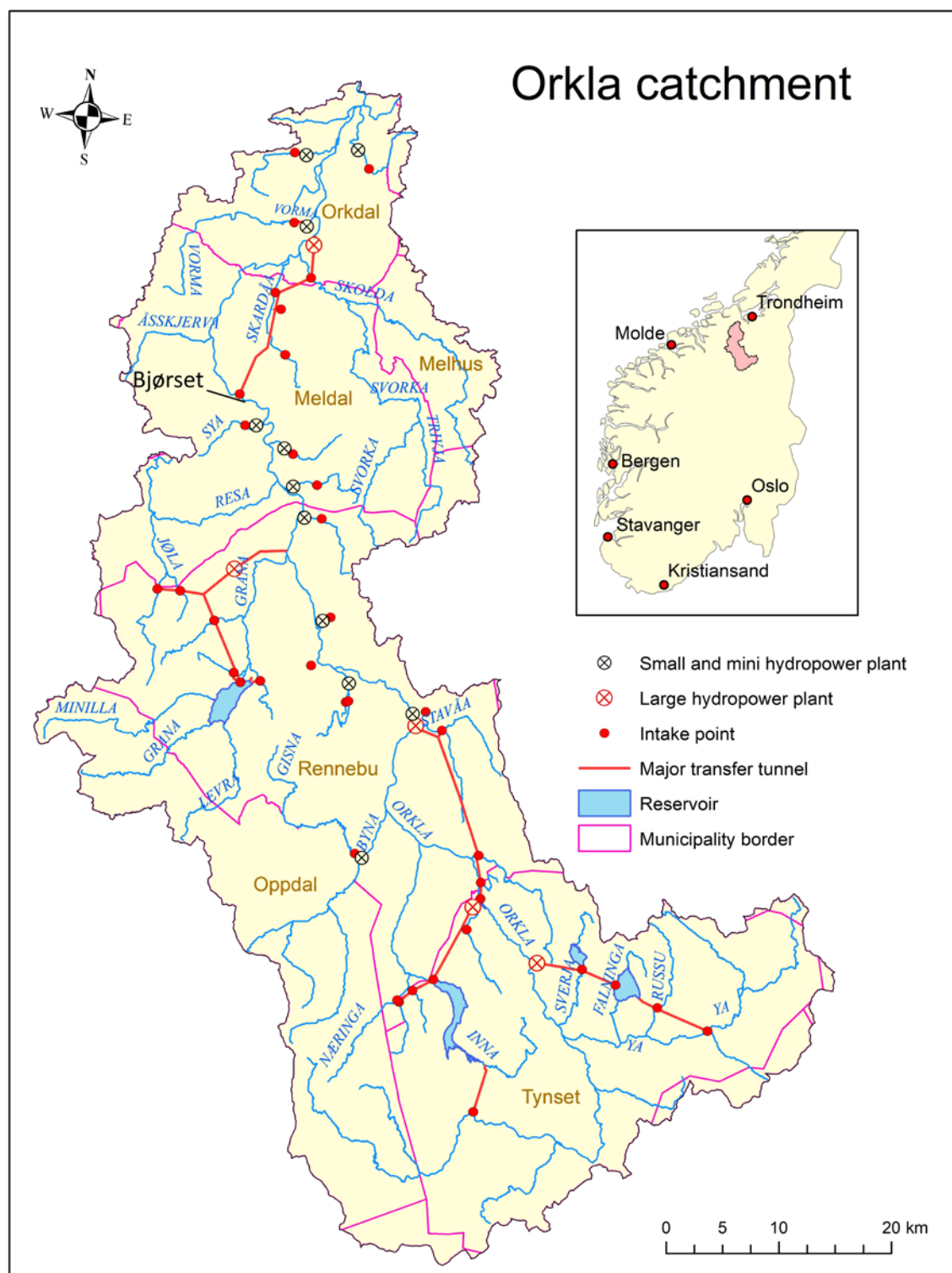
Tabell 4: Klassifisering av flomdempingspotensial i Fortunvassdraget. Stjerner etter klassifiseringen indikerer hvilken klassifisering magasinet ville fått dersom det ikke var over den hensiktsmessige grensen. 1/2/3/4 stjerner er henholdsvis Lite/Moderat/Høyt/Svært høyt.

	Flomdempingspotensial sett i sammenheng med systemet		
	1/5	1/7	1/9
Gravdalsvatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Fivlemyrane	Ingen	Ingen	Ingen*
Illvatnet	Lite	Lite	Ingen*
Middalsvatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Breiddalsvatnet	Lite	Ingen	Ingen
Svartdalsvatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Namslausvatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Øvre Grønevatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Nedre Grønevatnet	Ingen	Ingen	Ingen
Storevatnet	Lite	Lite	Ingen*
Skålavatnet	Lite	Ingen	Lite***
Øvre Hervavatnet	Ingen	Ingen	Ingen*
Prestensteinsvatnet	Moderat	Moderat	Ingen**
	Totalt flomdempingspotensial		
	1/5	1/7	1/9
Demping av flomtopp	0.34	0.25	0.50
Klassifisering	Svært høyt	Høyt	Svært høyt

Tabell 4 viser at det i Fortunvassdraget er flere magasin som bidrar med hensiktsmessig flomdempingspotensial enn i Suldals- og Årdalsvassdragene. Det kommer av at det ikke er ett stort magasin som hovedsakelig bidrar, og at det heller ikke er mye flomdempingspotensial over den hensiktsmessige grensen. Det totale flomdempingspotensialet ligger nær grensen for det som er regnet som maksimalt hensiktsmessig (40%), og det er summen av demping fra mange magasin som gir denne effekten. For vårflokker rundt 1/7 når magasinene er delvis fulle, mister noen av magasinene sitt flomdempingspotensial. I dette tilfellet er det ikke fordi de bidrar med demping over den hensiktsmessige grensen, men fordi de ikke har kapasitet til å dempe sitt lokale tilsig betydelig nok. Utover høsten ser man også at de fleste magasin er klassifisert lavere, og i dette tilfellet er det fordi det totale flomdempingspotensialet er generelt høyere og bidraget fra visse magasin ikke er betydelig med tanke på det hensiktsmessige.

Fivlemyrane er ikke klassifisert som viktig for flomdemping, og det er mangelen på magasinkapasitet i forhold til størrelsen på nedbørfeltet som gjør det slik. Til tross for dette bidrar Fivlemyrane med en vesentlig flomdempingsfunksjon: det ligger nedstrøms en bredemmet innsjø som gjør det nedstrøms området utsatt for jøkulhlaup. Det har vært historiske hendelser hvor dette magasinet har redusert flombølgen betydelig i en slik situasjon.

3.4 Orklavassdraget (Bjørset)



Figur 8: Regulering i Orklavassdraget.

Figur 8 viser kart over Orkla-vassdraget. Punktet for utregning av flomdemningspotensial ble satt ved Bjørset, rett oppstrøms inntaket til Svorkmo kraftverk (nord i feltet). Dette er ikke nødvendigvis et sted som er spesielt flomutsatt, men undersøkelsen ble gjort for å sammenlikne resultater med andre

resultater for flomdemping i Orkla som var gjort ved Bjørset. Orklavassdraget er betydelig mindre komplisert enn de andre vassdragene presentert så langt. Det er fire betydelige magasin i hvert sitt sidevassdrag og dermed er ingen av dem i serie. Det er noen overføringer, men de er relativt enkle å vurdere, og det foreligger data for kapasiteten til disse. Basert på tidligere studier av vassdraget ble det antatt at 75% av vannet blir overført fra inntakene i Næringa, Ya, Russu og Øvre Dølvad (det mest sørliggende inntaket). De resterende ble antatt å være ubetydelige.

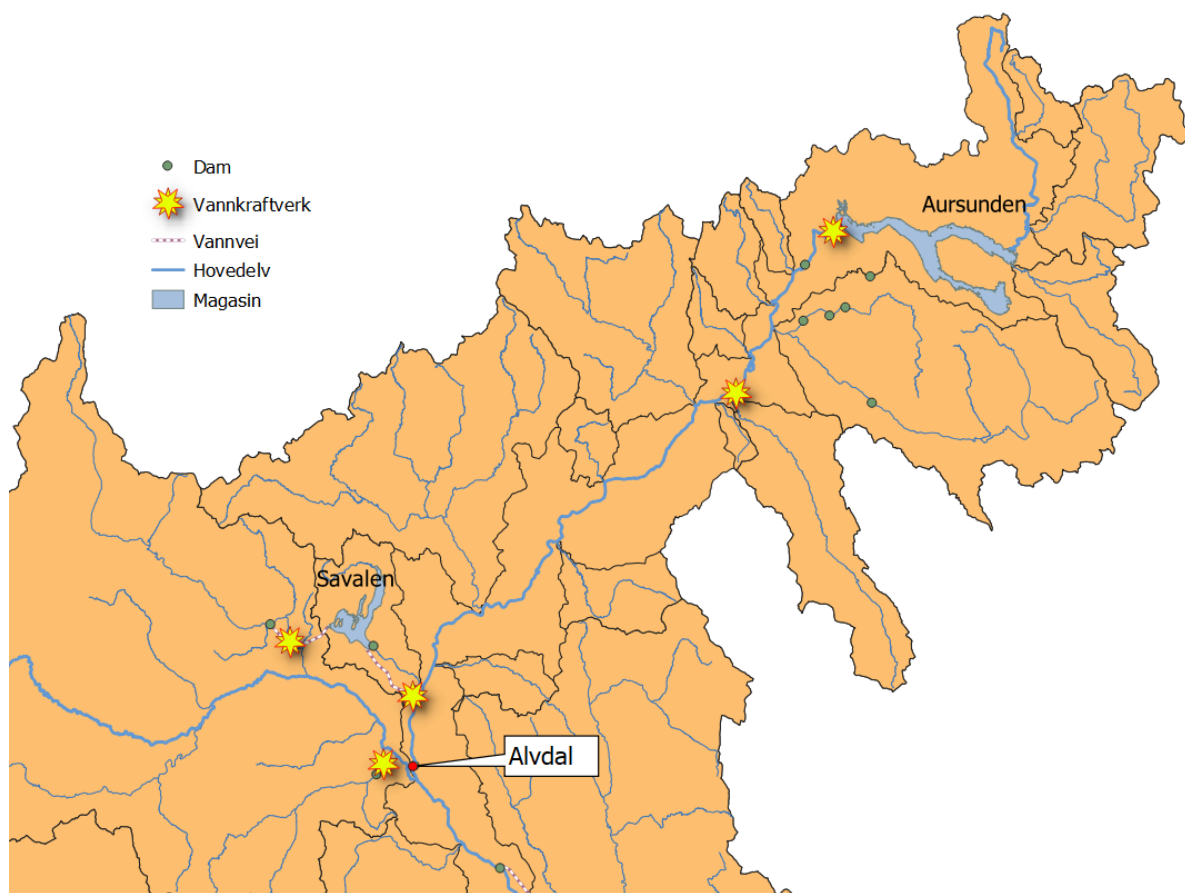
Tabell 5: Klassifisering av flomdempingspotensial i Orklavassdraget

	Flomdempingspotensial sett i sammenheng med systemet		
	1/5	1/7	1/9
Granasjøen	Moderat	Moderat	Moderat
Innerdalsvatn	Moderat	Moderat	Moderat
Falningsjøen	Moderat	Lite	Moderat
Sverjesjøen	Ingen	Ingen	Ingen
	Totalt flomdempingspotensial		
	1/5	1/7	1/9
Demping av flomtopp	0.32	0.27	0.32
Klassifisering	Svært høyt	Høyt	Svært høyt

Resultatene i Tabell 5 viser at det er tre magasin som bidrar med betydelig flomdemping, mens Sverjesjøen har et nedbørfelt som er for lite til at magasinet kan ha noe signifikant bidrag, selv om det har potensial til å dempe sitt lokale tilsig svært mye. Med den antatte fyllingsgraden er magasinene for det meste store nok til å lagre lokaltilsiget som kommer i løpet av en flomsituasjon, og den totale flomdempingen i feltet er hovedsakelig begrenset av hvor stor prosentandel som er dekket av magasinene, ikke magasin- eller tappekapasiteten de har. Det er derfor lite som kan gjøres for å forbedre flomdempingspotensialet til disse magasinene, men man kan fortsatt undersøke om endringer kan forverre det. Situasjonen med stor flom og delvis fulle magasin 1/7 er nok usannsynlig.

Andre studier har indikert at store flommer i Orkla (ved Bjørset) har blitt dempet med ca. 35% (Hansen 2018), som tilsvarer godt med resultatene her. Siden flomdempingen i feltet er begrenset av hvor mye av tilsiget som renner til magasinene blir ikke metoden utfordret i dette tilfellet. I tillegg var Orkla hovedgrunnlaget for de underliggende flomdempingskurvene i Hansen (2018), så resultatene er forventet å være relativt like.

3.5 Glommavassdraget ved Alvdal



Figur 9: Regulering i nordre del av Glommavassdraget.

Figur 9 viser kart over øvre del av Glomma-vassdraget. Punktet for beregning av flomdempingspotensial ble satt i Alvdal, rett oppstrøms samløpet mellom Glomma og Folla. Dette var for enklere sammenlikning med eksisterende data om flomverdier med og uten regulering på det punktet. Tappereglementet til Aursunden er komplisert (Regjeringen, 1997). Det er delvis disponert som et flomdempingsmagasin, med tapperegler med hensyn til tilsig og uregulerte tilstander. Magasinet har en veldig høy tappekapasitet, og det er i dette tilfellet antatt at den kapasiteten kan utnyttes fullt ut dersom det er prognoser om en skadeflom. I tillegg har magasinet et flomdempingsmagasin på 4 millioner m³ som ikke kan fylles før 15. september.

Tabell 6: Klassifisering av flomdempingspotensial i øvre Glomma.

	Flomdempingspotensial sett i sammenheng med systemet		
	1/6	1/7	1/9
Aursunden	Svært høyt	Lite	Svært høyt
Savalen	Ingen	Ingen	Ingen
	Totalt flomdempingspotensial		
	1/6	1/7	1/9
Demping av flomtopp	0.26	0.09	0.32
Klassifisering	Høyt	Lite	Svært høyt

Tabell 6 viser resultatene for Glommavassdraget ved Alvdal. Savalen dekker lite av det totale nedbørfeltet til Glomma ved Alvdal, og har derfor ikke noe flomdempingspotensial for det punktet. Aursunden har et stort flomdempingspotensial, selv om det fortsatt ikke klarer å dempe hele sin lokale flomtopp for vårflokker. Magasinet er som regel betydelig fylt opp innen 1/7, og det er derfor det demper mindre på denne dato. Det er mulig at en slik situasjon er usannsynlig, ettersom mye av snøen i feltet allerede må ha smeltet for å fylle opp magasinet til den grad (altså er det ikke nok snø igjen til å skape en stor flom). Simulering av uregulert tilsig i øvre Glomma indikerer at demping av flomtopp som følge av vannkraftregulering er ca. 16% for dette punktet rundt 1/6, som er noe lavere enn det resultatene fra denne metodikken tilsier.

4 Evaluering og diskusjon

Alt i alt gir metoden svar som er rimelige i forhold til vurderinger av personer med god kjennskap til feltene. Metoden har ikke blitt betydelig testet i forhold til andre studier av flomdemping, og det gjenstår et behov for å gjøre dette på en mer omfattende skala.

Ved å sammenligne Fortunsvassdraget og Suldalsvassdraget ser man to forskjellige situasjoner. I Fortunsvassdraget er klassifiseringen av flomdempingspotensial hovedsakelig bestemt av den begrensede magasinkapasiteten i feltet, mens i Suldalsvassdraget er klassifiseringen generelt lav pga. den kapasiteten over den hensiktsmessige grensen (legg merke til stjernene i Tabell 3). En konklusjon som følge av disse klassifiseringene kan være at Fortunsvassdraget er mer sensitivt enn Suldalsvassdraget med tanke på endret flomdempingsevne som følge av andre endringer i vassdraget.

Situasjonen i Fortunsvassdraget angående Fivlemyrane (kapittel 3.3) belyser en begrensning i metoden. Det er ikke mulig å ta hensyn til spesifikke forhold (som jøkulhlaup) i et slikt generelt system, men det er likevel avgjørende at de blir med i en beslutningsprosess. Det er derfor viktig at man benytter metoden sammen med god kjennskap til vassdraget og slike spesielle forhold. Det er også viktig å merke seg hvor det er mest nyttig å beregne flomdempingspotensial. I Suldalsvassdraget, for eksempel, ble flomdempingspotensial regnet ut for Nesflaten, mens det trolig er en viktigere problemstilling i Røldal. Dette er igjen noe som krever kjennskap til lokale forhold og vassdraget.

I Orkla og Glommavassdraget ovenfor Alvdal ligger magasinene i individuelle elver, og det er derfor relativt enkelt å estimere flomdempingspotensialet fra disse magasinene ved å se på dempingen i hvert enkelt magasin. De andre testvassdragene har en mer komplisert sammensetning, men flere magasin i serie nedstrøms hverandre. Vi har ikke korrigert for at ovenforliggende magasin allerede bidrar med demping, eller mulige forsinkelser i flomforløpet som følge av demping i flere magasin i serie.

Flomdempingskurvene (Figur 1 og Figur 2) som er grunnlaget for estimeringen av flomdempingspotensial er basert på studier av innlandsvassdrag (Orkla, øvre del av Glomma), og teoretiske simuleringer av 200 ulike sammensetning av slike vassdrag med hydrologiske forhold tilsvarende Orkla. Dette kan bety at de ikke nødvendigvis er representative for andre typer vassdrag hvor flommer er drevet av andre faktorer. I kystvassdrag på Vestlandet er regnflommer mer vanlige og kan forårsake større flommer i forhold til årstilsiget enn de gjør i innlandsvassdrag. Med de kurvene som er brukt er det sannsynlig at flomtoppene for høstflommer i regioner med mer nedbør er undervurdert. Størrelsen på vassdragene kan også ha betydning i denne sammenhengen, ettersom flomtopper blir naturlig dempet (i forhold til årstilsiget) i store vassdrag. Resultatene fra testingen viser rimelige resultater med tanke på diskusjoner med regulant, men utenom øvre Glomma og Orkla er de ikke kvantitativt testet mot andre studier av flommer i vassdragene. Vi anbefaler derfor å videreutvikle disse kurvene for ulike klimaregioner i Norge og teste metoden videre.

5 Referanser

Forseth, T. og Harby, A. (red.) 2013. Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag. NINA Temahefte 52. 1-90 s.

Hansen, B. 2018. Flood dampening in hydropower systems (masteroppgave]). Tilgjengelig på <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2567901>

Regjeringen. 1997. St.prp. nr. 48 (1996-97): Glommens og Laagens Brukseierforening. Tillatelse til regulering av Aursunden. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/stprp-nr-48-1996-97-/id201328/>

6 Vedlegg

Et Excel-ark har blitt utarbeidet for å automatisere bruken av metoden i så stor grad som mulig. Under finnes en beskrivelse av hvordan en fyller ut arket og hvilke hensyn som må tas. Hvis arket skal brukes på et system med flere magasin en det er satt opp for kan en sette inn rader og dra formlene nedover, muligens med noen små justeringer for cellene som summerer. Arket kan bli tilsendt ved forespørsel (bendik.hansen@sintef.no).

- 1) Fyll in data om magasinnavn, årstilsig, magasinkapasitet, tappekapasitet, vannkraftkapasitet i fanen "system_characteristics". Se boks 1, 2 og 3 i Figur 10. I boks 1 angir en det totale årlige tilsiget til det valgte punktet ("Tot. Ureg. Q"). Dersom en bruker fyllingsgrad fra NVE (det er bedre å bruke lokale data hvis tilgjengelig) kan en fylle inn "Elspotområde" (NO1-NO5) for automatisk uthenting av typiske magasinutfyllinger.
 - a. "Local vol." er det regulerbare volumet i magasinet (millioner m³)
 - b. "Annual Q" er årstilsiget til magasinet (millioner m³)
 - c. "Regul. Q" er det totale årstilsiget som er regulert (renner til magasin) (millioner m³). Det er viktig å ikke telle regulert avrenning dobbelt her, altså er ikke summen av "Annual Q" nødvendigvis det samme som "Regul. Q" dersom magasin ligger i serie. I eksempelet i figuren ligger magasin B nedstrøms i samme elv som magasin D, og årstilsiget til magasin D blir derfor utelatt fra summen av regulert avrenning. "Regul. Q" må defineres manuelt.
 - d. "Drawdown capacity" og "HPP capacity" er tappekapasitet og produksjonskapasitet (m³/s)
 - e. Boks 4 er hvor mange dager varsel man har for vår- og høstflom. Disse kan endres dersom 7 og 3 dagers varsel (og tapping) er urealistisk for henholdsvis vår- og høstflom.

	1	2			3		4		
		Res. Name	Local vol.	Annual Q	% of total Q	Drawdown capacity	HPP capacity	7-day-drawdown	3-day drawdown
Elspotområde	NO2	Magasin A	7.5	15.00	0.0	10.00		6.05	2.59
Tot. Ureg. Q	1501.7	Magasin B	115	500.00	0.3	130.00	75.00	123.98	53.14
		Magasin C	9.2	100.00	0.0	30.00	10.00	24.19	10.37
		Magasin D	290	350.00	0.2	85.00	22.50	65.02	27.86
		Magasin E	10	75.00	0.0	15.00		9.07	3.89
		Total	431.7	1501.70					
		Regul. Q:		690	0.46				

Bendik Torp Hansen:
 IMPORTANT! This is NOT necessarily the sum of the annual Qs above (the reservoirs can be in series)

Figur 10: Inngangsdata om reguleringsystemet.

- 2) Fyll inn datoene som er relevante for flom i tabellen "Dates of interest" (Figur 11) i fanen "system_characteristics". Fyll også inn om det er snø- eller regndrevet flom (henholdsvis 1 og 2) i raden over tabellen, slik at riktig likning blir brukt for flomdemping. Merk at året for datoene er

ubetydelig og er satt til et tilfeldig skuddår. Dersom en vil se på spesifikke år kan det gjøres med noen små endringer i arket og inngangsdataen.

- a. Fyllingsgraden kan fylles ut manuelt, men det anbefales heller å fylle inn medianverdier for fyllingsgrad per dag per magasin i fanen "Fyllingsgrad_actual", slik at resultatene blir automatisk oppdatert dersom man endrer dato(e).

Snow=1, rain=2	1	1	2
	Dates of interest		
	5/1/1960	7/1/1960	9/1/1960
Magasin A	0.17	0.72	0.99
Magasin B	0.42	0.79	0.91
Magasin C	0.19	0.75	0.98
Magasin D	0.13	0.54	0.84
Magasin E	0.21	0.54	0.76

Figur 11: Inngangsdata om relevante datoer for flom.

- b. Fyllingsgrad for Elspot-området fra NVE blir også automatisk hentet ut (Figur 12). Hvis en bruker disse verdiene, kan tallene kopieres eller lenkes til tabellen for fyllingsgrad i Figur 11.

	Dates of interest		
	5/1/1960	7/1/1960	9/1/1960
Filling % NVE	0.42	0.73	0.82

Figur 12: Automatisk uthentede magasinifyllinger basert på NVE sine regionale verdier for Elspotområder.

- 3) Dersom det er ønsket, endre grensen for hensiktsmessig flomdemping (Figur 13). Grensen er skjønnsmessig satt. Det kan være interessant å se hvordan klassifiseringen endrer seg når grensen blir endret.

Sum	0.40	0.30	0.60
Difference	0.00	0.10	-0.20
Threshold		0.40	0.40
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #ffffcc;"> <p>Bendik Torp Hansen: No point reducing flood 100%, no value. Set threshold for important dampening here.</p> </div>			

Figur 13: Defineringsgrense for hensiktsmessig flomdemping.

Arket skal nå automatisk gi resultater for klassifiseringen for hvert enkelt magasin og systemet som helhet (Figur 14). En kan endre på inngangsdataen for å umiddelbart se hvordan det slår ut. For eksempel kan man endre på magasinivolum, fyllingsgrad, dato for flom, tappekapasitet, grense for hensiktsmessig flomdemping, legge til nye teoretiske magasin, etc.

Arket gir resultater for hvert steg i utregningen (Figur 15), slik at et lett kan se hva som skjer.

	Res. dampening potential /w respect to total system		
	5/1/1960	7/1/1960	9/1/1960
	Magasin A	None	None
Magasin B	High	Moderate	Moderate****
Magasin C	None	None	None*
Magasin D	Major	Major	Low****
Magasin E	None	None	None*
System total flood dampening			
	5/1/1960	7/1/1960	9/1/1960
Peak reduction	0.40	0.30	0.46
Score	Major	High	Major

Figur 14: Klassifisering av flomdempingspotensial basert på eksempeldataen i denne beskrivelsen.

Avail. Vol. on date /w drawdown			Degree of regulation at date, single			Local dampening from reservoir, single		
5/1/1960	7/1/1960	9/1/1960	5/1/1960	7/1/1960	9/1/1960	5/1/1960	7/1/1960	9/1/1960
7.50	4.66	2.70	0.50	0.31	0.18	0.92	0.64	0.96
115.00	77.70	63.68	0.23	0.16	0.13	0.43	0.22	0.83
9.20	9.20	9.20	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.69
290.00	160.88	73.18	0.83	0.46	0.21	1.00	0.89	1.00
10.00	8.50	6.25	0.13	0.11	0.08	0.17	0.12	0.65

Potential contribution towards total dampening			Potential contribution of important dampening		
5/1/1960	7/1/1960	9/1/1960	5/1/1960	7/1/1960	9/1/1960
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
0.14	0.07	0.28	0.14	0.07	0.08
0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00
0.23	0.21	0.23	0.23	0.21	0.04
0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00

Figur 15: Utregnede verdier for hvert steg i prosessen. Boksene viser (fra øverst til venstre): Ledig magasinvolym på datoen, inkl. tapping; ledig reguleringsgrad på datoen; lokal demping av flomtopp på datoen; potensielt bidrag til den totale flomdempingen; potensielt bidrag til den hensiktsmessige flomdempingen.

www.hydrocen.no



Forskningssenteret HydroCen (Norwegian Research Centre for Hydropower Technology) skal bidra til å styrke Norges posisjon som en ledende vannkraftnasjon og sikre at norsk vannkraftsektor kan utnytte mulighetene i fremtidens fornybare energisystem.

NTNU er vertsinstitusjon og hovedforskningspartner i HydroCen sammen med SINTEF Energi og Norsk institutt for naturforskning (NINA).

HydroCen har rundt 50 nasjonale og internasjonale partnere fra forskning, industri og forvaltning. Norsk Vannkraftsenter (NVKS) samler sin aktivitet i HydroCen i perioden 2017-2024.


HydroCen er et av sentrene i Forskningsrådets ordning med forskningssentre for miljøvennlig energi (FME). HydroCen har et budsjett på nærmere 400 millioner kroner fordelt på åtte år.

ISSN 2535-5392
ISBN 978-82-93602-18-7



HydroCen
v/ Vannkraftlaboratoriet, NTNU
Alfred Getz vei 4,
Gløshaugen, Trondheim

www.hydrocen.no

 HydroCen

 @FMEHydroCen