



Aktsomhetskart for flom

Metodebeskrivelse

Innhold

Innledning.....	3
Metoden i teori	4
Begrensninger	6
Metodiske feil eller begrensninger	6
Situasjoner metoden ikke tar hensyn til	6
Situasjoner der metoden feiler eller er begrenset.....	7
Feil i input datasettene.....	7
Feil eller usikkerhet i maksimal vannstandstigning.....	7
Metoden i praksis.....	8
Tilrettelegging av terrengmodellen.....	8
Initial vannstand.....	11
Maksimal vannstandstigning.....	14
Datagrunnlag.....	14
Regresjonsanalyser.....	14
Konklusjon.....	22
Korrigerings av maksimal vannstandstigning ved samløp.....	23
Oversvømt areal	23
Oversvømt areal innenfor nedbørfeltgrenser	24
Oversvømt areal i dalsider	25
Oversvømt areal langs mindre bekker	26
Kilder	26
Valg av kilder	27
Referanser	27
Vedlegg 1. Oversikt over benyttede målestasjoner og analyserte data.	28
Vedlegg 2. Oversikt over strekninger i flomsonekart.....	39



NVE
Side 2

Innledning

Aktsomhetskart for flom ble første gang utviklet i NVE i 2009. Metoden var basert på Kartverkets landsdekkende digitale terrengmodell (dtm25) med 25 x 25 meter ruters oppløsning og NVEs elvenett (ELVIS) i målestokk 1:50 000. Flomvannstander ble utledet fra frekvensanalyse basert på ca. 100 flomsonekart og målestasjoner tilgjengelig i 2009, og fordelt i klasser med maksimal vannstandstigning (flomvannstander) ut fra nedbørfeltarealstørrelse.

Aktsomhetskartet for flom ble senere del av Det offentlige kartgrunnlaget (DOK) og er brukt til å vurdere flomfare i arealplanlegging. Det var en forventning om at kartet kunne brukes på samme måte som andre aktsomhetskart, på kommuneplannivå, for å avgrense aktsomhetsområder og fastsette hensynssoner med bestemmelser om plan- og utredningskrav for områder der kommuneplanen tilrettelegger for ny utbygging.

Kvaliteten til aktsomhetskartet fra 2009 var beklageligvis veldig variabel og ujevn. Dette på grunn av mangler i landsdekkende tilgjengelige data; Kvaliteten på den landsdekkende terrengmodellen (dtm25) hadde i enkelte områder et standardavvik i høyde på +/- 6-7 meter og regresjonslinjen for utledning av flomvannstander har svak korrelasjon, særlig for de høyeste maksimale vannstandstigninger benyttet for elver i store nedbørfelt.

NVE har laget et nytt landsdekkende aktsomhetskart for flom (2020). Datagrunnlaget er ny landsdekkende høydemodell (NDH), basert på laser/lidar og bildematching, med 10 x 10 meter ruter og landsdekkende datasett Felles kartdatabase Vann (FKB-Vann), som inkluderer elver og vann. Maksimal vannstandstigning klassifisert ut fra ulike nedbørfeltarealstørrelse er de samme som ble benyttet i 2009. Metodeutvikling vil pågå i 2020/2021 for vurdering av om det er mulig å forbedre formelverket for beregning av maksimal vannstandstigning.

Lese veileder.

Denne rapporten beskriver i 2 nivåer hvordan aktsomhetskartet for flom er laget.

Kapittel	Nivå
Metoden i teori	Overordnet forståelse av metoden
Metoden i praksis	Fordypet forståelse av metoden

Metoden i teori

Metoden for å beregne aktsomhetsområder for flom bygges på et formelverk for å kunne beregne «maksimal vannstandstigning basert på nedbørfeltarealstørrelse. Formelverket ble laget i NVE og er avledet fra en statistisk relasjon mellom nedbørfeltarealstørrelse og maksimal vannstandstigning.

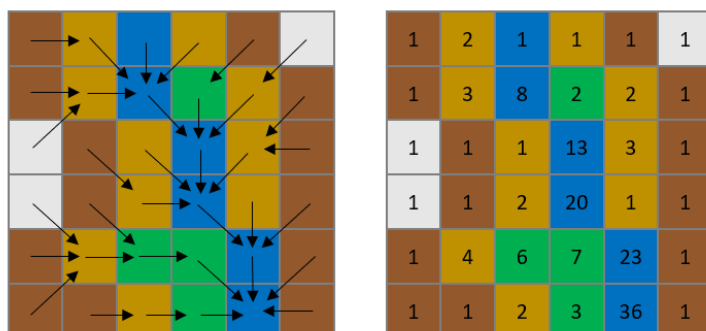
$$0-1 \text{ km}^2: \quad dH(m) = 2$$

$$1-500 \text{ km}^2: \quad dH(m) = 0,965 \ln(\text{Nedbørfeltareal}) + 2$$

$$>500 \text{ km}^2: \quad dH(m) = 8$$

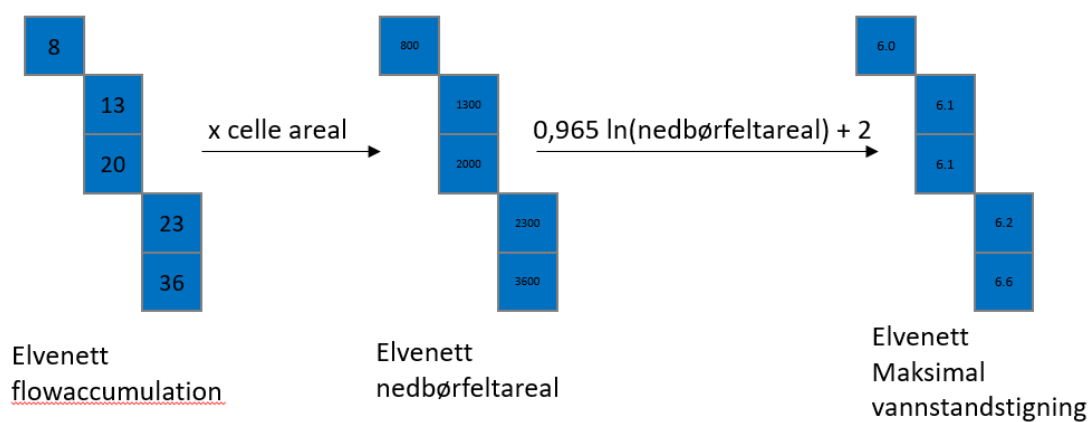
Nedbørfeltarealet kan beregnes i GIS med «flowaccumulation» algoritmen. Basert på dette har NVE utviklet en GIS-metode for å beregne maksimal vannstandstigning i hele elvenettet, for å kunne beregne oversvømt areal.

«Flowaccumulation»-algoritmen kjøres på en digital terrengmodell (dtm). Basert på høydeforskjeller beregnes det hvilken vei vannet vil renne og den summerer antallet rasterceller som ligger oppstrøms.



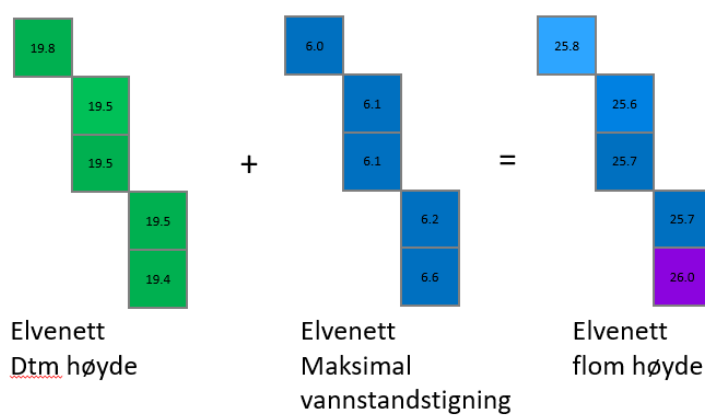
Figur 1. Elvenettverk basert på Flowdirection og Flowaccumulation beregning på en dtm.

Vi kan lage et elvenett ved å filtrere bort alle celler under en vis terskelverdi (8 i dette eksempelet).



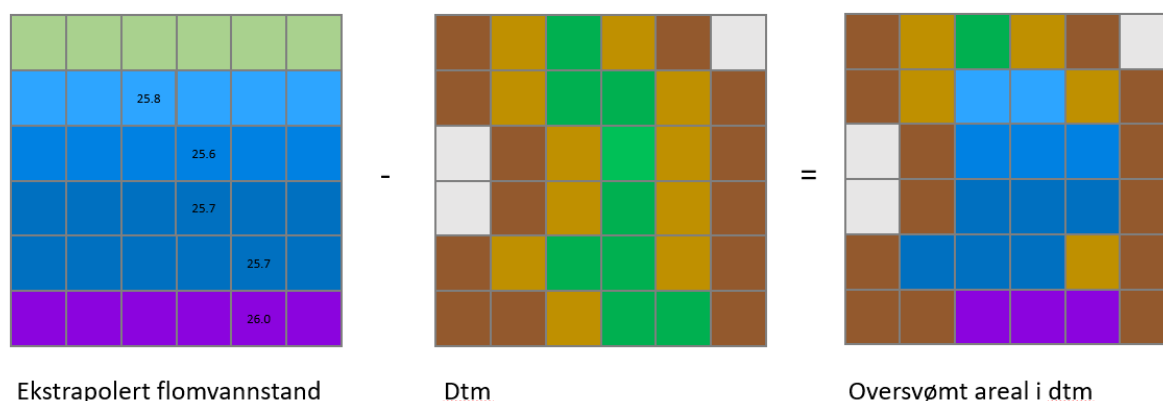
Figur 2. Beregning av maksimal vannstandstigning for rasterceller i et elvenettverk.

Ved å gange alle celler i «Elvenett flowaccumulation» med celle-areal (100 m²) får man et elvenett der verdien i en celle er nedbørfeltarealet i m². Dette er inputen i formelverket for å beregne maksimal vannstandstigning.



Figur 3. Beregning av flomaktsomhets flomhøyde for rasterceller i et elvenettverk.

For å finne flomvannstanden i elvenettet har vi tatt ut dtmhøyder i elvenettet og plussert de med maksimal vannstandstigning.



Figur 4. Ekstrapolering av flomaktsomhets flomhøyde til elvebredden.

NVE har utviklet en GIS-metode for å kunne ekstrapolere flomvannstanden i elvenettet loddrett (tverrprofiler) fra elvenettet og innover elvesletten (terrenget). Hvis vi trekker dtm fra denne flomvannstanden, så finner man områdene som oversvømmes ved maksimal vannstandstigning.

Metoden er en GIS-metode som har sine begrensninger. Det er ikke en hydraulisk beregning, så det tas ikke hensyn til hydrauliske parametere som for eksempel innsnevring eller feltegenskaper som helning, dempende effekt av innsjøer, jordbruk osv.

Begrensninger

Metoden har klart sine begrensninger. Det er disse begrensninger som er avgjørende for kvaliteten og dermed bruken av resultatet. Vi kan identifisere 3 feilkilder:

1. Metodiske feil eller begrensninger
2. Feil i input-datasettene (både terrenngmodellen og vann-datasettet)
3. Feil eller usikkerhet i maksimal vannstandstigning

Metodiske feil eller begrensninger

Metodiske feil kan deles opp i 2 hovedgrupper:

1. Situasjoner metoden ikke tar hensyn til
2. Situasjoner der metoden feiler

Situasjoner metoden ikke tar hensyn til

Metoden er ikke en hydraulisk modell, så den tar ikke hensyn til

- Bufferkapasiteten av spesielt store innsjøer
- Innsnevring eller andre spesielle hydrauliske forhold som gi oppstuvning og dermed høyere flomvannstander
- Utløp i havet og store innsjøer
- Elver som deler seg nedstrøms (metoden korrigerer dette til en vist grad)

Situasjoner der metoden feiler eller er begrenset

Metoden er lagt for å beregne hele landet og det vil alltid være situasjoner der metoden feiler, for eksempel:

- Flom er avgrenset til nedbørfeltet av elvestrekningen, i praksis er det godt mulig at vannet renner over nedbørfeltgrensen. Denne feilen korrigeres så godt som mulig, men det vil være områder der metoden ikke strekker til
- Måten å ekstrapolere flomvannstander i elva opp på elvesletten på er en svært forenklet metode. Den tar for eksempel ikke hensyn til at vannet kan ta snarveier
- Begrensninger ved at korreksjonen av flomvannstander for bratthet er basert på empiri

Feil i input datasettene

Metoden for å beregne flomaktsomhetsområder støtter seg i stor grad på kvaliteten av input-datasettene. Feil i terrengmodellen kan ha ulike konsekvenser for metoden, for eksempel:

- Feil beregning av avrenningsmønsteret, noe som kan gi flom på feil sted eller feil høyde
- Feil i beregning av initial vannstand

Feil eller unøyaktighet i vann datasettet kan ha samme konsekvenser som feil i terrengmodellen.

Feil eller usikkerhet i maksimal vannstandstigning

For å finne en relasjon mellom størrelsen av nedbørfeltareal og maksimal vannstandstigning har vi brukt en regressionsanalyse med data for flommer med 500-års gjentaksintervall fra både målestasjoner og flomsonekart. Sammenhengen mellom størrelsen av nedbørfeltareal og maksimal vannstandstigning er bare moderat, med en R^2 mellom 0,3 og 0,5. Ligninger vi har brukt er lagt opp til at den dekker 95% av regressionspunkter i datasettet som betyr at vi stort sett overestimer vannstandstigningen.

Metoden i praksis

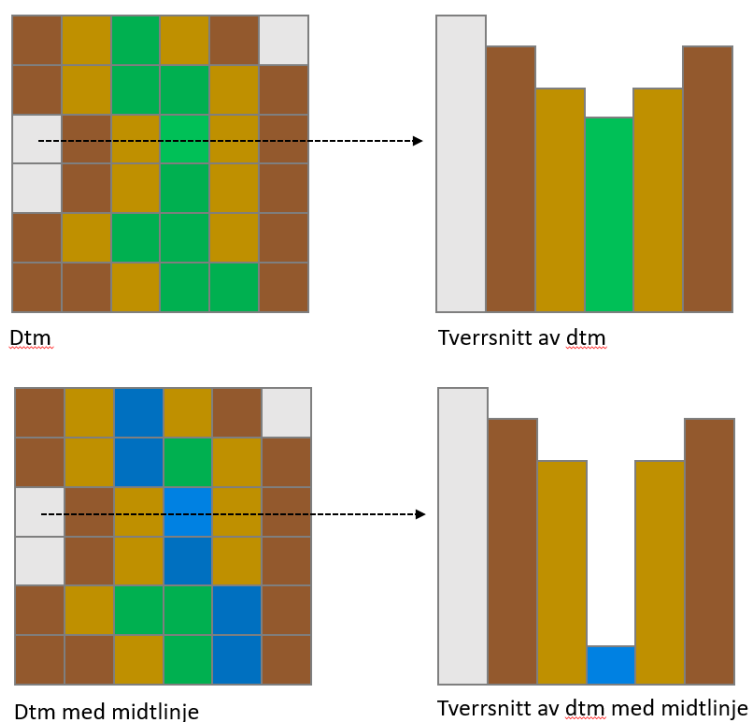
Metoden er enkel i teori, i praksis deles den opp i disse skrittene.

- Lage midtlinje av FKB-vann
- Lage en hydrologisk korrigerert terrengmodell (HTM)
- Beregne et elvenett basert på avrenningsmønster fra HTM
- Hente ut terreng høyde som vannstand i elvenett
- Beregne maksimal vannstandstigning basert på statistisk relasjon med nedbørfeltstørrelse
- Beregne flomvannstand
- Korrigere flomvannstand (overføre vannstand fra hovedelv til samløpet med sideelv)
- Lage nedbørfelt for alle elver i elvenett
- Lage tverrprofil med utstrekning 90 grader på elvas retning
- Beregne flomareal per nedbørfelt
- Korrigere flomareal i forhold til helning og samløp

I alle skritt er det en del problemer som må løses.

Tilrettelegging av terrengmodellen

Terrengmodellen (dtm10) er ikke egnet for å kjøre flowaccumulation. I dtm10 ligger strukturer som veier, jernbane, bruer mm. som gjør at avrenningsmønsteret som beregnes med flowaccumulation kan bli feil. Avrenningsmønsteret kan for eksempel følge en veikant fordi kulverten den egentlig renner gjennom ikke er med i terrengmodellen. Vi må tilpasse terrengmodellen slik at avrenningsmønsteret vi beregner med flowaccumulation følger elver og bekker, og vi gjør det med å «brenne inn» vannveier.

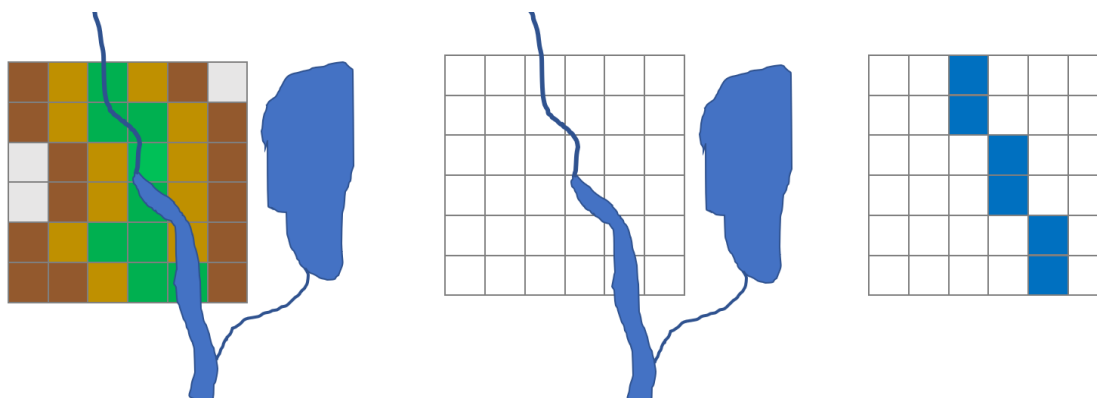


Figur 5. Innbrenning av elvenettet i dtm.

For å brenne inn vannveier i dtm bruker vi midtlinje av både bekker, elver og innsjøer. De blir først gjort om til raster og så legges de inn i terrengmodellen med 50m dybde. Det er ikke viktig hvilken dybde man velger så lenge det er dypt nok til å skjære gjennom veier, jernbane, bruer mm. Dette gjøres for å sikre oss at avrenningsmønsteret følger elveløpet.

Her er det viktig at midtlinjen vi bruker for å brenne inn i dtm ligger så godt plassert i terrengmodellen som mulig. NVEs Elvenett som er basert på Kartverkets 1:50000 kart er for unøyaktig. Derfor har vi valgt å bruke FKB-Vann.

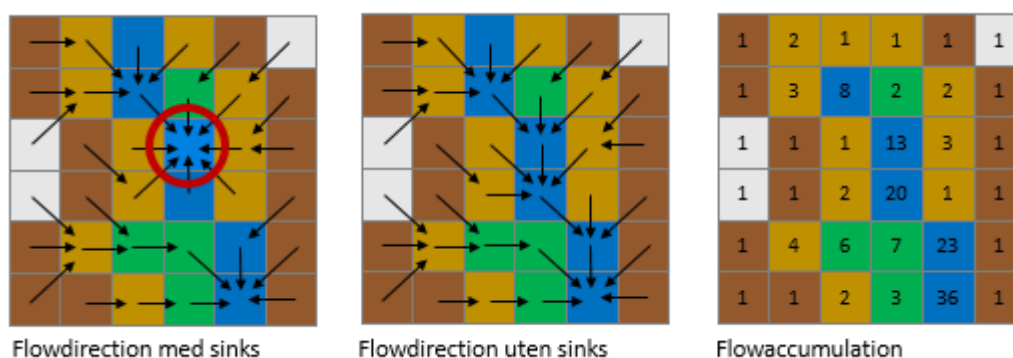
Midtlinjen lages ved å lage raster av både FKB-Vann linjer og flater i samme oppløsning som terrengmodellen. I tillegg så tilføyer vi for hver dam en 100 m linje som representer elvas naturlige løp. Videre sørger vi for at alle rasterceller som representerer vann har samme verdi, da kan vi bruke et rasterverkstøy «thin». Dette verktøyet fjerner rasterceller fra utsiden innover til det bare finnes en celle igjen, midtlinjen.



Figur 6. Vannflater og linjer settes om til raster.

Her er det illustrert hvordan midtlinje lages slik det passer terrenget.

Før man kan beregne flowaccumulation må vi også fjerne «sinks». Sinks er lavpunkter i terrenget som gjør at alt vannet renner ditt.



Figur 7. Retting av «sinks» i en dtm ved hjelp av flowdirection.

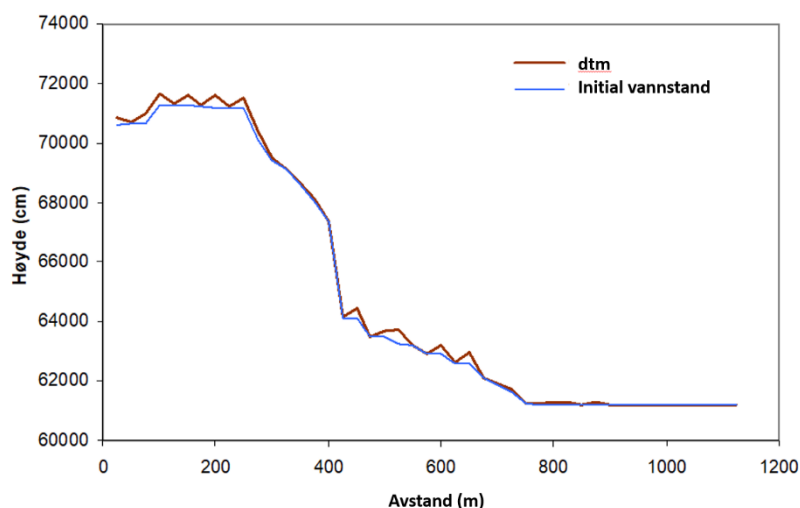
Disse lavpunkter (sinks) fylles til de har den høyde de minimalt må få for at flowdirection blir riktig. Terrenget med både midtlinje brent inn og lavpunktene fylt opp kaller vi en hydrologisk terrengetmodell (htm). Nå kan vi lage et elvenett fra flowaccumulation ved å filtrere bort alle celler under en vis terkelverdi (8 i dette eksempelet).

Hydrologisk korrigeret terrengetmodell (htm) er input i flowdirection- og flowaccumulation-beregningene. Ved å ta ut alle celler fra flowaccumulation-rasteret med en nedbørfeltstørrelse større enn $0,5 \text{ km}^2$ finner vi et elvenettverk. Nedbørfeltstørrelsen $0,5 \text{ km}^2$ er empirisk valgt. Den er liten nok for at man får et elvenettverk som dekker mesteparten av elve- og bekkeløpene fra FKB-Vann og stor nok at man ikke får beregnet «dreneringslinjer» overalt. Dette raster-elvenettet kan konverteres til linjer i kombinasjon med flowdirection som gjør at alle linjer får riktig strømningsretning.

Initial vannstand

En annen grunn til at det er viktig at midtlinjen er godt plassert i terrengmodellen er at vi bruker dtm-høyden i elvenettet som initial vannstand. Ved å plusse maksimalvannstandstigning på initial vannstand beregner vi flomvannstanden. Selv når midtlinjen av vannet passer veldig bra i terrengmodellen, så finnes det både feil og unøyaktigheter. For eksempel vil strukturer som broer medføre at vi får en for høy initial vannstand. Spesielt for mindre bekker vil vannstanden kunne bli feil, den vil sannsynlig være for høy siden celle verdien fra dtm10 representerer ikke bunnen av bekken, men terrenget på begge sider av bekken. Utover det så vil feil i dtm10 har direkte konsekvenser for beregning av flomutbredelsen.

NVE har utviklet en GIS-metode for å korriger initial vannstand som illustrert nedenfor. Metoden består av å fjerne «peaks» i elvenettet. En «peak» er en celle som har en høyere verdi enn alle celler rundt seg.



Figur 8. Initial vannstand hentes fra dtm Korrigert for «peaks» i elvenettverket.

For å kunne fjerne «peaks» bruker vi i prinsippet samme metode som for å fylle «sinks». Fordi vi bare vil fjerne «peaks» i elvenettet bruker vi en terrengmodell med celler som bare har en verdi når de er med i elvenettet. Alle celler som ikke er en del av elvenettet får verdi 0.



Figur 9. Metode for å fjerne «peaks» ved å gjøre dem om til «sinks».

Ved å gange denne terrengmodellen med -1 får vi en invertert elvenett dtm som hvor «peaks» har blitt til «sinks». Det trengs også en flowdirection raster for å kunne fjerne sinks. For å kunne beregne «flowdirection» må vi definere nye utløpspunter. Utløpspunktene lages av toppunkter av

elvenettverket. Nå kan vi fylle sinks, snu elvenett tilbake og har dermed fjernet peaks. På denne måten har vi fjernet feil i initialvannstanden.

Maksimal vannstandstigning

Det ble i 2007-2008 utviklet en metode for å estimere potensiell vannstandstigning i norske elver ved en 500-årsflom. Det var det gjentaksintervallet med høyeste vannstander der det fantes nok data for bruk i en statistisk analyse. Vannstandstigningen er definert som forskjellen i vannlinja (i meter) mellom Normalvannføringen og estimert 500-årsflom på kulminasjonsverdi.

Det som er presentert her et utvalg av relevante resultater, og resultatet av analysene må anses som grove estimater.

Datagrunnlag

Datagrunnlaget er drøyt 300 målestasjoner og et utvalg av rundt 130 delstrekninger fra flomsonekart. Datagrunnlaget fra målestasjonene, samt summert informasjon fra delstrekninger i flomsonekart er vist i Vedlegg 1 og Vedlegg 2.

Målestasjoner

Aktuelle målestasjoner i NVEs hydrologiske database er benyttet i analysen. Vannmerkene er i hovedsak fra uregulerte vassdrag, men en del elver med reguleringer er også tatt med. Videre er det hentet ut et utvalg av feltkarakteristika for nedbørfeltet til hver enkelt målestasjon. Det er sett på tre ulike parameterer; feltareal (km²), normalavrenning (l/s/km²) og effektiv sjøprosent (%). Feltareal og effektiv sjøprosent er hentet fra GIS, mens avrenningen er tatt fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990.

Normalvannføringen er beregnet ut fra avrenningskartet (Beldring et. al, 2002), dvs. det er ikke benyttet observerte data. Det er utført en flomfrekvensanalyse på døgndata fra målestasjonene. Flom med gjentaksintervall på 500-år (døgnmiddel) er videre skalert opp ved bruk av et eksisterende formelverk (Sælthun et. al, 1997) for forskjell mellom døgnmiddel og kulminasjonsverdi. Flomverdiene i analysen representerer dermed kulminasjonsverdier i vassdragene.

Vannstanden er bestemt ved å ta utgangspunkt i flomstørrelsene og middelvannføringene og beregne vannstandene ut fra vannføringskurven. Vannstandstigningen (dVst) er differansen mellom vannstanden ved en 500-årsflom og vannstanden for middelvannføringen.

Flomsonekart

Det er benyttet resultater fra tilgjengelige flomsonekartprosjekt der det er beregnet vannlinjer for middelvannføring og 500-årsflom. Det er benyttet data fra alle tverrprofilene i modellene. En modell kan være delt opp i flere delstrek, delt opp etter evt. større endringer i flomstørrelser eller der elva består av flere grener. Flomsonekartene innbefatter også regulerte vassdrag.

Det er gjort en enkel beskrivelse av de ulike prosjektene i tabellform, se Vedlegg 2 for en oversikt over de ulike delstrekningene. I tabellen er det tatt ut største, midlere og minste vannstandsstiging basert på tverrprofilene på hver enkelt delstrekning.

Regresjonsanalyser

Det er utført lineær og ikke-lineær regresjon mellom vannstandstigningen og de ulike feltegenskapene. Analysene ble utført på målestasjonene for hele landet og delt opp i regioner (øst, sør, vest, midt og nord). Det ble ikke funnet signifikante forskjeller mellom regionene, og hele

datasettet ble derfor benyttet i den endelige analysen. Det ble utført separate analyser for målestasjonene og flomsonekartstrekningene. Det er resultatene fra målestasjonene som er grunnlaget for ligningene som er gitt her.

Analysene av flomsonekartstrekningene viste noenlunde sammenfallende resultater som for målestasjonene. Disse resultatene er ikke utdypet videre her, men grunnlagsdataene kan være nyttig som et tillegg som regional og lokal informasjon.

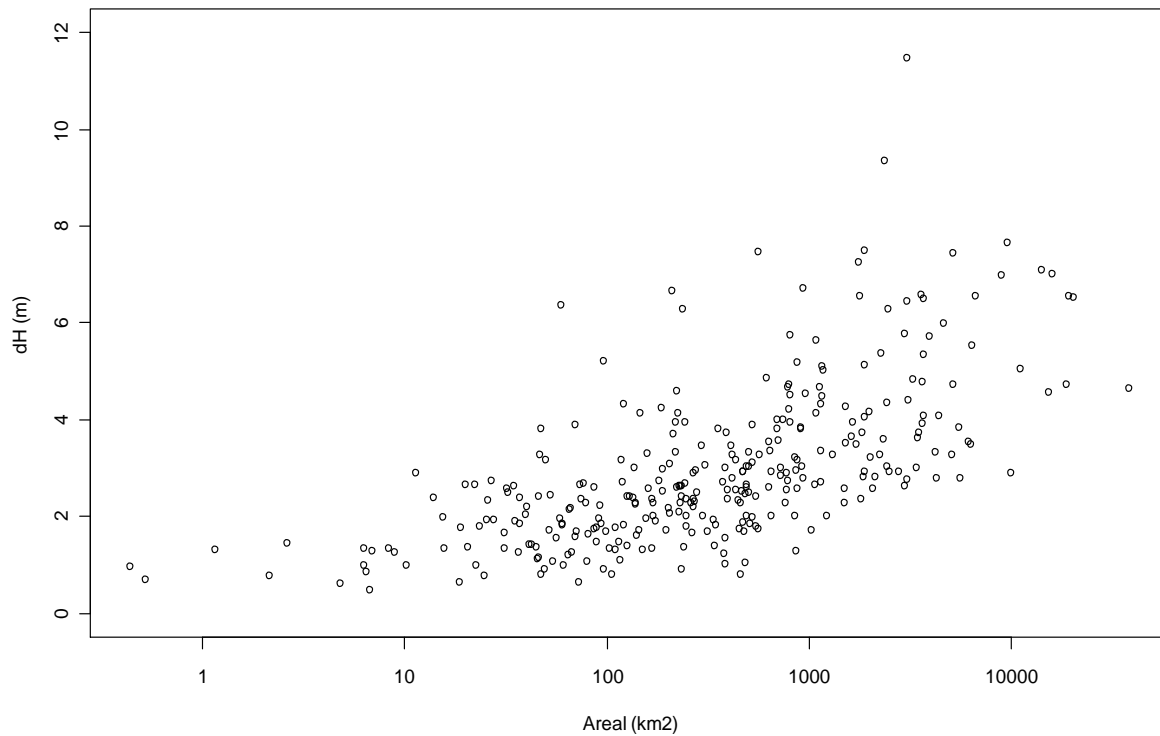
Figurer og tabeller er, hvis ikke annet er oppgitt, fra analysene av målestasjoner.

Tabell 1 viser korrelasjonsmatrisen mellom vannstandstigning og feltparameterer. QN er normalvannføringen og Q500 er 500-årsflom, begge gitt i m³/s. Avrenningen tilsvarer normalavrenningen i l/s/km² og er beregnet fra NVEs avrenningskart. Ikke uventet vil høy effektiv sjøprosent virke dempende på vannstand/vannføring mens stort areal gir generelt større absolutte flommer og en større økning i vannstanden.

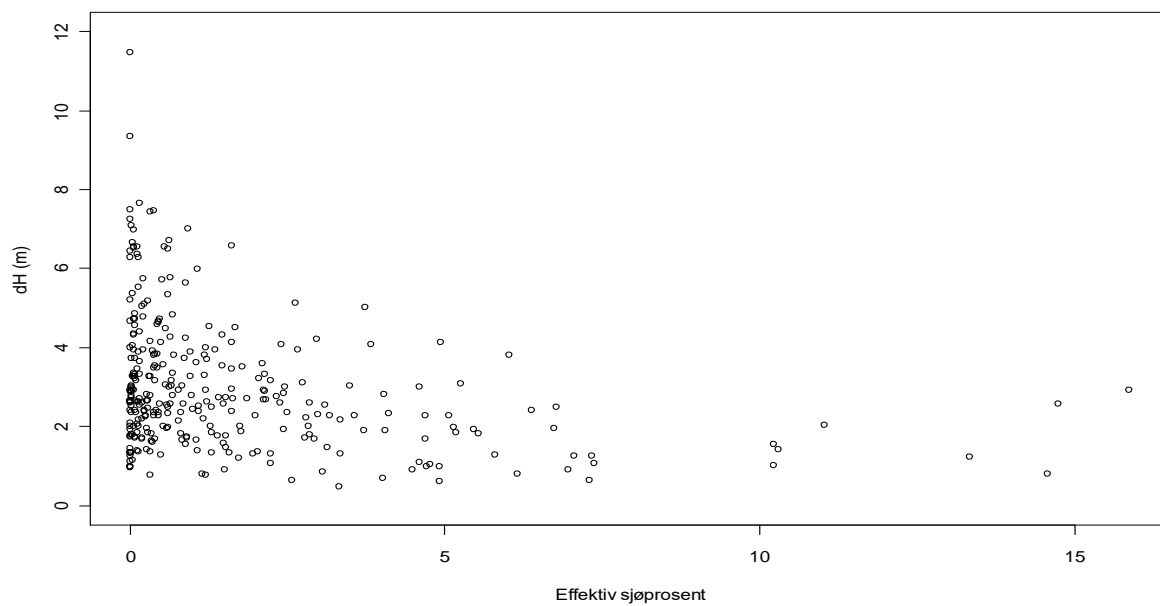
Tabell 1. Korrelasjonsmatrise mellom ulike parameterer.

	Areal	Avrenning	Effektiv sjø	QN	Q500	dVst
Areal	1.00	-0.28	-0.12	0.92	0.81	0.21
Avrenning	-0.28	1.00	0.22	-0.19	-0.26	-0.17
Effektiv sjø	-0.12	0.22	1.00	-0.09	-0.22	-0.28
QN	0.92	-0.19	-0.09	1.00	0.85	0.28
Q500	0.81	-0.26	-0.22	0.85	1.00	0.56
dVst	0.21	-0.17	-0.28	0.28	0.56	1.00

Vannstandstigningen i figur 10 og 11 er plottet mot hhv. nedbørfeltets areal og effektiv sjøprosent. Figurene viser at det er en positiv sammenheng mot areal og en liten negativ korrelasjon mot effektiv sjøprosent.



Figur 10. Vannstandstigning (m) plottet mot nedbørfeltets areal (km²).



Figur 11. Vannstandstigning (m) plottet mot nedbørfeltets effektive sjøprosent (%).

Det er verdt å merke seg at parameterne som er benyttet i regresjonsanalysen gir en beskrivelse av nedbørfeltet og ikke nødvendigvis av de hydrauliske egenskapene til elva. Det er derfor trolig at disse har mer betydning på flommens størrelse og ikke den hydrauliske påvirkningen på et gitt sted. Ser en på korrelasjonsmatrisen er flommens størrelse det som gir den største korrelasjonen av parameterne. Et forbedringspotensial ligger nok derfor i å ta ut noen bestemmende hydrauliske egenskaper, slik som helning, ruhet og elveløpets form, som vil ha størst betydning på lokal skala.

Vi har kommet frem til tre ulike metoder for estimering av vannstandstigningen. Lineær og ikke-lineær regresjon tar utgangspunkt i de tre parameterne areal, avrenning og effektiv sjøprosent. Den tredje tar utgangspunkt i en visuell tilpasning til datasettet.

Lineær regresjon

Ved lineær regresjon ble ligning (1) funnet. Estimert og observert vannstandstigning er sammenlignet i figur 12. Det er tydelig at datasettet ikke er godt tilpasset ved en lineær modell. Ved god match skulle verdiene ligget spredt langs linja. Avviket mellom observerte og estimerte verdier og plottet mot arealet er vist i figur 13. Det kan se ut til at avviket er svakt arealavhengig, ved at de små og aller største feltene overestimerer vannstandstigningen.

$$dVst(m) = 0,00027 \cdot Areal + 0,009 \cdot Avrenning - 0,15 \cdot Effpro + 2,83 \quad (1)$$

Tilpasningen av lineær modell ga rundt 0,3 – 0,4 i R2 verdi, og residualer på inntil ca. ± 8 m.

Ved manuell korleksjon er ligning (1) delt inn i tre klasser basert på nedbørfeltens størrelse. For de to klassene med størst areal, er det lagt til en sikkerhetsmargin for å sikre at modellene ikke underestimerer vannstandsøkningen med 95 prosent sikkerhet. For den minste klassen er det antatt at ligning (1) gir stort nok estimat uten tillegg.

Ligningssett med arealklasser på 0 – 1 km², 1 – 500 km² og > 500 km² er gitt under. Figur 14 viser avviket mellom estimert og observert vannstandstigning ved bruk av lineær modell med sikkerhetsmargin.

0 – 1 km²:

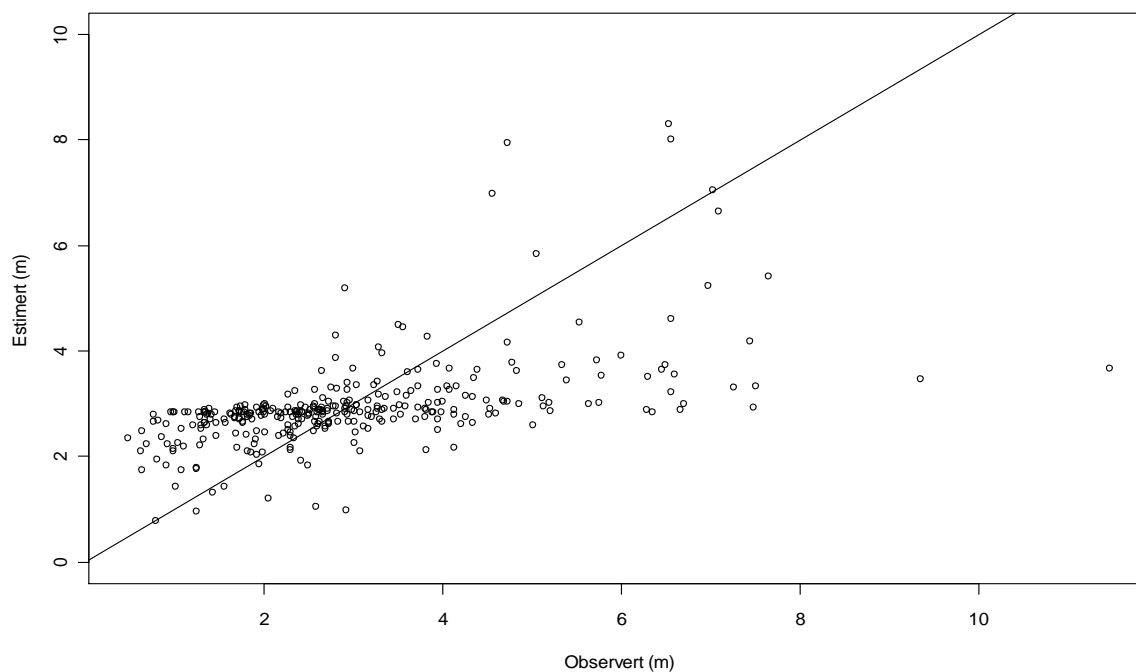
$$dVst(m) = 0,00027 \cdot Areal + 0,009 \cdot Avrenning - 0,15 \cdot Effpro + 2,83 \quad (2)$$

1 – 500 km²:

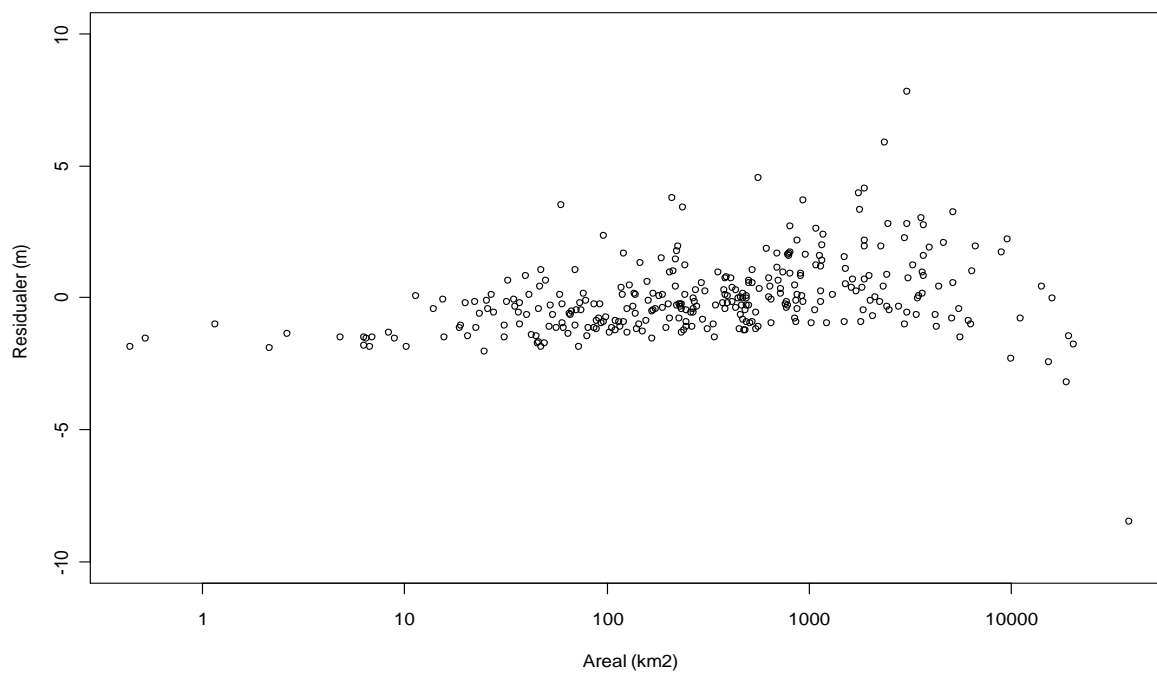
$$dVst(m) = 0,00027 \cdot Areal + 0,009 \cdot Avrenning - 0,15 \cdot Effpro + 2,83 + 0,64 \cdot \ln(Areal) \quad (3)$$

> 500 km²:

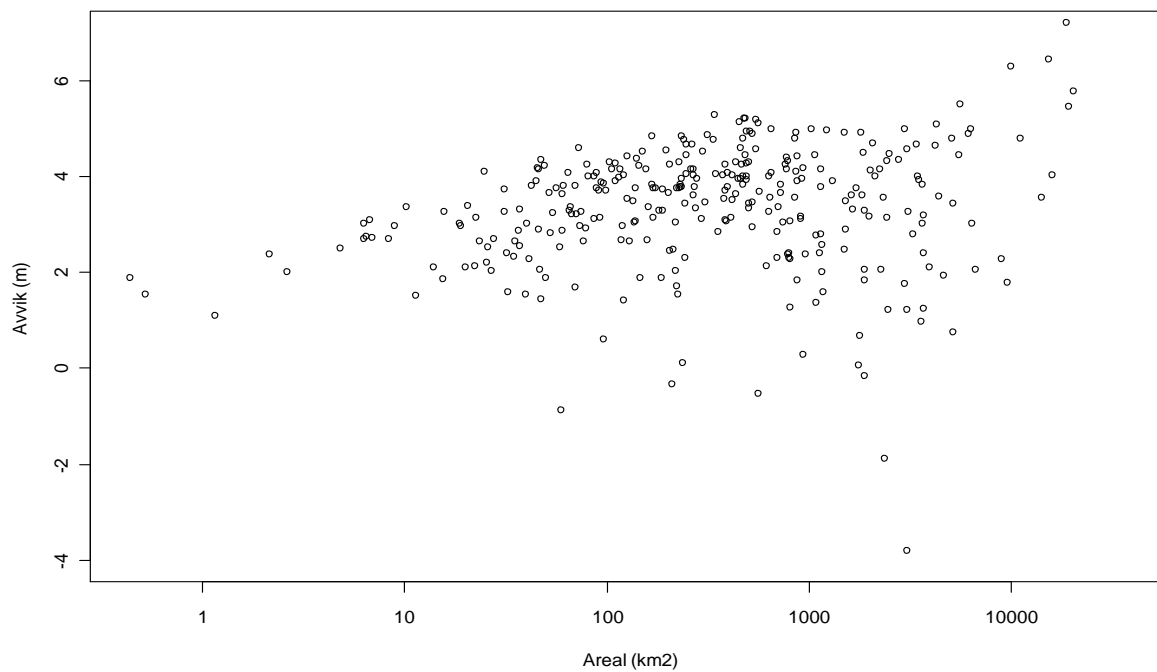
$$dVst(m) = 0,00027 \cdot Areal + 0,009 \cdot Avrenning - 0,15 \cdot Effpro + 6,83 \quad (4)$$



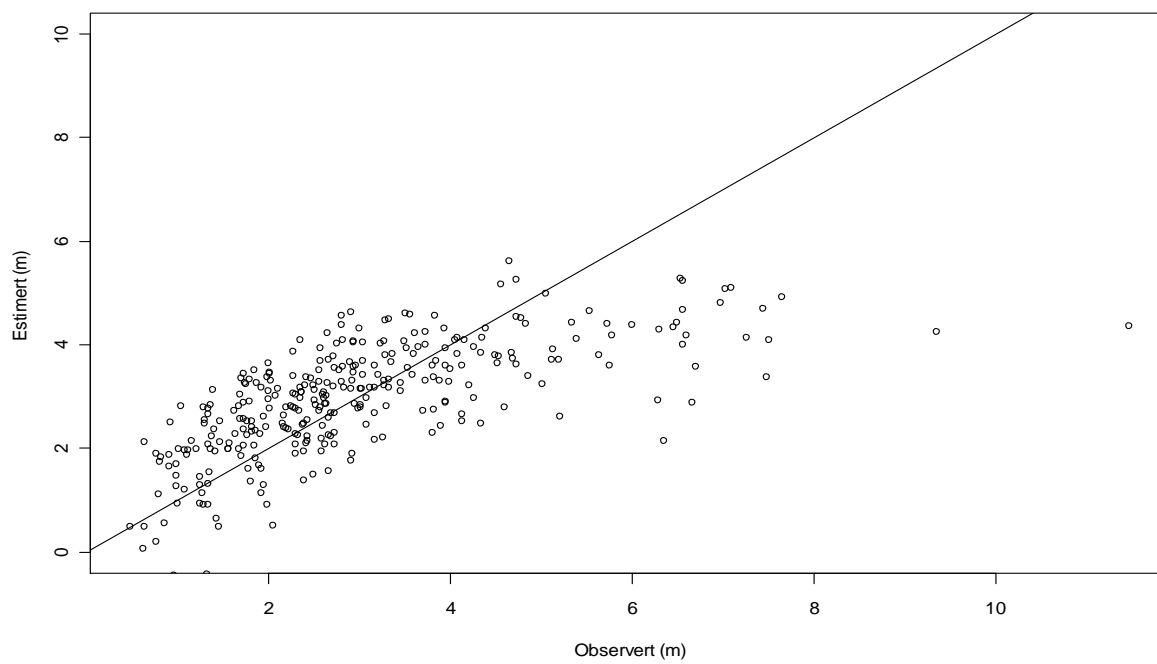
Figur 12. Estimert vs. observert vannstandsøkning ved bruk av lineær regresjonsmodell.



Figur 13. Avviket (residualer, observert - estimert) til lineær modell plottet mot nedbørfeltets areal.



Figur 14. Avviket (residualer, estimert – observert) til lineær modell med sikkerhetsmargin plottet mot nedbørfeltets areal.



Figur 15. Estimert vs. observert vannstandsøkning ved bruk av ikke-lineær regresjonsmodell.

Ikke-lineær regresjon

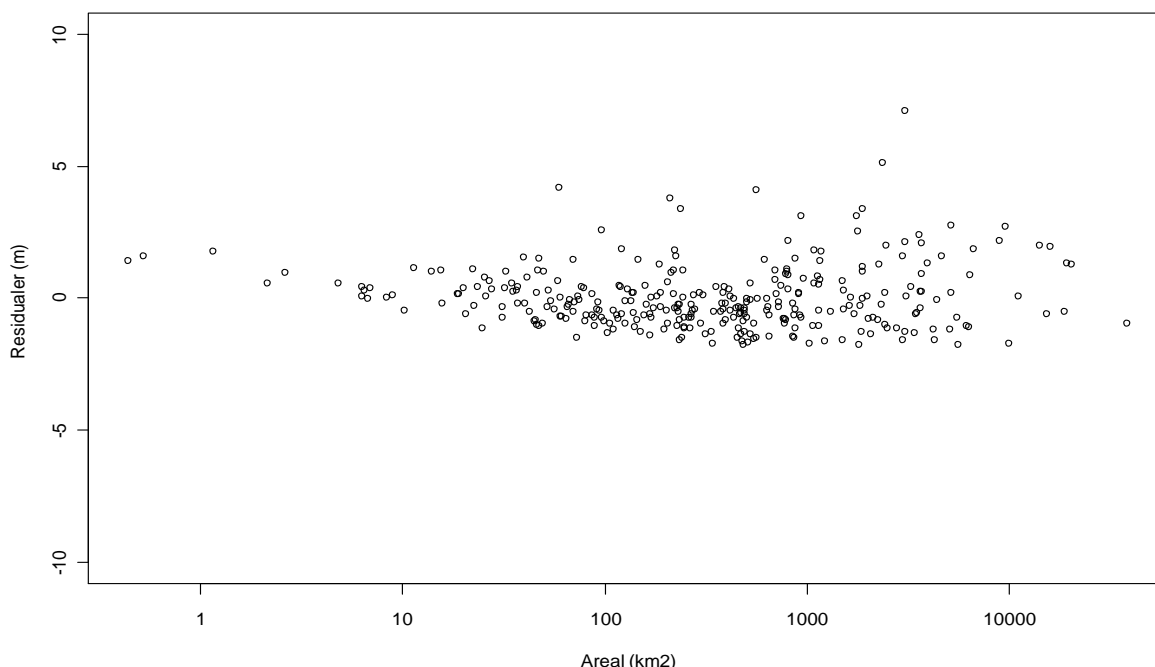
Ved ikke-lineær regresjon ble ligning (5) funnet. Estimert og observert vannstandstigning er sammenlignet i figur 15. Det er tydelig at datasettet ikke er godt tilpasset for de største vannstandstigningene. Ved god match skulle verdiene ligge spredt langs linja. Avviket mellom observerte og estimerte verdier og plottet mot arealet er vist i figur 16. Det kan se ut til at avviket er lite arealavhengig, men at modellen gir litt for lave estimater for de minste feltene.

$$dVst(m) = 0,546 * \ln(Areal) + 0,00534 * Avrenning - 0,146 \cdot Effpro - 0,18 \quad (5)$$

Tilpasningen av lineær modell ga rundt 0,4 – 0,5 i R2 verdi, og residualer (observert – estimert) på inntil ca. -2 til +7 m.

Ved manuell korleksjon er ligning (5) delt inn i to klasser basert på nedbørfeltens størrelse. Det er lagt til en sikkerhetsmargin for å sikre at modellene ikke underestimerer vannstandsøkningen med 95 prosent sikkerhet.

Ligningssett med arealklasser på 0 – 10 km² og > 10 km² er gitt under. Figur 17 viser avviket mellom estimert og observert vannstandstigning ved bruk av ikke-lineær modell med sikkerhetsmargin.



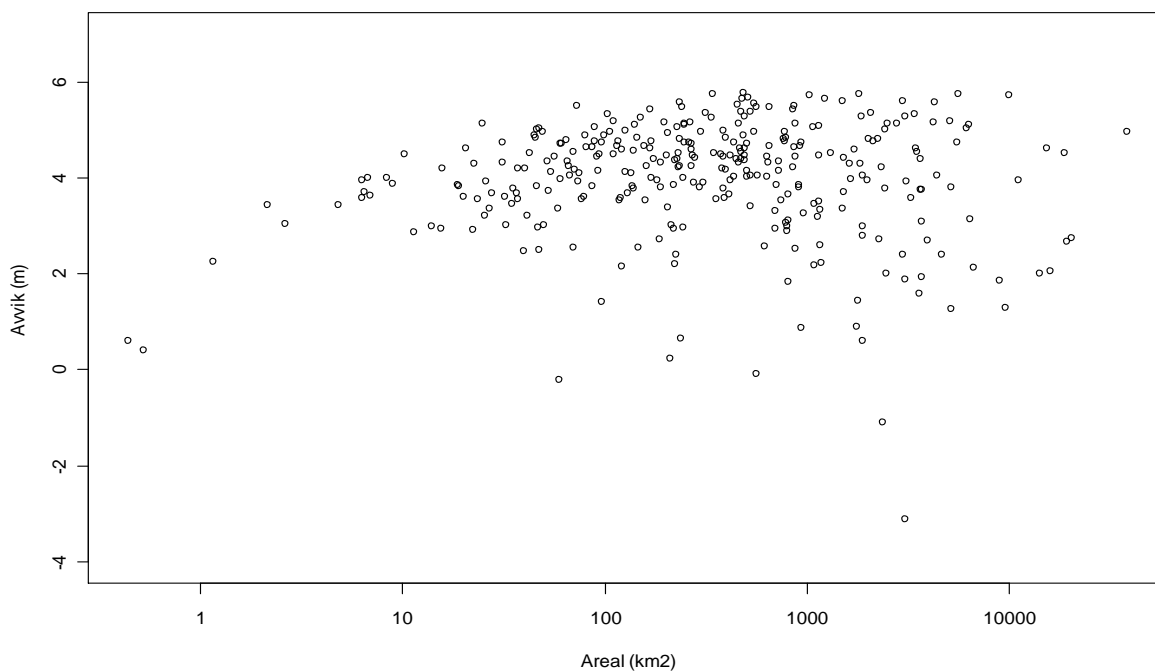
Figur 16. Avviket (residualer, observert - estimert) til ikke-lineær modell plottet mot nedbørfeltets areal

0 – 10 km²:

$$dVst(m) = 0,546 \cdot \ln(Areal) + 0,00534 \cdot Avrenning - 0,146 \cdot Effpro + 1,82 \quad (6)$$

> 10 km²:

$$dVst(m) = 0,546 \cdot \ln(Areal) + 0,00534 \cdot Avrenning - 0,146 \cdot Effpro + 3,82 \quad (7)$$



Figur 17. Avviket (residualer, estimert – observert) til ikke-lineær modell med sikkerhetsmargin plottet mot nedbørfeltets areal.

Visuell tilpasning

Ved visuell tilpasning av datasettet i figur 1 er det valgt en enkel modell basert på nedbørfeltets areal fordelt på tre klasser. Det er tatt utgangspunkt i at modellen ikke underestimerer vannstandsøkningen med 95 prosent sikkerhet.

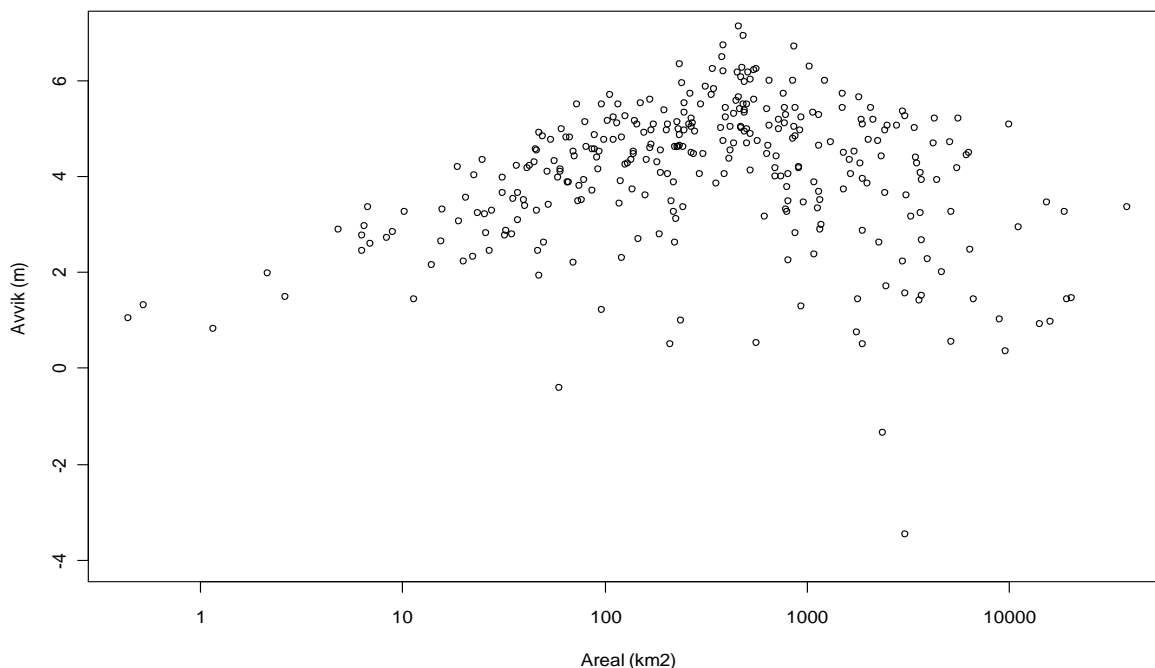
Figur 18 viser avviket mellom estimert og observert vannstandstigning ved bruk av visuelt tilpasset modell.

Areal

$$0 - 1 \text{ km}^2: \quad dVst(m) = 2 \quad (8)$$

$$1 - 500 \text{ km}^2: \quad dVst(m) = 0,965 \cdot \ln(Areal) + 2 \quad (9)$$

$$> 500 \text{ km}^2: \quad dVst(m) = 8 \quad (10)$$



Figur 18. Avviket (residualer, estimert – observert) til visuelt tilpasset modell plottet mot nedbørfeltets areal.

Konklusjon

Siden det ser ut til å være lite å hente på å benytte en mer komplisert beregningsmetode for estimering av vannstandstigningen, er det valgt å benytte den enkleste modellen (visuell tilpasning) med kun bruk av feltareal og et varierende påslag. Ved bruk av modellen må man påregne en overestimering på mellom 1 til 6 m for de fleste elvene.

Modellen fungerer nok best på flate elvestrekninger. I bratte elver vil modellen, i de fleste tilfeller, overestimere vannstandsøkningen kraftig. Her er det også andre utfordringer, som fare for erosjon og mulighet for at elva kan ta nytt elveløp under flom. Slike elver bør vurderes uavhengig av anslagene her og sett i lys av disse problemstillingene.

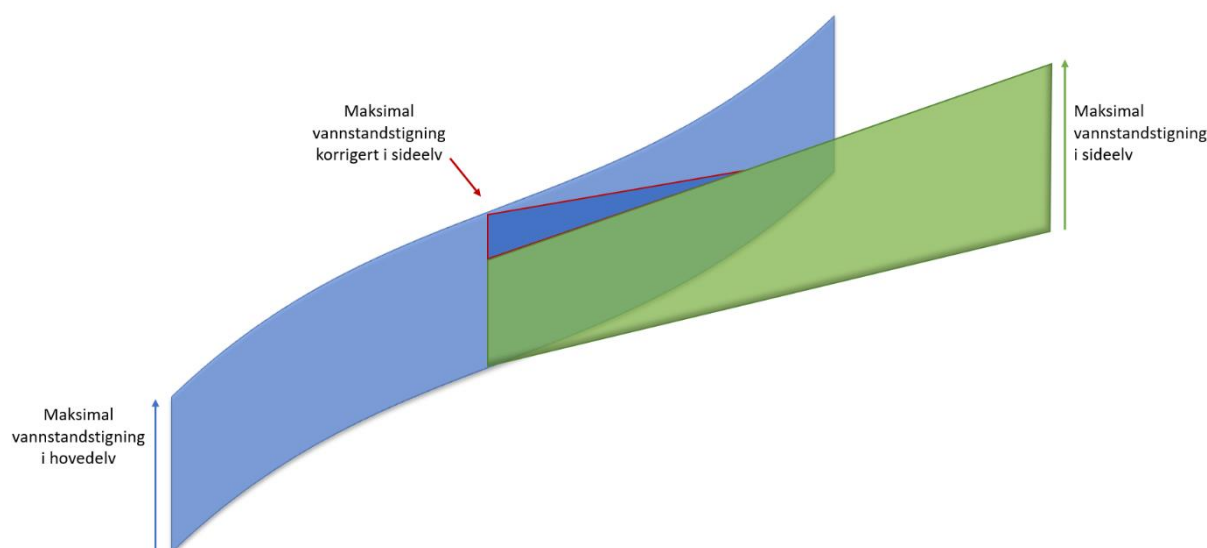
Modellen er ikke anbefalt for strekninger som har hydrauliske forhold som gir stor oppstuvning. Der må man bestemme flomnivåene ved bruk av en hydraulisk modell.

Vedlegg 1 og 2 kan også være til nytte ved regionale og lokale vurderinger, men må ikke benyttes ukritisk. Det tas forbehold om at tabellene kan inneholde feil.

Analysen kan trolig forbedres ved å inkludere hydrauliske parametere.

Korrigering av maksimal vannstandstigning ved samløp

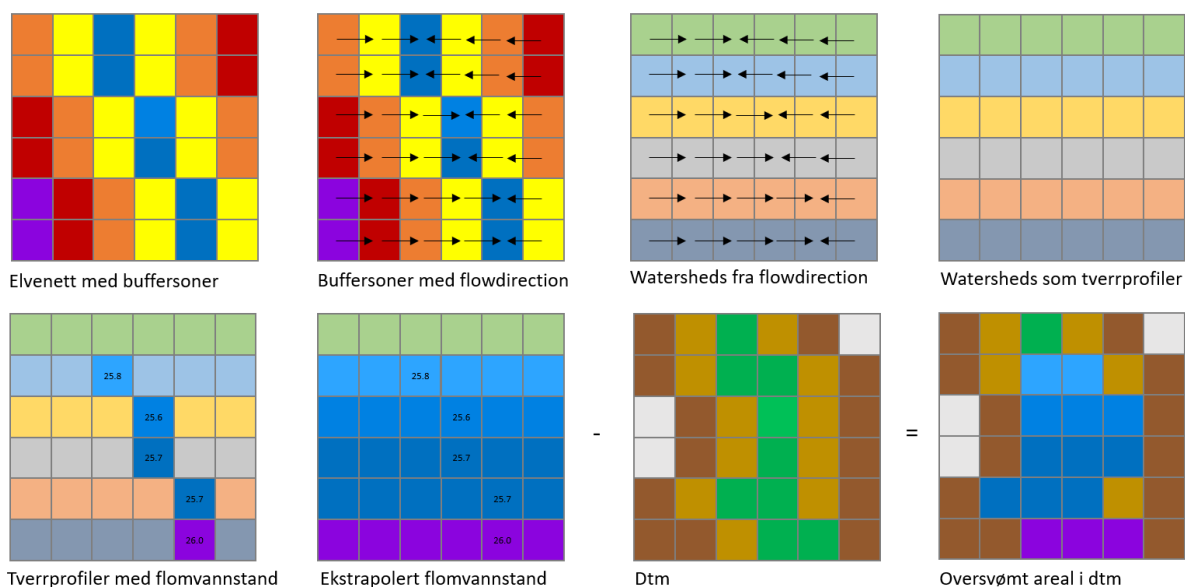
Maksimal vannstigning er en funksjon av nedbørfeltarealstørrelse. Konsekvensen av det er at beregning av maksimal vannstandstigning i en sideelv ikke tar høyde for vannstanden i hovedelven ved utløpet. Det betyr at vannstanden i sideelven ved utløpet underestimeres. Det har konsekvenser for beregningen av oversvømt areal, fordi beregningen for alle elvestrekningen gjøres separat. For å korrigere dette problemet bruker vi utløpspunktet. Her kan vi hente verdier for flomvannstander (m.o.h) for både hovedelven og sideelven. Så kan vi overføre flomvannstanden fra hovedelven til nedbørfeltet til sideelven. Det gjør det mulig å finne alle flomvannstander i sideelven som er lavere enn flomvannstanden av hovedelven ved utløpet, og erstatte de med flomvannstanden av hovedelven ved utløpet. (som skissert i bildet under).



Figur 19. Korrigering av maksimal vannstandstigning ved et samløp.

Oversvømt areal

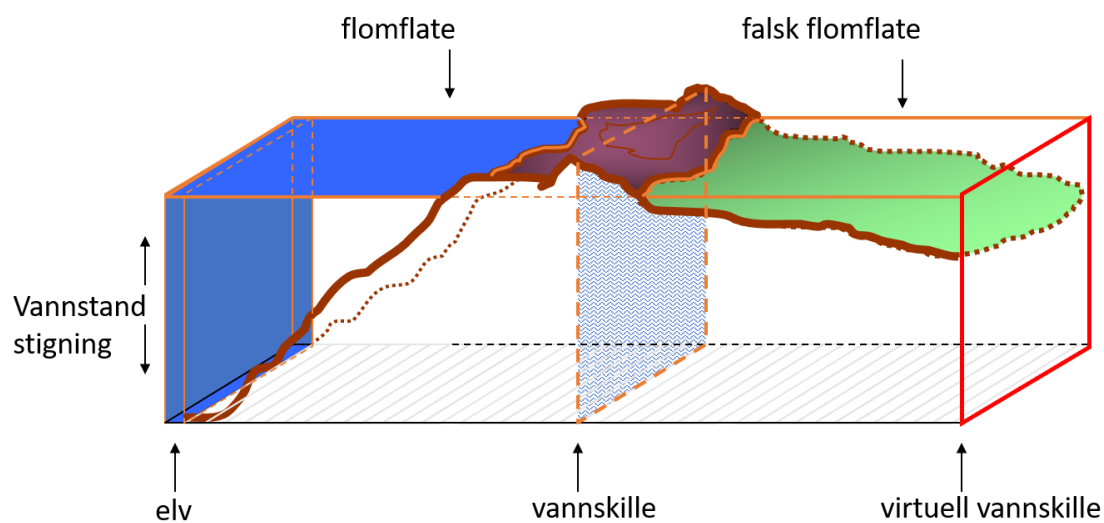
GIS-metoden for å ekstrapolere flomvannstander fra elvenett (raster) til oversvømt areal er basert på «watershed» algoritmen. Watershed algoritmen beregner hvilken rasterceller som drenerer til et utløpspunkt basert på flowdirection. Vi har lagt en «bufferraster» fra elvenettet og den bruker vi til å beregne flowdirection på. Med alle celler i elvenettet som utløpspunkter kan vi beregne «watersheds» som alle ligger loddrett på elvenettet akkurat som tverrprofiler. Flomvannstanden fra elvenett kan vi nå overføre til disse tverrprofilene (ekstrapolere). Så kjører vi en overlay med terrengmodellen for å finne hva som er oversvømt areal.



Figur 20. Ekstrapolering av vannstander i elvenettet opp på elvebredden og beregning av oversvømt areal.

Oversvømt areal innenfor nedbørfeltgrenser

Metoden for overføring av elvevannstander til elvesletten tar ikke høyde for avgrensning til nedbørfeltgrenser. Ved å lage buffersoner rundt alle elvestrekninger dannes det et virtuelt vannskille som alltid er midt mellom to elvestrekninger. Hvis det virtuelle vannskille ligger på feil side av det reelle vannskillet kan resultatet være at vi beregner en «falsk flomflate».



Figur 21. Illustrasjon av vannskille og virtuelt vannskille p.g.a av metode for buffering.

Dette problemet er løst ved å først beregnet nedbørfeltareal for alle elvestrekninger. Vi kan nå avgrense beregningene for alle elvestrekninger til innenfor sin egen nedbørfeltgrense. Og dermed forhindre at vi beregner flom på feil siden av vannskillet.

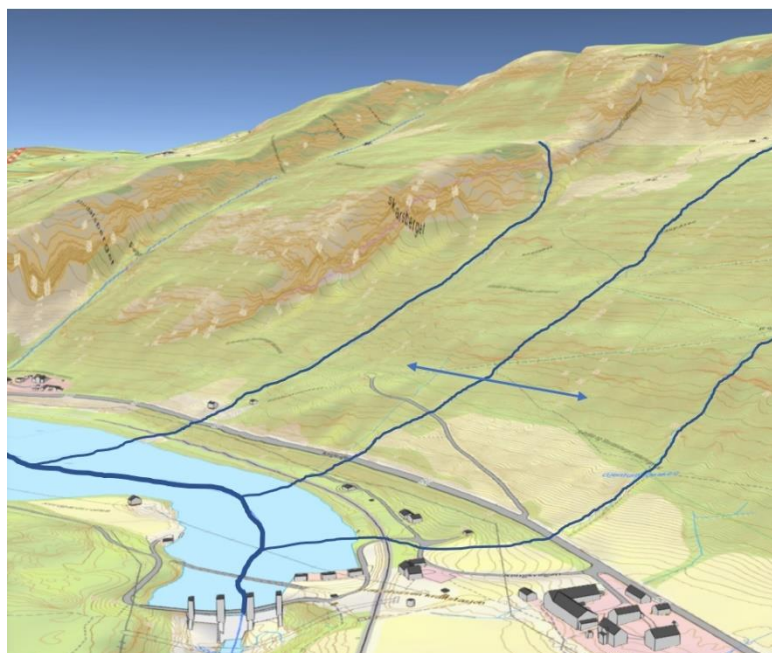
Dette betyr at metoden aldri tillater at vannet flommer over i nabonedbørfelt. Dette er en stor svakhet i metoden fordi det er noe som i virkeligheten ofte skjer. Mye av denne metodesvakheten er kompensert ved å korrigere vannstanden ved utløpet. Et annet korrigerende grep er å fjerne «sinks» i en «oversvømt» terrengmodell. Men det vil være rest-tilfeller der det oversvømte arealet blir avgrenset på grunn av nedbørfeltgrense, mens det i virkeligheten kan strømme fritt over grensen.

Oversvømt areal i dalsider

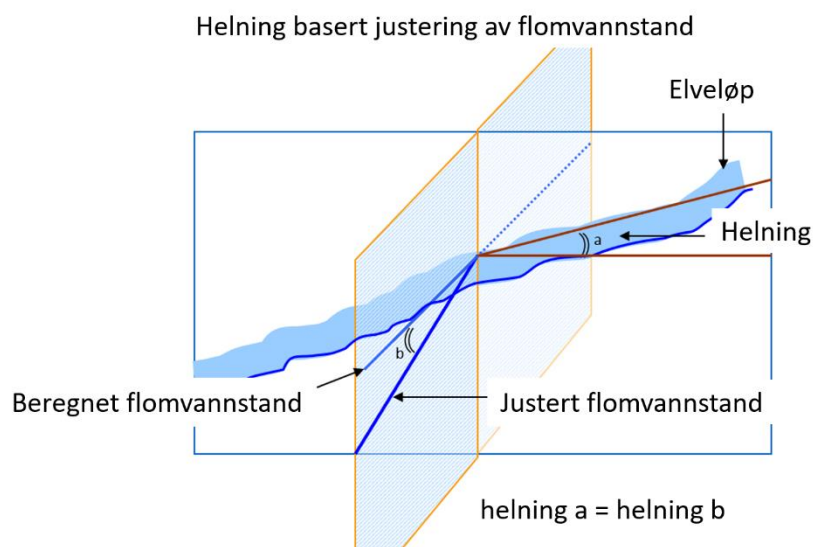
Metoden for overføring av flomvannstander fra elvestrekningen til elvesletten fungerer ikke for bekker som renner ned dalsider. Den flomflaten vi beregner kan strekke seg helt ut til nedbørfeltgrensen (som vist i figuren). Det er fordi metoden ikke tar høyde for helningen.

I praksis vil ikke vannet spre seg så langt horisontalt på grunn av helningen. Vi må derfor justere den horisontale utstrekningen basert på helning.

Istedenfor å bruke samme vannstand i hele den horisontale utstrekningen, så justerer vi den ned med samme helning som terrenghelningen i bekkeløpet. Dermed er justeringen avhengig av terrenget, jo brattere jo mer justeres utstrekningen av flomvannstanden.



Figur 22. Horizontal spredning i bratt terreng



Figur 23. Horisontal korrigering av flomvannstand ved hjelp av helning.

Oversvømt areal langs mindre bekker

I NVEs Rettningslinjer 2/2011, Flaum- og skredfare i arealplanar (revidert 22. mai 2014) anbefales det å sette av aktsomhetsoner på minimum 20 meter på hver side av bekker. Bekker er vannløp med et nedbørfeltareal mindre enn om lag 20 km². Vi har derfor lagt inn 20 m aktsomhetssoner rundt hele elvenettet. Elvenettet inneholder alle vannløp med et nedbørfeltareal større en 0,5 km².

Kilder

Som datagrunnlag for metode for å lage et flomaktsomhetskart har vi valgt å bruke Statens kartverks landsdekkende digitale terrengmodell med 10 *10 m oppløsning (dtm10), i kombinasjon med det mest detaljerte grunnlaget for vann som finnes, FKB-Vann.

FKB-Vann inneholder både vann som linjer (bekker, grøfter, mm) og som polygoner (Elver, innsjøer). Nøyaktigheten i stedsfesting er imidlertid veldig varierende. I grove trekk kan man si at det er bedre kvalitet i bebygde strøk enn det er langt opp på fjellet.

Dtm10 er sammensatt fra ulike kilder. Der hvor det finnes mer nøyaktige terrengmodeller (for eksempel laserdata) er de skalert opp. Ellers er det brukt andre kilder, for eksempel fotometri, i kombinasjon med FKB-data. I områder uten laserdata er det oftest i bebygde strøk, der det finnes mest datagrunnlag, at kvaliteten av dtm10 er best (bedre enn langt opp i fjellet). Utover det er dtm10 generelt mer nøyaktig i flate områder enn i bratt terreng.

Valg av kilder

At vi har valgt å bruke dtm10 og FKB-Vann har flere grunner.

1. Beste tilgjengelige landsdekkende digitale terrengmodell er dtm10 (januar 2020).
2. Målet er ikke å lage et flomsonekart (faresonekart), men å lage et aktsomhetskart som er egnet til bruk på et mer overordnede nivå (kommuneplan).
3. Flomvannstander brukt i analysen er nokså grove og er dermed i stor grad avgjørende for den samlede kvaliteten på sluttproduktet. En mer detaljert lokal dtm vil ikke gi et mer nøyaktig resultat.
4. Bruk av en mer detaljert dtm vil derimot gi et falskt inntrykk av en bedre nøyaktighet og dermed fare for sammenblanding av aktsomhetskartet med flomsonekart (faresonekart).
5. Terrengmodellen (dtm) kan ikke brukes som den er, den må bearbeides før bruk i analysen. En sideeffekt av å bruke mer detaljerte data er at man også finner flere utfordringer (hydraulisk, avrenningsmønster, mm.) og det er ikke mulig å bruke fullautomatisk analysemetode for hele landet.
6. Selve GIS-analysen for å beregne flomutbredelse er allerede en tung og tidskrevde prosess. Å gå fra en landsdekkende dtm10 til eks. lokale dtm1 vil øke datamengde med en faktor 100, som vil by på en god del praktiske problemer i gjennomføring av en landsdekkende analyse.
7. FKB-Vann er den mest nøyaktige datakilde som er tilgjengelig som landsdekkende datasett.

Referanser

Beldring, S., Roald, L.A. og Voksø, A. 2002: Avrenningskart for Norge. Årsmiddelverdier for avrenning 1961 – 1990. NVE Dokument nr. 2 – 2002.

Sælthun, N. R., Tveito, O. E., Bønsnes, T. E. og Roald, L. A. 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE Rapport nr. 14 – 1997.

Vedlegg 1. Oversikt over benyttede målestasjoner og analyserte data.

Tabellen gir en oversikt over benyttede målestasjoner i analysen. Kolonnene er Stasjonsnummer (Snr) og navn (Snavn), Nedbørfeltets areal (Areal, km²), Normalavrenning 1961 - 1990 (Avr, l/s/km²), effektiv sjøprosent (Effpro, %), Middelvannføring (QN, m³/s), 500-årsflom (Q500, m³/s) og vannstandstigningen (dVst, m). Merk at 500-årsflom er mer eller mindre automatisk generert og inneholder dermed mer usikkerhet en normalt ved en flomfrekvensanalyse.

Snr	Snavn	Areal	Avr	Effpro	QN	Q500	dVst
2.11	Narsjø	119	19	1.64	2.26	108	2.72
2.116	Auma	3653	15	0.37	54.80	883	3.93
2.117	Stai	8939	8	0.07	71.51	2459	6.97
2.120	Nors bru	19250	8	0.06	154.00	3534	6.56
2.122	Skarnes	20300	8	0.06	162.40	3644	6.53
2.123	Årnes	38330	17	0.45	651.61	4582	4.64
2.129	Dølplass	2015	13	0.09	26.20	718	3.23
2.132	Lomnessjø	1168	14	0.24	16.35	539	5.11
2.135	Tysla	231	12	0.01	2.77	110	2.63
2.142	Knappom	1650	14	0.07	23.10	607	3.95
2.145	Losna	11210	22	0.20	246.62	3085	5.05
2.2	Nor	18940	11	0.06	208.34	3528	4.73
2.223	Fredriksvatn	911	39	0.44	35.53	633	3.84
2.224	Harpefoss	9648	22	0.15	212.26	3734	7.64
2.226	Erlibru	2502	18	0.78	45.04	647	2.93
2.227	Barkaldfoss	6643	14	0.12	93.00	1699	6.56
2.25	Lalm	3981	27	0.51	107.49	1578	5.72
2.251	Kvebergbru	6407	14	0.13	89.70	1414	5.53
2.265	Unsetåa	621	17	0.09	10.56	631	4.85
2.267	Mistrabru	545	15	0.05	8.18	845	1.79
2.268	Akslen	795	30	0.09	23.85	556	4.73
2.269	Hummelvoll	2428	19	0.83	46.13	600	3.04
2.273	Ryfetten	1314	11	0.04	14.45	474	3.28
2.279	Kråkfoss	433	19	0.41	8.23	250	3.16

2.28	Aulestad	866	16	0.04	13.86	652	2.96
2.280	Kringlerdal	265	20	1.06	5.30	118	1.67
2.284	Sælatunga	455	21	0.08	9.56	390	1.74
2.287	Rotua	56.1	20	0.89	1.12	48	1.56
2.291	Tora	263	43	0.39	11.31	405	2.29
2.303	Dombås	495	20	0.07	9.90	359	2.02
2.32	Atnasjø	463	22	1.09	10.19	245	2.51
2.323	Fura	45.2	12	0.01	0.54	69	1.12
2.324	Storøygårdsbrua	1502	23	0.46	34.55	664	2.27
2.329	Hellenbru	81.3	19	0.34	1.54	45	1.64
2.274	Einunna	560	17	0.91	9.52	200	1.75
2.416	Vågåvatn	3417	28	0.62	95.68	1257	3.00
2.603	Glåmosbru	861	23	5.79	19.80	223	1.28
2.604	Elverum	15450	16	0.09	247.20	3379	4.55
2.607	Vålåsjø	126	14	1.07	1.76	77	1.40
2.611	Storsjøenndføra	2335	14	2.11	32.69	499	3.59
2.613	Ossjø	1178	18	3.73	21.20	507	5.01
2.614	Rosten	1828	18	0.02	32.90	984	3.72
2.616	Sagstua	47.5	15	1.15	0.71	21	0.81
3.22	Høgfoss	301	18	0.54	5.42	125	2.00
6.10	Gryta	6.96	21	0.49	0.15	7	1.28
8.2	Bjørnegårdsvingen	190	19	0.02	3.61	171	2.98
8.6	Sæternbekken	6.33	18	0.01	0.11	9	1.33
8.8	Blomsterkroken	22.2	18	0.27	0.40	39	2.66
11.4	Elgtjern	6.75	20	3.33	0.14	5	0.48
11.6	Oppsal	223	17	0.44	3.79	286	4.60
12.113	Kråkefjord	702	13	1.20	9.13	411	3.99
12.114	Garhammerfoss	490	19	0.28	9.31	349	2.65
12.137	Gjerdeslåtten	774	27	0.58	20.90	580	2.56
12.171	Hølervatn	79.5	17	2.24	1.35	40	1.08
12.178	Eggedal	309	21	0.57	6.49	263	3.07

12.188	Langtjernbekk	4.81	19	4.92	0.09	3	0.62
12.193	Fiskum	51.9	17	0.09	0.88	46	1.72
12.207	Vinde-elv	270	16	1.17	4.32	167	2.19
12.228	Kistefoss	3704	16	3.84	59.26	934	4.07
12.284	Geithus	9956	17	2.14	169.25	1240	2.91
12.290	Bagn	2981	17	0.65	50.68	1001	5.78
12.68	Døvikfoss	16120	20	0.92	322.40	2674	7.02
12.70	Etna	570	13	0.30	7.41	237	3.27
12.72	Jaren	110	14	1.40	1.54	45	1.77
12.8	Grønvoldbru	932	22	0.62	20.50	700	6.70
12.85	Killingstryken	4618	21	1.08	96.98	1012	5.99
12.97	Bergheim	4243	24	0.15	101.83	1408	3.32
12.99	Skålfoss	5121	23	0.96	117.78	1303	3.28
15.15	Kongsberg	4265	19	0.69	81.04	1318	2.80
15.18	Bommestadbru	5541	20	0.41	110.82	1330	3.83
15.21	Jondalselv	127	22	0.24	2.79	139	2.42
15.23	Bruhaug	3466	19	1.05	65.85	603	3.61
15.44	Hallen	1229	23	1.29	28.27	489	2.00
15.53	Borgåi	94.0	16	0.29	1.50	67	1.86
15.61	Holmsfoss	5205	20	0.47	104.10	1131	4.73
15.74	Skorge	59.7	20	0.12	1.19	48	6.35
16.10	Omnesev	806	28	0.21	22.57	1263	5.75
16.104	Kilen	121.00	15.65	0.81	1.89	119	1.81
16.112	Byrteåi	37.30	50.19	0.12	1.87	191	1.84
16.122	Grovåi	42.70	19.22	0.27	0.82	71	1.41
16.127	Viertjern	49.00	29.39	1.51	1.44	52	0.91
16.128	Austbygdåi	344.00	25.51	0.12	8.78	248	1.39
16.193	Hørte	156.00	15.53	0.27	2.42	147	1.95
16.31	Omnesev	806.00	28.28	0.21	22.79	1165	3.95
16.32	Hjartsjø	215.00	27.38	1.23	5.89	242	3.70
16.33	Seljordvatn	728.00	18.77	2.46	13.66	455	3.01

16.34	Totak	855.00	36.98	1.75	31.62	428	2.01
16.37	Vinjevatn	907.00	43.71	1.19	39.64	717	3.80
16.47	Vrangfoss	3603	22	1.62	79.27	1143	6.59
16.51	Hagadrag	730	19	2.44	13.87	508	2.83
16.66	Grosettjern	6.48	29.20	3.06	0.19	7	0.85
16.75	Tannsvatn	117.00	22.79	4.59	2.67	67	1.10
18.10	Gjerstad	237.00	25.05	0.14	5.94	306	6.28
18.11	Tjellingtjernbekk	2.16	24.03	1.21	0.05	4	0.77
19.36	Evenstad	3521	20	0.87	70.42	1405	3.72
19.73	Kilåibru	64.40	28.53	1.74	1.84	46	1.21
19.76	Tovsløyttjønn	115.00	32.81	3.13	3.77	109	1.47
19.78	Grytå	18.70	24.21	7.29	0.45	16	0.63
19.79	Gravå	6.31	22.12	0.01	0.14	7	1.00
19.80	Stigvassåni	14.00	27.38	0.23	0.38	33	2.39
19.82	Rauåna	8.93	23.89	0.01	0.21	16	1.27
19.89	Skornetten	2.62	27.34	0.01	0.07	5	1.45
19.91	Åbogtjønn	1.15	31.00	3.35	0.04	4	1.32
19.96	Storgama	0.52	39.02	4.02	0.02	1	0.69
20.11	Tveitdalen	0.44	34.67	0.01	0.02	2	0.96
20.2	Austenå	277.00	36.62	1.61	10.14	195	2.95
20.3	Flaksvatn	1777	33	0.56	58.64	1377	6.55
21.11	Heisel	3689	39	0.60	143.87	1624	5.33
21.21	Hoslemo	874	46	0.47	40.20	915	2.57
21.22	Valle	1707	48	0.43	81.94	1229	3.49
21.24	Byglandsfj	2805	40	2.12	112.20	1490	2.93
21.28	Løyning	242	60	2.03	14.52	265	1.36
21.38	Vigelanduvk	3681	39	0.60	143.56	1797	6.49
21.43	Brokke	1801	48	0.46	86.45	1258	2.35
21.47	Lislefjødd	19	35.76	0.01	0.68	66	1.78
22.16	Myglevatn	182	44.81	1.53	8.16	130	2.73
22.22	Søgne	210	29.9	0.05	6.28	280	6.66

22.4	Kjølemo	1757	46.81	0.01	82.25	1214	7.25
22.5	Austerhus	413	43.54	1.62	17.98	363	3.45
24.8	Møska	121	50.24	1.47	6.08	160	4.33
24.9	Tingvatn	272	61.2	2.99	16.65	330	2.30
25.24	Gjuvvatn	97	65.36	6.96	6.34	54	0.91
25.30	Stegemoen	1147	73	1.87	83.73	732	2.71
25.8	Myglund	46.9	57.99	0.06	2.72	108	3.26
26.10	Liland	72.7	64.23	2.58	4.67	61	0.63
26.12	LitleRosseland	106	53	6.16	5.62	52	0.80
26.20	Årdal	77.3	68.1	2.16	5.26	129	2.68
26.21	Sandvatn	27.5	62.08	2.44	1.71	39	1.92
26.26	Jogla	31.1	70.5	0.01	2.19	79	1.33
26.29	Refsvatn	52.9	58.44	1	3.09	100	2.43
26.4	Fidjedalsvatn	506	80.65	2.15	40.81	664	3.32
26.5	Dorgefoss	808	76.44	1.68	61.76	767	4.52
26.6	Lindelund	963	74.18	1.27	71.44	897	4.53
26.7	Sirdalsvatn	1528	70.14	1.79	107.17	995	3.51
26.8	Lundevatn	1899	68.21	2.63	129.53	1020	5.13
27.15	Austrumdal	60.5	95.8	5.18	5.80	102	1.85
27.2	Bjerkreimbru	638	79.26	1.47	50.57	692	3.53
27.20	Gya	60.7	97.11	0.35	5.89	182	1.82
27.24	Helleland	186	79.47	0.88	14.78	372	4.25
27.25	Gjedlakleiv	645	79	0.69	50.96	697	3.35
27.26	Hetland	69.5	58.51	0.14	4.07	114	3.89
27.9	Stølsvatn	15.5	66	5.14	1.02	28	1.99
28.5	FossEikjelund	150	53	1.95	7.97	103	1.30
28.7	Haugland	140	49.84	0.37	6.98	176	1.62
31.2	Lysedalen	47.2	90.53	0.7	4.27	316	3.80
33.2	Tveid	513	88.89	1.31	45.60	926	1.84
35.2	Hauge bru	394	86.95	2.5	34.26	476	2.35
35.6	Tøtlandsvik	118	66.16	0.66	7.81	309	3.16

35.9	Osali	22.6	86.6	4.92	1.96	64	0.98
36.13	Grimsvatn	34.6	92	1.22	3.18	94	2.62
36.32	Lauvastøl	20.5	105.05	0.33	2.15	49	1.36
36.9	Middal	46.4	62.24	0.08	2.89	73	2.42
41.1	Stordalsvatn	129	103	6.38	13.29	230	2.41
41.4	Rygg	93.2	89	2.80	8.29	303	2.22
41.7	Blomstølvatn	25.7	140	0.60	3.60	131	2.32
41.8	Hellaugvatn	27.0	126	1.42	3.40	92	2.73
42.2	Djupevad	31.9	108	0.65	3.45	124	2.58
42.6	Baklihøl	19.9	152	0.01	3.02	154	2.66
48.1	Sandvenvatn	470	87	1.20	40.89	887	2.93
50.1	Hølen	232	53	2.00	12.30	208	2.27
50.2	Garen	502	35	1.31	17.57	364	2.49
50.3	Eidfjordvatn	1170	41	0.57	47.97	1041	4.49
50.4	Viveli	391	46	0.08	17.99	434	3.72
55.11	Kleivevatn	99.8	124	2.93	12.38	271	1.68
55.4	Røykenes	50.0	101	2.24	5.05	219	3.16
61.10	Storefossen	171	104	2.83	17.78	325	2.01
61.7	Sedal	11.4	114	0.02	1.30	119	2.90
62.10	Myrkdalsvatn	159.0	76	1.18	12.08	252	3.29
62.5	Bulken	1094	55	0.89	60.17	732	5.63
62.6	Austmannhølen	295	66	0.12	19.47	787	3.45
71.1	Skjerping	268	54	0.02	14.47	605	2.90
71.5	Feios	75.2	53	0.02	3.99	116	2.37
72.5	Brekkebru	267	62	0.81	16.55	251	2.36
73.1	Lobru	562	31	0.39	17.42	618	7.47
75.22	Gilja	206	56	0.12	11.54	406	2.07
75.23	Krokenelv	46.2	47	0.05	2.17	129	1.15
75.5	Fortun	461	51	0.26	23.51	506	2.27
76.1	Kroken	357	75	0.39	26.78	517	3.82
76.5	Nigardsbrevatn	65.3	94	0.78	6.14	114	2.15

77.2	Veitestrandsvatn	386	73	4.59	28.18	191	3.01
77.3	Sogndalsvatn	110	77	2.24	8.47	231	1.30
78.8	Bøyumselv	40.5	108	0.20	4.37	163	2.19
80.3	Bøvatn	35.0	93	4.06	3.26	88	1.89
80.4	Ullebøelv	8.39	100	1.31	0.84	44	1.33
82.4	Nautsundvatn	219	96	2.66	21.02	663	3.95
83.12	Haukedalsvatnndf	205	93	5.25	19.07	266	3.08
83.2	Viksvatn	507	84	3.49	42.59	303	3.02
83.6	Byttevatn	104	102	1.59	10.61	242	1.33
83.8	Yndestad	31.3	77	0.83	2.41	107	1.67
84.1	Jølstervatn	385	76	10.22	29.26	284	1.55
84.11	Hovefoss	235	89	0.42	20.92	770	2.40
84.15	Jølstervatnndf	385	76	10.22	29.26	198	1.01
84.8	Holsenvatn	71.3	75	4.69	5.35	97	1.70
85.2	Blåmannsvatn	226	88	4.94	19.89	185	4.12
86.1	Risevatn	32.6	144	6.77	4.69	75	2.49
86.10	Åvatn	161	80	1.48	12.88	291	2.57
87.3	Teitabru	219	79	0.09	17.30	650	3.32
88.12	Strynevatn	484	60	4.77	29.04	218	1.04
88.30	Oldevatn	202	76	3.34	15.35	176	2.16
88.4	Lovatn	235	65	4.48	15.28	165	0.92
89.1	Hornindalsvatn	382	61	13.34	23.30	118	1.24
91.2	Dalsbøvatn	25.6	64	5.47	1.64	37	1.92
97.1	Fetvatn	89.2	89	1.52	7.94	323	1.77
97.1	Fetvatn	89.2	89	1.52	7.94	208	1.46
97.2	Saurevatn	37.2	73	1.62	2.72	108	2.39
97.4	Skjåstad	10.2	72	0.01	0.73	15	0.98
98.4	Øyendf	139	62	0.26	8.62	277	2.25
100.1	Alstad	228	49	0.12	11.17	331	2.63
101.1	Engsetvatn	39.9	55	11.03	2.19	33	2.05
101.2	Engsetvatnndf	41.3	55	10.30	2.27	24	1.42



103.1	Storhølen	437	34	0.16	14.86	311	2.55
103.19	Venge	1155	33	0.07	38.12	561	4.33
103.20	Morstølbru	44.8	69	0.14	3.09	83	1.37
103.3	Stuguflåten	416	27	0.32	11.23	306	3.27
103.4	Horgeheim	1140	33	0.07	37.62	865	3.36
104.1	LilleEikesdalsvatn	803	32	2.96	25.70	637	4.21
104.2	Eikesdalsvatn	1093	35	1.61	38.26	609	4.13
104.23	Vistdal	66.4	59	0.14	3.92	146	2.17
105.1	Øren	138	47	4.70	6.49	217	2.29
107.3	Farstad	23.5	45	2.86	1.06	15	1.80
108.1	Nåsvatn	54.0	53	7.37	2.86	132	1.08
109.12	Bruøy	474	26	0.07	12.32	358	2.92
109.20	Grensehølen	1628	22	0.15	35.82	1067	3.65
109.29	Dalavatn	86.7	39	0.19	3.38	83	2.60
109.42	Elverhøybru	2442	11	0.07	26.86	1179	4.35
109.9	Risefoss	744	19	0.01	14.14	904	4.00
111.10	Nauståa	24.9	71	0.32	1.77	53	0.77
111.9	Søya	137	61	0.02	8.36	265	3.01
112.27	Skjermo	926	45	0.67	41.67	603	3.03
112.5	Løsetli	196	40	0.20	7.84	331	1.72
112.6	Sjursberget	168	69	0.10	11.59	337	2.35
112.7	Honstad	1125	48	0.45	54.00	1044	4.67
112.8	Rinna	91.2	41	0.59	3.74	119	1.97
121.11	Åmot	279	23	0.61	6.42	312	2.50
121.22	Syrstad	2278	14	0.05	31.89	1984	5.38
121.9	Næverdalen	792	20	0.03	15.84	608	2.73
122.11	Eggafoss	653	26	0.14	16.98	464	2.01
122.14	Lillebudalbru	168	29	0.02	4.87	325	1.34
122.17	Hugdalenbru	545	23	0.01	12.54	508	2.41
122.2	Hagabru	3053	27	0.01	82.43	2858	6.45
122.3	Merrafoss	244	31	2.13	7.56	210	2.68



122.9	Gaulfoss	3077	28	0.01	86.16	2122	11.46
123.13	Stokke	1992	34	0.32	67.73	1585	4.15
123.2	Rathe	3053	30	2.33	91.59	980	2.75
124.12	Hegra bru	1871	39	0.27	72.97	950	2.81
124.2	Høggås bru	495	42	2.38	20.79	408	2.61
124.3	Tangfoss	528	37	0.96	19.54	732	3.88
127.11	Veravatn	175	36	3.71	6.30	111	1.90
127.13	Dillfoss	480	34	0.19	16.32	336	1.70
127.6	Grunnfoss	871	43	0.29	37.45	1075	5.19
128.5	Støafoss	486	37	0.29	17.98	686	2.47
128.8	Håkkådalbrua	2141	30	4.04	64.23	892	2.82
138.1	Øyungen	244	51	1.35	12.44	542	3.94
139.15	Bjørnstad	1037	45	2.78	46.67	364	1.72
139.17	Bertnem	5163	48	0.33	247.82	4502	7.44
139.19	Iskvernfoss	249	60	0.39	14.94	317	2.36
139.26	Embrethølen	491	41	0.02	20.13	461	3.04
139.3	Formofoss	1530	43	0.65	65.79	1016	4.26
139.34	ØvreFiskumfoss	3270	50	0.68	163.50	2777	4.83
139.35	Trangen	859	41	2.05	35.22	554	3.21
139.5	Namsvatn	700	45	6.03	31.50	375	3.82
151.11	Lavvatn	73.7	80	0.01	5.90	231	2.66
151.12	ØstreFiskelausvatn	15.7	41	0.01	0.64	19	1.35
151.13	Glugvatn	60.8	60	4.71	3.65	53	0.99
151.15	Nervoll	653	43	0.01	28.08	539	2.93
151.21	Joibakken	2475	40	0.01	99.00	2060	6.29
151.28	Laksfors	3650	46	0.22	167.90	2161	4.77
151.3	Hundålvatn	170	75	5.06	12.75	305	2.29
151.7	Kapskarmo	473	62	1.76	29.33	893	1.87
151.8	Andåsfoss	96.4	57	0.01	5.49	124	5.20
151.9	Unkervatn	762	28	3.56	21.34	282	2.27
152.4	Fustvatn	526	63	2.74	33.14	327	3.12



155.2	Tustervatn	1499	53	14.74	79.45	495	2.58
155.6	Sjøfoss	1875	54	15.86	101.25	802	2.92
156.17	Virvatn	79.0	29	3.17	2.29	52	2.29
156.19	Bredak	229	70	0.01	16.03	417	2.10
156.21	LilleUmvatn	86.7	23	0.01	1.99	93	1.73
156.4	Nevernes	1890	31	0.01	58.59	1990	7.50
156.7	Jordbru	339	33	0.01	11.19	277	1.92
156.9	Krokstrand	772	40	0.01	30.88	855	2.89
161.2	Selfoss	787	53	0.01	41.69	1015	4.68
161.7	Tollåga	222	40	0.01	8.89	237	2.61
162.3	Skarsvatn	146	36	0.50	5.25	177	4.12
162.4	Valnesvatn	66.8	48	7.34	3.21	152	1.25
163.5	Junkerdalselv	420	31	0.03	13.02	404	2.80
163.6	Jordbrufjell	69.5	35	1.48	2.43	79	1.57
163.7	Kjemåvatn	36.7	34	7.05	1.25	20	1.25
191.2	Øvrevatn	525	41	0.60	21.53	397	1.99
196.1	Bardufoss	2385	33	0.01	78.71	1428	9.35
196.11	Lille Rostavatn	633	22	2.85	13.93	272	2.59
196.12	Lundberg	248	53	0.01	13.14	228	2.00
196.3	Malangfoss	3112	25	0.15	77.80	1665	4.39
204.1	Solli	374	32	0.15	11.97	392	2.71
206.3	Manndalenbru	188	30	0.03	5.64	187	2.52
208.3	Svartfossberget	1883	30	0.04	56.49	1048	4.05
212.1	Masi	5626	13	0.32	73.14	1572	2.80
212.11	Kista	6187	13	0.41	80.43	1124	3.55
212.2	Stengelsen	6362	13	0.39	82.71	1565	3.50
212.48	Sagafoss	234	16	0.14	3.74	177	2.62
212.49	Halsnes	145	29	0.90	4.21	97	1.72
212.7	LilleMattisvatn	315	27	0.40	8.51	198	1.69
213.2	Leirbotvatn	136	26	1.09	3.54	116	2.39
223.1	StabburselvLombola	1068	20	0.08	21.36	820	2.66

223.2	Lombola	878	19	0.11	16.68	533	3.16
224.1	Skoganvarre	944	17	0.98	16.05	317	2.78
229.1	Adamsfjordfoss	708	19	0.53	13.45	419	3.58
234.13	Vækkava	2079	12	0.85	24.95	420	2.57
234.18	Polmaknye	14157	12	0.02	169.88	4744	7.09
234.2	Jiesjokka	459	14	14.56	6.43	88	0.79
234.5	Njalmigoaika	2253	11	0.09	24.78	913	3.27
241.1	Bergeby	248	17	0.03	4.22	156	1.79
244.2	Neiden	2963	10	0.01	29.63	825	2.64
307.5	Murusjø	346	24	5.53	8.30	116	1.82
307.7	Landbrulimn	59.0	44	6.73	2.60	40	1.95
308.1	Lenglingen	450	33	4.12	14.85	272	2.33
311.46	Engeren	395	19	3.10	7.51	160	2.55
311.6	Nybergsund	4420	15	2.40	66.30	820	4.08

Vedlegg 2. Oversikt over strekninger i flomsonekart.

Tabellen gir en oversikt over benyttede målestasjoner i analysen. Kolonnene er Regime, prosjektnavn (Navn), Elv, Nedbørfeltets areal (Areal, km²), Normalavrenning 1961 - 1990 (Avr, l/s/km²), effektiv sjøprosent (Effpro, %), 500-årsflom (Q500, m³/s) og vannstandstigningen (dVst, m) med hhv. gjennomsnittlig, største og minste verdi på strekningen.

Regime	Navn	Elv	Areal	Avr	Effpro	Q500	Middel	Max	Min
002.Z	Fjellhammar	Losbyelva	55	21	0.90	29	1.91	2.39	1.06
002.Z	Fjellhammar	Fjellhammerelva	100	21	0.40	47	1.95	2.20	1.62
002.Z	Laagen	Våla	316	15	0.10	210	2.12	4.27	0.72
002.Z	Laagen	Tromsa	323	15	0.01	244	2.86	3.99	1.86
002.Z	Laagen	Frya	451	14	0.10	209	2.59	3.56	1.81
002.Z	Vågåmo	Finna	455	21	0.10	339	2.42	3.31	2.00
002.Z	Åkrestrømmen	Mistra	545	15	0.10	351	1.84	2.09	1.70
002.Z	Leirsund	Leira	660	20	0.20	450	3.54	4.15	2.54
002.Z	Åkrestrømmen	Rena	1171	14	1.40	536	3.64	3.81	3.39
002.Z	Åkrestrømmen	Rena	1753	14	0.60	737	1.97	3.47	0.80
002.Z	Otta	Laagen	1830	18	0.02	995	4.09	4.44	3.69
002.Z	Selsmyrene	Laagen	1830	18	0.02	900	4.81	6.14	2.33
002.Z	Alvdal/Tynset	Folla	2015	13	0.10	681	2.89	3.80	2.39
002.Z	Vågåmo	Otta	3415	28	0.60	1082	3.68	3.90	3.47
002.Z	Alvdal/Tynset	Glomma	3907	15	0.30	941	3.77	4.23	2.03
002.Z	Otta	Otta	4064	26	0.50	1404	3.74	4.23	2.80
002.Z	Alvdal/Tynset	Glomma	6355	14	0.10	1550	5.56	6.56	3.98
002.Z	Otta	Laagen	6500	22	0.20	2019	4.38	4.66	3.85
002.Z	Koppang	Glomma	8943	14	0.10	2572	4.99	6.77	2.07
002.Z	Rena	Glomma	10000	15	0.10	2697	6.42	7.23	5.64
002.Z	Laagen	Laagen	11208	22	0.20	2800	4.13	5.38	2.00
002.Z	Rena	Glomma	14410	16	0.10	3215	4.50	6.33	2.93
002.Z	Elverum	Glomma	15980	15	0.10	3450	2.74	3.42	0.64
002.Z	Flisa	Glomma	17000	15	0.10	3505	6.82	7.02	6.70
002.Z	Vorma	Vorma	17513	19	2.10	2100	5.96	6.08	5.81
002.Z	Kirkenær	Glomma	18940	15	0.10	3640	6.38	7.02	5.26
002.Z	Kongsvinger	Glomma	19285	15	0.10	3627	6.59	8.07	4.74
002.Z	Skarnes	Glomma	20298	15	0.10	3546	4.72	6.81	2.38

002.Z	Fetsund	Glomma	38873	16	0.40	4710	5.14	5.37	4.91
002.Z	Sarpsborg	Glomma	41800	17	0.60	3860	6.20	6.45	5.19
002.Z	Fredrikstad	Glomma	41960	17	0.60	3860	2.32	2.84	2.04
008.Z	Sandvikselva	Isielva	69.9	20	0.01	68	2.25	5.68	1.19
008.Z	Sandvikselva	Lomma	110	19	0.07	107	2.19	3.35	1.02
008.Z	Sandvikselva	Sandvikselva	190	19	0.02	185	2.89	4.69	1.54
011.Z	Lier	Lierelva	310	17	0.20	289	4.83	5.98	3.18
012.Z	Gol	Hallingdalselva	3400	26	0.20	1621	4.44	6.74	1.43
012.Z	Nesbyen	Hallingdalselva	4200	24	0.15	1850	5.60	6.56	2.60
012.Z	Drammenselva	Drammenselva	17035	18	0.80	3000	4.74	6.47	2.02
015.Z	Kongsberg	Numedalslaagen	4263	19	0.70	1570	5.30	8.99	0.94
016.Z	Seljord	Byrdaåi	61.3	14	0.15	116	2.57	3.67	1.49
016.Z	Sauland	Hjartdøla	306	26	0.60	490	4.47	5.90	2.56
016.Z	Sauland	Hjartdøla	806	25	0.20	1290	5.75	10.06	2.43
016.Z	Tuven	Heddøla	1001	25	0.10	982	4.40	5.94	2.24
016.Z	Dalen	Tokkeåi	2300	37	0.40	1090	3.71	6.31	2.30
016.Z	Ulefoss	Eidselva	3250	29	1.60	920	4.13	12.19	2.79
016.Z	Skien	Skienelva	10815	25	0.80	2510	5.68	6.97	4.23
020.Z	Flaksvatn	Tovdalselva	1777	34	0.50	1290	6.19	7.04	5.39
021.Z	Mosby	Otra	3750	39	0.60	1750	5.09	5.53	4.54
022.1Z	Søgne	Søneelva	192	30	0.10	272	5.92	7.59	1.89
022.Z	Mandal	Øyslebø	1736	48	0.60	953	5.36	6.25	4.48
022.Z	Mandal	Mandalselva	1817	47	0.50	969	1.48	1.92	1.16
025.Z	Litlåna	Litlåna	231	54	0.10	440	6.14	6.88	5.90
026.4Z	Hauge	Litlå	57	60	1.10	96	3.64	3.92	3.30
026.4Z	Hauge	Sokno	235	52	1.80	167	3.02	3.24	2.90
026.4Z	Hauge	Sokno	306	50	1.10	248	4.06	7.87	2.64
026.BZ	Moi	Moisåni	209	61	2.30	248	1.76	2.43	0.87
027.6Z	Ogna	Ognaelva	78	57	0.10	131	1.86	3.15	0.64
028.Z	Ålgård	Fjggjo	142	53	1.95	108	2.54	4.18	1.24
030.1Z	Oltedal	Oltedalselva	85	63	1.00	121	2.02	2.52	0.73
037.2Z	Sauda	Nordelva	81.9	119	0.20	409	2.94	5.44	1.01
037.Z	Sauda	Storelva	354	100	0.90	1027	4.02	5.85	2.93
041.Z	Etne	Nordelva	139	92	5.90	271	1.30	1.37	1.22
041.Z	Etne	Etneelva	243	92	2.30	476	1.18	1.47	0.96
041.Z	Etne	Etneelva	245	92	2.30	481	1.35	1.92	0.81

041.Z	Etne	Etneelva	254	92	2.20	498	1.04	1.17	0.91
061.Z	Dale	Daleelvi	183	101	2.56	300	1.99	3.38	0.67
062.Z	Voss	Strandaelvi	374	72	1.30	434	4.42	4.79	3.72
062.Z	Voss	Raundalselvi	525	72	0.00	779	2.85	4.47	1.96
062.Z	Voss	Vosso	903	72	0.20	1215	5.04	5.61	4.55
070.6Z	Viksøyri	Hopra	31	38	0.00	53	2.00	3.28	1.52
070.Z	Viksøyri	Vikja	118	56	0.50	221	2.52	3.68	1.53
073.Z	Lærdal	Lærdalselvi	1183	31	0.10	930	4.07	4.53	3.47
076.Z	Jostedalen	Jostedøla	540	69	0.20	913	5.02	6.51	4.46
076.Z	Jostedalen	Jostedøla	552	69	0.20	933	3.55	4.55	2.75
076.Z	Jostedalen	Jostedøla	559	69	0.20	945	4.70	7.58	3.99
076.Z	Jostedalen	Jostedøla	573	69	0.20	968	4.79	7.20	2.81
076.Z	Gaupne	Jostedøla	864	69	0.20	1275	4.99	5.00	4.97
077.Z	Sogndal	Sogndalselvi	175	68	0.90	300	3.26	5.55	1.72
083.Z	Sande	Gaula	550	81	3.30	327	1.61	2.76	0.47
084.Z	Førde	Anga	92.6	74	0.10	311	1.73	2.14	1.44
084.Z	Førde	Jølstra	575	74	5.00	366	2.29	3.93	1.18
088.Z	Stryn	Stryneelva	484	60	4.80	218	1.79	2.27	0.75
088.Z	Stryn	Stryneelva	516	60	4.40	282	2.17	2.97	1.38
088.Z	Stryn	Stryneelva	537	60	3.90	322	2.11	2.11	2.11
089.Z	Grodås	Horndøla	137	61	0.00	221	1.66	2.11	1.05
095.Z	Ørsta	Rossåna	24.9	72	0.00	103	1.30	1.86	0.97
095.Z	Ørsta	Storelva	135	72	3.00	391	1.84	2.44	1.34
100.Z	Sylte	Valldøla	360	47	0.10	500	3.09	4.18	2.51
103.Z	Åndalsnes	Rauma	1173	34	0.10	707	2.88	3.72	2.04
105.6Z	Molde	Moldeelva	15.7	57	0.80	53	2.58	4.53	2.02
108.3Z	Batnfjord	Batnfjordselva	69.2	66	0.10	230	1.82	2.32	1.60
109.Z	Sunnalsøra	Driva	2493	27	0.07	1113	3.01	4.39	2.35
121.Z	Meldal	Orkla	2058	22	0.05	1543	4.57	5.45	4.07
121.Z	Meldal	Orkla	2317	22	0.04	1738	4.43	5.96	2.49
121.Z	Orkanger	Orkla	2511	22	0.04	1811	6.21	6.22	6.20
121.Z	Orkanger	Orkla	2839	22	0.04	2047	4.61	5.46	3.43
121.Z	Orkanger	Orkla	3053	22	0.04	2202	4.72	5.76	3.37
122.Z	Kotsøy	Gaula	1795	28	0.01	1692	4.00	4.99	2.82
122.Z	Støren	Gaula	2452	28	0.01	2515	5.60	5.90	5.30
122.Z	Støren	Gaula	3023	28	0.01	2959	7.90	13.92	5.25

122.Z	Melhus	Gaula	3184	28	0.01	3075	7.15	11.29	5.35
122.Z	Melhus	Gaula	3583	28	0.01	3235	6.28	7.79	4.07
123.Z	Selbu	Nea	2083	34	1.18	1250	5.16	5.96	4.04
123.Z	Trondheim	Nidelva	3119	30	2.33	995	2.40	3.26	1.50
127.Z	Verdal	Inna	481	34	0.19	542	4.31	5.04	3.17
127.Z	Verdal	Helgåa	885	43	0.29	1076	4.74	4.90	4.58
151.Z	Hattfjell	Elsvasselva	174	45	0.50	102	3.56	3.84	2.27
151.Z	Hattfjell	Vefsna	1648	35	0.20	839	3.84	4.00	3.56
151.Z	Hattfjell	Vefsna	1822	35	0.20	907	3.20	3.58	2.78
151.Z	Trosfors	Vefsna	3304	46	0.10	1841	2.80	3.55	1.30
151.Z	Mosjøen	Vefsna	4119	53	0.10	2316	2.85	3.07	2.63
155.Z	Korgen	Røssåga	1920	54	8.50	861	3.65	3.90	2.89
155.Z	Korgen	Røssåga	2092	54	8.00	935	2.84	3.47	2.54
156.Z	Røssvoll	Ranaelva	2052	32	0.01	2050	3.20	3.65	2.86
156.Z	Røssvoll	Ranaelva	3166	52	0.17	2550	2.29	2.53	2.05
161.Z	Beiern	Beiarelva	862	53	0.01	1185	4.47	5.49	3.71
162.7Z	Misvær	Lakselva	158	36	0.03	150	1.57	1.76	1.08
163.Z	Røklund	Saltdalvassdr.	1412	34	0.02	909	2.99	3.52	2.34
163.Z	Rognan	Saltdalvassdr.	1544	34	0.02	955	1.86	2.76	0.73
196.Z	Øverbyggd	Måselvassdr./Fjellfrøselva	217	30	0.50	110	2.06	2.12	1.96
196.Z	Øverbyggd	Måselvassdr.	2320	24	0.10	744	2.93	3.82	1.92
196.Z	Rundhaug	Måselvassdr.	3091	25	0.04	976	2.68	3.63	1.08
196.Z	Moen	Måselvassdr.	5700	28	0.20	2029	2.93	3.90	0.53
208.Z	Storslett	Reisavassdr.	2659	31	0.02	1819	4.32	5.60	1.73
212.Z	Kautokeino	Altaelva	1755	11	0.15	538	4.00	4.22	3.76
212.Z	Masi	Altaelva	5613	13	0.32	1531	7.02	8.02	3.59
212.Z	Alta	Altaelva	7391	13	0.35	1898	2.89	3.96	1.89
234.GZ	Karasjok	Karasjokka	4930	11	0.05	1270	5.64	5.75	5.55
234.Z	Bonkas/Seida/Polmak	Tana	16380	12	0.05	5350	4.93	7.16	2.68
244.Z	Neiden	Neidenvassdr.	2969	10	0.05	680	2.35	2.89	1.73
311.Z	Trysil	Trysilelva	4421	15	2.40	820	4.70	5.01	4.30