

Flomsonekart Delprosjekt Verdalsøra

Kjartan Orvedal, Camilla Meidell Roald



NVE Rapport nr. 39/2019

Flomsonekart

Delprosjekt Verdalsøra

Redaktør: Monica Bakkan

Forfatter: Kjartan Orvedal, Camilla Meidell Roald

Forsidefoto: Bilde tatt mot Østnesbrua under flommen 1. november 2015.
Foto: Kjartan Orvedal, NVE

ISBN: 978-82-410-2031-5

ISSN: 1501-2832

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 10

Sammendrag: Det er utarbeidet flomsone for 20-, 200- og 1000-årsflom for Verdalselva fra utløpet ved Verdalsøra til litt oppstrøms Grunnfossen ved Ulvilla. I tillegg er det laget flomsone for 200- og 1000-årsflom med et høyere havnivå som følge av et endret klima fram mot år 2100. Grunnlaget for flomsone er flomberegning, vannlinjeberegning, elvebunnsdata og terrengmodell.

Emneord: Verdalselva, Helgåa, Inna, flom, flomberegning, vannlinjeberegning, flomsone

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthuns gate 29

Postboks 5091 Majorstuen

0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95

E-post: nve@nve.no

Internett: www.nve.no

Mai 2020

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
1 Innledning	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Grunnlag for ajourføringen	5
1.3 Avgrensning av prosjektet	5
1.4 Klimaendringer	6
1.5 Prosjektgjennomføring	8
2 Metode og data	9
2.1 Hydrologiske data	9
2.1.1 Nedbørsfeltet	9
2.1.2 Reguleringer i vassdraget	9
2.1.3 Hydrometriske stasjoner	9
2.1.4 Flomberegning	10
2.1.5 Observerte flommer	11
2.1.6 Sammenligning med tidligere flomberegninger	11
2.2 Topografiske data	12
2.2.1 Tverrprofil	12
2.2.2 Terrengmodell	13
2.2.3 Kalibreringsdata	13
3 Hydrauliske beregninger	14
3.1 Modelloppsett	14
3.1.1 Flomløp ved Kjærenget	14
3.2 Samløpsproblematikk	15
3.3 Grensebetingingelse – Vannstand i sjø og havnivåstigning	16
3.4 Spesielt om broer og kulverter	17
3.5 Kalibrering	21
3.6 Resultat av vannlinjeberegningene	22
3.7 Vannhastighet	25
3.8 Sensitivitetsanalyse	28
3.9 Sammenligning av ajourført og gammel modell	29
4 Flomsonekart	29
4.1 Resultat fra flomsoneanalysen	29
4.1.1 20-årsflom	29
4.1.2 200-årsflom i dag og i et endret klima	29
4.1.3 1000-årsflom i dag og i et endret klima	29
4.2 Lavpunkt	29
4.3 Hvordan leses kartet	30
4.4 Kartprodukt	37
5 Usikkerhet	37
5.1 Flomberegning	37
5.2 Hydrauliske beregninger	37

5.3	Flomsonen	38
6	Andre faremoment i området	38
6.1	Stormflo	38
6.2	Is-relaterte problemstillinger	39
6.3	Massetransport, erosjons- og sikringstiltak	39
6.4	Kulverter	40
6.5	Områder med fare for vann i kjeller	40
7	Veiledning for bruk	40
7.1	Unngå bygging på flomutsatte arealer	40
7.2	Arealplanlegging og byggesaker – bruk av flomsonekart	40
7.3	Flomvarsling og beredskap – bruk av farekart flom	41
7.4	Generelt om gjentaksintervall og sannsynlighet	41
7.5	Hvordan forholde seg til vannhastigheter?	42
7.6	Hvordan forholde seg til usikre moment på kartet?	42
8	Referanser	44

Forord

Et nasjonalt kartgrunnlag – flomsonekart – er etablert for de vassdragene i Norge som har størst skadepotensial. Hovedmålet med kartleggingen er forbedret arealplanlegging, byggesaksbehandling og beredskap i flomutsatte områder, slik at skadene ved flom blir redusert.

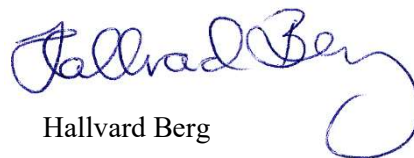
Denne rapporten presenterer resultatene fra ajourføringen av flomsonekartet for Verdalselva i Verdal kommune i Trøndelag fylke. Dette flomsonekartet erstatter flomsonekartet delprosjekt Verdalsøra fra 2004.

Bakgrunnen for ajourføringen av flomsonekartene er i hovedsak at flomberegningen og vannlinjeberegningen er oppdatert.

Oslo, mai 2020



Anne Britt Leifseth
direktør



Hallvard Berg
fungerende seksjonssjef

Sammendrag

NVE har ajourført flomsonekartene for Verdalsvassdraget. Bakgrunnen for ajourføringen er at flomberegningen fra 2002 er ajourført, med grunnlag i at flomvannføringene for Verdalselva og Inna har økt.

Det er utarbeidet flomsonekart for en 20-, 200- og 1000-årsflom, samt 200- og 1000-årsflom i et endret klima i år 2100. Oversvømmelse som følge av stormflo er ikke inkludert i flomsonekartet.

Det er beregnet vannstandene for flommer med 5-, 10-, 20-, 50-, 100-, 200-, 500- og 1000 års gjentaksintervall, i tillegg til klimaframskrivninger av en 200- og 1000-årsflom. Middelflom og normalvannføring er også beregnet. Største registrerte flom ved Grunnfoss målestasjon siden målingene startet i 1932, var den 31. desember 2006 med en kulminasjonsvannføring på 909 m³/s. Dette tilsvarer et gjentaksintervall på ca. 200 år.

Vannstander som følge av flom i sidevassdrag og bekker er ikke beregnet og kommunen bør være ekstra oppmerksomme på disse, da små vassdrag responderer raskt på nedbør og kan gi store skader ved flom. Beregningene tar ikke hensyn tilstopping, is, isganger, erosjon og masseavsetninger m.m.

Klimaframskrivning viser at det ikke forventes større vannføringer i Verdalselva, Helgåa eller Inna som følge av klimaendringer frem mot år 2100. Framskrivninger viser imidlertid at en forventer at havnivået stiger som følge av klimaendringene og dette vil påvirke vannstandene i elva. I flomsoneene er derfor effekten av havnivåstigning som følge av klimaendringer inkludert, men stormflo for gjentaksintervallene 20-, 200- eller 1000 år i et endret klima er ikke inkludert.

Utbredelsen til en 20-årsflom viser at en del bebyggelse er flomutsatt. En får oversvømmelser av elvenære områder langs hele vassdraget og omtrent 6 boliger blir berørt av flommen.

Oversvømmelser ved en 200-årsflom viser at det er omtrent 60 boliger som blir flomutsatt, i tillegg til veier.

Utbredelsen til en 1000-årsflom viser at ca. 250 boliger er flomutsatt, samt at deler av vei og jernbane bli oversvømt.

NVE anbefaler at en sikkerhetsmargin legges til ved praktisk bruk av vannstander. For dette prosjektet anbefaler vi at det legges til en sikkerhetsmargin på 50 cm på de beregnede vannstandene.

I kommuneplanarbeidet kan flomsoneene benyttes direkte for å identifisere områder som ikke bør legges ut som byggeområder, uten nærmere vurdering av fare og mulige tiltak. Ved detaljplanlegging og i dele- og byggesaker, må kommunen ta hensyn til at flomsonekartene har begrenset nøyaktighet. I områdene nær grensen for faresonen er det særlig viktig at høyden på terrenget blir kontrollert mot beregnede flomvannstander. Det er også viktig å huske at for å unngå flomskade, må dreneringen til et bygg utformes slik at avløpet også fungerer under flom.

Områder som er utsatt for flomfare, skal settes av som *hensynssoner – flomfare* på arealplankart, og det skal knyttes bestemmelser til området som avgrenser eller setter vilkår for arealbruken (for eksempel rekkefølgekrav). Flomfaren må innarbeides når kommuneplanen blir oppdatert.

1 Innledning

Hovedmålet med kartleggingen er å gi grunnlag for bedre arealplanlegging og byggesaksbehandling i vassdragsnære områder, samt å bedre beredskapen mot flom.

Flomsonekart kan i tillegg gi et godt grunnlag for flomvarsling og planlegging av flomsikringstiltak.

1.1 Bakgrunn

Etter den store flommen på Østlandet i 1995, kjent som Vesleofsen, ble det etablert et utvalg, flomtiltaksutvalget, som utarbeidet *NOU 1996:16 Tiltak mot flom*¹. Utvalget anbefalte at det ble etablert et nasjonalt kartgrunnlag – flomsonekart – for vassdragene i Norge som har størst skadepotensial. Utvalget anbefalte en detaljert digital kartlegging.

I *St.meld. nr. 15 (2011–2012) Hvordan leve med farene – om flom og skred*² ble det gjort klart at regjeringen vil videreføre satsingen på flomsonekart, med grunnlag i *St.meld. nr. 42 (1996–97) Tiltak mot flom*³. Regjeringen holder fast på at styring av arealbruken er det absolutt viktigste tiltaket for å holde risikoen for flomskader på et akseptabelt nivå. Ved ny kartlegging og ajourføring av eksisterende kart, skal også endringer som følge av klimaframskrivninger synliggjøres.

1.2 Grunnlag for ajourføringen

Etter at det opprinnelige flomsonekartet for Verdalselva ble utarbeidet i 2004, har det vært to store flommer i vassdraget. Flommen 31. januar 2006 er beregnet til å ha et gjentaksintervall på ca. 200 år, mens gjentaksintervallet til flommen 2. oktober 2015 var ca. 15 år. Spesielt flommen i 2006 bidrar til at den ajourførte flomberegningen får høyere vannføringer sammenlignet med den opprinnelige flomberegningen.

Økningen i flomstørrelsene fra middelflom til 500-årsflom for Helgåa og Verdalselva er 2-9 %, mens for Inna er økningen 11-26 % i kulminasjonsverdi. Den største økningen er for de høyeste gjentaksintervallene.

Observasjonsdata fra flomhendelsene i 2006 og 2015 er benyttet ved kalibrering av den hydrauliske modellen.

Det foreligger nye terrengdata, som er benyttet i beregninger og analyser.

Klimaendringer er inkludert i prosjektet, ved at det er synliggjort utbredelsen av framtidige flommer med havnivåstigning i et forventet endret klima fram mot år 2100.

Det planlagte flomsikringstiltaket i Vuku er innarbeidet i kartleggingen.

1.3 Avgrensning av prosjektet

Området som er kartlagt strekker seg fra utløpet ved Verdalsøra til litt oppstrøms Grunnfossen ved Ulvilla, en strekning på 25 km, se Figur 1-1. Verdalselva endrer navn til Helgåa oppstrøms samløpet med Inna. Oversvømt areal som beregnes er knyttet til flom i Helgåa, Inna og Verdalselva. Det er ikke utført beregning av vannstand i sidevassdrag og bekker, og oversvømmelse som følge av flom i disse er ikke inkludert i prosjektet.

Det er flom som følge av naturlig høy vannføring som kartlegges, under forutsetning om at det er rent vann i elven og at elvens geometri ikke endres. Vassdragsrelaterte faremoment som f.eks. erosjon, skred og farer relatert til is er ikke analysert tilsvarende, men kjente problem av denne art omtales i kapittel 6.

Oversvømmelse som følge av stormflo i elvas utløpsområde, er ikke inkludert i det ajourførte flomsonekartet. Områder som viser oversvømmelse ved stormflo, finnes i Kartverkets karttjeneste *Se havnivå i kart*.



Figur 1-1: Oversikt over kartlagt strekning.

1.4 Klimaendringer

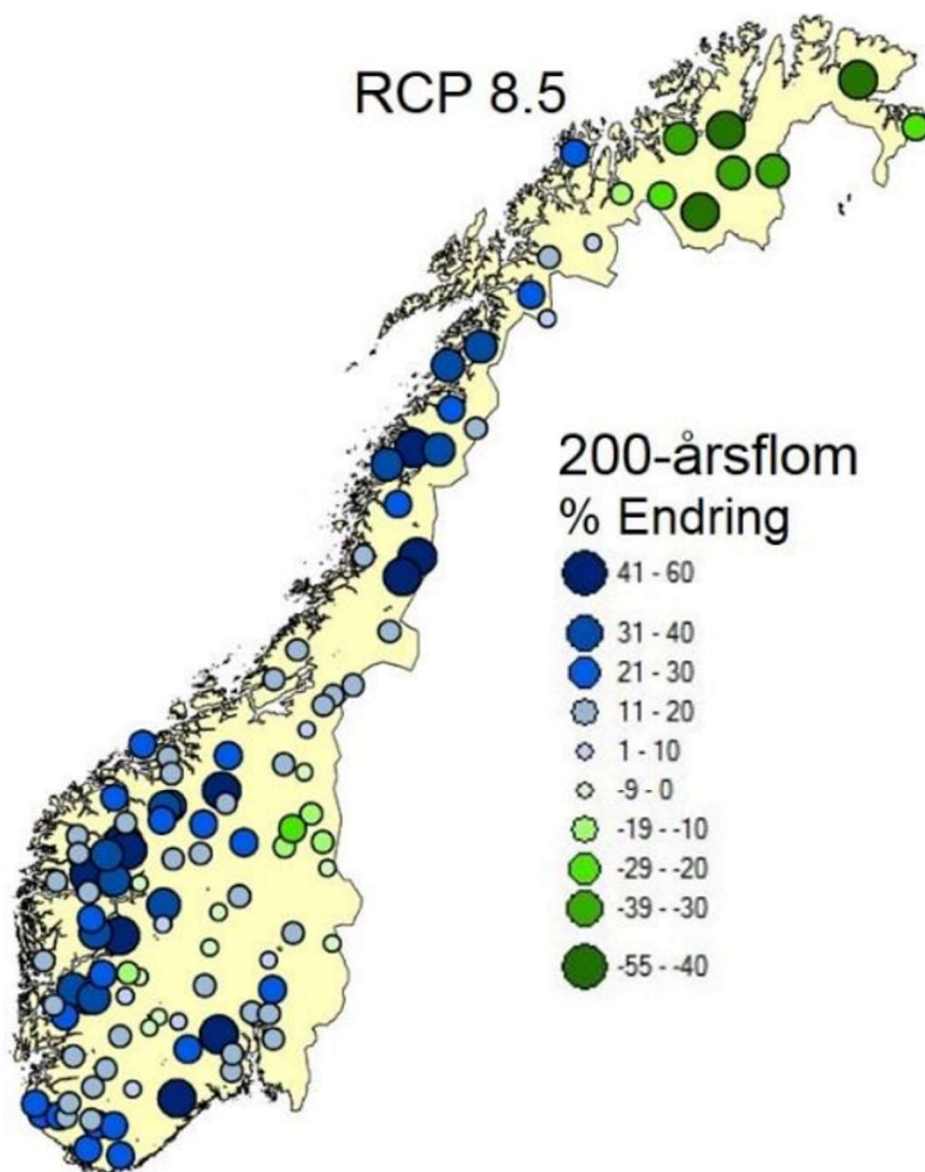
Flomsonekart utarbeides med grunnlag i historiske data for vannføring. Klimaframskrivningene kommer fra ti ulike kombinasjoner av globale og regionale klimamodeller kjørt under ulike utslippsscenarioer, der scenariet RCP 8.5 er basert på høyt utslipp i framtiden. NVE har brukt klimadataene som inngangsdata til kalibrerte hydrologiske HBV-modeller for 115 nedbørfelt fordelt over hele Norge, for å finne forventet endring i middel-, 200- og 1000-årsflom i år 2100. Alle beregninger er utført med utgangspunkt i det beste av data per dag dato.

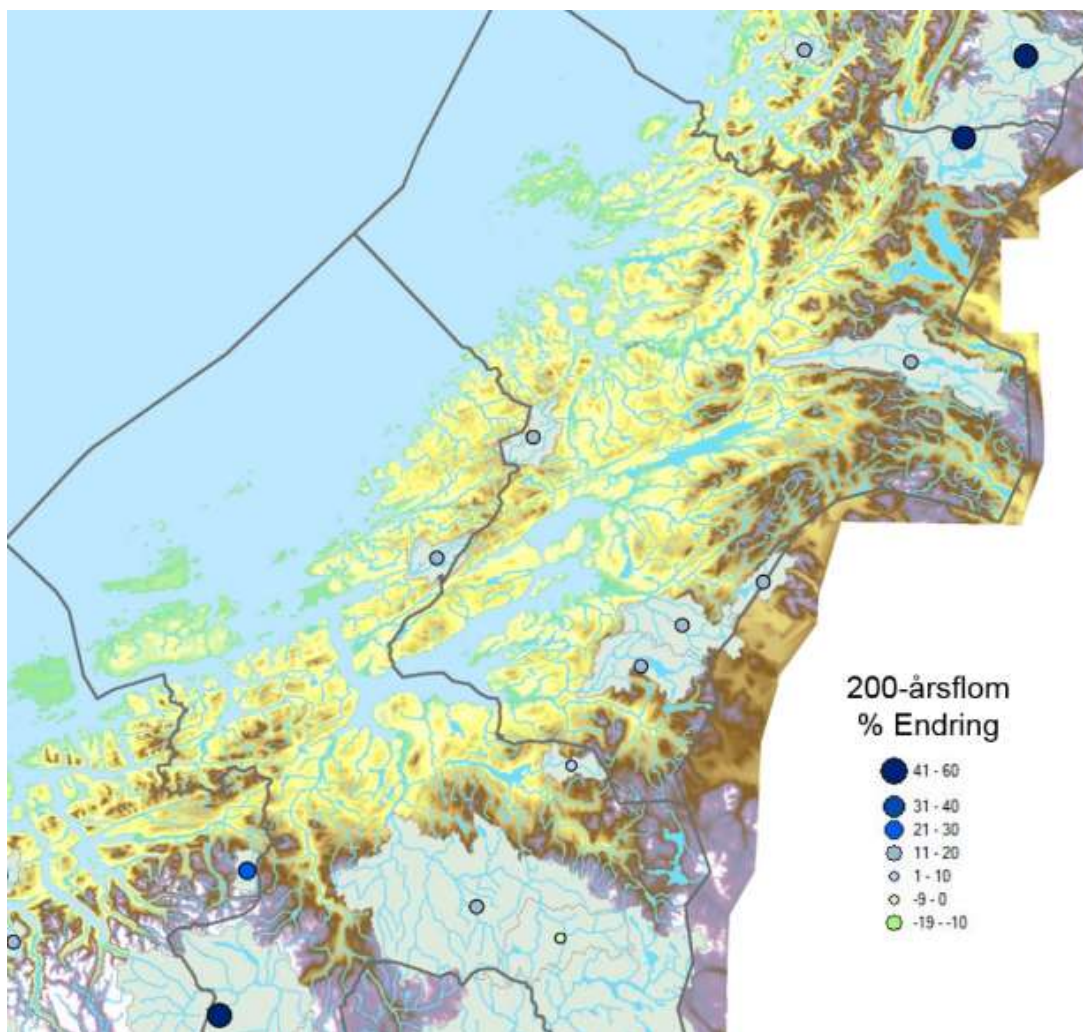
Beregningene⁴ er basert på flere tilgjengelige klimaframskrivninger, kalibrerte hydrologiske modeller og flomfrekvensanalyser. Beregnet endring i 200-årsflom er prosentvis endring mellom 1971–2000 og 2071–2100. Den fullstendige analysen inneholdt 8000 scenario (framtidsskildringer) for hvert nedbørfelt, der medianverdien av alle resultatene er presentert klimaendring. Medianverdi er den midterste verdien i en tallrekke.

Generelt er det forventet at ekstremnedbør og regnflommer kommer til å øke i hele landet, mens snøsmelteflommer i de større vassdragene vil minske. Resultatet av dette er økte flomstørrelser i

alle vassdrag på Vestlandet, langs kysten og i små bratte vassdrag i hele landet. Også sideelver i små, bratte nedbørsfelt vil få økt flomstørrelse, selv om flomfaren i hovedelva blir redusert. I store vassdrag på Østlandet, i innlandet i Midt-Norge, i Troms og Finnmark forventes en reduksjon eller liten endring. I sistnevnte gruppe vil derfor eksisterende flomsonekart gi et tilfredsstillende grunnlag for vurdering av flomfaren, også med hensyn til framtidige flommer. Dette gjelder likevel ikke i munningsområdene, fordi havnivåstigning og økt stormfloaktivitet vil medføre forhøyede vannstander.

Effekt av klimaendringer på flom er kategorisert i tre inndelinger: ingen endring, 20 % og 40 % økning. Hvilken kategori en elvestrekning hører til, er avhengig av hvor i Norge en oppholder seg, nedbørfeltets areal og høydefordelingen i nedbørfeltet. NVE vil tilpasse flomsonekartene til et endret klima der det er nødvendig, etter hvert som gode nok data og metoder foreligger. Dette har siden 2012 inngått i NVEs arbeid med ny kartlegging og ajourføring av flomsonekart.





Figur 1-2: Endring i vannføring som følge av klimaendringer. Resultatene er basert på framtidige klimascenarier, regionale analyser og HBV-modeller i uregulerte nedbørfelt.

I NVEs rapport 81-2016 «Klimaendring og framtidige flommer i Norge»⁴ er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til ventet klimautvikling frem mot år 2100 ved beregning av flommer med forskjellige gjentakintervall. Avsnitt 6.3 i nevnte rapport omhandler Trøndelag og i vedlegg B anbefales at det legges til grunn 0 % økning av vannføringen for Verdalselva.

Da små og bratte nedbørfelt er mer sårbare for høyintensiv nedbør, forventer en minst 20 % økning i flommer fram mot år 2100, for alle sidevassdrag som er mindre enn 100 km² og andre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn.

1.5 Prosjektgjennomføring

Prosjektet er utført i egenregi av NVE. Prosjektleder har vært Kjartan Orvedal og Camilla Meidell Roald har utført kartanalysen. Per Ludvig Bjerke har stått for kvalitetskontrollen.

2 Metode og data

Ved detaljkartlegging av flomsoner er detaljerte terrengdata og flomberegningen de viktigste grunnlagsdataene. Flomberegningen er en statistisk analyse av hvor ofte en kan forvente store flommer i gjeldende vassdrag og er gjort med grunnlag i historiske data. I tillegg beregnes middelflom og normalvannføring, basert på avrenningskart (kart som viser hvor stor andel av nedbøren som renner ut i vassdragene) for Norge, som er basert på data fra 1961 til 1990.

Data for vannføring og terrengdata blir benyttet i en hydraulisk modell, som beregner vannstander for hver vannføring. Der det finnes historiske data, kalibreres modellen med utgangspunkt i sammenhørende verdier av vannstand og vannføring.

For å utlede hvilket areal som oversvømmes, sammenlignes beregnet flomvannstand med terrenget. Dette gjøres enten direkte i modellverktøyet eller en kan benytte GIS-programvare for å utlede flaten med flomfare.

2.1 Hydrologiske data

Flomberegningen er dokumentert i NVE-rapporten *Flomberegning for Verdalselv (127.Z)*, nr. 22-2017⁵ og er en ajourføring av flomberegningen fra 2002. Under følger et utdrag fra flomberegningen.

2.1.1 Nedbørsfeltet

Verdalsvassdraget har utløp langt nord i Trondheimsfjorden, og strekker seg inn i fjellpartiene østover mot svenskegrensa. Vassdraget har således sitt utspring i grensefjellene mot Sverige, og deler av vassdraget strekker seg så vidt inn i Sverige. Nedbørsfeltet har totalt feltareal på 1471 km², og strekker seg fra havnivå til 1200 moh.

Verdalsvassdraget består av to hovedgrener, Inna og Verdalselv/Helgåa, som løper sammen ved tettstedet Vuku. Helgåa går over i Verdalselv ved Ulvilla. Verdalsvassdraget er det største uregulerte vassdraget som strekker seg fra fjord til fjell i Trøndelag. Vassdraget er plassert i Samlet Plan kategori I.

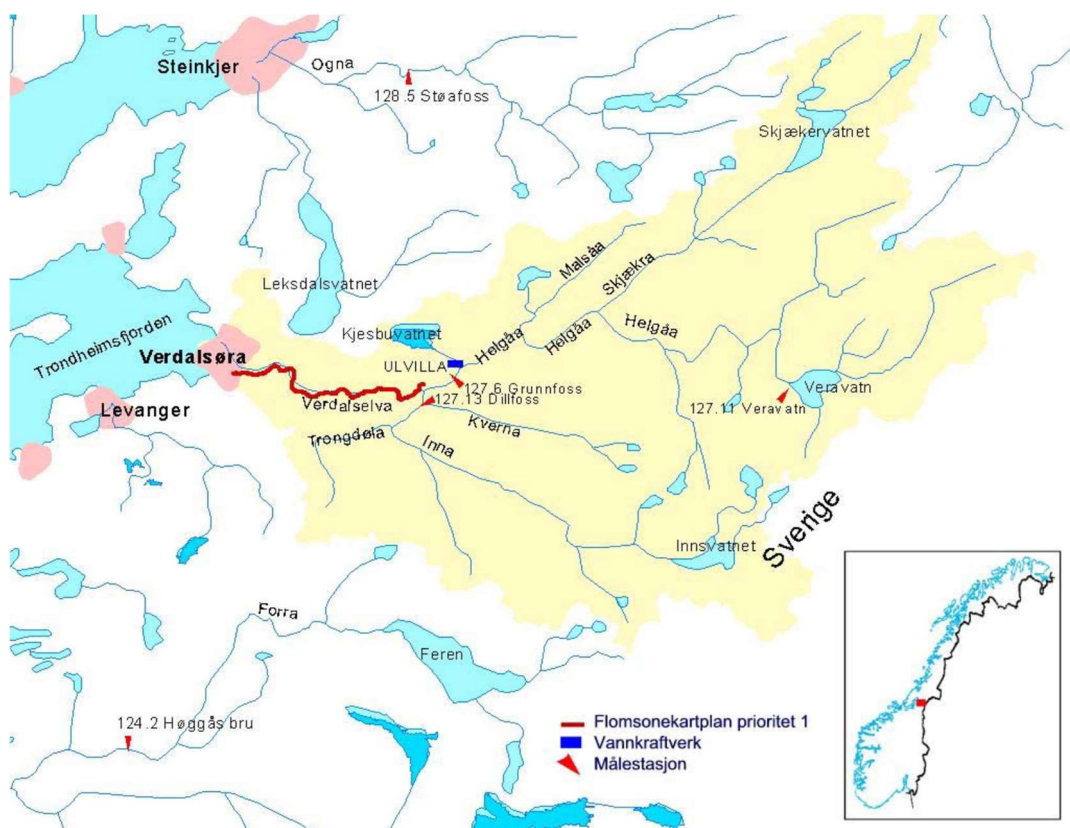
I Verdalsvassdraget opptrer store flommer hyppigst om våren i månedene mai og juni i forbindelse med snøsmelting, men store flommer opptrer til alle årstider i forbindelse med store nedbørmengder, og særlig i kombinasjon med snøsmelting. Flom kombinert med isgang skaper ofte problemer og skader. Det kan oppstå skadeflommer både vår, høst og vinter.

2.1.2 Reguleringer i vassdraget

Det finnes i dag ett lite kraftverk i Verdalsvassdraget, Ulvilla, tilknyttet et lite magasin, Kjesbuvatnet, i sideelva Ulvillbekken. Ulvillbekken renner inn i hovedelva som blir til Verdalselv rett oppstrøms 127.6 Grunnfoss. Kraftverket har ingen praktisk betydning for flomforholdene i elva.

2.1.3 Hydrometriske stasjoner

Det er flere målestasjoner i vassdraget, se Figur 2-1 som viser beliggenheten til disse målestasjonene og andre sammenligningsstasjoner. Alle stasjonene er å betrakte som uregulerte.



Figur 2-1: Kart over analyseområdet sitt nedbørfelt, Verdalselva. Strekningene som er flomsonekartlagt er tegnet inn med rødt.

2.1.4 Flomberegning

I flomberegningen er det valgt å benytte et forholdstall mellom døgnmiddelvannføringen og kulminasjonsvannføring på 1,15. Resulterende kulminasjonsvannføringer er gitt i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Flomverdier for Verdalselva er hentet fra NVE-rapport nr. 22-2017. I tabellen er det kulminasjonsvannføringer som er oppgitt.

Punkt i vassdraget	Q _M m ³ /s	Q ₅ m ³ /s	Q ₁₀ m ³ /s	Q ₂₀ m ³ /s	Q ₅₀ m ³ /s	Q ₁₀₀ m ³ /s	Q ₂₀₀ m ³ /s	Q ₅₀₀ m ³ /s	Q ₁₀₀₀ m ³ /s
Verdalselv, v/ 127.6 Grunnfoss	394	479	564	651	775	879	996	1167	1315
Verdalselv, oppstr. saml. m/Inna	397	483	568	656	781	886	1003	1176	1325
Inna	230	280	329	380	453	514	582	682	768
Verdalselv, nedstr. saml. m/Inna	600	729	858	990	1179	1338	1515	1776	2001
Verdalselv, ved Ekle	610	741	872	1006	1198	1360	1540	1805	2034
Verdalselv, ved Verdsøra	612	744	876	1010	1203	1365	1546	1812	2042

Normalavløpet for vassdraget er beregnet ut fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (NVE, 2002) og gir en midlere spesifikk avrenning på 38,5 l/s/km² ved Verdsøra. Årsmiddelavrenningen varierer innenfor vassdraget fra 20 l/s/km² i de lavereliggende områdene omkring Verdsøra til omkring 55 l/s/km² i de høyereliggende områdene i Skjærkjella og området omkring Hyllfjellet og Drivsjøfjellet innerst i Kverndalen og Inndalen.

Under en flomhendelse vil ofte sideelver i vassdraget kulminere på et annet tidspunkt enn hovedelva, og de relative flomstørrelsene (gjentaksintervall/returperiode) kan være svært ulike innad i vassdraget. For eksempel kan det største bidraget fra en sideelv ha passert hovedelva før denne kulminerer. Ved beregning av vannlinjer der to elvestrenger med stor forskjell i kulminasjonstidspunkt møtes, er det nødvendig å anslå vannføringen i hver av elvene når den andre kulminerer. Dette for å få et mest mulig realistisk bilde på vannstanden rett oppstrøms samløpet.

2.1.5 Observerte flommer

Store nedbørmengder og mildt vær førte til stor flom i Midt-Norge fra 29. januar 2006 og noen dager fremover. Spesielt ble Fosenhalvøya i Trøndelag rammet, men også for områder lenger øst og sør i Trøndelag er dette den største registrerte flommen, med et gjentaksintervall på 200 år eller mer for flere vassdrag. Flommen resulterte i store skader på infrastruktur og bebyggelse. Ved Grunnfoss i Verdalselva kulminerte flommen på 909 m³/s, se Tabell 2-2.

Tabell 2-2: Største observerte døgnmiddelvannføringer ved utvalgte målestasjoner i Verdalsvassdraget og et par nabovassdrag.

Stasjon	Obs.-periode	År	Dato	Døgnmiddel-vannføring m ³ /s	Kulminasjons-vannføring m ³ /s	Gjentaksintervall i hht. 2016
127.6 Grunnfoss	1932-2015	2006	31.01	786	909	Ca. 200
		1962	05.12	572	-	Ca. 40
		1947	-	-**	774	
		1932	-	-**	687	
		1953	25.03	560	-	Ca. 40
		1961	21.11	519	-	Ca. 25
		2015	02.10	492	766	Ca. 15
127.13 Dillfoss	1973-2015	2006	31.01	433	-	Ca. 200
		2012	23.03	222	248	Ca.5-10
		1982	26.03	221	280	Ca.5-10
		2015	02.10	214	371	Ca.5-10
		2011	14.09	201	262	Ca.5-10
124.6 Høggås	1912-2015	1947	20.10	355		
		1932	29.09	290		
		1953	25.03	284		
		2006	31.01	258		
		1961	21.11	246		
128.5 Støafoss	1957-2015	2006	31.01	472		
		1990	03.12	322		
		2015	02.10	315		
		1932	28.01	301		
		1982	27.03	281		

Av større flommer etter 2000-årsskifte har flommene i Trøndelag i juni 2010, august 2011 og mars 2012 vært forholdsvis store, men ikke akkurat i Verdalsvassdraget. Alle disse flommene har i dette vassdraget hatt et gjentaksintervall mellom 2-7 år.

2.1.6 Sammenligning med tidligere flomberegninger

Forskjellene på beregningene gjort i 2002 og i 2017 er for hovedelva forholdsvis små, men øker med økende gjentaksintervall. Forklaringene til forskjellene er en kombinasjon av følgende punkter:

- **Ulikt datagrunnlag:** 15 år lengre serie som inkl. tidsseriens største flom (2006). Dette gir en svak endring av middelflom, større effekt på frekvensfordelingene.
- **Ulik måte å bestemme/fordele verdier for middelflom** på mellom punkter med observasjoner.
- **Ulike kulminasjonsfaktorer for Inna.** Økning av faktoren Q_{mom}/Q_{mid} fra 1,3 til 1,4.

- **Endring av vannføringskurve** for 127.6 Grunnfoss. Gir noe mer vann ved beregningene i 2017 enn i 2002.

Samlet har dette medført at de reviderte flomvannføringene har økt. Økningen for Helgåa og Verdalselva er 2-9 %, mens for Inna er økningen 11-26 % i kulminasjonsverdi. Økningen er størst for de høyeste gjentakintervallene.



Figur 2-2: Imsberget bro ved samløpet mellom Inna og Verdalselv under flommen i 1947. Broen reiste til slutt av gårde. Flommen var et resultat av kraftig snøsmelting og høy nedbørintensitet. (Kilde: Verdalsbruket AS ved Jon Lykke)

2.2 Topografiske data

Alle topografiske data er oppgitt med NN2000 høydereferanse. Deler av datagrunnlaget er konvertert fra NN1954 til NN2000 ved å legge til 14 cm på høydene i NN1954.

2.2.1 Tverrprofil

Det er lagt inn 86 tverrprofiler på strekningen. Av disse er 48 tverrprofiler målt opp av Kartkonsulentene AS i 1998, 18 tverrprofiler er hentet fra Flerbruksplanen for Verdalsøra, 4 tverrprofiler er målt opp av NVE i 2003 og resten er hentet fra terrengmodellen (Terratec AS, 2015).

Nummereringen av tverrprofilene er justert i den ajourførte modellen for at hvert tverrprofil skal ha et unikt tverrprofilnummer.

Tverrprofilene for Verdalselv/Helgåa går fra 0 ved utløpet til 45 ved Ulvilla, mens nummereringen i Inna starter på 50 ved samløpet og øker oppstrøms til 53.

3 Hydrauliske beregninger

Det er utført vannlinjeberegninger ved bruk av dataprogrammet Hec-Ras v.5.0.7, som er utviklet av U.S. Army Corps of Engineers. Modellen kan beregne både endimensjonale (1D) og todimensjonale (2D) strømningstilstander. Ved 1D-beregninger kan Hec-Ras beregne en stasjonær strømningstilstand, der modellen benytter kontinuitetslikningen og en likning for friksjonstap for å beregne vannlinjen fra et tverrsnitt til det neste der den er gradvis varierende. Dersom vannlinjen går gjennom kritisk eller varierer brått, som ved et vannstandssprang eller i et bruttverrsnitt, vil modellen benytte momentmetoden for å beregne vannstanden.

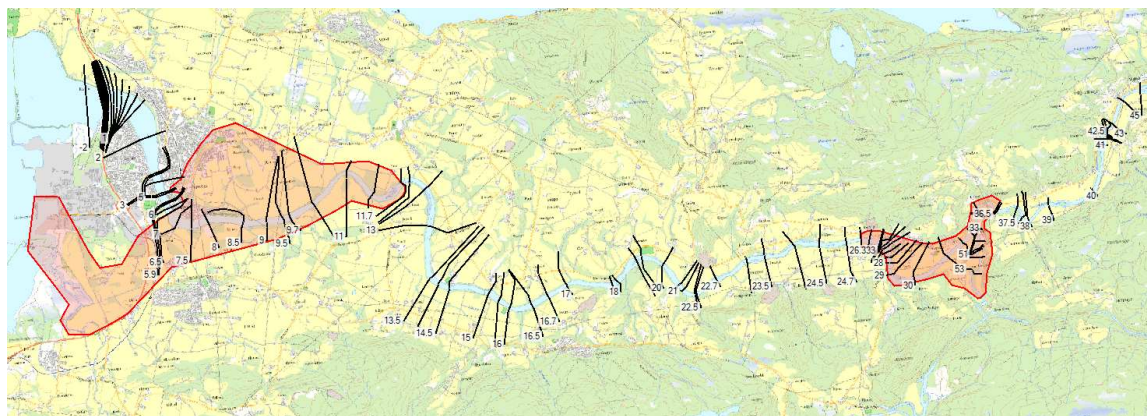
Hec-Ras kan også beregne ikke-stasjonære strømningstilstander for både 1D og 2D. Ved ikke-stasjonære strømningstilstander varierer vannføringen og modellen finner en implisitt numerisk løsning til Saint-Venant likningene.

Nødvendige inngangsdata til modellen er tverrprofilgeometri for 1D og terrengdata for 2D, ruhet og vannføring. Ruheten beskrives ved Manning's n -tall, som er en empirisk koeffisient for falltap der lave n -verdier representerer lavest ruhet. Nøyaktigheten til modellen bestemmes av flere forhold, der samsvar mot kalibreringsdata for flommer med høye gjentakintervall er den beste måleparameteren. For å få en god modell må den derfor kalibreres mot gode vannstandsobservasjoner og vannføringer for tidligere flommer i vassdraget.

3.1 Modelloppsett

Hele strekningen er modellert i 1D med Hec-Ras v.5.0.7. Tverrprofilene i det ajourførte flomsonekartet er forlenget ved hjelp av en terrengmodell basert på laserdata fra 2015, slik at de bedre representerer de hydrauliske forholdene enn det den opprinnelige modellen gjorde. I tillegg er alle bruene og den prosjekterte flomvollen ved Vuku lagt inn i modellen.

Det er 2 strekninger, der hydrauliske problemstillinger også er modellert med en 2D-modell. Dette er knyttet til om Verdalselva tar nytt løp ved flom, ref. kap. 3.1.1 og effekten av den prosjekterte flomvollen.

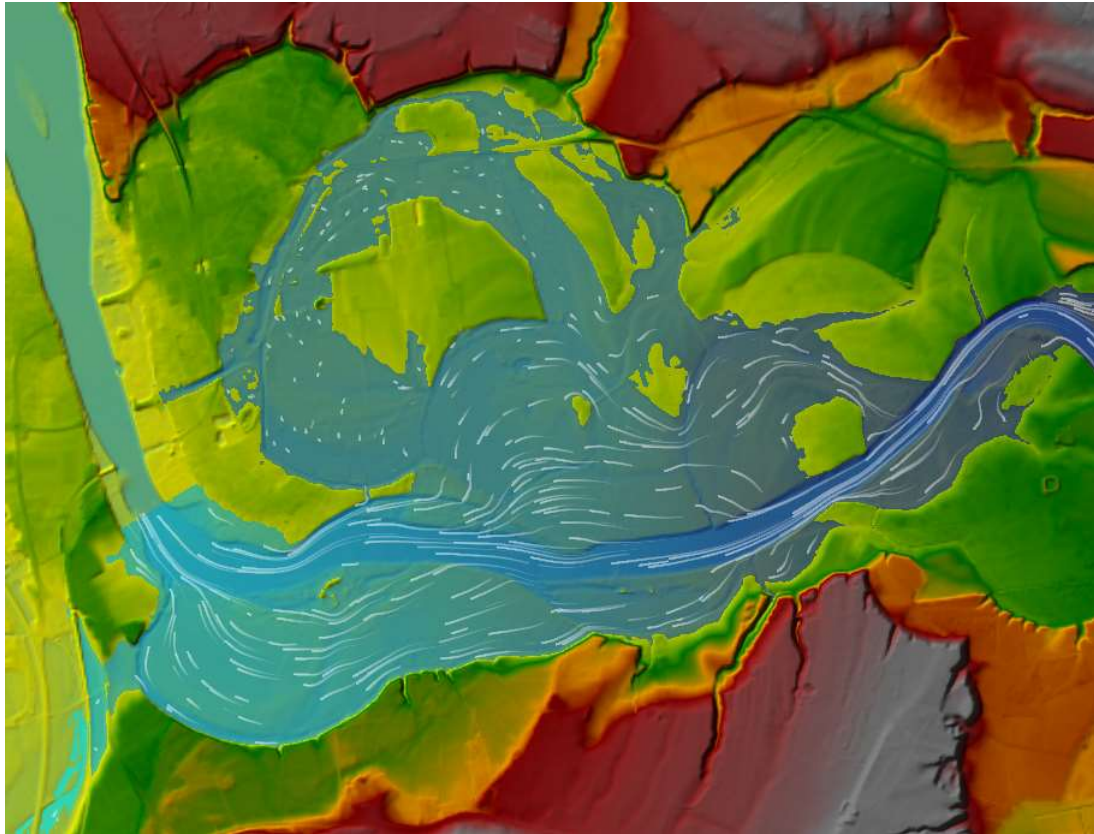


Figur 3-1: Modellering av Verdalselva. De to områdene som er modellert i 2D er markert med rødt. Det største området er i nedre del av elva og det minste området er ved Vuku og samløpet med Inna.

3.1.1 Flomløp ved Kjærenget

Det er valgt å modellere strekningen mellom tverrprofil 6.5 og 10.5 i Verdalselva med en 2D-modell. Dette skyldes at en er usikker på hvordan vannet vil strømme på flomsletta og om

vannet kan renne ut av modellen mellom tverrprofil 7 og 8 ved høye gjentaksintervall, se Figur 3-2 under. Utbredelsen til en 1000-årsflom ved bruk av 2D-modellen, viser at Verdalselva vil finne et nytt løp ved Kjærenget. Beregningene viser at vannføringen i det nye løpet vil være i størrelsesorden $2-5 \text{ m}^3/\text{s}$, som er relativt små vannmengder over en kort periode rundt flommens kulminasjon, og er ikke tatt hensyn til i vannlinjeberegningene i kap. 3.6.



Figur 3-2: Kartutsnitt fra 2D-modellen viser retningen på vannhastighetene på flomsletten ved Verdalsøra. En ser at noe av vannet renner ut ved Kjærenget, i nedre venstre del av kartet.

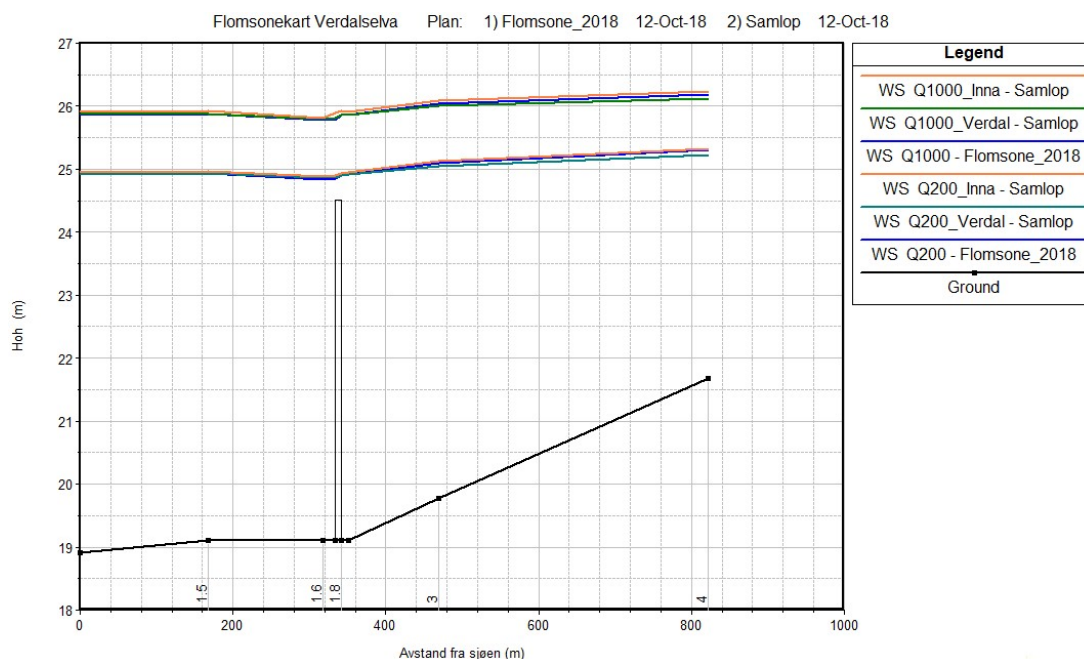
3.2 Samløpsproblematikk

Basert på en analyse av de 6 største flommene ser en at sideelven Inna stort sett kulminerer innen null til fire timer tidligere enn hovedelva ved samme flomepisode. Dette medfører at flommen i hovedelva og sideelva ikke har samme gjentaksintervall ved kulminasjon. Dette skyldes at Inna har et mindre nedbørfelt og kortere transporttid og respons i feltet.

Dersom modellen tar hensyn til denne forskyvningen av kulminasjonstidspunktet viser beregningene at en får omtrent 10 cm lavere vannstander i Inna og omtrent 5 cm i Verdalselva for en 200- og en 1000-årsflom, sammenlignet med at elvene kulminerer samtidig, se Figur 3-3. På bakgrunn av disse resultatene og samsvar med kalibreringsdata ved samløpet, er det valgt å ikke ta hensyn til effekten av samløpsproblematikk. I flomsonekartet er det lagt til grunn samtidig kulminasjon.

Ved samløpet, ble det også satt opp en 2D-modell, som ble kalibrert mot 2015-flommen. Resultatet viser at 2D-modellen gir marginalt bedre tilpasning for observerte vannstander for 2015-flommen, mens 1D-modellen beregner litt høyere vannstander i forhold til det som er

observert. Avviket mellom modellene har liten praktisk betydning og det er valgt å presentere resultatene fra 1D-modellen i flomsonekartene.



Figur 3-3: Samløpsproblematikk for Inna viser at det er marginale forskjeller mellom å kjøre modellene med kulminasjonsvannføring og beregnet samløpsvannføring.

3.3 Grensebetingelse – Vannstand i sjø og havnivåstigning

Verdalselva har utløp i fjorden, som vil påvirke vannstanden oppover elva. Dette tas hensyn til ved at ekstremvannstand i sjø, benyttes som nedre grensebetingelse ved beregning av flomvannstander i elva.

Ekstremvannstand med 1 års gjentakintervall er 1,93 moh. og er benyttet som nedre grensebetingelse i vannlinjeberegninger for alle gjentakintervall i dagens klima, ref. www.sehavnivå.no, se Figur 3-4.

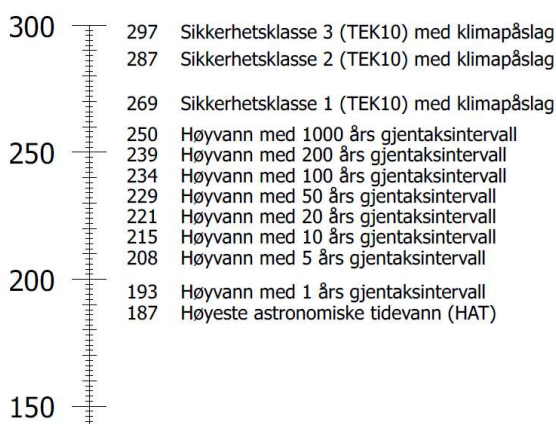
Klimaframskrivningene viser at det forventes et høyere havnivå korrigert for landheving, frem mot år 2100. I veilederen «Havnivåstigning og stormflo – samfunnssikkerhet i kommunal planlegging»⁶ har DSB gitt anbefaling om hvilke utslippsscenario som skal legges til grunn for planlegging. Det anbefales at utslippsscenarioet RCP8.5 og 95 % for årene 2081-2100 legges til grunn, som gir en havnivåstigning på 48 cm for Verdal.

Nedre grensebetingelse i vannlinjeberegning med klimaendringer fram mot år 2100, er ekstremvannstand med 1 års gjentakintervall pluss havnivåstigning benyttet. Dette er 2,41 gitt i forhold til høydereferansen NN2000.

Verdalsøra

Nivåskisse med de viktigste vannstands nivåene og ekstremverdier

Nivå er hentet fra TRONDHEIM og justert med faktor 1,04.



Figur 3-4: Ekstremvannstander sjø ved Verdal er hentet fra SeHavnivå.no (Kartverket) den 15. mai 2018. Vannstanden (cm) er gitt i forhold til høydereferansen NN2000.

3.4 Spesielt om broer og kulverter

Beregningene for flomsonekartet er gjort under forutsetning om at en har 1 års stormflo i havet, samtidig som en har flom med et gitt gjentakintervall i elva. Flomhendelser vil også kunne inntreffe ved lavt tidevann og en kan dermed få høyere vannhastigheter i den delen av elva som er påvirket av tidevannet. Høyere vannhastigheter i utløpsområdet, medfører økt fare for erosjon.

Det er 8 bruer på strekningen, som alle er lagt inn i modellen. Vannstanden ved de 4 bruene ved utløpet av Verdalselva er bestemt av sjøvannstanden ved en flom. Beregningene viser at alle disse bruene har god hydraulisk kapasitet, dvs. at de har fribord på over 0.5 m for alle beregnede flomstørrelser. Bruene påvirker likevel vannstandene i elva, da bruene snevrer inn tverrsnittet i elva og medfører at vannet får høyere vannhastigheter lokalt og noe høyere vannstand oppstrøms.

Østnesbrua krysser Verdalselva ved Vuku, se Figur 3-5 og Figur 3-6. Brua er gunstig plassert der elven har høye vannhastigheter som gir god hydraulisk kapasitet for bruene.

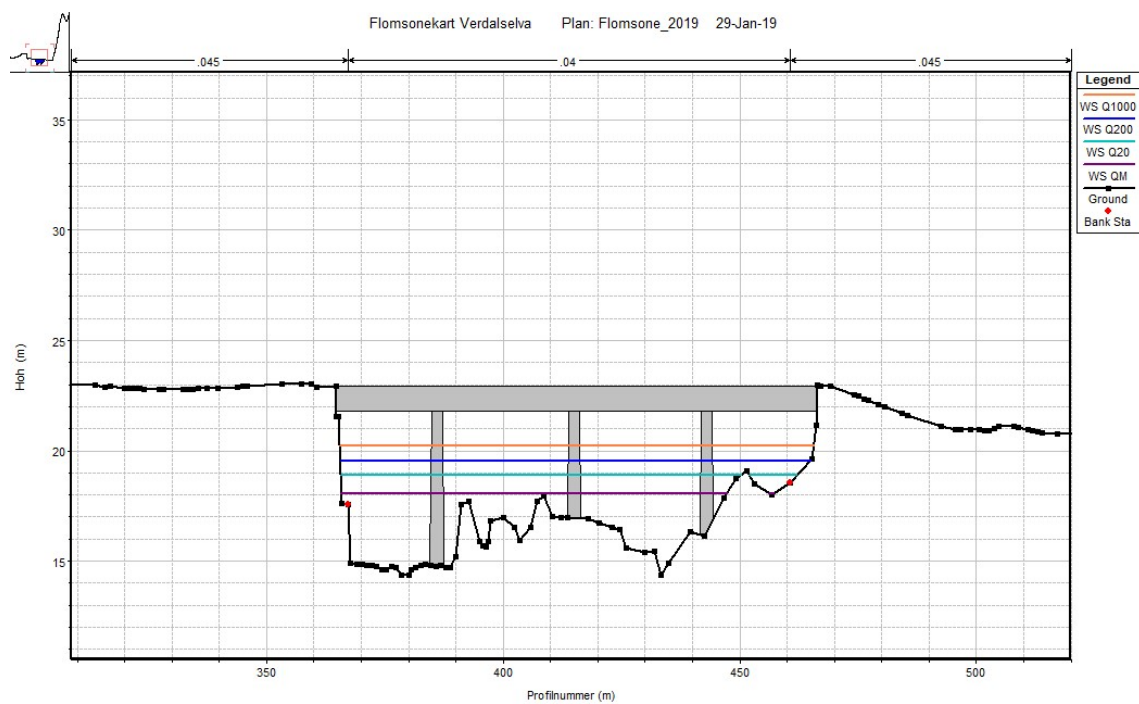
Holmen bru i Helgås har ikke fribord for flommer større enn 200 års gjentakintervall, se Figur 3-7 til Figur 3-9. Ut fra bildet tatt under flommen i 1947, ser en at flommen på det tidspunktet bildet ble tatt, tilsvarer omtrent flommen i 2015.

Brua ved Grunnfossen har mer enn 2 m fribord for en 1000-årsflom.

Sagen bru i Inna har fribord for flommer opp til 200-års gjentakintervall, men modellen viser at vannet vil renne på utsiden av bruene allerede ved en 20-årsflom.



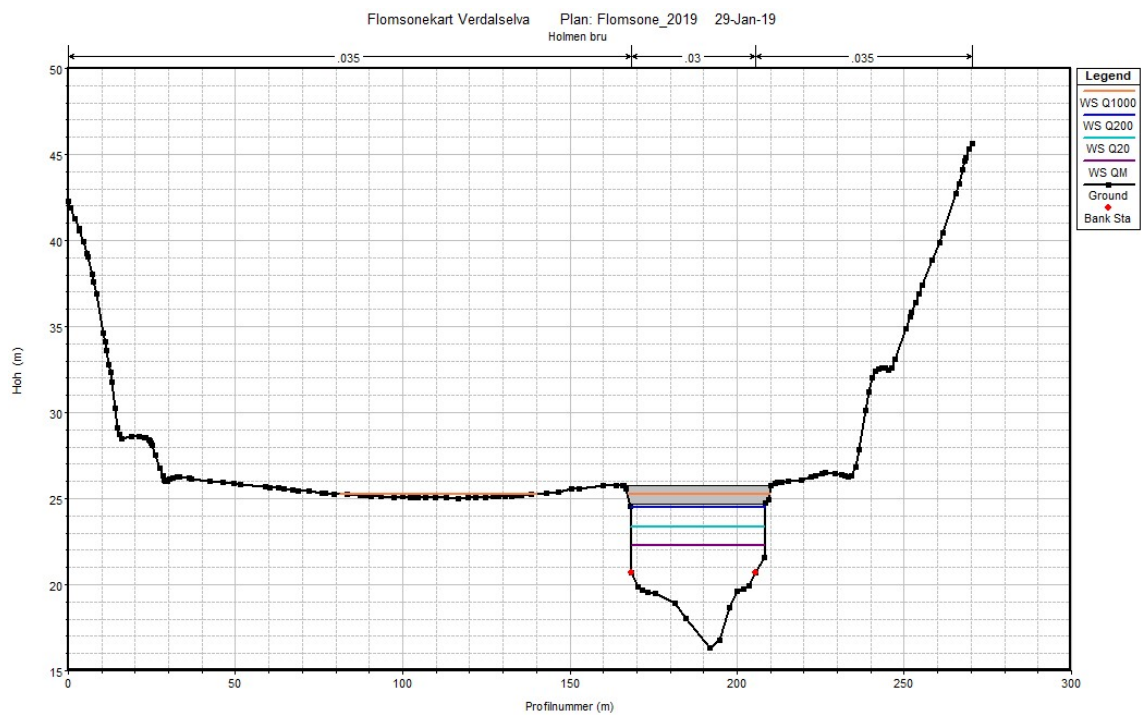
Figur 3-5: Bilde av Østnesbrua tatt under flommen 2. oktober 2015. Bilde: Kjartan Orvedal, NVE.



Figur 3-6: Vannlinjemodellen viser at Østnesbrua har god kapasitet for alle beregnede flomstørrelser.



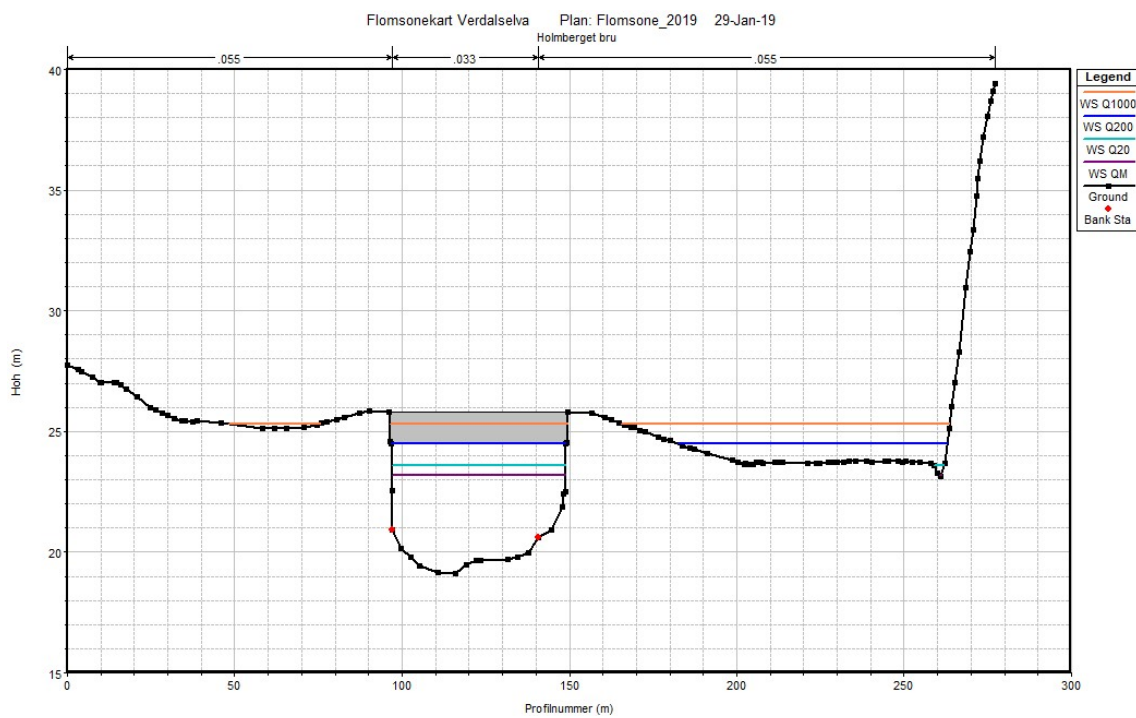
Figur 3-7: Holmen bru under flommen 2. oktober 2015, som hadde et gjentaksintervall på ca. 15 år. Bilde: Kjartan Orvedal, NVE.



Figur 3-8: Vannlinjemodellen viser at Holmen bru, ikke har fribord for flommer større enn 200 år.



Figur 3-9: Holmen bru under storflommen i oktober 1947. Kilde: Værdalsbruket AS.



Figur 3-10: Vannlinjemodellen viser at Sagen bru i Inna har fribord for flommer opptil 200 år, men allerede ved en 20-årsflom vil vannet renne på utsiden av broen.

3.5 Kalibrering

Modellen bør kalibreres mot minst en, men helst flere flomhendelser da dette er med på å redusere usikkerheten i beregningene. Den ajourførte vannlinjemodellen for Verdalselva er kalibrert mot flere flomhendelser, der flommene 31.01.2006 og 2.10.2015 er de største. Resultatet av kalibreringen viser at modellen gir godt samsvar mot observerte vannstander, som vist i Tabell 3-1.

De målte vannstandene den 18. juni 2018 er ikke brukt for å kalibrere modellen, men er brukt for å vurdere profilendringer i perioden fra tverrprofilene ble oppmålt.

Tabell 3-1: Differanse mellom beregnet og observert vannstand, der positive verdier viser at beregnet vannstand er høyere enn observert vannstand.

Tverrprofil	10-Aug-2000	18-Jun-2018	2-Oct-2015	31-Jan-2006	2-Dec-1998	8-Aug-2000	3-Dec-1998	9-Aug-2000
Vannføring	180 m³/s	14 m³/s	1130 m³/s	1410 m³/s	680 m³/s	790 m³/s	215 m³/s	330 m³/s
44	-0.02				-0.05		0.19	
43					-0.53		-0.18	
40	0.59					0.17	0.99	
38					-0.36		-0.39	
36					-0.17	-0.75	-0.27	
35	-0.51		0.08		-0.54	-0.67	-0.51	
33			0.54		-0.42		-0.05	
32.5			0.31					
27	0.18		0.18	0.17		-0.16	0.14	
26			-0.65					
25					-0.23	-0.3	0.04	
24	0.25				-0.03	0.04	0.31	
23.5		0.93						
20	-0.69				-0.29	-0.09	0.08	
19.5		0.71						
16.5		0.23						
15					-0.23		-0.83	
14.5		0.43						
13.5		0.79						
13			1.09					
8						0.37	0.15	0.32
7.5		-0.17						
5				-0.85				
4		0.06		-0.07	0.03		0.21	

Merk: Vannstanden i tverrprofil 5 under flommen i 2006 var målt i sidevassdraget Kvisla og representerer derfor ikke flomvannstanden i Verdalselva.

3.6 Resultat av vannlinjeberegningene

Det er utført vannlinjeberegninger for flommer med gjentakintervall middelflom, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 år, samt 200 og 1000 år i et endret klima i år 2100. I tillegg er normalvannføringen beregnet.

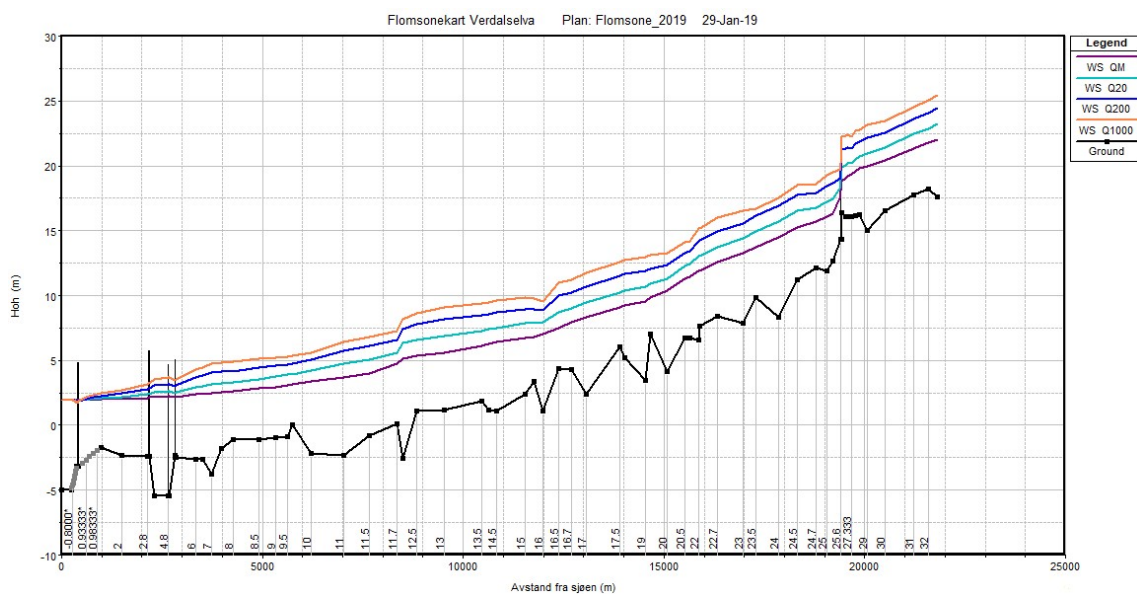
Vannstander for hvert tverrprofil er gitt i Tabell 3-2, der høydene (moh.) er gitt i forhold til høydereferansen NN2000. I elvas utløpsområde vil vannstander ved stormflo, være høyere enn vannstander ved flom i elva. Vannstander for stormflo er ikke inkludert i Tabell 3-2, men finnes på Kartverkets nettside *Se havnivå*.

Tabell 3-2: Oversikt over beregnede vannstander (NN2000) ved flom i Verdalelva og Inna. Vannstandene er oppgitt med en desimal. Kolonnene Q200 klima og Q1000 klima er hhv. 200- og 1000-årsflom med klimaframskrivning av havnivå til år 2100. QN er normalvannføringen i elven og QM er middelflommen. Vannstander for stormflo er ikke inkludert i tabellen, men finnes på www.sehavniva.no.

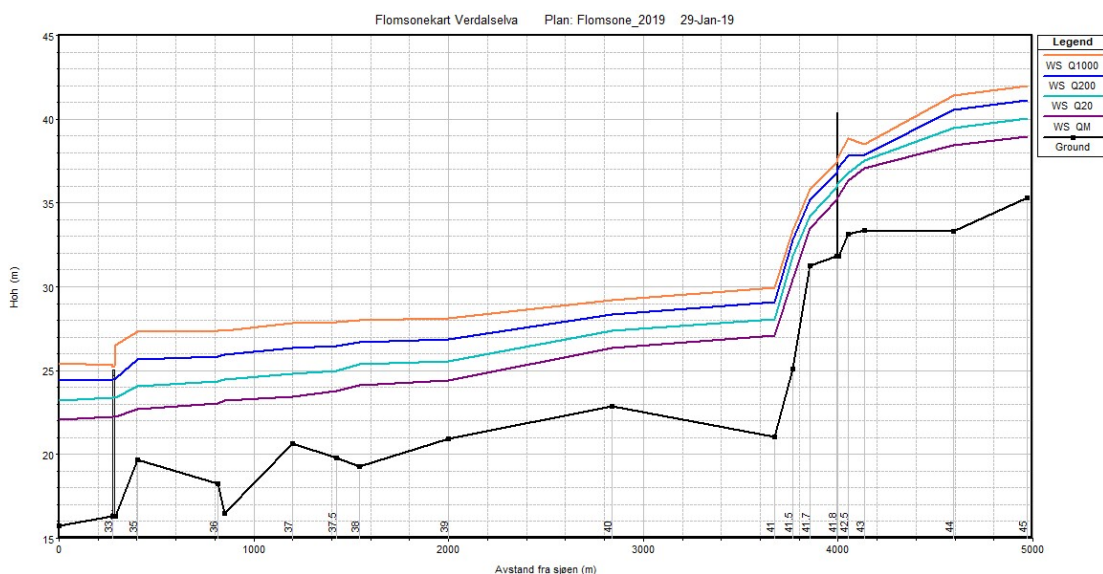
Elv	QN	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q200 klima	Q1000 klima
Verdalselva												
0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	2.4	2.3
1	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.8
2	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.0
3	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3.1	3.3	3.1	3.4
4	1.9	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.2	3.6
5	1.9	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	3.0	3.2	3.5	3.7	3.4	3.8
5.5	1.9	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	3.0	3.3	3.5	3.2	3.6
6	1.9	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.5	3.7	4.1	4.3	3.8	4.4
6.5	1.9	2.4	2.6	2.8	3.0	3.3	3.6	3.8	4.2	4.5	3.9	4.5
7	1.9	2.5	2.7	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.5	4.8	4.1	4.8
7.5	1.9	2.5	2.8	3.0	3.2	3.6	3.8	4.1	4.5	4.9	4.2	4.9
8	1.9	2.6	2.8	3.1	3.3	3.6	3.9	4.2	4.6	4.9	4.2	4.9
8.5	1.9	2.8	3.1	3.3	3.6	3.9	4.2	4.4	4.8	5.1	4.5	5.2
9	2.0	3.0	3.2	3.5	3.7	4.1	4.3	4.6	4.9	5.2	4.6	5.3
9.5	2.0	3.1	3.4	3.6	3.9	4.2	4.4	4.7	5.0	5.3	4.7	5.4
10	2.0	3.4	3.7	4.0	4.2	4.6	4.8	5.1	5.4	5.6	5.1	5.7
11	2.0	3.7	4.1	4.4	4.8	5.2	5.5	5.7	6.1	6.4	5.8	6.4
11.5	2.0	4.0	4.4	4.8	5.1	5.5	5.8	6.1	6.5	6.9	6.1	6.9
11.7	2.2	4.7	5.1	5.4	5.6	6.0	6.3	6.6	7.0	7.3	6.6	7.3
12	2.2	5.2	5.6	6.0	6.3	6.8	7.1	7.4	7.9	8.2	7.4	8.2
12.5	2.3	5.4	5.8	6.2	6.6	7.1	7.4	7.8	8.3	8.6	7.8	8.6
13	2.5	5.6	6.1	6.5	6.9	7.4	7.8	8.2	8.7	9.1	8.2	9.1
13.5	3.6	6.1	6.5	6.9	7.3	7.7	8.1	8.5	9.0	9.4	8.5	9.4
14	3.7	6.3	6.7	7.1	7.4	7.9	8.2	8.6	9.1	9.5	8.6	9.5
14.5	3.7	6.4	6.8	7.2	7.5	8.0	8.3	8.7	9.2	9.6	8.7	9.6
15	4.0	6.8	7.2	7.5	7.9	8.3	8.6	9.0	9.5	9.8	9.0	9.8
15.5	4.3	6.8	7.2	7.6	7.9	8.3	8.6	8.9	9.4	9.8	8.9	9.8
16	4.6	7.0	7.4	7.7	8.0	8.3	8.6	8.9	9.3	9.5	8.9	9.5

forts. Elv	QN	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q200 klima	Q1000 klima
16.5	5.1	7.5	8.0	8.4	8.7	9.2	9.6	10.0	10.6	11.0	10.0	11.0
16.7	5.7	8.0	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.3	10.8	11.2	10.3	11.2
17	5.8	8.3	8.7	9.1	9.4	9.9	10.3	10.7	11.3	11.7	10.7	11.7
17.5	6.5	9.1	9.5	9.9	10.2	10.7	11.1	11.5	12.1	12.6	11.5	12.6
18	6.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.9	11.3	11.7	12.3	12.8	11.7	12.8
19	7.0	9.6	10.0	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.5	13.0	11.9	13.0
19.5	7.5	9.9	10.2	10.6	10.9	11.3	11.7	12.1	12.6	13.1	12.1	13.1
20	8.0	10.4	10.7	11.0	11.3	11.7	12.0	12.3	12.8	13.2	12.3	13.2
20.5	8.2	11.3	11.6	12.0	12.3	12.7	13.0	13.3	13.7	14.1	13.3	14.1
21	8.9	11.5	11.8	12.2	12.5	12.8	13.1	13.4	13.8	14.2	13.4	14.2
22	9.1	11.9	12.3	12.7	13.0	13.5	13.8	14.2	14.7	15.2	14.2	15.2
22.5	9.1	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5	13.9	14.2	14.8	15.2	14.2	15.2
22.7	9.8	12.6	13.0	13.4	13.7	14.2	14.6	15.0	15.5	16.0	15.0	16.0
23	10.2	13.3	13.7	14.1	14.4	14.8	15.2	15.5	16.0	16.5	15.5	16.5
23.5	10.4	13.7	14.1	14.6	14.9	15.4	15.8	16.2	16.7	16.7	16.2	16.7
24	11.3	14.5	15.0	15.4	15.7	16.2	16.5	16.9	17.4	17.6	16.9	17.6
24.5	11.8	15.2	15.7	16.2	16.5	17.0	17.4	17.8	18.3	18.6	17.8	18.6
24.7	13.2	15.7	16.1	16.4	16.8	17.2	17.6	17.9	18.3	18.6	17.9	18.6
25	13.5	16.1	16.5	16.9	17.3	17.7	18.1	18.4	18.9	19.3	18.4	19.3
25.5	13.6	16.3	16.7	17.1	17.5	18.0	18.3	18.7	19.2	19.5	18.7	19.5
25.6	15.6	17.7	17.9	18.1	18.3	18.6	18.8	19.1	19.5	19.8	19.1	19.8
26	16.1	18.5	18.8	19.1	19.4	19.8	20.4	20.7	21.2	21.6	20.7	21.6
26.3	17.3	18.8	19.2	19.6	19.9	20.4	20.9	21.3	21.8	22.3	21.3	22.3
26.6	17.6	19.1	19.4	19.8	20.1	20.5	21.0	21.4	21.9	22.3	21.4	22.3
27	17.6	19.2	19.5	19.8	20.2	20.6	21.1	21.4	22.0	22.4	21.4	22.4
27.6	17.7	19.6	19.9	20.2	20.5	20.9	21.3	21.7	22.3	22.7	21.7	22.7
28	17.8	19.8	20.1	20.4	20.7	21.2	21.5	21.9	22.4	22.8	21.9	22.8
29	17.8	20.0	20.3	20.6	20.9	21.4	21.8	22.1	22.7	23.1	22.1	23.1
30	17.9	20.4	20.8	21.1	21.4	21.9	22.2	22.6	23.1	23.5	22.6	23.5
31	18.8	21.3	21.8	22.1	22.5	22.9	23.3	23.6	24.1	24.5	23.6	24.5
32	19.5	21.8	22.2	22.5	22.9	23.3	23.7	24.1	24.6	25.1	24.1	25.1
32.5	19.6	22.1	22.5	22.9	23.2	23.7	24.1	24.5	25.0	25.4	24.5	25.4
33	19.6	22.1	22.5	22.9	23.2	23.7	24.1	24.4	25.0	25.4	24.4	25.4
34	19.6	22.3	22.7	23.0	23.4	23.8	24.2	24.5	25.3	26.5	24.5	26.5
35	20.3	22.7	23.2	23.6	24.1	24.7	25.2	25.7	26.5	27.3	25.7	27.3
36	20.7	23.1	23.5	23.9	24.3	24.9	25.3	25.8	26.6	27.4	25.8	27.4
37	21.1	23.5	23.9	24.4	24.8	25.4	25.9	26.4	27.2	27.8	26.4	27.8
37.5	21.6	23.8	24.2	24.6	25.0	25.6	26.0	26.5	27.2	27.9	26.5	27.9
38	21.6	24.1	24.6	25.0	25.4	25.9	26.3	26.7	27.4	28.0	26.7	28.0
39	21.8	24.4	24.8	25.2	25.5	26.0	26.4	26.8	27.5	28.1	26.8	28.1
40	24.3	26.4	26.7	27.0	27.4	27.8	28.1	28.4	28.8	29.2	28.4	29.2

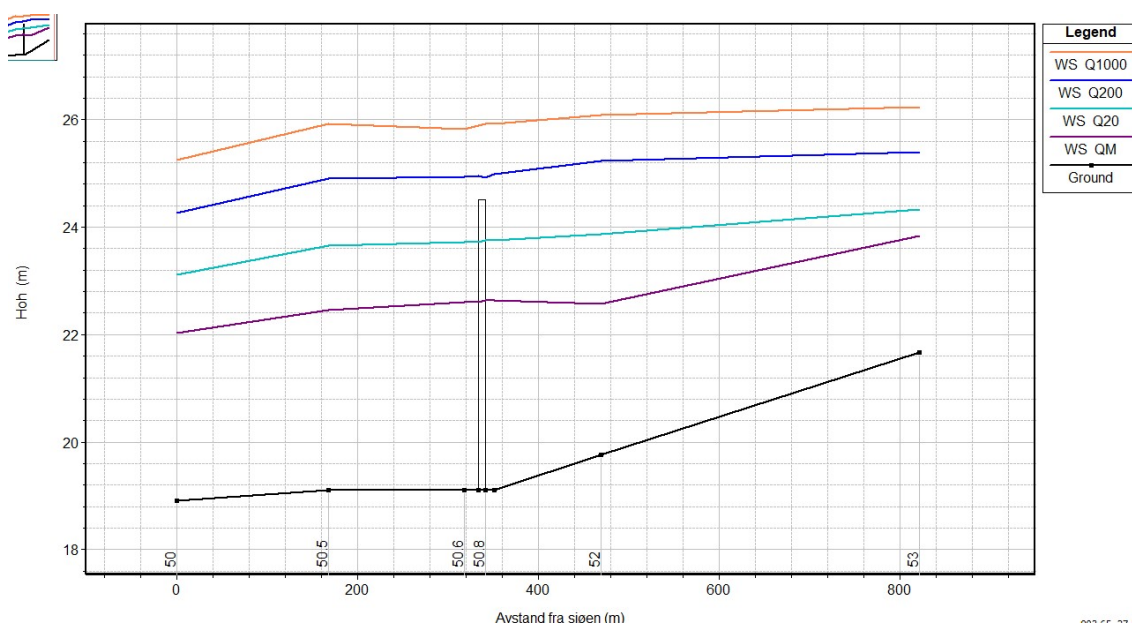
forts. Elv	QN	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q200 klima	Q1000 klima
41	24.6	27.1	27.4	27.8	28.1	28.5	28.8	29.1	29.6	30.0	29.1	30.0
41.5	26.6	30.5	30.9	31.4	31.8	32.2	32.5	32.8	33.1	33.4	32.8	33.4
41.7	31.8	33.5	33.7	34.0	34.3	34.6	34.8	35.2	35.6	35.8	35.2	35.8
41.8	33.1	35.2	35.5	35.7	35.9	36.3	36.6	36.8	37.1	37.4	36.8	37.4
42	33.1	35.4	35.7	36.0	36.2	36.6	36.9	37.1	37.5	37.8	37.1	37.8
43	35.3	37.1	37.3	37.4	37.5	37.7	37.8	37.9	38.2	38.5	37.9	38.5
44	35.7	38.5	38.8	39.1	39.4	39.9	40.2	40.6	41.0	41.4	40.6	41.4
45	36.1	38.9	39.3	39.7	40.0	40.5	40.8	41.2	41.6	42.0	41.2	42.0
Inna												
50	19.5	22.1	22.6	23.0	23.4	24.0	24.3	24.7	25.3	25.7	24.7	25.7
50.5	20.1	22.4	22.8	23.2	23.5	24.0	24.4	24.8	25.3	25.7	24.8	25.7
51	20.3	22.6		23.2	23.6	24.0	24.3	24.7	25.3	25.7	24.7	25.7
52	20.4	22.5	22.8	23.3	23.7	24.2	24.6	25.0	25.6	26.0	25.0	26.0
53	22.3	23.8	24.1	24.2	24.3	24.6	24.9	25.2	25.7	26.2	25.2	26.2



Figur 3-11: Lengdeprofil for vannlinjen for middel-, 20-, 200- og 1000-årsflom i Verdalselva.



Figur 3-12: Lengdeprofil for vannlinjen for middel-, 20-, 200- og 1000-årsflom i Helgås.



Figur 3-13: Lengdeprofil for vannlinjen for middel-, 20-, 200- og 1000-årsflom i Inna.

3.7 Vannhastighet

Numeriske modeller gir også hvor store vannhastigheter en får i elva ved flom. Nøyaktigheten til vannhastigheten er avhengig av blant annet hvilken type modell en benytter. 1D-modeller er den modelltypen som gir størst avvik i vannhastighet i forhold til vannhastighetene i en naturlig elv. Dette skyldes at modellen beregner en gjennomsnittshastighet for hvert tverrprofil, mens vannhastigheten i en naturlig elv blant annet varierer med avstand fra bredden og vann dybden. 2D- og 3D-modeller kan beregne vannhastigheten nøyaktigere, men krever mer detaljerte data for vanndekt areal for å gi gode resultat. Uavhengig av modellverktøy, er vannhastighetene heftet med større usikkerheter enn f.eks. vannstander. En velger likevel å oppgi beregnet vannhastighet, for at brukerne skal kunne identifisere elvestrekninger med høy vannhastighet. Verdiene er ikke egnet til å dimensjonere sikringstiltak, steinstørrelser osv. uten videre vurderinger av vassdragstekniker.

Tabell 3-3: Beregnede vannhastigheter (m/s). Kolonnene Q200 klima og Q1000 klima er hhv. 200- og 1000-årsflom med klimaframskrivning av havnivå til år 2100.

Elv	QN	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q200 klima	Q1000 klima
Verdalselva												
0	0.1	0.8	1.3	1.1	1.0	1.6	1.8	2.0	2.4	2.8	1.7	2.3
1	0.1	0.6	0.9	0.8	0.7	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.2	1.5
2	0.1	0.8	1.2	1.1	0.9	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0	1.5	1.9
3	0.1	1.2	1.8	1.6	1.4	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	2.3	2.9
4	0.1	0.9	1.4	1.2	1.0	1.6	1.7	1.9	2.1	2.3	1.8	2.2
5	0.1	0.9	1.3	1.2	1.0	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	1.8	2.2
5.5	0.2	1.6	2.5	2.2	1.9	2.8	3.0	3.3	3.6	3.8	3.1	3.7
6	0.1	1.3	1.8	1.7	1.5	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	2.3	2.7
6.5	0.1	1.3	1.8	1.7	1.5	2.0	2.2	2.3	2.5	2.7	2.3	2.6
7	0.1	0.9	1.2	1.1	1.0	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5
7.5	0.1	1.2	1.5	1.4	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
8	0.2	1.3	1.7	1.6	1.4	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9
8.5	0.2	1.4	1.8	1.7	1.6	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
9	0.2	1.5	1.9	1.8	1.7	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.1	2.2
9.5	0.2	1.6	2.0	1.9	1.7	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.5	2.7
10	0.3	1.9	2.5	2.3	2.1	2.8	2.9	3.1	3.3	3.5	3.1	3.5
11	0.3	1.9	2.4	2.2	2.1	2.5	2.7	2.8	3.0	3.2	2.8	3.2
11.5	0.5	2.2	2.3	2.3	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8	3.0	2.6	3.0
11.7	0.7	2.8	3.7	3.4	3.1	4.0	4.2	4.4	4.7	4.9	4.4	4.9
12	0.4	1.7	2.2	2.1	1.9	2.5	2.6	2.8	3.1	3.3	2.8	3.3
12.5	0.6	1.5	1.9	1.8	1.7	2.1	2.2	2.4	2.6	2.7	2.4	2.7
13	0.8	1.5	1.7	1.7	1.6	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	1.9	2.0
13.5	1.1	2.1	2.3	2.3	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.4	2.5
14	0.5	1.7	2.1	2.0	1.8	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4
14.5	0.5	1.8	2.1	2.0	1.9	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4
15	0.7	1.5	1.8	1.7	1.6	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.2	2.5
15.5	2.1	2.4	2.8	2.7	2.5	3.0	3.1	3.3	3.4	3.6	3.3	3.6
16	0.5	2.6	3.5	3.2	2.9	3.9	4.2	4.5	5.0	5.4	4.5	5.4
16.5	2.0	2.5	2.7	2.6	2.6	2.9	3.0	3.1	3.3	3.4	3.1	3.4
16.7	0.7	2.4	2.9	2.7	2.6	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	3.4	3.8
17	0.5	2.3	2.8	2.6	2.5	3.0	3.1	3.2	3.4	3.6	3.2	3.6
17.5	1.8	2.1	2.4	2.3	2.2	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.7	2.9
18	0.8	1.9	2.0	2.0	1.9	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.2	2.3
19	0.8	2.9	3.1	3.0	2.9	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	3.1	3.1
19.5	2.1	2.1	2.3	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
20	0.5	2.5	3.2	2.9	2.7	3.3	3.5	3.6	3.7	3.8	3.6	3.8
20.5	2.7	2.4	2.8	2.7	2.5	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	3.5	3.9
21	0.9	2.5	3.1	2.9	2.7	3.4	3.7	3.9	4.3	4.5	3.9	4.5
22	0.7	2.1	2.6	2.4	2.3	2.8	2.9	3.0	3.2	3.4	3.0	3.4
22.5	1.2	2.4	2.7	2.6	2.5	2.9	3.0	3.1	3.3	3.5	3.1	3.5

forts. Elv	QN	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q200 klima	Q1000 klima
22.7	0.7	2.0	2.4	2.3	2.2	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.5	2.6
23	0.7	2.4	3.1	2.9	2.7	3.4	3.6	3.8	3.9	3.0	3.8	3.0
23.5	1.6	2.4	2.7	2.6	2.5	2.8	2.9	3.0	3.1	3.5	3.0	3.5
24	0.7	2.5	3.2	3.0	2.8	3.4	3.5	3.6	3.7	4.0	3.6	4.0
24.5	1.6	1.8	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.1	1.9	2.1
24.7	0.8	2.3	2.8	2.6	2.5	3.0	3.1	3.3	3.6	3.8	3.3	3.8
25	0.7	1.9	2.3	2.2	2.1	2.5	2.6	2.8	2.9	3.0	2.8	3.0
25.5	0.6	1.7	2.0	1.9	1.8	2.1	2.2	2.4	2.6	2.7	2.4	2.7
25.6	2.5	4.1	4.8	4.6	4.3	5.0	5.3	5.5	5.7	5.9	5.5	5.9
26	1.3	2.9	3.4	3.3	3.1	3.6	3.5	3.7	3.9	3.9	3.7	3.9
26.3	1.5	2.2	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.2	2.3
26.6	0.5	2.1	2.4	2.3	2.2	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	2.6	2.8
27	0.5	2.1	2.4	2.3	2.2	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.7	2.9
27.6	0.7	2.6	3.2	3.1	2.9	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.5	3.6
28	0.6	2.4	3.0	2.8	2.6	3.2	3.3	3.5	3.7	3.9	3.5	3.9
29	0.5	2.6	3.3	3.2	2.9	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.7	3.9
30	0.9	2.7	3.3	3.1	2.9	3.6	3.7	3.9	4.1	4.3	3.9	4.3
31	1.2	2.3	2.8	2.6	2.5	3.0	3.1	3.3	3.5	3.7	3.3	3.7
32	0.9	2.4	2.9	2.7	2.6	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.2	3.3
32.5	0.5	2.1	2.5	2.4	2.2	2.6	2.8	2.9	3.0	1.8	2.9	1.8
33	0.4	2.2	2.9	2.7	2.5	3.1	3.3	3.6	3.8	4.0	3.6	4.0
34	0.9	2.9	3.7	3.4	3.2	4.0	4.3	4.5	4.7	4.7	4.5	4.7
35	1.8	2.2	2.3	2.3	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4	2.3
36	0.5	2.0	2.5	2.3	2.2	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
37	1.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	2.0	1.6
37.5	0.5	2.3	2.7	2.6	2.5	2.7	2.6	2.6	2.5	2.3	2.6	2.3
38	0.3	1.3	1.6	1.5	1.4	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1.8	1.7
39	2.2	2.8	3.2	3.1	2.9	3.3	3.3	3.3	3.2	3.0	3.3	3.0
40	0.6	1.8	2.1	2.0	1.9	2.2	2.3	2.4	2.5	2.5	2.4	2.5
41	0.3	1.3	1.6	1.5	1.4	1.7	1.9	2.0	2.1	2.2	2.0	2.2
41.5	3.2	5.0	5.0	5.1	5.1	5.0	5.1	5.2	5.4	5.6	5.2	5.6
41.7	2.1	4.3	5.1	4.8	4.6	5.3	5.6	5.7	5.9	6.2	5.7	6.2
41.8	1.5	3.5	4.2	4.0	3.7	4.4	4.6	4.9	5.2	5.4	4.9	5.4
42	1.3	3.1	3.8	3.6	3.4	4.0	4.2	4.4	4.7	4.9	4.4	4.9
43	0.8	2.9	4.1	3.7	3.3	4.6	5.0	5.5	5.9	6.1	5.5	6.1
44	0.9	2.2	2.6	2.5	2.3	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0	2.9	3.0
45	0.6	1.1	1.4	1.3	1.2	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.6	1.8
Inna												
50	1.4	2.7	3.2	3.0	2.9	3.4	3.6	3.7	3.7	3.8	3.7	3.8
50.5	0.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	1.1	2.0	1.1
51	0.6	1.6	1.9	1.8	1.7	2.0	2.1	2.2	2.3	2.1	2.2	2.1
52	1.9	3.2	2.3	2.7	3.4	2.1	2.0	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9
53	1.0	2.5	2.8	2.8	2.4	2.6	2.5	2.3	2.0	2.0	2.3	2.0

3.8 Sensitivitetsanalyse

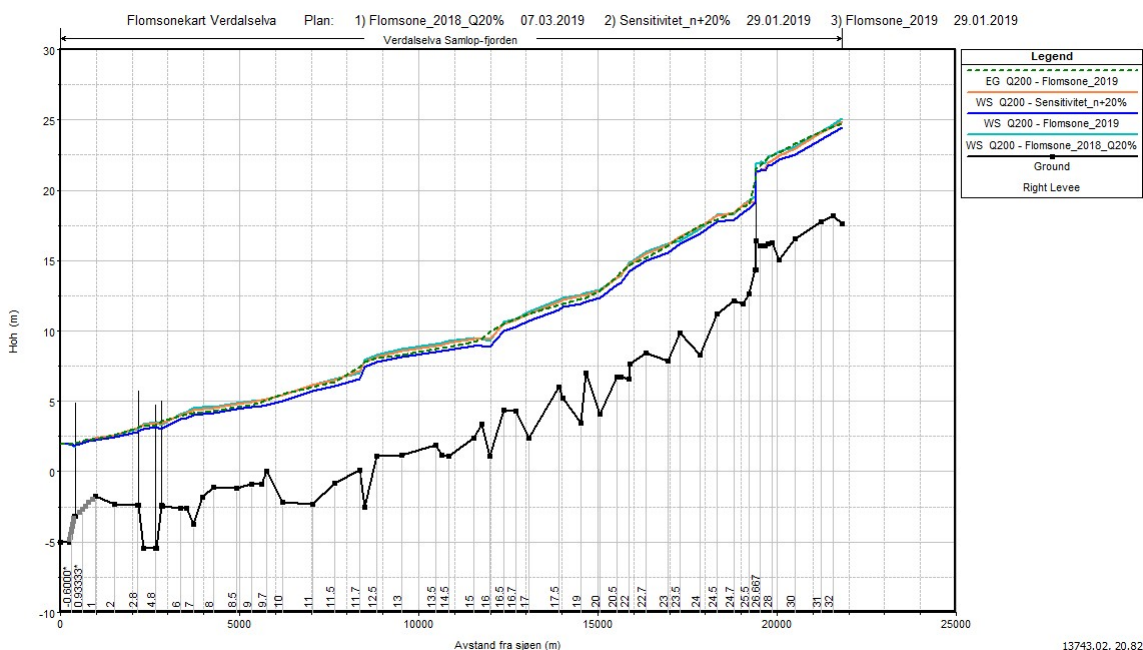
Det utføres en sensitivitetsanalyse, som sammen med kalibreringsresultatet danner vurderingsgrunnlaget for fastsetting av anbefalt sikkerhetsmargin. Sensitivitetsanalysen tar utgangspunkt i en 200-årsflom og beregner effekten av å endre ulike modellparametre. Ruheten i modellen uttrykt med Manning's n-verdier og vannføringen er økt med 20 %, samt at høyden på energilinja for en 200-årsflom er vurdert. Energilinja er den økningen i vannstanden hastighetshøyden til vannlinjen tilsvarer.

Kontrollmålingene av vannlinjen i 2017 viste at enkelte tverrprofil har hatt mer enn 90 cm bunnsenkning i løpet av 15 år. Elvebunnen er hevet med 50 cm, for å kunne vurdere effekten av bunnheving. Dette gir ca. 40 cm høyere vannstander for en 200-årsflom, se Figur 3-14.

Økning i vannføringen på 20 % i forhold til verdiene i flomberegningen er ikke et estimat for usikkerheten i flomberegningen. Usikkerheten i flomberegningen kan være større eller mindre enn dette. Verdien er kun brukt for å kvantifisere hvor sensitiv modellen er for endringer i denne modellparameteren.

I en naturlig elv vil den reelle ruheten i elva og på elveslettene variere over tid og sesong med f.eks. endret vegetasjon og is. Ruheten uttrykt med Manning's n-tall brukes i numeriske modeller som en modellparameter for å beregne falltap som f.eks. singulærtap, retningsendringer, turbulens, luftinnblanding, friksjon mot bunn m.m. som ellers ikke lar seg modellere direkte i en 1D-modell. Ved kalibrering av modellen justeres ruheten slik at beregnet vannstand stemmer best mulig overens med observert vannstand.

Sensitivitetsanalysen viser at modellen gir ca. 40 cm høyere vannstander dersom en øker Manning's n-verdiene med 20 %. Tilsvarende prosentvis økning i vannføring gir i gjennomsnitt ca. 1 m økning i vannstand, mens energilinja for en 200-årsflom i gjennomsnitt øker med i underkant av 1 m vannstandsstigning. Modellen har generelt godt samsvar mot kalibreringsdata for flere store flommer, ref. kapittel 3.5.



Figur 3-14: Lengdeprofil for sensitiviteten til vannlinjemodellen for Verdalselva. Høyden på energilinja, effekten av 20 % økning i ruhet og vannføringen er vurdert for beregnet 200-årsflom.

3.9 Sammenligning av ajourført og gammel modell

Resultatet er sammenlignet med vannstandene fra 2004. Sammenligningen viser at de nye vannstandene stort sett er høyere, men at det enkelte steder er noe lavere vannstander i Verdalselva. Gjennomsnittlig økning av vannstander for en 200-årsflom er 30-50 cm.

Endring i vannstand skyldes en kombinasjon av justerte tverrprofil, som bedre representerer flomforholdene på flomslettene, ajourføring av flomberegningen som gir høyere vannføringer og at effekten av bruer er tatt hensyn til i den ajourførte modellen. I tillegg er nedre grensebetingelse lavere.

4 Flomsonekart

4.1 Resultat fra flomsoneanalysen

4.1.1 20-årsflom

Resultatet viser at bebyggelse er flomutsatt allerede ved flom med 20 års gjentaksintervall. En får oversvømmelser av elvenære områder omtrent langs hele vassdraget. Det er omtrent 6 boliger som vil bli berørt av flomsone.

4.1.2 200-årsflom i dag og i et endret klima

Utbredelsen til en 200-årsflom medfører at omtrent 60 bygninger er flomutsatt. I tillegg blir en del veier oversvømt.

Klimaframskrivning av en 200-årsflom som er basert på at havnivået stiger fram mot år 2100, viser at flomsone blir noe større i utløpsområdet ved Verdalsøra.

4.1.3 1000-årsflom i dag og i et endret klima

For en 1000-årsflom øker utbredelsen ytterligere sammenlignet med en 200-årsflom. Det er omtrent 250 bygninger som er flomutsatt. I tillegg blir deler av både vei og jernbane flomutsatt.

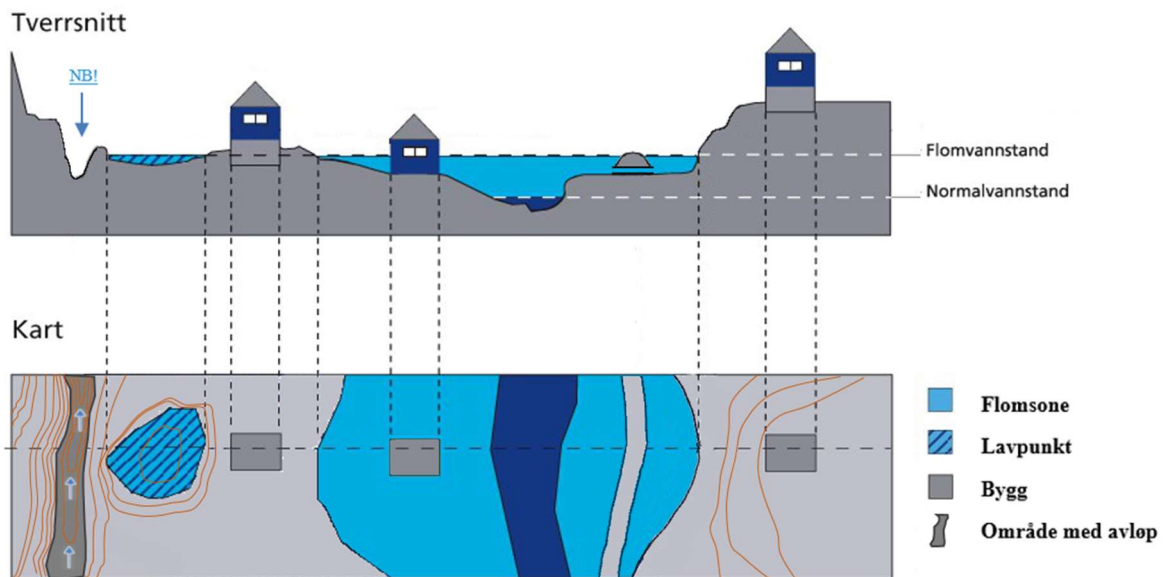
I et endret klima øker vannstandene som følge av havnivåstigning, og oversvømmelsene blir noe større i utløpsområdet ved Verdalsøra.

4.2 Lavpunkt

En del steder vil det være areal som ligger lavere enn de beregnede flomvannstandene, men uten direkte forbindelse til elva, se Figur 4-1. Dette kan være områder som ligger bak flomverk, eller veier/fyllinger, men også lavpunkt som har forbindelse via en kulvert eller via grunnvannet. Disse områdene er markert med egen skraver, fordi de vil ha en annen sannsynlighet for oversvømmelse og må håndteres særskilt. Spesielt utsatt vil disse områdene være ved intenst lokalt regn, ved stor flom i sidebekker eller ved tetting av kulverter.

En må være oppmerksom på at lavpunkt ikke har noen direkte sammenheng med vannstanden i selve elva. Her kan det stå vann selv om det ikke er flom i elva, for eksempel ved intens nedbør.

Området ved det planlagte flomsikringstiltaket i Vuku er vist som lavpunkt i flomsonekartet, som forutsetter at tiltaket etableres. I tillegg er det ytterligere noen lavpunkter langs den kartlagte strekningen.

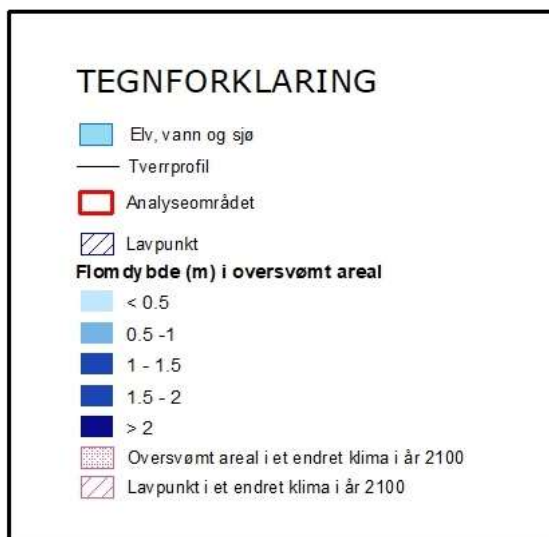


Figur 4-1: Prinsippskisse lavpunkt.

4.3 Hvordan leses kartet

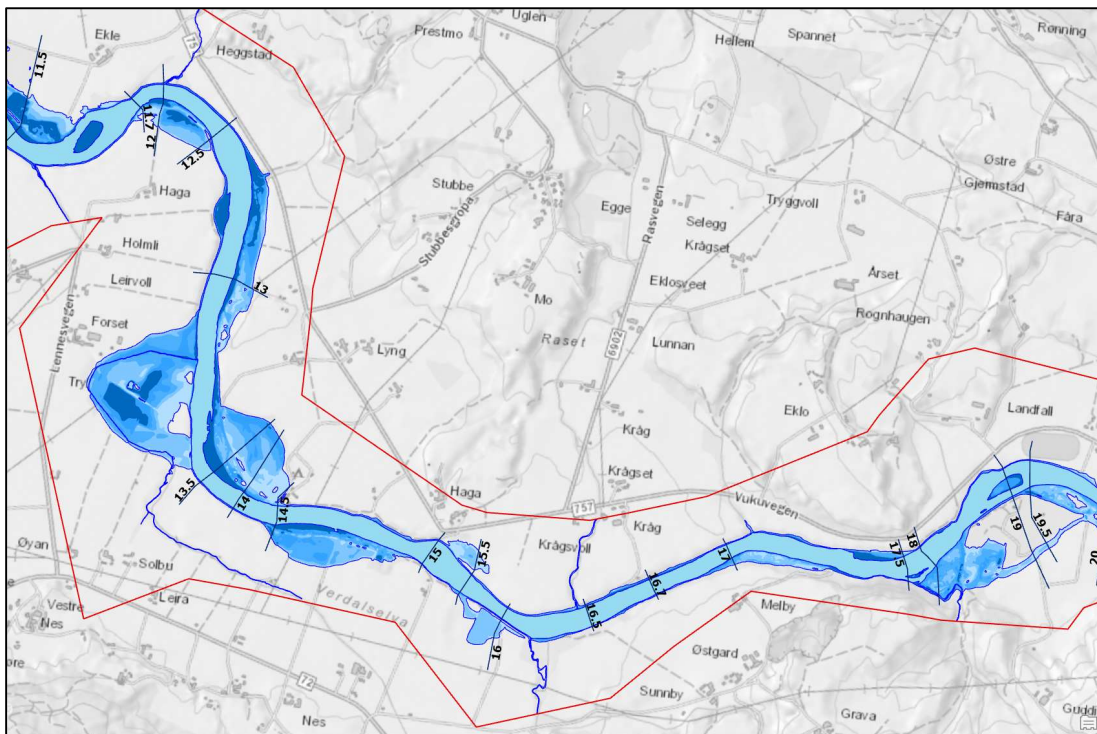
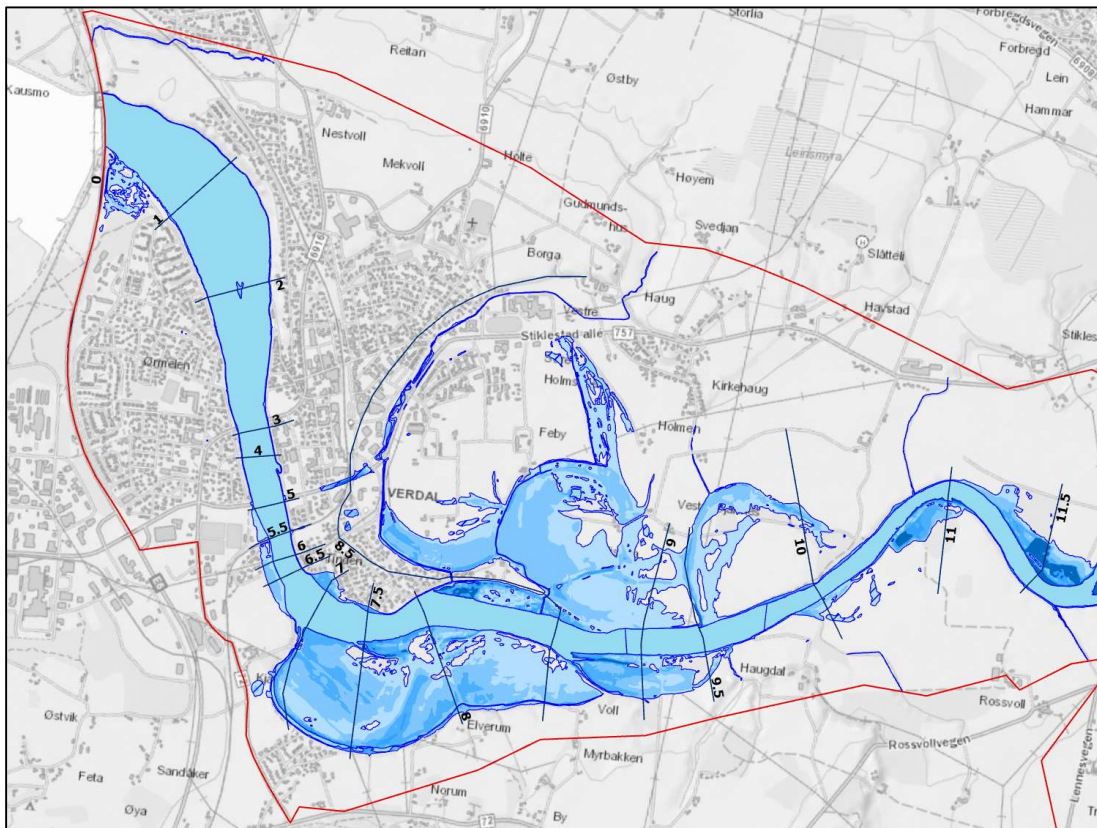
Flomsoner for en 20-, 200- og 1000-årsflom er vist med standard topografisk kartbakgrunn fra Geodata Online (2019) i Figur 4-3 til Figur 4-14.

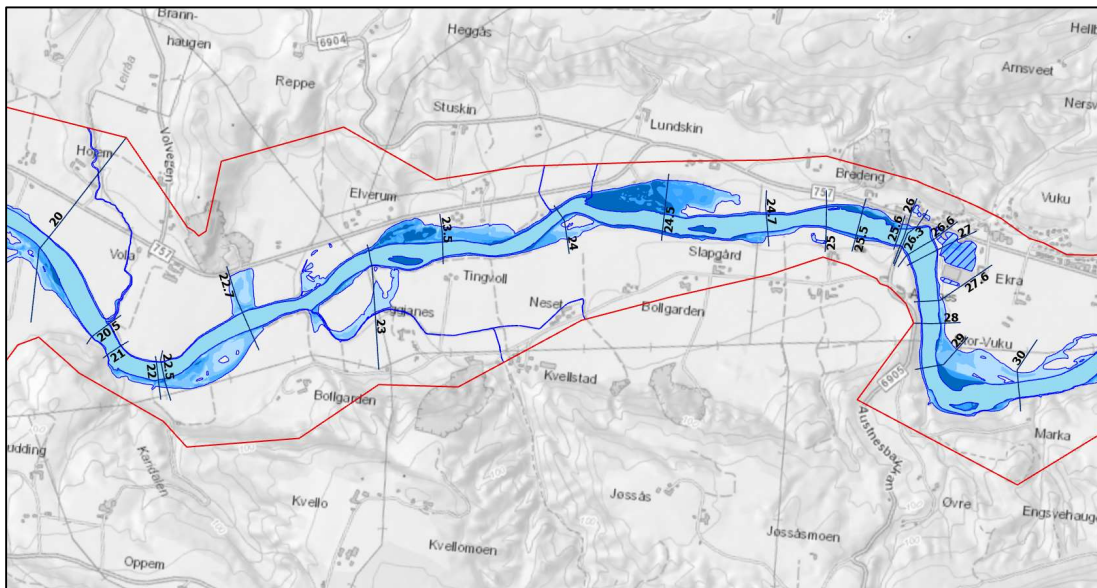
Oversvømte områder er presentert som flomdybder med en blå fargeskala, der den mørkeste blåfargen tilsvarer den største flomdybden. Lavpunkt er markert som blå stripete skraver. Oversvømte områder ved et endret klima i år 2100, er markert med rosa skraver og tilhørende lavpunktsovråder har rosa stripete skraver.



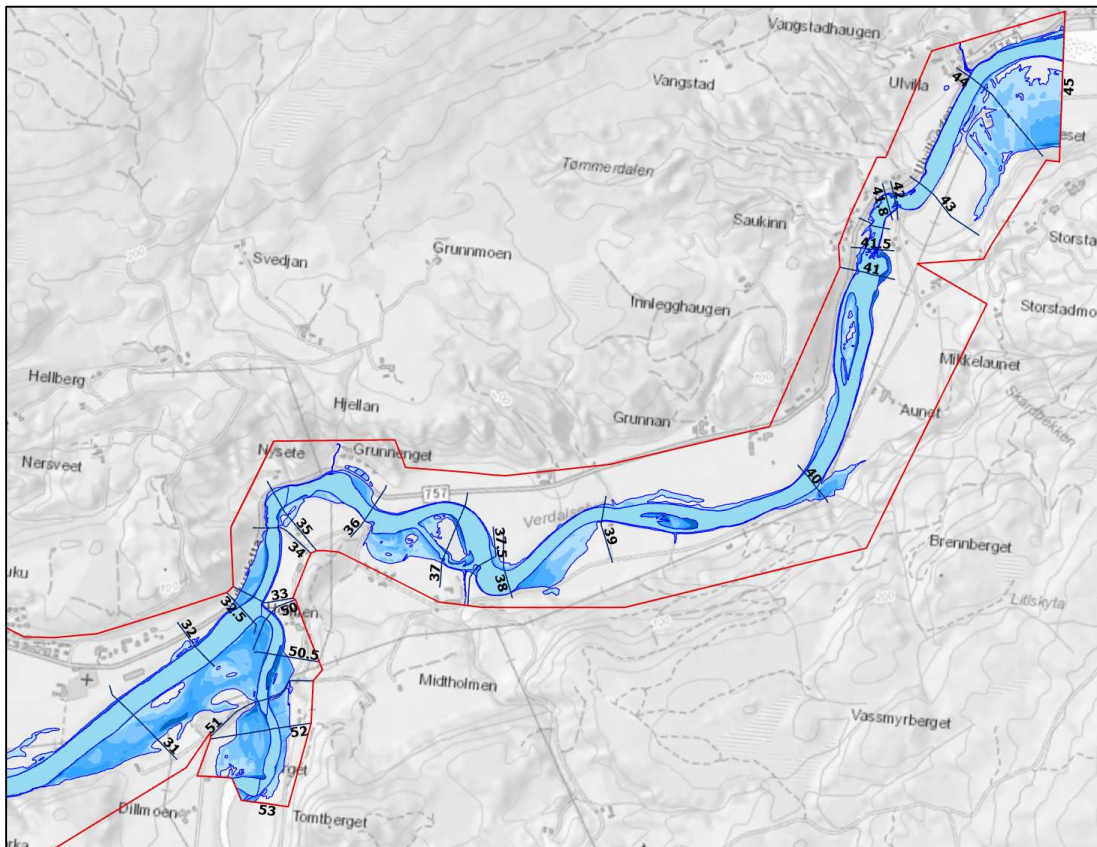
Figur 4-2: Tegnforklaring for flomsone.

Tabell 3-2 viser flomvannstander ved de ulike tverrprofilene. Kartene viser plasseringen av tverrprofilene, som er utgangspunktet for den genererte flomsone. Det er ved disse profilene vannstandene er beregnet. Mellom tverrprofilene anses vannstanden å variere lineært og kan derfor finnes ved interpolasjon.

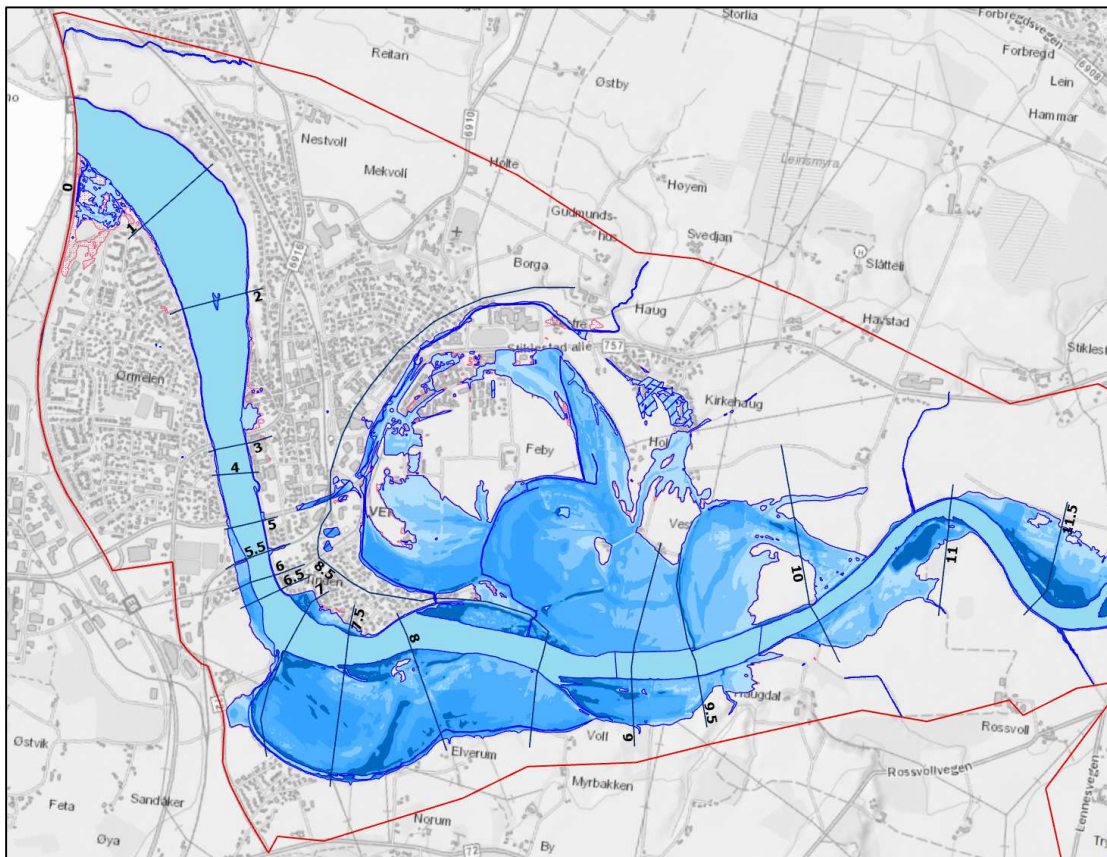




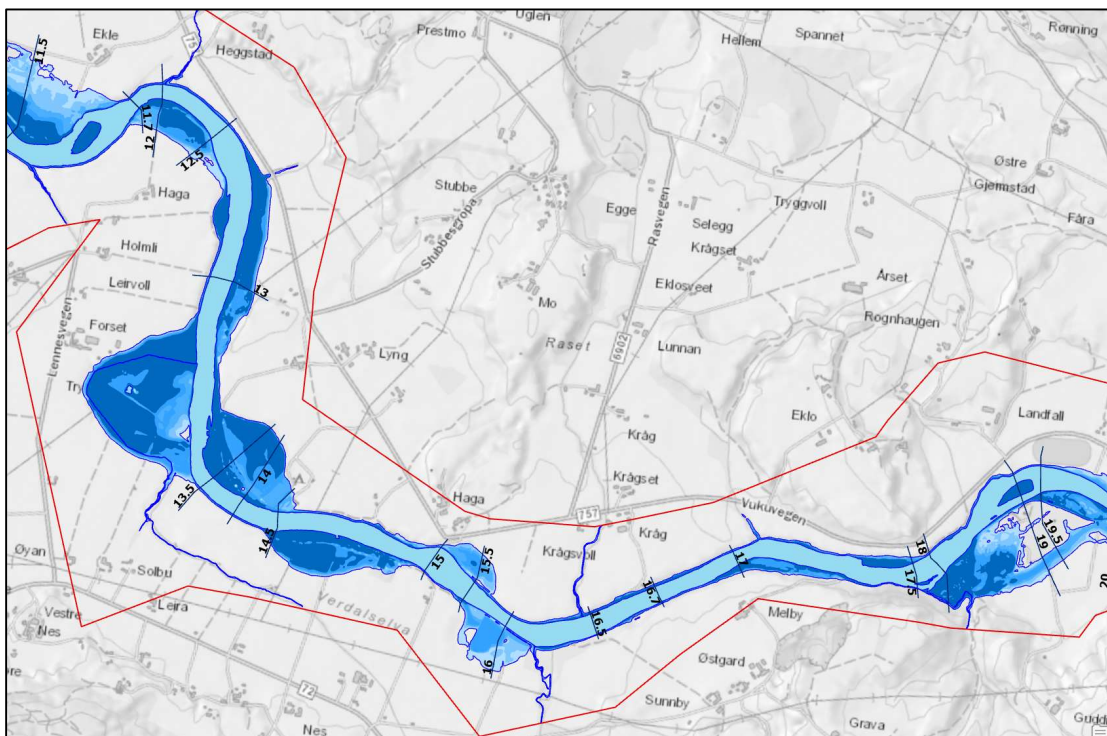
Figur 4-5 Flomsonekart for en 20-årsflom (kartutsnitt 3 av 4). Flomdybder er presentert med en blå fargeskala.



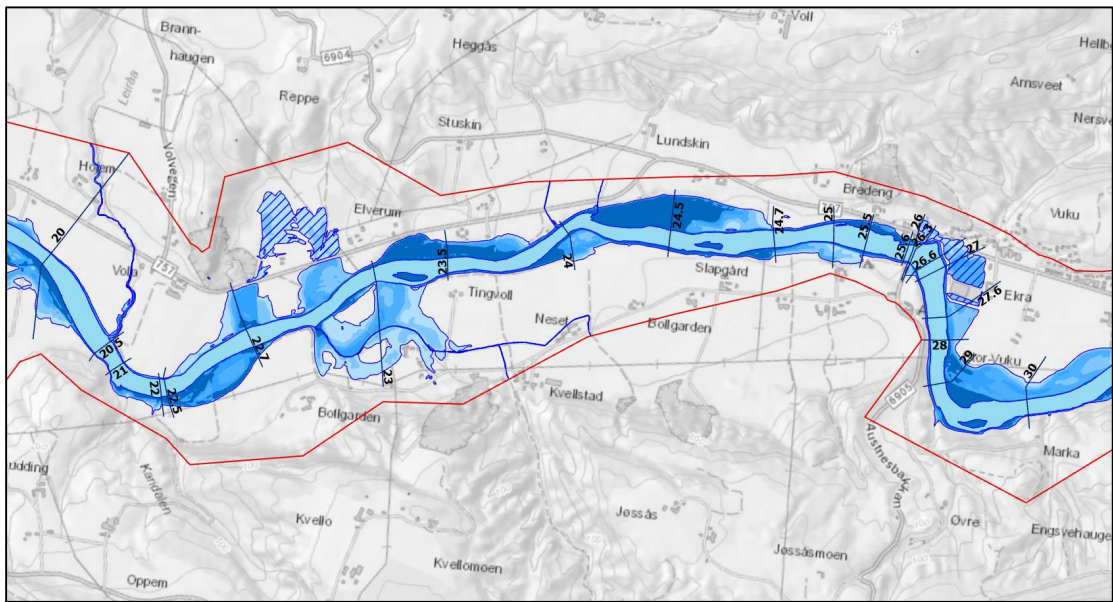
Figur 4-6 Flomsonekart for en 20-årsflom (kartutsnitt 4 av 4). Flomdybder er presentert med en blå fargeskala.



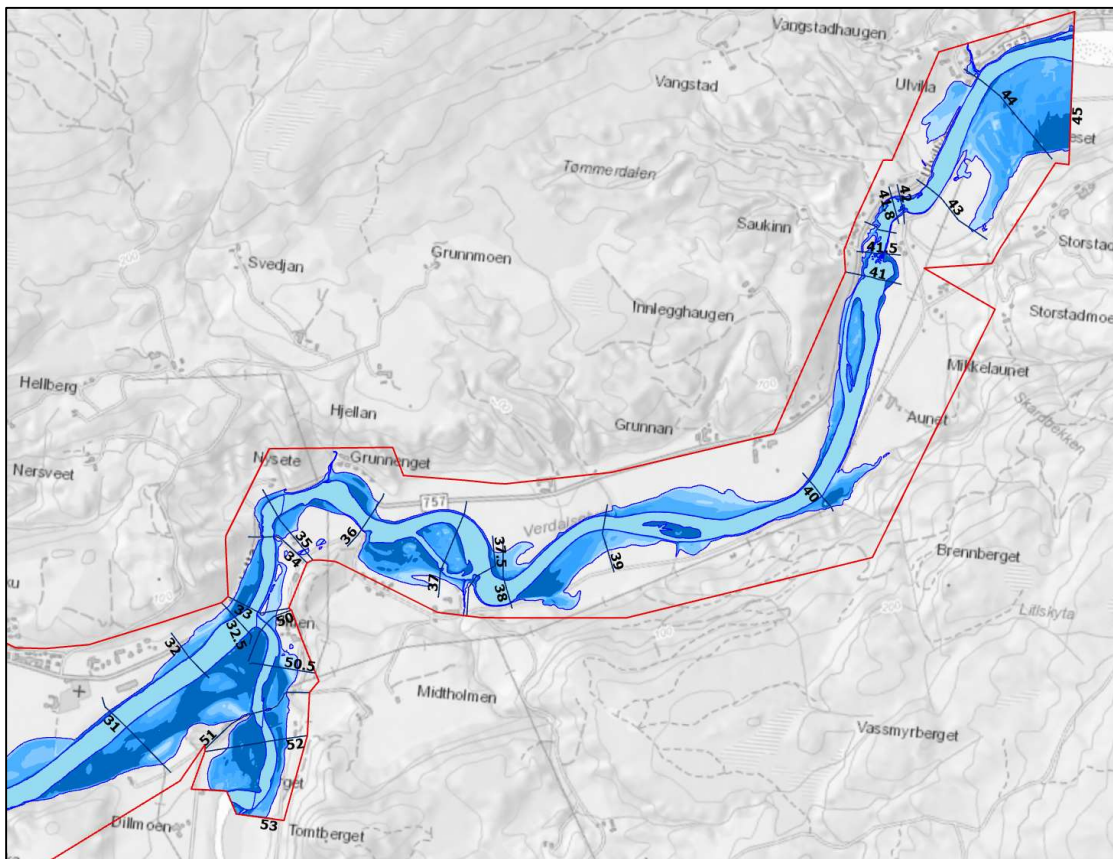
Figur 4-7 Flomsonekart for en 200-årsflom (kartutsnitt 1 av 4). Flomdybder er presentert med en blå fargeskala. Flomsone for en 200-årsflom med havnivåstigning i et endret klima i år 2100 er presentert med rosa skraver.



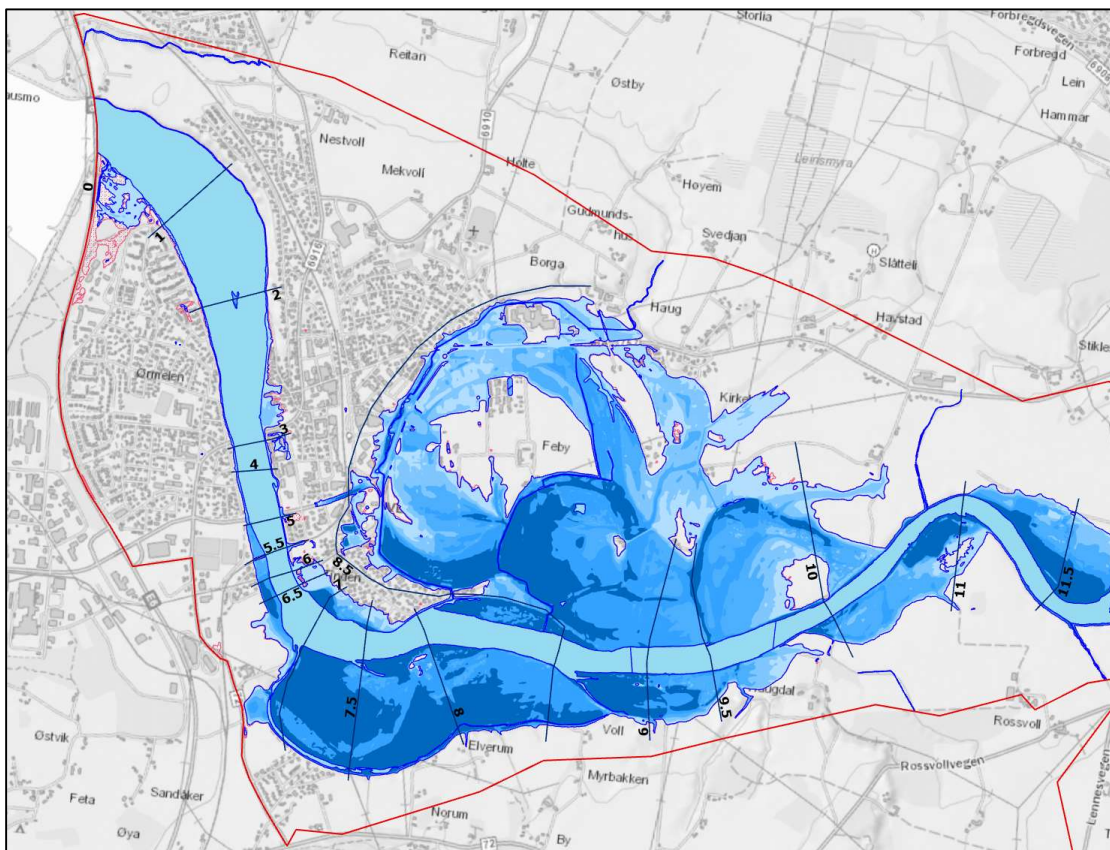
Figur 4-8 Flomsonekart for en 200-årsflom (kartutsnitt 2 av 4). Flomdybder er presentert med en blå fargeskala.



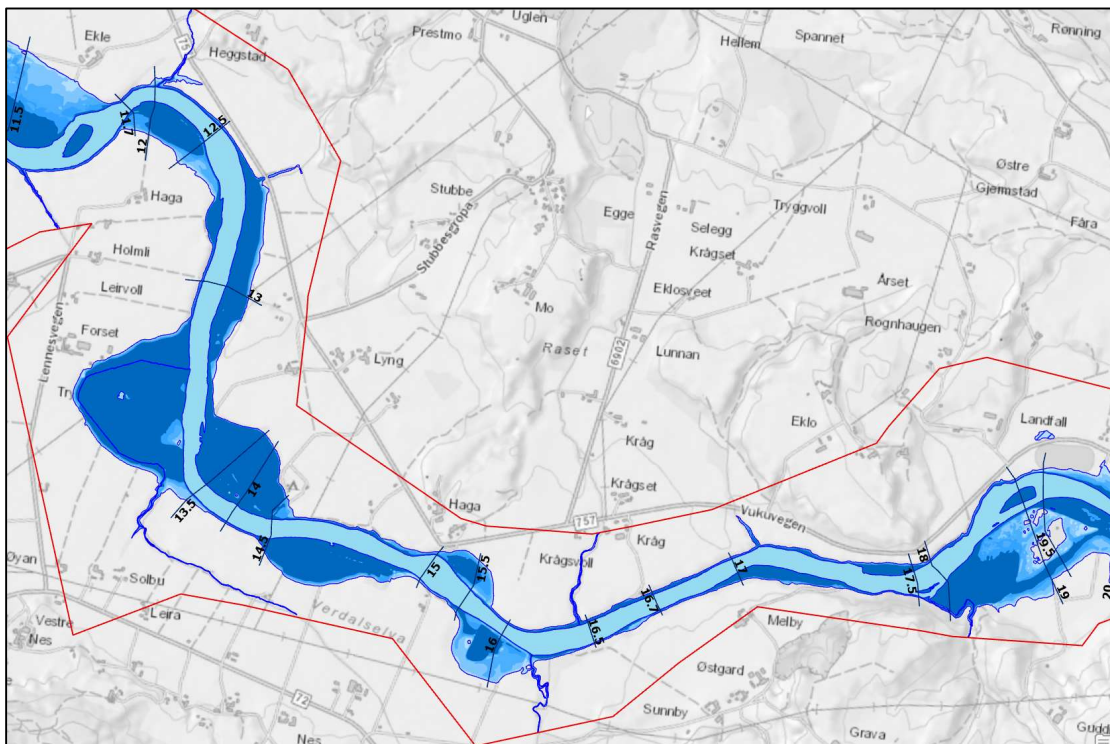
Figur 4-9 Flomsonekart for en 200-årsflom (kartutsnitt 3 av 4). Flomdybder er presentert med en blå fargeskala.



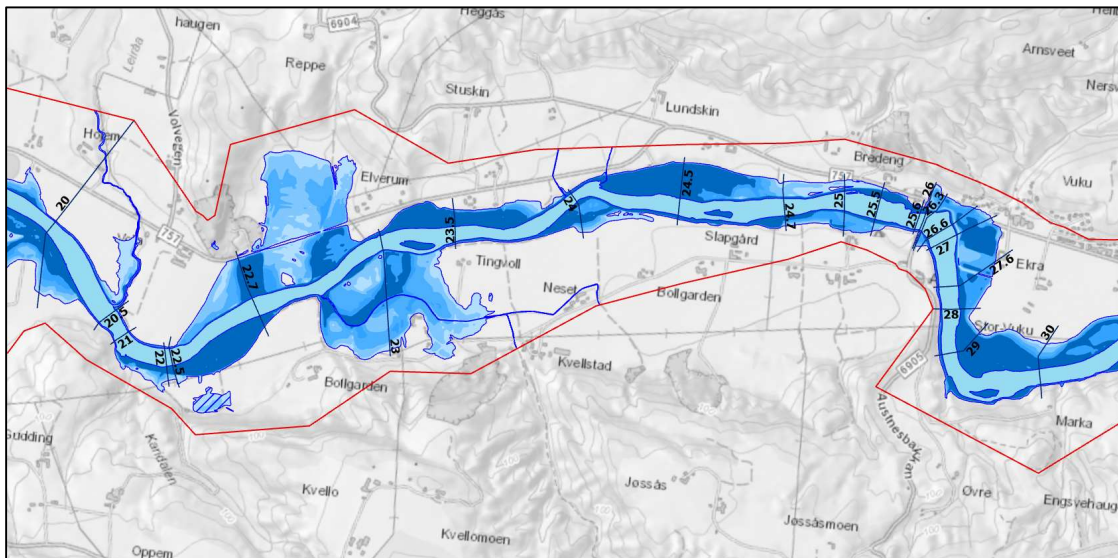
Figur 4-10 Flomsonekart for en 200-årsflom (kartutsnitt 4 av 4). Flomdybder er presentert med en blå fargeskala.



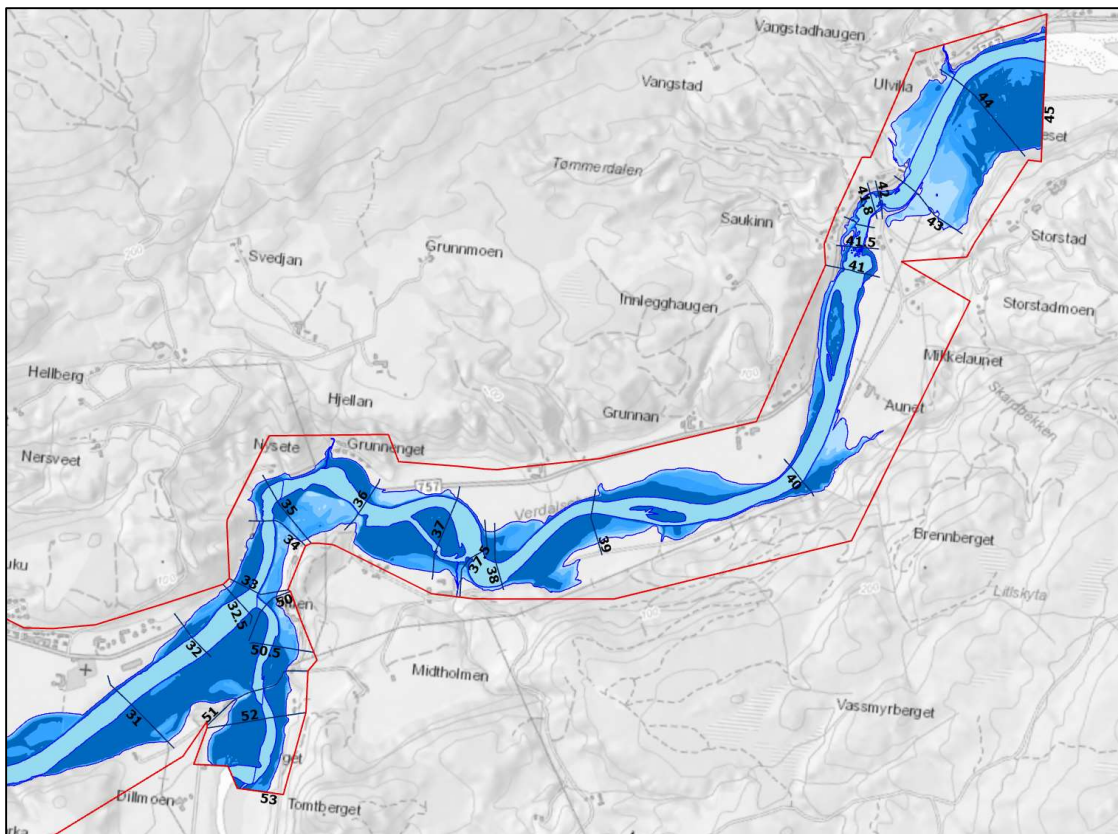
Figur 4-11 Flomsonekart for en 1000-årsflom (kartutsnitt 1 av 4). Flomdybder er presentert med en blå fargeskala. Flomsone for en 200-årsflom med havnivåstigning i et endret klima i år 2100 er presentert med rosa skravur.



Figur 4-12 Flomsonekart for en 1000-årsflom (kartutsnitt 2 av 4). Flomdybder er presentert med en blå fargeskala.



Figur 4-13 Flomsonekart for en 1000-årsflom (kartutsnitt 3 av 4). Flomdybder er presentert med en blå fargeskala.



Figur 4-14 Flomsonekart for en 1000-årsflom (kartutsnitt 4 av 4). Flomdybder er presentert med en blå fargeskala.

4.4 Kartprodukt

Det er utarbeidet følgende sluttprodukt:

- Flomsoner for en 20-, 200- og 1000-årsflom, samt for en 200- og 1000-årsflom i et endret klima fram mot år 2100.
- Flomvannstander er beregnet for alle gjentakintervall og er gitt i tverrprofilene.
- Rapport i PDF-format.

Flomsonene er kodet i henhold til SOSI-standard og kan lastes ned på ulike kartformat. Sluttproduktene er tilgjengelige på NVEs nettside www.nve.no og i NVEs karttjenester <https://www.nve.no/karttjenester/>.

5 Usikkerhet

Resultatene som presenteres i denne rapporten er basert på beste tilgjengelige historiske og topografiske data, samt framskrivninger av kjente klimaframskrivninger. Disse dataene blir anvendt i en hydraulisk modell og resultatene blir analysert i GIS-verktøy for å finne utstrekningene til flomsonene.

5.1 Flomberegning

Datagrunnlaget for flomberegning i Verdalselva kan karakteriseres som godt, da det er flere målestasjoner i vassdraget med lange tidsserier. Målestasjonene registrerer vannstander som omregnes fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på observasjoner av vannstander og tilhørende målinger av vannføring i elven. Målinger av vannføring på store vannføringer er ofte forbundet med fare og kan være krevende å utføre rent teknisk. De største flomvannføringene vil derfor være beregnet ut fra et ekstrapolert forhold mellom vannstand og vannføring. Usikkerheten i vannføringskurven øker derfor normalt ved økende vannføring.

En annen faktor som fører til usikkerhet i data, er at de eldste dataene i NVEs database er basert på én daglig observasjon av vannstand inntil automatisert utstyr ble tatt i bruk. Disse daglige vannstandsavlesningene antas å representere døgnmiddelvannføringen, men avviker selvfølgelig i større eller mindre grad fra det reelle.

Det er stor variasjon i kvaliteten på flomvannføringene ved de ulike målestasjonene som er brukt i flomberegningen. Usikkerheten i flomberegninger øker med økende gjentakintervall og det er sjelden at man har lange nok dataserier for å gi sikre estimat på flommer med gjentakintervall på mer enn 50 år. At det finnes målestasjoner både i hovedelva og i sidevassdraget er med på å redusere usikkerheten i beregningen. Det hydrologiske grunnlaget for flomberegningen vurderes til klasse 1, på en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse. At det hydrologiske datagrunnlaget tilhører beste klasse, er ikke ensbetydende med at det er liten usikkerhet i flomstørrelser med høye gjentakintervall.

5.2 Hydrauliske beregninger

Kvaliteten på vannlinjeberegningen er primært avhengig av kvaliteten på grunnlagsdata. For å få en nøyaktig hydraulisk modell må den alltid kalibreres mot minst en flomhendelse, der en har samhørende verdier av vannføring og vannstand. Data for eldre historiske flommer har ofte

redusert verdi som følge av at det har vært endringer i elveløpet og elveslettene etter flomhendelsen, som for eksempel brubygging, veibygging, flomverk, masseuttak og lignende. I Verdalselva er den største vannføringen som er brukt i kalibrering av modellen en 200-årsflom, men en har få vannstandsobservasjoner fra denne flommen.

Den hydrauliske modellen som er benyttet bygger på en del forutsetninger og forenklinger av virkeligheten. I dette prosjektet er en av de viktigste forenklingene at en forutsetter at en har statisk geometri, dvs. ingen profilendringer. Erosjon og masseavlagring representerer generelt et betydelig usikkerhetsmoment i beregningene. Spesielt ved store flommer kan det skje store endringer i profilene. Videre beregner modellen kun dagens situasjon i vassdraget, dvs. at effekten av fremtidige utfyllinger, profilendringer eller konstruksjoner ikke er tatt med i beregningene. Virkninger av is er heller ikke beregnet. Dersom situasjonen i vassdraget endres fra forutsetningene modellen er basert på, vil vannstandene også endres.

Anbefalt sikkerhetsmargin fastsettes basert på samsvar mot kalibreringsdata og sensitivitetsanalysen, som er omtalt i kapittel 3.5 og 3.8.

5.3 Flomsonen

Nøyaktigheten til flomsonene er avhengig av usikkerheten i hydrologiske data, flomberegningen og den hydrauliske modellen. I tillegg kommer usikkerheten i terrengmodellen og kartanalysen. Alle faktorer som er nevnt ovenfor, vil sammen påvirke usikkerheten i sluttresultatet, det vil si utbredelsen av flomsonen på kartet. Utbredelsen av flomsonen er derfor mindre nøyaktig bestemt enn vannlinjene. Dette må en ta hensyn til ved praktisk bruk, ref. kapittel 7.

6 Andre faremoment i området

I flomsonekartprosjektet blir andre faremoment i vassdraget også vurdert, men disse blir ikke tatt direkte hensyn til i kartleggingen. Andre faremoment kan være flom i sideelver/bekker, stormflo, isgang, massetransport, erosjon og lav kapasitet på kulverter m.m.

Flomsonekartprosjektet har ikke som mål å kartlegge alle faremoment knyttet til et vassdrag, men skal omtale kjente problem langs vassdraget som har virkning for de flomstørrelsene som blir beregnet i prosjektet.

En gjennomgang av eventuelle faremoment bør inngå som en del av en risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS).

6.1 Stormflo

Flomsonekartet viser oversvømmelse som skyldes flom i elva. I elvas utløpsområder vil stormflo ofte medføre høyere vannstander og tilsvarende større oversvømmelser enn flom i elva. Oversvømmelse som skyldes stormflo i elvas utløpsområde, er ikke inkludert i flomsonene. Kart som viser hvilke områder som blir oversvømt ved stormflo for 20-, 200- og 1000 års gjentakintervall, finnes i Kartverkets karttjeneste *Se havnivå i kart*. Dette omfatter stormflo i dagens klima, men også i et endret klima med havnivåstigning.

Vannstands nivå for stormflo med ulike gjentakintervall, finnes på Kartverkets nettside *Se havnivå*. Her finnes også informasjon om anbefalt nivå for planlegging.

Ved bruk av flomsonene i utløpsområdet, må en i tillegg ta hensyn til stormflo, se kap. 7.2.

6.2 Is-relaterte problemstillinger

Isen bruker normalt å legge seg i hovedelva i løpet av november. Mildvær fører ofte til at isen går opp, helt eller delvis, i løpet av vinteren. Det er normalt med isgang, en eller flere ganger i løpet av vinteren. Vårisgangen er som regel ferdig innen 1. mai. Isløsningen skjer etappevis og det danner seg ofte store eller små isdemninger underveis. Isløsningen skjer vanligvis pga. mildvær og stor vannføring.

Det har tidligere oppstått problemer i forbindelse med isganger og isdammer. I begynnelsen på 1980-tallet satte det seg en isdemning i jernbanebrua (profil 6), som medførte undergraving av brukar og kutting av hovedvannledningen over elva.

Kjente steder for dannelse av isdammer i Verdalselva er:

- Tinden ved jernbanebrua (profil 5-8)
- Rosvold venstre elvebredd (profil 11)
- Ekle ved grusør (mellom profil 11 og 12)
- Østnes ved grusør (mellom profil 27 og 28)
- Midt-Holmen (profil 37 og 38)

Viktige områder langs Verdalselva for lagring av ismasser etter isgang:

- Fotballbane Stiklestad IL høyre bredd (profil 14)
- Fotballbane Ness IL venstre bredd (profil 16)
- Midt-Holmen dyrkamark (profil 38 og 39)

Dette er områder som i fremtiden også bør være tilgjengelig for dette formålet.

Områder som oversvømmes på grunn av isdemming:

- Oppstrøms profil 8 (Tinden, Kjæran, Fæby og Reinsholm)
- Dyrkamark mellom profil 13 og 15

I tillegg til de områdene hvor isen lagres etter isgang.

Isgang i Inna skjer også noen ganger, men isen fra Inna blir knust i Dillfossen og skaper sjelden problemer i hovedelva.

6.3 Massetransport, erosjons- og sikringstiltak

NVE er ikke kjent med at det foregår masseuttak i selve elva i dag, men det har vært noe landbasert uttak ved Bjørnmelen i Ulvilla tidligere. Grusørene i elva har vært en viktig samfunnsøkonomisk og privatøkonomisk ressurs. I løpet av årene fra 1950 frem til 1990 ble det tatt ut ca. 1,3 mill. m³ med grus fra 25 ulike lokasjoner langs elven. Dette har medført en senkning av elva på strekningen fra Verdalsøra til Østnesfossen.

I de siste 500 år har vi kjennskap til 20 større ras i Verdal. Som følge av skredfaren har NVE utført en rekke sikringsarbeid for å hindre erosjon og stabilisere de høye leirmelene ved elva. Ettersom hovedelva og sideelver renner i lett eroderbar leire og silt, er det stedvis store erosjonsproblemer. Erosjon kan medføre tap av dyrkamark, skader på veger og bygninger, samt

øke faren for leirskred. For å forbygge er omtrent 70 % av Verdalselva er forbygd, fordelt på ca. 70 større og mindre forbygningsanlegg.

6.4 Kulverter

Generelt fanger ikke flomsonekartleggingen opp problemstillinger knyttet til oversvømmelse som skyldes flom i sideelver/bekker og blokkering eller lav kapasitet på kulverter. Blokkeringer av kulverter og bruer på grunn av is og drivgods er et generelt problem. En gjennomgang av hvilke kulverter som gir skadeomfang ved blokkering, kan gjennomføres som en del av en risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS).

6.5 Områder med fare for vann i kjeller

Også utenfor direkte flomutsatte områder og lavpunkt vil det kunne være nødvendig å ta hensyn til flomfaren, da flom ofte vil føre til høyere grunnvannstand innover elvesletter. Uavhengig av flommen kan forhøyet grunnvannstand medføre vann i kjellere. For å analysere dette er det nødvendig med omfattende analyser, blant annet av grunnforholdene. Det ligger utenfor flomsonekartprosjektets målsetting å kartlegge slike forhold i detalj.

7 Veiledning for bruk

7.1 Unngå bygging på flomutsatte arealer

Stortinget har forutsatt at sikringsbehovet langs vassdragene ikke skal øke som følge av ny utbygging. Derfor bør ikke flomutsatte områder tas i bruk, om det finnes alternative arealer. Sikkerhetskrav for byggverk i forbindelse med flom er gitt i byggt teknisk forskrift, TEK17, § 7-2. Kravene er differensiert i henhold til type flom og type byggverk/infrastruktur. NVEs retningslinje 2/2011 *Flaum- og skredfare i arealplanar*⁷ beskriver hvordan sikkerhetskravene i TEK17 kan oppfylles i arealplanleggingen.

Fortetting i allerede utbygde områder skal heller ikke tillates før sikkerheten er brakt opp på et tilfredsstillende nivå, i henhold til TEK17.

7.2 Arealplanlegging og byggesaker – bruk av flomsonekart

I kommuneplansammenheng kan en bruke flomsonekartene direkte for å identifisere områder som ikke bør bebygges uten nærmere vurdering av faren og mulige tiltak. Flomsonekartene skal avsettes som hensynssoner på plankartet jf. pbl § 11-8.

Ved detaljplanlegging og ved dele- og byggesaksbehandling må en ta hensyn til at også flomsonekartene har begrenset nøyaktighet. Primært må en ta utgangspunkt i de beregnede vannstandene og kontrollere terrenghøyden i felt mot disse. Områder som etter nærmere kontroll i felt er utsatt for flomfare, avsettes som hensynssoner på plankartet jf. pbl § 12-6.

En sikkerhetsmargin bør legges til ved praktisk bruk. For dette delprosjektet anbefaler vi at det legges til 50 cm på de beregnede flomvannstandene. Sikkerhetsmarginen dekker opp usikkerhet i grunnlagsmateriale og beregninger.

Ved bruk av flomsonekartene i elvas utløpsområde, må en i tillegg ta hensyn til stormflo, ref. kapittel 6.1. DSBs veileder *Havnivåstigning og stormflo – samfunnssikkerhet i kommunal planlegging*⁶

beskriver hvordan man skal ta hensyn til framtidig havnivåendring og stormflo ved planlegging. Den sonen som har størst utbredelse, enten det skyldes flom i elva eller stormflo, må legges til grunn for planlegging. Tilsvarende må en ved bruk av de beregnede vannstandene, benytte den vannstanden som er høyest av f.eks. en 200-årsflom i elva eller stormflo med 200 års gjentakintervall.

For å unngå flomskade må dessuten dreneringen til et bygg ligge slik at avløpet fungerer under flom.

Til hensynssoner gis det bestemmelser som begrenser eller setter vilkår for arealbruken, for eksempel ved rekkefølgekrav om at det ikke tillates etablering av ny bebyggelse lavere enn nivå for en 200-årsflom, med mindre det først utføres tiltak som sikrer bebyggelsen mot flom.

Med grunnlag i flomsonekartene må det innarbeides hensynssoner med bestemmelser som ivaretar tilstrekkelig sikkerhet mot flom når kommuneplanen oppdateres.

7.3 Flomvarsling og beredskap – bruk av farekart flom

NVE har ansvaret for den nasjonale flomvarslingstjenesten Varsom.no. Et flomvarsel er et viktig hjelpemiddel for å vurdere aktuell flomfare. NVE gir informasjon om situasjonen og forventet utvikling under en flom, slik at situasjonen kan håndteres best mulig lokalt.

Varsom.no er en kilde til varsler og kunnskap om naturfarer i Norge, som også inkluderer en abonnementsløsning for varsel om naturfarer.

Flomsonekart gir detaljkunnskap i form av beregnede vannstander ved flom, og man kan se hvilke områder og hvilke verdier som er flomutsatt. De lokale beredskapsmyndighetene bør innarbeide informasjonen fra flomsonekartet i sine planer.

7.4 Generelt om gjentakintervall og sannsynlighet

Gjentaksintervall er det antall år som gjennomsnittlig går mellom hver gang en får en like stor eller større flom. Dette intervallet sier noe om hvor sannsynlig det er å få en flom av en viss størrelse. Sannsynligheten for eksempelvis en 50-årsflom er 1/50, dvs. 2 % hvert eneste år. Dersom en 50-årsflom nettopp er inntruffet i et vassdrag, betyr ikke dette at det vil gå 50 år til neste gang dette nivået inntreffer. Den neste 50-årsflommen kan inntreffe allerede i inneværende år, om 2 år, 50 år eller kan hende først om 200 år. Det er viktig å være klar over at sjansen for å få for eksempel en 50-årsflom er like stor hvert år, men den er liten – bare 2 prosent.

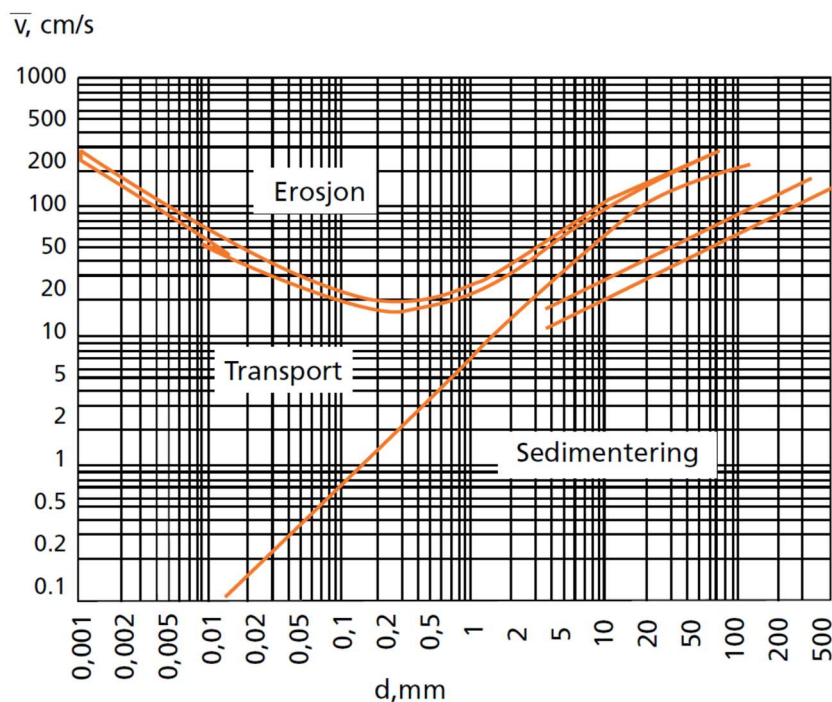
Tabell 7-1: Sannsynlighet for overskridelse i prosent ut fra forventet økonomisk levetid og gjentakintervall.

Gjentaksintervall (T)	Periodelengde år (L)					
	10	50	100	200	500	1000
10	65 %	99 %	100 %	100 %	100 %	100 %
50	18 %	64 %	87 %	98 %	100 %	100 %
100	10 %	39 %	63 %	87 %	99 %	100 %
200	5 %	22 %	39 %	63 %	92 %	99 %
500	2 %	10 %	18 %	33 %	63 %	86 %
1000	1 %	5 %	10 %	18 %	39 %	63 %

Et aktuelt spørsmål ved planlegging av virksomhet i flomutsatte områder er følgende: Hva er akseptabel sannsynlighet for flomskade med hensyn til gjentaksintervall og levetid? Gitt en konstruksjon med forventet (økonomisk) levetid på 50 år som sikres mot en 100-årsflom. Ifølge tabellen vil det fremdeles være 40 % sjanse for å få flomskader i løpet av en 50-årsperiode. Tar man utgangspunkt i en «akseptabel sannsynlighet for flomskade» på eksempelvis 10 % i en 50-årsperiode, viser tabellen at konstruksjonen må være sikker mot en 500-årsflom.

7.5 Hvordan forholde seg til vannhastigheter?

Hastighetskartet er ment å være til hjelp i arealplanlegging og beredskap for å identifisere områder med fare for erosjon eller som har store vannhastigheter ved flom. Slike områder bør vies ekstra oppmerksomhet. Erosjonsfaren er avhengig av flere faktorer enn bare vannhastigheten, der blant annet vegetasjonstype, bunnform og type bunnsstrat er viktige faktorer. Selve elveløpet vil i noen tilfeller kunne ha vesentlig høyere hastigheter enn 2,0 m/s, uten at det medfører problem med erosjon. Tilsvarende vil det i områder med for eksempel fin silt/sand, der det til vanlig ikke strømmer vann, ifølge Hjulstrøms diagram kunne oppstå erosjon allerede ved vannhastigheter på 0,2 m/s, se Figur 7-1. På flomsletter bør en generelt være oppmerksom på erosjon i områder med vannhastigheter i størrelsesorden 2,0 m/s.



Figur 7-1: Hjulstrøms diagram for grense mellom erosjon og avleiring.

For mer inngående informasjon om erosjon, massetransport og dimensjonering av erosjonssikringstiltak, vises det til revidert utgave av *Vassdragshåndboka*⁸.

7.6 Hvordan forholde seg til usikre moment på kartet?

NVE lager flomsonekart med høyt presisjonsnivå, som for mange formål skal kunne brukes direkte. Det er likevel viktig å være oppmerksom på at flomsoneenes utbredelse avhenger av bakenforliggende datagrunnlag og analyser.

Spesielt i områder nær flomsonegrensen er det viktig at høyden på terrenget sjekkes mot de beregnede flomvannstandene. På tross av god nøyaktighet på terrengmodell kan det være områder som på kartet er angitt å ligge utenfor flomsonen, men som ved detaljmåling i felt kan vise seg å ligge lavere enn det aktuelle flomnivået. Tilsvarende kan det være mindre områder innenfor flomområdet som ligger høyere enn den aktuelle flomvannstanden. Ved detaljplanlegging og plassering av byggverk er det viktig å være klar over dette.

En måte å forholde seg til usikkerheten på er å legge sikkerhetsmarginer til de beregnede flomvannstandene. Hvor store disse skal være, vil avhenge av hvilke tiltak det er snakk om. I forbindelse med beredskapssituasjoner vil usikkerheten i flomvarslene langt overstige usikkerheten i beregnede flomvannstander og faresoner. NVE anbefaler at det legges til en sikkerhetsmargin for å ta høyde for usikkerheten i kartene.

8 Referanser

¹ NOU (Norges offentlige utredninger) 1996:16 Tiltak mot flom.

² St. meld. nr. 15 (2011–2012) Hvordan leve med farene – om flom og skred.

³ St. meld. nr. 42 (1996–97) Tiltak mot flom

⁴ Deborah Lawrence, Klimaendring og framtidige flommer i Norge, NVE rapport nr 81-2016.

⁵ Ann-Live Øye Leine, Flomberegning for Verdalselv (127.Z), Revidert versjon, NVE rapport nr 22-2017.

⁶ DSB (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap), Havnivåstigning og stormflo – samfunnssikkerhet og *kommunal planlegging*, Veileder 2016

⁷ Retningslinje nr 2-2011 Flaum- og skredfare i arealplanar, NVE.

⁸ Fergus, T., Hoseth, K.A. og Sæterbø, E. 2010. Vassdragshåndboka. Tapir akademisk forlag.



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

.....

MIDDELTHUNSGATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no