

Delprosjekt Rygene

FLOMSONEKART

Kjartan Orvedal

Camilla Meidell Roald



Rapport nr 77-2018

Delprosjekt Rygene

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Kjartan Orvedal

Forfatter: Kjartan Orvedal
Camilla Meidell Roald

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Bilde tatt ved Langelandsevja under flommen 16.september 2015. Foto: NVE.

ISBN: 978-82-410-1739-1

ISSN: 1501-2832

Sammendrag: Det er utarbeidet flomsoner for 20-, 200- og 1000-årsflom i Nidelven. I tillegg er det vist en 200-årsflom ved et endret klima i år 2100. Grunnlaget for flomsonene er flomberegninger, vannlinjeberegning, tverrprofiler samt terrengmodell.

Emneord: Nidelven, Rygene, Rore, Trevann, Reiersøl, Rossøya, flom, flomberegning, vannlinjeberegning, flomsone

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Epost: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

18.september 2018

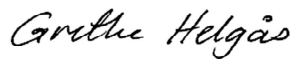
Forord

Et nasjonalt kartgrunnlag – flomsonekart – er under etablering 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 og forutsetningene fra kartleggingen ved utarbeidelse av flomfarekart for Nidelva på strekningen fra Rygene dam til Blakstad, en strekning på ca. 21 km. Strekningen som er kartlagt ligger langs Nidelven i Arendal, Grimstad og Froland kommune, som er i Aust-Agder fylke.

En særlig takk til Knut Nilsen i Agder Energi, som har bidratt med lokalkunnskap om tidligere flommer og nødvendig dokumentasjon på avløpskurven for Rygene dam. Vi takker også Froland kommune ved Hogne Prestegård for lokalkunnskap om flomstøttene i Trevann ved Frolands verk, samt Preben Karlsen i Arendal kommune for informasjon om vannstandsregistreringene i Rore.

Oslo, september 2018



Grethe Helgås
fungerende direktør



Eli K. Øydvin
seksjonssjef

Sammendrag

NVE har utført en flomsonekartlegging av Nidelva for å kartlegge eksisterende flomutsatt bebyggelse i henhold til kravene i TEK17, som følge av naturlig høy vannstand i Nidelva. Kartene er basert på resultatet fra en hydraulisk modell, flomberegning, detaljerte oppmålte tverrprofil og ei kartanalyse. Beregningene og kartene er basert på beste tilgjengelige klima-, terreng- og flomdata. Det er utarbeidet flomsonekart for 20-, 200- og 1000-årsflommen, samt 200-årsflommen i et endret klima i år 2100.

Alle topografiske data er, såfremt annet ikke er spesifisert, oppgitt i UTM-sone 32N og høydereferanse NN2000. Vannstander i sidevassdrag og bekker er ikke beregnet og flomfaren der er kun kartlagt som følge av flom i hovedelven. Videre er beregningene gjort under forutsetning om at en har rent vann og statisk geometri i elven, dvs. at effekter av tilstopping, is, og isganger, erosjon og masseavsetninger m.m. ikke er beregnet. Modellen har avløpskurven ved Rygene dam som nedre grensebetingelse.

Framskrivninger av klimaet viser at Arendalsvassdraget får 20% økning i vannføring for 200-årsflommen fram mot år 2100. Dette tilsvarer at dagens 500-årsflom vil være en 200-årsflom i år 2100. Det forventes også mer kortvarig intensiv nedbør og små nedbørsfelt er spesielt sårbare, og det anbefales at det legges til grunn minst 20 prosent økning i flomvassføringene for alle nedbørsfelt mindre enn 100 km².

I dette delprosjektet er vannstandene beregnet for flommer med 5-, 10-, 20-, 50-, 100-, 200-, 500- og 1000-års gjentaksintervall, i tillegg til klimaframskrivninger av 200-årsflommen. Middelflommen og normalvannstanden er også beregnet, hvor sistnevnte er den vannstanden som oftest opptrer i elven. De største flommene i Nidelven skyldes regn og forekommer oftest om høsten. Nidelven er regulert og har en reguleringsgrad på ca. 40%.

Ved en 20-årsflom vil Fv55 og Fv181, samt flere kommunale adkomstveger, oversvømmes stedvis som følge av flom i Nidelva. Ifølge våre analyser vil 29 bygg berøres av 20-årsflommen. Oversvømt areal vil hovedsakelig være jordbruksareal og skog.

Ved en 200-årsflom vil i tillegg Fv42, Fv161, Fv172, Fv173 og Fv408, samt flere kommunale adkomstveger, stedvis oversvømmes som følge av flom i Nidelva. Ifølge våre analyser vil 152 bygg berøres av 200-årsflommen. Utbredelsen av en 200-årsflom vil være vesentlig større enn for en 20-årsflom, spesielt nedenfor samløpet fra Trevann.

Ved en 1000-årsflom vil i tillegg Fv34, Fv151, Fv174 og Fv185 stedvis oversvømmes. Ifølge våre analyser vil 251 bygg berøres av 1000-årsflommen. Ved en 1000-årsflom viser flomsoneanalysen at vannstanden i magasinet ved Rygene dam vil være litt høyere enn dagens terreng ved lavbrekket like nord for Rygene dam. Noe vann vil derfor kunne renne ut av magasinet der og videre nedover Sandbergveien.

Ifølge våre analyser vil 200 bygg berøres av 200-årsflommen med klimaendringer i år 2100. I tillegg til de veiene som oversvømmes ved dagens 200-årsflom, vil Fv174 og noen flere kommunale adkomstveger oversvømmes stedvis som følge av flom i Nidelva. Klimaframskrivningene tilsier at dagens 500-årsflom vil være en 200-årsflom i år 2100.

På den kartlagte strekningen er det knyttet usikkerhet til kapasiteten til flere bestemmende tverrprofil ved Rossøya. Disse er ved Rossøyfoss og Krogmofoss sørsiden og Fjellfoss på nordsiden. Fjellfoss ble senket i årene 1922-25 for å bedre flomforholdene. NVE målte opp disse profilene i 2016 og disse er lagt inn i modellen. For å få modellen til å stemme mot både de høye og lave vannstandene, reduseres falltapene i modellen med økende vannføring.

En sikkerhetsmargin bør legges til ved praktisk bruk. For dette prosjektet anbefaler NVE et påslag på 50 cm på de beregnede vannstandene. Sikkerhetsmarginen dekker opp usikkerhet i grunnlagsmateriale og beregninger.

I kommuneplanarbeidet kan flomsonene 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).

Flomfarehensyn må innarbeides når kommuneplanen for kommunene blir oppdatert. Flomsonene kan også benyttes til å planlegge beredskaps- og sikringstiltak, som evakuering, bygging av voller og så videre.

Innhold

1	INNLEDNING	1
1.1	BAKGRUNN	1
1.2	AVGRENSNING AV PROSJEKTET	1
1.3	FLOMSONEKART OG KLIMAENDRINGER.....	2
1.4	PROSJEKTGJENNOMFØRING	4
2	METODE OG DATA	5
2.1	HYDROLOGISKE DATA	5
2.1.1	NEDBØRSFELTET	5
2.1.2	HYDROMETRISKE STASJONER	7
2.1.3	FLOMBEREGNING	8
2.1.4	KLIMAFRAMSKRIVINGER	9
2.1.5	OBSERVERTE FLOMMER	9
2.1.6	VIRKNINGER AV MAGASINER	10
2.2	TOPOGRAFISKE DATA	10
2.2.1	TVERRPROFIL	10
2.2.2	TERRENGMODELL	11
2.2.3	KALIBRERINGSDATA	11
3	HYDRAULISKE BEREKNINGER	12
3.1	SPESIelt OM TREVANN	12
3.2	SIKRINGSTILTAK - SENKNING AV NIDELV	14
3.3	SPESIelt OM RØRE	16
3.4	NEDRE GRENSEBETINGELSE.....	16
3.5	KALIBRERING.....	16
3.6	VANNLINJE.....	19
3.7	SPESIelt OM BROER OG KULVERTER.....	21
3.8	SPESIelt OM HYDRAULISKE KONSTRUKSJONER.....	22
3.9	SENSITIVITETSANALYSE	23
3.10	VANNHASTIGHET	23
4	FLOMSONEKART	26
4.1	RESULTAT FRA FLOMSONEANALYSEN	26
4.1.1	20-ÅRSFLOM	26
4.1.2	200-ÅRSFLOM	26
4.1.3	1000-ÅRSFLOM	26
4.1.4	200-ÅRSFLOM MED KLIMAENDRINGER I ÅR 2100	26
4.1.5	KARTPLOTT	26
4.2	LAVPUNKT	40
4.3	KARTPRODUKT	40
5	USIKKERHET	41
5.1	FLOMBEREGNING	41
5.2	HYDRAULISKE BEREKNINGER.....	41
5.3	FLOMSONEN.....	41
6	ANDRE FAREMOMENT I OMRÅDET	43
6.1	IS-RELATERTE PROBLEMSTILLINGER	43
6.2	MASSETRANSPORT, EROSJONS- OG TRYGGINGSTILTAK	43
6.3	OMRÅDER MED FARE FOR VANN I KJELLER	43
7	VEILEDNING FOR BRUK	44

7.1	HVORDAN LESES KARTET	44
7.2	AREALPLANLEGGING OG BYGGESAKER – BRUK AV FLOMSONEKART	44
7.3	FLOMVARSLING OG BEREDSKAP – BRUK AV FAREKART FLOM.....	44
7.4	GENERELT OM GJENTAKSINTERVALL OG SANNSYNLIGHET.....	45
7.5	HVORDAN FORHOLDE SEG TIL VANNHASTIGHETER?	45
7.6	HVORDAN FORHOLDE SEG TIL USIKRE MOMENT PÅ KARTET?	46
8	<u>REFERANSER</u>	47

Vannstanden som beregnes er knyttet til flom i hovedelva. Det er ikke utført beregning av vannstand i sidevassdrag og bekker, slik at oversvømmelse som følge av flom i disse er ikke inkludert i prosjektet. Det er primært 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 erosjon, skred og farer relatert til is er ikke analysert tilsvarende, men kjente problem av denne art omtales i kapittel 6.

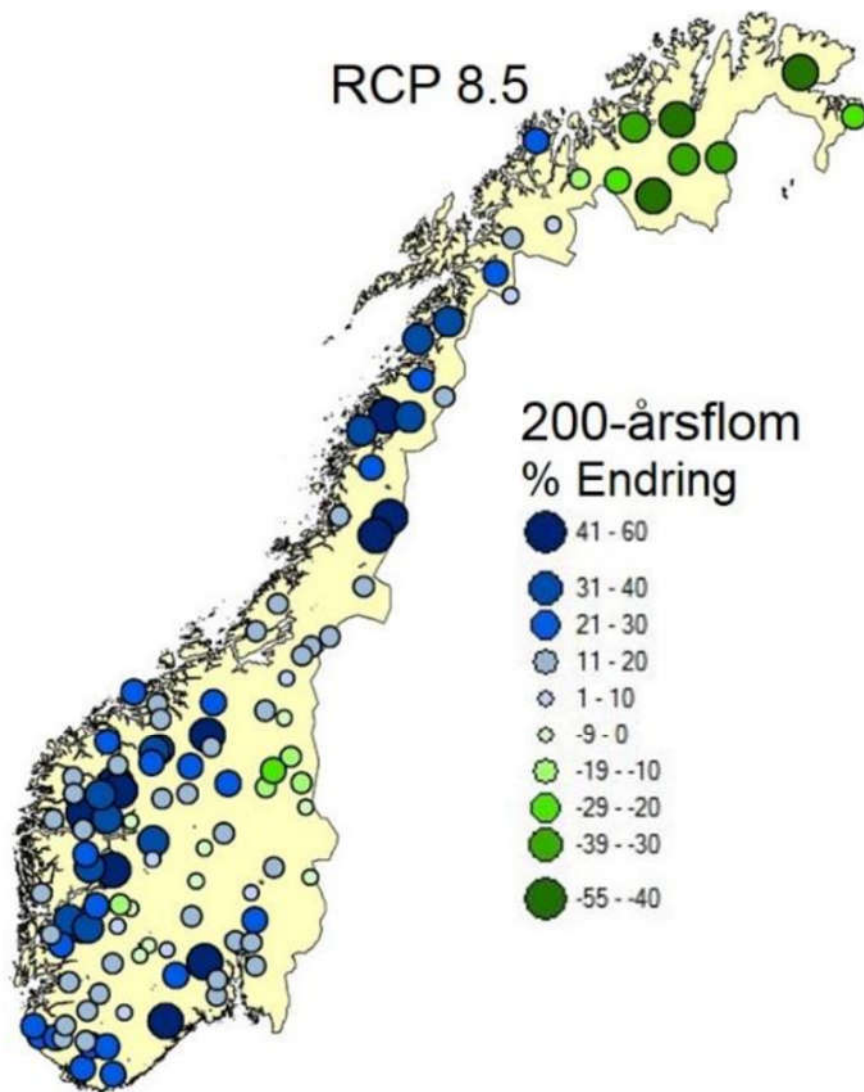
1.3 Flomsonekart og klimaendringer

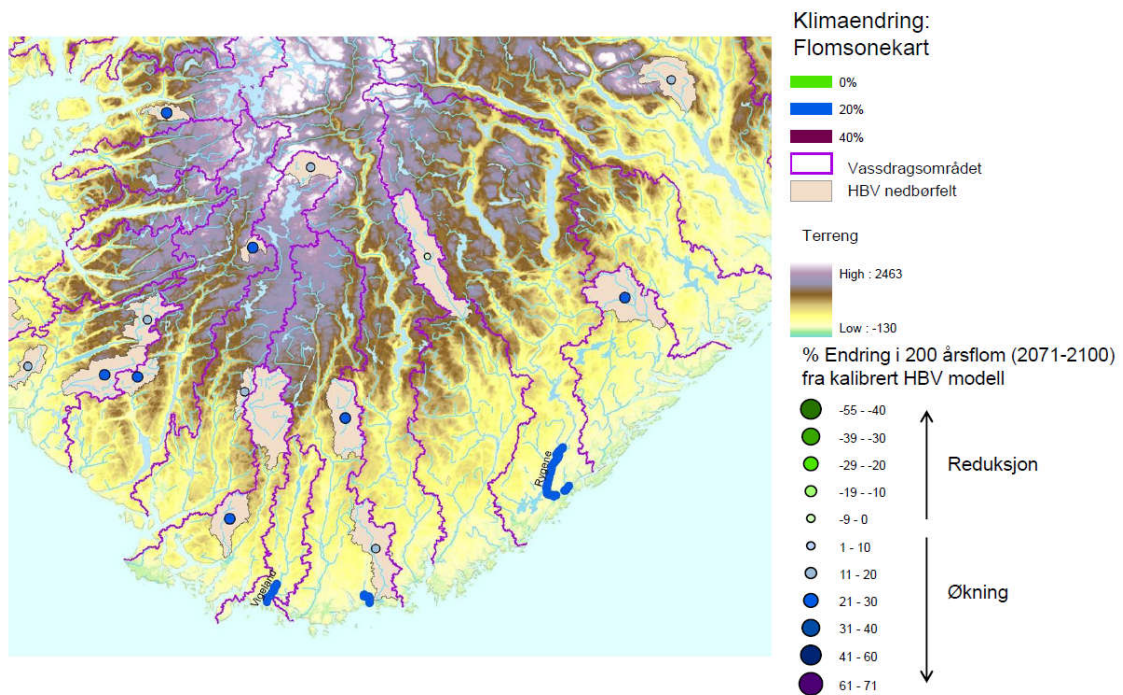
Flomsonekart utarbeides med grunnlag i historiske data for vannføring og også stormflo for elvestrekninger som har utløp i sjø. Klimaframskrivningene kommer fra ti ulike kombinasjoner av globale og regionale klimamodeller kjørt under ulike utslippsscenarioer, der scenariet RCP 8.5 er basert på høyt utslipp 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 (framtidsbeskrivelser) 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 nedbørsfeltet. 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 nykartlegging og ajourføring av flomsonekart.





Figur 1-2: Endring i vannføring som følge av klimaendringer. Resultatene er basert på framtidige klimascenario, 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 6.5 i nevnte rapport omhandler Rogaland og Agder, og det anbefales at det legges til grunn 20 % økning av vannføringen.

Da små og bratte nedbørsfelt er mer sårbare for høyintensiv nedbør, forventer en minst 20 % økning i 200-årsflommen for alle sidevassdrag som er mindre enn 100 km² fram mot år 2100.

1.4 Prosjektgjennomføring

Prosjektet er utført i egenregi av NVE. Prosjektleder har vært Kjartan Orvedal, mens Turid B. Pedersen og Stefan Perzyna har stått for kvalitetskontrollen.

2 Metode og data

Ved detaljkartlegging av flomsoner er detaljerte terrengdata og flomberegninger de viktigste grunnlagsdataene. Flomberegningen er en statistisk analyse av hvor ofte en kan forvente store flommer i gjeldende vassdrag. 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. Flomberegningen er gjort med grunnlag i historiske data for flommer.

Data for vannføring og terrengdata blir benyttet i en hydraulisk modell, som beregner flomvannstander for hver vannføring. Der det finnes historiske data, kalibreres modellen med utgangspunkt i tilhørende verdier av vannstand og vannføring. For å utlede hvilket areal som blir overflommet, sammenlignes beregnet flomvannstander med terrenghøydene. Avhengig av modellverktøyet, kan dette enten gjøres direkte i modellverktøyet eller en kan benytte GIS-programvare for å utlede flaten med flomfare.

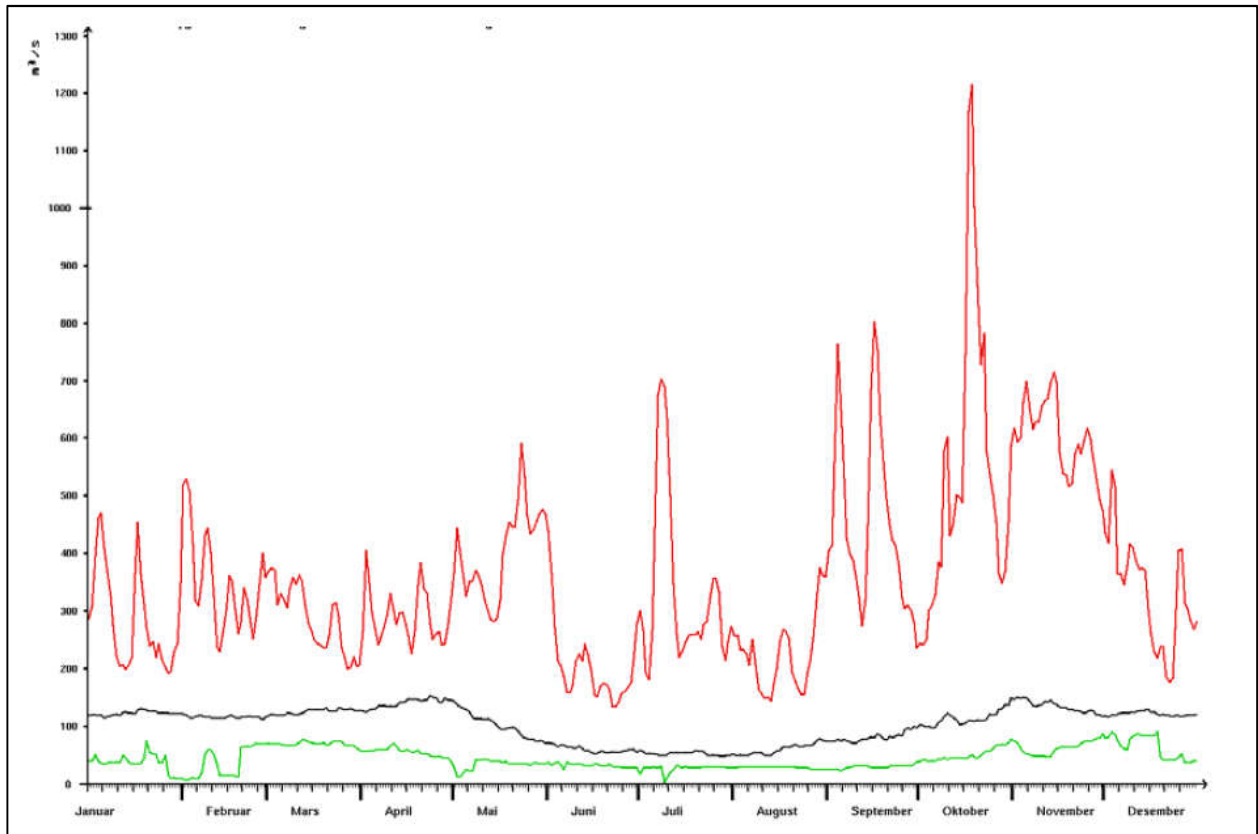
2.1 Hydrologiske data

Flomberegningen er dokumentert i *Revidert flomberegning for nedre del av Arendalsvassdraget (019.Z), 2017*². Under er et utdrag fra flomberegningen.

2.1.1 Nedbørsfeltet

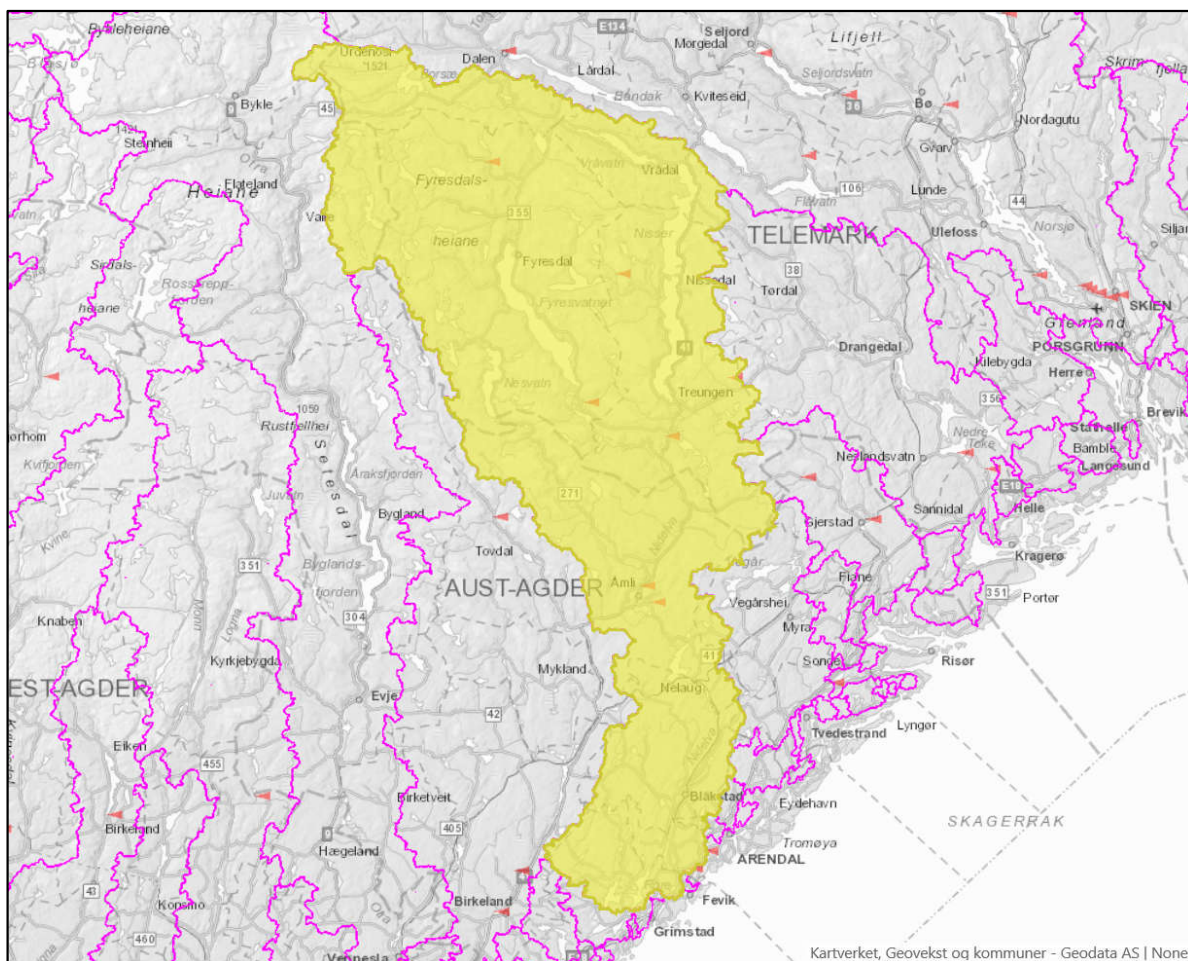
Arendalsvassdraget har i de øvre delene tre grener: Nisserelva, Fyreselva og Gjøv. Nisserelva og Fyreselva, som domineres av to store regulerte innsjøer, hhv. Nisser og Fyresvatn, løper sammen ved Åmot, drøyt to mil oppstrøms tettstedet Åmli. Ved samløpet har Nisserelva et nedbørsfelt på 1297 km², mens Fyreselva har et nedbørsfelt på 1081 km². Disse deler av vassdraget ligger så å si helt i Telemark fylke, mens resten av vassdraget ned til havet ligger i Aust-Agder fylke. Det er mange reguleringer i Nisserelvas og Fyreselvas nedbørsfelt, både små og store reguleringsmagasin, overføringer og flere kraftverk. Reguleringene begynte her allerede tidlig på 1900-tallet.

Nidelva er gradvis bygd ut med nye og større magasiner til bruk i kraftproduksjon og har nå et totalt reguleringsvolum på 1485 mill. m³, eller en reguleringsgrad på ca. 40 %. Reguleringene betyr mye for vannføringen (mediankurven). Vannføringen er minst om sommeren og den er i gjennomsnitt ikke spesielt stor verken under vårfloppen eller under den vanligvis fuktige høsten. Regnflopper, særlig om høsten, er de største.



Figur 2-1: Karakteristiske vannføringer for hver dag i løpet av året i Nidelva i perioden etter 1977 da det nye kraftverket ble satt i drift. Den øverste kurven i grafen viser største observerte vannføring og den nederste kurven viser minste observerte vannføring. Den midterste kurven er mediankurven.

I flomberegningen er det benyttet et forholdstall mellom døgnmiddelvannføringen og kulminasjonsvannføring på 1.06. Dette viser at forskjellen mellom døgn og kulminasjon er liten og at flommer derfor ofte har en varighet på opptil et døgn eller mer.



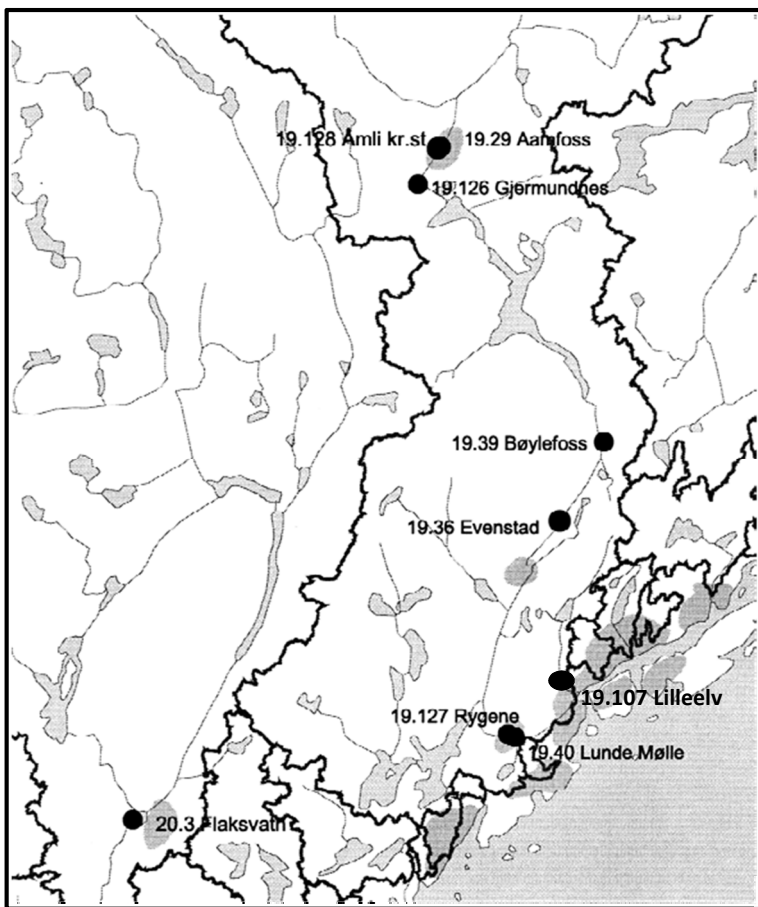
Figur 2-2: Kart over Nidelva sitt nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er markert med gult på kartet og vannføringsstasjoner er markert med røde trekkanter. Kilde: Revidert flomberegning for nedre del av Arendalsvassdraget (019.Z), 2017⁶.

2.1.2 Hydrometriske stasjoner

Flere hydrometriske stasjoner ligger eller har ligget i Nidelva og er viktige ved denne flomberegningen. I tillegg benyttes en målestasjon i et nabovassdrag. Tabell 2-1 gir noen viktige data om stasjonene og Figur 2-3 viser stasjonenes beliggenhet.

Tabell 2-1: Aktuelle hydrologiske målestasjoner.

Målestasjon	Feltareal, km ²	Dataperiode
19.107 Lilleelv	39,3	1983 – dags dato
19.40 Lunde Mølle	3947	1900-1977
19.127 Rygene total	3946	1977- dags dato
19.36 Evenstad	3520	1911-1919, 1944-1994
19.39 Bøylefoss	3477	1915-1944
19.126 Gjermundnes	3181	1981-1987
19.29 Aamfoss	3173	1924-1981
19.128 Åmli kraftstasjon total	3173	1988- dags dato
20.3 Flaksvatn	1777	1899- dags dato



Figur 2-3: Hydrometriske stasjoner.

Målestasjonen 19.40 Lunde Mølle lå nederst i Nidelva i fossepartiet noen hundre meter nedenfor Rygenefossen. Stasjonen har data for perioden 1900-1977. I gamle vannstandsboke (Vassdragsdirektøren 1912) er det imidlertid funnet observasjoner tilbake til 1874. Flomvannføringene før 1900 er beregnet fra vannføringskurven for Lunde Mølle som er gyldig frem til 1916.

Lunde Mølle ble nedlagt da Rygene kraftverk ble bygget ut og vannet ble ført i tunnel forbi mølla. Da overtok 19.127 Rygene total vannføringsobservasjonene nederst i elva. Vannføringen ved Rygene beregnes ut fra produksjon i kraftverket og vannmengde som tappes forbi. Det er laget en sammenhengende serie for disse to stasjonene tilbake til 1874. I store deler av perioden har vannføringen i Nidelva vært påvirket av regulering. Ved Lunde Mølle er det utført vannføringsmålinger opp til 635 m³/s og ved Rygene vannføringer opp til drøyt 900 m³/s. For Rygene tilsvarer dette en vannføring som er i overkant av to ganger middelflom beregnet for siste 40 år, hvilket er svært bra.

2.1.3 Flomberegning

Flomverdiene brukt for kartleggingen er dokumentert i NVE rapport 20-2017: *Flomberegningen for nedre del av Arendalsvassdraget (019.Z)*⁵. Beregningene gir for dagens forhold noe mindre flomvannføringer for gjentakintervall opp til 50 år enn flomberegningene fra 2005. For flommer med høyere gjentakintervall, er estimatene økt med opp mot 20 – 30 prosent. Beregnede 500- og 1000-årsflommer i denne rapporten er likevel mindre enn de som ligger til grunn for damsikkerhet i Arendalsvassdraget. I Agder er det anbefalt å benytte et påslag på 20 % for beregning av flomverdier i et fremtidig klima (frem mot år 2100).

Forholdstallet mellom døgnmiddel og kulminasjon er analysert på findata for i alt 5 hendelser mellom 2009 og 2014. Tallene varierer mellom 1,03 og 1,09, med et gjennomsnitt på 1,06.

Tabell 2-2: Kulminasjonsverdier for Nidelva. Q_{200K} er 200årsflommen framskrevet til år 2100 som følge av klimaendringer.

	Areal km ²	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	Q_{200K} m ³ /s
Nidelva ved Evenstad	3520	384	488	608	741	944	1182	1432	1705	1939	1718
Nidelva oppstrøms Bjorsund	3748	436	546	674	815	1030	1282	1546	1836	2084	1855
Nidelva ved Rygene	3946	443	554	682	824	1041	1295	1561	1853	2103	1873
Nidelva v. utløp	4011	458	571	701	845	1066	1323	1594	1890	2144	1913

2.1.4 Klimaframskrivinger

Framskrivinger av klimaet viser at Arendalsvassdraget får 20% økning i vannføring for 200-årsflommen fram mot år 2100, jf. kapittel 1.3.

2.1.5 Observerte flommer

Fra eldre tider kjenner man til mange store flommer i Nidelva, noen av de største fant sted i juli 1789 (Stor-Ofsen), i juni 1860 og i oktober 1892. De største flommene som er observert ved målestasjonene i nedre Nidelva og Tovdalselva er vist i Tabell 2-3.

Tabell 2-3: Observerte flommer ved målestasjoner i Nidelva og Tovdalselva (døgnmiddel). Data for flommen i 1987 mangler ved 19.128 Åmli kr.st.

19.127 Rygene 1874-2016		19.36 Evenstad 1915-1994		19.128 Åmli kr.st. 1924-2016		20.3 Flaksvatn 1899-2016	
Dato	m ³ /s	dato	m ³ /s	dato	m ³ /s	dato	m ³ /s
08.10.1892	1455	03.11.1953	1185	03.11.1953	1188	16.11.1959	934
18.10.1987	1215	17.10.1987	1000	05.10.1938	848	16.10.1987	891
04.11.1953	1145	25.11.1949	975	21.06.1933	815	24.11.1949	864
24.11.1949	1128	21.06.1933	832	24.11.1949	784	22.04.1937	832
14.10.1875	957	07.08.1934	799	29.05.1925	729	22.09.1930	767
30.05.1879	957	06.07.1990	795	16.11.1926	729	03.12.1992	759
17.11.1959	914	17.11.1959	719			01.11.1916	741
16.09.2015	906	09.11.1916	700			06.05.1954	719
23.04.1937	867					16.09.2015	668
29.10.1961	858					06.05.1931	652

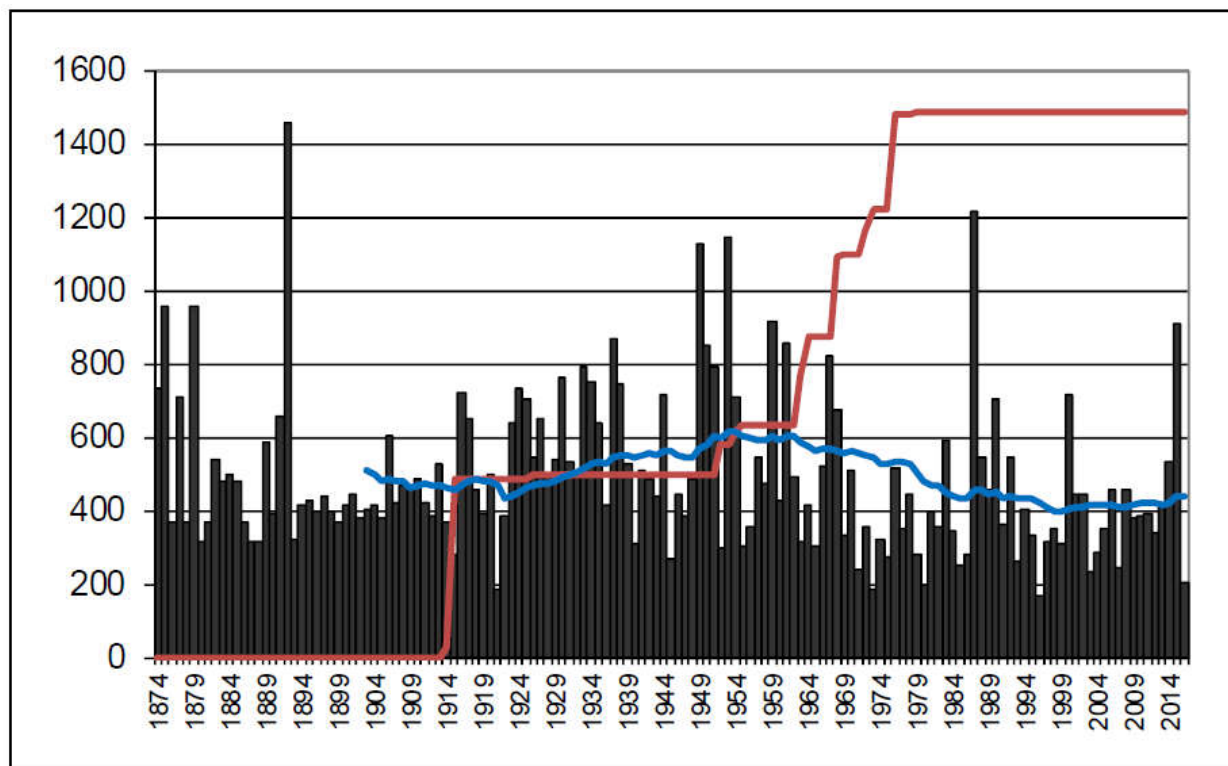
Flommen 2.oktober 2017 var på 861 m³/s (momentan) ifølge data vi har fått oversendt fra Agder Energi. Ut fra tidligere analyser tilsvarer dette omkring en 20-50årsflom. 2017-flommen er ikke med i datagrunnlaget for flomberegningen. En kontroll NVE har utført viser at effekten av å ta med flommen i beregningsgrunnlaget ikke påvirker resultatet, dvs. effekten er mye mindre enn usikkerheten i beregningen.

Syv av de ti største flommene ved Rygene har vært i oktober og november, og en i hver av månedene april, mai og september. Ut fra de sammensatte dataene fra Lunde Mølle og Rygene, er flommen i 1892 med 1455 m³/s den største i vassdraget, mens høstflommen i 1987 er nest størst. Flommen i september 2015 var den 8. største i løpet av drøyt 140 år. Flomdata for årene 1874-1899 må imidlertid antas å være noe mer usikre enn senere observasjoner.

Det var under flommen i september 2015, at den til nå høyeste vannføringsmålingen ved Rygene ble utført. Måleforholdene var imidlertid krevende, og vannstanden under flommen pendlet opp mot 20 – 30 cm. Det kan derfor være noe usikkerhet knyttet til hva som var «korrekt» vannstand, men målt vannføring på 906 m³/s antas å være rimelig korrekt (pers. med Øyvind Wien, NVE-HH). Det bør også nevnes at

under flommen i september 2015 sviktet Agder Energi's registreringer ved Rygene. Vannstandene vi i ettertid har fått fra dem, er 70 – 140 cm lavere enn dem som NVEs seksjon for hydrometri målte til samme tid. Legges disse til grunn, får vi en maksimal vannføring på 818 m³/s. I de videre analysene er imidlertid dette korrigert, slik at vi benytter den direkte målte vannføringen under flommen (906 m³/s).

2.1.6 Virkninger av magasiner



Figur 2-4: Flomdata 1874 – 2015 fra 19.40 Lunde Mølle/19.127 Rygene (svarte søyler), døgnmiddel i m³/s. Den blå linjen viser 30-års glidende middelflom og den rød linjen viser utviklingen av magasinkapasitet i Arendalsvassdraget i mill. m³

2.2 Topografiske data

Alle topografiske data er oppgitt i UTM-sone 32N og med høydereferanse NN2000. Deler av datagrunnlaget er konvertert fra NN1954 til NN2000 ved å trekke fra 4cm på NN1954 høydene.

2.2.1 Tverrprofil

Det er benyttet 12 tverrprofiler oppmålt sommeren 1988 av Norsk Hydroteknisk laboratorium (NHL)⁶, på oppdrag av Arendals Vasdrags Brugseierforening (AVB). I år 2000 utførte Glommen og Laagens Brukseierforening (GLB) v/Geir Gautun kontrollmålinger av disse tverrprofilene. Kontrollmålingene viste at det var veldig godt samsvar mellom profilene målt i 1988 og 2000, foruten i profil 8 (ARE-8). I år 2000 ble det i tillegg målt inn et tverrprofil ved flomstøtte Reiersøl. Tverrprofil 35 ved Reiersøl i modellen er hentet fra terrengmodellen, men botn er justert med grunnlag i disse målingene.

Modellen er supplert med ytterligere 8 oppmålte profiler ved Rossøya, som ble oppmålt av NVE høsten 2016. I tillegg er det hentet 37 tverrprofiler fra terrengmodellen. Botn i tverrprofilene hentet fra terrengmodellen er korrigert. De oppmålte profilene er forlenget innover land med utgangspunkt i terrengmodellen.

2.2.2 Terrengmodell

Prosjektet er basert på terrengdata fra laserdata med 5 pkt. pr m², oppmålt i perioden 2015 til 2017. Det er lastet ned en ferdig terrengmodell fra Høydedata.no, med 0.5m oppløsning på TIF-format.

- NDH Fevik-Tromøy 5pkt 2016 (Leverandør: Terratec AS)
- Risør-Tvedestrand-Arendal_Grimstad 2015 (Leverandør: Blom Geomatics)
- NDH Froland-Tvedestrand-Vegårshei 5pkt 2017 (Leverandør: Terratec AS)

2.2.3 Kalibreringsdata

Etter flommen den 16 - 17. oktober 1987 ble det målt inn vannstander for noen tverrprofil. Disse er dokumentert i rapporten *Tverrprofiler i Arendalsvassdraget, Kartskisser, figurer og tabeller etter feltarbeid sommeren 1988*, og gjengitt i Tabell 2-4 under. I tabellen er også kulminasjonsvannstandene NVE målte inn etter flommen 16.september 2015 gjengitt. I forbindelse med at AVB ønsket å verifisere vannføringskurven som ble målt i 1987, ble vannføringen målt med ADCP og vannstandene registrert ved 8 tverrprofiler i desember 2000⁷. Vannføringen var ble da målt til ca. 580 m³/s og ca. 680 m³/s.

Tabell 2-4: Kalibreringsdata som er benyttet for modellen.

Tverrprofil	Navn	1987-flommen	2015-flommen
		(m.o.h.)	(m.o.h.)
57	Nel-2	43.36	
47	Nel-1	42.66	42.67
39	Are-11	42.36	42.50
37	Are-10	42.26	42.16
32	Are-9	41.96	42.00
30	Are-8	41.86	41.96
14	Are-5	41.56	41.48
24	Are-6	41.56	41.53
27	Are-7	41.56	41.81
12	Are-4	41.46	41.48
9	Are 2 & 3	41.06	
5	Are-1	40.46	
1	Dam Rygene	38.16	38.29

3 Hydrauliske beregninger

Det er utført vannlinjeberegninger ved bruk av dataprogrammet Hec-Ras 5.0.3, som er utviklet av U.S. Army. Modellen beregner en endimensjonal og stasjonær strømningstilstand der energimetoden eller momentmetoden benyttes for å beregne vannlinjen fra et tverrsnitt til det neste. Vannlinjen beregnes ved hjelp av energimetoden der det er en gradvis varierende vannlinje. Dersom vannlinjen går gjennom kritisk, eller varierer brått, som ved et vannstandssprang eller i et brutversnitt, vil momentmetoden benyttes.

Samme vannmengde kan strømme *rolig* eller *strykende*, med to forskjellige vanndyp avhengig av bunnhelning, forholdene oppstrøms og nedstrøms og energiforholdene. Rolig strømning kalles også *underkritisk*, mens strykende strømning kalles *overkritisk*. Ved en overgang mellom disse to situasjonene sier vi gjerne at ”dybden går gjennom kritisk.” Dersom vannlinjen går gjennom kritisk vil modellen bytte til momentmetoden, som benytter seg av kraftbalanse og kontinuitet mellom to tverrsnitt. I likhet med energimetoden, tas det utgangspunkt i at dybden i et tverrsnitt er kjent.

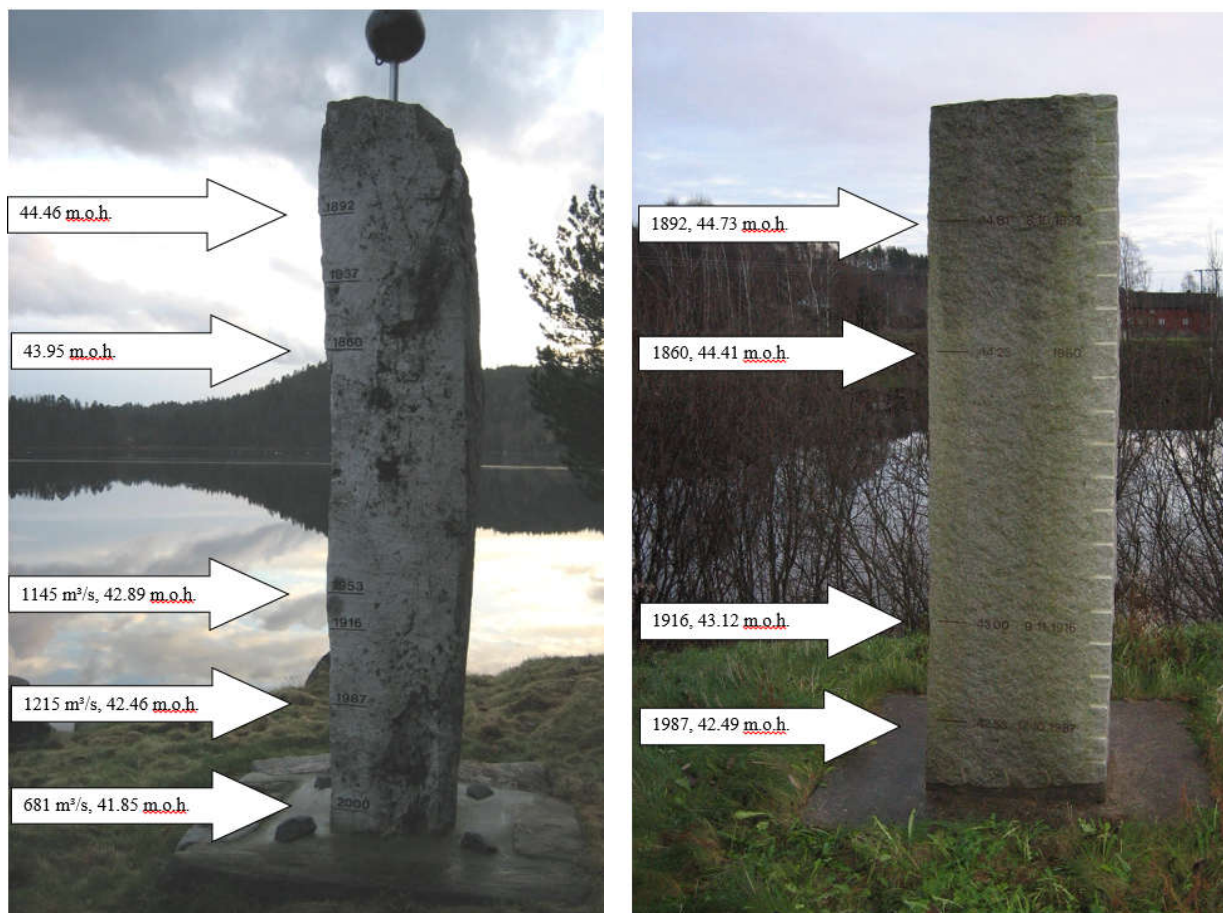
Nødvendige inngangsdata er tverrprofilgeometri, ruhet og vannføring. Ruheten beskrives ved Manning's n-tall, der lave n-verdier representerer lavest ruhet. Nøyaktigheten til modellen bestemmes av flere forhold, der samsvar mot kalibreringsdata for flommer med høye gjentakintervall er den beste måleparameteren. For å få en nøyaktig modell må den derfor krever derfor kalibreres mot gode vannstandsobservasjoner for flommer med høye gjentakintervall.

3.1 Spesielt om Trevann

På kartlagt strekning står det flomstøtter ved Trevann og Reiersøl, se Figur 3-1. I Tabell 3-1 under er markerte flomnivå for flommer som er registrert på begge flomstøttene lagt inn. I tillegg er kulminasjonsvannstandene for flommene i 2015 og 2017 lagt inn. Flommene på 1800-tallet var vesentlig høyere ved Reiersøl enn ved Trevann, mens forskjellen i flomvannstander på 1900- og 2000-tallet er mye mindre. Endringen skyldes at fossene ved Rossøya ble senket i 1922-1925 for å redusere flomfaren.

Tabell 3-1: Tabell over avmerkede vannstander på flomstøttene ved Trevann og Reiersøl med samhørende døgnmiddelvannføringer. Høydesystem: NN2000.

	Trevann	Reiersøl	19.127 Rygene total	19.36 Evenstad
År	m.o.h.	m.o.h.	m ³ /s	m ³ /s
1860	43.95	44.41		
1892	44.46	44.73		
1987	42.46	42.49	1215	1000
2015	42.26	42.08	810	
2017	42.63		860	



Figur 3-1: Flomstøttene ved Trævatn (t.v.) og Reiersøl (t.h.). På flomstøtten ved Reiersøl er flomhøydene skrevet på flomstøtta i NN1954 høydesystem. Påskrevne høyder på bildet er i NN2000 høydesystem og er innmålte etter merkene på flomstøtta. Vannføringene er hentet fra målestasjonene til NVE.

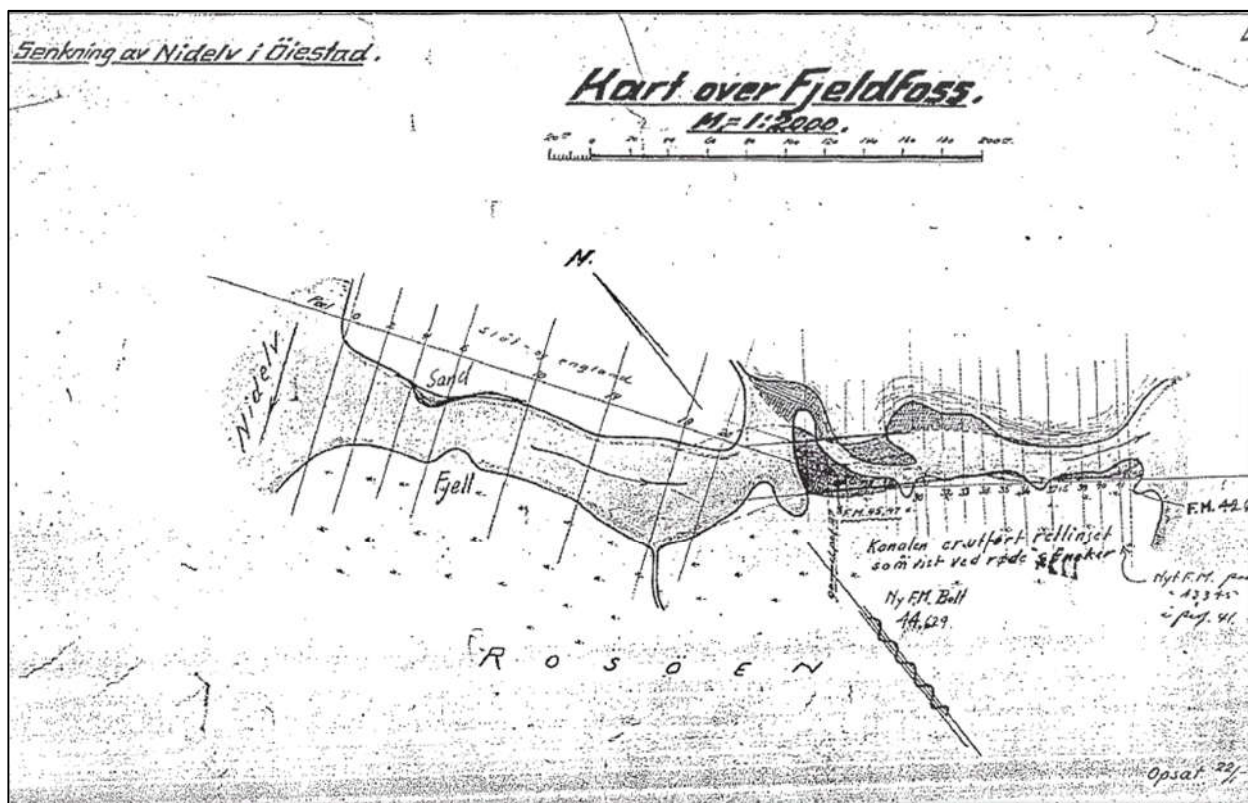
Ved Høllen ligger en gammel nedlagt tømmerkistedam, se Figur 3-2. Etter flommen i 2017 fortalte vassdragsteknisk ansvarlig (VTA) Knut Nilsen i Agder Energi, at en stor seksjon av denne dammen gikk til brudd. Tidligere har denne dammen hatt mindre kapasitet, slik at den har hatt en flomdempende effekt på spisse flommer.



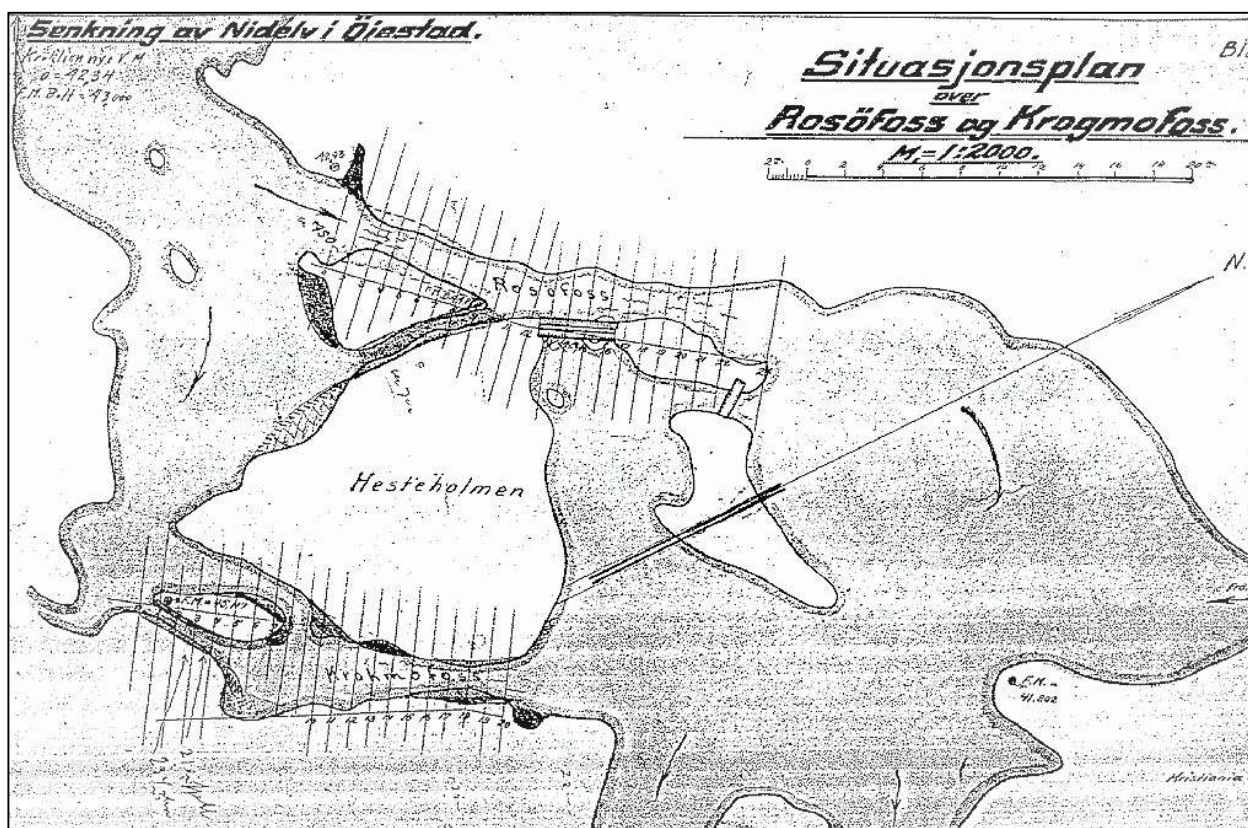
Figur 3-2: Restene av tømmerkistedammen ved Høllen sett tvers over elven. Bildet er tatt fra v.s. sett nedstrøms elven.

3.2 Sikringstiltak - senkning av Nidelv

På nordsiden av Rossøya ligger Fjellfoss, som er et bestemmende profil som ble senket i 1922-25, se Figur 3-3. Sør for Rossøya ligger Hestholmen, som har de bestemmende profilene ved Krogmofoss på sørsiden og Røysfoss på nordsiden, se Figur 3-4. Før sikringstiltakene steg vannstanden her med 4-6 m ved flom. Så tidlig som i 1860-årene ble det arbeidet for å få senket fossene. I 1880-årene utførte Kanalvesenet omfattende undersøkelser som i 1886 munnet ut i en plan for senkning av elveløpet, slik at vannstanden i ettertid bare skulle stige 2-2.5 meter ved de største flommene (Tiltak i vassdrag, VT-planer nr. 611). Denne store senkningsplanen ble ikke gjennomført pga. de store kostnadene og på grunn av de forventede skadelige virkningene ved Mæsel bom og Blakstad bru. I 1920 la Vassdragsvesenet frem en redusert plan for senkning av skadeflommer ved Lintveit med ca. 1.0 m. Senkningen av Nidelv i Øyestad (plan av 26. april 1920) ble utført i 1922-25 som nødsarbeid. I Fjellfossen ble det sprengt en 55 m lang kanal og gjort noe opprenskingsarbeid. I Røysfoss ble det sprengt og rensket opp. I Krogmofoss ble det rensket i tillegg til at de nederste 50 m ble utvidet. Det er målt ca. 1 m senkning ved Krokli; Tørvolt og Lintveit etter senkningen for vannføringer på ca. 550 m³/s.



Figur 3-3: Forenklet plan fra 1920 for senkning av Fjellfossen for å redusere skadeflommer fra 1920. Denne ble utført fra 1922-25 som nødsarbeid.



Figur 3-4: Forenklet plan fra 1920 for senkning av elveløpet for å forbedre flomforholdene for Røysfoss og Krogmofoss.

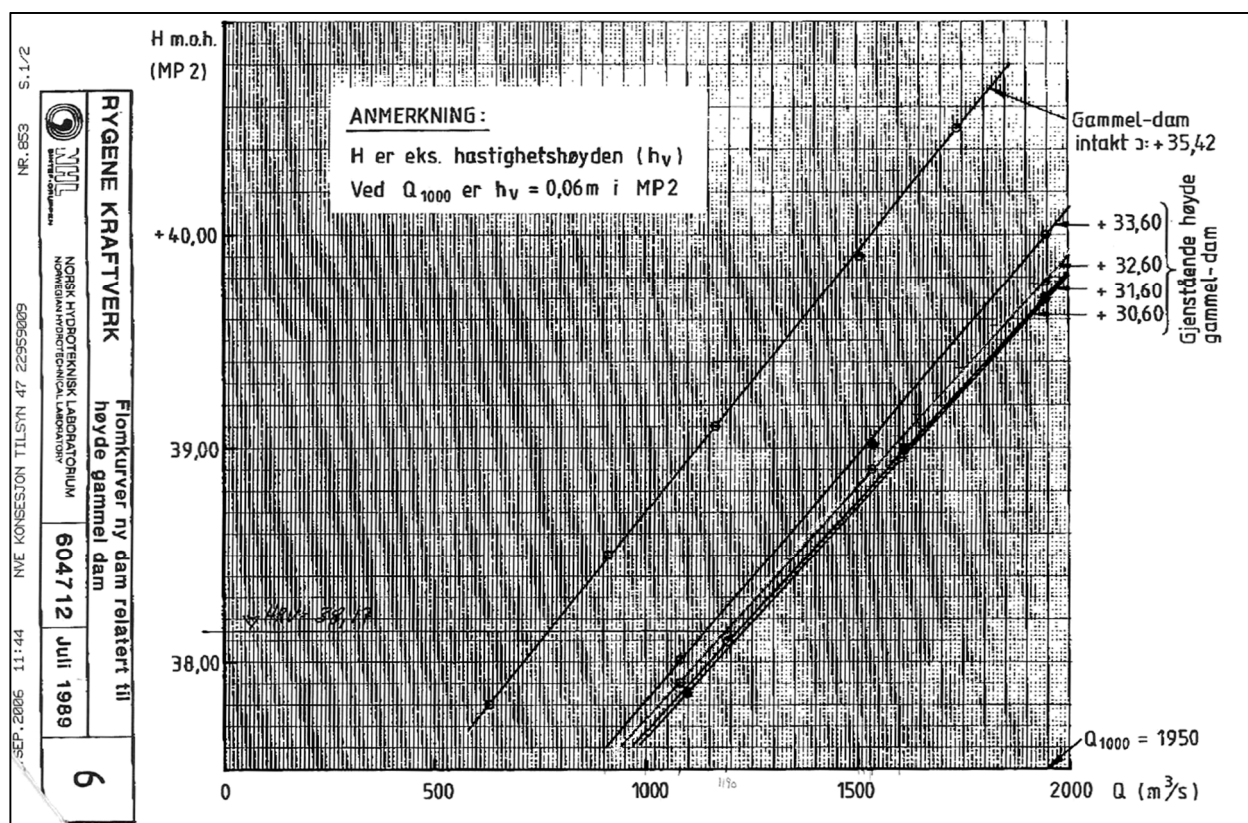
3.3 Spesielt om Rore

Inn- og utstrømning fra Rore ble sett nærmere på i NHLs rapport *Nedre Nidelva, Hydrologiske og hydrauliske forhold*⁸ (Vaskinn, 1989). Etter drøfting med Audun Bjørkenes i Agder energi, er det forutsatt at Rore/Syndlesystemet ikke påvirker Nidelva under flomkulminasjonen, dvs. det antas at kommunikasjonen mellom Nidelva og Rore gjennom Bjørsund er i balanse og at det ikke er vannstrømning verken den ene eller andre veien, slik forholdene var under flommen høsten 1987.

3.4 Nedre grensebetingelse

Avløpskurven for dammen ved Rygene er lagt inn i modellen som nedre grensebetingelse. Dammen har 4 flomluker i tillegg til kraftverket, slik at vannstanden i magasinet kan reguleres. Flomkurven for Rygene dam gir en avledningskapasitet på $1950 \text{ m}^3/\text{s}$ ved vannstand $H=40.00$, se Figur 3-5. Høydene på flomkurven er oppgitt i NVE-høyde, som i dette området regnes om til NN1954-høyder må en legge til 0.1 m. NN1954 høyder kan regnes om til NN2000-høyder ved å trekke fra 0.04 m.

NVE legger til grunn at magasinet kan reguleres som normalt inntil en 50årsflom, men at det for større flommer skal regnes med at kraftverket står og at omløp er stengt. Slukeevnen til turbinen ved Rygene kraftverket er på $170 \text{ m}^3/\text{s}$, mens tappekapasiteten til bunnlukene er beregnet til $180 \text{ m}^3/\text{s}$. Ved HRV er tappekapasiteten ca. $1230 \text{ m}^3/\text{s}$, uten drift i kraftstasjon eller med tapping via bunnluker (korrespondanse Knut Nilsen, Agder Energi). Avløpskurven er merket med + 33.60 i Figur 3-5 er derfor brukt direkte som nedre grensebetingelse i modellen. Flomkurven er interpolert lineært fra $0 \text{ m}^3/\text{s}$ ved terskelhøyden til flomlukene, som er 33.66m.o.h., til $900 \text{ m}^3/\text{s}$ som er laveste punkt på flomkurven (avlest til 37.86m.o.h.).



Figur 3-5: Flomhøyder for ny dam relatert til høyde gammel dam ved Rygene kraftverk. Høydene på figuren er NVE-høyder og HRV på figuren er 38.17. For å regne om NVE-høydene til NN1954-høyder må en legge til 0.1 m. NN1954-høyder kan i dette området konverteres til NN2000-høyder ved å trekke fra 0.04 m. Gjeldene kurve på figuren er kurven som er merket +33.60.

3.5 Kalibrering

Vannlinjemodellen bør kalibreres mot en eller flere flommer i vassdraget, da dette er med på å redusere usikkerheten i beregningene. Modellen er kalibrert mot 4 ulike flommer, der den minste flommen er ca.

5årsflom og største flom er ca. 50årsflom. Resultatet av kalibreringen viser at modellen gir godt samsvar for alle observerte flommer. Gjennomsnittlig avvik hhv. 8 cm, og 0 cm, 24 cm og 13 cm for 1987-flommen, 2015-flommen, 680 m³/s og 580 m³/s.

Under flommen i 1987 var døgnvannføringen ved 19.127 Rygene målestasjon 1215 m³/s, mens den var 1000 m³/s ved 19.36 Evenstad. Det er valgt å bruke vannføringen for 19.127 Rygene i kalibreringen.

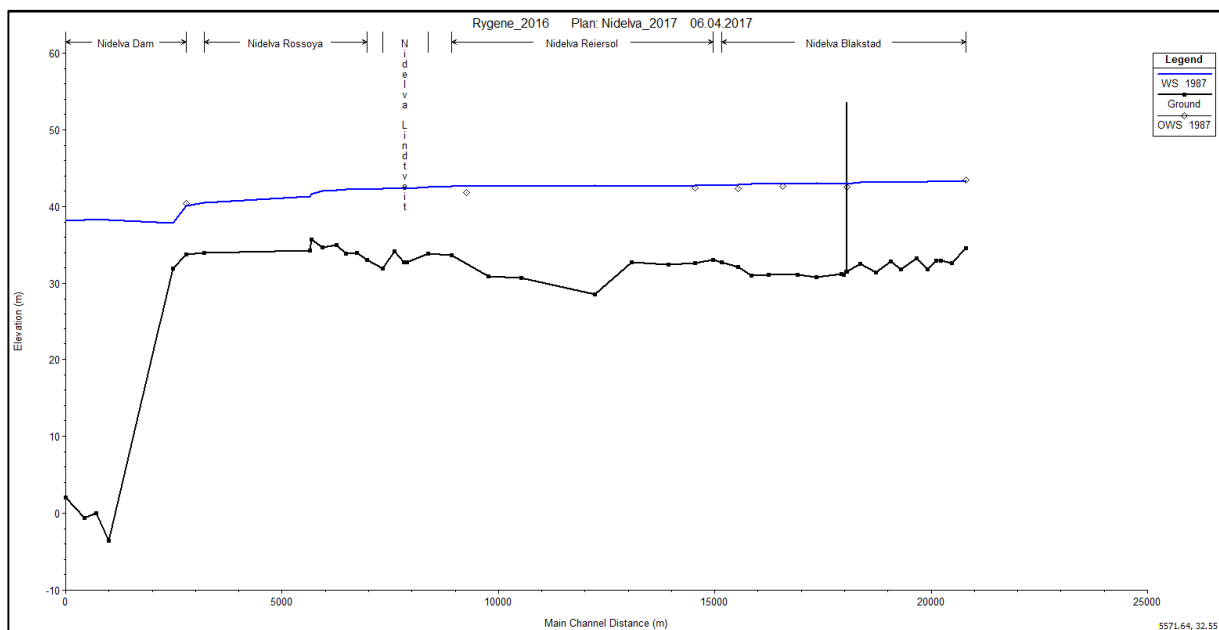
Under arbeidet med kalibreringen ble det klart at noen bestemmende tverrprofil ikke var tilstrekkelig oppmålt i modellen. Vannstandene i modellen på strekningen oppstrøms Rossøya, bestemmes ved flom av kapasiteten til noen bestemmende tverrprofil (innsnevringer i elveløpet) ved Rossøya, som medfører oppstuvning på hele strekningen. Under arbeidet med kalibreringen viste det seg å være nødvendig å justere bunnen av noen tverrprofil manuelt. Dette gjelder spesielt tverrprofil 5 og 6 på strekning *Dam*, profil 9 på strekning *Rossøya (Nidelv)* og profil 16 ved *Rossøya (Rossøya, kanalen)*.

Fordi kalibreringsdata viste for lave vannstander for lave vannføringer og høye vannstander ved høye vannføringer, måtte ruheten justeres med vannføringen. Dette er gjort ved å legge inn *Flow Roughness Change Factors* på strekningene *Blakstad*, *Reiersol*, *Lindtveit* og *Dam*, se tabell under.

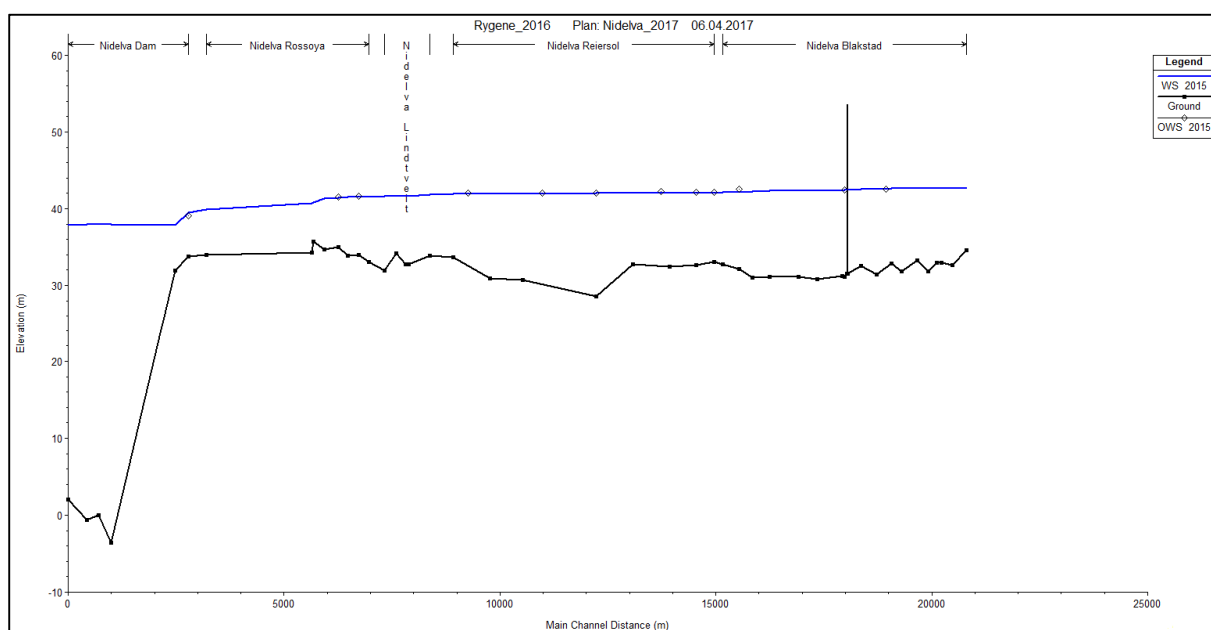
Tabell 3-2: Verdier for *Flow Roughness Factorer* brukt i modellen.

<i>Vannføring</i>	<i>Roughness Factor</i>
583.	2.5
670.4	1.8
771.0	1.6
886.7	1.2
1019.7	1.0

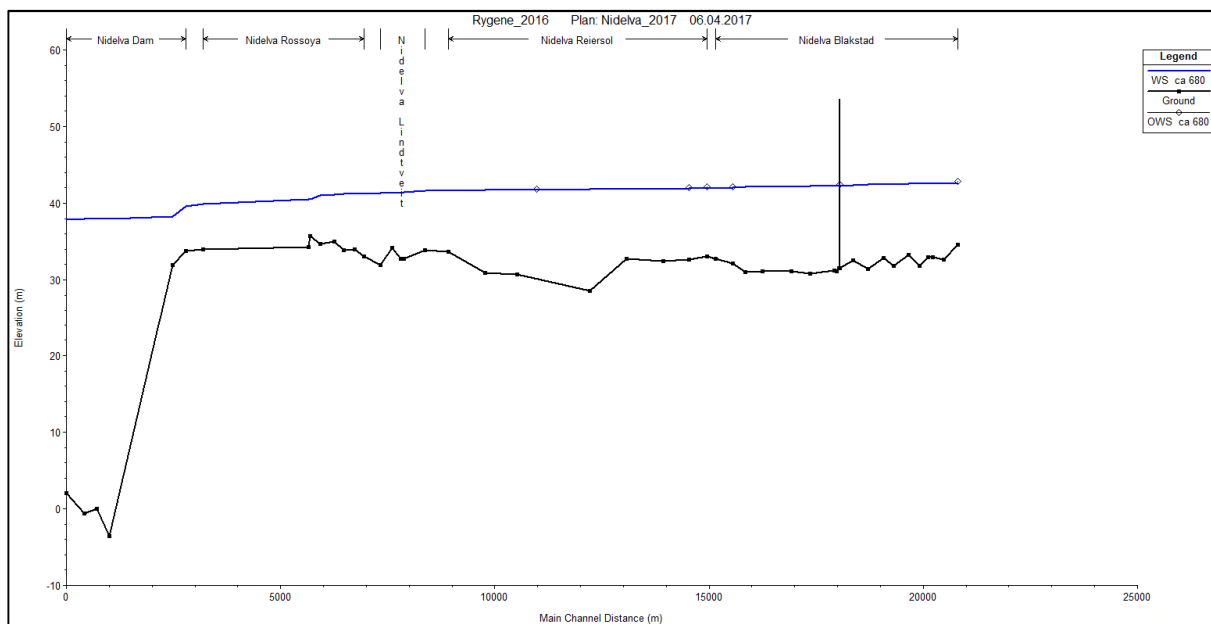
Gjennomsnittlig Manning's n-tall n for selve elveleiet er 0.03, mens det for elveslettene ble 0.032. Høyeste og laveste n-tall er hhv. 0.06 og 0.02.



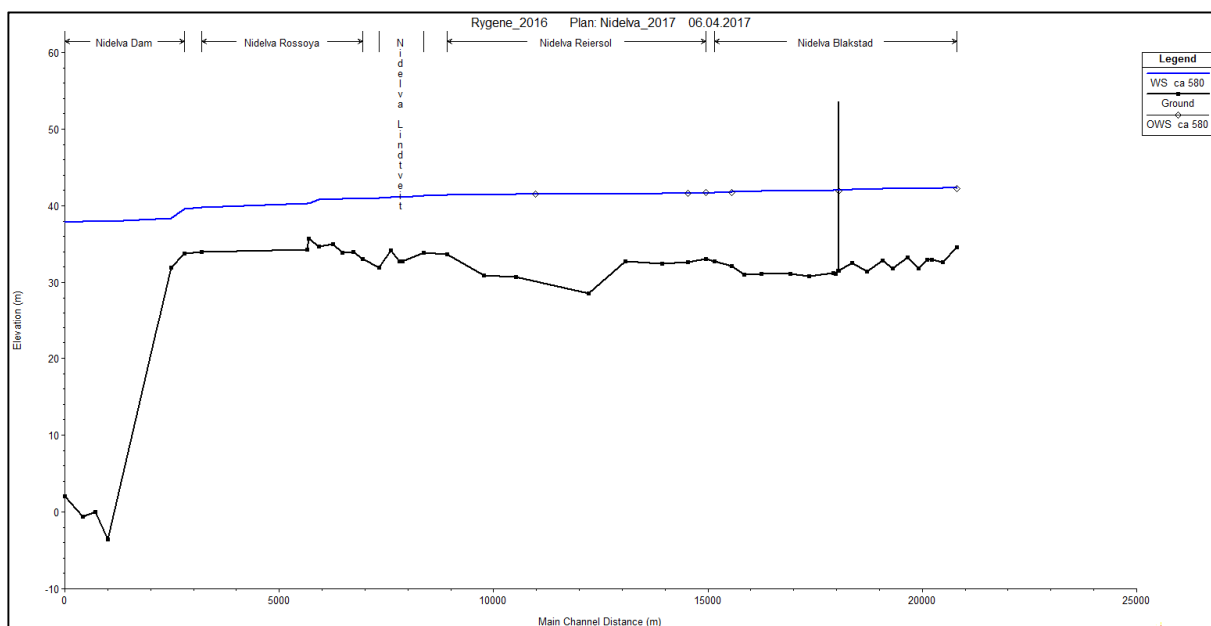
Figur 3-6: Lengdeprofil med beregnet vannlinje og observerte data for 1987-flommen. Vannføringen er beregnet til 1215 m³/s, som tilsvarer omtrent en 100årsflom.



Figur 3-7: Lengdeprofil med beregnet vannlinje og observerte data for 2015-flommen. Vannføringen er målt til 906 m³/s, som tilsvarer omtrent en 20 – 50årsflom.



Figur 3-8: Lengdeprofil med beregnet vannlinje og observerte data for vannføringen på ca. 680m³/s, som omtrent tilsvarer en 10-20årsflom.



Figur 3-9: L Lengdeprofil med beregnet vannlinje og observerte data for vannføringen på ca. 580m³/s, som omtrent tilsvarer en 10årsflom.

3.6 Vannlinje

Det er utført vannlinjeberegninger for flommer med gjentakintervall middelflom, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 år, samt 200 år i et endret klima i år 2100. I tillegg er normalvannføringen beregnet, som er middels avrennings for perioden 1961-1990. Modellen er kjørt med stasjonær vannføring, under forutsetning at en har underkritisk strømning på hele strekningen. Dette er kontrollert ved Froude tallet, som er under 1 på hele strekningen.

På flomsonekartet er også tverrprofil 68 tegnet inn. Dette er et fiktivt profil med samme vannstand som tverrprofil 67 brukt i kartanalysen for å beregne oversvømt areal ved Trevann.

Tabell 3-3: Beregnede vannstander for Rygene (NN2000). I tabellen angir Q gjentaksintervallet der N står for Normalvannføring, M for Middelflommen og Q200K er 200årsflommen i år 2100.

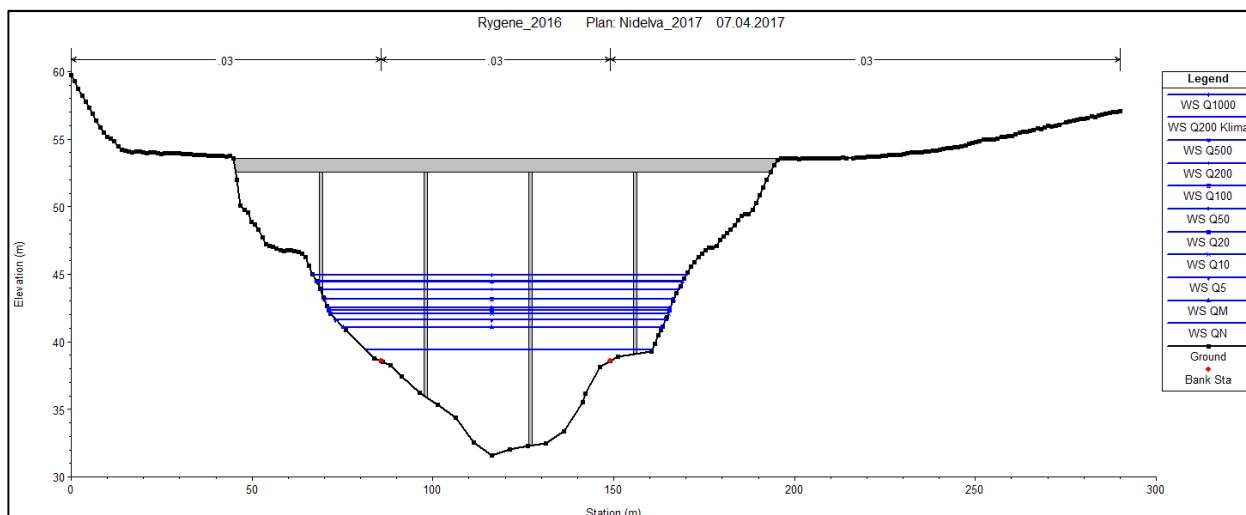
Tverrprofil	QN	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q200K
Nidelva	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	38.3	38.3	38.3	38.3	38.3	38.3	38.6	39.2	39.9	40.5	40.0
2	38.3	38.4	38.4	38.4	38.5	38.6	38.9	39.6	40.3	40.9	40.3
3	38.3	38.4	38.4	38.4	38.5	38.6	38.9	39.6	40.3	40.9	40.3
4	38.3	38.4	38.4	38.4	38.4	38.5	38.8	39.4	40.1	40.7	40.2
5	38.3	38.4	38.4	38.3	38.2	37.9	37.9	38.5	39.1	39.7	39.2
6	38.4	39.2	39.5	39.6	39.6	39.7	40.2	40.7	41.3	41.8	41.4
7	38.4	39.4	39.7	39.9	40.1	40.3	40.8	41.4	42.0	42.5	42.0
8	38.5	39.5	39.8	40.1	40.2	40.4	40.9	41.4	41.9	42.4	41.9
9	38.8	40.1	40.4	40.7	41.0	41.4	41.9	42.5	43.0	43.5	43.1
10	38.9	40.4	40.7	41.1	41.4	41.8	42.3	42.8	43.4	43.9	43.4
11	38.9	40.4	40.8	41.1	41.4	41.9	42.4	42.9	43.5	43.9	43.5
12	39.0	40.5	40.8	41.2	41.5	42.0	42.5	43.0	43.6	44.0	43.6
13	39.0	40.5	40.8	41.2	41.5	42.0	42.5	43.0	43.6	44.1	43.7
14	39.0	40.5	40.8	41.2	41.5	42.0	42.5	43.0	43.6	44.1	43.7
25	39.0	40.6	40.9	41.3	41.6	42.1	42.6	43.1	43.7	44.1	43.7
26	39.0	40.6	41.0	41.3	41.6	42.1	42.6	43.2	43.7	44.1	43.7
27	39.0	40.6	41.0	41.3	41.6	42.0	42.6	43.1	43.6	44.1	43.7
28	39.0	40.6	41.0	41.4	41.6	42.0	42.6	43.1	43.6	44.0	43.6
29	39.0	40.7	41.1	41.5	41.8	42.2	42.7	43.3	43.9	44.3	43.9
30	39.0	40.8	41.2	41.5	41.8	42.2	42.8	43.3	43.9	44.4	43.9
31	39.0	40.8	41.2	41.6	41.9	42.2	42.8	43.4	43.9	44.4	44.0
32	39.0	40.8	41.2	41.6	41.9	42.2	42.8	43.4	43.9	44.4	44.0
33	39.0	40.9	41.3	41.7	41.9	42.3	42.9	43.5	44.0	44.5	44.1
34	39.0	40.9	41.3	41.7	41.9	42.3	42.9	43.4	44.0	44.5	44.0
35	39.0	40.9	41.3	41.7	42.0	42.3	42.9	43.4	44.0	44.5	44.0
36	39.0	40.9	41.4	41.8	42.0	42.4	43.0	43.5	44.1	44.6	44.1
37	39.0	40.9	41.4	41.8	42.0	42.3	42.9	43.5	44.1	44.5	44.1
38	39.1	41.0	41.5	41.8	42.1	42.4	43.0	43.6	44.2	44.7	44.2
39	39.1	41.0	41.5	41.9	42.1	42.4	43.0	43.6	44.2	44.6	44.2
40	39.1	41.1	41.6	42.0	42.2	42.5	43.1	43.7	44.3	44.8	44.4
41	39.1	41.1	41.6	42.0	42.3	42.5	43.2	43.8	44.4	44.8	44.4
42	39.1	41.1	41.6	42.1	42.3	42.6	43.2	43.8	44.4	44.9	44.4
43	39.1	41.1	41.7	42.1	42.4	42.6	43.3	43.9	44.5	45.0	44.5
44	39.1	41.2	41.7	42.1	42.4	42.6	43.2	43.8	44.4	44.9	44.5
45	39.1	41.2	41.7	42.1	42.4	42.6	43.2	43.9	44.5	45.0	44.5
46	39.1	41.2	41.7	42.1	42.4	42.6	43.2	43.8	44.4	44.9	44.5
47	39.1	41.2	41.7	42.2	42.4	42.6	43.2	43.8	44.4	44.9	44.5
48	39.1	41.2	41.8	42.2	42.5	42.7	43.4	44.0	44.6	45.1	44.7
49	39.1	41.3	41.8	42.3	42.5	42.8	43.4	44.0	44.7	45.2	44.7
50	39.1	41.3	41.9	42.3	42.6	42.8	43.4	44.1	44.8	45.3	44.8

51	39.1	41.3	41.9	42.3	42.6	42.8	43.5	44.1	44.8	45.3	44.8
52	39.1	41.3	41.9	42.4	42.6	42.8	43.5	44.1	44.8	45.3	44.8
53	39.1	41.3	41.9	42.4	42.7	42.9	43.5	44.2	44.9	45.4	44.9
54	39.1	41.3	41.9	42.4	42.7	42.9	43.5	44.2	44.8	45.4	44.9
55	39.1	41.3	41.9	42.4	42.7	42.9	43.5	44.2	44.8	45.4	44.9
56	39.1	41.3	41.9	42.4	42.7	42.9	43.5	44.2	44.9	45.4	44.9
57	39.1	41.4	41.9	42.4	42.7	42.8	43.5	44.2	44.8	45.4	44.9
Rore	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
70	39.0	40.7	41.2	41.5	41.8	42.3	42.8	43.4	44.0	44.4	44.0
71	39.0	40.7	41.2	41.5	41.8	42.3	42.8	43.4	44.0	44.4	44.0
72	39.0	40.7	41.2	41.5	41.8	42.3	42.8	43.4	44.0	44.4	44.0
73	39.0	40.7	41.2	41.5	41.8	42.3	42.8	43.4	44.0	44.4	44.0
74	39.0	40.7	41.2	41.5	41.8	42.3	42.8	43.4	44.0	44.4	44.0
Rossoya	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
15	38.5	39.6	39.9	40.1	40.3	40.4	41.0	41.5	42.1	42.6	42.1
16	38.5	39.6	39.9	40.1	40.3	40.4	40.9	41.5	42.1	42.6	42.1
17	38.5	39.6	39.9	40.2	40.3	40.5	41.0	41.5	42.1	42.6	42.1
18	38.5	39.6	39.9	40.2	40.3	40.5	41.0	41.6	42.1	42.6	42.2
19	38.6	39.6	39.9	40.2	40.3	40.5	41.1	41.6	42.2	42.7	42.2
20	39.0	39.5	39.7	39.9	40.0	40.3	40.5	40.8	41.0	41.1	41.0
21	39.2	40.0	40.3	40.5	40.7	41.1	41.4	41.8	42.0	42.1	42.0
22	39.3	40.4	40.7	41.0	41.2	41.7	42.2	42.8	43.4	43.9	43.5
23	39.3	40.5	40.8	41.2	41.5	42.0	42.5	43.1	43.6	44.1	43.7
24	39.3	40.5	40.9	41.2	41.6	42.1	42.6	43.1	43.7	44.1	43.7
Trevann	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
38	39.1	41.0	41.5	41.8	42.1	42.5	43.1	43.7	44.3	44.8	44.3
60	39.1	41.0	41.5	41.8	42.1	42.5	43.1	43.7	44.3	44.8	44.3
61	39.1	41.0	41.5	41.8	42.1	42.5	43.1	43.7	44.3	44.8	44.3
62	39.1	41.0	41.5	41.8	42.1	42.5	43.1	43.7	44.3	44.8	44.3
63	39.1	41.0	41.5	41.8	42.1	42.5	43.1	43.7	44.3	44.8	44.3
64	39.1	41.0	41.5	41.8	42.1	42.5	43.1	43.7	44.3	44.8	44.3
65	39.1	41.0	41.5	41.8	42.1	42.5	43.1	43.7	44.3	44.8	44.3
66	39.1	41.0	41.5	41.8	42.1	42.5	43.1	43.7	44.3	44.8	44.3
67	39.1	41.0	41.5	41.8	42.1	42.5	43.1	43.7	44.3	44.8	44.3

3.7 Spesielt om broer og kulverter

Dersom vannet kommer i kontakt med brubjelken, vil den hydrauliske kapasiteten til bruene reduseres som følge av den økte friksjonen. I tillegg kan drivgods som transporteres med elven sette seg fast i bruene og medføre at den hydrauliske kapasitet reduseres ytterligere.

Det er tre bruene på den aktuelle strekningen, Furre bru fra Frivoll til Skogli langs Rv172 like oppstrøms profil 9 (Are-9), Blakstad bru like nedstrøms profil 12 (Nel-1) og Træsnes bro ved Sundet inn mot Trevann langs Rv161. Blakstad bru ved fylkesvei 42 er lagt inn i modellen, mens de andre bruene vurderes til ikke å påvirke vannlinjen og er derfor ikke lagt inn i modellen.



Figur 3-10: Blakstad bru slik den er modellert i HEC-RAS 5.0.3.



Figur 3-11: Blakstad bru like nedenfor tverrprofil 12 (Nel-1).

3.8 Spesielt om hydrauliske konstruksjoner

Under befaringen ble det oppdaget flere store fundament i Nidelven. Det ble vurdert at disse hadde liten effekt på vannstandene ved flom. Under flommen i september 2015 ønsket en å verifisere effekten av de hydrauliske konstruksjonene. Figur 3-12 viser at effekten av brufundamentet er neglisjerbar.



Figur 3-12: Bilde tatt av brufundamentet under flommen i 17.september 2015. Foto: NVE. En ser at brukarene har minimal effekt på vannlinjen selv ved relativt høy vannføring.

3.9 Sensitivitetsanalyse

Det er utført beregninger for å vurdere hvor sensitiviteten modellen er for 200-årsflommen. Effekten av å øke ruheten og vannføringen med 20 % er beregnet, i tillegg til at energilinen (hastighetshøyden) er vurdert for 200årsflommen. Hastighetshøyden er vannets potensielle energi, som tilsvarer hvor høyt vannet vil kunne stige dersom vannet treffer en hindring som gjør at vannhastigheten blir null.

Sensitivitetsanalysen for 200årsflommen viser at vannlinjen i gjennomsnitt øker med hhv. 33 cm og 64 cm for 20% økning i ruhet og vannføring. Energilinen er i gjennomsnitt 17 cm høyere enn vannlinjen for 200årsflommen.

3.10 Vannhastighet

I tillegg til vannhøyder og vanndybder, beregner numeriske modeller hvilke vannhastigheter en får i elva ved flom. Nøyaktigheten til vannhastigheten er avhengig av blant annet hvilken type modell en benytter. Felles for vannhastighetene er at de er heftet med forholdsvis stor usikkerhet. I en naturlig elv er det store lokale variasjoner i hastighet fra elvebredd til djupål (det dypeste løpet i en bekk eller elv), og tilsvarende fra overflaten til elvebunnen. Mange modeller kan ikke beskrive disse variasjonene. En velger likevel å oppgi beregnet vannhastighet, for slik å kunne identifisere elvestrekninger med høy vannhastighet. Verdien er ikke egnet til å dimensjonere sikringstiltak, steinstørrelser osv. uten videre vurderinger av vassdragstekniker.

Tabell 3-4: Beregnede vannhastigheter i elveløpet ved ulike gjentakintervall for Rygene. I tabellen angir Q gjentakintervallet der N står for Normalvannføring, M for Middelflommen og Q200K er 200årsflommen i år 2100.

Tverrprofil	QN	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q200K
Nidelva	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
1	0.2	0.9	1.1	1.4	1.6	2.1	2.5	2.7	2.7	2.8	2.7
2	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4
3	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4

4	0.2	0.7	0.9	1.1	1.3	1.7	2.0	2.3	2.4	2.5	2.4
5	0.4	1.8	2.2	2.8	3.4	4.7	5.9	6.1	6.2	6.2	6.2
6	0.4	1.2	1.4	1.6	1.9	2.4	2.6	2.8	2.9	3.0	2.9
7	0.2	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1
8	0.9	2.2	2.4	2.7	3.1	3.6	3.9	4.2	4.4	4.5	4.4
9	1.4	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5
10	0.3	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8
11	0.5	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6	1.7	1.6
12	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1
13	0.2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3
14	0.5	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.5	1.5	1.5
25	0.2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4
26	0.2	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4
27	0.4	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2	2.3	2.2
28	0.4	1.0	1.2	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.4
29	0.2	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.6	1.4	1.4	1.4
30	0.2	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4
31	0.1	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.2
32	0.2	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
33	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.0
34	0.2	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.5
35	0.3	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.0	2.1	2.0
36	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.5
37	0.3	0.8	0.9	1.1	1.2	1.5	1.7	1.8	2.0	2.1	2.0
38	0.2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.4	1.5	1.4
39	0.3	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.3	2.2
40	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.4
41	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4	1.5	1.4
42	0.2	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	1.6
43	0.1	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.0
44	0.3	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2	2.1
45	0.3	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.0
46	0.3	0.9	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.4
47	0.3	0.9	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.4
48	0.2	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	1.7
49	0.2	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	1.7
50	0.2	0.5	0.6	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
51	0.1	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.1
52	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.3
53	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
54	0.1	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.1
55	0.2	0.5	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
56	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.3
57	0.5	1.0	1.1	1.2	1.3	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	2.1

Rore	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
71	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
73	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
74	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rossoya	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
15	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
16	0.0	0.3	0.5	0.6	0.8	1.1	1.3	1.4	1.3	1.2	1.3
17	0.0	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2
18	0.0	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
19	0.2	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
20	0.2	3.1	3.7	4.2	4.6	5.2	5.8	6.4	7.0	7.5	7.0
21	0.5	2.7	3.0	3.4	3.8	4.2	4.7	5.2	6.1	6.8	6.2
22	0.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.5	2.7	2.9	2.5	2.3	2.5
23	0.0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.5	1.3	1.2	1.3
24	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9
Trevann	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
38	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
60	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
61	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
62	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
63	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
64	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
65	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
66	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
67	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1

4 Flomsonekart

Flomsonekartene presenterer de høyeste vannstandene for et gitt gjentaksintervall, uavhengig av om de skyldes flom i elva eller ekstremvannstand sjø.

4.1 Resultat fra flomsoneanalysen

Resultatet fra flomsoneanalyser viser at en del bebyggelse og infrastruktur ligger utsatt til for flommer fra og med 20års gjentaksintervall. Selv om våre kartanalyser ikke viser at veien oversvømmes som følge av flom i Nidelva, kan veien likevel være ufremkommelig pga. tette kulverter eller flommer i sideelver.

4.1.1 20-årsflom

Ved en 20-årsflom vil Fv55 og Fv181, samt flere kommunale adkomstveger, oversvømmes stedvis som følge av flom i Nidelva.

Ifølge våre analyser vil 29 bygg berøres av 20-årsflommen. Oversvømt areal vil hovedsakelig være jordbruksareal og skog.

4.1.2 200-årsflom

Ved en 200-årsflom vil i tillegg Fv42, Fv161, Fv172, Fv173 og Fv408, samt flere kommunale adkomstveger, stedvis oversvømmes som følge av flom i Nidelva.

Ifølge våre analyser vil 152 bygg berøres av 200-årsflommen. Utbredelsen av en 200-årsflom vil være vesentlig større enn for en 20-årsflom, spesielt nedenfor samløpet fra Trevann.

4.1.3 1000-årsflom

Ved en 1000-årsflom vil i tillegg Fv34, Fv151, Fv174 og Fv185, samt flere kommunale adkomstveger, oversvømmes stedvis som følge av flom i Nidelva.

Ifølge våre analyser vil 251 bygg berøres av 1000-årsflommen. Flere bygninger vil berøres av flommen, men utstrekningen av flomsone vil ikke øke like mye som fra 20- til 200-årsflommen.

Ved en 1000-årsflom viser flomsoneanalysen at vannstanden i magasinet ved Rygene dam vil være litt høyere enn dagens terreng ved lavbrekket like nord for Rygene dam. Noe vann vil derfor kunne renne ut av magasinet der og videre nedover Sandbergveien.

4.1.4 200-årsflom med klimaendringer i år 2100

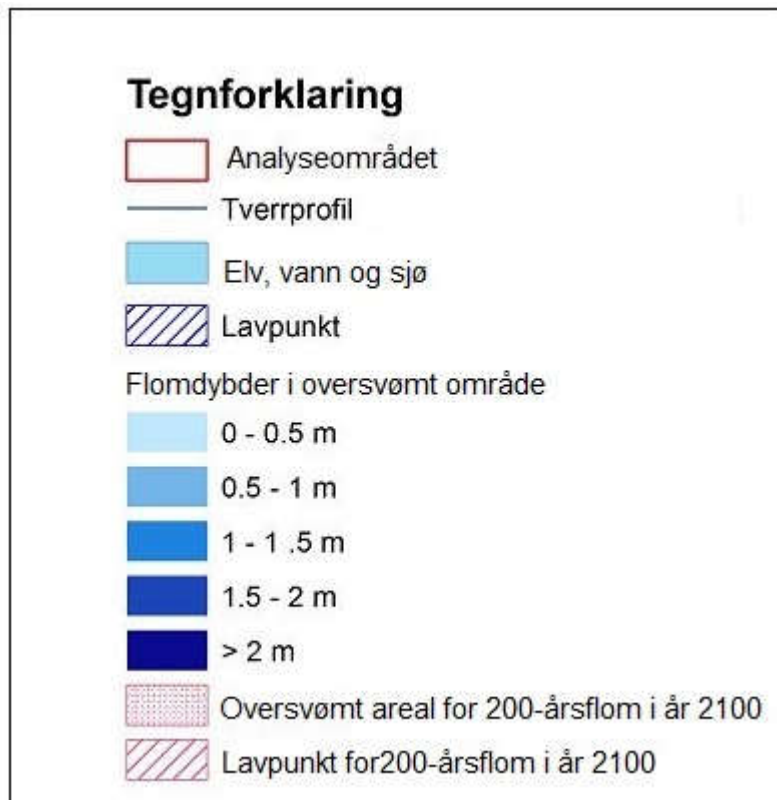
Ifølge våre analyser vil 200 bygg berøres av 200-årsflommen med klimaendringer i år 2100. I tillegg til de veiene som oversvømmes ved dagens 200-årsflom, vil Fv174 og noen flere kommunale adkomstveger oversvømmes stedvis som følge av flom i Nidelva.

Klimaframskrivningene tilsier at dagens 500-årsflom vil være en 200årsflom i år 2100.

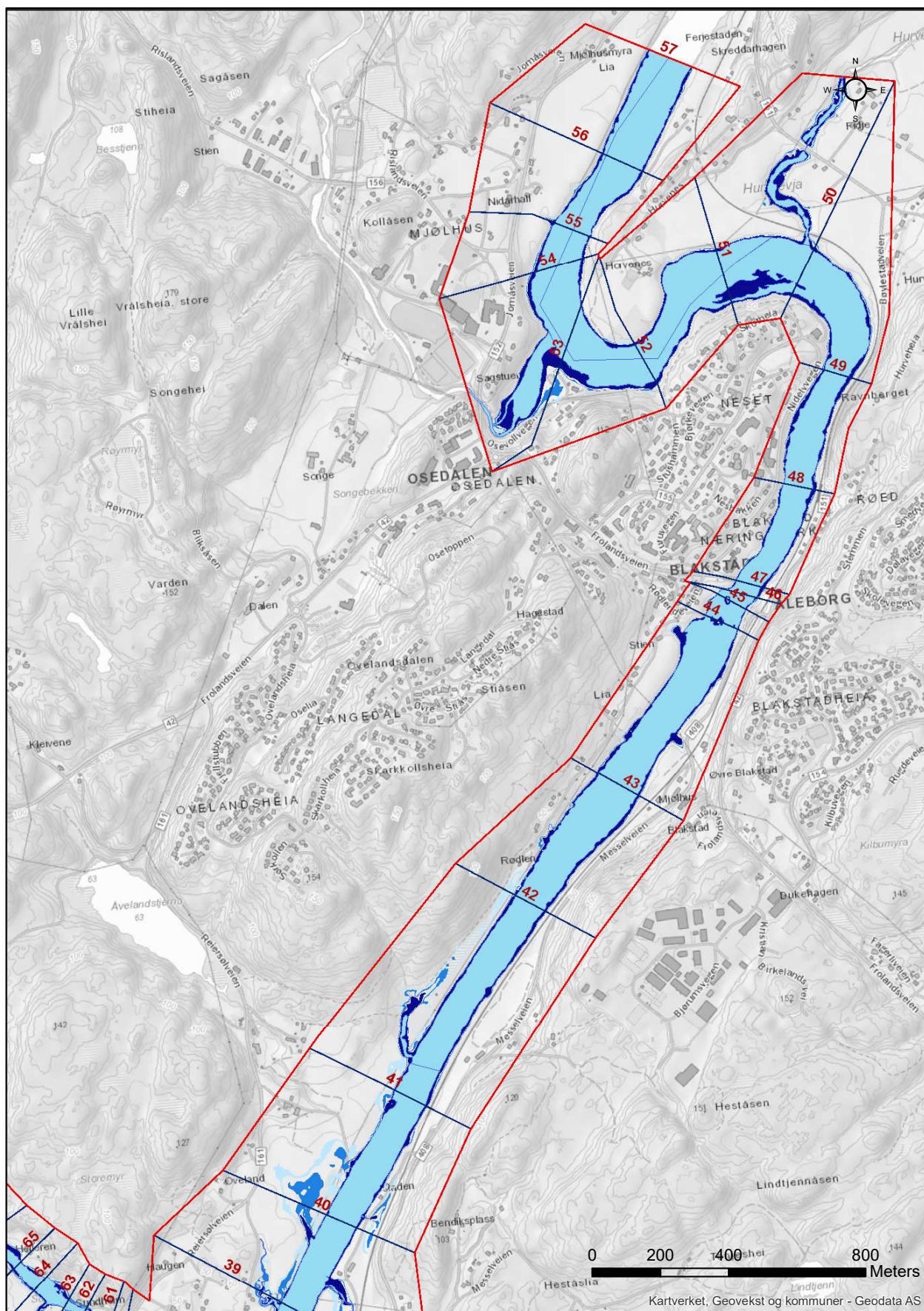
4.1.5 Kartplott

Flomsone er utarbeidet ved bruk av ArcGis 10.5.1. Resultatet er en digital flomsone som inneholder flater (polygon), med egenskaper som forteller om et areal er oversvømt eller ikke. Dette innebærer at såkalte lavpunkt, som er oversvømte områder uten direkte kontakt med elva, blir definert som oversvømt areal.

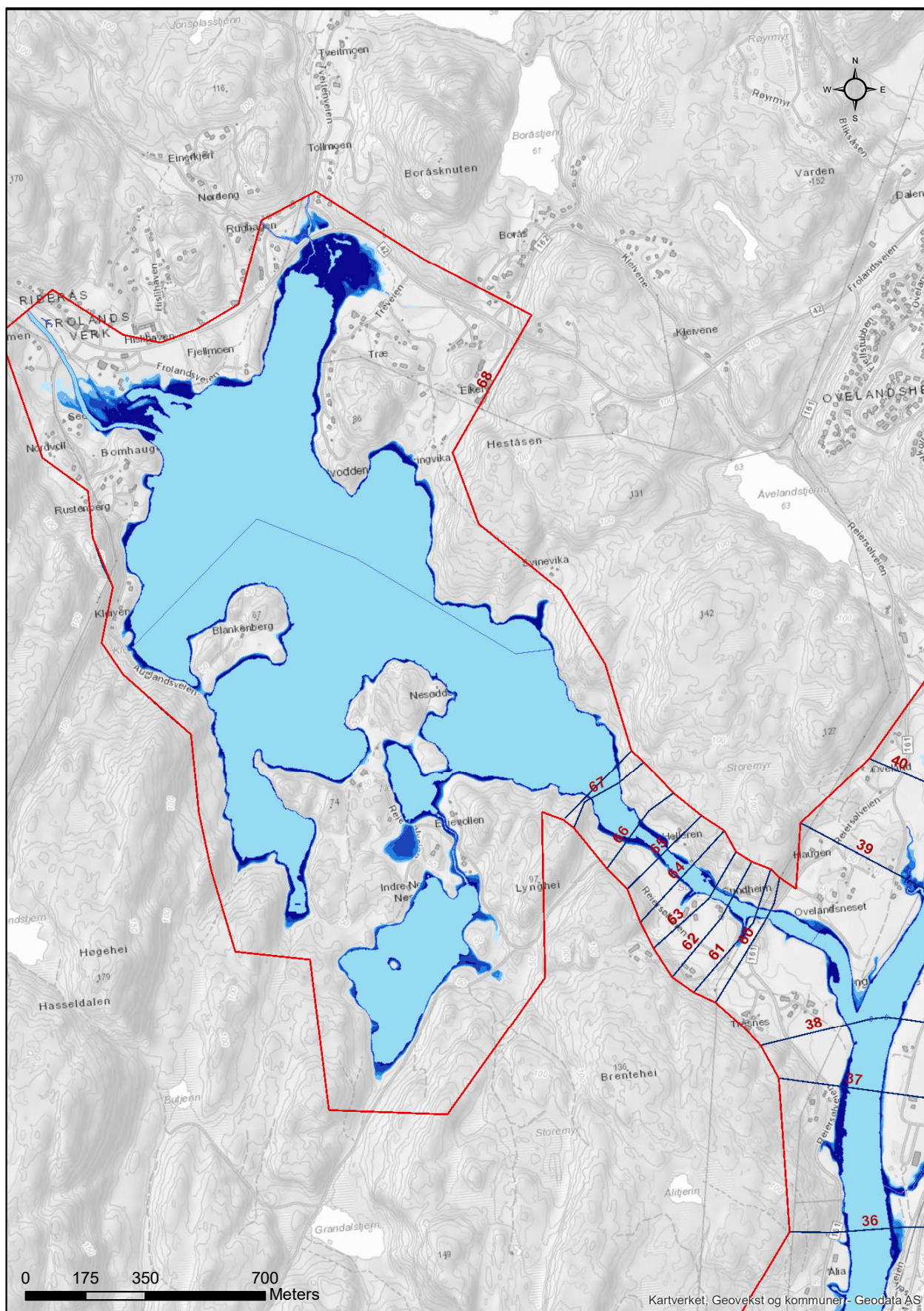
Under er flomdybdene for 20-, 200- og 1000-årsflom vist med et standard topografisk kartbakgrunn fra Geodata Online (2017).

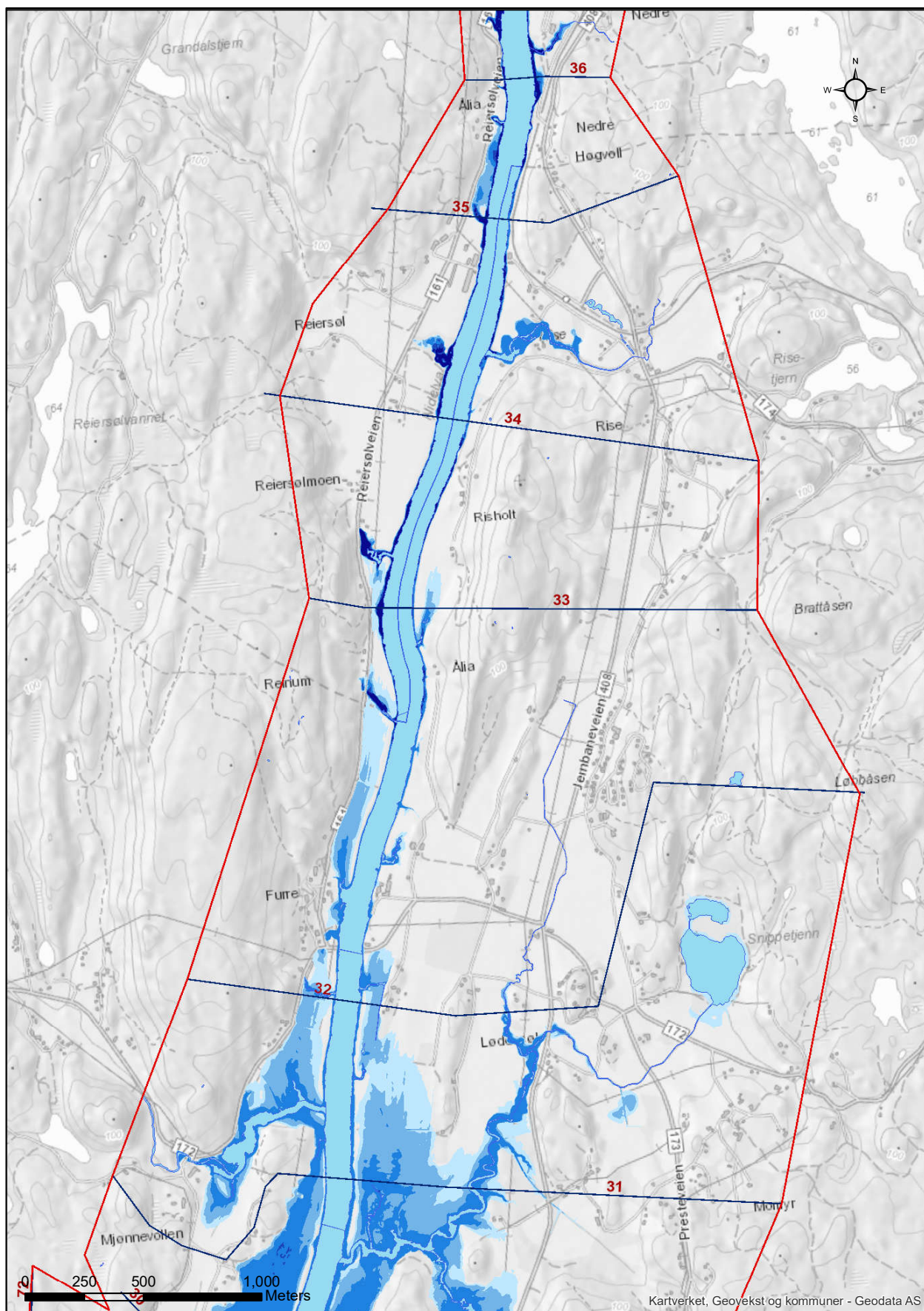


Figur 4-1: Tegnforklaring kartutsnitt flomsone.

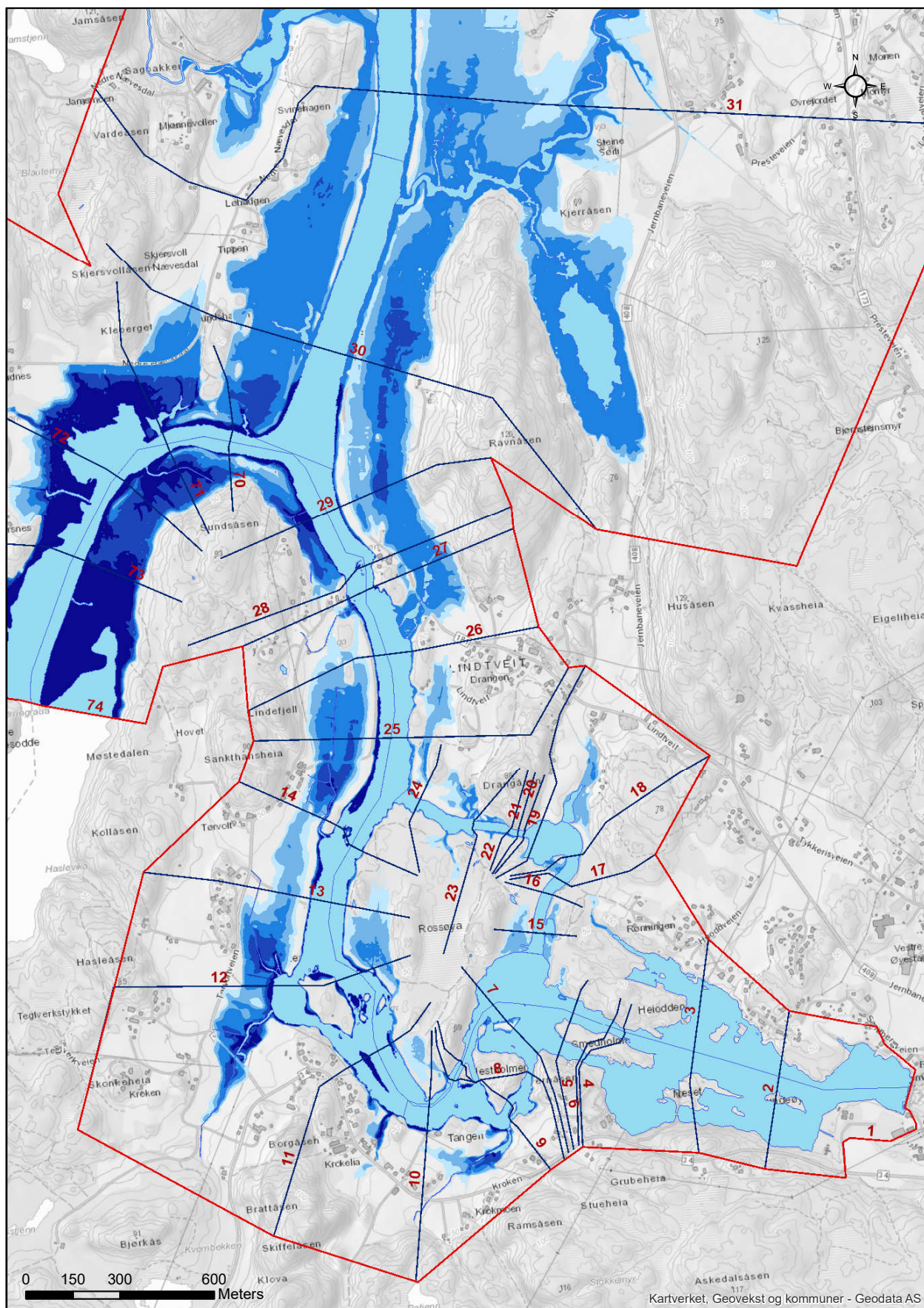


Figur 4-2: Kartutsnitt Blakstad for 20-årsflommen med inntegnet flomdybde (blå farge).

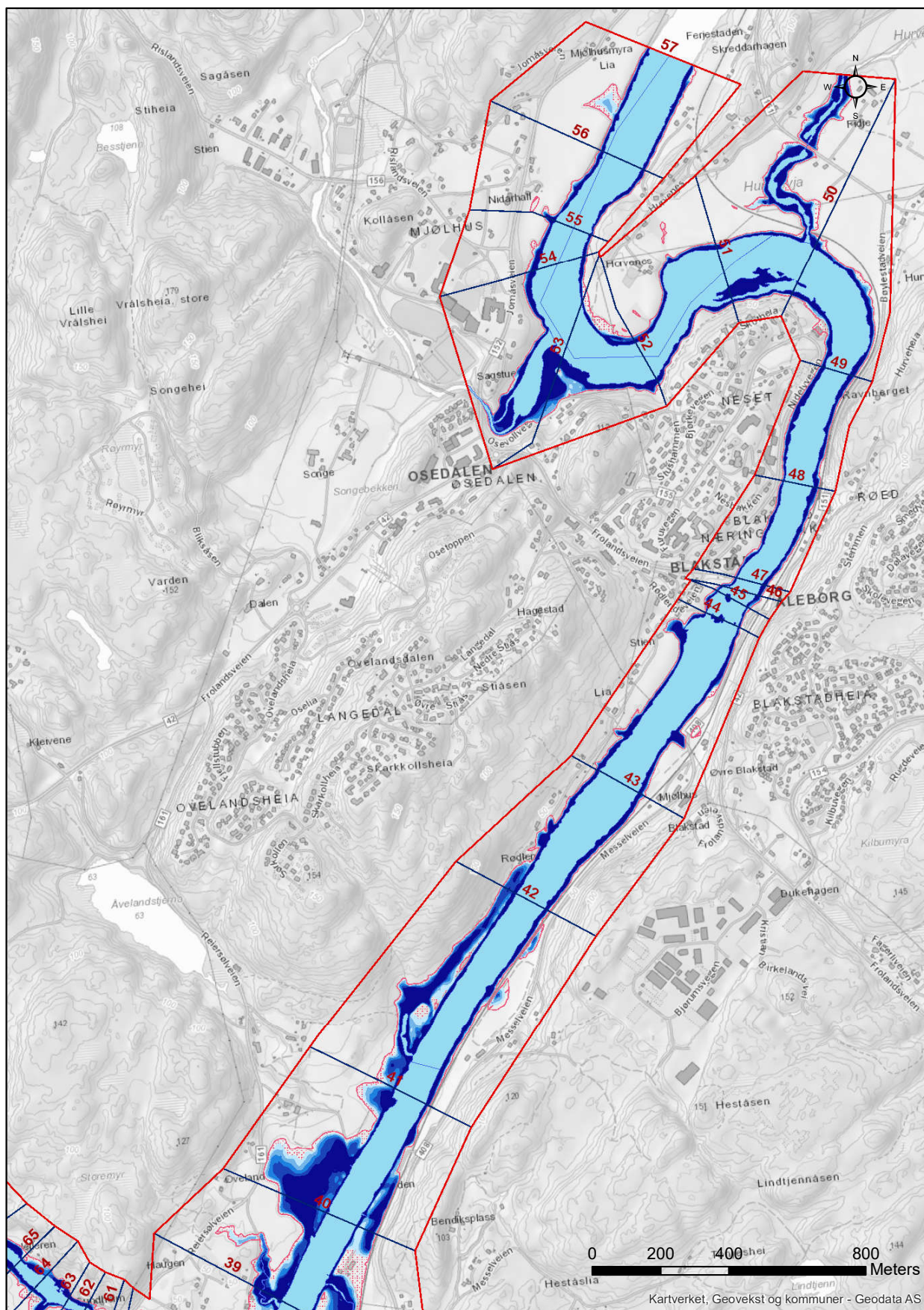


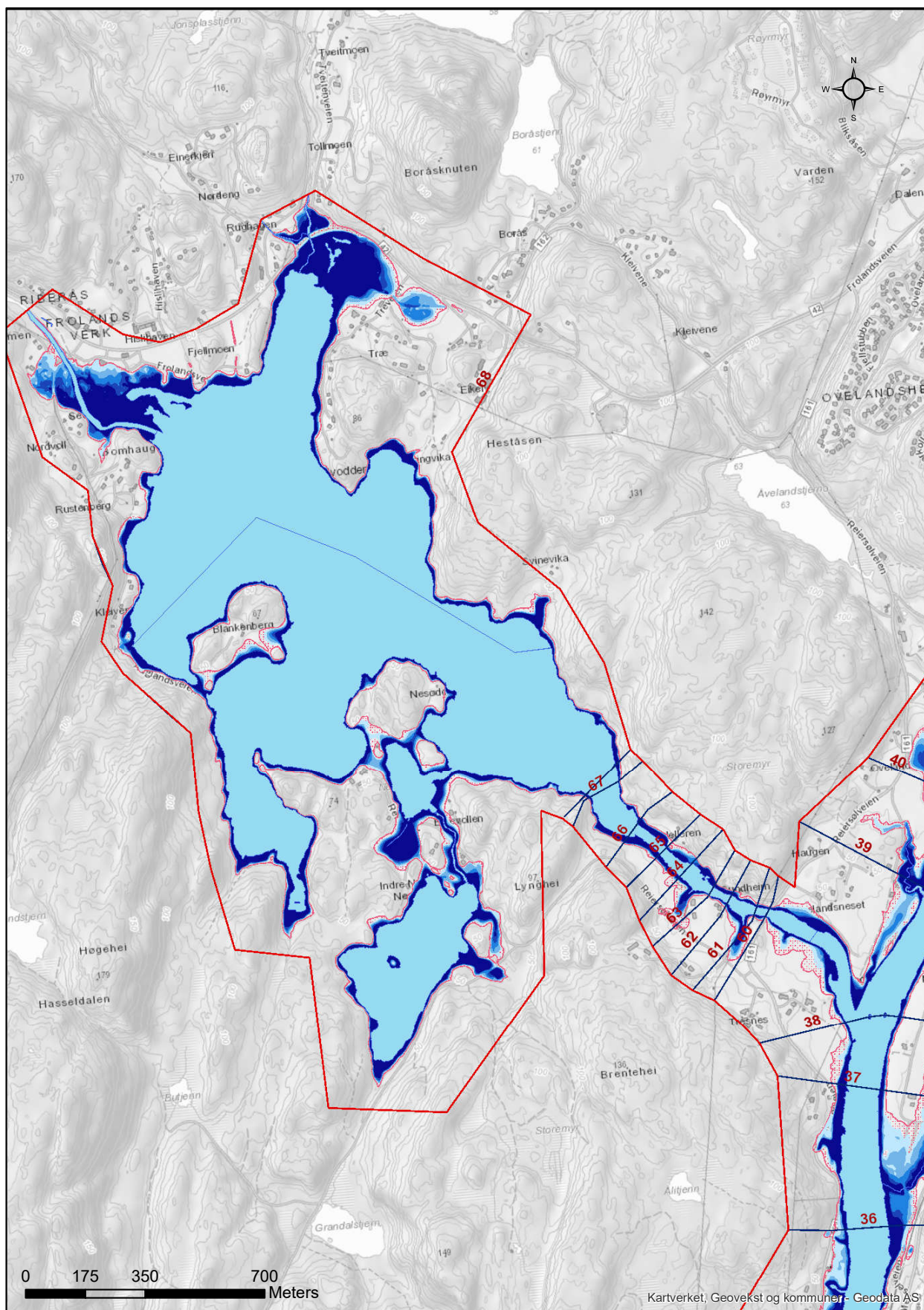


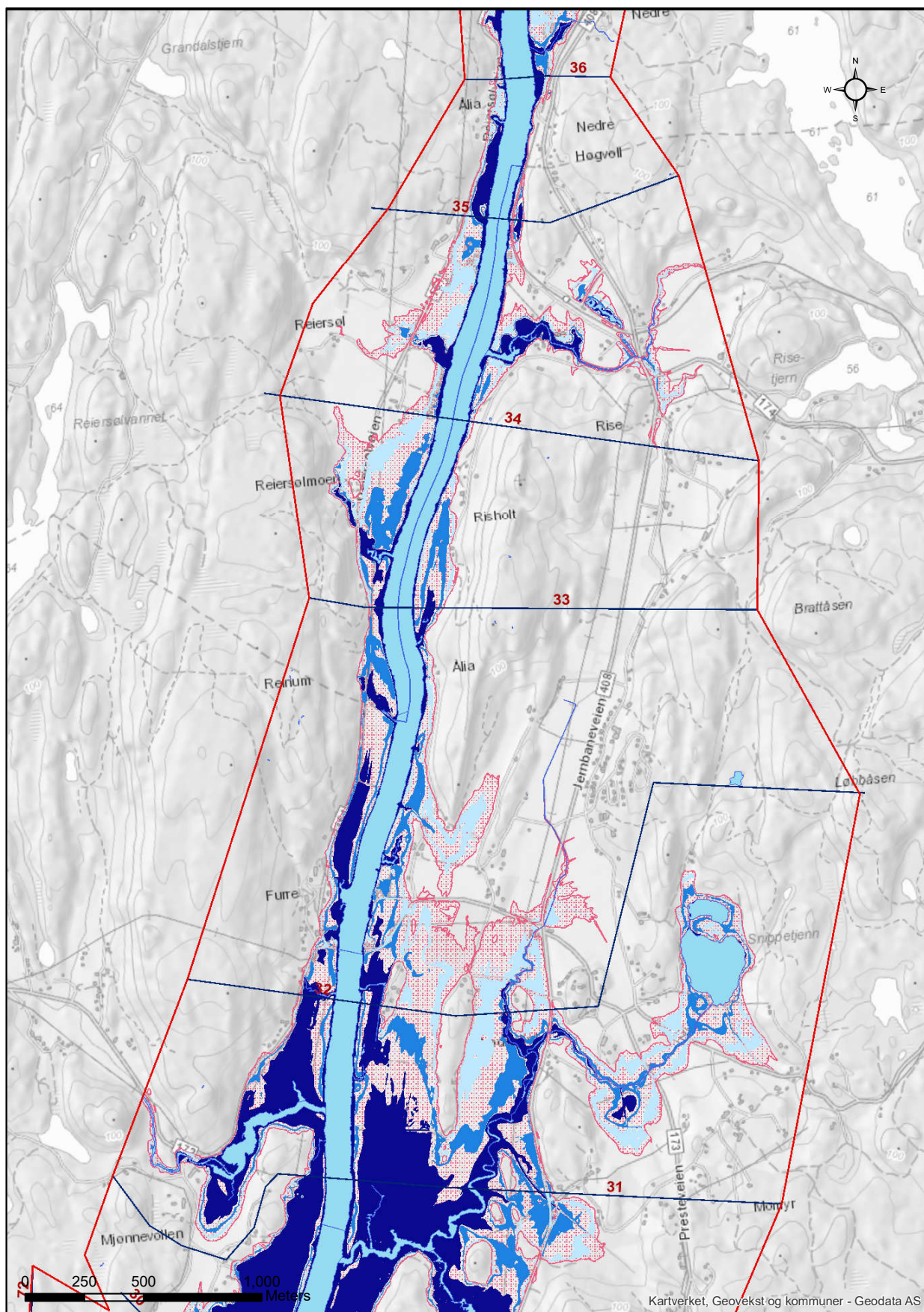
Figur 4-4: Kartutsnitt Reiersøl for 20-årsflommen med inntegnet flomdybde (blå farge)



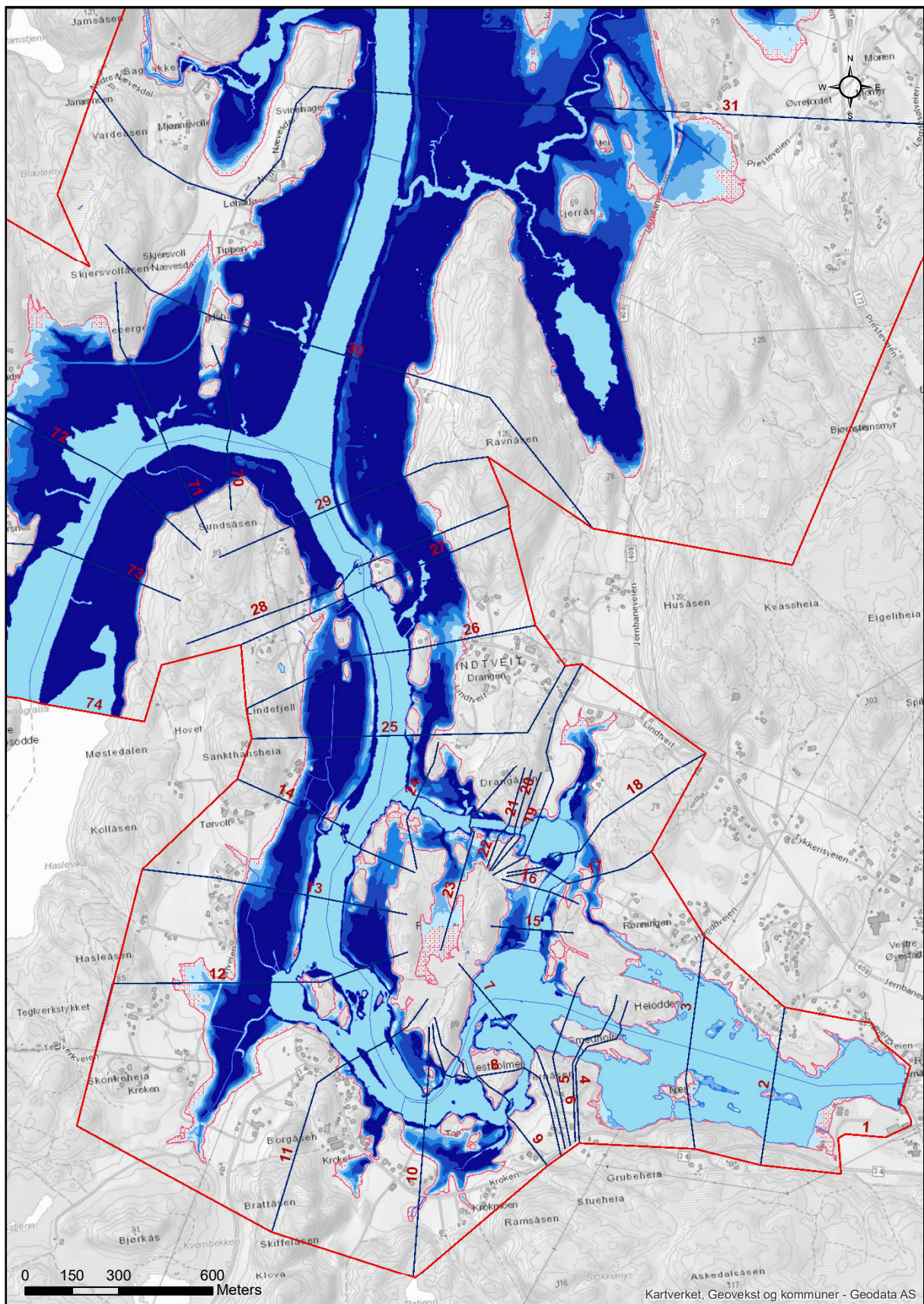
Figur 4-3: Kartutsnitt Rossøya for 20-årsflommen med inntegnet flomdybde (blå farge).



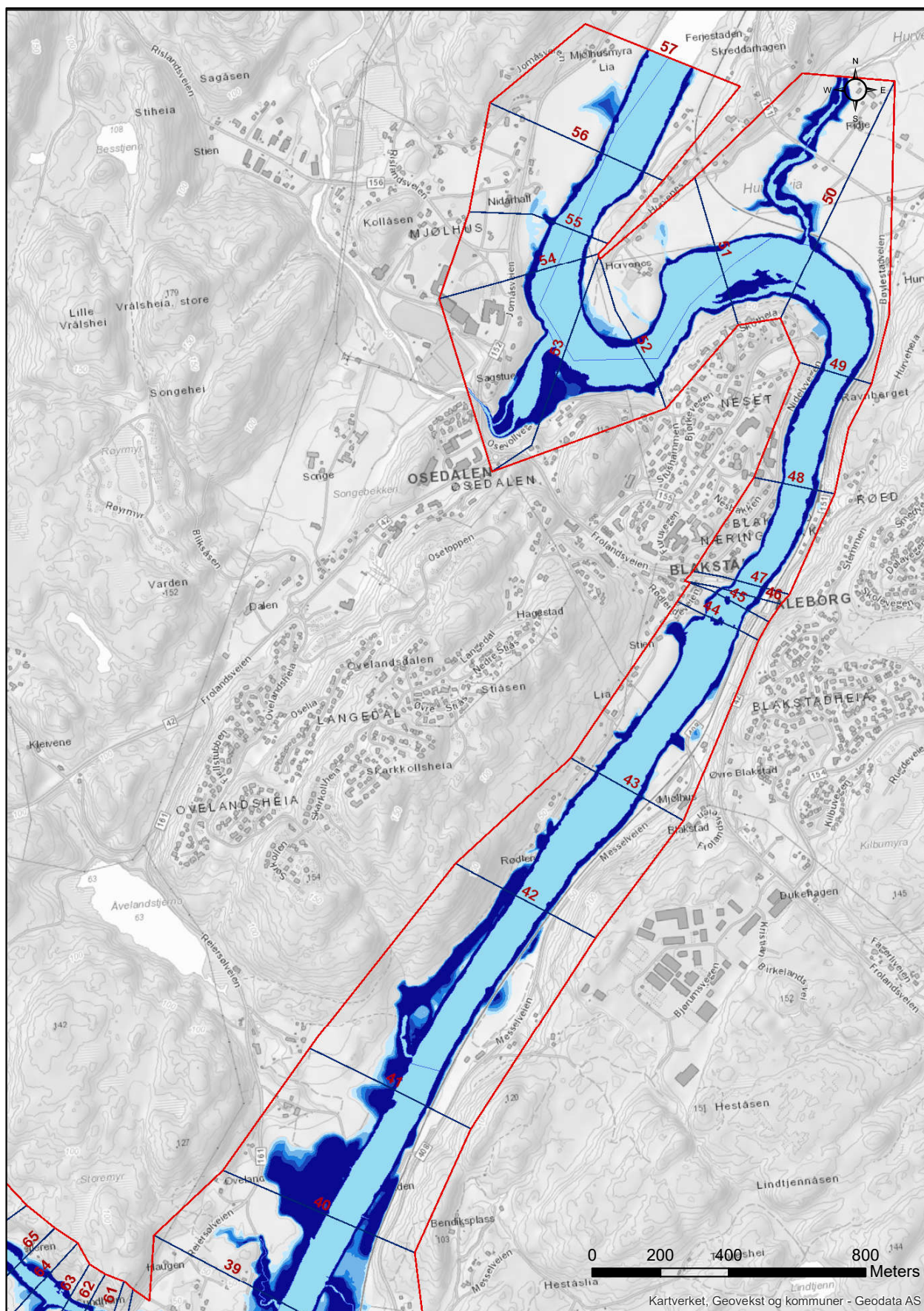




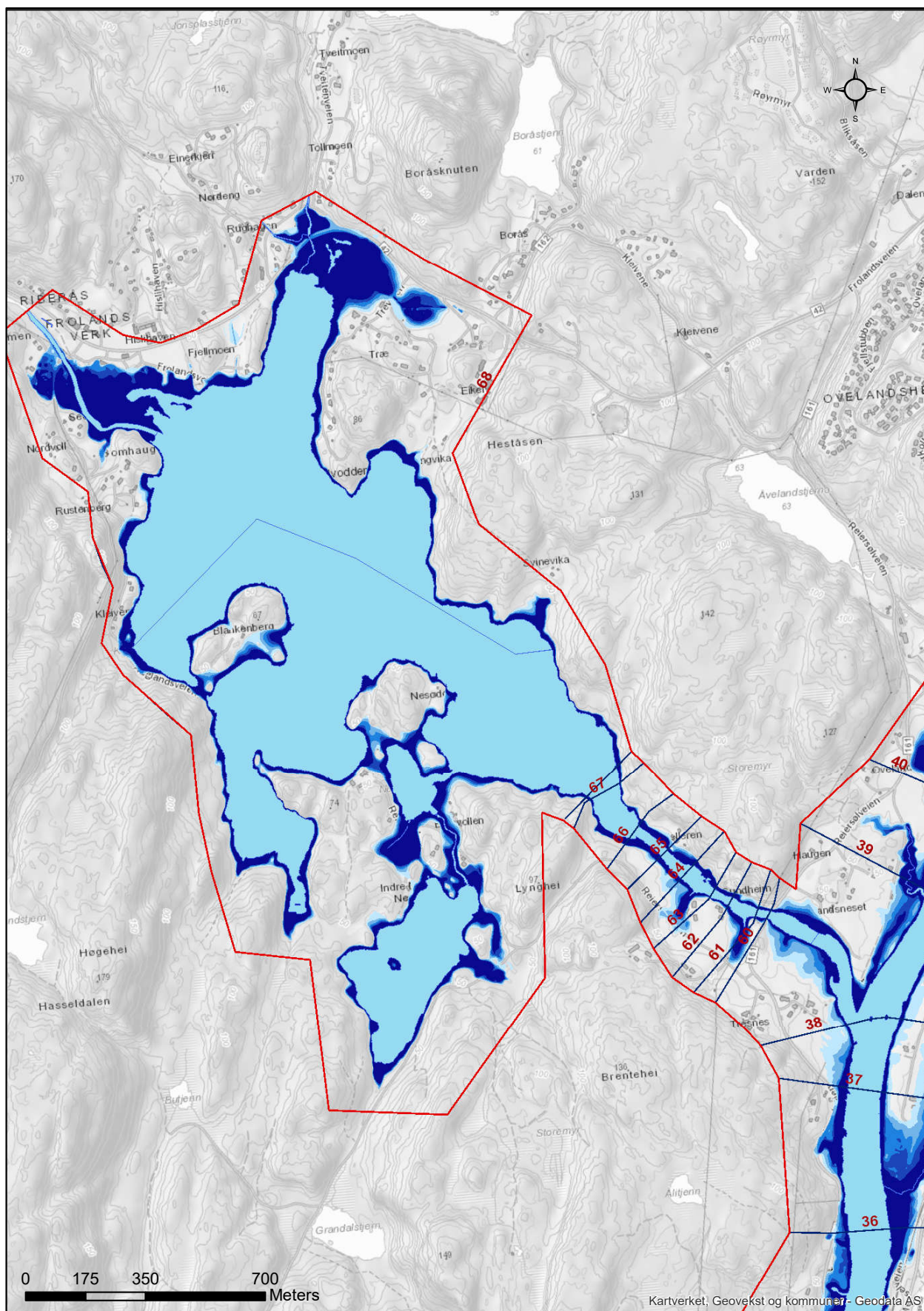
Figur 4-7: Kartutsnitt Reiersøl for 200-årsflommen med inntegnet flomdybde (blå farge) og sone for 200-årsflommen i et endret klima i år 2100 (rosa skravur).



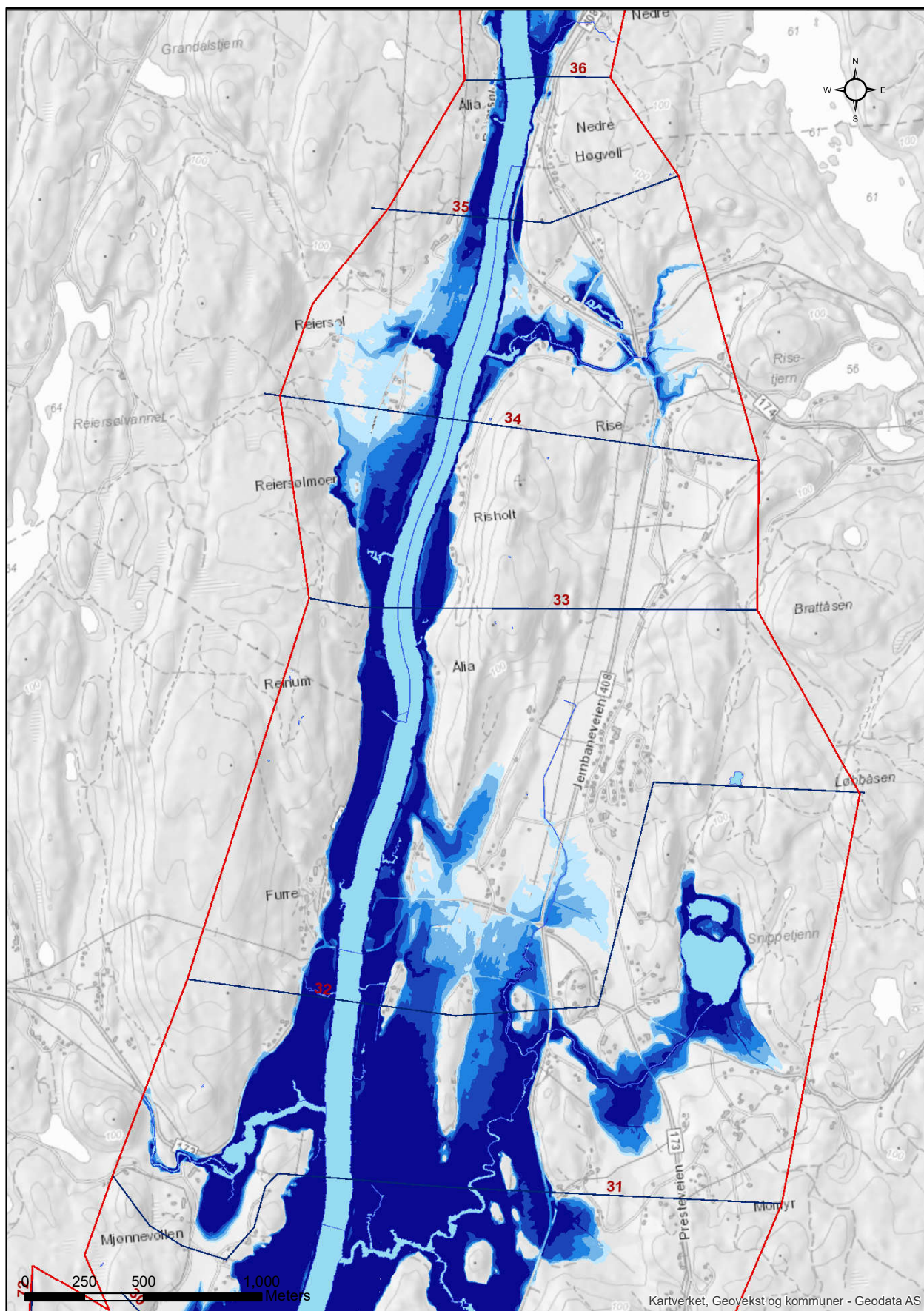
Figur 4-4: Kartutsnitt Rossøya for 200-årsflommen med inntegnet flomdybde (blå farge) og sone for 200-årsflommen i et endret klima i år 2100 (rosa skravur).



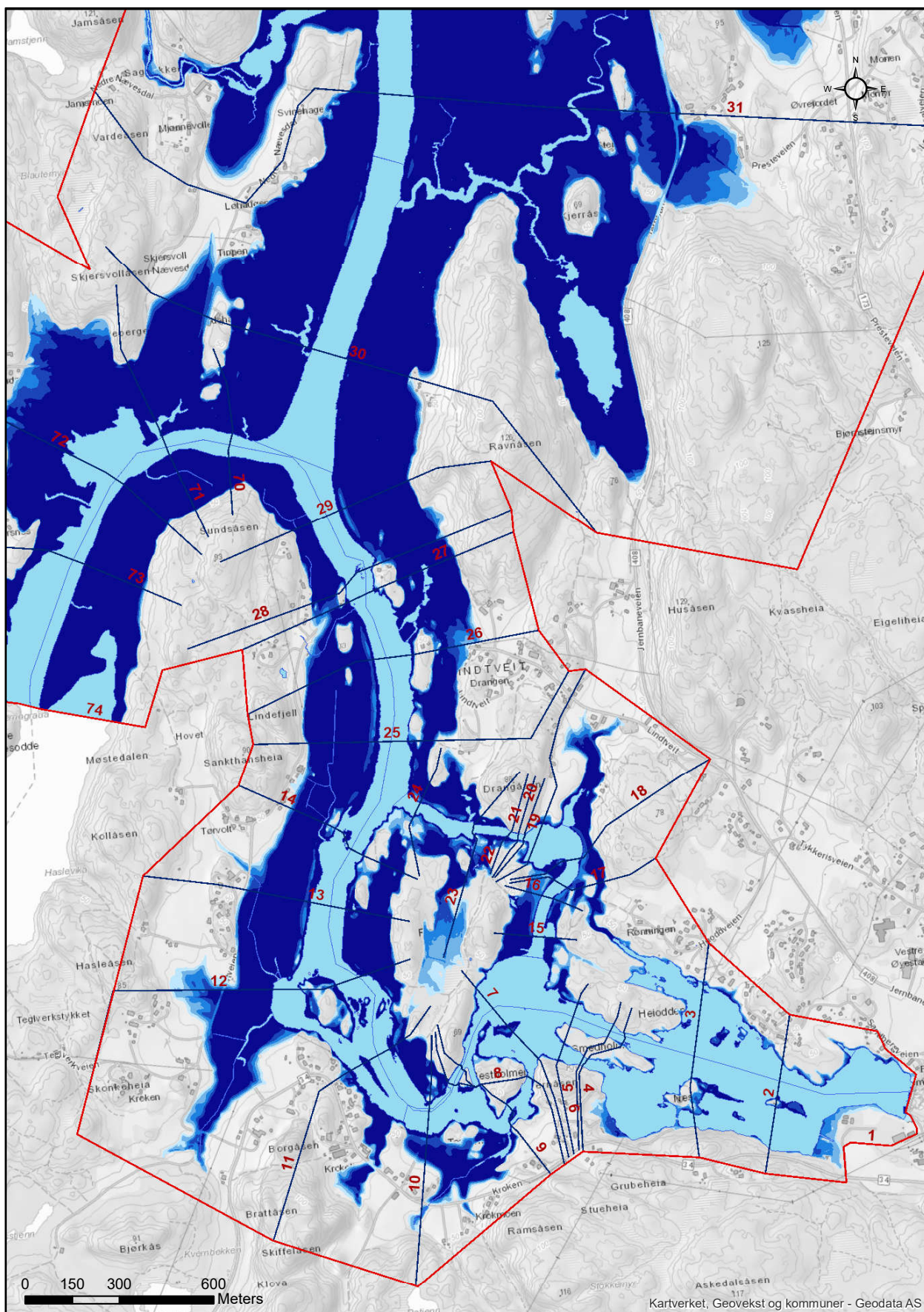
Figur 4-8: Kartutsnitt Blakstad for 1000-årsflommen med inntegnet flomdybde (blå farge).



Figur 4-9: Kartutsnitt Trevann for 1000-årsflommen med inntegnet flomdybde (blå farge).



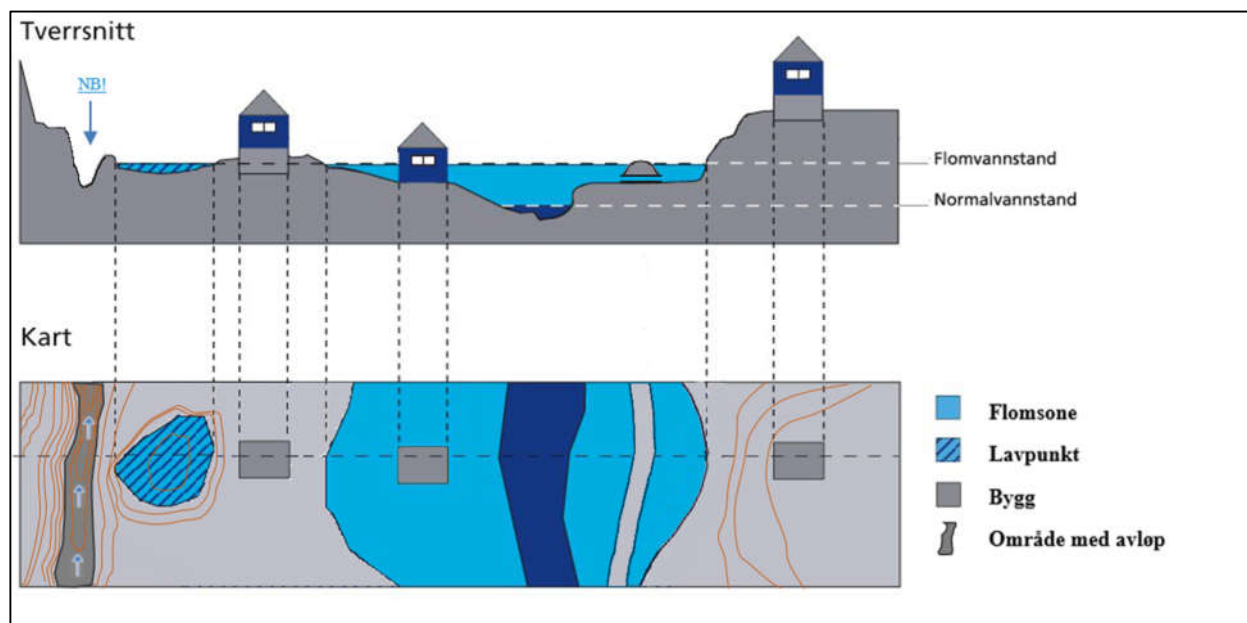
Figur 4-10: Kartutsnitt Reiersøl for 1000-årsflommen med inntegnet flomdybde (blå farge)



Figur 4-11: Kartutsnitt Rossøya for 1000-årsflommen med inntegnet flomdybde (blå farge)

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 4-12. 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 skravur, 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.



Figur 4-12: Prinsippskisser lavpunkt. Området lengst til venstre i figuren er ikke et lavpunkt, fordi dette området har helning, som gjør at vann vil renne bort herfra slik som de blå pilene viser. Flomsonen lengst til høyre er heller ikke et lavpunkt, fordi det har forbindelse til flomsonen via en kulvert.

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

4.3 Kartprodukt

Sluttprodukt som er utarbeidet omfatter:

Flomsone for 20-, 200- og 1000-årsflommen, samt klimaframskrivninger av 200årsflommen til år 2100. Flomsone er kodet i henhold til SOSI-standard i UTM-sone 32 og 33, i formatene SOSI og Shape.

Tverrprofil med flomvannstander for alle beregnede gjentakintervall i UTM-sonene 32 og 33, i formatene SOSI og Shape.

Rapport i PDF-format.

Sluttproduktene blir gjort tilgjengelige på NVEs nettside www.nve.no. Kartprodukt er tilgjengelig i andre format hos NVE og kan gjøres tilgjengelig på forespørsel.

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 utstrekningen til flomsonene. Det er derfor viktig å påpeke at flomsonekartene er et verktøy, som bygger på best tilgjengelige historiske data og framskrivninger av klima, for slik å kunne si hvordan en framtidig flom mest sannsynlig vil opptre.

5.1 Flomberegning

Det hydrologiske datagrunnlaget er hentet fra målestasjoner, der det observeres vannstand. Vannføringen fastsettes ved hjelp av en VF-kurve (vannføringskurve), som viser sammenhengen mellom vannstand og vannføring. Det er bl.a. knyttet usikkerhet til vannstandsavlesingen og til selve vannføringskurven. Usikkerheten i vannføringskurven øker normalt ved økende vannføring, da de fleste vannføringskurver er ekstrapolert for å dekke sjeldne vannføringshendelser.

Usikkerheten i flomberegningen for Rygene er vurdert som lav, fordi en målinger for høye vannføringer på vannføringskurven samt lange og gode dataserier, som danner et godt grunnlag for statistiske analyser.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig for å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Konklusjonen for denne beregningen er at datagrunnlaget er godt og kan klassifiseres som klasse 1, på en skala fra 1 til 3 der 1 svarer til beste klasse.

5.2 Hydrauliske beregninger

Beregningene utføres i en digital numerisk modell, hvor elvens geometri og vannføring er viktigste inngangsdata. Avhengig av hvor avansert modellen er, forenkles og generaliseres problemstillingene modellen skal beskrive. Generelt kan en si at en 1D-modell generaliserer og forenkler mer enn 2D-modeller, mens 3D-modeller forsøker å beskrive elven mest nøyaktig. Felles for alle modellene er at de er basert på gitte forutsetninger og forenklinger, som f.eks. at en som oftest ikke modellerer erosjon, massetransport og is. Det er samtidig viktig å presisere at resultatet en får fra modellene er det beste kunnskapsgrunnlaget en har pr. dags dato.

Sensitivitetsanalysen for 200årsflommen viser at vannlinjen i gjennomsnitt øker med hhv. 33 cm og 64 cm for 20% økning i ruhet og vannføring. Energilinja er i gjennomsnitt 17 cm høyere enn vannlinjen for 200årsflommen, jf. kapittel 3.9.

En annen måleparameter for hvor god modellen er kalibreringsdata. Modellen for delprosjekt Rygene er kalibrert mot fire ulike flomhendelser og gir godt samsvar mot alle flomhendelsene. Fordi en har gode kalibreringsdata er sensitivitetsanalysen lavere vektet ved fastsetting av sikkerhetsmarginen.

NVE anbefaler for dette prosjektet at en bruker en påslag på de beregnede vannstandene på minimum 50cm ved praktisk bruk.

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.

I dette prosjektet er det brukt tverrprofiler fra 1988, men også en terrengmodell basert på laserdata fra 2015 og 2017 med 5 punkter pr. m².

I kartanalysen brukes en *flomdybdeterskel*, som er en minstedybde i kartanalysen for å bestemme når et areal fremkommer som oversvømt. Flomdybdene er nødt å være større eller lik *flomdybdeterskelen*, for at et areal skal fremkomme som flomutsatt. *Flomdybdeterskelen* settes normalt innenfor intervallet 2 – 6cm ut fra en skjønnsvurdering, der blant annet nøyaktigheten til det topografisk datagrunnlaget og den hydrauliske modellen er viktige moment å vurdere. I dette prosjektet er flomdybdeterskelen satt til 5cm.

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 vannstandene. Dette må en ta hensyn til ved praktisk bruk, jf. 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, isgang, massetransport, erosjon og lav kapasitet på kulverter.

Flomsonekartprosjektet har ikke som mål å kartlegge slik fare fullstendig, men skal systematisk prøve å samle inn eksisterende informasjon for å presentere kjente problem langs vassdraget, som har virkning for de flomstørrelsene som blir beregnet i prosjektet.

På NVE Atlas (atlas.nve.no/) finner en opplysninger om eventuelle kvikkleire-, snø-, sørpe-, stein-, jord- og flomskred langs kartlagte strekninger. Skredfare må, sammen med flomfare, tas hensyn til i bygge- og arealplaner. En gjennomgang av eventuelle faremoment bør inngå som en del av kommunens risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS).

6.1 Is-relaterte problemstillinger

Om vinteren kan en elv med samme vannføring ha ulike vannstander som følge av is-relaterte problemstillinger. Dette kan f.eks. være bunnis og iskorker. Når ismassene løsner og flyter med strømmen nedover vassdraget, kalles det isgang. Isen vil fortsette nedover elva til den stopper opp mot en hindring som for eksempel en grunne, en sving i elveleiet eller andre ting som gjør at motstanden mot bevegelse blir for stor. Ismassene som legger seg opp, kalles en iskork. Iskorker hindrer avløpet i elva, og vannet kan ta nye veier utenom elveleiet og føre til oversvømmelse. Ved all isgang er det store krefter i sving, og det er lite å gjøre med isgangen når den først har startet.

NVE er ikke kjent med spesielle utfordringer knyttet til is-relaterte problemstillinger i Arendalsvassdraget.

6.2 Massetransport, erosjons- og tryggingstiltak

NVEs database over sikringstiltak viser at det er gjort senkningstiltak ved Rossøya, som beskrevet i kapittel 3.2.

6.3 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 å innhente et omfattende datagrunnlag, blant annet av grunnforholdene. Det ligger utenfor flomsonekartprosjektets målsetting å kartlegge slike forhold i detalj.

7 Veiledning for bruk

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 byggeteknisk 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*⁹ 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.

7.1 Hvordan leses kartet

Flomutsatte områder er markert med en blå fargeskala, der den mørkeste blåfargen tilsvarer den største flomdybden. Dette er nyttig informasjon i arealplanprosesser, fordi det indikerer hvor store oppfyllinger som er nødvendig, dersom flomutsatte områder skal kunne utnyttes til byggeformål. Vanddyp er også en viktig parameter å vurdere, med tanke på hvor farlig det vil være å oppholde seg i disse områdene under en flomsituasjon. Lavpunkt er vist med blå skravur på kartet. *Flomutsatte områder for 200-årsflom i år 2100* har rosa skravur.

Tabeller viser flomvannstander ved de ulike tverrprofilene ved ulike gjentakintervall. Kartene viser plasseringen av tverrprofilene, som er utgangspunktet for den genererte flomsonen. Det er ved disse profilene vannstandene er beregnet. Mellom tverrprofilene anses vannstanden å variere lineært og kan fastsettes ved interpolasjon.

7.2 Arealplanlegging og byggesaker – bruk av flomsonekart

I kommuneplansammenheng kan en bruke flomsonene direkte for å identifisere områder som ikke bør bebygges uten nærmere vurdering av faren og mulige tiltak. Flomsonene 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. For å unngå flomskade må dessuten dreneringen til et bygg ligge slik at avløpet fungerer under flom. Områder som etter nærmere kontroll i felt er utsatt for flomfare, avsettes som hensynssoner på plankartet jf. pbl § 12-6.

Til hensynssonene 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.

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

Med grunnlag i flomsonekartene må det innarbeides hensynssoner med bestemmelser som ivaretar tilstrekkelig sikkerhet mot flom når kommuneplanen for Arendal, Froland og Grimstad kommune oppdateres.

7.3 Flomvarsling og beredskap – bruk av farekart flom

www.varsom.no er kilden til varsling av naturfare i Norge. NVE overvåker kontinuerlig vassdragene i Norge og sender ut flomvarsel for hvor og når det ventes stor vannføring. Det er ikke nødvendigvis et varsel om skade. For å kunne varsle skadeflom må man ha detaljert kjennskap til et område. I dag gis flomvarslene i form av aktsomhetsnivåer, som også sier noe om sannsynligheten for at skader kan forekomme. Grensen mellom de ulike aktsomhetsnivåene er oppgitt som vannføring relatert til gjentakintervall. Disse gjentakintervallene og vannføringene kan finnes på farekart for flom. Ved varsel på oransje aktsomhetsnivå vil vannføringen nå et nivå mellom 5-årsflom og 50-årsflom. Ved rødt aktsomhetsnivå vil vannføringen nå et nivå over 50-årsflom. Også ved gult aktsomhetsnivå, hvor det

ventes vannføring med mindre enn 5-års gjentaksintervall, kan det forekomme skader. Det dreier seg som oftest om skader av mer lokal karakter i tilknytning til kulverter eller mindre bekker /elver. Ved kontakt med flomvarslingen vil en ofte kunne få mer detaljert informasjon.

Farekart flom gir detaljkunnskap i form av beregnede vannstander ved flom, og man kan se hvilke områder og hvilke typer verdier som er utsatt. Beredskapsmyndighetene bør innarbeide denne informasjonen i sine planer.

7.4 Generelt om gjentaksintervall 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-års flom nettopp er inntruffet i et vassdrag, betyr dette ikke 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 eksempelvis å få en 50-årsflom er like stor hvert år, men den er liten – bare 2 prosent.

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!

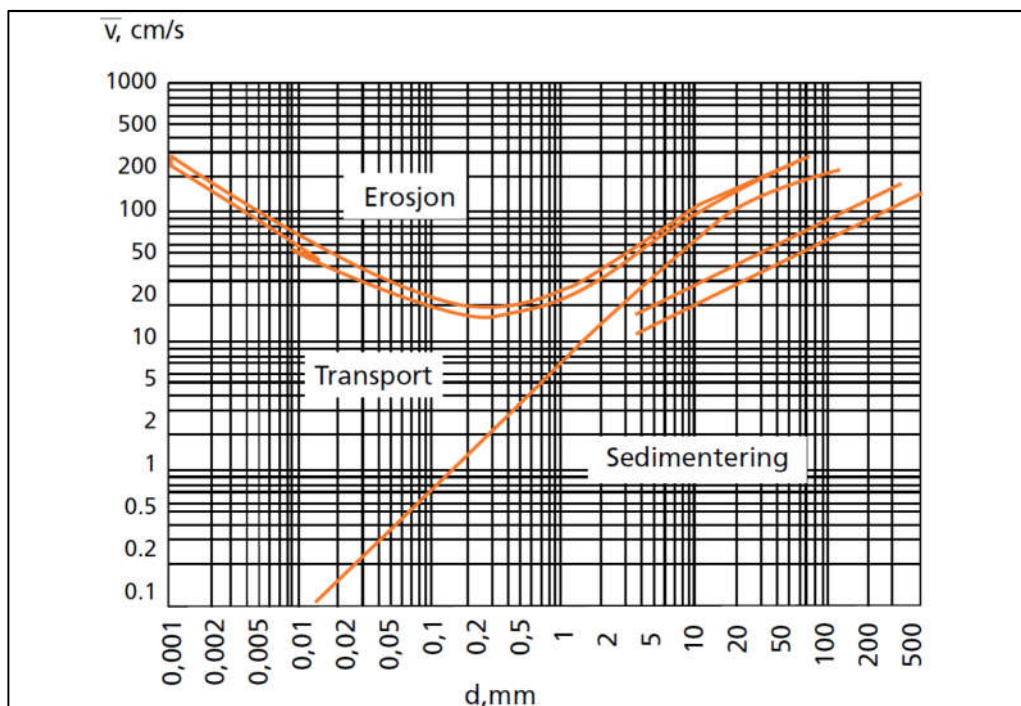
Tabell 7-1: Sannsynlighet for overskridelse i prosent ut fra forventet økonomisk levetid og gjentaksintervall.

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 %

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 diagram¹⁰ for grense mellom erosjon og avleiring.

For mer inngående informasjon om erosjon, massetransport og dimensjonering av erosjonssikringstiltak, vises det til revidert utgave av *Vassdragshåndboka*¹⁰.

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 flomsonegrensen 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. 42 (1996–97) *Tiltak mot flom*.

³ St.meld. nr. 15 (2011–2012) *Hvordan leve med farene – om flom og skred*.

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

⁵ Erik Holmqvist, *Revidert flomberegning for nedre del av Arendalsvassdraget (019.Z). NVE-rapport 20-2017*.

⁶ Tverrprofiler i Arendalsvassdraget, Kartskisser, figurer og tabeller etter feltarbeid sommeren 1988 Rapport fra AVB – observasjoner flom 2000

⁷ AVB Rapport Nedre Nidelva, Vannføring og vannstand, Tverrsnittprofiler.

⁸ Vaskinn, K. A. 1989. Nedre Nidelva. Hydrologiske og hydrauliske forhold. Rapport STF 60 A89043, Norsk Hydroteknisk Laboratorium, Trondheim. 67 sider, pluss vedlegg.

⁹ Retningslinje nr 2-2011 «Flaum- og skredfare i arealplanar», NVE.

¹⁰ Fergus, T., Hoseth, K.A. & Sæterbø, E. 2010. *Vassdragshåndboka*. Tapir akademisk forlag. 428 s.



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

.....

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

www.nve.no