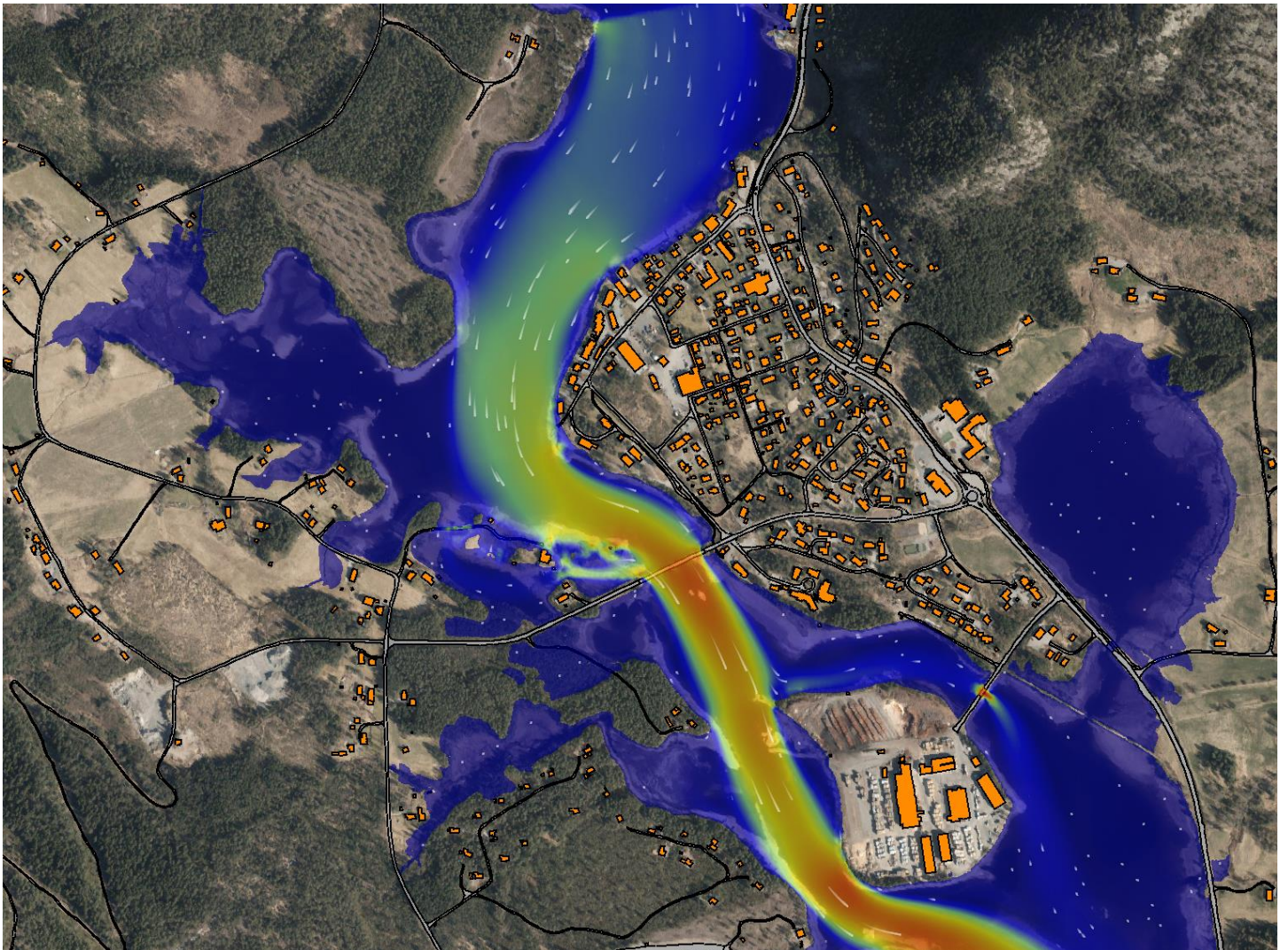


Bygland kommune

# ► Flomkartlegging langs Åraksfjorden og Byglandsfjorden

Oppdragsnr.: 52204992 Dokumentnr.: - Versjon: J02 Dato: 2022-11-15



**Oppdragsgiver:** Bygland kommune  
**Oppdragsgivers kontaktperson:** Kjell Øyvind Berg  
**Rådgiver:** Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika  
**Oppdragsleder:** Gunnar Fiskum  
**Fagansvarlig:** Jon Olav Stranden  
**Andre nøkkelpersoner:**

J02	2022-11-15	For bruk etter kontroll hos Bygland kommune	Gunnar Fiskum	Jon Olav Stranden	Gunnar Fiskum
D01	2022-07-30	For kontroll hos Bygland kommune	Gunnar Fiskum	Jon Olav Stranden	Gunnar Fiskum
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

## ► Sammendrag

Norconsult er engasjert av Bygland kommune for å gjøre en flomsonekartlegging langs Åraksfjorden og Byglandsfjorden. Bakgrunnen for arbeidet er en revidering av arealdelen i kommuneplanen, og kartleggingen skal være grunnlag for videre planlegging. Vurderingen skal også sikre at flomutsatte områder identifiseres.

Flomsonekartleggingen er delt i to ulike arbeidsoppgaver, en flomberegning og en vannlinjeberegning. Flomberegningen utføres for å fastsette flomvannføringer ved ulike gjentaksintervaller mens vannlinjeberegningen er en hydraulisk simulering for å fastsette oversvømmelse, vanndybde og vannhastighet langs vassdraget.

Flomberegningen er basert på vannføringsmålinger fra vassdraget hvor data fra vannmerke 21.24 Byglandsfjord/ Syrtveit er spesielt vektlagt. Fordi Otravassdraget er omfattende utnyttet til kraftproduksjon, er regulerte vannføringer lagt til grunn. Det er beregnet flomvannføring for 20-, 200- og 1000 års gjentaksintervall, hvor klimapåslag også er inkludert for 200- og 1000-årsflom.

Beregning av oversvømmelse, vannstand og vannhastighet er gjort ved bruk av en 2D-dimensjonal vannlinjemodell laget i dataprogrammet HEC-RAS. Modellen er basert på et terrenggrunnlag som er utarbeidet fra tilgjengelige høydedata og bunnkartlegging over kritiske områder. Input-verdier i modellen er flomforløp hentet fra utført flomberegning og avløpskapasitet ved dam Byglandsfjord. Resultater fra beregningen er presentert på flomsonekart som ligger vedlagt denne rapporten.

Utførte beregninger tilsier at flom i Åraksfjorden/Byglandsfjorden gir økt vannstand og oversvømmelse på lavtliggende områder langs vassdraget. Oversvømmelsen vil berøre både bygninger og infrastruktur. Spesielt utsatt er campingplasser og fritidsboliger siden disse ofte ligger nærmest strandsonen. Det påpekes at ved tilstrekkelig høy vannstand blir også næringsområder og bolighus berørt.

Utført flomsonekartlegging dokumenterer vannnivåer som er forventet ved ulike gjentaksintervaller. Underliggende tabell viser en oversikt over beregnede vannnivåer i Åraksfjorden og Byglandsfjorden i forhold til krav i TEK17. Tiltak langs vassdraget som ligger høyere enn dimensjonerende flomnivå pluss sikkerhetsmargin vurderes som flomsikre. Tilsvarende havner laveliggende tiltak innenfor flomsone, og disse må enten sikres eller utformes for å tåle/håndtere flom. På strekningen mellom utløpet av Byglandsfjorden og ned til dam Byglandsfjord har vannlinjen et fall, og opplyste nivåer på flomsonekart + en sikkerhetsmargin styrer hva som er sikker byggehøyde.

Sikkerhetsklasse	Sikker byggehøyde langs Åraksfjorden (moh.)	Sikker byggehøyde langs Byglandsfjorden (moh.)
F1	204,87	204,19
F2	206,73	205,41
F3	206,93	205,58

## Innhold

<b>1</b>	<b>Introduksjon og beskrivelse av oppdraget</b>	<b>5</b>
1.1	Beskrivelse av oppdraget	5
1.2	Beskrivelse av Åraksfjorden og Byglandsfjorden	6
1.3	Krav til flomsikring	6
1.4	Kart og datagrunnlag	6
<b>2</b>	<b>Flomberegning og hydrologisk grunnlag</b>	<b>7</b>
2.1	Hydrologisk grunnlag og beregningsmetodikk	7
2.2	Regulering i vassdraget	7
2.3	Beskrivelse av nedbørfelt	8
2.4	Målestasjoner i området	10
2.5	Frekvensanalyse på målestasjoner	11
2.6	Observerte flommer	12
2.7	Beregning av momentanflom	14
2.8	Tidligere flomberegninger i vassdraget	14
2.9	Valg av flomvannføring	16
<b>3</b>	<b>Reguleringsanlegg i analyseområdet</b>	<b>18</b>
3.1	Dam Byglandsfjord	19
3.2	Storstraumen sluseanlegg	21
<b>4</b>	<b>Hydraulisk vannlinjemodell</b>	<b>22</b>
4.1	Beregningsmodell og datakvalitet	22
4.2	Grensebetingelser og friksjonsforhold i vannlinjemodellen	24
4.3	Infrastruktur, bebyggelse og andre forhold langs vassdraget	25
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>26</b>
5.1	Resultat og forutsetninger	26
5.2	Flomutbredelse og vannivå	27
5.3	Berørte bygninger og infrastruktur	27
<b>6</b>	<b>Konklusjon og diskusjon av resultatet</b>	<b>28</b>
6.1	Konklusjon	28
6.2	Vurdering av kvalitet	28
6.3	Sensitivitet i beregningene	29
<b>7</b>	<b>Bilag og referanser</b>	<b>30</b>
7.1	Bilag	30
7.2	Referanser	30

# 1 Introduksjon og beskrivelse av oppdraget

## 1.1 Beskrivelse av oppdraget

Norconsult er engasjert av Bygland kommune for å gjøre en flomsonekartlegging langs Åraksfjorden og Byglandsfjorden. Bakgrunnen for arbeidet er en revidering av arealdelen i kommuneplanen, og kartleggingen skal være grunnlag for videre planlegging. Vurderingen skal også sikre at flomutsatte områder identifiseres. Denne flomsonekartleggingen dekker strekningen fra Ose bru til dam Byglandsfjord. Et oversiktskart med markering av beregningsstrekningen er vist i Figur 1.

Rapporten består av en flomberegning og en vannlinjeberegning. Flomberegningen gjøres for å fastsette vannføring ved bestemte gjentakintervall, mens vannlinjeberegningen utføres for å beregne vannstand, oversvømmelse og vannhastigheter ved gitte vannføringer i vassdraget. Resultatene fra beregningene er presentert på flomsonekart som ligger vedlagt denne rapporten (Bilag 2).



Figur 1 Oversiktskart over Byglandsfjorden med markering av beregningsstrekning.

## 1.2 Beskrivelse av Åraksfjorden og Byglandsfjorden

Åraksfjorden og Byglandsfjorden er et regulert magasin som ligger i Bygland kommune. Til tross for to ulike navn har «fjordene» lik normalvannstand og regnes som et magasin. De er imidlertid adskilt av et smalere sund som heter Storstraumen. Magasinet er en del av Otravassdraget som har sitt opphav sør for Hardangervidda. Vassdraget er omfattende utnyttet til kraftproduksjon, men det er ingen kraftverk som er direkte tilknyttet Byglandsfjorden. Magasinet er det siste store i vassdraget før utløpet i sjøen ved Kristiansand.

Det er spredt bebyggelse langs store deler av magasinet og i hovedsak er dette bolighus. Unntaket er tettstedet Bygland som ligger ved utløpet av magasinet som har mer omfattende bebyggelse/næringsvirksomhet. I tillegg til den faste bebyggelsen er det flere campingplasser langs magasinet som har midlertidig opphold.

Både Åraksfjorden og Byglandsfjorden har infrastruktur på begge sider. Infrastrukturen består av fylkesveg og riksveg. Riksvegen har en årsdøgntrafikk på ca. 2000 og betraktes som en middels trafikkert veg. Fylkesvegene har en årsdøgntrafikk på ca. 100-150 og anses som lite trafikkerte.

## 1.3 Krav til flomsikring

Flomsonekartleggingen utføres for å danne et grunnlag for fremtidig arealutnyttelse langs vassdraget, og for å identifisere hvilke områder som allerede er utsatt for flom. Det heter i TEK17 at byggverk hvor konsekvensen av flom er særlig stor ikke skal plasseres i flomutsatte områder. Videre skal byggverk plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom med bestemte gjentaksintervall. Hvilket gjentaksintervall som blir dimensjonerende avgjøres av konsekvensomfanget som skade på bygget vil medføre. En oversikt over sikkerhetsklassene med tilhørende krav til gjentaksintervall er vist i punktlisten under.

- F1 – Liten konsekvens (Garasje, lager, boder) – 20-årsflom
- F2 – Middels konsekvens (Bolighus, fritidsbolig, skole, kontorbygg) – 200-årsflom
- F3 – Stor konsekvens (Sykehjem, brann-/politistasjon, avfallsdeponi) – 1000-årsflom

Langs Åraksfjorden og Byglandsfjorden er det vurdert at de fleste bygninger, både eksisterende og nye, vil falle inn under sikkerhetsklasse F1 eller F2. Disse skal dermed sikres mot 20-årsflom eller 200-årsflom. F1 omfatter de fleste bygninger uten personopphold, mens F2 omfatter de fleste bygninger som har personopphold. Denne kartleggingen vurderer flom med gjentaksintervallene 20-, 200- og 1000-år. Det vil også bli gjort en vurdering av flomsituasjonene i et fremtidig klima (år 2100) gjennom bruk av klimapåslag. Klimapåslag er anbefalt av NVE ved tiltak i eller i tilknytning til vassdrag.

## 1.4 Kart og datagrunnlag

Alle høyder i denne flomsonekartleggingen refererer til høydegrunnlaget NN2000 hvis ikke annet er spesifisert. Utgangspunktet for vannlinjemodellen er lasedata over området som er lastet ned fra tjenesten [Høydedata](#). Brukonstruksjoner og dammer er basert på tilgjengelige tegninger hos Statens vegvesen og dameier. For Storstraumen er det utført en bunnkartlegging ved bruk av multistråleekkolodd. Denne oppmålingen er mer omfattende beskrevet senere i rapporten. Dam Byglandsfjord har lokale høyder på damtegning som samsvarer med reguleringsgrenser. Disse høydene er imidlertid ikke kontrollert og avviket mot NN2000 er ukjent. Differansen mellom NN2000 og NN1954 er ca. 7,0 cm (NN1954 ligger høyest).

## 2 Flomberegning og hydrologisk grunnlag

### 2.1 Hydrologisk grunnlag og beregningsmetodikk

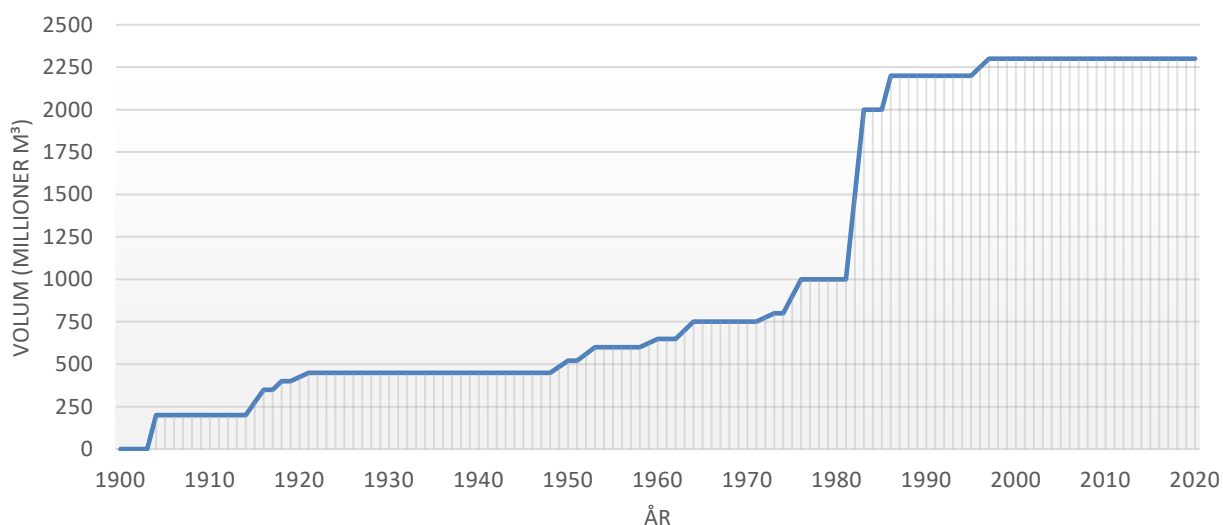
Beregning av flomvannføring i denne flomsonekartleggingen er basert på regulerte vannføringsmålinger fra Otravassdraget. Det betyr at beregningene tar hensyn til den flomdempende effekten dammene historisk har hatt.

Beregningsmetodikken skiller seg fra flomberegninger gjort etter Damsikkerhetsforskriften, hvor uregulerte vannføringer som regel legges til grunn. Slike flomberegninger velger forutsetninger for å bestemme en «worst case» flomverdi. Dette gir konservative, og noen ganger kunstig høye estimat på flomvannføringer. Spesielt gjelder dette i vassdrag med stor grad av regulering. Når flomberegninger gjøres for damanlegg og dimensjonering av disse anses en slik tilnærming som fornuftig. Slike anlegg skal som minimum håndtere 500-årsflom og erfaring tilsier at ved tilstrekkelig store gjentakintervaller vil regulerte flommer konvergere mot uregulerte flomvannføringer. Det betyr at den flomdempende effekten reguleringene har på vassdraget forsvinner hvis flomvannføringen og varigheten tilstrekkelig stor. Ved fastsettelse av flomvannføring i Byglandsfjorden er tidsperspektivet kortere, og det vil være fornuftig å ta hensyn til damanleggene som ligger i vassdraget. Regulerte flommer er derfor vektlagt i denne flomsonekartleggingen.

### 2.2 Regulering i vassdraget

Otravassdraget er regulert av flere dammer. Reguleringen startet tidlig på 1900-tallet og har økt frem til i dag. En grafisk fremstilling av hvordan det regulerte vannvolumet har endret seg over tid er vist i Figur 2. Den største endringen skjedde i forbindelse med etablering av Vatnedalsvatn på 1980-tallet, og siden 1986 har det akkumulerte volumet vært stabilt med en liten økning i 1997.

Energiloven omhandler produksjon, omsetning og bruk av energi i Norge. Loven ble endret i 1990 i forbindelse med liberalisering av kraftmarkedet. Som følge av lovendringen ble reguleringspraksis i Otravassdraget endret for å redusere flomtap. Ved fastsettelse av flomverdi i denne flomsonekartleggingen er derfor perioden fra 1990-2020 vektlagt, men det er gjort sensitivitetsvurderinger på eldre målinger hvor vassdraget var mindre regulert. De største magasinene i nedbørfeltet ligger oppstrøms analyseområdet i denne flomsonekartleggingen.



Figur 2 Akkumulert magasinivolum i Otravassdraget fra 1900-2020.

### 2.3 Beskrivelse av nedbørfelt

Denne flomvurderingen gjelder fra Ose Bru til dam Byglandsfjord. Det er en strekning på ca. 40 km hvor nedbørfeltet øker fra 2105 km<sup>2</sup> til 2674 km<sup>2</sup>. På tross av vassdragets utstrekning er det forholdsvis liten endring i feltparametere med unntak av arealet. Tilnærmet hele analysestrekningen består av et magasin, men det er kjent at vannivået mellom Ose bru og dam Byglandsfjord varierer under flom.

Den observerte spesifikke middelvannføringen varierer, og er om lag 43 l/s/km<sup>2</sup> ved Ose Bru og 40 l/s/km<sup>2</sup> ved dam Byglandsfjord. For å ta hensyn til nedbørfeltene og økende areal er analyseområdet delt opp i mindre delstrekninger. Oppdelingen er gjort på naturlige steder som Storstraumen eller der større bekker renner inn i magasinet. Feltparametere for nedbørfeltene til vassdraget er beregnet med NVEs webapplikasjon Nevina og med kartapplikasjonen «Scalgo Live». En oversikt med generelle nedbørfeltparametere er presentert i Tabell 1 og Tabell 2, mens et oversiktskart med markering av nedbørfeltene er vist i Figur 3.

Tabell 1 Magasininformasjon for Byglandsfjord.

Magasin	Magasinstørrelse (km <sup>2</sup> )	Gjennomsnittsvannstand <sup>1</sup> (moh.)
Åraksfjorden	11,4	201,74
Byglandsfjorden	33,7	201,66
<b>Sum</b>	<b>45,1</b>	-

Tabell 2 Nedbørfeltparametere for ulike deler av Byglandsfjord.

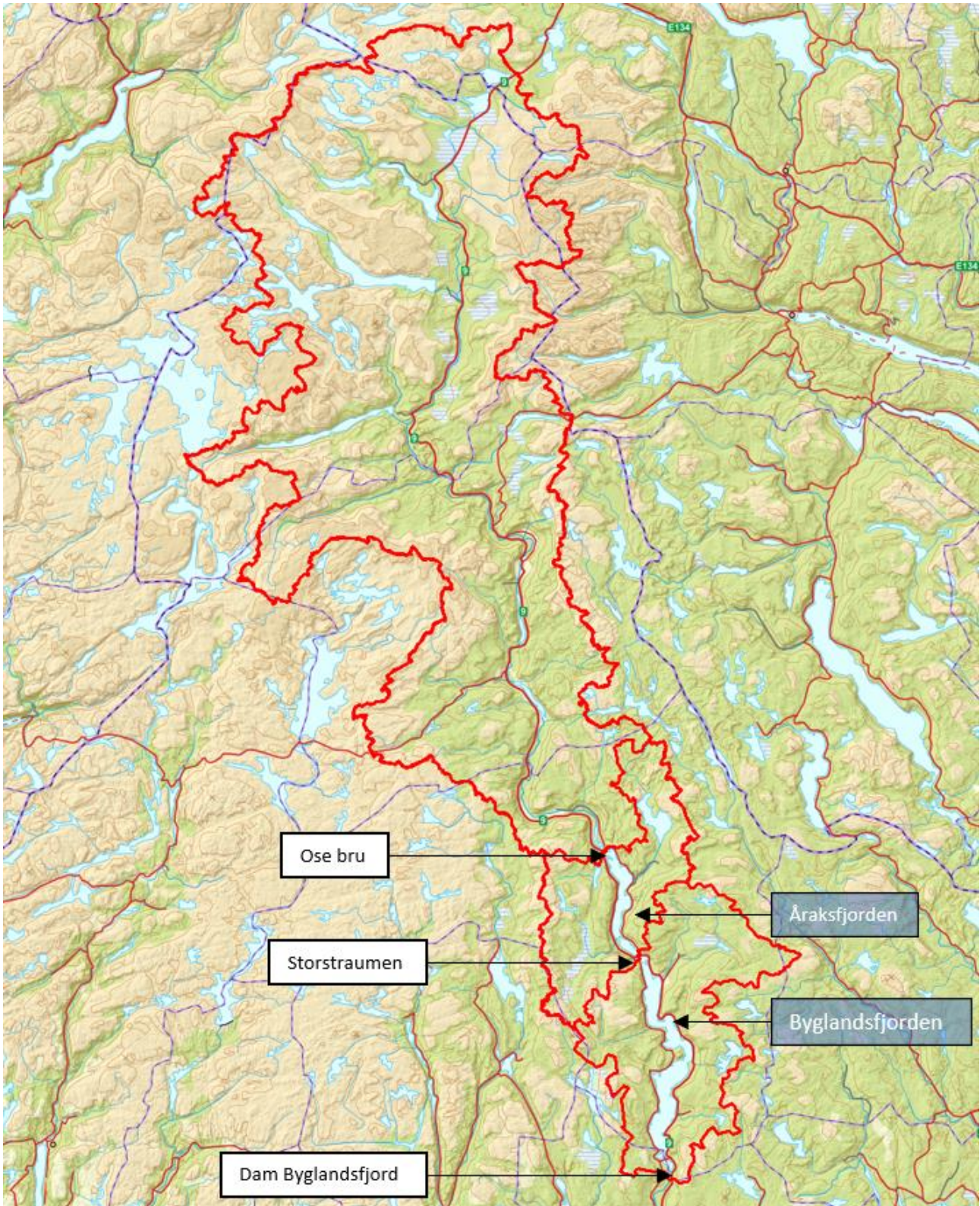
Nedbørfelt	Areal akkumulert <sup>2</sup> (km <sup>2</sup> )	Areal delfelt (km <sup>2</sup> )	Middelvannføring <sup>3</sup> (l/s/km <sup>2</sup> )	Middelvannføring (m <sup>3</sup> /s)
Ose Bru	2105	2105	43,4	91,3
Storstraumen	2330	225	42,4	98,8
Dam Byglandsfjord	2674	344	40,4	108,8

<sup>1</sup> Basert på målinger fra vannmerke 24.48 Åraksfjord og 21.23 Byglandsfjord.

<sup>2</sup> Areal hentet fra Scalgo Live.

<sup>3</sup> Spesifikk middelvannføring (61-90) beregnet med NVEs webapplikasjon Nevina.





Figur 3 Oversiktskart med markering av nedbørfelt.

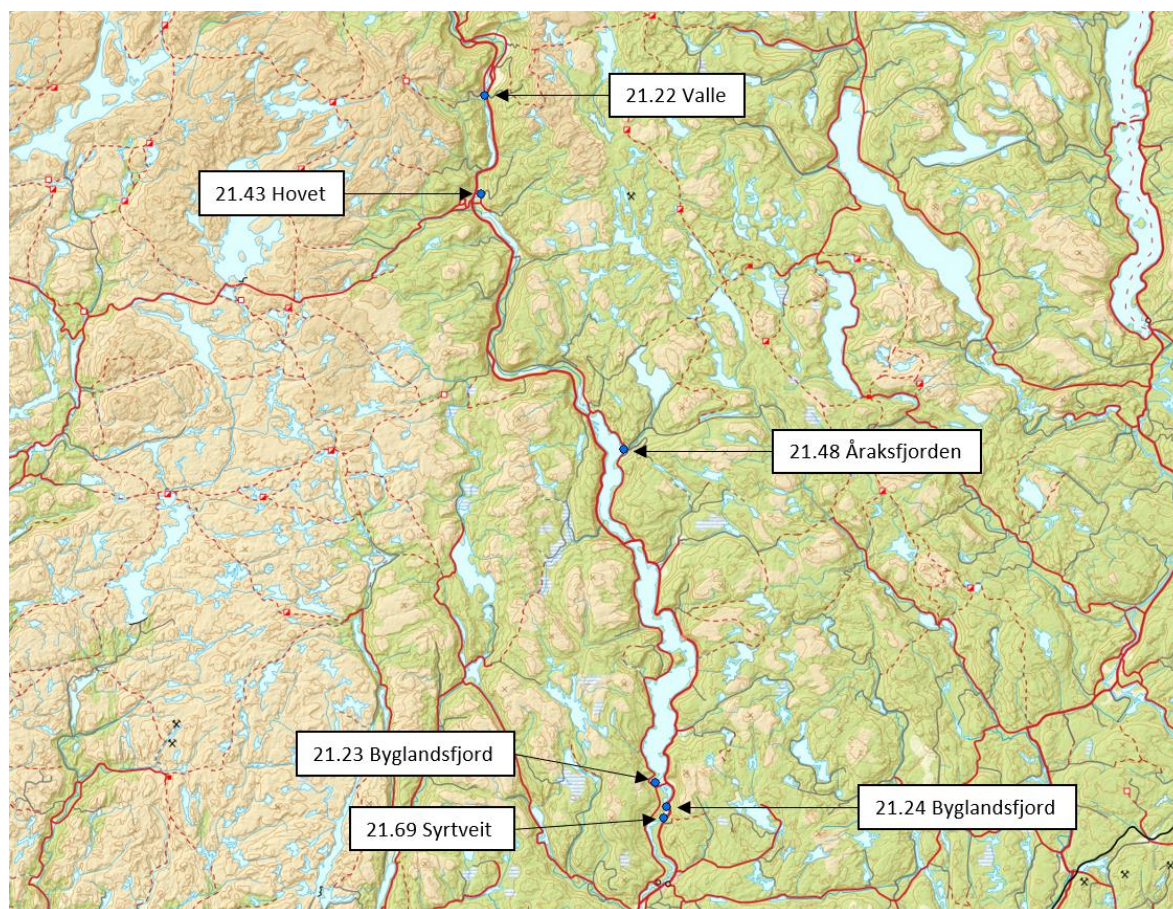
## 2.4 Målestasjoner i området

Utvalgte målestasjoner i vassdraget er benyttet for vurdering av flomvannføring. En oversikt over stasjonene med utvalgte feltparametere er presentert i Tabell 3. Informasjonen i tabellen er hentet fra NVEs database for målestasjoner (Hydra II). Målestasjonene er valgt ut fordi de ligger i analyseområdet eller vassdraget, og har nedbørfeltstørrelser som samsvarer med Byglandsfjord. Spesielt vannmerkene Byglandsfjord og Syrtveit betraktes som representative fordi de ligger ved utløpet av Byglandsfjord og har lang måleserie.

Målestasjonene Valle og Hovet ligger lenger oppstrøms i vassdraget, men er fortsatt forventet å ha sammenlignbare flomforhold som analyseområdet, og da særlig tilløpet til Åraksfjord. Et oversiktskart med markering av vannmerkene er vist i Figur 4. Kartet viser også målestasjonene 21.48 Åraksfjord og 21.23 Byglandsfjord som registrerer vannstand.

Tabell 3 Målestasjoner benyttet i flomberegningen.

Nr.	Navn	Periode	År	Areal (km <sup>2</sup> )	Medianhøyde (moh.)	Eff. sjø-% (%)	Årsavløp (l/s/km <sup>2</sup> )
21.24	Byglandsfjord	1913-2021	109	2805	908	1.8	40,6
21.69	Syrtveit	1913-2021	97	2810	907	1.8	40,6
21.22	Valle	1919-2021	102	1706	1065	0,46	25.1
21.43	Hovet	1965-2021	57	1800	1057	0,48	46.6
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>91</b>	<b>2280</b>	<b>984</b>	<b>1.14</b>	<b>38,2</b>



Figur 4 Oversiktskart med markering av hydrologiske målestasjoner benyttet i denne analysen.

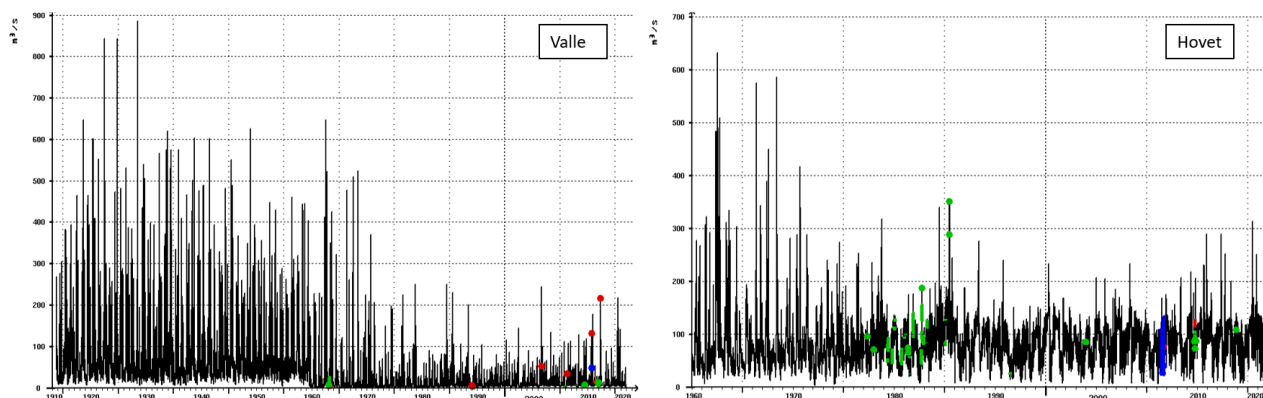
## 2.5 Frekvensanalyse på målestasjoner

Det er utført flomfrekvensanalyse på alle vannmerkene som er presentert i Tabell 3. Beregningene er gjort med NVEs programvare for ekstremverdianalyse, DAGUT, ved bruk av Gumbelfordeling og GEV-fordeling. Tabell 4 viser en oversikt over spesifikk vannføring ved middelflom, 20-årsflom, 200-årsflom og 1000-årsflom i hele måleperioden til vannmerkene.

På tross av at målestasjonene ligger i samme vassdrag, og har forholdsvis like nedbørfelt, gir måledataene ulik spesifikk vannføring når hele måleperioden legges til grunn. Høyest spesifikk vannføring er registrert ved Valle og Hovet som begge ligger oppstrøms Byglandsfjord. Disse blir ikke påvirket av dempingeffekten fra magasinet. Det er derfor ikke uventet at Byglandsfjord og Syrtveit, som ligger nedstrøms magasinet på samme sted, har lavere spesifikk flomvannføring. Differansen mellom Valle og Hovet skyldes måleperioden, og at Hovet i større grad er har målinger fra regulert tidsperiode. Denne effekten er illustrert i Figur 5 som viser måleseriene til begge vannmerkene.

Tabell 4 Vannføring ved utvalgte målestasjoner beregnet med frekvensanalyse på komplette tidsserier.

Nr.	Navn	Periode	Areal (km <sup>2</sup> )	Q <sub>m</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>20</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>200</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>1000</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Fordeling
21.24	Byglandsfjord	1913-2021	2805	162	277	364	414	GEV
21.69	Syrtveit	1913-2021	2810	169	282	367	416	GEV
21.22	Valle	1919-2021	1706	179	411	606	727	GEV
21.43	Hovet	1965-2021	1800	133	243	415	580	GEV/Gumbel
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>2280</b>	<b>161</b>	<b>303</b>	<b>438</b>	<b>534</b>	<b>-</b>



Figur 5 Måleserier fra Valle og Hovet som viser effekten av regulering i Otravassdraget.

For å vurdere effekten av reguleringen i vassdraget er det utført en frekvensanalyse hvor måleperioden er redusert til årene 1990-2021. Det tilsvarer tidsperioden etter ny energilovgivning og med tilnærmet fullregulert periode. Estimert spesifikk vannføring i denne tidsperioden er presentert i Tabell 5. Gjennomsnittlig reduseres spesifikk flomvannføring forholdsvis mye, men det skyldes betydelige reduksjoner ved vannmerkene Valle og Hovet. Ved Byglandsfjord og Syrtveit er endringene mindre, spesielt for høyere gjentaksintervall. Det kan tyde på at effekten av regulering i mindre grad påvirker målestasjonene ved utløpet av Byglandsfjord. Hvis målestasjonene Byglandsfjord og Syrtveit vurderes isolert kan det også se ut som at betydning av vannstandsregulering reduseres for flomhendelser som har gjentaksintervall som er større enn ca. 200 år. Avvikene mellom Byglandsfjord og Syrtveit skyldes at målestasjonen ved Syrtveit mangler en del år i denne perioden. Disse vannmerkene ligger på samme sted og skal vise tilnærmet like resultater.

Tabell 5 Vannføring ved utvalgte målestasjoner beregnet med frekvensanalyse for tidsperioden fra 1990-2021.

Nr.	Navn	Periode	Areal (km <sup>2</sup> )	Q <sub>m</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>20</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>200</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>1000</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Fordeling
21.24	Byglandsfjord	1990-2021	2805	120	225	327	398	Gumbel
21.69	Syrtveit	1990-2021	2810	125	247	365	447	Gumbel
21.22	Valle	1990-2021	1706	63	129	192	235	Gumbel
21.43	Hovet	1990-2021	1800	106	168	228	270	Gumbel
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>2280</b>	<b>103</b>	<b>192</b>	<b>278</b>	<b>338</b>	-

## 2.6 Observerte flommer

### Vannføring

Tabell 6 viser de fem største registrerte døgnvannføringene ved vannmerke 21.24 Byglandsfjord. Største registrerte vannføring forekom 20. juni 1933, før vassdraget ble omfattende regulert. Juli-flommen fra 2008 er imidlertid den nest største registrerte vannføringen som er gjort ved vannmerket, og viser at store flommer fortsatt forekommer til tross for etablert regulering.

Kolonnen «Q<sub>maks</sub>/Q<sub>200</sub>» angir hvor stor vannføring som er observert i forhold til 200-årsflommen som er beregnet med frekvensanalysen (1913-2021). Målingene viser at maksimale observerte flommer ved målestasjonen ligger i sjiktet 80%-100% av estimert 200-årsflom. Juli-flommen fra 2008 svarer til 87% av en 200-årsflom og karakteriseres som er 50-100-årsflom. Til sammenligning er storflommen fra 1933 karakterisert som en flom med gjentaksintervall på ca. 200 år.

Tabell 6 Maksimale flomverdier registrert ved vannmerke 21.24 Byglandsfjord.

År	Dato	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Vannføring (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>maks</sub> /Q <sub>200</sub>
1933	20-Jun	1000	357	0.98
2008	07-Jul	891	318	0.87
1983	17-Oct	861	307	0.84
1990	07-Jul	845	301	0.83
1987	16-Oct	797	284	0.78

## Vannstand

Ved vannmerke 21.23 Byglandsfjord er det registrert vannstand siden tidlig på 1900-tallet, og det eksisterer mer enn 100 år med målinger. For Åraksfjorden er vannstand registrert ved målestasjonen 21.48 Åraksfjorden siden 1970-tallet. Det gir et godt grunnlag for å vurdere både maksimal vannstand, og vannstandsdifferansen mellom delmagasinene.

Tabell 7 viser de høyeste registrerte vannstander som er registrert ved vannmerkene i Åraksfjorden og i Byglandsfjorden. For Byglandsfjorden er det en overvekt av høye målinger i tidsrommet før reguleringen og før det ble etablert målestasjon i Åraksfjorden. For de største vannstandene som er registrert i Åraksfjorden er det også presentert korresponderende vannstand i Byglandsfjorden. Det er imidlertid ikke gitt at en rekordhøy vannstand i Åraksfjorden gir rekordhøy vannstand i Byglandsfjorden.

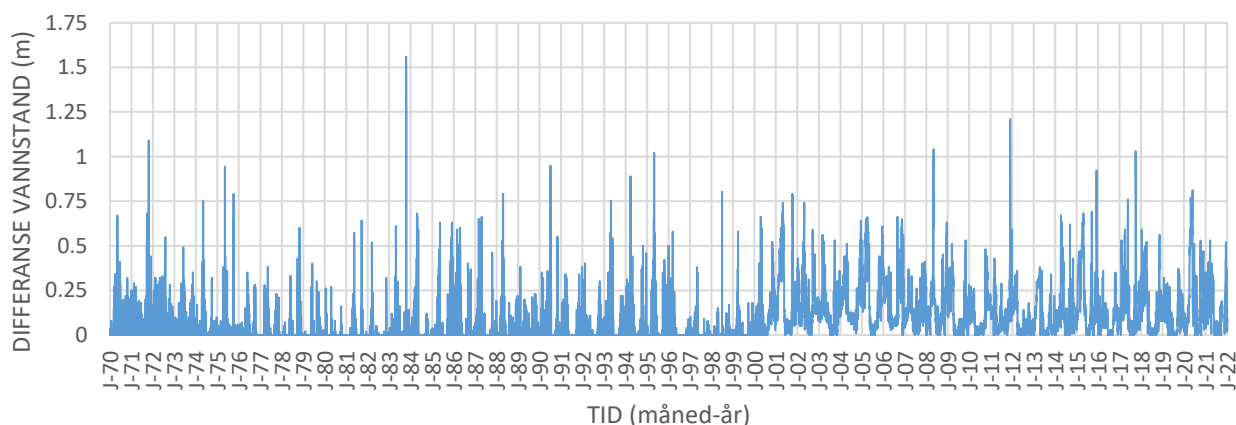
Over tidsperioden med måledata fra begge vannmerkene er det gjort en sammenligning av vannstandsdifferanse mellom delmagasinene. Denne forskjellen er illustrert i Figur 6 og sammenfattet i Tabell 8. Målingene tilsier at det er en vannstandsdifferanse og at denne vannstandsforskjellen kan øke 1-1,5 m ved storflom.

Tabell 7 Høyeste registrerte vannstand i Åraksfjorden og Byglandsfjorden.

År	Dato	Vannstand Åraksfjorden (moh.)	Vannstand Byglandsfjorden (moh.)
1933	20 juni	-	203,68
1927	01 juli	-	203,37
1929	26 oktober	-	203,23
1983	17 oktober	204,47	202,85
1990	06 juli	203,75	202,63
2017	02 oktober	203,69	203,05

Tabell 8 Maksimal og gjennomsnittlig vannstand i måleperioden fra 1970-2021.

Type	Åraksfjorden (moh.)	Byglandsfjorden (moh.)	Differanse (m)
Maksimal vannstand	204,47	203,05	1,42
Gj.snitt årsflom	203,10	202,95	0,15
Gjennomsnittlig vannstand	201,74	201,66	0,08



Figur 6 Registrert vannstandsdifferanse.

## 2.7 Beregning av momentanflom

Flomstørrelsene beregnet i avsnittene over gjelder for gjennomsnittlig verdi over ett døgn, men maksimal flomstørrelse vil alltid være større enn døgnmiddelverdien. Fortrinnsvis fastsettes forholdet mellom maksimal flomstørrelse og døgnmiddelflom ved å analysere de største flomhendelsene som har forekommet i vassdraget. Alternativt kan NVEs formelverk for beregning av kulminasjonsfaktor benyttes. Denne flomsonekartleggingen fastsetter kulminasjonsfaktor ved å vurdere resultater fra NVEs formelverk samt hva som er lagt til grunn i tidligere vurderinger.

Formelverket gitt i NVEs retningslinjer skiller på høstflommer og vårflokker, og er basert på nedbørfeltens feltkarakteristika (feltareal og effektiv sjøprosent). Fordi flomfrekvensanalyse er gjort på årsflokker er ligningen for høstflokker lagt til grunn. Det er ofte en konservativ vurdering. Ligningen er vist under og beregnet forholdstall mellom momentanflom og døgnmiddelflom ligger i sjiktet rundt 1,0. Det vurderes som en kunstig lav verdi, og det er kjent at formelverket kan gi urealistiske verdier for store nedbørfelt med betydelig effektiv sjøprosent.

Det er utført flere flomberegninger for Otravassdraget hvor kulminasjonsfaktor er vurdert (se kapittel 2.8). Seneste flomberegning ble gjort av Sweco hvor det ble fastsatt en kulminasjonsfaktor på 1,07 for de store nedbørfeltene i beregningen. Norconsult gjorde samme år en flomsonekartlegging for nedre del av Otravassdraget. Denne beregningen la til grunn en kulminasjonsfaktor på 1,15 basert på døgn og timesmålinger fra vannmerket 21.11 Heisel. Flomhendelsen i 2008, som er den største i nyere tid hadde et lengre flomforløp og en kulminasjonsfaktor på 1,0.

**Videre i denne flomsonekartleggingen er det valgt å benytte å benytte et forholdstall mellom døgnmiddelflom og kulminasjonsflom på 1,10.** Utgangspunktet for verdien er beregnede forholdstall fra 21.11 Heisel (ved Vennesla), men verdien er korrigert ned for å ta hensyn til høyere effektiv sjø-%, og større relativ flomdemping i Byglandsfjord.

## 2.8 Tidligere flomberegninger i vassdraget

### Flomberegning for reguleringsanlegg i Otravassdraget (2021) [2]

Sweco utarbeidet i 2021 ny flomberegning for reguleringsanleggene i Otravassdraget. Beregningen ble godkjent av NVE med vilkår i vedtak datert 27.07.2022. Flomberegningen dekker tilnærmet hele vassdraget og omfatter totalt 40 ulike damanlegg hvor dam Byglandsfjord er inkludert.

Tilsigsflommen til reguleringsanleggene ble beregnet ved bruk av RFFA-2018, RFFA-NIFS, Nedbør-avløpsmodell og flomfrekvensanalyse på nærliggende vannmerker. For Øvre Byglandsfjord ble det benyttet RFFA-2018 og kommentert at verdien samsvarer med flomfrekvensanalyse. Et av vilkårene for NVEs godkjenning var at 25% tilstopping legges til grunn ved avledning av dimensjonerende flom i bruddgrensetilstand. Resultater fra beregningene er presentert i Tabell 9, Tabell 10 og Tabell 11.

Tabell 9 Spesifikke døgnverdier for tilsig opplyst av Sweco i flomberegning for Otravassdraget.

Sted	Q <sub>1000</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>500</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>200</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>m</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )
Øvre Byglandsfjord	600	570	522	252
Nedre Byglandsfjord	540	513	470	238

Tabell 10 Dimensjonerende flom beregnet i flomberegning utarbeidet av Sweco.

Sted	Flomstørrelse	Tilløp (m <sup>3</sup> /s)	Avløp (m <sup>3</sup> /s)	Vannstand (moh.)	Vannstandsøkning over HRV (m)
Øvre Byglandsfjord	Q <sub>500</sub>	1180	1096	204,62	1,62
	Q <sub>1000</sub>	1259	1161	204,82	1,82
Nedre Byglandsfjord	Q <sub>500</sub>	1146	1023	203,26	0,26
	Q <sub>1000</sub>	1212	1063	203,37	0,37
Dam Byglandsfjord	Q <sub>500</sub>	1028	1028	201,77	-1,23
	Q <sub>500</sub> + tilstopping	1028	1028	202,69	-0,31

Tabell 11 Andre gjentaksintervaller beregnet i flomberegning utarbeidet av Sweco.

Sted	Flomstørrelse	Tilløp (m <sup>3</sup> /s)	Tilløp (l/s/km <sup>2</sup> )	Avløp (m <sup>3</sup> /s)	Avløp (l/s/km <sup>2</sup> )	Vannstand (moh.)	Vannstandsøkning over HRV (m)
Øvre Byglandsfjord	Q <sub>m</sub>	593	253	584	250	203,42	0,42
	Q <sub>200</sub>	1074	459	1008	431	204,36	1,36
	Q <sub>1000</sub>	1259	538	1161	496	204,82	1,82
Nedre Byglandsfjord	Q <sub>m</sub>	613	230	613	230	203,00	0,00
	Q <sub>200</sub>	1052	394	976	365	203,13	0,13
	Q <sub>1000</sub>	1212	454	1063	398	203,37	0,37
Dam Byglandsfjord	Q <sub>m</sub>	616	230	616	230	200,67	-2,33
	Q <sub>200</sub>	981	365	981	365	201,66	-1,35
	Q <sub>1000</sub>	1068	398	1068	398	201,87	-1,13

### Flomsonekartlegging for Otravassdraget (2021) [1]

Norconsult laget en flomsonekartlegging for Otravassdraget i 2021 som dekket strekningen fra dam Byglandsfjord til kommunegrensa mellom Vennesla og Kristiansand. Flomstørrelsen benyttet i beregningene ble bestemt ved bruk av frekvensanalyse på representative målestasjoner hvor 21.69 Syrtveit og 21.11 Heisel ble vektlagt. På grunn av varierende praktisering av vannstandsregulering i vassdraget, ble ulike tidsperioder vurdert og sammenlignet. Det ble konkludert at tidsperioden fra 1990-2020 var den mest representativ for eksisterende og fremtidige forhold. Flomverdier fra denne tidsperioden ble derfor benyttet som et utgangspunkt.

Flomvannføringer benyttet i eksisterende flomsonekartlegging for Otravassdraget er presentert i Tabell 12. For å ta hensyn til fremtidige klimaendringer ble flomvannføringen i analysen ilagt et klimapåslag på 20% for 200-årsflom.

Tabell 12 Flomvannføringer benyttet i flomsonekartlegging for Otravassdraget [1].

Gjentaksintervall (år)	Spesifikk døgnvannføring (l/s/km <sup>2</sup> )	Kulminasjonsvannføring (m <sup>3</sup> /s)	Kulminasjonsvannføring inkl. klimapåslag (m <sup>3</sup> /s)
Middelflom (Q <sub>m</sub> )	129	420	-
10-årsflom (Q <sub>10</sub> )	199	648	-
20-årsflom (Q <sub>20</sub> )	230	749	-
200-årsflom (Q <sub>200</sub> )	357	1162	1394

## 2.9 Valg av flomvannføring

Flomstørrelse i Otravassdraget er fastsatt ved bruk av målinger fra vassdraget med støtte fra tidligere flomberegninger. Måleseriene som er lagt til grunn er vurdert å være representative med målinger fra vassdraget, men representerer også en tidsperiode hvor store endringer har forekommet i reguleringen. Det gjør det mer krevende å sammenligne verdiene direkte.

Tabell 13 viser en sammenligning av spesifikk døgnmiddelflom ved 200-års gjentaksintervall beregnet med ulike metoder. Frekvensanalysene med flere vannmerker viser overraskende store forskjeller, både mellom stasjonene og ulike tidsperioder. Det kan skyldes både unøyaktige målinger, men også synliggjøre hvor stor påvirkning reguleringen har hatt på noen av målestasjonene.

Denne flomsonekartleggingen velger å vektlegge målingene fra vannmerke 21.23 Byglandsfjord som både har lang måleserie og ligger innenfor analyseområdet. Estimerte verdier ved dette vannmerket stemmer forholdsvis bra med det som er lagt til grunn i tidligere beregninger. Det betyr tilnærmet like resultater som nedstrøms flomsonekartlegging og eksisterende flomberegningen for damanleggene i vassdraget. For 20-årsflom er det valgt å legge til grunn tidsperioden fra 1990-2021, mens for 200-årsflom og 1000-årsflom er det valgt å legge til grunn hele den tilgjengelige måleserien. Dette begrunnes med at effekten av reguleringen reduseres ved økende gjentaksintervall. Valgte flomvannføringer ved Ose bru, Storstraumen og Byglandsfjord er presentert i Tabell 14.

Tabell 13 Beregnet 200-års døgnmiddelflom (avløp) med ulike beregningsmetoder.

Beregningsmetode	Døgnmiddel ved 200-årsflom (l/s/km <sup>2</sup> )
Frekvensanalyse komplett måleserie	364-606
Frekvensanalyse 1990-2021	192-365
Flomfrekvensanalyse 21.23 Byglandsfjord 1990-2021	327
Flomfrekvensanalyse 21.23 Byglandsfjord 1913-2021	364
Flomberegning Otravassdraget (Sweco, 2021)	365-431
Flomsonekartlegging Otravassdraget (Norconsult, 2021)	357

Tabell 14 Valgt flomvannføring i flomsonekartlegging for Byglandsfjord.

Sted	Gjentaksintervall (år)	Døgnmiddelflom (l/s/km <sup>2</sup> )	Døgnmiddelflom (m <sup>3</sup> /s)	Kulminasjonsflom (m <sup>3</sup> /s)
Ose bru	20-årsflom	250	526	579
	200-årsflom	364	766	843
	1000-årsflom	400	842	926
Storstraumen	20-årsflom	250	583	641
	200-årsflom	364	848	933
	1000-årsflom	400	932	1025
Dam Byglandsfjord	20-årsflom	250	669	735
	200-årsflom	364	973	1071
	1000-årsflom	400	1070	1177



Klimaframskrivninger for Norge tilsier endringer i fremtidig temperatur og nedbørforhold. Agder-fylkene er dominert av regnflommer på høsten og om vinteren, og det er forventet at denne tendensen vil være mer markant i fremtiden. NVE anbefaler 20% klimapåslag for alle større nedbørfelt i regionen, og minimum 20% klimapåslag for nedbørfelt som har areal mindre enn 100 km<sup>2</sup> og som reagerer raskt på styrtregn. Det påpekes at størst endring er forventet i kystnære områder (20-30%), mens høytliggende nedbørfelt i innlandet vil oppleve mindre endringer.

Klimapåslag er ikke et krav, men er på generelt grunnlag anbefalt av NVE ved prosjektering av varige tiltak i tilknytning til vassdrag. Norconsult legger derfor til grunn at 20% klimapåslag benyttes for flomsonekartlegging langs Byglandsfjorden. Kulminasjonsvannføring for 200-årsflom og 1000-årsflom inkludert klimapåslag (20%) er presentert i Tabell 15. For 20-årsflom er det ikke regnet med klimapåslag, men endringen er likevel vist i tabellen.

Tabell 15 Valgt flomvannføring i flomsonekartlegging for Byglandsfjord inkl. klimapåslag.

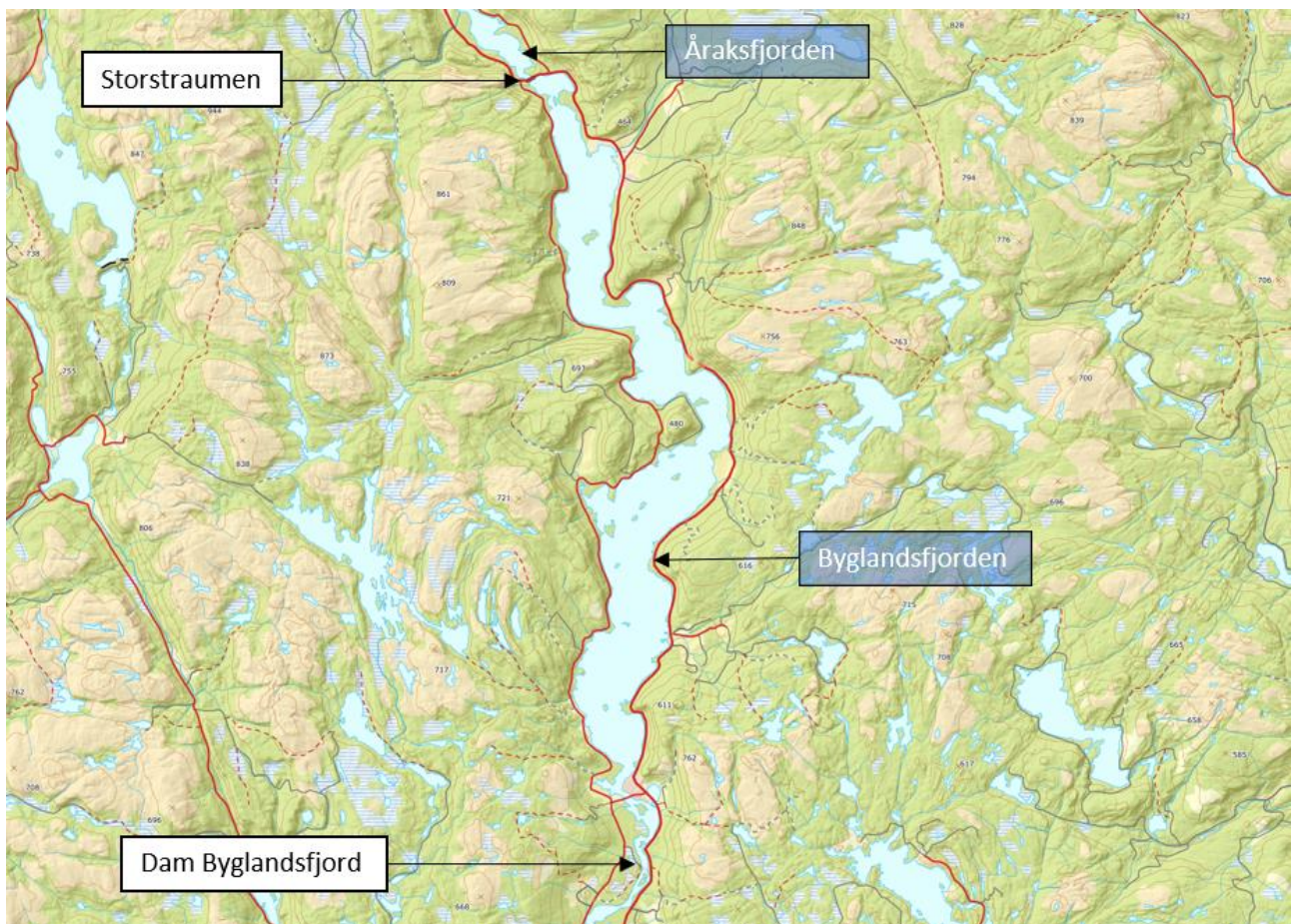
Sted	Gjentaksintervall (år)	Kulminasjonsflom (m <sup>3</sup> /s)	Kulminasjonsflom inkl. klimapåslag (m <sup>3</sup> /s)
Ose bru	20-årsflom	579	695
	200-årsflom	843	1012
	1000-årsflom	926	1111
Storstraumen	20-årsflom	641	769
	200-årsflom	933	1120
	1000-årsflom	1025	1230
Dam Byglandsfjord	20-årsflom	735	882
	200-årsflom	1071	1285
	1000-årsflom	1177	1412

### 3 Reguleringsanlegg i analyseområdet

Det er to reguleringsanlegg som påvirker flomsonekartleggingen langs Åraksfjorden og Byglandsfjorden:

- 1) Storstraumen sluseanlegg
- 2) Dam Byglandsfjord

Storstraumen sluseanlegg skiller Åraksfjorden og Byglandsfjorden, mens dam Byglandsfjord ligger ved utløpet av Byglandsfjorden. Dammen påvirker vannstanden i magasinet. Begge anleggene er markert på kart i Figur 7, og er ytterligere beskrevet i påfølgende delkapittel.



Figur 7 Markering av reguleringsanlegg som påvirker flomsonekartlegging i Åraksfjorden og Byglandsfjorden.

### 3.1 Dam Byglandsfjord

#### Beskrivelse av dam Byglandsfjord

Dam Byglandsfjord er en kombinert damkonstruksjon bestående av en fyllingsdam, en gravitasjonsdam og en lukedam. Lukedammen og gravitasjonsdammen ligger i selve elveløpet mens fyllingsdammen ligger på vestre elvebredd. Et flyfoto som viser dammen er vist i Figur 8, mens damtegninger ligger vedlagt i Bilag 4. Flomavledning fra dammen skjer via fire segmentluker og en klappeluke.

Tabell 16 Nøkkeldata for dam Byglandsfjord.

Damnavn	Dam Byglandsfjord
Eier	Agder Energi
Dam-nummer	3221
Damtype	Kombinert (Fyllingsdam, lukedam, gravitasjonsdam)
HRV	203 moh.
Damkrone	204 moh.



Figur 8 Flyfoto med markering av dam Byglandsfjord.

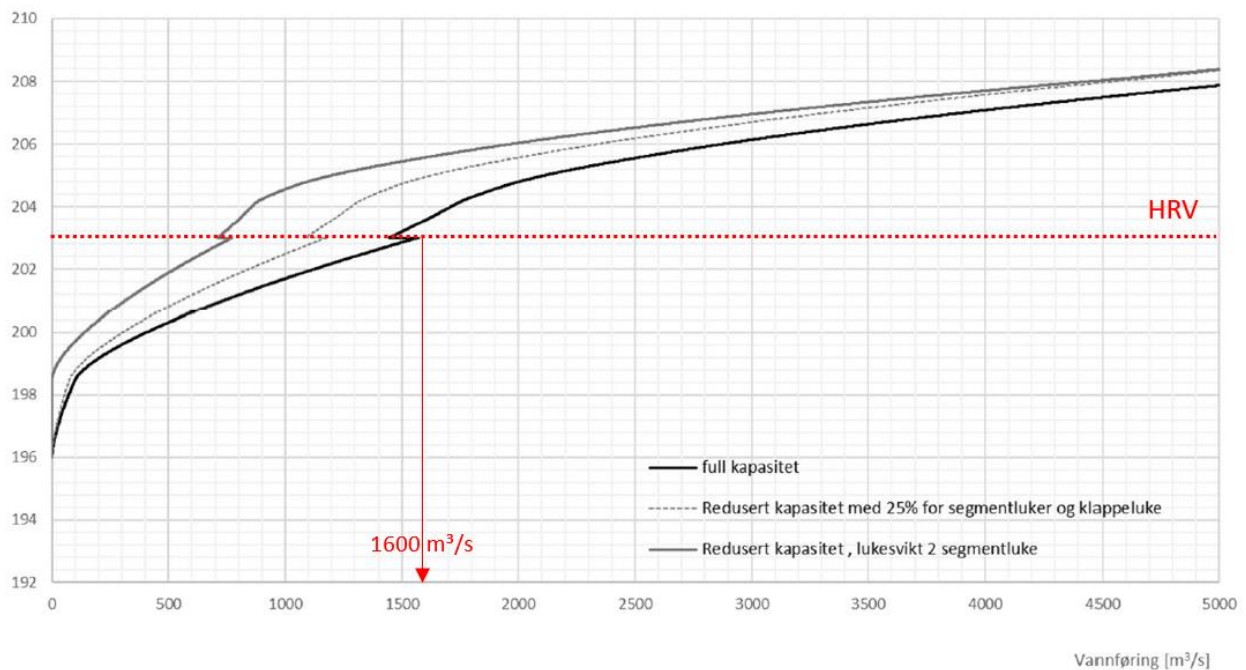
Kapasitetskurve for dam Byglandsfjord

Figur 9 viser flomavledningskapasitet ved dam Byglandsfjord beregnet av Sweco i flomberegning for Otravassdraget. Kurven forteller at flomlukene ved dammen klarer å avlede ca. 1600 m<sup>3</sup>/s før høyeste tillatte regulerte vannstand (HRV = 203 moh.) overskrides. Det er mer enn 1000-årsflom inkludert klimapåslag. Kapasiteten forutsetter at alle flomluker ved dammen står åpne. En oversikt over ulike vannstander ved dam Byglandsfjord, gitt ulik vannføring og lukestyring er vist i Tabell 17.

Tabell 17 Vannstand ved dam Byglandsfjord ved ulike vannføringer. Verdier hentet fra flomberegning [2]. Grønn farge betyr at dammen har kapasitet til å avlede flom uten overtopping. Rød farge tilsier at dammen overtoppes.

Gjentaksintervall	Kulminasjonsvannføring (m <sup>3</sup> /s)	Vannstand full kapasitet (moh.)	Vannstand lukesvikt <sup>4</sup> (moh.)
20 år	662	200,8	202,6
200 år	1071	201,8	204,7
1000 år	1171	202,1	204,9
1000 år inkl. klimapåslag	1405	202,6	205,4

Vannstand [m]



Figur 9 Kapasitetskurve for flomavledning ved dam Byglandsfjord hentet fra flomberegning for Otravassdraget [2].

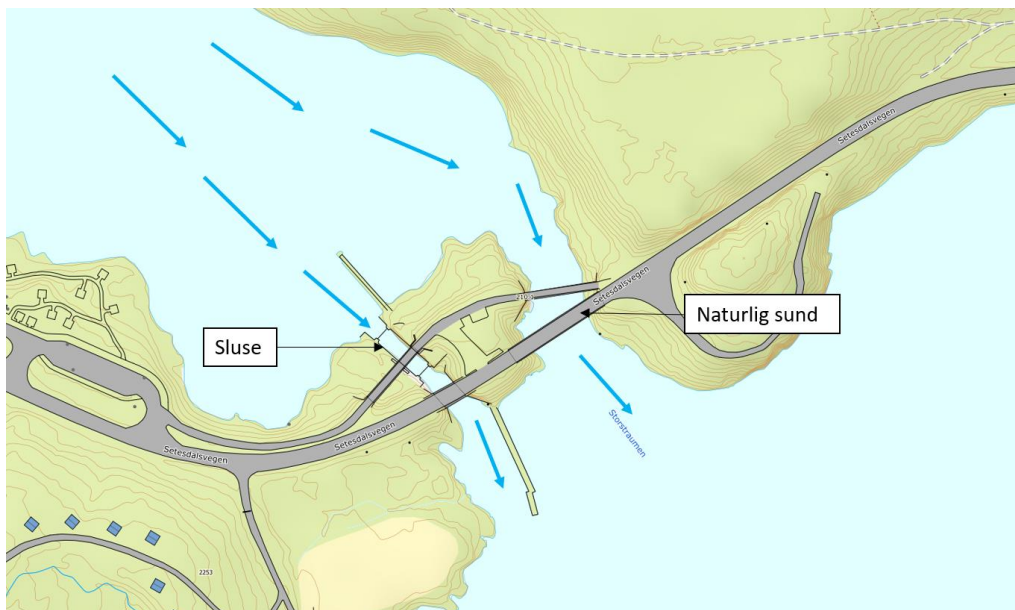
<sup>4</sup> Lukesvikt på to segmentlunker

### 3.2 Storstraumen sluseanlegg

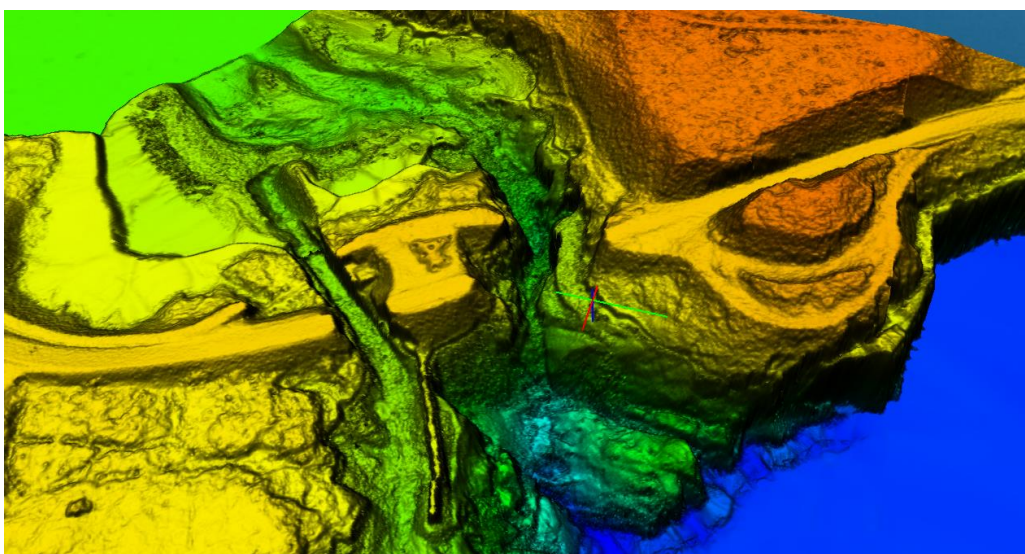
Storstraumen skiller Åraksfjorden og Byglandsfjorden, og består av et smalt sund og et sluseanlegg. Både sluseanlegget og sundet krysses av to bruer (Bilag 3). Sluseanlegget styres manuelt og er bare åpent på sommeren når turistbåten Bjorden skal passere. Et oversiktskart over Storstraumen er vist i Figur 10.

- Flomsonekartleggingen forutsetter at slusene er stengt.

Det naturlige sundet i Storstraumen blir styrende for vannivået i Åraksfjorden, og er av den grunn kartlagt i forbindelse med denne flomsonekartleggingen. Kartleggingen er utført av selskapet Styvehavn som benytter båt med multistråle ekkolodd. Det gir detaljerte resultater og et utsnitt av oppmålt kanal er vist i Figur 11.



Figur 10 Kart over Storstraumen sluseanlegg.



Figur 11 Utsnitt for bunnkartlegging gjort i Storstraumen mellom Åraksfjorden og Byglandsfjorden.

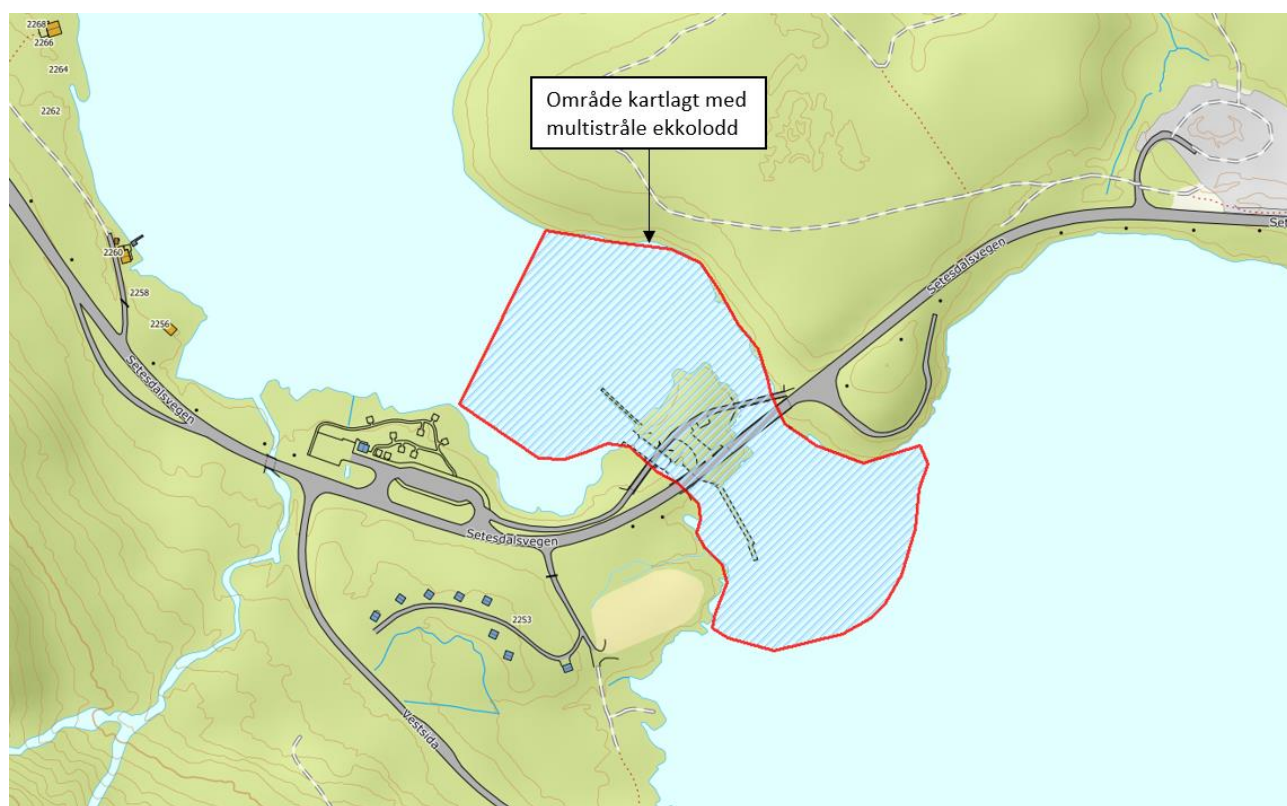
## 4 Hydraulisk vannlinjemodell

### 4.1 Beregningsmodell og datakvalitet

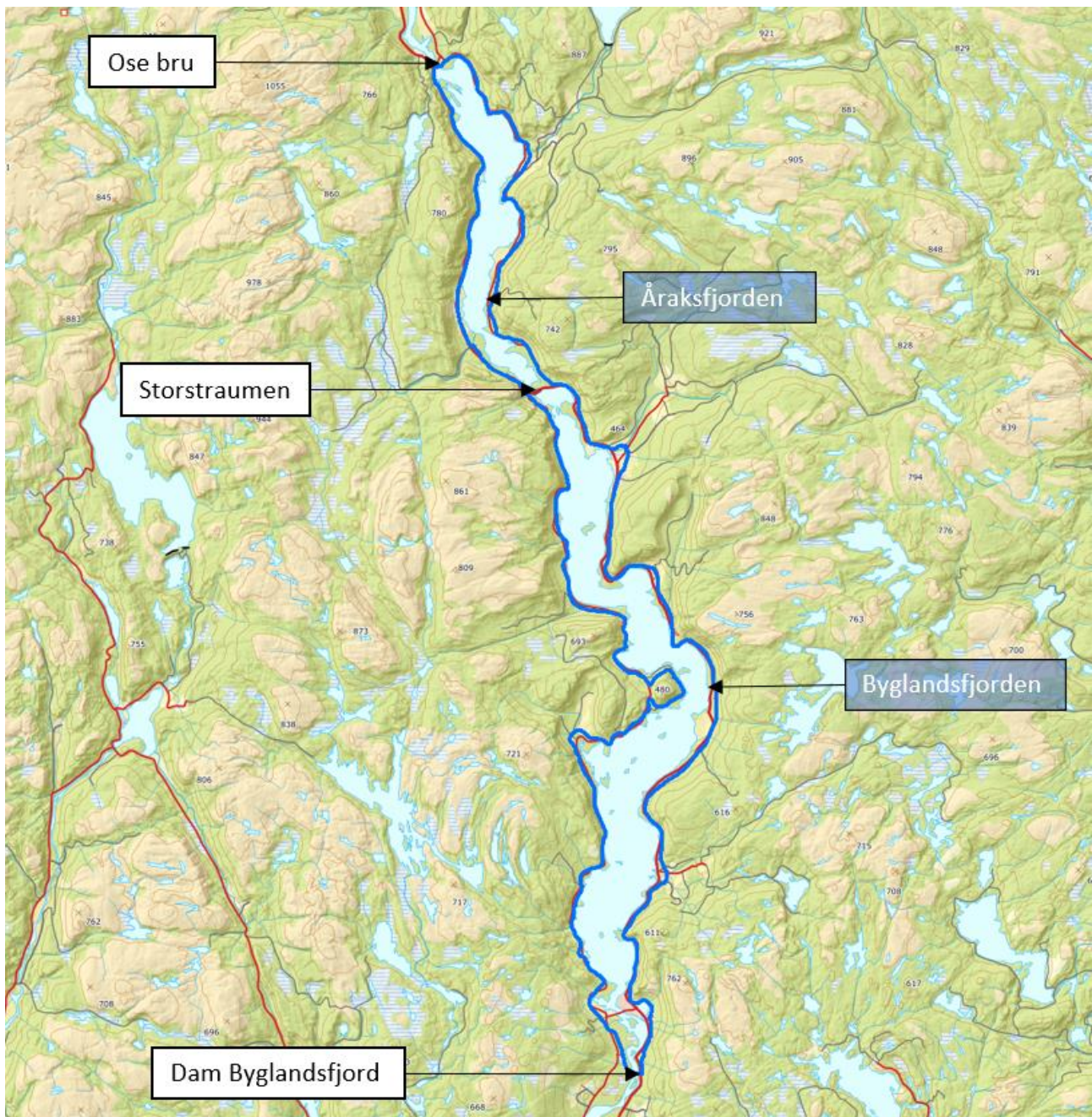
Flomutbredelse og vannstand langs Byglandsfjorden og Åraksfjorden er beregnet ved bruk av en 2-dimensjonal-vannlinjemodell i dataprogrammet HEC-RAS. Grunnlaget for modellen er laserdata over området fra 2017 som har en punkttetthet på 5 pkt. per kvadratmeter. Oppmålingen er tradisjonell lasermåling gjort fra fly og dataene er lastet ned fra «hoydedata.no». Alle høydene i modellen refererer til høydedatum NN2000. Et oversiktskart med markering av det analyserte området er vist i Figur 13.

Tradisjonell oppmåling fra fly klarer ikke å registrere magasinbunnen når vanddybden er stor, og dersom terrenggrunnlaget ikke korrigeres, vil modellen gi konservative resultater. For beregning av vannstander i Åraksfjorden-Byglandsfjorden er dette avgjørende i det smale sundet gjennom Storstraumen. Derfor er strekningen kartlagt med multistråle ekkolodd. Et kart som viser oppmålt strekning, er vist i Figur 12. Resten av modellen er skjønnsmessig korrigert uten oppmålingsgrunnlag, men disse delene av vassdraget har så stor vanddybde at bunnforholdene ikke påvirker resultatene.

Vannstand og vannføring i HEC-RAS-modellen beregnes mellom celler i et beregningsnett. Cellestørrelsen i modellen varierer, og i vassdraget er størrelsen satt fra 5x5 meter til 50x50 meter. Minst størrelse er benyttet i Storstraumen og på strekningen ned mot dam Byglandsfjord. Størst cellestørrelse er benyttet der magasinet har stor bredde og liten endring i vannstand. Markante formasjoner i terrenget, slik som veger, har mindre celle-størrelse gjennom bruk av «break lines». Modellen er satt opp med ligningssettet «SWE-ELM» og krav om at Courant-tallet i beregningene ikke skal overstige 1,0.



Figur 12 Kart som viser området som er kartlagt med multistråle ekkolodd.

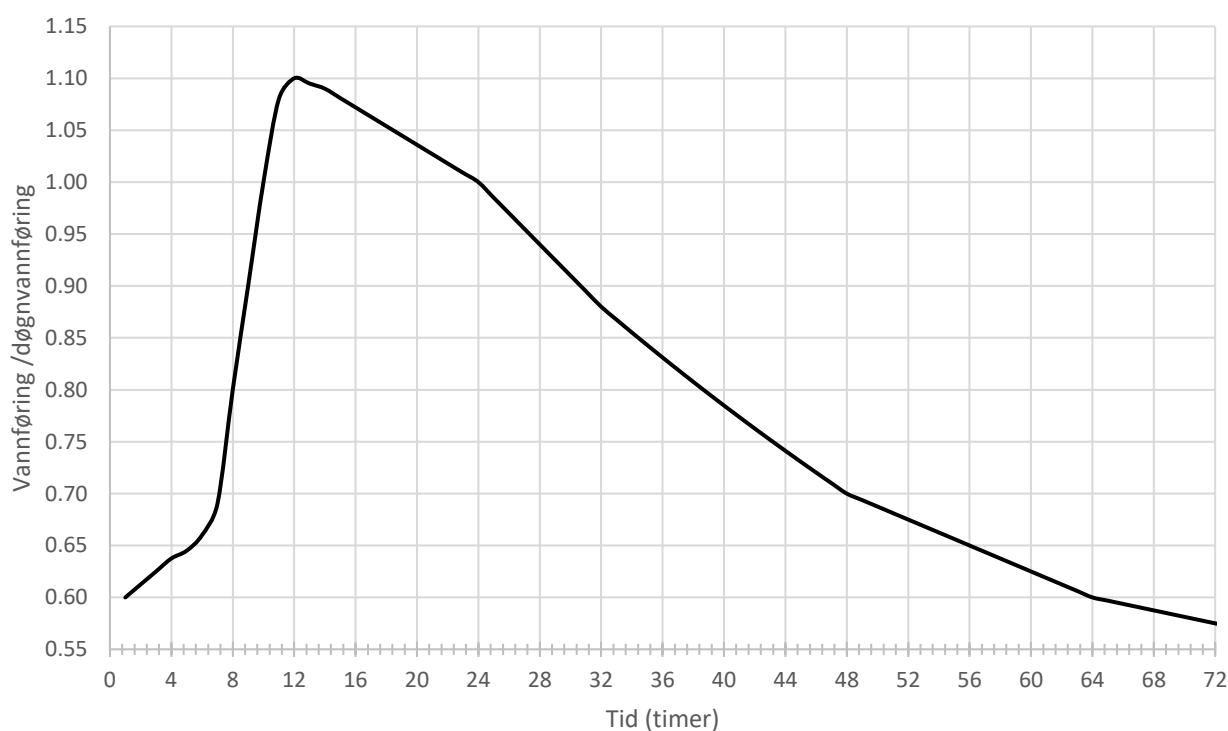


Figur 13 Oversiktskart med markering av analyseområdet med blått omriss.

## 4.2 Grensebetingelser og friksjonsforhold i vannlinjemodellen

### Oppstrøms grensebetingelser

Vannlinjemodellene er satt opp med en øvre og en nedre grensebetingelse, hvor oppstrøms grensebetingelse er beregnet flomvannføring i Byglandsfjorden. For å ta hensyn til økende nedbørfelt tilføres modellen vannføring på utvalgte steder hvor større bekker renner inn i analyseområdet. Flomvannføringen er satt opp som et flomforløp, hvor formen på forløpet er hentet fra flomberegningen som er laget for Otravassdraget [2]. Forløpet er vist i Figur 14 og tilpasset slik at avløpsverdiene i modellen svarer til kulminasjonsverdiene som er presentert i Tabell 15. Dette skyldes at flomanalysen er utført på avløpsflomverdier.



Figur 14 Flomforløp benyttet i flomsonekartlegging for Byglandsfjord.

### Nedstrøms grensebetingelser

Siden vannlinjemodellen er satt opp med ulike forutsetninger ved Dam Byglandsfjord blir nedstrøms grensebetingelse forskjellig. For situasjonene som følger avløpskurven til dammen er det valgt å sette en fast vannstand som nedstrøms grensebetingelse. Denne vannstanden svarer til HRV så lenge lukene har kapasitet til å avlede flomvannføringen. For en lukesviktsituasjon (2 luker) er vannstanden satt til det samme nivået som i flombergningen.

For en ulykkesituasjon, hvor alle lukene er stengt, er nedstrøms grensebetingelse flyttet nedstrøms dammen og satt til «normal depth». Det betyr at grensebetingelsen styrer vannlinjens helning der modellen er avsluttet. Siden modellen er avsluttet nedstrøms dam Byglandsfjord vil ikke grensebetingelsen påvirke flomforhold på oppstrøms side av dammen.



### Friksjonsforhold

Friksjonsforholdene i vassdraget er vurdert fra kartdata og flyfoto. Vannhastighetene er jevnt over lave og varierer fra ca. 0,2-4,0 m/s. Enkelte smale strekninger har høyere hastighet. Det forekommer gjennom Storstraumen og ned mot dam Byglandsfjord. Elvebredden langs vassdraget består av skog, jordbruksareal eller bebyggelse. Bebyggelsen ligger forholdsvis tett på elva og består av hus med gårdsplasser og hageareal. Bygninger er inkludert i modellen som terreng slik at vann ikke kan renne gjennom, men blir tvunget rundt.

Friksjonsfaktoren i modellen er basert på Manningstall ( $M=1/n$ ), og varierer fra  $n=0,02$  der det er veger til  $n=0,1$  i skogområdene. Manningstallet i elveløpet er satt til 0,03 ( $M=33$ ). Inndeling av arealsoner er basert på arealressurskart fra Statens kartverk, mens valg av Manningstall er gjort med utgangspunkt i erfaringstall fra vassdragshåndboka til NVE. En oversikt over Manningstall benyttet i modellen er vist i Tabell 18.

Tabell 18 Oversikt over Mannings-tall benyttet i vannlinjemodellene.

Arealtype	Mannings-tall n (M)
Bebygd	0.040 (25)
Infrastruktur	0.020 (50)
Fastmark og jordbruksareal	0.055 (18)
Ferskvann	0.030 (33)
Skog	0.100 (10)

### **4.3 Infrastruktur, bebyggelse og andre forhold langs vassdraget**

#### Bruer

Det er totalt seks bruer som krysser vassdraget og som i ulik grad påvirker flomforholdene i vassdraget. Bruene er inkludert i modellene med brukar og eventuelt brudekke for de situasjonene hvor vannstanden berører brudekket. Bilder av bruene med målsatte tegninger ligger vedlagt i Bilag 3.

## 5 Resultater

### 5.1 Resultat og forutsetninger

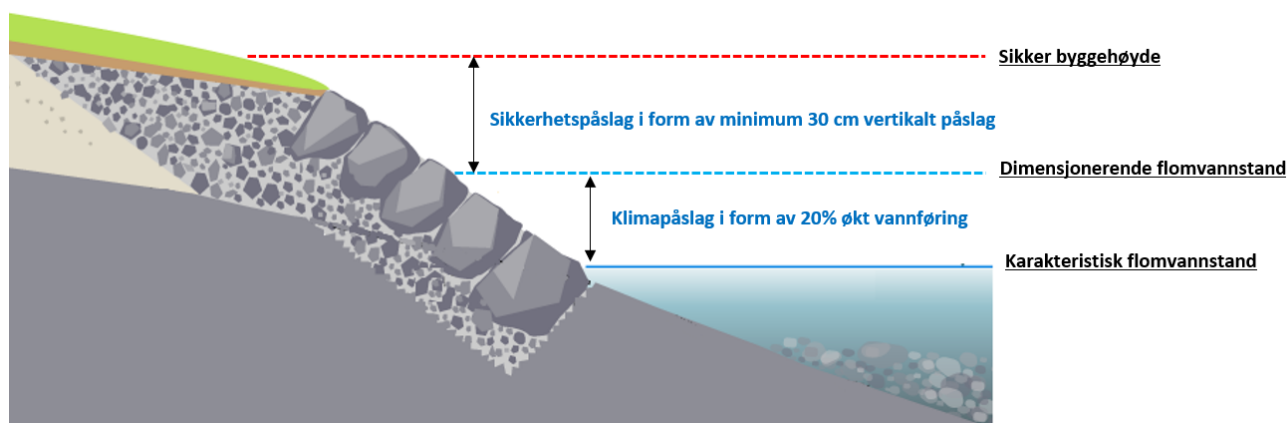
Flomsonekartlegging langs Byglandsfjorden er gjort for ulike gjentaksintervaller, og med ulike forutsetninger for håndtering av flom forbi dam Byglandsfjord. For dimensjonerende flom er det en forutsetning i beregningene at lukekapasiteten ved dam Byglandsfjord utnyttes, og at vannstanden ved dammen holdes på nivå med HRV (203 moh.). Lukene ved dammen har stor kapasitet, og kan benyttes til å senke vannstanden. Senkning under HRV vurderes som urealistisk, og det er mer sannsynlig at Byglandsfjord kan benyttes til flomdempning. Dette kan gjøres for å sikre vassdraget nedstrøms (som er flomutsatte) mot flomskade.

Flomsonekart som viser oversvømmelse og vannivå for flommer med 20-, 200- og 1000-års gjentaksintervall ligger vedlagt i Bilag 2. For 200-årsflom og 1000-årsflom er det også laget kart hvor klimapåslag er inkludert.

For å vurdere usikkerheten i modellen og hvordan lukestyring ved dam Byglandsfjord påvirker vannstanden oppstrøms er det gjort vurderinger med andre forutsetninger. Disse beregningene er beskrevet i kapittel 6.3.

NVE har en generell anbefaling om å inkludere et sikkerhetspåslag ved bruk av vannlinjemodeller i forbindelse med flomsonekartlegging. Tradisjonelt er dette et vertikalt påslag på 30-50 cm. Siden utført vannlinjeberegning ikke har gode kalibreringsdata anbefaler Norconsult at dimensjonerende flomvannstand ilegges en sikkerhetsmargin på minimum 30 cm. Argumentet for en sikkerhetsmargin i nedre sjikt av anbefalte verdier er at stor endring i vannføring kreves for å øke vannstanden betydelig. Det betyr at sikker byggehøyde langs vassdraget settes lik beregnet flomvannstand inkludert klimapåslag (dimensjonerende flomvannstand) + et sikkerhetspåslag på minimum 30 cm. Dette er illustrert i Figur 15.

Utført flomsonekartlegging dekker hovedvassdraget og vannstandsstigning i Otra. Beregningene dekker ikke sidebekker som renner inn i vassdraget. Det understrekes at flom også kan forekomme i disse, selv om det ikke kommer frem på vedlagte flomsonekart. Flom som følge av lokal overflateavrenning er heller ikke vurdert.



Figur 15 Utgangspunkt for fastsettelse av sikker byggehøyde for tiltak i sikkerhetsklasse F2 og F3. For sikkerhetsklasse F1 gjelder nivået «karakteristisk flomvannstand» + 30 cm vertikalt påslag.

## 5.2 Flomutbredelse og vannivå

Flom i Byglandsfjord/Åraksfjord gir økt vannstand og oversvømmelse på lavtliggende områder langs vassdraget. Gjennom Åraksfjorden og Byglandsfjorden dannes tilnærmet flate vannspeil, med markante fall gjennom Storstraumen, og på strekningen mellom Byglandsfjorden og dam Byglandsfjord. Det oppstår også marginale falltap forbi andre trangere partier i vassdraget (Skåmeneset og Lislestraumen), men disse er i størrelsesorden 1-3 cm og er derfor neglisjert i denne sammenheng.

En oversikt over vannstander i Åraksfjorden og Byglandsfjorden, samt differansene mellom delmagasinene er vist i Tabell 19. For en 200-årsflom inkludert klimapåslag er vannstanden henholdsvis 4,69 meter og 3,45 meter over målt gjennomsnittsvannstand i henholdsvis Åraksfjorden og Byglandsfjorden.

Tabell 19 Vannstander i Byglandsfjorden og Åraksfjorden gitt HRV (203 moh.) ved dam Byglandsfjord.

Gjentaksintervall	Vannstand Åraksfjorden (moh.)	Vannstand Byglandsfjorden (moh.)	Differanse (m)
Gjennomsnittsvannstand	201,74 (0,0)	201,66 (0,0)	0,08
20-årsflom	204,57 (+ 2,83 m)	203,89 (+ 2,23 m)	0,68
200-årsflom	205,75 (+ 4,01 m)	204,65 (+ 2,99 m)	1,10
1000-årsflom	205,98 (+ 4,24 m)	204,83 (+ 3,17 m)	1,15
200-årsflom inkl. klimapåslag	206,43 (+ 4,69 m)	205,11 (+ 3,45 m)	1,32
1000-årsflom inkl. klimapåslag	206,63 (+ 4,89 m)	205,28 (+ 3,62 m)	1,35

## 5.3 Berørte bygninger og infrastruktur

### Bygninger

Flere bygninger ligger tett på vassdraget og står i fare for å bli berørt ved flom. Denne oppsummeringen vurderer ikke enkeltbygninger, men nevner de områdene hvor flere bygninger forventes å bli påvirket. Spesielt utsatt er campingplassene Reiårsfossen og Neset. Disse har større lavtliggende arealer med bygninger som vil bli oversvømt.

Langs vassdraget er det også flere fritidsboliger som er etablert tett på vannkanten. Et stort antall av disse må forventes å få vann inn mot hytteveggen, men vannstandsstigningen vil skje over tid. Det vil forekomme materielle skader, men faren for liv og helse vurderes som forholdsvis liten. Av utsatte områder er det Skåmeneset og Langensøyi som har høyest tetthet av utsatte fritidsboliger.

Utsatte bolighus ligger ved Byglandsfjord og det er spesielt bygninger som ligger på vannsiden av Strandgata/Stasjonsvegen som vil bli berørt. For de fleste av disse vil vanddybden inn mot husveggen være begrenset.

### Infrastruktur

Det må forventes at flere lavtliggende vegstrekninger langs vassdraget blir oversvømt ved stor flom. Østsiden av vassdraget vurderes som mest utsatt, men også kortere strekninger på vestsiden står i fare for å måtte stenge. For de fleste vegstrekningene vil vannhastigheten være nærmest stillestående. Det vurderes at de mest utsatte vegstrekningene ligger der større elver renner inn i vassdraget. Spesielt elvene Hovassåni, Skåmåne og Kvålsåna kan ha betydelig vannføring kombinert med høy vannhastighet. Kombinasjonen av stor vannføring, høy vannhastighet og kulverter/bruere kan ofte føre til skader som gjør at infrastruktur må stenge.

## 6 Konklusjon og diskusjon av resultatet

### 6.1 Konklusjon

Utført flomsonekartlegging dokumenterer vannivåer som er forventet ved ulike gjentaksintervaller. Tabell 20 viser en oversikt over styrende vannivåer i Åraksfjorden og Byglandsfjorden i forhold til krav i TEK17. Tiltak langs vassdraget som ligger høyere enn gitte nivåer og samtidig utenfor flomsone vurderes som flomsikre. Tilsvarende havner laveliggende tiltak innenfor flomsone. Det er mulig å etablere bygg innenfor flomsone, men disse må enten sikres eller utformes for å tåle/håndtere flom. På strekningen mellom utløpet av Byglandsfjorden og ned til dam Byglandsfjord har vannlinjen et fall, og opplyste nivåer på flomsonekartene + minimum 30 cm sikkerhetspåslag styrer nivået som blir sikker byggehøyde.

Tabell 20 Styrende vannivåer for Åraksfjorden og Byglandsfjorden relativt til sikkerhetsklasser i TEK17.

Sikkerhetsklasse	Sikker byggehøyde langs Åraksfjorden (moh.)	Sikker byggehøyde langs Byglandsfjorden (moh.)
F1	204,87	204,19
F2	206,73	205,41
F3	206,93	205,58

### 6.2 Vurdering av kvalitet

#### Kvalitet på hydrologisk grunnlag

Vannføringer i vannlinjemodellen er hentet fra målinger i vassdraget, og disse er forventet å være representative. Samtidig er kvaliteten på målingene ukjent, og nøyaktigheten er derfor usikker, spesielt for store vannføringer. Valgt 1000-årsflom ved dam Byglandsfjord ligger litt lavere enn hva frekvensanalyse på vannmerkene indikerer, men samsvarer bra med flomberegningen som er utført for vassdraget og som er godkjent av NVE. Generelt sett betraktes kvaliteten på det hydrologiske grunnlaget som bra.

#### Kvalitet på GIS-grunnlag

Terrenggrunnlaget benyttet i modellen er en kombinasjon av bunnoppmåling og laserdata av terrenget. Kvaliteten på grunnlaget betraktes som god, og et nyere grunnlag er ikke forventet å påvirke resultatet nevneverdig. Det gjelder så lenge betydelige topografiske endringer ikke utføres i eller langs vassdraget.

#### Beregningskvalitet

Det eksisterer ikke kalibreringsdata for analyseområdet på stor vannføring som på en god måte tar hensyn til både vannføring, vannstandsforskjeller og lukestyring ved dam Byglandsfjord. Kvaliteten til vannlinjemodellen er derfor vanskelig å kontrollere. Alle hydrauliske beregninger som ikke har gode kalibreringsdata, innehar usikkerhet. Usikkerheten er ivaretatt gjennom vertikalt sikkerhetspåslag på minimum 30 cm.

### 6.3 Sensitivitet i beregningene

Sensitiviteten i beregningene er vurdert ved å endre avløpsforholdene ved Dam Byglandsfjord, endre friksjonsforholdene i modellen og ved å simulere ulike vannføringer.

Hvis vannstanden i Byglandsfjorden sammenlignes ved 20-årsflom og 1000-årsflom tilsier beregningene at ca. 100% økning i vannføring påvirker nivået med ca. 1,5-2,0 meter. Tilsvarende er vannstandsforskjellen mellom en 200-årsflom og 200-årsflom inkl. 20% klimapåslag ca. 0,5 meter. Sett opp mot økningen i vannføring betraktes vannivåstigningen som forholdsvis beskjeden, og vannlinjemodellen er forholdsvis lite sensitiv for endring i vannføring.

Vannlinjemodellen i HEC-RAS tar hensyn til friksjon gjennom bruk av manningskoeffisient ( $n$ ). Valgt verdi er basert på erfaringstall og for Byglandsfjord/Åraksfjord er verdien satt til  $n=0,03$  ( $M=33,3$ ). Det er undersøkt hvordan koeffisienten påvirker vannstanden ved å heve verdien til  $n=0,035$  ( $M=28,6$ ). Effekten av denne endringen gir en vannstandsøkning på 4-6 cm. Det tilsier at modellen er forholdsvis lite følsom for endringer i friksjonsforhold.

Det er også gjort en vurdering for å se hvordan ulike forhold ved dam Byglandsfjord påvirker vannstanden i magasinet ved 200-årsflom. Vannstand er vurdert hvis alle lukene er stengt (fullstendig lukesvikt), hvis to luker er stengt (normal lukesvikt) og hvis alle lukene skulle gå til brudd. Alle situasjonene betraktes som ulykkessituasjoner som viser ytterpunktene av hva som kan inntreffe. Vannstander og differanser for de ulike situasjonene er vist i Tabell 21. Beregningene tilsier at vannivået kan stige med i overkant av 1,5 meter hvis alle lukene er stengt. Det er en betydelig økning og viser at vannstanden i magasinene i stor grad påvirkes av lukestyringen ved dammen. Bedre avløpskapasitet enn det som er lagt til grunn i beregningene gir en viss, men liten vannstandsreduksjon. Det poengteres at utførte sensitivitetsberegninger legger avløpsflommer til grunn, noe som gjør at de vurderte situasjonene ikke er 100% sammenlignbare på grunn av ulike tilsig og dempingsforhold gjennom Byglandsfjord.

Tabell 21 Vannstander i Åraksfjord/Byglandsfjord med ulik lukehåndtering ved dam Byglandsfjord.

Situasjon	Vannstand Åraksfjord (moh.)	Vannstand Byglandsfjord (moh.)
200-årsflom + fullstendig lukesvikt	207,30 (+ 1,55 m)	206,30 (+1,65 m)
200-årsflom + lukesvikt på 2 luker	206,64 (+ 0,89 m)	205,75 (+1,10 m)
200-årsflom normalsituasjon	205,75 (+/- 0)	204,65 (+/- 0)
200-årsflom lukekollaps	205,5 (-0,2 m)	204,20 (- 0,4 m)

## 7 Bilag og referanser

### 7.1 Bilag

1. Oversiktskart
2. Flomsonekart
3. Infrastruktur i vassdraget
4. Damtegninger
5. Frekvenskurver fra målestasjoner
6. Batymetrisrapport

### 7.2 Referanser

Litteratur:

1. Norconsult (2021). *Flomsonekartlegging Otravassdraget*. D01.
2. Sweco, (2021). *Flomberegning for Otravassdraget*. 10220359-RIHydro-RAP-001