asplan
viak

Flomsonekartlegging Bø handelspark

Flom- og vannlinjeberegning

Dato: 11.03.2022

Versjon: **01**

asplanviak.no

asplan
viak

Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Bø Handelspark AS
Tittel på rapport:	Flomsonekartlegging Bø handelspark
Oppdragsnavn:	Reguleringsplan - Bø handelspark
Oppdragsnummer:	634659-01
Utarbeidet av:	Halvor Myhrvold og Marianne Odberg
Oppdragsleder:	Kenneth de Gala
Tilgjengelighet:	Åpen

Kort sammendrag

I forbindelse med Bø handelspark er det utført flomberegning og utarbeidet et flomsonekart for Bøevju, en sidebekk til Bøelva. Sikkerhetsklasse F2 (TEK 17 § 7-2), det vil si 200 års-flom er lagt til grunn i beregningene. Klimapåslaget er satt til 40%, i henhold til anbefalinger fra NVE og Norsk Klimaservicesenter.

Beregnet dimensjonerende flom Q_{200} inkl. klimapåslag er 33.3 m³/s.

Vannlinjeberegningen er utført som 1D-modell, med programmet HEC-RAS. Høydemodellen er hentet fra høydedata.no.

Den hydrauliske beregningen viser at planområdet vil være utsatt for flom, at flomsikker sone inngår i deler av planområdet, og at det vil måtte ta høyde for avbøtende tiltak ved utbygging, det ut fra Byggteknisk forskrift (TEK17).

Ver	Dato	Beskrivelse	Utarb. av	KS
01	11. mar. 2022	Flomsonekartlegging Bø Handelspark	HM/MMO	SA

Forord

Asplan Viak har vært engasjert av Bø handelspark AS for å utføre flomsonekartlegging av Bøevju i Midt-Telemark kommune, Vestfold og Telemark fylke, i forbindelse med reguleringsplan for Bø handelspark. Denne rapporten beskriver kartleggingens grunnlag, fremgangsmåte og resultater.

Marianne Odberg har utført flomberegningen mens Halvor Myhrvold har utarbeidet den hydrauliske modellen. Sølvi Amland har kvalitetssikret arbeidet. Oppdragsleder er Kenneth de Gala, som også er kontaktperson.

Sandvika, 11.03.2022

Kenneth de Gala

Oppdragsleder

Sølvi Amland

Kvalitetssikrer

Innholdsfortegnelse

1. Innledning 0
1.1. Bakgrunn 0
1.2. Tidligere flomvurderinger 0

2. Forutsetninger 1
2.1. Generelle forutsetninger 1
2.2. Dimensjonerende gjentaksintervall for flom 1
2.3. Beregningsforutsetninger 1

3. Flomberegninger 4
3.1. Beskrivelse av nedbørfelt 4
3.2. Tilgjengelige observerte data 6
3.3. Beregning av 200-årsflom 8
3.4. Klimapåslag 11
3.5. Oppsummering og endelig estimat 11

4. Hydrauliske beregninger 14
4.1. Programvare og modelltype 14
4.2. Modelloppsett 14
4.3. Resultater fra hydraulisk beregning 23
4.4. Følsomhetsanalyse 24
4.5. Sikkerhetsmargin 25
4.6. Flomsikkert nivå 26
4.7. Flomsonekart 28

5. Konklusjon og anbefalinger 30

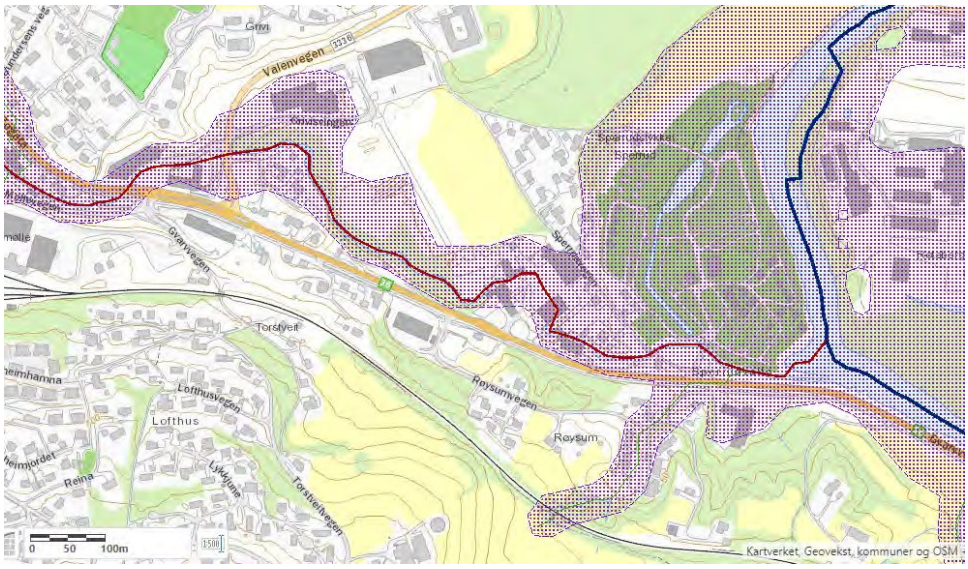
1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Bakgrunnen for kartleggingen er Bø Handelspark AS sine ønsker om å videreutvikle eiendommer i Bø Handelspark og tilhørende detaljregulering.

Krav fra TEK-17, § 7-2 - Sikkerhet mot flom og stormflo, Plan- og bygningsloven § 28-1 og § 29-5 er gjeldende her. Tiltaket faller inn under sikkerhetsklasse F2, det vil si 200-årsflom.

Aktsomhetsområdet for flom langs Bøelva og Bøevju vises i figur 1-1.



Figur 1-1 Aktsomhetssone for flom for Bøevju og Bøelva. Kilde: NVE Atlas

Denne rapporten beskriver metodikk, forutsetninger, og resultater for flom- og vannlinjeberegning til Bøevju for strekningen i planområdet til Bø handelspark. Resultatene viser flomsonen og flomsikkert nivå for Bøevju ved 200-års vannføring.

1.2. Tidligere flomvurderinger

Det er ikke funnet tidligere flomberegninger for Bøevju.

2. Forutsetninger

2.1. Generelle forutsetninger

Det er utbredelsen og vannivået til flomsona ved en 200-års flomhendelse som vurderes i denne rapporten, resultatet gjelder for eksisterende situasjon/terreng.

Beregningene forutsetter at elven/bekken ikke graver seg nye veier under flom og kartleggingen hensyntar ikke eventuell vannstrømning gjennom masser i bakken

Alle nivåhøyder er gitt i NN2000.

2.2. Dimensjonerende gjentaksintervall for flom

Tiltaket faller inn under sikkerhetsklasse F2 for flom i henhold til TEK17 §7-2 *Sikkerhet mot flom og stormflo* (se Tabell 2-1). Dette betyr at bygninger skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom med en dimensjonerende returperiode på 200 år. Videre er det forventet et endret klima i Norge i fremtiden, noe som vil påvirke flomforholdene.

Følgelig er kartleggingen utført for en 200-årsflom, i fremtidens klima.

Tabell 2-1 Sikkerhetsklasser for flom og stormflo, gitt av TEK17 §7-2.

Sikkerhets-klasse	Type bygninger	Største årlige nominelle sannsynlighet
F1	Byggverk med lite personopphold. Små økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser.	1/20
F2	Byggverk beregnet for personopphold. Moderate økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser.	1/200
F3	Byggverk for sårbare grupper av befolkningen og byggverk som skal fungere i lokal beredskapssituasjon. Stor samfunnsmessig konsekvens.	1/1000

2

2.3. Beregningsforutsetninger

2.3.1. Flomberegninger

Bøevjus nedbørsfelt er for dette planområdet 18 km^2 og *Flomberegninger i små uregulerte felt* (07/2015) er benyttet som veiledende for beregningene. Vassdraget er ikke regulert.

SCALGO er benyttet som verktøy for å generere nedbørsfeltet, eventuelle justeringer av nedbørfeltets grenser er utført i ArcGIS pro.

Det forutsettes at oppstrøms kulverter og stikkrenner har kapasitet til å håndtere dimensjonerende flom.

Klimapåslag er basert på anbefaling fra Norsk Klimaservicesenter.

2.3.2. Hydrauliske beregninger

Det er i de hydrauliske beregningene brukt HEC-RAS, versjon 6.1.0 i 1D.

1D-modell ble valgt å benytte framfor 2D fordi elveløpet er tydelig definert i terrenget og det er da mer sannsynlig at strømningen i stor grad vil følge samme retning for hvert tverrsnitt. Det er også en del kulverter og broer i elvestrekket, der en 1D-modell er mer egnet til å håndtere disse.

Terrengmodellen er basert på laserdata fra Høydedata. I modellen er det ført inn strukturer som broer og kulverter etter at de har blitt målt inn fysisk og blitt avbildet. Det er også benyttet kartgrunnlag for geometri på strukturene.

Grensebetingelsen oppstrøms er angitt til forutsatt normalstrømning med helning på 0,015 i elvas lengderetning. Nedbørfeltet til Bøelva er langt større enn nedbørfeltet til Bøevju, det er derfor lite sannsynlig at dimensjonerende flomvannføring kulminerer samtidig i Bøevju og Bøelva. For nedstrøms grensebetingelse er det derfor benyttet vannstand i Bøelva ved 20-årsflom.

Modellen er ikke kalibrert. Det er utført følsomhetsanalyse for å angi usikkerheten.

2.3.2.1 Sikkerhetspåslag hydraulisk modell

Fastsettelse av sikkerhetsmargin er beskrevet i tabell 9.1 i NVE (2021), og denne er vist i Figur 2-1.

Topografisk datagrunnlag vurderes til å være godt, basert på god kilde. Påvirkning fra massetransport vurderes som liten. Flomsikkert nivå tilsvarer modellert vannstand pluss sikkerhetsmargin. Usikkerheten i flomberegningen anbefales satt til klasse 3 ut fra sammenligning av beregningsmetoder og av målestasjonene. Usikkerheten for hydraulisk beregning anbefales satt til klasse C etter følsomhetsanalysen.

Sikkerhetspåslag vannføring

Hydraulisk modell				
Klasse E: Følsom (< 0,8 m)	25 %	35 %	45 %	60 %
Klasse D: Middels følsom (< 0,4 m)	20 %	30 %	40 %	50 %
Klasse C: Lite følsom (< 0,2 m)	15 %	25 %	35 %	45 %
Klasse B: Kalibrert mot tilnærmet middel flom	10 %	15 %	25 %	
Klasse A: Kalibrert mot flom > 20 år	0-5 %	10 %	20 %	
	Klasse 1: Representativ målestasjon i vassdraget med minst 30 år med gode flomdata.	Klasse 2: Målestasjon i eller nært vassdraget, liten variasjon i spesifikke flomverdier i regionen.	Klasse 3: Målestasjoner i nærliggende felt. Godt samsvar mellom ulike beregnings-metoder.	Klasse 4-5: Ingen representative målestasjoner. Stor variasjon i flomverdier mellom ulike metoder og/eller målestasjoner.

Flomberegning

Figur 2-1 Sikkerhetspåslag på vannføring [%], basert på usikkerhet i flomberegning og hydraulisk modell.

Anbefalt sikkerhetsmargin i denne beregningen er satt ved å øke vannføringen med 35 % på. Flomsonekart er utarbeidet i ArcGIS, basert på resultater fra hydraulisk beregning.

3. Flomberegninger

For beregning av 200-årsflom, er følgende metoder benyttet:

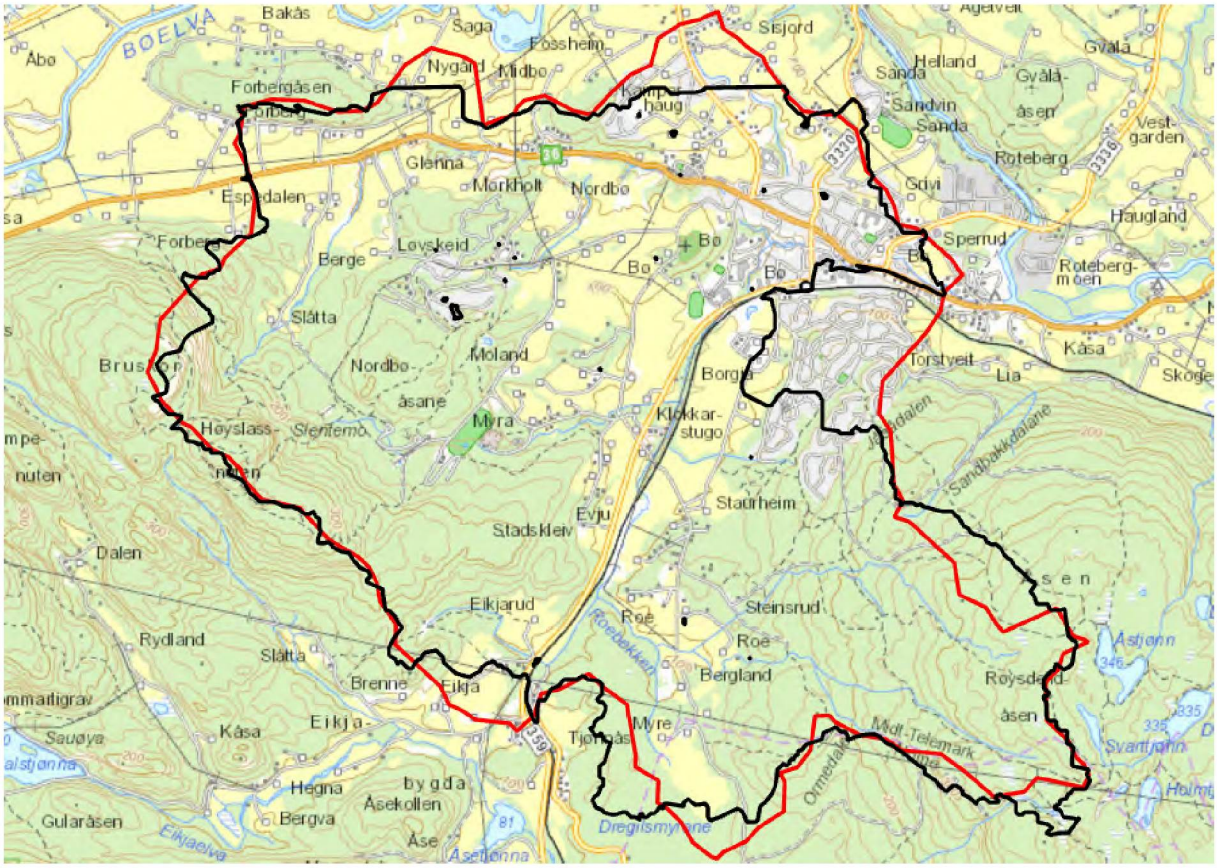
- Lokal flomfrekvensanalyse
- Nasjonalt formelverk, NIFS
- Forenklet lokal i kombinasjon med nasjonalt formelverk
- PQRoute

Det henvises til NVEs *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt* (7/2015) for utdypende beskrivelse av metodene.

3.1. Beskrivelse av nedbørfelt

3.1.1. Avgrensning av nedbørfelt

Figur 3-1 viser nedbørsfeltet til Bøevju ved krysset Gvarvvegen – Valenvegen. Sort linje viser nedbørsfeltets grense basert på generering i SCALGO. SCALGO baserer seg på en terrengmodell med finere oppløsning enn NEVINA, SCALGO er derfor valgt som verktøy for å generere nedbørsfeltet.



Figur 3-1 Nedbørfelt til Bøevju ved krysset Gvarvvegen – Valenvegen, generert i NEVINA (rød linje) og SCALGO (svart linje).

3.1.2. Feltegenskaper

Feltegenskapene vises i tabell 3-1. Nedbørsfeltet er 18 km^2 og defineres som et lite felt, det vil si at arealet er mindre enn 50 km^2. Det er en del infrastruktur i feltet, både veier og jernbane, og det antas at alle kulverter har kapasitet til dimensjonerende flom. Nedbørsfeltet defineres som slakt og domineres av arealklassene skog (58,8 %) og dyrket mark (24,7 %).

Feltet er ikke regulert. Med bakgrunn i feltstørrelsen og geografisk plassering, antas det at nedbør gir dimensjonerende flom.

Tabell 3-1 Feltparametre for Bøevju

Felt	**Areal**	**Eff. sjø**	**Felt-lengde**	**Høyde** [moh]		**Relieff forhold**	**Skog**	**Urban**	**q_N***
	[km^2]	[%]	[km]	H_{min}	H_{maks}	[m/km]	[%]	[%]	[l/s·km^2]
Bøevju	18	0	7,9	36	398	45,8	58,8	7,4	8,7

* Spesifikk middelavrenning i referanseperioden 1961-90 gitt av NVEs avrenningskart.

3.2. Tilgjengelige observerte data

Flere metoder benytter observerte data for beregning av flomvannføring. Det er derfor her gitt en beskrivelse av tilgjengelige observerte vannførings- og nedbørsdata.

3.2.1. Tilgjengelige vannføringsdata

Aktuelle målestasjoner vises i figur 3-2 og tabell 3-2. Representativitet er basert på en vurdering av feltparametre, sammenlignet med Bøevjus parametere.

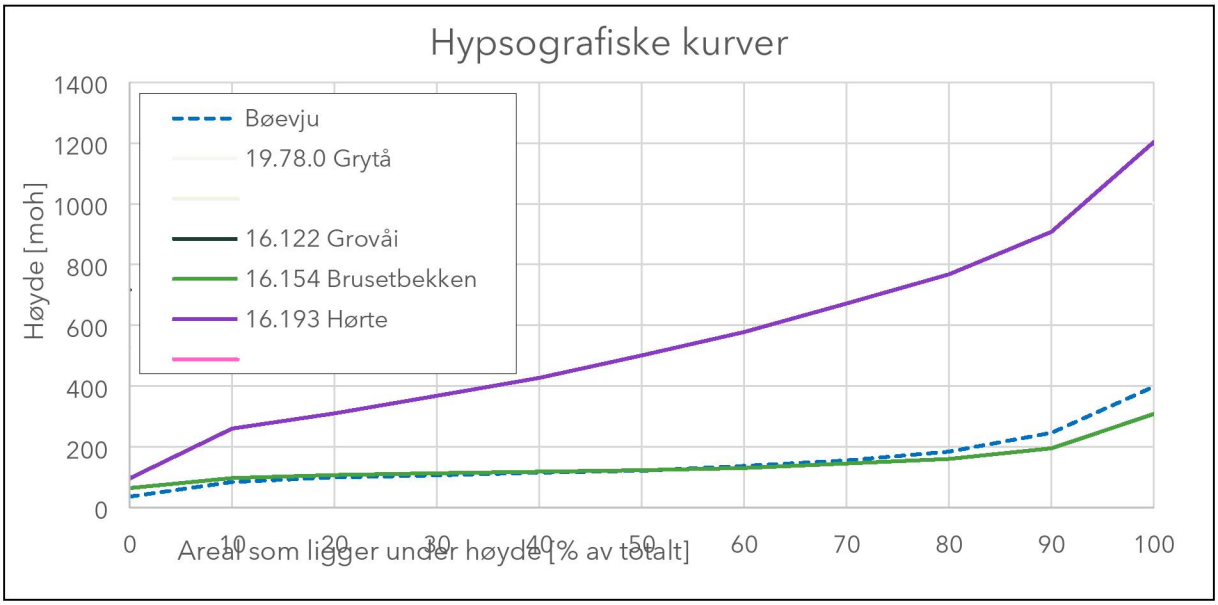
Figur 3-2 Kartutsnitt som viser aktuelle målestasjoner i området, og tilhørende nedbørfelt.

Tabell 3-2 Stasjonsdata og feltparametre for Bøevju og aktuelle målestasjoner (Kilde: NVE Atlas/Hydra II).

Stasjonsnummer		***Bøevju***	**19.78.0**	**16.122**	**16.193**	**16.154**
Stasjonsnavn			**Grytå**	**Grovåi**	**Hørte**	**Brusetbekke**
Areal	[km^2]	*18*	19.3	42.7	156	7.93
Effektiv sjø	[%]	*0*	5.62	0.27	0.27	0.48
Høyde min	[moh]	*36*	634	717	96	64
Høyde maks	[moh]	*398*	1003	1199	1204	308

Avrenning 61-90 [l/s·km^2	*8.7*	23.4	16.6	20.1	9.2
Observasjonsperiode	-	1981 – dd.	1972 – dd.	1977 – dd.	1987 – dd.
Antall komplette år med data	-	30	50	45	25

Som vi ser av figur 3-2 ligger Hørte nærmest Bøevju. Bøevjus areal er 18 km^2. Grytå, Grovåi og Brusetbekken har alle areal mindre enn 50 km^2, mens Hørte har areal større enn 50 km^2. Bøelva har 0 % effektiv sjø. Av de utvalgte mulige sammenlignbare feltene har Grytå størst effektiv sjøprosent på 5.62. Brusetbekkens hypsografiske kurve er representativ for Bøevjus felt (figur 3-3), mens de tre andre feltene har nedbørsfelt som strekker seg opp over 1000 moh (tabell 3-2 og figur 3-3).



Figur 3-3 Hypsografisk kurve for Bøevju og målestasjoner Hørte og Brusetbekken

Bøevjus spesifikke avrenning er 8.7 l/s·km^2. De utvalgte mulige sammenlignbare feltene har høyere spesifikk avrenning. Brusetbekken er nærmest med 9.2 l/s·km^2.

Ut fra en vurdering av feltparameterne i tabell 3-2 er det valgt å gå videre med stasjonen 16.193 Brusetbekken i den lokale flomfrekvensanalysen. Vi kan anta at resultatene fra Brusetbekken gir noe høyere estimat enn hva som er realiteten i Bøevju, på grunn av et mindre areal og noe høyere spesifikk avrenning.

3.2.2. Tilgjengelige nedbørsdata

Nærmeste IVF-kurve er Gvarv. IVF-kurve i mm (tabell 3-3) benyttes som grunnlag for flomberegning med PQRoute.

Tabell 3-3 IVF-kurve i mm hentet fra Norsk Klimaservicesenter.

GVARV. Verdier i mm																	
Antall sesonger: 20 (1967 - 1987)																	
		Regnvarighet [min]															
		1	2	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440
Gjentaksintervall [år]	2	1.6	2.8	3.8	5.4	7.9	9.3	10.4	11.6	13.0	13.3	15.6	16.4	19.4	25.9	35.0	41.5
	5	2.2	4.0	5.5	7.6	10.9	13.6	15.6	17.5	18.8	-	21.0	-	23.2	31.8	42.8	50.1
	10	2.6	4.8	6.6	9.1	13.0	16.4	19.0	21.3	22.6	-	24.5	-	25.8	35.6	48.4	56.2
	20	3.0	5.5	7.7	10.5	14.9	19.2	22.4	25.1	26.3	-	27.9	-	28.2	39.3	53.1	61.3
	25	3.1	5.7	8.0	10.9	15.5	20.0	23.4	26.3	27.5	-	29.0	-	-	40.6	54.9	63.1
	50	3.5	6.5	9.0	12.3	17.4	22.7	26.6	29.9	31.1	-	32.3	-	-	44.3	60.0	69.1
	100	3.9	7.2	10.1	13.6	19.3	25.3	29.8	33.5	34.6	-	35.6	-	-	47.7	64.8	74.3
	200	4.2	7.9	11.1	15.0	21.2	27.9	33.0	37.1	38.2	38.6	38.9	40.0	46.0	51.4	70.0	79.5

3.3. Beregning av 200-årsflom

3.3.1. Lokal flomfrekvensanalyse

Flomfrekvensanalysen utføres på vannføringsdata fra målestasjon 16.154 Brusetbekken, beskrevet i kapittel 3.2.1. Fra flomfrekvensanalysen estimeres middelflom og vekstkurve for målestasjonene. Middelflom (Q_M) referer til gjennomsnittet av den største vannføringen hvert år, mens vekstkurven (Q_T/Q_M) er forholdet mellom middelflom og en flom med et vilkårlig gjentaksintervall T.

Døgnverdi for middelflom og vekstkurve for 200-årsflom er hentet fra NVEs database Hydra II ved bruk av programmet Ekstremverdianalyse. Middelflommen deles på feltarealet til målestasjonene, slik at en får en spesifikk middelflom (q_M) som kan benyttes for det aktuelle feltet. For å finne vekstkurven benyttes to-parameterfordeling (Gumbel med L-moment) for de øvrige stasjonene (30-50 år med data) i henhold til anbefalinger i NVEs veileder (NVE 2015). Endelige verdier vises i tabell 3-4.

Tabell 3-4 Resultater fra lokal flomfrekvensanalyse på utvalgte målestasjoner (døgnverdier), og vektet snitt som benyttes i videre beregning.

Målestasjon	**Middelflom** (døgn) [l/s·km²]	**Q_{200}/Q_M** [-]	**200-årsflom** (døgn) [l/s·km²]	**Vekting**
16.154 Brusetbekken	277	2.477	687	100 %

For å finne kulminasjonsverdi, som er den reelle toppverdien av en flomhendelse, benyttes et forholdstall mellom døgn- og kulminasjonsverdi. I NVEs veileder 2015 (avsnitt 6.1.3 / 5.4.1.2) er det gitt regresjonsligninger for forholdstallet $Q_{mom}/Q_{døgn}$ for vår-, og høstsesong,

som benytter feltparameterne feltareal og effektiv sjøprosent. Det er valgt å benytte det største beregnede forholdstallet (høst/vår).

Beregnede forholdstall og estimert kulminasjonsverdi for 200-årsflom med flomfrekvensanalyse er gitt i Tabell 3-5.

Tabell 3-5 Beregnede forholdstall mellom døgn- og kulminasjonsverdier, og beregnet kulminasjonsverdi ved bruk av lokal flomfrekvensanalyse.

Felt	**$Q_{mom}/Q_{døgn}$** [-]			**Middelflom** (kulminasjon) [m³/s]	**200-årsflom** (kulminasjon) [m³/s]
	vår	høst	valgt		
16.154 Brusetbekken	1.507	1.926	1.926	9.61	23.81

3.3.2. Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (RFFA-NIFS)

Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (også kalt NIFS-formelverk) er utarbeidet for små (< 50-60 km²) naturlige uregulerte felt. Formelverket består av to regresjonsligninger for beregning av flom (oppgitt i avsnitt 5.2 i NVEs veileder 2015), som bruker inngangsparameterne feltareal, spesifikk middelavrenning og effektiv sjøprosent. Den første ligningen er for estimat av middelflom (kulminasjonsverdi), som generelt har usikkerhet knyttet til seg. Den andre ligningen er for vekstkurven (Q_T/Q_M), som ansees som svært robust for små felt (NVE, 2015).

Estimert middelflom, vekstkurveforhold og 200-årsflom er gitt i Tabell 3-6.

Tabell 3-6 Beregnet middelflom, vekstkurveforhold og 200-årsflom (kulminasjonsverdier) med NIFS.

Felt	**Middelflom** (kulminasjon) [m³/s]	**Q_{200}/Q_M** [-]	**200-årsflom** (kulminasjon) [m³/s]
16.154 Brusetbekken	3.82	3.034	11.6

Usikkerheten i estimatet er stor, tilsvarende gange/dele 2. Konfidensintervallet for $Q_{200kulm}$ er fra 5.8 m³/s til 23.2 m³/s.

3.3.3. Forenklet lokal i kombinasjon med regional analyse

Den største usikkerheten knyttet til regionale formelverk ligger i indeksflommen (middelflom), men vekstkurveforholdet er ansett som svært robust. En metodikk for å hensynta dette, er å benytte en vektet middelflom fra regionalt formelverk og lokale data med hensyn til antall år med data, i kombinasjon med vekstkurveforhold fra regionalt formelverk (NIFS/RFFA-2018). Den vektede middelflommen er her beregnet ved bruk av

formler gitt i NVEs rapport *Lokal og regional flomfrekvensanalyse* (10/2020). Det er valgt å bruke et representativt antall år med data på n = 100.

Resultatet ved bruk av en slik metodikk er gitt i tabell 3-7.

Tabell 3-7 Beregnet 200-årsflom (kulminasjonsverdi) ved bruk av forenklet lokal i kombinasjon med RFFA.

Felt	**Middelflom** (kulminasjon)			**Q_{200}/Q_M**	**200-årsflom**
	Lokal FFA [m³/s]	**RFFA-NIFS** [m³/s]	**Vektet** [m³/s]	**fra RFFA-NIFS** [-]	(kulminasjon) [m³/s]
16.154 Brusetbekken	9.61	3.82	9.5	3.034	28.83

3.3.4. Flommodell – PQRout

PQRout er en nedbør-avløpsmodell som beregner avrenning på grunnlag av nedbørdata, og ved hjelp av feltparametre for det aktuelle feltet. I disse beregningene, er det benyttet NVEs nett-versjon av modellen.

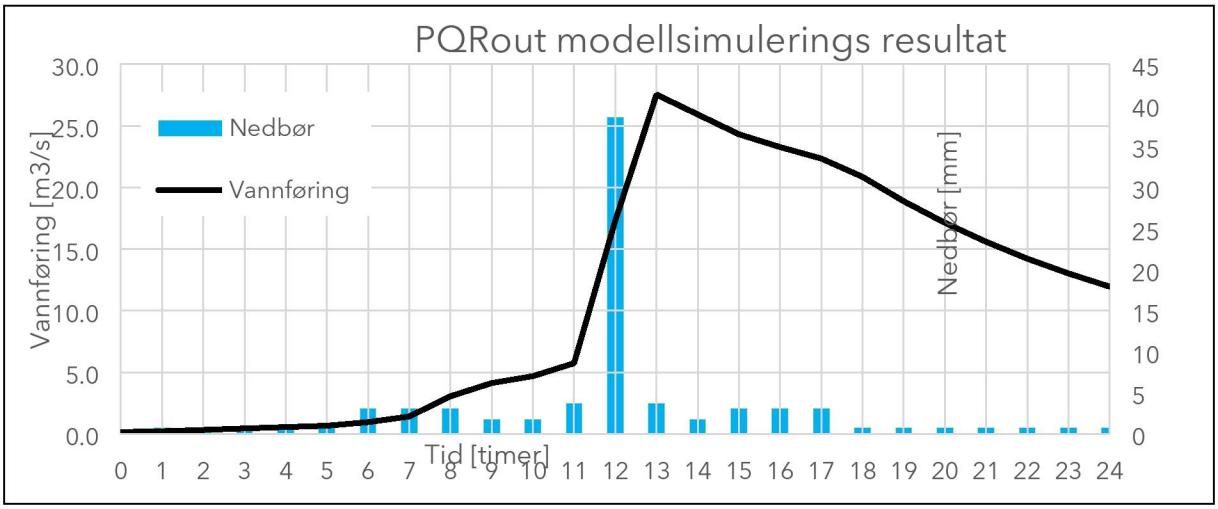
Parameterne til den hydrologiske flommodellen bør helst bestemmes ved kalibrering mot observerte vannføringer. Siden det ikke finnes måleserier i vassdraget, er modellparameterne bestemt ut fra ligninger gitt i NVEs veileder 2015 (avsnitt 5.3). Disse bruker inngangsparameterne relieff forhold (beregnet fra høydeforskjell og feltlengde), og effektiv sjøprosent. Beregnede modellparametere er gitt i tabell 3-8, og det er forutsatt full metning som initialtilstand.

Tabell 3-8 Beregnede modellparametere i PQRout.

Felt	**Øvre tømmekonstant K1** [1/time]	**Nedre tømmekonstant K2** [1/time]	**Skille øvre og nedre T** [mm]
16.154 Brusetbekken	0.124	0.032	8.83

Nedbørforløp konstrueres med utgangspunkt i IVF-data for nedbørmålestasjon Gvarv (se Tabell 3-3). Forløpet er konstruert etter anbefalinger gitt i NVEs veileder; varighet på 24 timer (anbefales for felt < 10-20 km²), en symmetrisk fordeling omkring høyeste nedbørintensitet (anbefalt for varigheter ≤ 2 døgn) og tids-skritt på en time (anbefales for felt > 2 km²). Det er videre tatt utgangspunkt i nedbørsforløpet som gir størst kulminasjonsvannføring.

Konstruert nedbørforløp og estimert flomforløp for 200-årsflom, er vist i Figur . Forløpet i figur 3-4 viser at Bøevju reagerer raskt på nedbør og, flomtopp kommer relativt raskt etter nedbør. Kulminert vannføring ved en 200-årsflom er 27.53 m³/s.



Figur 3-4 Konstruert nedbørforløp og beregnet flomvannføring med PQRout for 200-årsflom.

3.4. Klimapåslag

Klimapåslag 40 % er valgt. Dette er i henhold til anbefalinger fra NVE og Norsk Klimaservicesenter, og typisk for små nedbørsfelt (< 50 km^2).

3.5. Oppsummering og endelig estimat

Beregnede flomverdier, døgn- og kulminasjon, fra alle metoder er vist i tabell 3.9.

Tabell 3-9 Beregnede flomverdier døgn og (kulminasjon) fra alle metoder, og endelig estimat.

Metode	**200-årsflom**				
	Døgnmiddel		**$Q_{mom}/Q_{døgn}$**	**Kulminasjon**	
	[l/s·km^2]	[m^3/s]	[-]	[l/s·km^2]	[m^3/s]
Lokal flomfrekvensanalyse (FFA)	687	12.4	1.926	1323	23.8
Nasjonalt formelverk (RFFA-NIFS)	391	7.0	1.649	644	11.6
Forenklet lokal + RFFA	672	12.1	2.383	1602	28.8
Flommodell - PQRout	610	11.0	2.505	1529	27.5

Estimatene spriker fra 11.6 til 28.8 m^3/s. Usikkerheten i resultatet fra nasjonalt formelverk (gange/dele 2) tilsier en kulminasjonsverdi mellom 5.8 m^3/s til 23.2 m^3/s, der 11.6 representerer median. Resultatene fra forenklet lokal flomfrekvensanalyse og PQRoute ligger høyt over NIFS-høy mens resultatet fra flomfrekvensanalysen er tilsvarende NIFS-høy.

Erfaringstall for landsdeler er gitt i følgende litteratur;

- NVE veileder 7/2015 – Vedlegg 9 ($q_{200\ kulm}$)
- NVE veileder 7/2015 – Kapittel 6.5 ($q_{200\ kulm}$ i mikrofelt)
- NVE retningslinje 4/2011 – Vedlegg 3 ($q_{1000\ døgn}$)]

Erfaringstallene er gjengitt i tabell 3-10. For Bøevju skal vi se på erfaringstall for små felt i landsdel Østlandet.

Tabell 3-10 Erfaringstall for landsdeler (NVE 2011 og NVE 2015)

Felttype	**Feltareal** [km²]	**Landsdel**	**Spesifikk flomvannføring** [l/s·km²]	
			Kulminasjon (time) Gjentaksintervall 200 år	**Døgnmiddelverdi Gjentaksintervall 1000 år**
Mikrofelt	≤ 1	Alle	2000 - 5000	-
Små felt	**1-50**	**Østlandet**	**500 - 2000**	600 - 1500
		Sør- og Vestlandet	700 - 6000	1500 - 3000
		Trøndelag, Møre og Romsdal	800 - 3000	850 - 2000
		Nordland	800 - 4000	500 - 2000
		Troms og Finnmark	500 - 3000	
Middels store felt	50-500	Østlandet	-	350 - 1100
		Sør- og Vestlandet	-	700 - 2500
		Trøndelag, Møre og Romsdal	-	600 - 1800
		Nord-Norge	-	500 - 2000
Store felt	>500	Alle	-	300 - 1000

Ifølge erfaringstallene bør spesifikk avrenning for 200-års kulminasjonsflom i Bøevju ligge et sted mellom 500 – 2000 l/s·km². Tabell 3-9 viser at alle beregningsmetoder gir verdier innenfor spennet til erfaringstallet.

Tabell 3-11 viser at lokal flomfrekvensanalyse er valgt som metode for å beregne 200-års kulminasjonsflom i Bøevju. Brusetbekken vurderes representativ for Bøevju, estimatet sidestilles med NIFS-høy og spesifikk avrenning for gjentaksintervall 200 år er innenfor spennet erfaringstallene viser til.

Beregnet 200-års kulminasjonsflom inkludert klimafaktor for Bøevju er 33.3 m³/s, se tabell 3-11.

Tabell 3-11 Resultat flomberegning

Metode	**200-årsflom**				
	Døgnmiddel		**$Q_{mom}/Q_{døgn}$**	**Kulminasjon**	
	[l/s·km^2]	[m^3/s]	[-]	[l/s·km^2]	[m^3/s]
Lokal flomfrekvensanalyse (FFA)	**687**	**12.4**	**1.926**	**1323**	**23.8**
Regional flomfrekvensanalyse (RFFA)	391	7.0	1.649	644	11.6
Forenklet lokal + RFFA	672	12.1	2.383	1602	28.8
Flommodell - PQRout	610	11.0	2.505	1529	27.5
Rasjonale formel	-	-	-	2594	46.7

Endelig estimat:				**1322**	**23.8**
Inkludert 40% klimapåslag:				**1851**	**33.3**

4. Hydrauliske beregninger

4.1. Programvare og modelltype

Hydrauliske beregninger er utført med programvaren HEC-RAS versjon 6.1.0, som er utviklet av United States Army Corps of Engineers. I HEC-RAS kan en utføre endimensjonale stasjonære hydrauliske beregninger, og en- og todimensjonal dynamisk (ikke-stasjonær) modellering. For detaljert informasjon om funksjonaliteter, modelloppbygging og beregningsteori, vises det til brukermanualen til HEC-RAS (HEC, 2021).

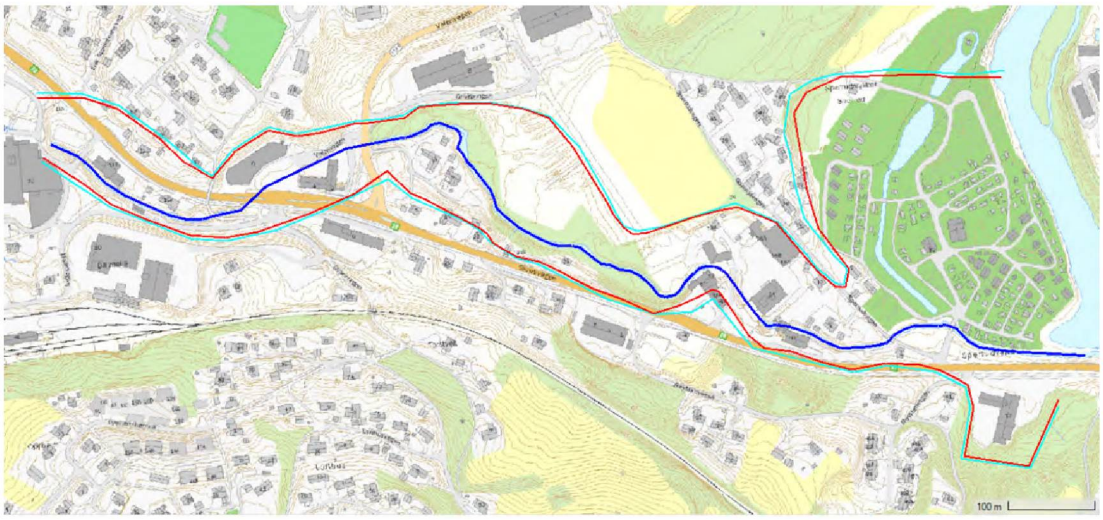
Det er valgt å benytte en endimensjonal stasjonær modell, da det ikke er forventet at to- eller tredimensjonale effekter vil opptre. Bekkeløpet er markert i terrenget og det er en viss helning i det, som sørger for gode betingelser for å bruke en endimensjonal modell.

4.2. Modelloppsett

Under gis forklaring av hovedelementene fra modelloppsettet.

4.2.1. Analyseområde

Analyseområdet (figur 4-1) som er benyttet er valgt basert på foreløpig planavgrensning for reguleringsplanen og at tilstrekkelig område er med for å belyse effekter oppstrøms og nedstrøms i vassdraget. Analyseområdet er også vist i Vedlegg 2. Oppstrøms vil dette gjelde mulig flom fra oppstrøm bekk, nedstrøm vil det gjelde oppstuvende virkning fra Bøelva. Utstrekning av modellens elvetverrsnitt, her i retning nord og sør, er angitt basert på terrenget og mulig flomutstrekning. Utløpet mot Bøelva er flatt over et større område og må være inkludert for å inkludere de reelle virkningene av området.

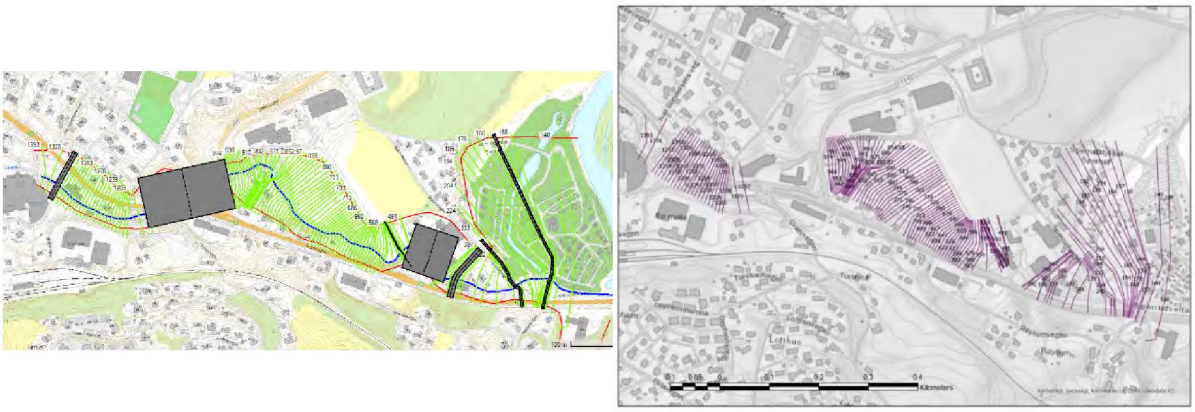


Figur 4-1 Kartutsnitt som viser avgrensning av analyseområdet . Lyseblå linje viser ytterbegrensninger i nord og i sør.

4.2.2. Tverrprofiler

Den hydrauliske modellen baserer seg på en serie med tverrsnitt (figur 4-2 og 4-3), for hvert enkelt tverrsnitt beregnes gjennomsnittlig vannstand og vannhastighet. Avstanden mellom tverrsnitt er satt til rundt 8 meter i bekkepartier med brattere helning, og 15 meter i slakere partier.

Figur 4-2 Tverrprofiler fra 1D-modellen som er referert til i resultatene.



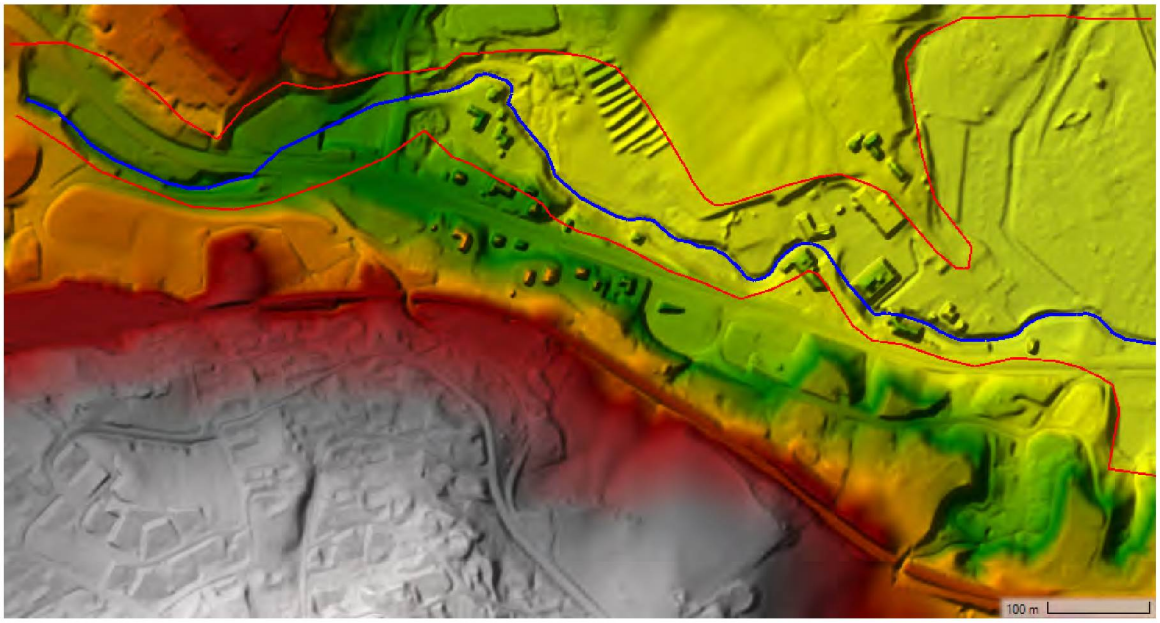
Figur 4-3 Utsnitt av beregningsgeometri i modellen til venstre og kun tverrprofilene til høyre. Tverrprofilene befinner seg også i Vedlegg 6.

4.2.3. Terrengmodell

Det er satt opp en terrengmodell, som er hovedgrunnlaget for de hydrauliske beregningene – se figur 4-4.

Terrengmodellen er basert på laserdata med 0,25 m oppløsning, fra prosjektet Bø 5pkt 2015, hentet fra Kartverkets forvaltningsløsning Høydedata. Bygninger er lagt inn i modellen, men ikke andre oppstikkende detaljer som trær. Trær er tatt høyde for gjennom ruhetskoeffisientene for elva.

Laserdata har mindre nøyaktige data for terreng under trær og annen tett vegetasjon. Det er relativt tett beplantning rundt deler av elva som kan gi innvirkning på laserdata brukt til terrengmodellen i form av at terrengmodellen har en annen nøyaktighet. Der ser imidlertid ut til å ha mindre betydning, basert på sammenligning av grunnlag som terrengmodell, kart og ortofoto.



Figur 4 Terrengmodell som er benyttet i hydrauliske beregninger.

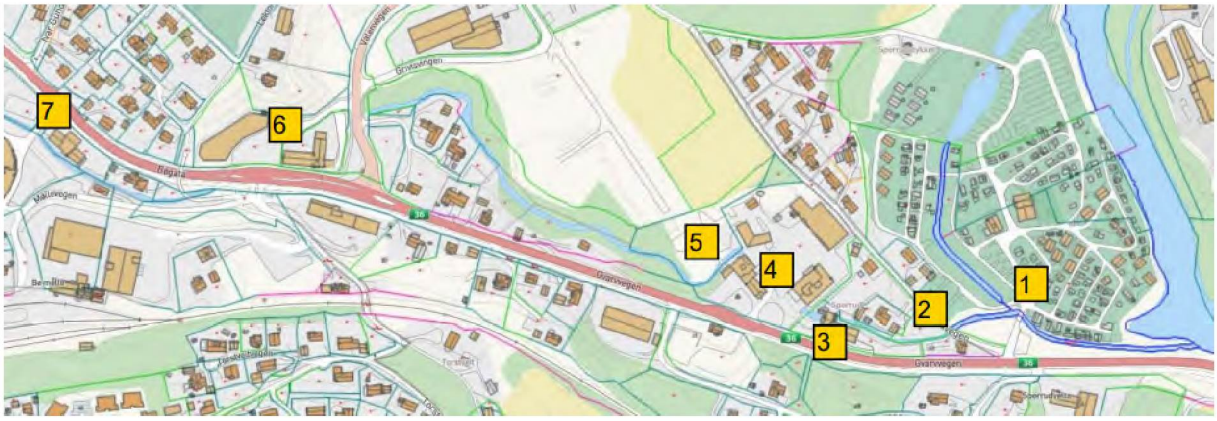
4.2.4. Konstruksjoner i vassdraget

I modellert elvestrekning er det flere konstruksjoner som er lagt inn i modellen. Informasjon om disse er gjengitt i tabellen under. Nummereringen er fra høyre (øst) til venstre (vest) som vist i Figur 4-5 Nummerhenvisning for konstruksjonene i elva.

Tabell 4-1 Beskrivelse av og dimensjoner for konstruksjoner i vassdraget.

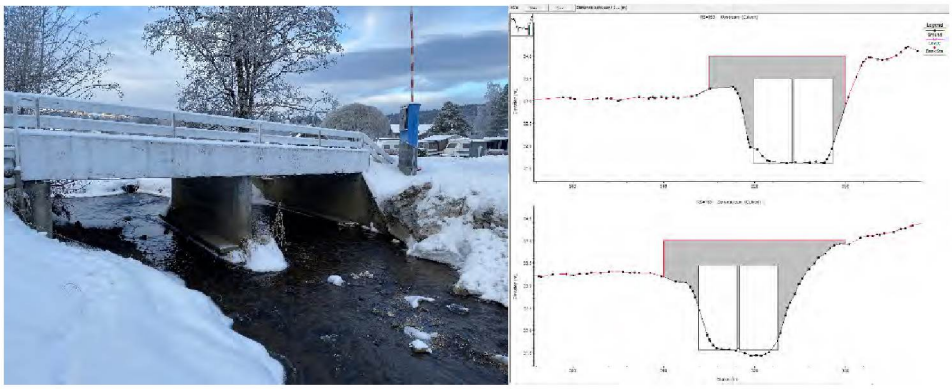
Nr. / navn	**Beskrivelse**	**Lysåpning** (m)	**Lengde** (m)
1 - Bro	Bro til campingplass.	2 x BxH= 2 X 4.3 x 1.9	5
2 – Bro	Bro	B x H = 6.0 x 1.6	6
3 – Kulvert	Kulvert under bygg	B x H = 6.8 x 2.8	12
4 – Kulvert	Lang kulvert gjennom område	B x H = 4.6 x 2.0	92
5 - Bro	Gangbro	B x H = 9.0 x 2.5	2
6 – Kulvert	Lang kulvert gjennom område	B x H = 2.6 x 4.0	180
7 – Bro	Bro	B x H = 2.4 x 4.0	9.5

Figuren under viser nummerering av konstruksjonene i Bøevju.



Figur 4-5 Nummerhenvisning for konstruksjonene i elva.

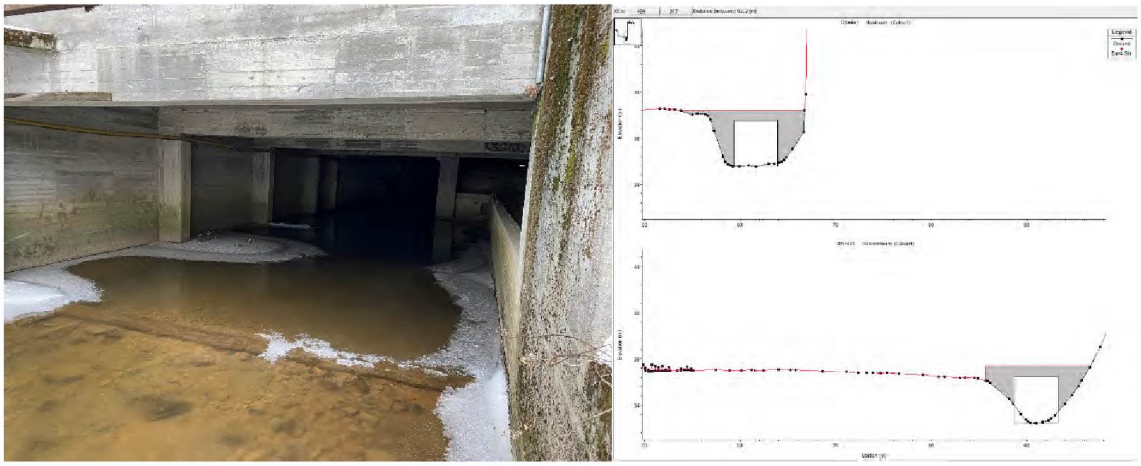
Under vises bilder av de respektive kulvertene og broene og slik de er lagt inn i modellen. Figurene under fra modellen viser annet forhold mellom høyde og bredde en det som faktisk er benyttet i modellen og som er reelt.



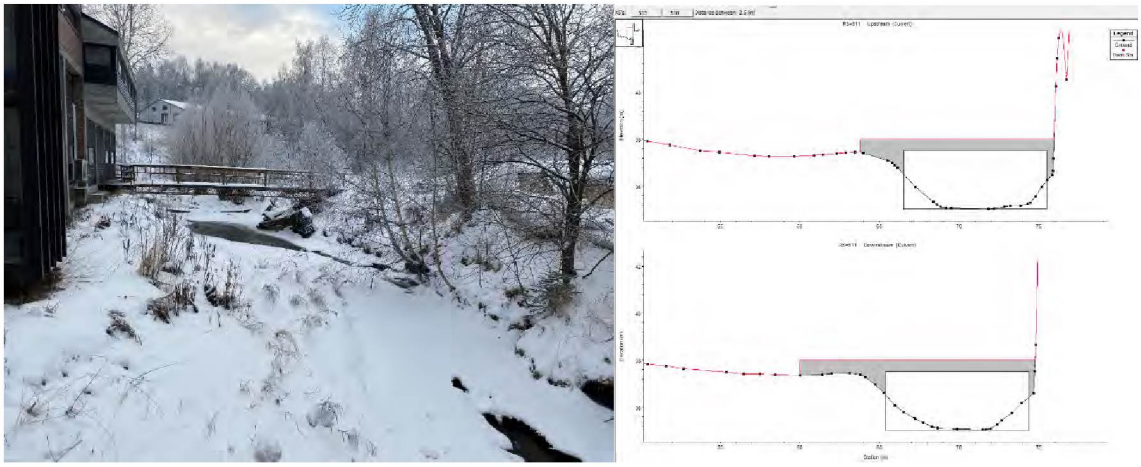
Figur 5 konstruksjon 1 – bro til campingplass.

Figur 4-7 konstruksjon 2 – Bro.

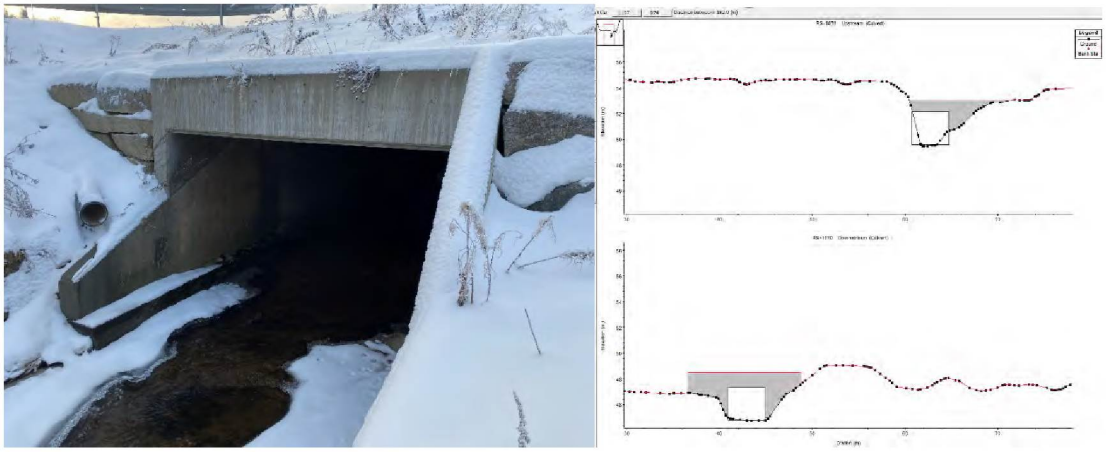
Figur 4-8 konstruksjon 3 - kulvert under bygg.



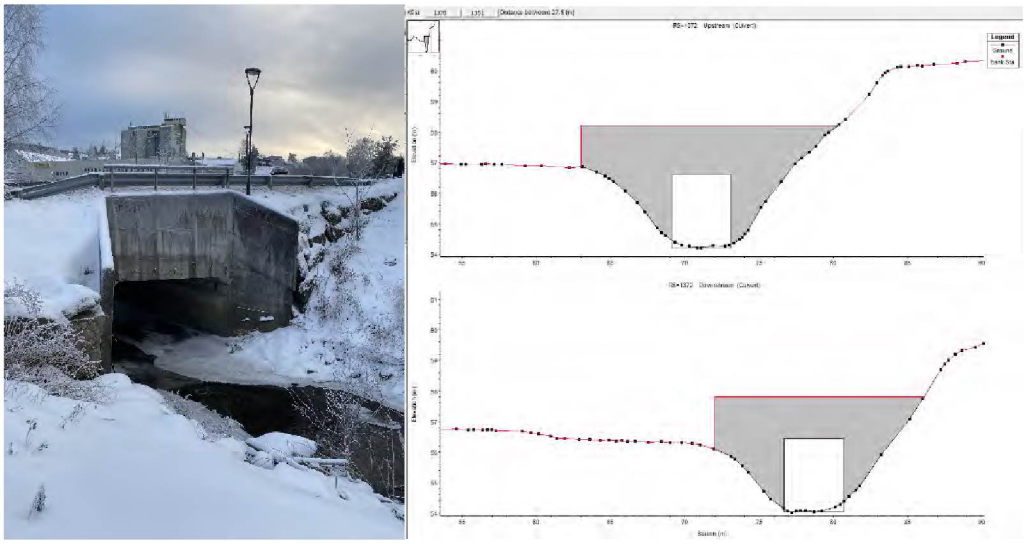
Figur 4-9 konstruksjon 4 – lang kulvert under område.



Figur 4-10 konstruksjon 5 - gangbro.



Figur 4-11 konstruksjon 6 – lang kulvert.



Figur 4-12 konstruksjon 6 – lang kulvert.

Konstruksjonene er ført inn basert på oppmåling. To av kulvertene er særlig lange der det er avbildet inn-/ utløp.

4.2.5. Friksjonsforhold

Vannets hastighet påvirkes av friksjonsforhold, det vil si ruheten til overflaten det strømmer over. Dette varierer etter type underlag og utforming av bekkeløpet. Ruheten i modellen er gitt som Mannings tall (n), hvor et høyt n-tall betyr høyere ruhet.

Friksjonsforhold er vurdert ut fra kart og flyfoto, og bilder tatt under befaring av elven. Benyttede ruhetsverdier i modellen er gitt i Tabell 4-2, og er basert på standardverdier i *Vassdragshåndboka* (Fergus m.fl. ,2010).

Tabell 4-2 Benyttede ruhetsverdier i hydraulisk modell.

Type overflate	**Ruhetsverdi**	
	n	**M** (=1/n)
Bekkeløp (rene, svinget med noen kulper)	0.035	29
Bekkeløp (samme men plantebevokst). Verdien er benyttet på sidene av elveleiets normale bunn.	0.07	14

Det er valgt høyere ruhet utenfor bekkeløpet da det her er planter og andre hindringer som gir høyere ruhet. Bekkeløpets verdi er basert på steinstørrelse.

4.2.6. Grensebetingelser

Grensebetingelsene som er brukt for modellen er bunnhelning og vannføring for oppstrøms grensebetingelse og vannivå for nedre grensebetingelse.

- For nedstrøms grensebetingelse er det brukt 33,1 moh. som vannivå. Dette tilsvarer modellert 20-årsflom for Bøelva og er med bakgrunn i at sannsynlighet for samtidighet for flom i vassdragene for Bøevju og Bøelva. Kotenivå for 20-årsflom i Bøelva er innhentet fra kartløsningen NVE Atlas. Bøelva har et betydelig større nedslagsfelt med saktere responstid og som ikke vil gi samtidighet mellom kulminasjonsflommene for Bøevju og Bøelva.
- Normalstrømning er valgt som oppstrøms grensebetingelse med helning på 0.015.

4.3. Resultater fra hydraulisk beregning

Kartleggingen viser at det aktuelle området er utsatt for flom. Figur 4-13, med flomsone uten sikkerhetsmargin, viser utbredelsen. Bekken går utover de regelmessige breddene og inn i planområdet. Flommen fyller de aller fleste kulverter og broer og det går over eller på siden av disse. Hastighetene er beregnet til å være høyest i partiet rett nedstrøms konstruksjon nr. 6 – lang kulvert, vist i kapittel 4.2.4.

Figur 6 Resultater fra hydraulisk beregning av 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag der figur i grønt viser høyde på vannoverflate, og figuren i blått viser vanndybde. Fargeforklaring viser modellert vanndybde i meter i henholdsvis [moh] og [m]. Flomsonekartet med kotehøyde på vannivået, her vist til venstre, befinner seg også i vedlegg 5.

Representative vanndybder og -hastigheter for utvalgte tverrprofiler forbi planområdet er vist i tabell 4-3 under. Tverrprofilene er vist i figurene i Vedlegg 6 og Figur 7.

Tabell 4-3 Resultater fra hydraulisk beregning av for utvalgte tverrsnitt.

Profil nr.	**200-årsflom inkl. 40% klimapåslag**		
	Vannstand [moh]	**Vanndybde (maks)** [m]	**Hastighet (snitt)** [m/s]
836	40.97	1.26	1.11
720	38.91	1.38	0.93
578	37.94	2.32	1.15

Fullstendige resultater er oppsummert i Vedlegg 3 og Vedlegg 4.

4.4. Følsomhetsanalyse

For å kunne kalibrere en modell, må det finnes samtidige målinger av vannstand og vannføring i det aktuelle vassdraget. Dette finnes ikke for Bøevju. Uten kalibrering, vil det være usikkerhet knyttet til benyttede ruhetsverdier i den hydrauliske modellen. Det er derfor foretatt en følsomhetsanalyse, der ruheten i modellen er økt med 25%, for å gi et tall på usikkerheten.

Resultatene fra analysen er -gitt for utvalgte tverrprofiler i Tabell 4-4. Økningen i ruhet gir en gjennomsnittlig og maksimal vannstandsøkning i elveløpet på henholdsvis 12 og 61 cm. Ved prosjektområdet ligger økningen på 10 cm. Økningen i flomvannstand gir en minimal endring i utbredelsen av flommen.

Tabell 4-4 Resultater fra følsomhetsanalyse for utvalgte tverrsnitt.

Profil nr.		**Følsomhetsanalyse +25% ruhet**
		Endring [m]
1	836	+0.06
2	720	+0.1
3	578	+0.6
Gjennomsnitt samtlige tverrsnitt:		**0.12**
Maksimal av samtlige tverrsnitt:		**0.61**

Det er også gjort en følsomhetsanalyse med 20 % økning av vannføring, der dette gav følgende resultater.

Tabell 4-5 Resultater fra følsomhetsanalyse for utvalgte tverrsnitt.

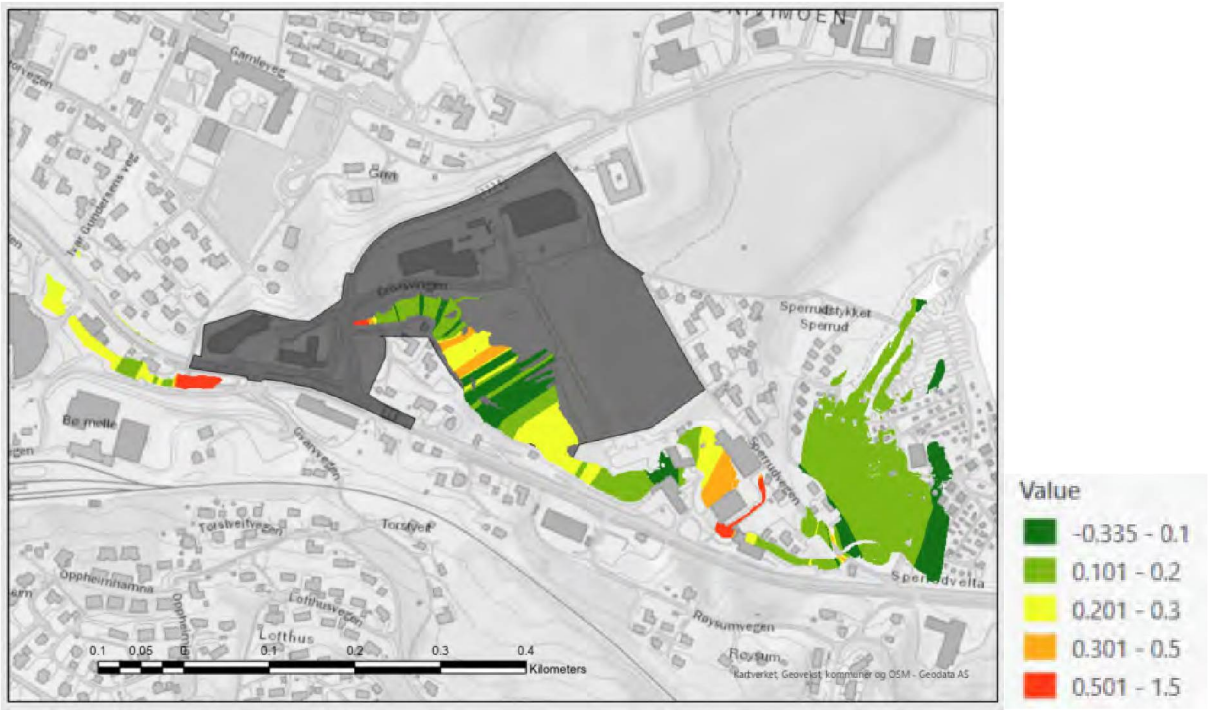
Profil nr.		**Følsomhetsanalyse +20% vannføring**
		Endring [m]
1	836	+0.08
2	720	+0.10
3	578	+0.08
Gjennomsnitt samtlige tverrsnitt:		**0.13**
Maksimal av samtlige tverrsnitt:		**1.08**

Usikkerheten er relativt stabil fordelt geografisk over modellområdet, med noe variasjon.
Flomsikkert nivå og flomsonekart

4.5. Sikkerhetsmargin

Det er brukt en sikkerhetsmargin på 35% som påslag på vannføring som er brukt i den hydrauliske modellen (figur 4-14). Dette er ut fra usikkerhetsklassifisering av flomberegningen og den hydrauliske modellen.

Flomberegningen er vurdert til å være klasse 3. Dette er med utgangspunkt i at målestasjonen er representativ, men på tross av noe variasjon i spesifikke flomverdier. Den hydrauliske modellen er vurdert til å være i klasse C: "lite følsom", da rundt 90% av tverrsnittene har endring lavere enn 0,20 m ved økning på 25% i ruhet, og lik observasjon ved økning på 20% i vannføring. Vannføringen med sikkerhetsmargin er 45,0 m³/s. Det vises her til NVE (2021).



Figur 4-14 Beregnet sikkerhetsmargin for området [m].

Sikkerhetsmarginen tilsvarer en økning i vannstand oppgitt i meter (m) som vist i figuren over.

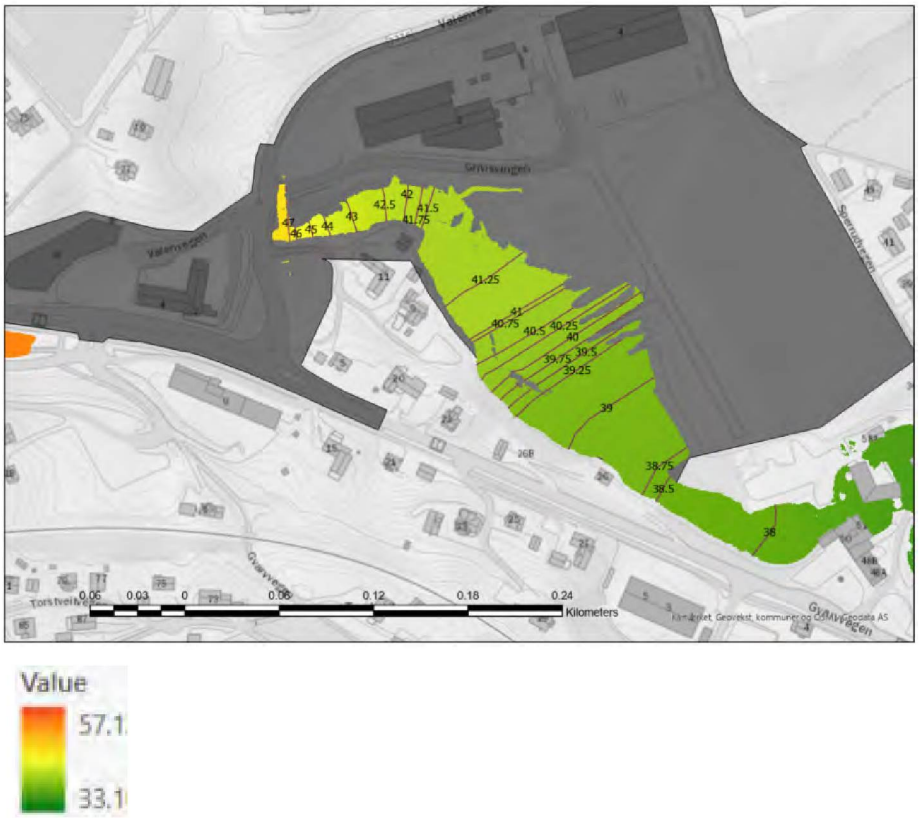
4.6. Flomsikkert nivå

Flomsikkert nivå er beregnet med nevnte sikkerhetsmargin og vist i figur 4-15 under. Det bemerkes at flomsikkert nivå tilsvarer flomsonen med tillagt sikkerhetsmargin.

Figur 4-15 Flomsikkert nivå med Q=45,0 m³/s, angitt i [moh]

Nivået er sammenlignbart med flomsonekartet.

I figur 4-16 og tabell 4-6 viser flomsikkert nivå angitt for tverrprofilene i og nærmest planområdet mens figur 4-17 viser dybde.

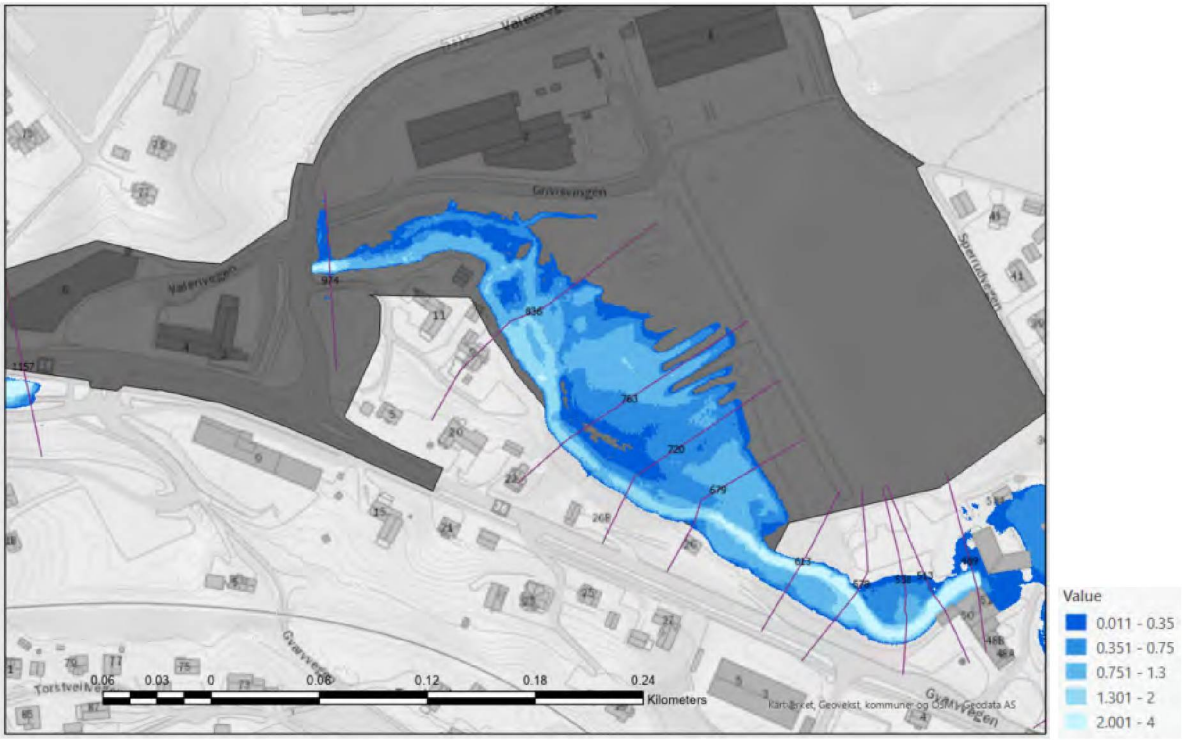


Figur 4-16 Flomsikkert nivå med angitt kotehøyde [moh] for planområdet.

Under er det oppgitt flomsikkert nivå for enkelte tverrprofiler.

Tabell 4-6 6 Flomsikkert nivå i og ved planområdet. Det vises her til tverrprofiler i Vedlegg 6 og Figur 7.

Profil nr.		**Flomsikkert nivå**	
		Kotehøyde vannstand [moh]	**Sikkerhetsmargin** [m]
1	836	41.25	+0.28
2	763	40.08	+0.20
3	720	39.08	+0.17
4	578	38.12	+0.18



Figur 4-17 Dybde [m] ved flomsikkert nivå for planområdet.

4.7. Flomsonekart

Det er utarbeidet et flomsonekart i GIS, basert på resultatene av de hydrauliske beregningene beskrevet i kapittel 4. Dette er gitt i Vedlegg 5. Digitale flomsoner er utarbeidet i henhold til NVEs standard.

Flomsonekartet viser oversvømt areal ved flom i Bøevju, samt koter for beregnet vannstand i moh. Flomkotene har en ekvidistanse på 0,5 meter.

Det bemerkes at vannstander i flomsonekartet er modellerte verdier, og inkluderer ikke sikkerhetsmargin. I planlegging burde det legges til en anbefalt sikkerhetsmargin som angitt over.

Figur 7 Flomsonekart ved Q=33.3 m³/s der verdiene er i [moh]

5. Konklusjon og anbefalinger

Resultatene viser en vannstand for Bøevju som medfører at vannet renner inn i planområdet. Flomsikkert nivå er beregnet flomvannstand inkludert sikkerhetsmargin, som vist i tabell 5-1. Ved oppføring av bygningsmasse i planområdet vil det måtte tas høyde for avbøtende tiltak som hindrer flom, i henhold til føringer i Byggteknisk forskrift (TEK 17).

Kilder

- **NVE** (2022) Veileder for flomberegninger. NVE Veileder 1/2022.
- **Direktoratet for byggkvalitet** (2017). Byggteknisk forskrift. TEK17.
- **Fergus, T., Hoseth K.A., Sæterbø, E.** (2010). Vassdragshåndboka. Tapir akademisk forlag.
- **HEC** (2021). HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Version 6.0.
- **Norsk Klimaservicesenter** (2017). Klimaprofil Telemark.
- **NVE** (2014). Flaum- og skredfare i arealplanar. Revidert 22. mai 2014. NVE retningslinje 2/2011**.**
- **NVE** (2021). Sikkerhet mot flomfare – utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak. NVE: Høringsdokument.

Databaser og verktøy:

- **Høydedata** (01, 2022). Hentet fra https://hoydedata.no/LaserInnsyn/
- **NVE karttjenester** (01, 2022). NVE. Hentet fra https://kartkatalog.nve.no/#kart
- **PQRout** (01, 2022). NVE. Hentet fra http://pqrout.nve.no/#/T/1
- **Seklima – Nedbørintensitet** (01, 2022). Norsk Klimaservicesenter. Hentet fra https://klimaservicesenter.no/ivf?locale=nb
- **seNorge** (måned, år). NVE. Hentet fra http://www.senorge.no/

Vedlegg

Vedlegg 1 NEVINA-rapport

Vedlegg 2 Oversiktskart

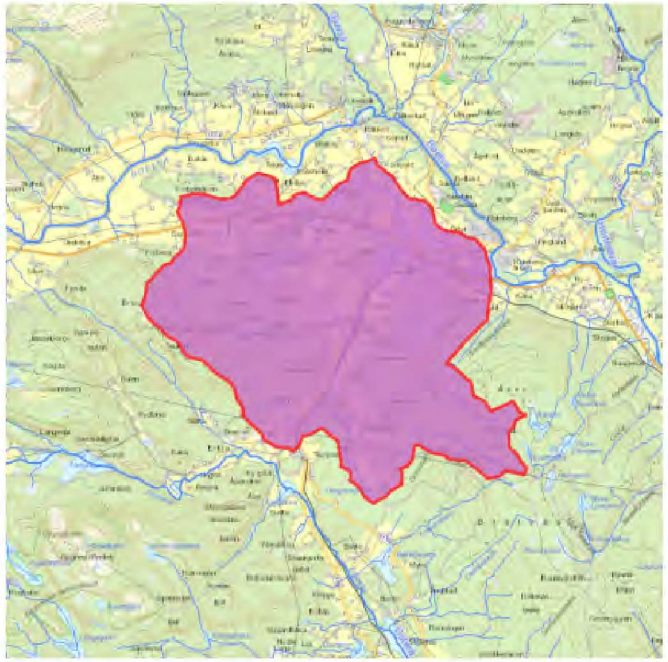
Vedlegg 3 Resultater hydraulisk beregning

Vedlegg 4 Elveprofiler

Vedlegg 5 Flomsonekart

Vedlegg 6 Tverrprofiler brukt i modellering

Vedlegg 1 – NEVINA-rapport



Norges vassdrags- og energidirektorat

Kartbakgrunn:	Statens Kartverk
Kartdatum:	EUREF89 WGS84
Projeksjon:	UTM 33N
Beregn.punkt:	164873 E 6600538 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.:	**016.CA4**
Kommune.:	**Midt-Telemark**
Fylke.:	**Vestfold og Telemark**
Vassdrag.:	**Bøelva**

Feltparametere

Areal (A)	20.1	km²
Effektiv sjø (A_{SE})	0	%
Elvleengde (E_L)	8.3	km
Elvegradient (E_G)	36.4	m/km
Elvegradient $_{1085}$ ($E_{G,1085}$)	27.6	m/km
Helning	7.5	°
Dreneringstetthet (D_T)	1.3	km^{-1}
Feltlengde (F_L)	5.6	km

Arealklasse

Bre (A_{BRE})	0	%
Dyrket mark (A_{JORD})	24.3	%
Myr (A_{MYR})	0.1	%
Leire (A_{LEIRE})	0.6	%
Skog (A_{SKOG})	58.7	%
Sjø (A_{SJO})	0.0	%
Snaufjell (A_{SF})	0	%
Urban (A_U)	7.3	%
Uklassifisert areal (A_{REST})	9.5	%

Hypsografisk kurve

Høyde $_{MIN}$	32	m
Høyde $_{10}$	81	m
Høyde $_{20}$	97	m
Høyde $_{30}$	105	m
Høyde $_{40}$	114	m
Høyde $_{50}$	121	m
Høyde $_{60}$	137	m
Høyde $_{70}$	155	m
Høyde $_{80}$	183	m
Høyde $_{90}$	241	m
Høyde $_{MAX}$	398	m

Klima- /hydrologiske parametere

Avrenning 1961-90 (Q_N)	8.6	l/s*km²
Sommernedbør	428	mm
Vinternedbør	454	mm
Årstemperatur	4.3	°C
Sommertemperatur	12.2	°C
Vintertemperatur	-1.3	°C

Rapportdato: 1/5/2022

© nevina.nve.no

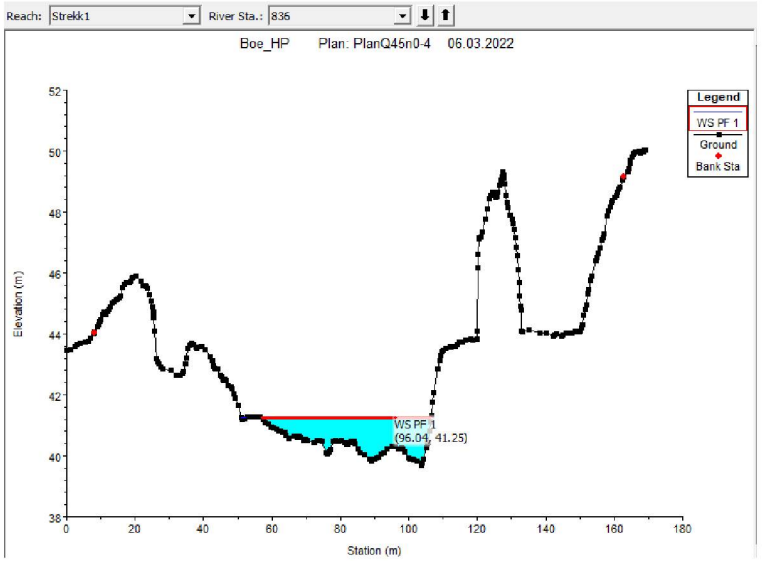
Vedlegg 2 – Oversiktskart

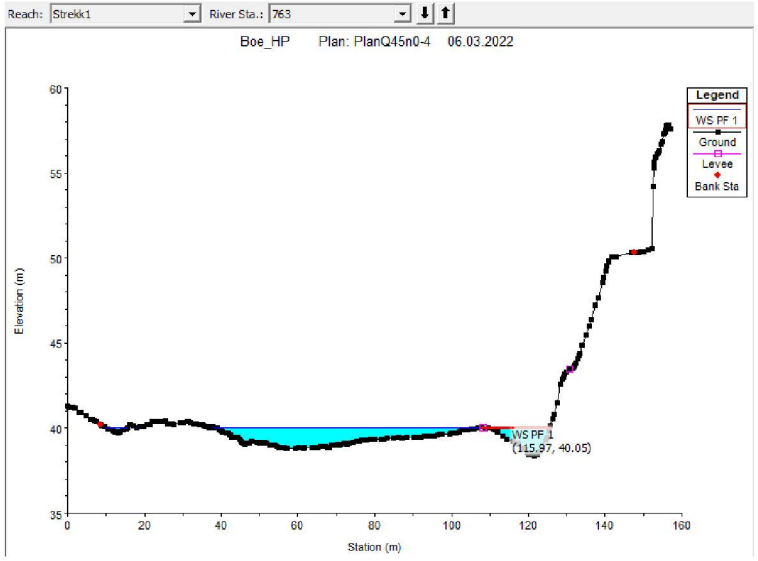
Vedlegg 3 – Resultater hydraulisk beregning

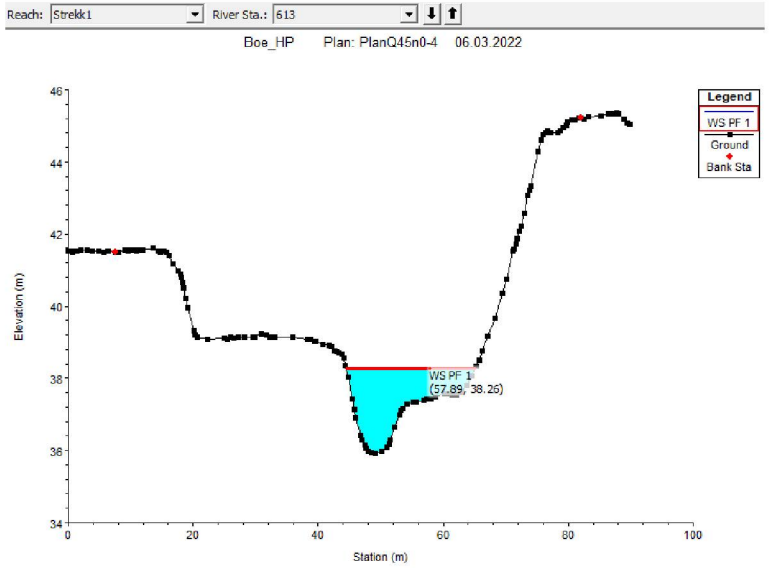
Profil nr.		Elvebunn	200-årsflom + 40% klimapåslag			Sensitivitetsanalyse +25% ruhet	Flomsikkert nivå	
			Vannstand	**Vanndybde** (maks)	**Hastighet** (snitt)	**Endring**	**Vannstand** (inkl. sikkerhetsmargin)	**Vanndybde** (maks)
		[moh]	[moh]	[m]	[m/s]	[m]	[moh]	[m]
1	1269	53.89	55.75	1.86	2.21	+0.10	55.95	2.05
2	1198	50.27	52.87	2.60	1.48	+0.04	53.51	3.24
3	1157	49.45	52.60	3.15	2.33	0	53.30	3.85
4	836	39.70	40.97	1.26	1.11	+0.06	41.25	1.55
5	763	38.41	39.88	1.47	2.88	+0.06	40.08	1.64
6	679	37.26	38.67	1.41	1.06	+0.12	38.90	1.64
7	613	35.92	38.07	2.14	1.64	+0.11	38.26	2.34
8	538	35.27	37.69	2.42	0.99	-0.15	37.88	2.61
9	513	35.04	37.49	2.45	1.52	-0.48	37.61	2.57
10	320	32.23	34.71	2.48	2.08	+0.12	34.82	2.59

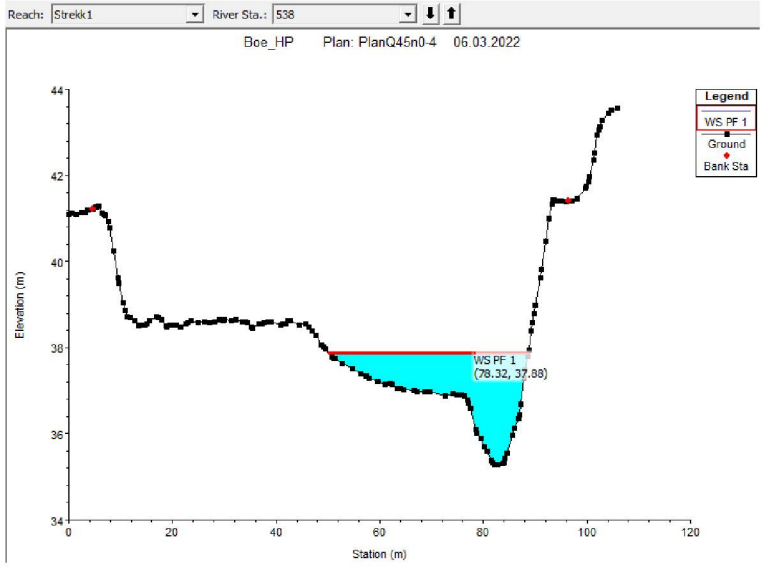
Minimal:		**0.74**	**0.24**	**0.00**		
Gjennomsnitt:		**1.79**	**1.97**	**0.11**		
Maksimal:		**3.15**	**8.23**	**0.48**		

Vedlegg 4 - Elveprofiler Q=45 m³/s









Vedlegg 5 – Flomsonekart

Flomsonekart Bøevju

Kartleggingen er utført for 200-årsflom inkludert 40 % klimapåslag

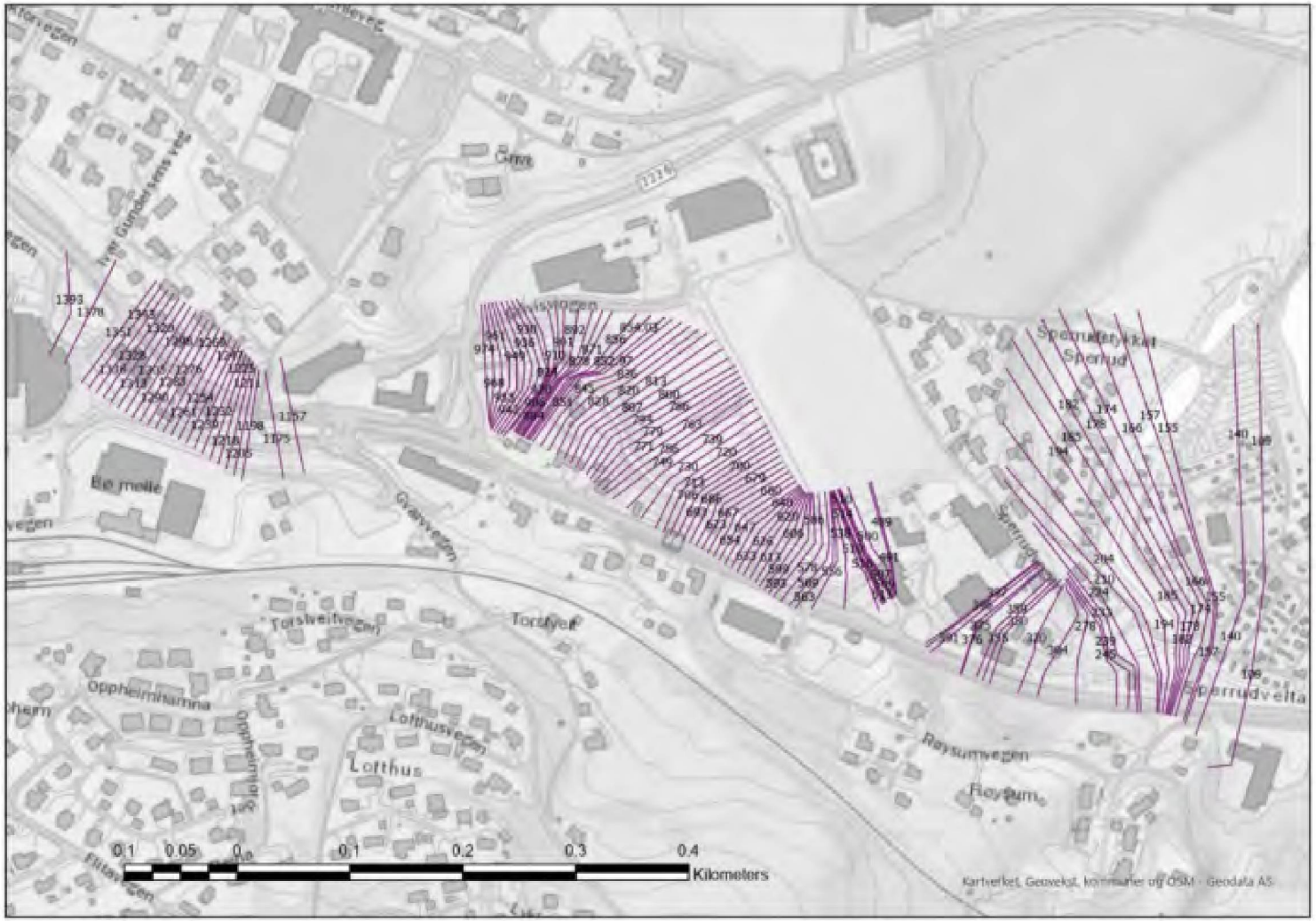
NB: Verdier i kart angir modellert vannstand i moh (NN2000).
Anbefalt sikkerhetsmargin for vannstandsstigning er angitt i rapporten.

Tegnforklaring

- Flomhøyde - kontur
- Oversvømt areal

Oppdragsgiver: ITV Eiendomsutvikling
Oppdragsnr.: 634659-01
Utarbeidet av: HM
Status: Leveranse
Dato: 07.03.2022

Vedlegg 6 – Samtlige benyttede tverrprofiler



asplan viak