

VEDLEGG

Oppdragsgiver: Re Kommune
Oppdragsnavn: Søyholmen RA - Anbudsgrunnlag
Oppdragsnummer: 619545-02
Utarbeidet av: Roy Martin Edvardsen
Oppdragsleder: Roy Martin Edvardsen
Tilgjengelighet: Åpen

NOTAT Dimensjoneringsnotat renseprosess

1. BAKGRUNN	2
2. DIMENSJONERENDE MENGDER	2
2.1. Generelt	2
2.2. Dimensjonerende vannmengder	2
2.3. Dimensjonerende stoffbelastning	2
2.4. Rensekrav.....	3
3. DIMENSJONERENDE DATA	4
3.1. Generelt	4
3.2. Renseprosess nytt renseanlegg	4
3.2.1. Forbehandling	4
3.2.2. Biologisk trinn (MBBR)	4
3.2.3. Kjemisk trinn og slamavskilling	4
3.2.4. Slambehandling	4
3.3. Dimensjonering nytt renseanlegg.....	5
3.4. Hydraulisk profil.....	5

1. BAKGRUNN

Ref rapport fra for-prosjekt hvor vannmengder etc for nytt renseanlegg er beregnet basert på 2000 PE.

Grunnet oppjustering av antall PE fra 2000 til 4000, så beregnes nye mengder.

2. DIMENSJONERENDE MENGDER

2.1. Generelt

Det er separat avløpsnett i Re kommune, men kommunen oppgir at det allikevel er problemer med fremmedvann i perioder med store nedbørsmengder. På innløpsristen er det ikke tilstrekkelig kapasitet til å ta unna tilrenningen ved mye nedbør, og anlegget settes da i omløp.

Kommunen har oppgitt at de vil jobbe med, og sette inn ressurser framover, for å redusere denne fremmedvannsmengden.

Anlegget skal dimensjoneres og forberedes for 4000 pe, men bygges i første omgang for 3000pe. For dimensjonering benyttes beregning med overslag fra Norsk vann rapport 168. Spesifikk spillvannsmengde settes til 150 l/pe·d, innlekkingen settes til 100 l/pe·d. Det er ikke aktuelt med bidrag fra industri. K_{maks} settes til 1.60, m settes til 2 (for beregning av $Q_{maksdim}$).

$$Q_{midl} = 250 \text{ l/pe} \cdot d * 4000 \text{ pe} * 365d = 365\,000 \text{ m}^3 / \text{år}$$

Basert på registrert tilrenning for Søybyholmen RA, tilsvarer årlig vannmengde inkludert overløp en spesifikk vannmengde på 205 l/pe·d. Sammenlignet med spesifikk spillvannsmengde på 150 l/pe·d, indikerer dette liten innlekking på nettet. For Krakken er tilsvarende spesifikke vannmengde 155 l/pe·d. For dimensjonering settes spesifikk innlekkingmengde til 100 l/pe·d.

2.2. Dimensjonerende vannmengder

Dimensjonerende tilrenning for nytt Søybyholmen renseanlegg er vist i etterfølgende tabell.

Tabell 1: Dimensjonerende vannmengder

	Q_{dim} [m ³ /h]	$Q_{maksdim}$ [m ³ /h]	
Vannmengde	57	113	

Det legges opp til at forbehandlingen dimensjoneres for $Q_{maksdim}$. Resten av anlegget dimensjoneres for Q_{dim} .

2.3. Dimensjonerende stoffbelastning

Beregnet stoffbelastning for 4000 pe er vist i etterfølgende tabell, i tillegg kommer stoffbelastning fra eventuelt rejektivann. Rejektivann vil komme fra avvanning. Dimensjonerende stoffbelastning benyttes for dimensjonering av biologisk trinn.

Tabell 2: Dimensjonerende stoffbelastning

	Kg BOF ₅ /d
Stoffbelastning fra 4000 pe	240,0
Stoffbelastning fra avvanning	35,0
Dimensjonerende stoffbelastning	275,0

2.4. Rensekrav

Eksisterende renseanlegg:

For eksisterende renseanlegg så er tilknyttede abonnenter 1850, altså mindre enn 2000 pe, og derfor har kommunen selv vært myndighet (§13).

I henhold til §6 i «Forskrift om utslipp av sanitært avløpsvann fra bolighus, hytter, institusjoner og lignende, Re kommune Vestfold, så er det følgende rensekrav til avløpsvannet i dag:

Tabell 3: Rensekrav eksisterende Søybyholmen RA, Forskrift for Re kommune.

Forurensningsparameter	Utløpskonsentrasjon
Tot-P	< 1,0 mg P/l – Tilsvarende 90 % renssevne
BOF ₅	< 25 mg O ₂ /l – Tilsvarende 90 % renssevne
E.coli (ikke aktuelt for Søybyholmen RA)	< 1000 stk./100 ml – Tilsvarende badevannskvalitet

Nytt renseanlegg:

Ettersom anlegget skal godkjennes for 4000 pe og derfor er større enn 2000 pe, så er Fylkesmannen forurensningsmyndighet, se etterfølgende figur (§14-1).

<p>§ 14-1. Virkeområde for kapittel 14</p> <p>Kapittel 14 gjelder for utslipp av kommunalt avløpsvann fra tettbebyggelse med samlet utslipp større enn eller lik 2000 pe til ferskvann, større enn eller lik 2000 pe til elvemunning eller større enn 10.000 pe til sjø. Kapittel 14 gjelder ikke for utslipp av sanitært avløpsvann fra avløpsanlegg med utslipp mindre enn 50 pe.</p> <p>Krav i kapittel 14 gjelder ikke påslipp til offentlig avløpsnett.</p>

Figur 1: Utklipp fra forurensningsforskriften.

Et nytt renseanlegg må ha biologisk og kjemisk rensing for å oppnå kravet om rensegrad som angitt nedenfor iht §14-2. I tillegg er det krav til akkreditert prøvetaking som angitt i §14-11.

Tabell 4: Generelle rensekrav, Fylkesmannens myndighet ref (§ 14-12) for normalt område.

Forurensningsparameter	Utløpskonsentrasjon
Tot-P	Minst 90 % renssevne
BOF ₅	< 25 mg O ₂ /l – eller minst 70 % renssevne
KOF _{CR}	< 125 mg O ₂ /l – eller minst 75 % renssevne

For eksisterende RA er det lagt til grunn 90% renssevne av BOF₅, se tabell 3. Basert på kravene fra §14 i forurensningsforskriften og §6 i «Forskrift om utslipp av sanitært avløpsvann fra bolighus, hytter, institusjoner og lignende, Re kommune Vestfold i tillegg, så er følgende rensekrav satt for Søybyholmen RA og vist i Tabell 5.

Tabell 5: Rensekrav nye Søybyholmen RA, Fylkesmannens myndighet §14 og forskrift Re kommune §6.

Forurensningsparameter	Utløpskonsentrasjon
Tot-P	Minst 90 % renssevne
BOF ₅	< 25 mg O ₂ /l – eller minst 90 % renssevne
KOF _{CR}	< 125 mg O ₂ /l – eller minst 75 % renssevne

3. DIMENSJONERENDE DATA

3.1. Generelt

I etterfølgende kapitler har vi vurdert bygging av et helt nytt renseanlegg på eksisterende tomt. Det er lagt opp til et kompakt renseanlegg med kjemisk og biologisk rensing. En forutsetning for valget av løsning og plassering er et midlertidig renseanlegg skal kunne driftes under hele byggeperioden, unntatt avvanningen, som en container-løsning på stedet. I byggeperioden vil det derfor være nødvendig å kjøre bort uavvannet slam.

3.2. Renseprosess nytt renseanlegg

Det legges opp til 2 linjer i anlegget som bygges med en gang for 3000PE, og mulighet for 1 linje til for utvidelse til 4000PE. Hver linje i forbehandlingen (rist/sil og sandfang) dimensjoneres for Qmaksdim. Videre dimensjoneres hver prosesslinje (biologisk og kjemisk trinn med slamavskilling) for Qdim.

3.2.1. Forbehandling

Det legges en ny innløpsledning til det nye anlegget. Innløpsledningen føres til en pumpestasjon som pumper vannet opp til innløpskasser plassert på dekket, i kassene monteres det siler eller rister med ca. 6 mm hullåpning. Rist-/silgods vaskes og presses, og føres til avfallsdunk (600 liter).

Etter innløpsrist/sil går vannet videre til sandfang. Sand pumpes til sandvasker som står på dekket, vasket sand føres til egen avfallsdunk (ca.600 liter).

3.2.2. Biologisk trinn (MBBR)

Aktuell rensemetode for Søybyholmen er vurdert til MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) med kjemisk felling og flotasjon. MBBR er en kontinuerlig prosess der biologisk rensing skjer i et luftet basseng som er delvis fylt opp med plastlegemer med stor flate. Disse er bæremateriale for en fastsittende biokultur. De tar til seg og forbruker organisk stoff fra avløpsvannet, samtidig som biofilmen på plastoverflaten øker i tykkelse. Ved å ha plastbærere med stor overflate kan en få god rensing i små volumer slik at prosessen blir arealgjerrig, noe som er svært viktig da det er begrenset areal tilgjengelig ved Søybyholmen RA. Slampartikler løsner og følger vannstrømmen videre til neste trinn der dette slammet holdes tilbake. Plastlegemene holdes tilbake i biobassengene av innløps -og utløpsiler. Prosessen har den fordel at biokulturen sitter fast på biomediet, så man unngår at den vaskes med i utløpsvannet hvis anlegget blir overbelastet.

3.2.3. Kjemisk trinn og slamavskilling

Etter MBBR går vannet videre til flokkuleringskammer med kjemikalietilsetting og slamavskilling ved flotasjon. Ved flotasjon separeres slammet ved å tilføre luft til en del av rensed avløpsvann under trykk, og så returnere det lufttilsatte avløpsvannet til flotasjonstrinnet. Da faller trykket slik at vannet blir overmettet på luft, og det danner en mengde små bobler. Slam fester seg til luftboblene og stiger til overflaten. Her legger slammet seg som et teppe og det kan skrapes av. Flotasjon krever noe driftsovervåking. Det installeres også en bunnskraper for å samle opp eventuell sedimentert slam.

Etter flotasjon er det utløp for rensed vann til resipient, mens slammet pumpes med 3% tørrstoff til slamlager.

3.2.4. Slambehandling

Slammet føres til slamlager med 3 % TS fra flotasjonstrinnet. Det legges opp til avvanning på anlegget. Slamlageret dimensjoneres med 5 dagers lagringskapasitet.

Fra slamlagret pumpes slammet til en sentrifuge og avvannet slam føres til containere. Det er antatt et tørrstoffinnhold på 20 % TS. Avvannet slam kjøres til Tønsberg RA som i dag.

3.3. Dimensjonering nytt renseanlegg

Etterfølgende tabell oppsummerer dimensjoneringsdata for nytt renseanlegg.

Tabell 6: Dimensjoneringsdata og arealbehov for renseprosess.

Prosessdel	Dimensjonerende vannmengde [m ³ /h]	Arealbehov [m ²]	Kommentar
Rist/sil	113	20	Estimert arealbehov fra leverandør, inkl. presse og container.
Sandfang	113	8	2,5 m vanddybde. 4m ² sandfang+4m ² sandvasker
MBBR	57 (240 kg BOF/d)	22,8	4 m vanddybde Dimensjonerende stoffbelastning:
Flokkulering	57	2,8	2,5 m vanddybde
Flotasjon	57	11,3	2,5 m vanddybde

Dimensjoneringsdata for slambehandling og kjemikaliedosering er vist i etterfølgende tabell;

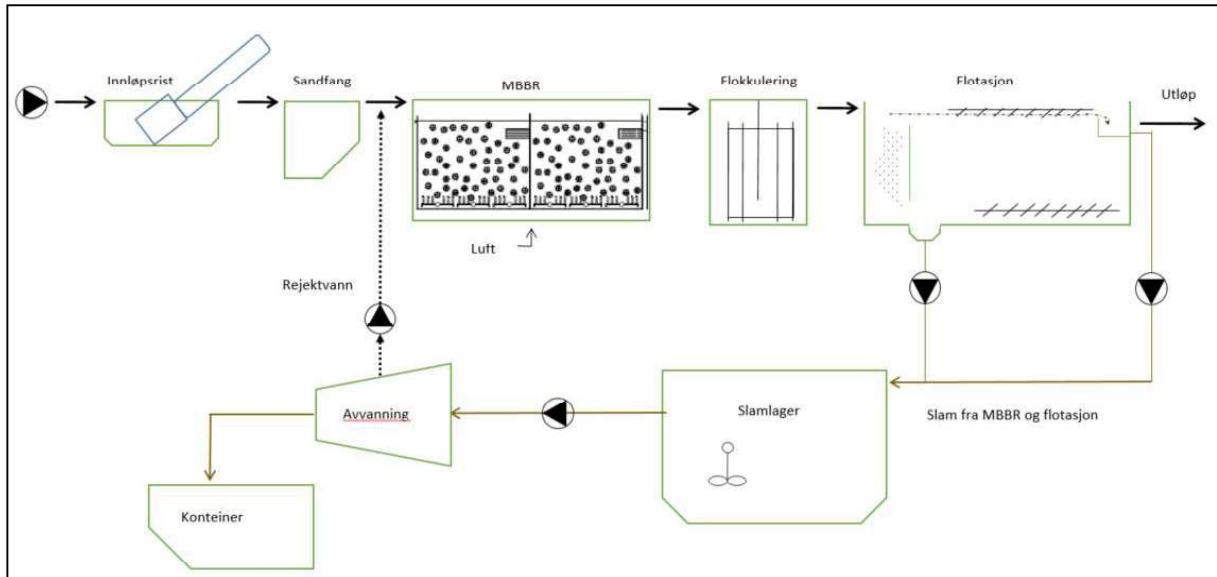
Tabell 7: Dimensjoneringsdata og arealbehov for slambehandling og kjemikalietank.

Prosessdel	Dimensjonerende mengde [m ³ /d]	Arealbehov [m ²]	Kommentar
Slamlager	16,7 m ³ /d	33,3	2,5 m vanddybde 5 dagers lagerkapasitet, 83 m ³ .
Rejektvann	24,5 m ³ /d	10	2,5 m vanddybde. Fordeler mengden over døgnet til innløpet. Evt. med rejektivannsbasseng på ca 25m ³ for 1 dags produksjon og tømning på natt.
Avvanningsmaskin	6.8 m ³ /h 500 kg TS/d	-	Antar avvanning 7 timer pr dag i 5 dager.
Avvannet slam til container	3,5 m ³ /d	-	Ved avvanning 5 dager i uken, tilsvarer mengden avvannet slam 3,5 m ³ /d (med 20 % TS) og gir det 17.5m ³ . Setter inn 2 stk. 10 m ³ containere med bortkjøring 1-2 ganger i uka.
Kjemikalietank	25 m ³	-	Setter inn en 25 m ³ kjemikalietank, stående. Da kan man ta imot en full leveranse av fellingskjemikalie. For midlere årsvannmengde på 365 000 m ³ og kjemikaliedosering på 0.2l / m ³ medfører det forbruk på 200 l/d. Full tank holder ca 4 mnd'er.

3.4. Hydraulisk profil

Avløpsvann kommer inn i ny innløpsledning til innløpspumpestasjon, som er lokalisert i det nye anlegget. Vannet pumpes til forbehandling og renner gjennom innløpsrist og sandfang, og videre til

MBBR. Det renner videre med selvfall gjennom flokkulering og videre til flotasjon. Slam fra flotasjonsbassengene har 3% tørrstoff og pumpes til slamlage. Slammet pumpes herfra videre til avvanning og avvannet slam blir skrudd eller pumpet til kontainer som hentes med bil. Rejektvannet fra avvanning blir pumpet til innløpet av prosessen.



Figur 2: Systemskisse med hydraulisk profil for nytt anlegg. (rejektvannsbasseng etter avvanningsmaskin ikke vist, ref. også info i tabell 6)

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KS
03	11.10.19	Justert rensekraft for BOF% fra 70% til 90%.	RME	LSS
02	07.08.19	Oppjustert antall PE fra 3000 til 4000.	RME	LS
01	30.07.19	Nytt dokument	RME	LS

Oppdragsgiver:	Re Kommune
Oppdragsnavn:	Sørbyholmen RA Anbudsgrunnlag - Opsjon1
Oppdragsnummer:	619545-02
Utarbeidet av:	Haregewoin Haile Chernet
Oppdragsleder:	Roy Martin Edvardsen
Tilgjengelighet:	Åpen

NOTAT Flom - og vannlinjeberegning Sørbyholmen RA

1. INNLEDNING	3
2. FLOMBEREGNING.....	4
2.1. Nedbørfelt	4
2.2. Metodikk	5
2.3. Klimatillegg.....	6
2.4. Referansestasjoner	6
2.5. Beregning av 200-årsflom	8
2.5.1. NIFS-formelverk	8
2.5.2. Flomfrekvensanalyse.....	8
2.5.3. Rasjonelle formel	10
2.5.4. Nedbørintensitet.....	10
2.5.5. Nedbørfeltets konsentrasjonstid	11
2.5.6. Avrenningskoeffisient	11
2.5.7. Flomberegning	12
2.5.8. Hydrologiske flommodell – PQFLOM	12
2.5.9. Flomskapende sesong og flomregime.....	13
2.5.10. Snøsmelting.....	14
2.5.11. Nedbørforløp	14
2.5.12. Flomberegning	14
2.6. Evaluering av flomberegninger	14
2.7. Beregning av 1000-årsflom	15
2.7.1. Retningslinjer for beregning av 1000-årsflom.....	15
2.7.2. Flomfrekvensanalyse.....	15
2.7.3. NIFS-formelverk	17
2.7.4. Dimensjonerende 1000-årsflom	17
3. VANNLINJEBEREGNING	18
3.1. Hydraulisk modell	18
3.2. Friksjonsforhold	18
3.3. Grensebetingelser	19
3.4. Brua og kulverter.....	19
3.5. Kalibreringsdata	20
3.6. Resultater fra vannlinjeberegningene.....	21
3.6.1. 200-årsflom	21
3.6.2. 1000-årsflom	22

3.7.	Sensitivitetsanalyse og flomsikkert nivå	23
4.	EROSJONSSIKRING	24
4.1.	Dimensjonering av bunn- og sideplastring.....	25
5.	FLOMSONEKART	26
5.1.	Usikkerhet	26
5.2.	Bruk av Flomsonekart og sikkerhetsmargin	26
5.3.	Lavpunkter	26
6.	TILTAKS PLAN.....	28
6.1.1.	Beregning av steinstørrelse av fyllingen	29
7.	KILDER	30
VEDLEGG.....	31

KORT SAMMENDRAG

Det er utført vurdering av flomfare i forbindelse med planlegging av et nytt renseanlegg på eksisterende Sørbyholmen RA i Re kommune. Flomsonekartleggingen viser at flomsikkerheten for dårlig for flom med gjentaksintervall 200- og 1000-årsflom inkludert 20% klimapåslag ved planområdet.

Flomsikker kotehøyde for planområdet inkludert 0,5 m sikkerhetsmargin er kote + 73,38 for 200-årsflom situasjon og kote + 73,50 for 1000-årsflom situasjon.

Nødvendige tiltak for å sikre planområde mot en 200- og 1000-årsflom skal skje gjennom en heving /oppfylling av terrenget på planområdet til flomsikkert nivå.

01	24.06.19	Nytt dokument	HHC	ÅGH
VERSION	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KS

1. INNLEDNING

I forbindelse med planlegging av et nytt rensanlegg på eksisterende Sørbyholmen RA i Re kommune, er det gjort flomberegning, vannlinjeberegning og flomsonekart for to elvestrekninger langs planområdet. Figur 1-1 viser plassering av planområdet.



Figur 1-1: Plassering av planområdet.

2. FLOMBEREGNING

Beregningene er utført i henhold til NVEs retningslinjer for flomberegninger, NVEs veileder for flomberegning i små nedbørfelt, og veilederen om tekniske krav til byggverk, TEK17 § 7-2. I henhold til TEK17 må bebyggelse plasseres sikkert med hensyn til flom, eller annen fare knyttet til vassdrag, som isgang, erosjon, skred og masseavlagring.

Byggteknisk forskrift TEK17 § 7-2 definerer krav til sikkerhet mot flom og stormflo for nybygg. Paragrafen gjelder for saktevoksende flommer som normalt ikke medfører fare for menneskeliv. Sannsynligheten i Tabell 2-1 angir største årlige sannsynligheten for flom. Byggverk skal plasseres, dimensjoneres eller sikres i henhold til aktuell sikkerhetsklasse.

Tabell 2-1: Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område.

Sikkerhetsklasse for flom	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
F1	Liten	1/20
F2	Middels	1/200
F3	stor	1/1000

Sikkerhetsklasse F1 omfatter byggverk der oversvømmelse har liten konsekvens, både økonomisk og samfunnsmessig. Det innebærer byggverk med lite personopphold som garasjer og lagerbygninger.

Sikkerhetsklasse F2 omfatter tiltak der flom vil føre til middels konsekvenser. Dette innebærer de fleste byggverk beregnet for personopphold som bolighus, hytter, kontorer, skoler og barnehager. Det kan tillates større økonomiske konsekvenser, men kritiske samfunnsfunksjoner skal ikke påvirkes.

Sikkerhetsklasse F3 omfatter tiltak der flom vil føre til store konsekvenser. Sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk der oversvømmelse kan påføre omgivelsene stor forurensning ligger innenfor sikkerhetsklassen. Sykehjem, beredskapsfunksjoner, kritisk infrastruktur og avfallsdeponier er nevnt som eksempler.

Det er opp til kommunen å skjønnsmessig vurdere aktuelle krav til sikkerhet i hver konkret byggesak. Sikkerhetsklasse F2 eller F3 virker mest aktuelt for renseanlegget.

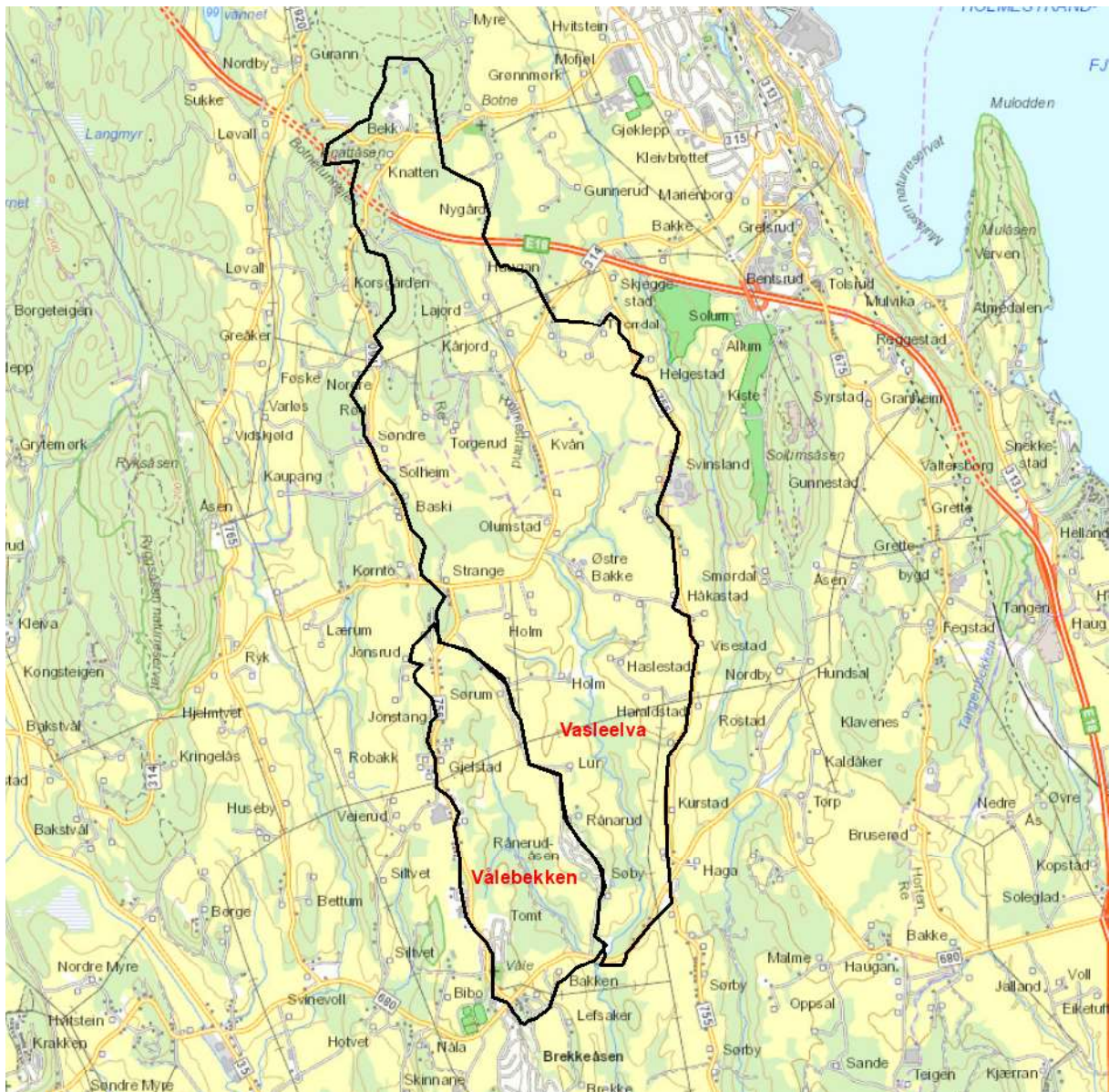
2.1. Nedbørfelt

Renseanlegget plasseres mellom Vesleelva og Vålebekken, like oppstrøms samløpet mellom de to elvene (Se Figur 1-1). Oversvømt areal som beregnes er knyttet til flom i de to elvene. Kart over nedbørfeltene til Vesleelva og Vålebekken er vist i Figur 2-1. Feltparametere for nedbørfeltene er vist i Tabell 2.1. Felt og feltparametere er beregnet ved bruk av NVE programmet «NEVINA». Feltgrenser samt detaljert informasjon om feltparametere er vist i Vedlegg 1.

Tabell 2-2: Feltparametere for Vesleelva og Vålebekken nedbørfelt.

Felt	Felt areal km ²	Skog %	Snau-fjell %	Dyrket mark %	Myr %	Urban %	Eff. sjø %	q _N * l/s/km ²	H _{min} /H _{max} m.o.h	Median høyde m.o.h
Vesleelva	9,9	33,1	0,0	65,0	0,0	0,3	0,0	16,8	76/189	115
Vålebekken	2,5	41,6	0,0	49,1	0,0	5,5	0,0	15,8	76/129	101

*Spesifikk middelavrenning beregnet fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-1990.



Figur 2-1: Oversiktskart over nedbørsfeltene til Vesleelva og Vålebekken.

2.2. Metodikk

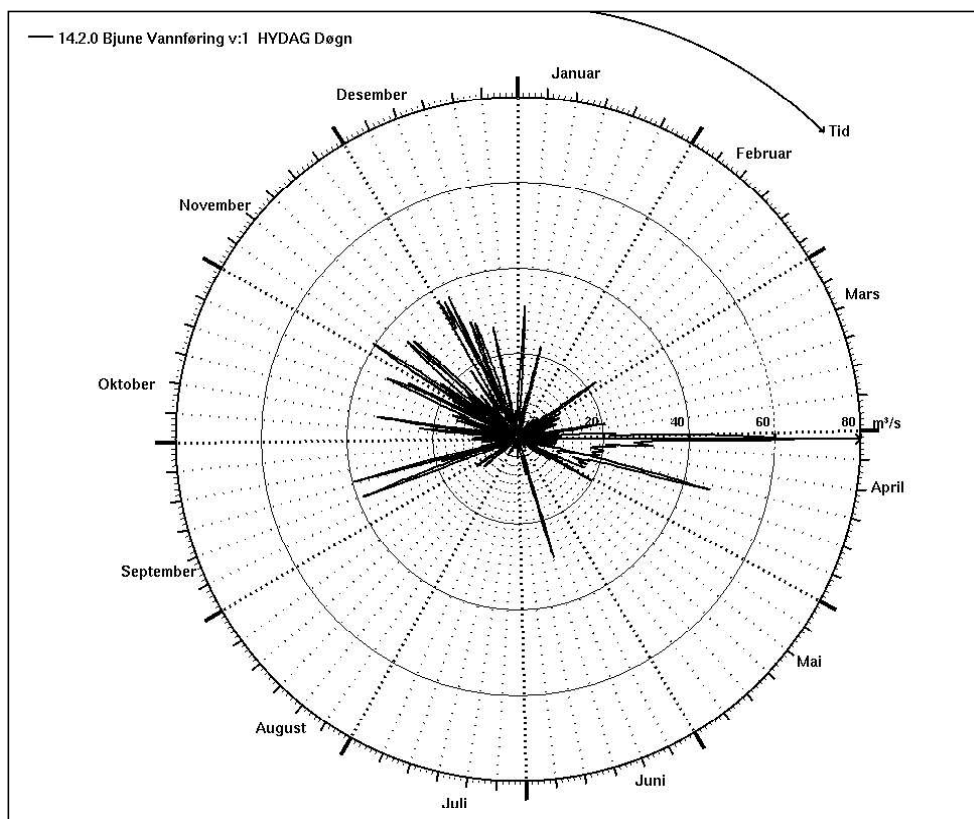
Det finnes ulike metoder for flomberegning avhengig av tilgjengelige data/observasjoner i området og størrelsen på avrenningsfeltet. Ifølge veileder fra NIFS prosjektet «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt» (NVE,7/2015) bør en vurdere metodene ut fra datagrunnlag i området, men at det er fornuftig å benytte flere metoder (minst to) og sammenligne resultatene før en går videre med en metode. Det er her brukt fire metoder for flomberegningene. Disse er flomfrekvensanalyse med data fra målestasjoner i nærliggende vassdrag, flomformler for små nedbørfelt (NIFS-formelverk), den rasjonelle metode og den hydrologiske flommodellen PQFLOM.

2.3. Klimatillegg

I henhold til NVE rapport 81/2016 «Klimaendring og framtidige flommer i Norge», skal det legges til et klimatillegg på 20 % for den beregnede flomvannføringen for å ta hensyn til en forventet økning av flomvannføring i framtiden. Det gjelder for alle felt i Vestfold, Akershus, Oslo og Østfold der nedbørfeltet er mindre enn 100 km².

2.4. Flomskapende sesong og flomregime

Prosjektfeltene ligger i et område der årsflommer dominerer (Pettersson, 2009). Figur 2-2 viser årspolarplott for målestasjon i nærheten av Prosjektfeltene.



Figur 2-2: Årspolarplott for 14.2 Bjune.

2.5. Referansestasjoner

Det foreligger ingen kjente målinger av flomvannføring i det aktuelle nedbørfeltet. Flomberegningen er derfor basert på dataserier fra målestasjoner i nærliggende vassdrag. Karakteristiske feltdata til utvalgte referansestasjoner er vist i Tabell 2-3. Hypsografisk kurve for stasjonene er vist i Figur 2-4.

Tabell 2-3: Feltparametere til referansestasjoner.

Målestasjon	Måleperiode	Areal km ²	Eff. sjø %	q_N^* l/s/km ²	H_{\min}/H_{\max} m.o.h	Median høyde m.o.h
6.10 Gryta	1967 - 2018	7,0	0,41	20,6	163/438	301
8.6 Sæternbekken	1971 - 2018	6,2	0,00	17,6	106/420	244
8.8 Blomsterkroken	1975 - 2002	22,6	0,30	18,3	21/458	208
11.4 Elgtjern	1975 - 2018	6,63	3,62	19,9	430/673	510
12.192 Sundbyfoss	1976 - 2017	74,8	0,42	21,1	54/625	194
12.193 Fiskum	1976 - 2017	51,6	0,11	17,5	80/646	277
15.21 Jondalselv	1919 - 2017	126,0	0,25	23,0	229/920	574
15.174 Istreelva	2007 - 2017	25,6	0,03	15,0	10/113	36
16.154 Brusetbekken	1987 - 2018	7,63	0,48	9,3	64/308	126

*Spesifikk middelvannføring beregnet fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-1990.

Målestasjon 6.10 Gryta ligger ca. 67 km nord for prosjektfeltene. Gryta har høyere middelavrenning og litt høyere effektiv sjøprosent sammenlignet med nedbørfeltene til Vålebekken og Vesleelva. Gryta har større feltareal sammenlignet med Vålebakkens nedbørfelt, og mindre feltareal sammenlignet med Vesleelvas nedbørfelt.

Målestasjon 8.6 Sæternbekken ligger ca. 57 km nord for prosjektfeltene. Sæternbekken har litt høyere middelavrenning og lik effektiv sjøprosent sammenlignet med nedbørfeltene til Vålebekken og Vesleelva. Sæternbekken har større feltareal sammenlignet med Vålebakkens nedbørfelt, og mindre feltareal sammenlignet med Vesleelvas nedbørfelt.

Målestasjon 8.8 Blomsterkroken ligger ca. 53 km nord for prosjektfeltene. Blomsterkroken har litt høyere middelavrenning, litt høyere effektiv sjøprosent og større feltareal sammenlignet med nedbørfeltene til Vålebekken og Vesleelva. Mangler kontrollerte data etter 2002.

Målestasjon 11.4 Elgtjern ligger ca. 50 km nord for prosjektfeltene. Elgtjern har litt høyere middelavrenning og høyere effektiv sjøprosent sammenlignet med nedbørfeltene til Vålebekken og Vesleelva. Elgtjern har større feltareal sammenlignet med Vålebakkens nedbørfelt, og mindre feltareal sammenlignet med Vesleelvas nedbørfelt.

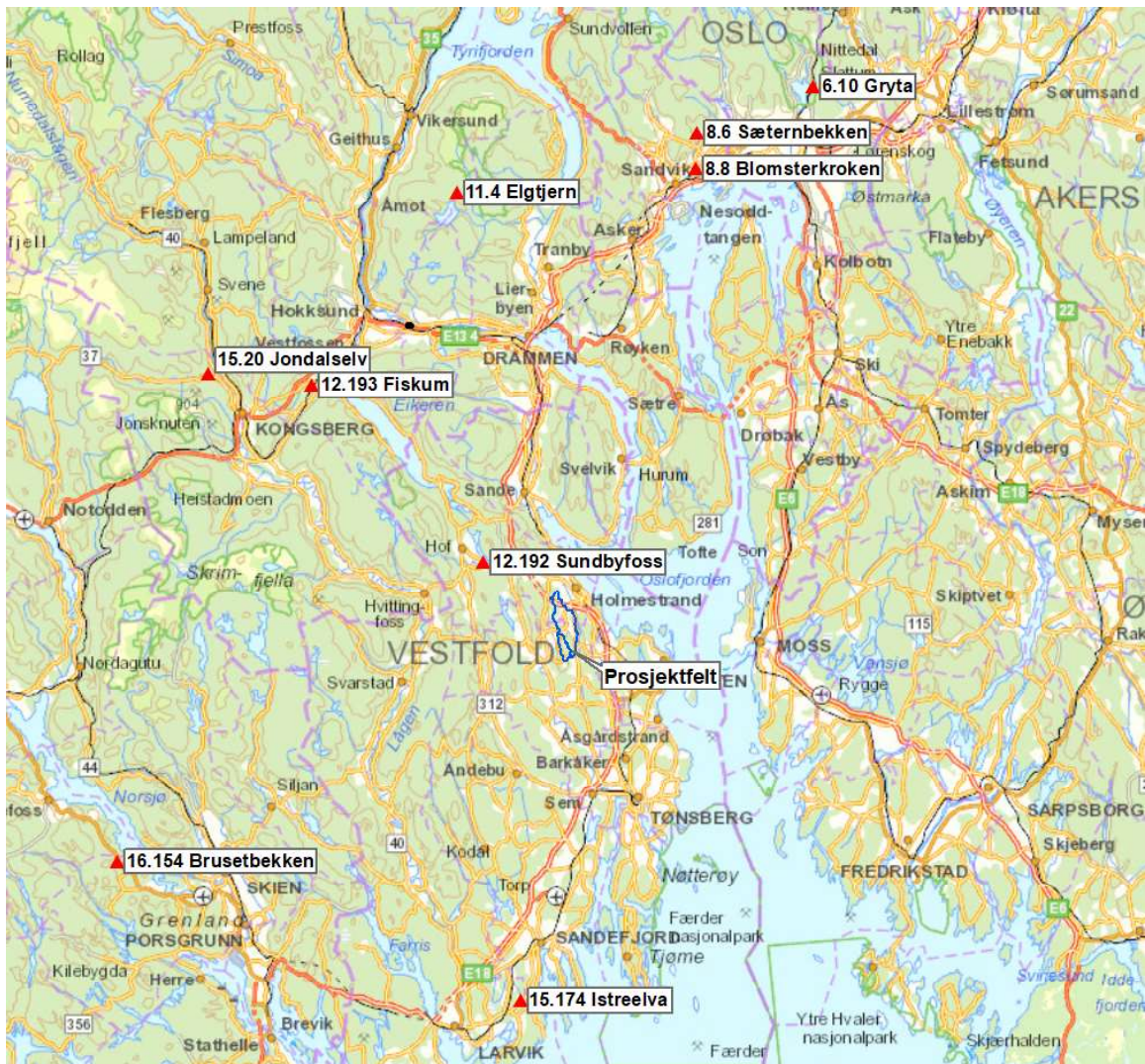
Målestasjon 12.192 Sundbyfoss ligger ca. 12 km nord for prosjektfeltene. Sundbyfoss har høyere middelavrenning, litt høyere effektiv sjøprosent og høyere feltareal sammenlignet med prosjektfeltene.

Målestasjon 12.193 Fiskum ligger ca. 40 km nordvest for prosjektfeltene. Fiskum har litt høyere middelavrenning, litt høyere effektiv sjøprosent og høyere feltareal sammenlignet med prosjektfeltene.

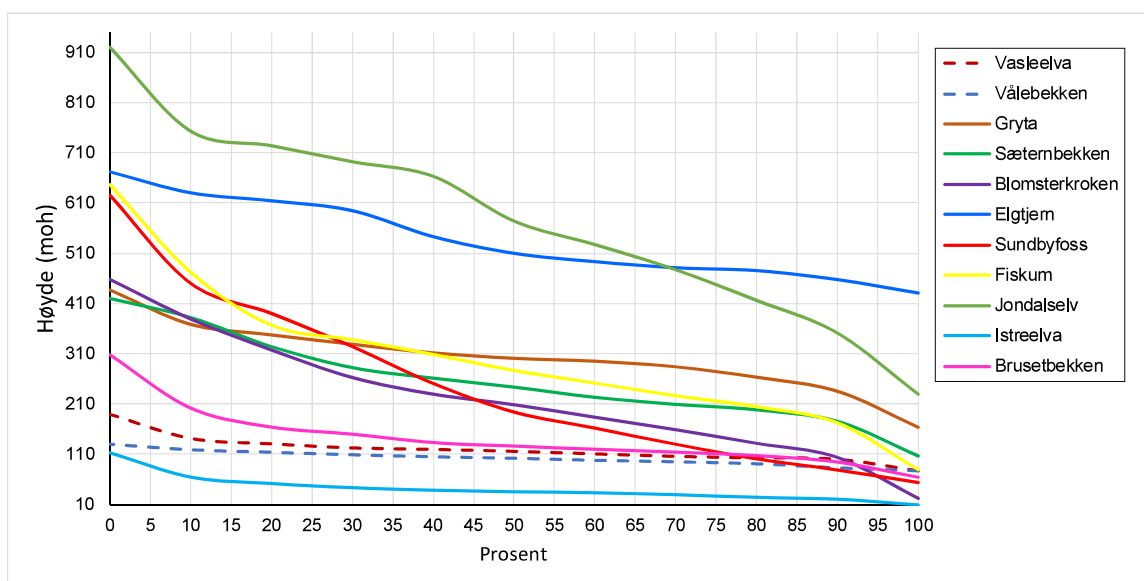
Målestasjon 15.21 Jondalselv ligger ca. 50 km nordvest for prosjektfeltene. Jondalselv har høyere middelavrenning, litt høyere effektiv sjøprosent og mye høyere feltareal sammenlignet med prosjektfeltene.

Målestasjon 15.174 Istreelva ligger ca. 42 km sør for prosjektfeltene. Istreelva har litt mindre middelavrenning, nesten likt effektiv sjøprosent og høyere feltareal sammenlignet med prosjektfeltene.

Målestasjon 16.154 Brusetbekken ligger ca. 56 km sørvest for prosjektfeltene. Brusetbekken har mye mindre middelavrenning og litt høyere effektiv sjøprosent sammenlignet med nedbørfeltene til Vålebekken og Vesleelva. Brusetbekken har høyere feltareal sammenlignet med nedbørfelt, og mindre feltareal sammenlignet med Vesleelvas nedbørfelt. Vannføringskurven på flom er vurdert som middels.



Figur 2-3: Oversikt over nærliggende målestasjoner.



Figur 2-4: Hypsografiske kurver for nedbørfeltet til det aktuelle feltet og utvalgte målestasjoner. Kurven viser hvor stor prosentvis andel av det totale feltarealet som ligger over en gitt høyde.

2.6. Beregning av 200-årsflom

2.6.1. NIFS-formelverk

NVE har utviklet et nasjonalt formelverk for beregning av middelflom og vekstkurver for felt < 50 km² (NVE, 7/2015). Formelverket er basert på regresjonsanalyser, og er testet på over 4000 nedbørfelt. Inngangsparameterne til formelen er feltareal, midlere avrenning og effektiv sjøprosent. Det henvises til NVE (2015) for beskrivelse av formelverket. Formlene blir benyttet for nedbørfeltene når feltarealene er < 50 km².

Ved beregning av middelflom med formelverket er den spesifikke middelvannføringen (q_M) og dermed middelvannføringen i m³/s en stor kilde til usikkerhet. Vekstkurven som fås fra formelverket vurderes som robust og lite sensitiv for lokale variasjoner. Den anbefales derfor som et generelt førstevalg (NVE, 97/2015). Resultatene gitt av flomformlene fra NVE (7/2015) er vist i Tabell 2-4. Flomverdiene (medianverdi) er gitt som kulminasjonsverdier.

Tabell 2-4: Beregnet 200-årsflom basert på formelverk for små nedbørfelt, kulminasjonsverdier.

Felt	Areal km ²	q_N l/s*km ²	Q_M		Q_{200}/Q_M	Q_{200} m ³ /s	$1,2 \times Q_{200}$ m ³ /s
			l/s*km ²	m ³ /s			
Vesleelva	9,9	16,8	407	4,03	2,85	11,51	13,8
Vålebekken	2,5	15,8	465	1,16	2,87	3,34	4,0

2.6.2. Flomfrekvensanalyse

Det er utført flomfrekvensanalyse på nærliggende målestasjoner for å bestemme middelflom, Q_M , og vekstfaktorene Q_T/Q_M for nedbørfeltene. Tabell 2-5 gir beregnede spesifikke døgnmiddelverdier og vekstfaktorer beregnet fra data fra de aktuelle målestasjonene. Flomfrekvensanalysen er utført med beregningsprogram i NVEs database Hydra II.

Tabell 2-5: Flomfrekvensanalyse for aktuelle målestasjoner, døgnmiddelverdi.

Stasjon	Ant. år	Areal km ²	$q_{M,døgn}$ l/s/km ²	$Q_{M,døgn}$ m ³ /s	Q_{200}/Q_M	Fordeling
6.10 Gryta	51	7,0	224	1,57	2,33	GEV (L-mom)
8.6 Sæternbekken	47	6,2	250	1,55	2,50	GEV (max)
8.8 Blomsterkroken	27	22,6	256	5,78	1,72	GEV (max)
11.4 Elgtjern	43	6,63	255	1,69	3,60	GEV (L-mom)
12.192 Sundbyfoss	41	74,8	257	19,24	3,50	GEV (L-mom)
12.193 Fiskum	41	51,6	214	11,02	3,49	GEV (L-mom)
15.21 Jondalselv	98	126,0	258	32,51	2,58	GEV (L-mom)
15.174 Istreelva	10	25,6	298	7,62	2,57	Gumbel (L-mom)
16.154 Brusetbekken	31	7,63	278	2,12	2,56	GEV (L-mom)

Feltparametere som effektiv sjøprosent, feltareal og middelvannføring har stor betydning ved valg av representative nedbørfelt for estimering av middelflom (NVE, 97/2015). Spesifikk middelflom varierer relativt lite for stasjonene i området (Tabell 2-5), og ligger i størrelsesorden fra 214 l/s/km² til 298 l/s/km².

Nedbørfeltet til Elgtjern har større effektiv sjøprosent enn prosjektfeltene, noe som generelt medfører flomdemping. Jondalselv har høyere feltareal og høyere middelvannføring enn prosjektfeltene. Brusetbekken har klart lavere spesifikk middelvannføring enn de øvrige feltene. Målestasjonen ved

Istreelva har for kort dataserie til at den kan benyttes i videre beregninger. Disse stasjonene er derfor ikke direkte sammenlignbare med prosjektfeltene.

Det vurderes at dataserier fra målestasjonene Gryta, Sæternbekken, Blomsterkroken, Sundbyfoss og Fiskum er mest representative for prosjektfeltene, og derfor brukes gjennomsnittverdien fra disse stasjonene. Middelflom Q_M for prosjektfeltene settes til 240 l/s/km². Ser en på de sju stasjonene med lengst observasjonsperiode, er middelverdi for vektskurven (Q_{200}/Q_M) lik 2,9.

Med valgt verdi for middelflom og flomfrekvensfordeling som antas representativ for prosjektfeltene, blir de resulterende flomverdiene som vist i Tabell 2-6.

Tabell 2-6: Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier i prosjektfeltene, døgnmiddelvannføringer.

	Areal km ²	Q_M		Q_{200}/Q_M	Q_{200} m ³ /s
		l/s.km ²	m ³ /s		
Vesleelva	9,9	240	2,38	2,9	6,90
Vålebekken	2,5	240	0,60	2,9	1,74

Flomfrekvensanalysen er utført på døgnmiddelverdier. Flommens kulminasjonsverdi kan estimeres fra forholdet mellom flommens kulminasjonsverdi (momentanverdi), Q_{mom} og døgnmiddel, $Q_{døgn}$.

I NVE (2011) er det utarbeidet ligninger som uttrykker en sammenheng mellom forholdet $Q_{mom}/Q_{døgn}$ og feltkarakteristika (feltareal og effektiv sjøprosent) for vår- og høstsesong. Formlene er:

$$\text{Vårflom: } Q_{mom}/Q_{døgn} = 1.72 - 0.17 \cdot \log A - 0.125 \cdot A_{SE}^{0.5}$$

$$\text{Høstflom: } Q_{mom}/Q_{døgn} = 2.29 - 0.29 \cdot \log A - 0.270 \cdot A_{SE}^{0.5}$$

Der A er feltareal og A_{SE} er effektiv sjøprosent. Resultatene presenteres i Tabell 2-7.

Tabell 2-7: Forholdstallet mellom døgnmiddelflom og kulminasjonsflom for prosjektfeltene.

Felt	Areal km ²	Eff. Sjø, A_{SE} %	$Q_{mom}/Q_{døgn}$	
			Vår	Høst
Vesleelva	9,9	0,0	1,55	2,0
Vålebekken	2,5	0,0	1,65	2,17

For prosjektfeltene benyttes formelen for høstflommer, da regn er den dominerende årsaken til de største flommene. De beregnede kulminasjonsflomverdiene er vist i Tabell 2-8.

Tabell 2-8: Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende 200-årsflom basert på flomfrekvensanalyse, kulminasjonsvannføringer.

	Areal km ²	Q_M		$Q_{mom}/Q_{døgn}$	$Q_{200, døgn}$ m ³ /s	$Q_{200, mom}$ m ³ /s	$1,2 \times Q_{200}$ m ³ /s
		l/s.km ²	m ³ /s				
Vesleelva	9,9	240	2,38	2,0	6,90	13,8	16,56
Vålebekken	2,5	240	0,60	2,17	1,74	3,78	4,53

2.6.3. Rasjonelle formel

Ifølge Statens vegvesens håndbok N200 Vegbygging, anbefales den rasjonelle formel for felt mindre enn 2- 5 km². Ved felt større enn 10 km² kan formelen medføre stor usikkerhet.

Den rasjonelle formelen baserer seg på målt nedbør. Avrenningen (Q) er gitt ved:

$$Q = C \times i \times A \times K_f$$

Hvor:

Q = avrenning (l/s)

C = avrenningsfaktor, ubenevnt

i = dimensjonerende nedbørintensitet (l/s.ha)

A = feltareal (ha)

K_f = klimafaktor

2.6.3.1. Nedbørintensitet

200-årsverdi for nedbørintensitet er hentet fra nærmeste målestasjon der det foreligger en IVF-kurve med tilfredsstillende kvalitet. Varighet til nedbøren er gitt av nedbørfeltens konsentrasjonstid. De nærmeste stasjonene med gyldig IVF-kurve er Tønsberg-Kilen (27270) og Torp (27470). Det er benyttet snittverdien av de to stasjonene. IVF-kurvene for målestasjonene er vist i Vedlegg 2.

2.6.3.2. Nedbørfeltets konsentrasjonstid

Konsentrasjonstiden til nedbørfeltene (naturlige felt), t_c, er oppgitt i minutter, og er beregnet etter formelen gitt i Håndbok N200.

$$t_c = 0,6 \times L \times H^{-0,5} + 3000 \times A_{se}$$

Hvor:

L = lengden av nedbørfeltet (m)

H = høydeforskjellen i nedbørfeltet (m)

A_{se} = effektiv sjøprosent, forholdstall (0 ≤ A_{se} ≤ 1)

Tabell 2-9: *Parametere benyttet for å beregne konsentrasjonstid for nedbørfeltene.*

	Vesleelva	Vålebekken
Feltlengde L (m)	7400	3000
H _{min} (moh)	76	76
H _{maks} (moh)	189	129
A _{se} (%)	0,0	0,0
ΔH (m)	113	53
T _c (min)	418	247

2.6.3.3. Avrenningskoeffisient

Avrenningskoeffisient, C, er et mål på hvor mye av den totale nedbøren som drenerer fra et område. Faktorens størrelse er avhengig av terrengetype, vegetasjon, helning og sannsynlighet for overflateavrenning fra feltet. Det er benyttet erfaringstall for avrenningsfaktorer for ulike terrengetyper oppgitt i Vassdragshåndboka (Fergus m. fl., 2010). I henhold til Håndbok N200 (SVV, 2014

Kapittel 405), skal C-verdiene økes for nedbør med returperiode lengre enn $n = 10$ år. For 200-årsflom skal C-faktoren økes med 30 %. Maksimal C-faktor er $C=0,95$. Tabell 2-10 og Tabell 2-11 viser en oversikt over benyttede verdier for avrenningskoeffisienter.

Tabell 2-10: Avrenningskoeffisienter, C, for felt Vesleelva med 30 % påslag (til maks $C=0,95$) for returperiode på 200 år etter anbefaling i Håndbok N200.

Arealtype	%	Areal (m ²)	C	C*A (m ²)
Innsjøer	0	0	1	0
Snaufjell	0	0	0,98	0
Myr	0	0	0,7	0
Skog	33,9	3356100	0,4	1342440
Dyrket mark	65,8	6514200	0,2	1302840
Urban	0,3	29700	0,5	14850
		9900000	0,27	2660130
		1,3*C	0,35	

Tabell 2-11: Avrenningskoeffisienter, C, for felt Vålebekken med 30 % påslag (til maks $C=0,95$) for returperiode på 200 år etter anbefaling Håndbok N200.

Arealtype	%	Areal (m ²)	C	C*A (m ²)
Innsjøer	0	0	1	0
Snaufjell	0	0	0,98	0
Myr	0	0	0,7	0
Skog	43,6	1090000	0,4	436000
Dyrket mark	50,9	1272500	0,2	254500
Urban	5,5	137500	0,5	68750
		2500000	0,30	759250
		1,3*C	0,39	

2.6.4. Flomberegning

Beregning av 200-årsflom ved bruk av den rasjonale formelen er vist i Tabell 2-12. Klimatillegg er inkludert i beregningen.

Tabell 2-12: Beregnet 200-årsflom med den rasjonelle formelen.

Felt	Vesleelva	Vålebekken
Nedbørfeltets areal (ha)	990	250
Avrenningskoeffisient, C	0,35	0,39
Nedbørfeltets konsentrasjonstid (min)	418	247
Nedbørintensitet, i (l/s.ha)	26,20	39,62
Q_{200} (m ³ /s)	9,10	3,91
Q_{200} – klimajustert 20 % (m³/s)	10,9	4,70

2.6.5. Hydrologiske flommodell – PQFLOM

Modellen PQFLOM er en regnearkversjon av modellen PQRUT som beskrives i «Retningslinjer for flomberegninger» (NVE, 4/2011). Dette er en nedbør/avløpsmodell som beregner avrenning på grunnlag av nedbørdata og ved hjelp av feltparametere for det aktuelle feltet.

Parameterne til den hydrologiske flommodellen skal helst bestemmes ved kalibrering mot observerte vannføringer (NVE, 4/2011). Siden det ikke finnes observerte vannføringer fra nedbørfeltet, er modellparameterne teoretisk bestemt ut fra feltparametere for nedbørfeltet. Beregnede modellparameterne er vist i Tabell 2-13.

De tre modellparameterne bestemmes ut fra følgende ligninger (NVE, 4/2011):

$$\text{Øvre tømmekonstant} \quad K_1 = 0,0135 + 0,00268 H_L - 0,01665 \ln(A_{SE})$$

$$\text{Nedre tømmekonstant} \quad K_2 = 0,009 + 0,21 K_1 - 0,00021 H_L$$

$$\text{Terskelverdi} \quad T = -9,0 + 4,4 K_1^{-0,6} + 0,28 Q_N$$

Modelligningene inneholder kun to feltparametere:

- Helningsparameteren H_L (m/km)
- Effektiv sjøprosent A_{SE} (%)

Tabell 2-13: Modellparametere i flommodellen.

Felt	K_1 (time ⁻¹)	K_2 (time ⁻¹)	T (mm)
Vesleelva	0,137	0,037	10,23
Vålebekken	0,136	0,037	10,00

2.6.6. Snøsmelting

Som prosjektfeltene ligger i et område der årsflommer dominerer, årsverdier for ekstremnedbør benyttes uten tillegg for snøsmelting.

2.6.7. Nedbørforløp

IVF-kurvene Tønsberg-Kilen (27270) og Torp (27470) er lagt til grunn for konstruksjon av nedbørforløp. Nedbørforløpet konstrueres i henhold til anbefalingen gitt i (NVE, 2011), dvs. nedbøren fordeles symmetrisk omkring høyeste intensitet (for varighet mindre enn 48 timer) slik at akkumulert nedbørsmengde i hvert tidskritt svarer til aktuelt gjentaksintervall. Snittverdier av de to stasjonene ekstremnedbør med returperiode 200 år er vist i Tabell 2-14.

Tabell 2-14: Ekstremnedbørnsnittverdier med 200 år returperiode, og tilsvarende verdier brukt for dimensjonerende nedbørforløp.

Varighet (t)	1	2	3	6	12	24
P_{200} (mm)	37,66	42,55	50,06	60,91	68,04	96,77
+ 20% klimatillegg	45,19	51,06	60,07	73,09	81,65	116,12
Intensitet 200 år (mm/t)	45,19	25,53	20,02	12,18	6,80	4,84

2.6.8. Flomberegning

Beregninger av 200-årsflom ved bruk av PQFLOM er vist i Tabell 2-15.

Tabell 2-15: Beregnet 200-årsflom basert på PQFLOM inkludert klimatillegg.

	Vesleelva	Vålebekken
$1,2 \times Q_{200}$ (m ³ /s)	22,53	5,67

2.7. Evaluering av flomberegninger

Tabell 2-16 viser en sammenstilling av beregnede flomverdier med de fire metodene, og hvilken flomverdi som er benyttet videre ved beregning av vannlinje. For nedbørfeltene er det valgt å bruke høyeste verdier beregnet med nedbør/avløpsmodellen-PQFLOM (konservativt).

Tabell 2-16: Sammenstilling av beregnede verdier for 200-årsflom i m³/s (Momentanverdi med klimatillegg).

Felt	1,2*Q ₂₀₀ (m ³ /s)	
	Vesleelva	Vålebekken
Flomfrekvensanalyse (FFA)	16,56	4,53
NIFS-formelverk	13,80	4,00
Q _M fra FFA + vekstkurve fra NIFS	16,62	4,63
Rasjonelle metode	10,90	4,70
PQFLOM	22,53	5,67
Verdi for videre bruk	22,53	5,67

2.8. Beregning av 1000-årsflom

2.8.1. Retningslinjer for beregning av 1000-årsflom

For beregning av 1000-årsflom gir NVEs retningslinjer for flomberegning (NVE, 2011) følgende anbefalinger:

- > 50 år: Q_M beregnes fra observert serie og Q₁₀₀₀/Q_M fra to- eller tre-parameterfordelinger.
- 30-50 år: Q_M beregnes fra observert serie og Q₁₀₀₀/Q_M fra to-parameterfordelinger.
- 10-30 år: Q_M beregnes fra observert serie og Q₁₀₀₀/Q_M ved analyse av andre lengre serier i området.
- < 10 år: Q_M beregnes ved korrelasjon mot andre serier og/eller fra flomformler i [17]. Q₁₀₀₀/Q_M beregnes ved analyse av andre lengre serier i området.

2.8.2. Flomfrekvensanalyse

Tabell 2-17 og Tabell 2-18 gir beregnede spesifikke døgn middelflommer og vekstfaktoren for Q₁₀₀₀ fra frekvensanalysen. Vekstfaktorer er beregnet ut fra Sæternbekken, Elgtjern, Sundbyfoss, Fiskum, Brusetbekken, Gryta og Jondalselv som har lengst dataserier jfr. kapittel 2.4. Vekstfaktoren er beregnet ut fra døgnverdier. Ved valg av frekvensfordeling ble det benyttet medianverdi av flere to- eller tre-

parameterfordelinger, da resultatene var ganske sprikende. Ingen av stasjonene hadde heller registrert flommer over 100 års gjentaksintervall.

Tabell 2-17: Beregnede frekvensfaktorer for Q_{1000} med ulike to-parameterfordelinger

Fordeling	Q_{1000}/Q_M Sæternbekken (døgn)	Q_{1000}/Q_M Elgtjern (døgn)	Q_{1000}/Q_M Sundbyfoss (døgn)	Q_{1000}/Q_M Fiskum (døgn)	Q_{1000}/Q_M Brusetbekken (døgn)
Gumbel (I-moment)	3,23	3,65	3,04	3,29	2,98
Gumbel (max lik)	3,40	3,50	2,74	2,97	2,86
Logisticfordeling (I-moment)	2,69	3,00	2,54	2,73	2,49
Logisticfordeling (max lik)	2,69	3,00	2,54	2,73	2,49
Log-logisticfordeling (I-moment)	6,08	7,67	3,82	4,83	4,21
Log-logisticfordeling (max lik)	6,08	7,67	3,82	4,83	4,21
Log-Gumbel (I-moment)	11,29	15,53	6,03	8,27	6,85
Log-Gumbel (max)	-	-	7,30	8,61	8,61
Median	5,07	6,29	3,98	4,78	4,34

Tabell 2-18: Beregnede frekvensfaktorer for Q_{1000} med ulike to- og tre-parameterfordelinger

Fordeling	Q_{1000}/Q_M Gryta (døgn)	Q_{1000}/Q_M Jondalselv (døgn)
Gumbel (I-moment)	2,99	2,92
Gumbel (max lik)	2,97	3,05
GEV (I-moment)	2,70	3,22
GEV (max lik)	2,67	2,67
Gen-Log (I-moment)	3,34	3,91
Gen-Log (max lik)	3,34	3,91
Logisticfordeling (I-moment)	2,50	2,46
Logisticfordeling (max lik)	2,50	2,46
Log-logisticfordeling (I-moment)	4,44	4,37
Log-logisticfordeling (max lik)	4,44	4,37
Log-Gumbel (I-moment)	7,36	7,22
Log-Gumbel (max)	11,4	-
Log-GEV (I-moment)	2,39	2,23
Log-GEV (max lik)	2,16	2,39
Median	3,94	3,48

Tabell 2-19: Middelflommer og frekvensfaktorer fra frekvensanalyse

Målestasjon	Ant. år	Areal km ²	q _M , døgn l/s/km ²	Q _M , døgn m ³ /s	Q ₁₀₀₀ / Q _M	Fordeling
6.10 Gryta	51	7,0	224	1,57	3,94	Median
8.6 Sæternbekken	47	6,2	250	1,55	5,07	Median
11.4 Elgtjern	43	6,63	255	1,69	6,29	Median
12.192 Sundbyfoss	41	74,8	257	19,24	3,98	Median
12.193 Fiskum	41	51,6	214	11,02	4,78	Median
15.21 Jondalselv	98	126,0	258	32,51	3,48	Median
16.154 Brusetbekken	31	7,63	278	2,12	4,34	Median
				Gjennomsnitt	4,55	

Med gjennomsnittlig frekvensfaktor fra frekvensanalyse av stasjonene blir døgnmiddelverdi for q₁₀₀₀ lik 1018 l/s/km².

Erfaringstall fra flomberegninger (NVE, 4/2011) på Østlandet gir flomverdier for q₁₀₀₀ mellom 600 – 1500 l/s/km² for små felt eller i felt langt vest i området. Beregnet q₁₀₀₀ for prosjektfeltene stemmer bra overens med erfaringstallene.

Tabell 2-20: Beregnet 1000-årsflom (døgnmiddel) basert på flomfrekvensanalyse.

Felt	Areal km ²	q _N l/s*km ²	Eff. sjø %	Q _M		Q ₁₀₀₀ / Q _M	Q ₁₀₀₀ m ³ /s
				l/s/km ²	m ³ /s		
Vesleelva	9,9	16,8	0,0	240	2,38	4,55	10,83
Vålebekken	2,5	15,8	0,0	240	0,60	4,55	2,73

De beregnede kulminasjonsvannføringerne er vist i Tabell 2-21.

Tabell 2-21: Beregnet 1000-årsflom basert på flomfrekvensanalyse.

Felt	Areal km ²	Q _M		Q _{mom} / Q _{døgn}	Q _{1000, døgn} m ³ /s	Q _{1000, mom} m ³ /s	1,2xQ ₁₀₀₀ m ³ /s
		l/s/km ²	m ³ /s				
Vesleelva	9,9	240	2,38	2,0	10,83	21,66	26,0
Vålebekken	2,5	240	0,60	2,17	2,73	5,92	7,11

2.8.3. NIFS-formelverk

Resultatene gitt av flomformlene fra NVE (7/2015) er vist i Tabell 2-22. Flomverdiene (medianverdi) er gitt som kulminasjonsverdier.

Tabell 2-22: Beregnet 1000-årsflom basert på formelverk for små nedbørfelt, kulminasjonsverdier.

Felt	Areal km ²	q _N l/s*km ²	Q _M		Q ₁₀₀₀ / Q _M	Q ₁₀₀₀ m ³ /s	1,2xQ ₁₀₀₀ m ³ /s
			l/s*km ²	m ³ /s			
Vesleelva	9,9	16,8	407	4,03	3,96	15,94	19,13
Vålebekken	2,5	15,8	465	1,16	3,98	4,63	5,56

2.8.4. Dimensjonerende 1000-årsflom

viser en sammenstilling av beregnede flomverdier med flomfrekvensanalyse og NIFS-formelverk og hvilken flomverdi som er benyttet videre ved beregning av vannlinje. Det er rimelig bra samsvar mellom resultatene fra de to metodene. For nedbørfeltene er det valgt å bruke verdier beregnet med frekvensanalyse (konservativt).

Tabell 2-23: Sammenstilling av beregnede verdier for 1000-årsflom i m³/s (Momentanverdi med klimatillegg).

Felt	1,2*Q ₁₀₀₀ (m ³ /s)	
	Vesleelva	Vålebekken
Flomfrekvensanalyse (FFA)	26,0	7,11
NIFS-formelverk	19,13	5,56
Verdi for videre bruk	26,0	7,11

3. VANNLINJEBEREGNING

3.1. Hydraulisk modell

Det er benyttet modelleringsprogrammet HEC-RAS 5.0.7 for de hydrauliske beregningene. Modellen er satt opp som en 2D hydraulisk modell. Det er benyttet laserdata til å generere en terrengmodell.

3.2. Friksjonsforhold

Det er ikke utført befarings i området, og friksjonsforholdene er derfor vurdert ut fra kart og bilder. Elvebunnen består hovedsakelig av små runde elvestein, og breddene som er kartlagt er i hovedsak litt tett skog og dyrket mark. Manningstall er bestemt på grunn av erfaringstall gitt i Vassdragshåndboka (Fergus m.fl. ,2010). Tabell 3-1 viser Manningstall benyttet i Hec-Ras modellen.

Tabell 3-1: Valgte Ruhetsverdier (Manningstall) i Hec-Ras modell.

Arealtype	Manningstall, n
Bekkeløp	0,04
Vegetasjon/skog i elvesletta	0,10
Dyrket mark	0,035
Asfalt	0,016



Figur 3-1: Bilde gjennom planområdet.

3.3. Grensebetingelser

Oppstrøms grensebetingelse er satt til beregnet vannføring i elvene, og nedstrøms grensebetingelse er satt til normalstrømning. Vannføring settes konstant i en time, og modellen kjøres i en time.

3.4. Bru og kulverter

Det er kartlagt tre kulverter oppstrøms planområdet, og en gangbru nedstrøms planområdet. Brua og kulvertene er inkludert i Hec-Ras modellen, ettersom kapasitetsbegrensning i disse kryssingene har en effekt på flomnivå langs planområdet. Data for kulverter og bru er hentet fra innmålinger tatt av Ingeniørservice AS, og vist i Tabell 3-2.



Figur 3-2: Plassering av kulvertene og brua.

Tabell 3-2: Data for bru og kulverter.

	Kulvert 1	Kulvert 2	Kulvert 3	Gangbru
Type	Betong	Betong	Stål	
Lengde [m]	48	25	25	3,80
Innløpshøyde (bunn innvendig) [moh.]	71,49	70,76	69,67	
Utløpshøyde (bunn innvendig) [moh.]	70,84	70,40	69,42	
Diameter [m]	1,40	1,60	3,00	
Høyde, underkant [moh.]				71,49



Figur 3-3: Bilder av kulvertene på aktuell strekning, Vesleelva og Vålebekken. Foto: Ingeniørservice AS.

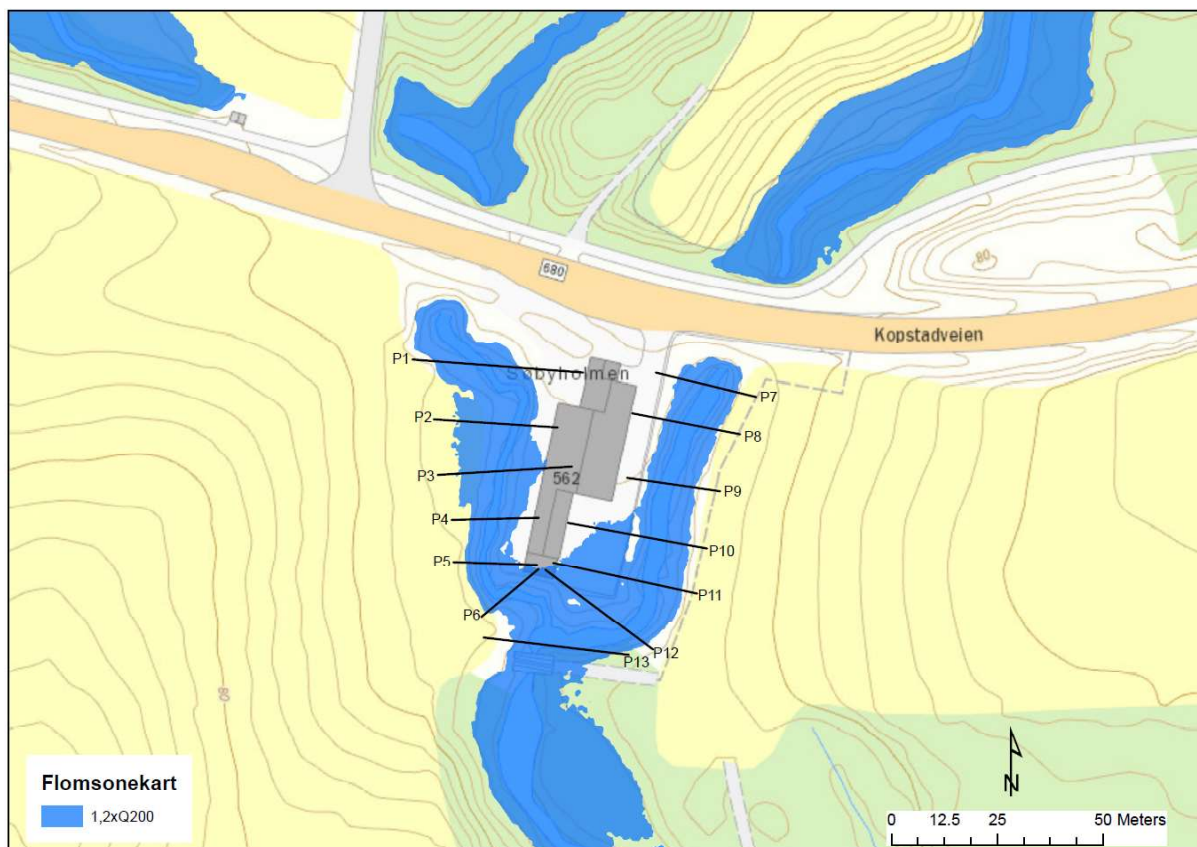
3.5. Kalibreringsdata

Det foreligger ikke kalibreringsdata, det vil si samtidig innmåling av vannføring og vannstand for elvestrekningene. Det er derfor ikke mulig å kalibrere modellen mot observerte data. For å skaffe et bedre grunnlag for valg av n-verdier, blir det gjennomført en sensitivitetsanalyse.

3.6. Resultater fra vannlinjeberegningene

3.6.1. 200-årsflom

Vannlinje ved 200-årsflom inkludert 20 % klimapåslag for profiler P1 – P13 (Figur 3-4) ved planområdet er vist i Vedlegg 3. Beregnede vannstander og vannhastigheter er vist i Tabell 3-3.



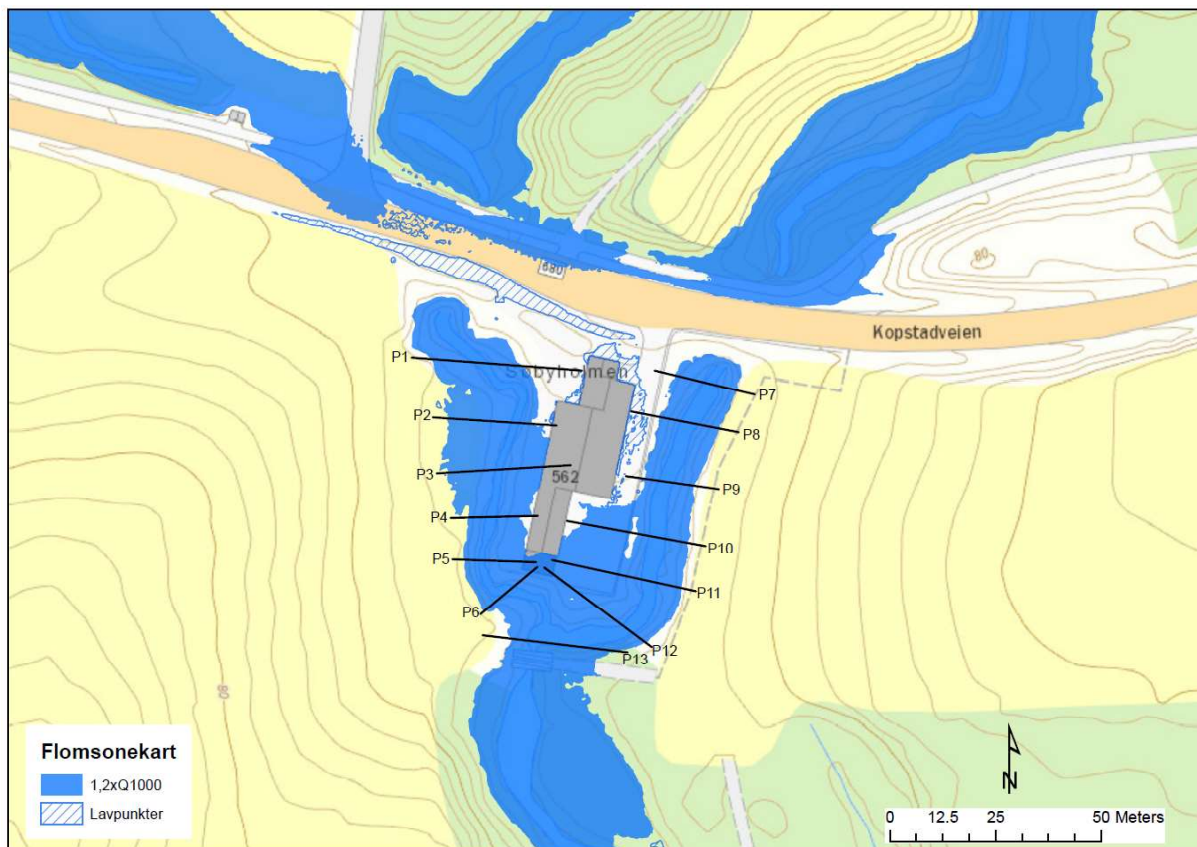
Figur 3-4: Flomsone for 200-årsflom og plassering av tverrprofiler ved planområdet.

Tabell 3-3: Beregnede vannstander og vannhastigheter ved tverrprofilene (Profil 1 - Profil 13) for 200-årsflom. Høydereferanse NN2000.

Profil	Vannlinje [moh]	Vannhastighet [m/s]
1	72,44	0,61
2	73,43	0,77
3	72,40	0,79
4	72,39	0,62
5	72,39	0,77
6	72,39	1,27
7	72,89	2,98
8	72,87	2,30
9	72,75	2,75
10	72,62	3,94
11	72,61	3,63
12	72,54	3,05
13	72,47	2,31

3.6.2. 1000-årsflom

Vannlinje ved 1000-årsflom inkludert 20% klimapåslag for profiler P1 – P13 (Figur 3-5) ved planområdet er vist i Vedlegg 3. Beregnede vannstander og vannhastigheter er vist i Tabell 3-4 .



Figur 3-5: Flomsone for 1000-årsflom og plassering av tverrprofiler ved planområdet.

Tabell 3-4: Beregnede vannstander og vannhastigheter ved tverrprofilene (Profil 1 - Profil 13) for 1000-årsflom. Høydereferanse NN2000.

Profil	Vannlinje [moh]	Vannhastighet [m/s]
1	72,58	0,63
2	73,57	0,71
3	72,55	0,74
4	72,53	0,60
5	72,53	0,73
6	72,53	1,51
7	73,00	3,27
8	72,98	2,47
9	72,85	2,89
10	72,70	4,10
11	72,69	3,79
12	72,63	3,19
13	72,59	2,44

3.7. Sensitivitetsanalyse og flomsikkert nivå

For å vurdere usikkerheten til modellen og resultatene, er det gjort en sensitivitetsanalyse der ruheten til modellen er økt med 25 %. Analysen viste at en 25 % økning av ruhet i elveløpet og flomslettene, ga en økning i vannlinje for planområdet på opptil 9 cm ved 200-årsflom, og 20 cm ved 1000-årsflom. Basert på følsomhetsanalysen, og anbefaling i NVEs veileder for flom og skredfare i arealplaner (NVE, 2/2014), anbefales det å benytte en sikkerhetsmargin på minimum 0,5 m over beregnet vannlinje som høyde for flomsikkert nivå. Tabell 3-5 viser flomsikkert nivå som bør legges til grunn innenfor planområdet.

Tabell 3-5: Flomsikkert nivå innenfor planområdet.

Profil	200-årsflom inkludert klimatillegg		1000-årsflom inkludert klimatillegg	
	Vannlinje [moh]	Flomsikkert nivå [moh]	Vannlinje [moh]	Flomsikkert nivå [moh]
1	72,44	72,94	72,58	73,08
2	73,43	73,93	73,57	74,07
3	72,40	72,90	72,55	73,05
4	72,39	72,89	72,53	73,03
5	72,39	72,89	72,53	73,03
6	72,39	72,89	72,53	73,03
7	72,89	73,39	73,00	73,50
8	72,87	73,37	72,98	73,48
9	72,75	73,25	72,85	73,35
10	72,62	73,12	72,70	73,20
11	72,61	73,11	72,69	73,19
12	72,54	73,04	72,63	73,13
13	72,47	72,97	72,59	73,09

4. EROSJONSSIKRING

Det er ikke utført befaring i området, og vår vurdering er dermed basert på bilder fra elvene langs planområdet (Se Figur 4-1 under). Dimensjonerende vannhastigheter ved Vålebekken er beregnet til mellom 0,61 og 1,51 m/s, og ved Vesleelva er beregnet til mellom 2,3 og 4,10 m/s noe som gir potensiale for erosjon. Vegetasjonen i elvekantene bidrar i dag med naturlig erosjonssikring. Det anbefales å beholde vegetasjonen langs kantene av elvene. Dersom vegetasjon med røtter fjernes, må bekken erosjonssikres med stein mot planområdet. Eventuell fylling av terrenget på planområdet bør erosjonssikres med stein.



Figur 4-1: Bilder av elva og elvekant.

4.1. Dimensjonering av bunn- og sideplastring

Resultatene fra HEC-RAS-modellen er brukt til å beregne nødvendige steinstørrelser for erosjonssikring langs elva. NVEs Veileder for dimensjonering av erosjonssikring av stein (NVE veileder nr. 4/2009) er benyttet.

Tabell 4-1 viser beregnet steinstørrelse for maksimal vannhastighet ved de to elvene langs planområdet basert på NVEs veileder (NVE, 4/2009). Stabile steinstørrelser er beregnet med Maynords formel for slake elver (under 2 % bunnhelning).

Det er gjort beregninger av videre gradering basert på $1,5 < D_{85}/D_{15} < 2,5$ som er ensgradert i forhold til norsk praksis. En kan velge videre korngradering, men det anbefales at $D_{85}/D_{15} < 7$.

Tabell 4-1: Foreslått korngradering for ensgradert sikring av elva langs planområdet.

		200-årsflom inkludert klimatillegg		1000-årsflom inkludert klimatillegg	
		Vålebekken	Vesleelva	Vålebekken	Vesleelva
Parameter	Kriterier	Beregnet størrelse (m)	Beregnet størrelse (m)	Beregnet størrelse (m)	Beregnet størrelse (m)
D ₃₀		0,03	0,44	0,04	0,50
D ₅₀ (fra D ₃₀)	1,5 D ₅₀	0,045	0,65	0,06	0,70
D ₁₅ (fra D ₅₀)	0,6 til 0,9 D ₅₀	0,03	0,40	0,04	0,43
D ₈₅ (fra D ₅₀)	1.3 til 1.5 D ₅₀	0,06	0,91	0,08	1,00
D _{maks}	D _{maks} < 2 D ₅₀	0,07	0,98	0,09	1,07
Tykkelse sikringslag, t	Min. 300, $\geq 1,5D_{50}$, $\geq D_{maks}$	0,30	0,98	0,30	1,07
Tykkelse under vann	50 %	0,45	1,47	0,45	1,61
D ₈₅ /D ₁₅	<7	2,33	2,33	2,33	2,33

5. FLOMSONEKART

Flomsonekart er generert ved bruk av Ras Mapper i HEC RAS - modellen. Det er utarbeidet flomsonekart for flom med gjentaksintervall 200- og 1000- år, inkludert 20 % klimapåslag. Resultatet av vannlinjeberegningen viser at 200- og 1000- årsflom inkludert 20 % klimapåslag, vil påvirke planområdet.

Flomsikker kotehøyde for planområdet inkludert 0,5 m sikkerhetsmargin er kote + 73,39 for 200-årsflom og kote + 73,50 for 1000-årsflom.

5.1. Usikkerhet

Nøyaktigheten i flomsonekartene er avhengig av usikkerhet i hydrologiske data, flomberegningene, vannlinjeberegningene og terrengmodell. De viktigste usikkerhetsfaktorene som påvirker beregningen er:

- Usikkerhet i beregnede flomverdier
- Usikkerhet i ruheverdi - vannlinjemodellene er ikke kalibrert. Valgte ruheverdi er omtrentlige, og kan være feilaktige (se også kapittel 3.7).
- Usikkerhet i terrengmodell - oppstikkende detaljer som trær er ikke tatt med i terrengmodellen, og vannet kan i realiteten ta andre veier enn det flomsonekartet indikerer på grunn av dette. Vannet kan grave seg nye veier i en flomsituasjon, og da ta andre veier enn indikert i flomsonekart.

5.2. Bruk av flomsonekart og sikkerhetsmargin

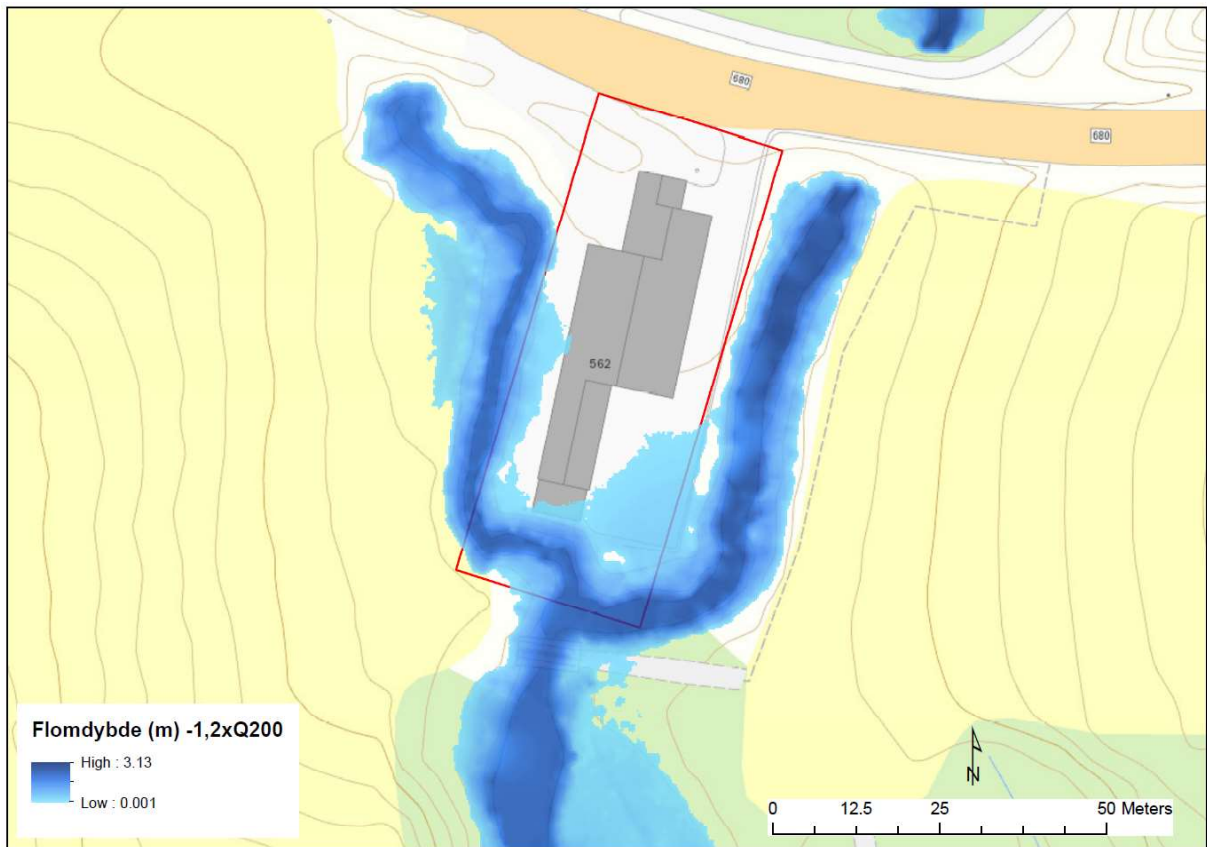
Sikkerhetskrav for byggverk i forhold til flom og stormflo er gitt av Plan- og bygningsloven (TEK 17 § 7-2). Kravene baserer seg på type bebyggelse og hvilken største nominelle årlige sannsynlighet for flom som kan aksepteres. Flomsonekartet kan benyttes direkte til å identifisere hvilke områder som ikke bør bygges ut, og hvilke risikoreduserende tiltak som kan være aktuelt dersom utbygging ikke kan unngås.

Usikkerheten til flomsonekart må tas i betraktning, da kartene har en begrenset nøyaktighet. Dette gjelder spesielt i forbindelse med detaljplanlegging og ved bygge- og delesaksbehandling der vannstander bør kontrolleres mot terrenghøyder.

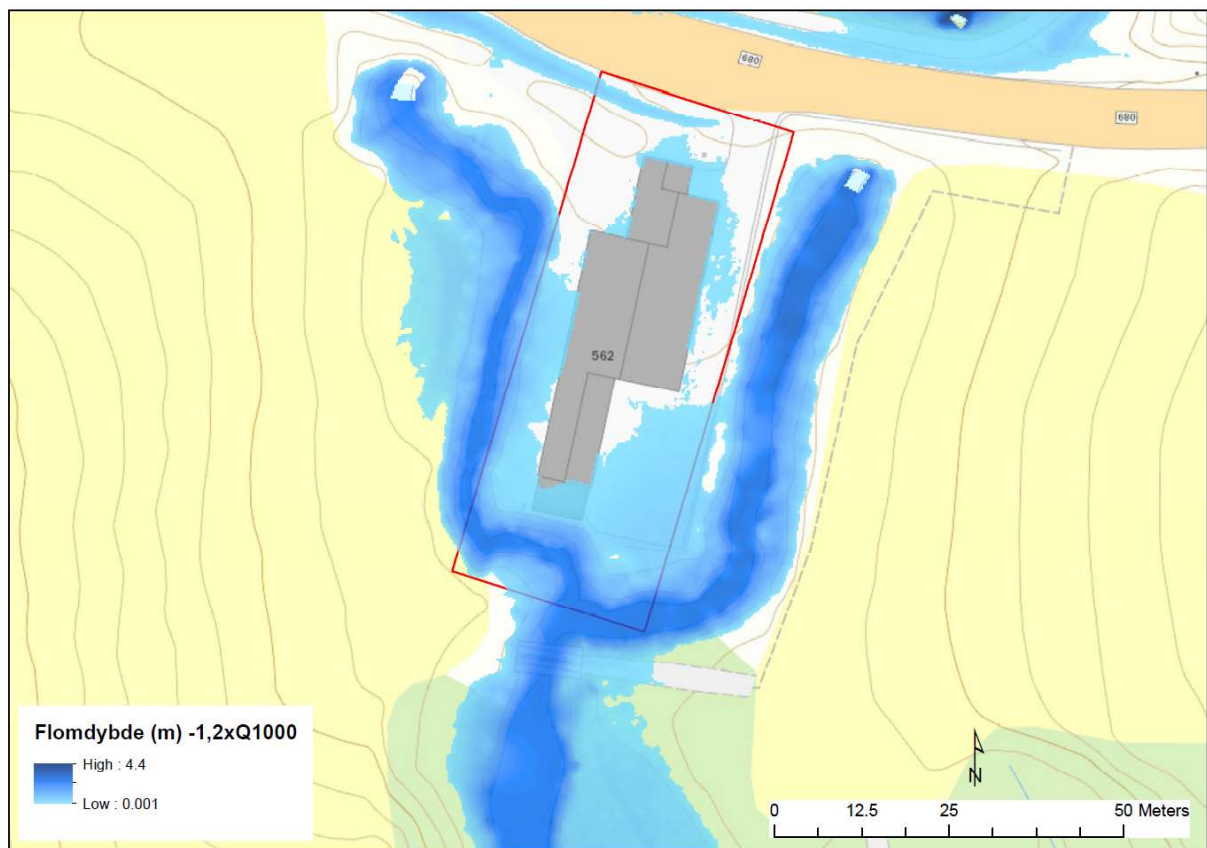
Det anbefales at usikkerheten i kartene tas hensyn til i form av å legge på en sikkerhetsmargin på 50 cm til beregnede vannstander. Størrelsen til den anbefalte sikkerhetsmarginen bygger på resultatene fra sensitivitetsanalysen (kap 3.7).

5.3. Lavpunkter

En del steder vil det finnes arealer som ligger lavere enn den beregnede flomvannstanden, men uten direkte forbindelse til elva. Dette kan være områder som ligger bak flomverk, men også lavpunkter som har forbindelse via en kulvert eller via grunnvannet. Disse områdene er markert med en egen skraver fordi de vil ha en annen sannsynlighet for oversvømmelse og må behandles særskilt. Spesielt utsatt vil disse områdene være ved intens lokal nedbør, ved stor flom i sidebekker, eller ved gjentetting av kulverter.



Figur 5-1: Flomdybde, 200-årsflom inkludert 20% klimapåslag.



Figur 5-2: Flomdybde, 1000-årsflom inkludert 20% klimapåslag.

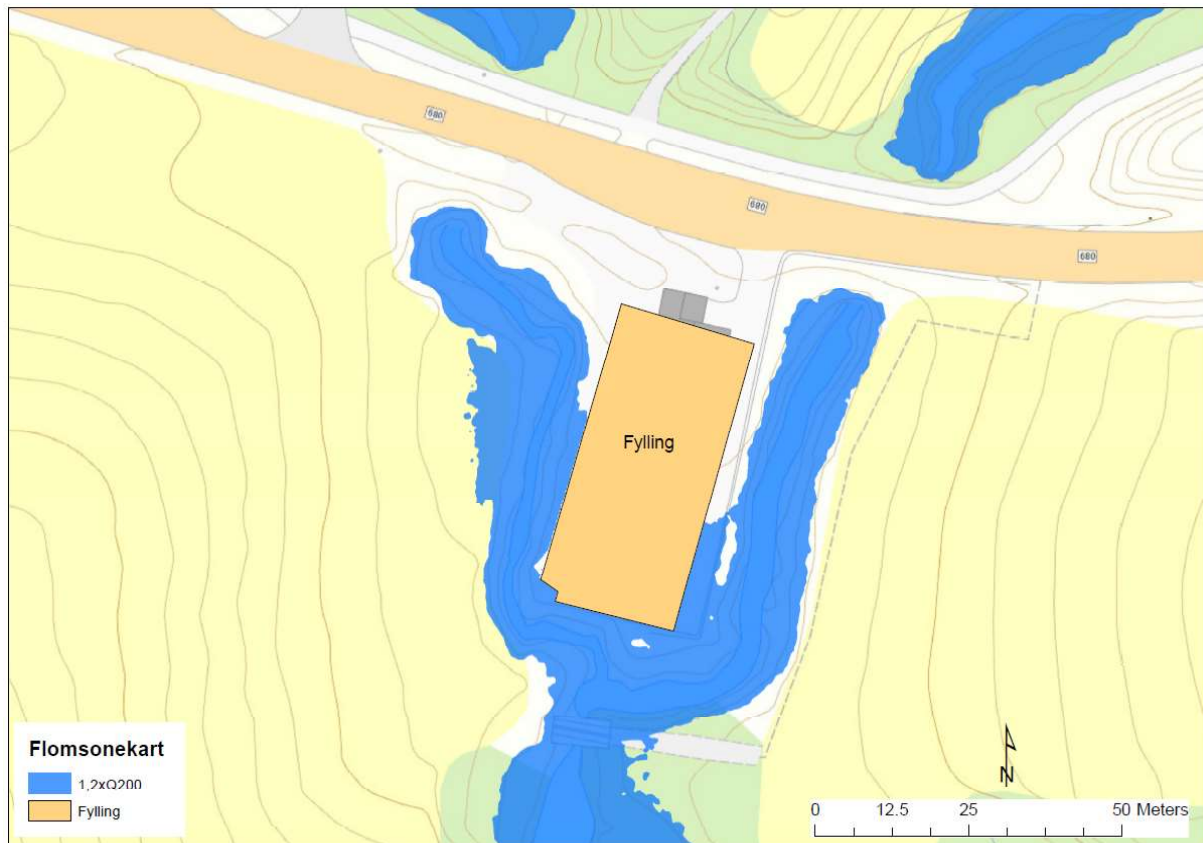
6. TILTAKSPLAN

Som vist i oversiktskart for oversvømte areal ved planområdet er flomsikkerheten for dårlig for flom med gjentakintervall 200- og 1000-årsflom inkludert 20 % klimapåslag. Det anbefales at nødvendige tiltak iverksettes.

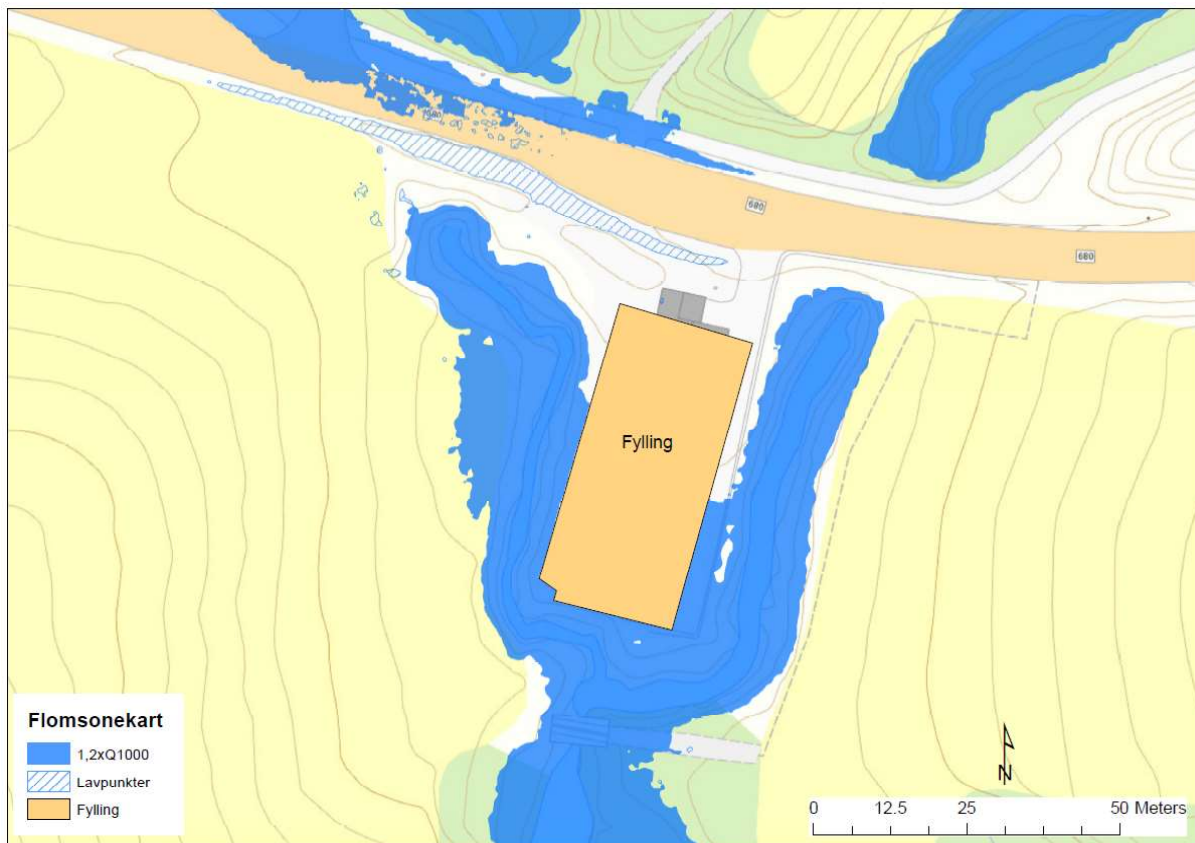
Nødvendige tiltak for å sikre planområde mot en 200- og 1000-årsflom skal skje gjennom en heving /oppfylling av terrenget på planområdet til flomsikkert nivå. Flomsikker kotehøyde for planområdet inkludert 0,5 m sikkerhetsmargin er kote + 73,38 for 200-årsflom situasjon og kote + 73,50 for 1000-årsflom situasjon.

Eksisterende 2D-HecRas modell er oppdatert med nytt terrenget. Resultatene av beregningene for 200- og 1000-årsflom inkludert 20 % klimapåslag ved planområdet er vist i Figur 6-1.

Fyllingen etableres ved å legge ut grov stein (sprengt stein med kubisk form), og vil i seg selv da kunne fungere som en erosjonssikring langs planområdet. Fyllingene er planlagt med skråningshelninger på 1:1,5.



Figur 6-1: Flomsone for 200-årsflom inkludert 20 % klimapåslag ved planområdet- anbefalte fylling.



Figur 6-2: Flomsone for 1000-årsflom inkludert 20 % klimapåslag ved planområdet- anbefalte fylling.

6.1.1. Beregning av steinstørrelse av fyllingen

For dimensjonering av steinstørrelsen som er stabil i vannstrømmen (D30) blir det brukt Maynords formel 4.16 (NVE veileder nr. 4/2009). Tabell 6-1 viser beregnet steinstørrelse for maksimal vannhastighet ved fyllingen basert på NVE veileder (NVE, 2009). Maynords metode for beregning av steinstørrelse kan brukes når hellingen er mindre enn 2 %. Fyllingen kan enten legges med skråning helst ikke brattere enn 1:2 eller plastres. Erosjonssikring må være skarpkantet, rundet stein tåler mindre belastning.

Tabell 6-1: Foreslått korngradering for ensgradert sikring.

Parameter	Kriterier	200-årsflom inkludert klimatillegg	1000-årsflom inkludert klimatillegg
		Beregnet størrelse (m)	Beregnet størrelse (m)
D ₃₀		0,15	0,28
D ₅₀ (fra D ₃₀)	1,5 D ₅₀	0,23	0,42
D ₁₅ (fra D ₅₀)	0,6 til 0,9 D ₅₀	0,13	0,25
D ₈₅ (fra D ₅₀)	1.3 til 1.5 D ₅₀	0,31	0,58
D _{maks}	D _{maks} < 2 D ₅₀	0,33	0,62
Tykkelse sikringslag, t	Min. 300, ≥1,5D ₅₀ , ≥ D _{maks}	0,33	0,62
Tykkelse under vann	50 %	0,50	0,93
D ₈₅ /D ₁₅	<7	2,33	2,33