

Flomfarevurdering for Reguleringsplan Ytrebygda

Gnr. 114 bnr. 367 mfl. Brakehaugen boligområde

Sweco Norge AS	Organisasjonsnr. 967032271
Prosjekt	Detaljregulering Birkelandshagen
Prosjektnummer	10200626
Kunde	Rieber Eiendom AS
Opprettet av	Ingvild Flørenæs
Dato	07.03.2025
Dokumentreferanse	Flomfarevurdering for Reguleringsplan Ytrebygda, gnr.114 bnr.367 mfl. Brakehaugen boligområde Bergen kommune

Revisjonshistorikk

Rev	Dato	Beskrivelse av endringen	Utarbeidet av	Godkjent av
01	01.04.2025	Original	Ingvild Flørenæs	Kjetil Sandsbråten

Sammendrag

Det har blitt utført en flomfarevurdering for reguleringsplan Ytrebygda, gnr.114 bnr.367 mfl. Brakehaugen boligområde i Bergen kommune. Den estimerte vannstanden langs planområdet på Brakehaugen under en 200-års flom med klimapåslag etter utbygging er kote 38,58. Vannstanden vil påvirke flere bygninger, inkludert planlagte områder som torg, snuplass, barnehage/grendahus og en boenhet.

Vannstanden ved planområdet, i Birkelandsvatnet og ved Biltema er presentert i Tabell 1. Utbygningen har marginal påvirkning på vannstanden nedstrøms planområdet.

Tabell 1: Vannstand før og etter utbygning av planområdet ved ulike vurderte lokasjoner.

Lokasjon	Vannstand [moh] - før utbygning av planområdet	Vannstand [moh] - etter utbygning av planområdet
Planområdet	38,22	38,58
Birkelandsvatnet	38,21	38,23
Biltema	37,51	37,52

Det undersøkes om en større kulvert vil påvirke vannmengden i planområdet. For å samtidig bevare den naturlige elvebunnen, testes det med en halvrør med et spenn på 5 meter og høyde på 3 meter. Resultatene indikerer at vannstanden i planområdet kan reduseres til kote 38,26.

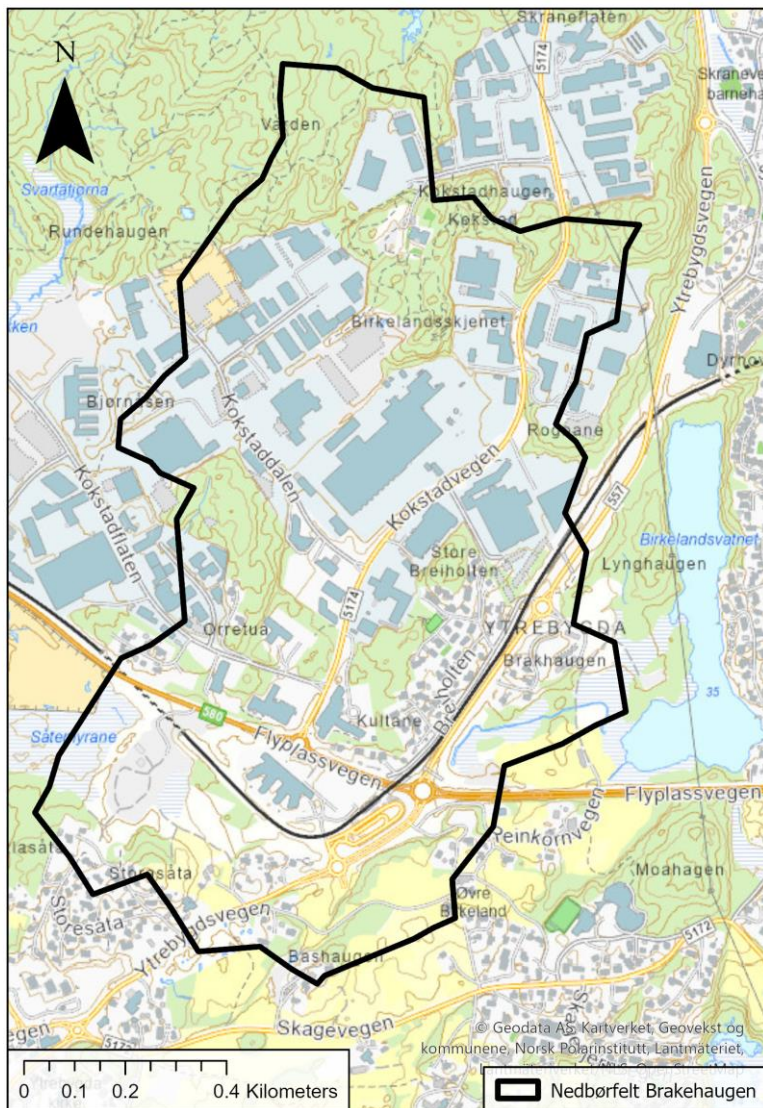
Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn og innledning.....	3
2	Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger	5
3	Flomberegninger	6
	3.1.1 Klimapåslag	6
3.2	Flomfrekvensanalyse	6
	3.2.1 Vurderte stasjoner	7
	3.2.2 Resultater flomfrekvensanalyse	9
3.3	Formelverk (regional flomfrekvensanalyse).....	10
	3.3.1 Formelverk RFFA-NIFS.....	11
3.4	Nedbør – avløpsmodellering	11
	3.4.1 Rasjonelle formel	11
	3.4.2 PQRUT	12
3.5	Valg av flomverdi og benyttet flomforløp	12
4	Vannlinjemodell	15
4.1	Modelloppsett.....	15
	4.1.1 Terreng	15
	4.1.2 Ruhet	16
	4.1.3 Grensebetingelser	17
4.2	Resultater av vannlinjeberegningen	18
	4.2.1 Etter utbygning.....	18
	4.2.2 Før utbygning.....	21
4.3	Sensitivitetsanalyse	22
4.4	Modellusikkerheter	22
4.5	Innrapportering av naturfareutredninger	22
5	Kilder	23

1 Bakgrunn og innledning

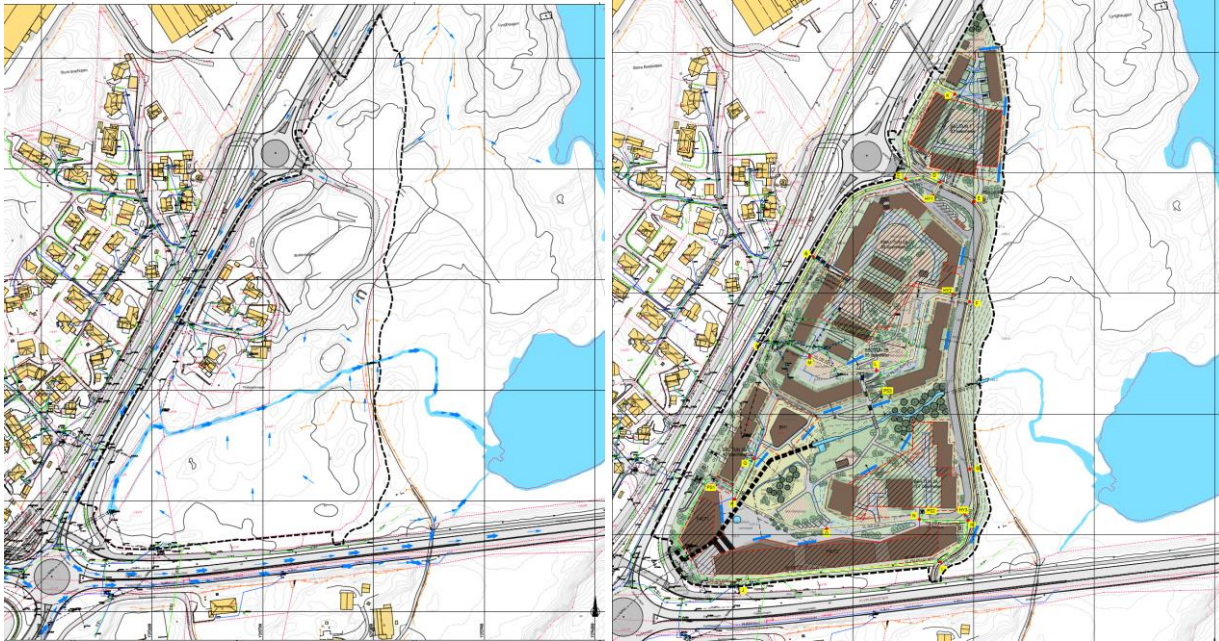
Sweco Norge AS er engasjert av Rieber Eiendom AS for å utføre flomfarevurdering i forbindelse med Reguleringsplan Ytrebygda, gnr.114 bnr.367 mfl. Brakehaugen boligområde. Planforslaget skal legge til rette for en utvikling av nye boliger, næringslokaler og kontorer innenfor planområdet. Det skal gjennomføres flomberegning for nedbørfeltet som drenerer mot planområdet, samt vannlinjemodellering for å vurdere effekten på flom- og vannstandsforholdene både i planområdet og i Birkelandsvatnet.

Planområdet ligger i Bergen kommune, i Ytrebygda bydel, rett øst for Flesland flyplass. Det avgrenses i vest av Ytrebygdsvegen og i sør av Flyplassvegen, mens Birkelandsvatnet befinner seg øst for området. Figur 1 illustrerer nedbørfeltet som drenerer mot planområdet. Feltet består av 55 % naturlig areal og 45 % urbant areal, med en effektiv sjøprosent på 0 %. Nedbørfeltet har en beregnet årlig middelavrenning på 62,3 l/s/km². Felt- og terrengegenskaper er vurdert på digitale kartdata fra Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) og Scalgo.



Figur 1: Nedbørfelt som drenerer mot planområdet. Feltet har feltlengde på 1,4 km og et areal på 1,3 km².

Gjennom planområdet renner det i dag en bekk som ender i Birkelandsvatnet. Bekken kommer inn på tomten fra vest og har sitt opphav i flere overvannsledninger fra Kokstandområdet og Birkelandsskiftet. Det er planlagt å føre vannet i en kulvert frem til midt i planområdet, før vannet føres videre i en kanal. Lengst øst i planområdet er det planlagt at det skal gå en vei, hvor vannet vil føres gjennom med en rørkulvert med diameter på 2 meter. Figur 2 viser planområdet, der bekkenes nåværende løp er illustrert til venstre, mens den planlagte traseen i det utbygde planområdet vises til høyre.



Figur 2: Plassering av planområdet. Til venstre vises traséen for bekken slik den er i dag. Til høyre illustreres hvordan bekken planlegges ført i rør i det første partiet, før den kommer ut i dagen og drenerer mot Birkelandsvatnet. Vannet vil også ledes gjennom et rør under veien lengst øst i planområdet.

Figur 3 viser utløpet av Birkelandsvatnet. Vannet ledes gjennom en bokskulvert (markert i blått), videre i en kanal og gjennom to rørkulverter med diameter 1000 mm som leder vannet under Biltema (markert i rødt). Rørkulvertene har utløp i en nedsenkning ved parkeringsplassen til Biltema, og føres videre gjennom en bokskulvert (markert i grønt) under Flyplassvegen. Det har blitt utført innmålinger av kulvertdimensjoner og innmåling av kotehøyder i forbindelse med befaring av området 14.03.2024, som har blitt beskrevet i eget notat med tittel «250314_Befaring_utløp_Birkelandsvatnet».



Figur 3: Kulverter ved utløpet av Birkelandsvatnet.

2 Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger

Arealplanlegging som tar hensyn til naturfare, er et viktig virkemiddel for å redusere risikoen for skader ved ekstreme naturhendelser som flom og ras. Den beste måten å forebygge på er å unngå å bygge i fareutsatte områder eller eventuelt ved å identifisere risiko og gjøre tiltak for å redusere eller unngå disse.

De antatte effekter av pågående klimaendringer gir grunn til å være mer på vakt mot flom og skred, og prosesser relatert til disse. Hyppigere og mere ekstreme nedbørshendelser gir nye utfordringer for bygging og overvannshåndtering, i både bebygde og ubebygde områder.

For tiltak eller byggverk gjelder PBLs § 28-1 «Grunn kan bare bebygges, eller eiendom opprettes eller endres, dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold. Det samme gjelder for grunn som utsettes for fare eller vesentlig ulempe som følge av tiltak». Det er videre gitt føringer i § 7 «Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger» i Byggteknisk forskrift (TEK17) «Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger».

For sikkerhet mot flom og stormflo skal det dimensjoneres eller sikres mot flom slik at den største nominelle årlige sannsynlighet (returperioden 1) avhengig av konsekvensgrad ikke overskrides.

For byggverk/konstruksjoner hvor konsekvens anses som liten er denne største nominelle årlige sannsynlighet satt til 1/20 eller 20 års returperiode (Sikkerhetsklasse F1). For middels konsekvens (F2), her innbefattet infrastruktur, er returperioden satt til 200 år og for byggverk/konstruksjoner med stor konsekvensgrad er returperioden på 1000 år (F3). Byggverk hvor konsekvensen av en flom er særlig stor skal ikke plasseres i flomutsatt område.

F2 omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold, eksempelvis: bolig, fritidsbolig, skole og barnehager, kontorbygninger og industribygg. Det utredes her derfor for sikkerhetsklasse F2 tilsvarende flom og hendelser med gjentaksintervall på 200 år.

3 Flomberegninger

Det er foretatt flomberegninger basert på flere forskjellige metodikker for å anslå maksimalverdier og forløp av en 200 års flom inkludert et klimapåslag for dette nedbørfeltet.

Det finnes mange ulike metoder som kan benyttes ved flomberegninger, men generelt kan metodene inndeles i tre hovedgrupper:

- Flomfrekvensanalyser
- Nasjonalt eller regionalt formelverk
- Nedbørs-avløpsanalyser

De har tidligere blitt utført flomberegninger for Apeltunvassdraget (NVE, 2016) og Nesttunvassdraget (NVE, 2014), som ligger like øst for prosjektfeltet.

3.1.1 Klimapåslag

I Norsk Klimaservicesenter sin klimaprofil for Hordaland (Norsk klimaservicesenter, 2024) er det anbefalt et klimapåslag på flomvannføring på 20% eller 40%, avhengig av plassering og flomsesong. Det er anbefalt 40% klimapåslag for Apeltunvassdraget, som er lokalisert like øst for Birkeland. Det er derfor valgt å bruke 40% klimapåslag for nedbørfeltet som drenerer mot planområdet på Brakehaugen og Birkelandsvatnet.

3.2 Flomfrekvensanalyse

Statistiske analyser som relaterer flomvannføringer fra en tidsserie til gjentaksintervallet (for eksempel 200-års flom) betegnes som flomfrekvensanalyser. Analysene utføres på observerte flomdata fra enkeltstasjoner, tilsigsserier eller konstruerte dataserier. For små vassdrag og i områder med dårlig datagrunnlag kan det være nødvendig å benytte formelverk eller nedbør-/avløps-metoder for flomberegningen. I slike tilfeller må resultatet likevel vurderes mot observerte flomdata eller erfaringstall for flomstørrelser.

3.2.1 Vurderte stasjoner

Sammenligningsstasjonene er valgt ut ved hjelp av NVE seriekart, filtrert på størrelse og effektiv sjøprosent. Videre er sammenligningsstasjoner vurdert etter kvalitet på flomsegment, datakvalitet og avrenningsregime. De utvalgte stasjonene med deres nedbørfelt er vist i Figur 4.



Figur 4: Vurderte avløpsstasjoner vist sammen med prosjektfeltet som drenerer mot planlagt Brakehaugen boligområde. Beliggenheten til prosjektfeltet, og Sandsli målestasjon, er markert ut med rød sirkel.

Feltparametere for nedbørfeltene til stasjonene er vist i Tabell 2. Data er hentet fra NVEs database med stasjonsopplysninger (HYSOPP).

Tabell 2: Feltparametere for nedbørfeltet til sammenligningsstasjoner. Sammenlignet med nedbørfeltet som drenerer mot planområdet Brakehaugen.

Lokalitet	Data- periode	Areal [km ²]	Effektiv sjø [%]	Snaufjell [%]	Skog [%]	Myr [%]	H _{max} – H _{min} [m]	Feltlengde [km]	Middelavrenning [l/s/km ²]
Prosjektfelt	-	1,3	0	0	15	4,4	70	1,5	61,8
Vurderte stasjoner									
55.5.0 Dyrdalsvatn	1977 - 2024	3	4,0	93,2	0	2,9	366	2,3	145,2
56.1.0 Sandsli	1991 - 2023	3	-	0	37,5	12,5	22	0,7	59,4
61.13.0 Haukåselva	2007 - 2024	7	0,4	11,2	39,7	2,8	429	3,9	71,1
55.4.0 Røykenes	1934 - 2024	50	2,2	31,7	52,2	0,8	907	15,9	100,5
61.8.0 Kaldåen	1988 - 2024	15	0,1	93,41	4,0	0,3	537	6,1	107,7
42.2.0 Djupevad	1963 - 2024	31	0,3	52,0	40,9	1,37	1049	7,8	108,3
62.18.0 Svartavatn	1987 - 2024	72	0,3	64,9	20,7	0	890	16,5	103,0

55.5 Dyrdalsvatn er en forvaltningsstasjon. Det er ingen vassdragsreguleringer i stasjonens nedbørfelt. Stasjonen inneholder data fra desember 1977, men har perioder med datamangler, blant annet i perioden 1997 og 2001. Kurvekvalitet er registrert som meget bra på stor vannføring.

56.1 Sandsli er en urbanstasjon som ligger i utkanten av prosjektfeltet som ble igangsatt i 1982 i samarbeid med Bergen kommune, NTNU og NVE for å styrke det hydrologiske datagrunnlaget for beregning av overvannsanlegg for Vestlandet og Bergen. Dataene er ikke sekundærkontrollert. Ingen registrering på kurvekvalitet. Usikkerhet i datakvalitet gjør at stasjonen i liten grad er vektlagt i analysen.

61.13 Haukåselva er en uregulert forvaltningsstasjon med målinger fra 2007. Kurvekvalitet er registrert som middels på stor vannføring.

55.4 Røykenes er en uregulert forvaltningsstasjon med observasjoner fra 1934. Kurvekvalitet er registrert som god på stor vannføring.

61.8 Kaldåen er en privat, pålagt stasjon eid av Eviny Fornybar AS. Stasjonen har vært i drift siden september 1985, men har datamangel mellom desember 1985 og juli 1987. Kurvekvalitet er registrert som bra på stor vannføring.

42.2 Djupevad er en uregulert forvaltningsstasjon som har vært i drift siden slutten av desember 1963. Kurvekvaliteten er registrert som meget bra på stor vannføring.

62.18 Svartavatn er en privat, ikke pålagt stasjon eid av Eviny Fornybar AS. Stasjonen har vært i drift siden juli 1987. Kurvekvalitet på stor vannføring er ikke registrert.

3.2.2 Resultater flomfrekvensanalyse

Det er utført flomfrekvensanalyse på både døgnverdier og kulminasjonsverdier med NVEs program FLOM-ANALYSE. Resultatene fra flomfrekvensanalysen for døgnndata er gitt i Tabell 3, mens resultatene fra analysen av timesdata er gitt i Tabell 4. Målestasjon 56.1. Sandli var bare mulig å gjøre analyse på kulminasjonsdata. For å beregne kulminasjonsverdier av døgnverdiene er det benyttet regresjonsligninger for forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom for vårflo og høstflo gitt i NVEs Retningslinjer for flomberegninger fra 2011 (NVE, 2011).

Tabell 3: Resultat flomfrekvensanalyse på døgnndata gjort i Hydra II.

Sammenligningsstasjon				Skalert til prosjektfelt		
Stasjon	Fordeling	Q ₂₀₀ (døgn) [m³/s]	Spesifikk Q ₂₀₀ (døgn) [l/s/km²]	Q ₂₀₀ (døgn) [m³/s]	Q ₂₀₀ vårflo (kulminasjon) [m³/s]	Q ₂₀₀ høstflo (kulminasjon) [m³/s]
55.5 Dyralsvatn	GEV (lokal + regional)	9,32	2816	3,7	6,2	8,3
56.1 Sandsli	-	-	-	-	-	-
61.13 Haukåselva	Gumbel (Bayesiansk)	10,94	1482	1,9	3,3	4,3
55.4 Røykenes	GEV (lokal + regional)	120,85	2413	3,1	5,3	7,1
61.8 Kaldåen	Gumbel (Bayesiansk)	30,87	2012	2,6	4,4	5,9
42.2 Djupevad	GEV (lokal + regional)	78,44	2533	3,3	5,6	7,4
62.18 Svartavatn	Gumbel (Bayesiansk)	186,27	2572	3,3	5,7	7,5

Tabell 4: Resultat flomfrekvensanalyse av kulminasjonsdata gjort i Hydra II.

Sammenligningsstasjon				Overført til prosjektfelt
Stasjon	Fordeling	Q ₂₀₀ (kulminasjon) [m ³ /s]	Spesifikk Q ₂₀₀ (kulminasjon) [l/s/km ²]	Q ₂₀₀ (kulminasjon) [m ³ /s]
55.5 Dyrdalsvatn	GEV (Bayesiansk)	19,41	5864	7,6
56.1 Sandsli	Gumbel (Bayesiansk)	0,14	79	0,1
61.13 Haukåselva	Gumbel (Bayesiansk)	19,72	2672	3,5
55.4 Røykenes	GEV (Bayesiansk)	157,95	3153	4,1
61.8 Kaldåen	Gumbel (Bayesiansk)	63,87	4164	5,4
42.2 Djupevad	GEV (Bayesiansk)	170,06	5492	7,1
62.18 Svartavatn	Gumbel (Bayesiansk)	335,17	4629	6,0

Ifølge NVEs erfaringstall ligger de spesifikke kulminasjonsverdiene for 200-års flom på Sør- og Vestlandet mellom 700 l/s/km og 6000 l/s/km. I NIFS prosjektet delprosjekt 5.1 ble det sett på variasjoner av spesifikke flomverdier i ulike landsdeler i Norge. Kart presentert i NVEs Veileder 1/2022 (NVE, 2022), som viser høyeste «observerte» spesifikke flomverdier fra målestasjoner brukt i NIFS prosjektet, viser at stasjonen som ligger nærmest utbyggingsområdet Brakehaugen har kulminasjonsverdi mellom 2000- og 4000 l/s/km. Tallene fra flomfrekvensanalysen sammenfaller med NVEs erfaringstall.

Sammenligningsstasjonene Svartavatn, Røykenes og Djupevad har feltareal som er betydelig større enn prosjektfeltet, og Haukåselva har bare 17 år med tilgjengelige data. Av denne grunn er disse stasjonene mindre egnet som sammenligningspunkter. Sammenligningsstasjonene representerer hovedsakelig naturlige områder, mens prosjektfeltet er et semi-urbant område hvor man forventer noe raskere avrenning. Dyrdalsvatn, som har et felt bestående av 93 % snaufjell, viser imidlertid også rask avrenning, og enda raskere enn prosjektfeltet. Kvaliteten på vannføringskurven under flom er vurdert som meget god. Derfor kan Dyrdalsvatn benyttes som en representativ målestasjon for prosjektfeltet.

3.3 Formelverk (regional flomfrekvenanalyse)

To formelverk anbefales for flomberegninger i Norge: RFFA-2018 og RFFA-NIFS. RFFA-2018 beregner døgnmiddelflom, vekstkurver og kulminasjonsfaktor ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$) i store nedbørsfelt. For små felt (<60 km²) anbefales RFFA-NIFS for kulminasjonsverdier med gjentakintervall på maksimalt 200 år, Q₂₀₀. Begge formelverkene er implementert i NEVINA. Ettersom prosjektfeltet er 1,3 km², benytte det her NIFS.

3.3.1 Formelverk RFFA-NIFS

Beregnete flomverdier ved bruk av RFFA-NIFS er gitt i Tabell 5.

Tabell 5: Beregnede flomverdier ved bruk av NIFS. Flomverdiene er gitt som kulminasjonsverdier.

Lokalitet	Areal	Q ₂₀₀ (kulminasjon)	Spes Q ₂₀₀ (kulminasjon)
	[km ²]	[m ³ /s]	[l/s/km ²]
Prosjektfelt	1,3	5,3	4077

3.4 Nedbør – avløpsmodellering

Nedbør-avløpsmetodene bruker nedbørverdier som inngangsdata. Dette overføres til flomverdier ved hjelp av en hydrologisk modell eller empiriske formler.

For veldig små nedbørsfelt (i størrelsesorden opp mot 2 km²) kan den rasjonelle formel benyttes (Statens Vegvesen, 2023). NVE anbefaler imidlertid ikke å bruke denne metoden når nedbørsfeltene overstiger 0,5 km² (NVE, 2022). Blir vassdragene noe særlig større enn dette kan imidlertid denne formelen gi store usikkerheter. Usikkerheten øker også med høy effektiv sjøprosent (>1%) da den rasjonelle metode i hovedsak er utviklet for små felt med lite demping (Glad et al., 2022).

Nedbør-avløpsmodellen PQRUT er en enkel, hendelsesbasert modell utviklet av NVE på 80-tallet (Andersen et al., 1983). Modellen er en forenklet versjon av HBV-modellen og gir vannføring fra et fastlagt nedbørsforløp som representerer en nedbørshendelse med et høyt gjentakintervall. Sammenlignet med andre metoder har PQRUT en tendens til å underestimere beregnet vannføring noe for små felt og overestimere for store felt. Det anbefales derfor å benytte metoden med en viss forsiktighet, og sammenligne med målinger fra sammenlignbare felt og annen beregningsmetodikk.

3.4.1 Rasjonelle formel

Den rasjonelle formel benyttes for å gi et enkelt overslag på kulminasjonsvannføringen. Beregninger er utført i henhold til metodikk beskrevet i NVE Veileder 1/2022: Veileder for flomberegninger (NVE, 2022).

Kulminasjonsvannføring med returperiode T, Q_T [l/s], er gitt ved:

$$Q_T = C_T * i_T * A$$

Hvor

C_T er dimensjonerende avrenningsfaktor for flom med returperiode T [-]

i_T er dimensjonerende nedbørintensitet med returperiode T [l/s/ha]

A er feltareal [ha]

I beregningene er det lagt til grunn:

- Areal: 130 ha
- Dimensjonerende avrenningsfaktor: 0,63
- Konsentrasjonstid: 111 min
- Nedbørintensitet: 70 l/s*ha

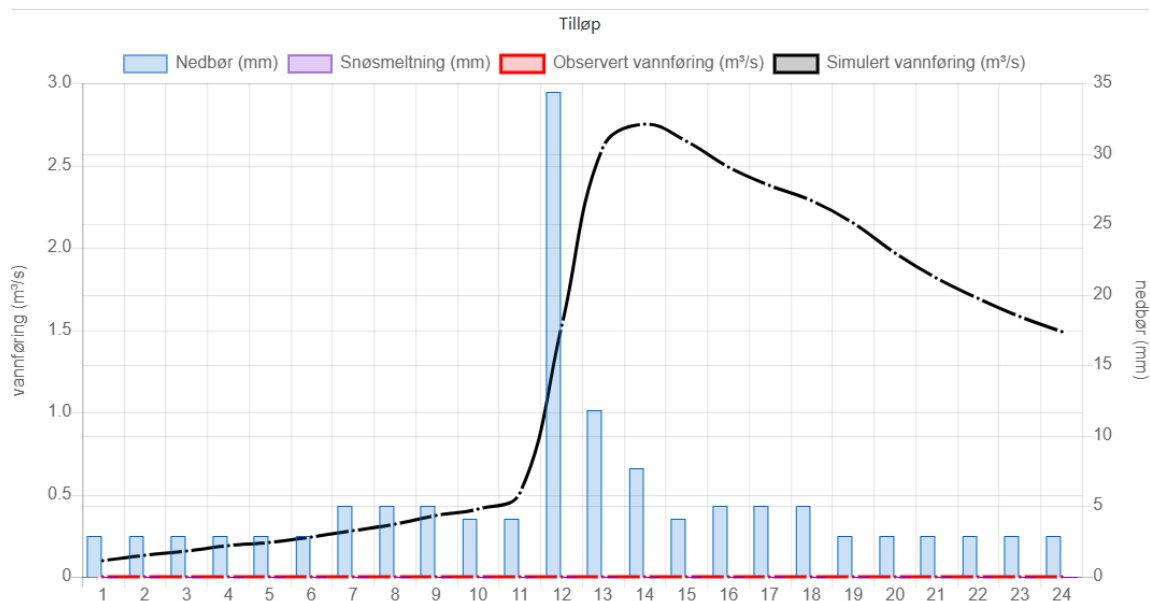
Konsentrasjonstid er valgt basert på beregninger av konsentrasjonstid for naturlige felt og for urbane felt. Beregnet konsentrasjonstid for urbane felt er antatt underestimert da nedbørfeltet inneholder hager og andre grønne områder. Det brukes derfor konsentrasjonstid for naturlige felt, som er beregnet til 111 minutter.

Beregningene gir en kulminasjonsvannføring for en returperiode på 200 år på 4422 l/s/km², som tilsvarer 5,8 m³/s.

3.4.2 PQRUT

Det er gjort en beregning med PQRUT, som er utført i NEVINA. Modellparameterne er teoretisk bestemt ut fra feltparametere for nedbørfeltet. Feltparameterne er beregnet i NEVINA. Det er benyttet IVF-verdier (Intensitet – Varighet – Frekvens) fra målestasjonen Bergen – Sandsli, som er vurdert som en god stasjon. I denne beregningen er det ikke vurdert sesong med snø.

Beregninger foretatt med PQRUT gir en kulminasjonsverdi på 2116 l/s/km² for Q₂₀₀, som tilsvarer 2,75 m³/s for nedbørfeltet oppstrøms planområdet.



Figur 5: Flomforløp modellert med PWRUT (NVE) og IVF verdier for Bergen-Sandsli.

3.5 Valg av flomverdi og benyttet flomforløp

Flomfrekvensanalysen resulterte i kulminasjonsverdier som spriker fra ca. 2600 l/s/km² for Haukåselva og 5864 l/s/km² for Dyrdalsvatn, sett bort i fra 79 l/s/km² for Sandsli som ikke er ansett som realistisk. 55.5 Dyrdalsvatn er valgt ut som representativ stasjon, men høy andel snauffjell gjør at det forventes en noe kraftigere respons på ekstrem nedbør.

Nedbør-avløpsmodellering gir kulminasjonsverdi på 4422 l/s/km² ved bruk av rasjonell metode og 2116 l/s/km² ved bruk av PQRUT. Sammenlignet med andre metoder har PQRUT en tendens til å underestimere beregnet vannføring noe for små felt, og overestimere for store felt. Det ser ut til å være tilfelle at PQRUT underestimerer for dette feltet.

RFFA-NIFS gir kulminasjonsverdi for Q₂₀₀ på 4077 l/s/km². Dette er ca. i samme størrelsesorden som rasjonell metode, og noe lavere enn flomfrekvensanalysen.

Tabell 6: Beregnede flomverdier (kulminasjon) for prosjektfeltet ved bruk ulike metoder.

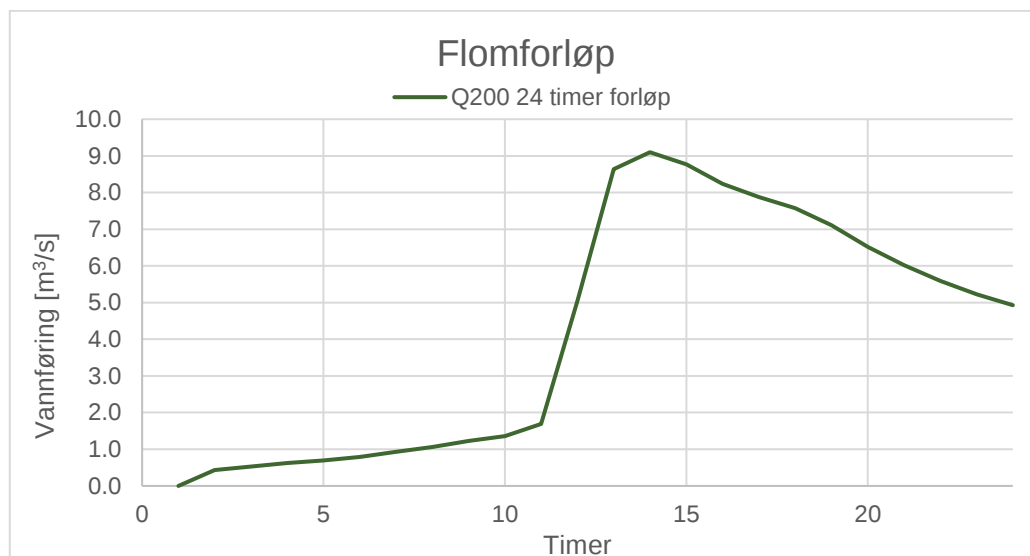
Lokalitet	Areal	FFA (55.5 Dyrdalsvatn)	NIFS	Rasjonell metode	PQRUT
	[km ²]	[l/s/km ²]	[l/s/km ²]	[l/s/km ²]	[l/s/km ²]
Prosjektfelt	1,3	5864	4077	4422	2116

Det velges å benytte en flomverdi på 5000 l/s/km², som ligger mellom NIFS, rasjonell metode og flomfrekvensanalysen av målestasjon 55.5 Dyrdalsvatn. Feltet til Dyrdalsvatn er et raskt felt, og det antas at denne flomverdien er noe høy.

Tabell 7: Valgt flomverdi for prosjektfelt

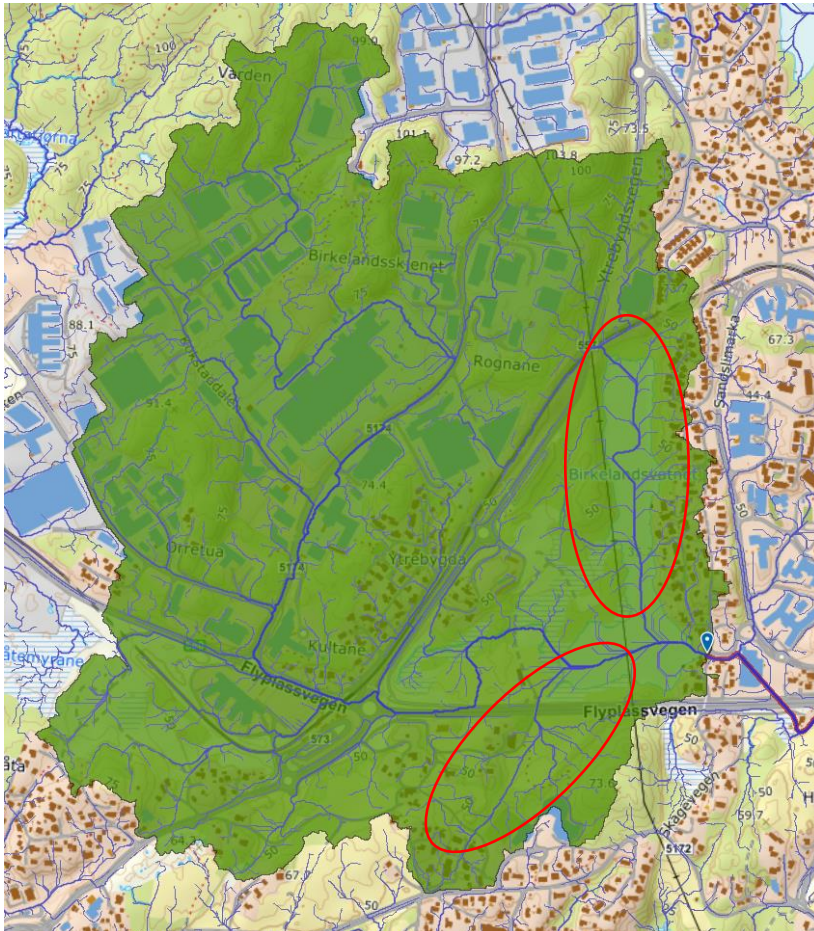
Gjentaksintervall	Klimapåslag	Flomverdi uten klimapåslag		Flomverdi med klimapåslag	
		[m³/s]	[l/s/km²]	[m³/s]	[l/s/km²]
200 år	40%	6,5	5000	9,1	7000

Det er konstruert et flomforløp med 1 døgns varighet basert på beregnet flomverdi og forløpet konstruert i PQRUT. Flomforløpet er vist i Figur 6.



Figur 6: Flomforløp oppstrøms planområdet ved 200 års flom med klimapåslag.

For å vurdere flomforholdene i planområdet, er det nødvendig å ta hensyn til vannstandstigningen i Birkelandsvatnet. Derfor beregnes en flomverdi for tilsiget som kommer utover det som transporteres gjennom kulverten oppstrøms planområdet. Tilsiget fra områdene som er markert med rødt i Figur 7 er, basert på arealskalering fra den valgte flomverdien i Tabell 7, estimeres til 1923 l/s/km². Det konstrueres et flomforløp tilsvarende Figur 6, for tilsiget direkte til Birkelandsvatnet.



Figur 7: Nedbørfelt som drenerer mot utløpet av Birkelandsvatnet. Røde sirkler markerer tilsiget som tilføres Birkelandsvatnet direkte og ikke kommer gjennom kulverten i planområdet.

4 Vannlinjemodell

For beregning av vannlinje og hydrauliske parametere er programvaren HEC-RAS 6.6 benyttet. Analysen er gjort i en todimensjonal modell. Viktige inngangsparametere som inngår i modellen er geometri, ruhet, grensebetingelser og vannføring.

4.1 Modelloppsett

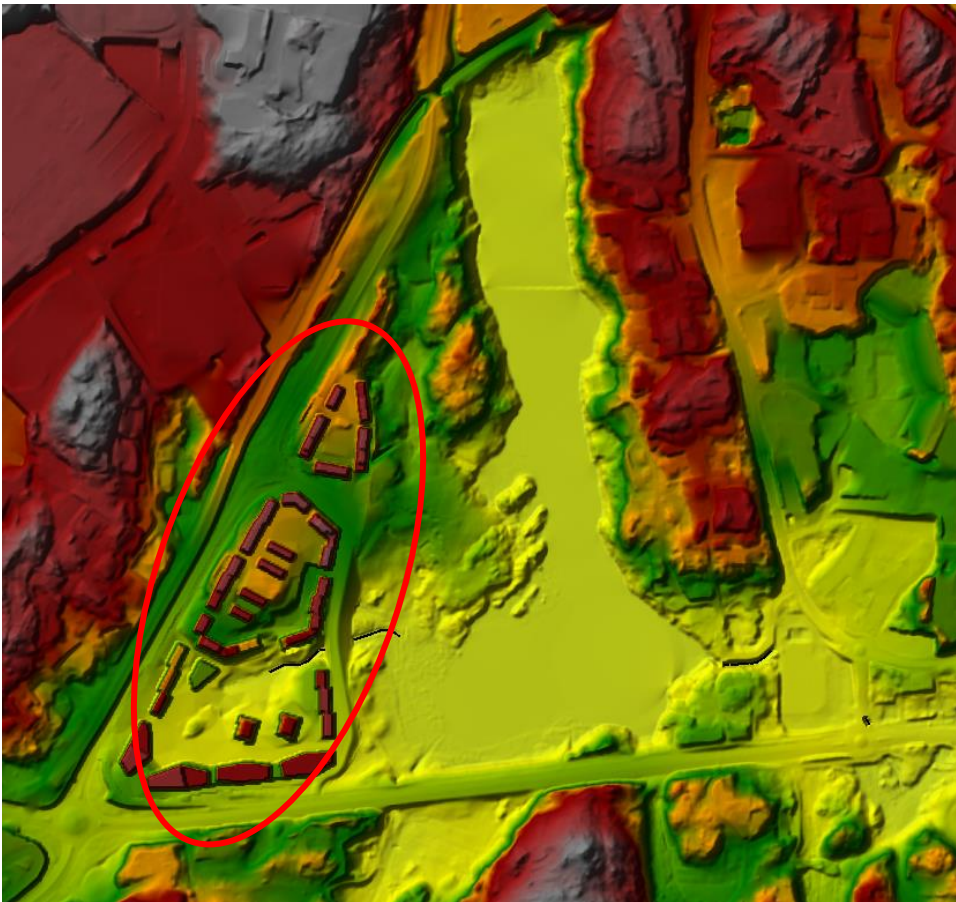
Modelloppsettet benyttet i vannlinjemodellen for Brakehaugen planområdet er vist i Tabell 8.

Tabell 8: Modellparametere som benyttes i HEC-RAS modell.

Parametere	Modell
Ruhet	Differensiert iht. terrenget, som angitt i Tabell 9
Oppløsning i terrengmodellen	1 x 1 meter
Cellestørrelse i beregningsgrid	5 x 5 meter
Oppstrøms grensebetingelse	Kulminasjonsvannføring ved 200 års gjentakintervall
Nedstrøms grensebetingelse	Naturlig helning på terrenget: 0,007
Likningssett	SWE - ELM

4.1.1 Terreng

Terrengmodellen er utarbeidet i ETRS/UTM sone 32N. Alle høydereferanser i notatet referer til NN2000 dersom ikke annet er oppgitt. Laserdata for området er lastet ned fra scalgo.no, supplert med en terrengmodell av den planlagte utbygningen. Oppløsning på datasettet er 1 meter. Terrengdataen er av feltet er kombinert med terrenget av planlagt utbygning på Brakehaugen boligområde.



Figur 8: Modellert område, med planområdet markert med rød ring.

4.1.2 Ruhet

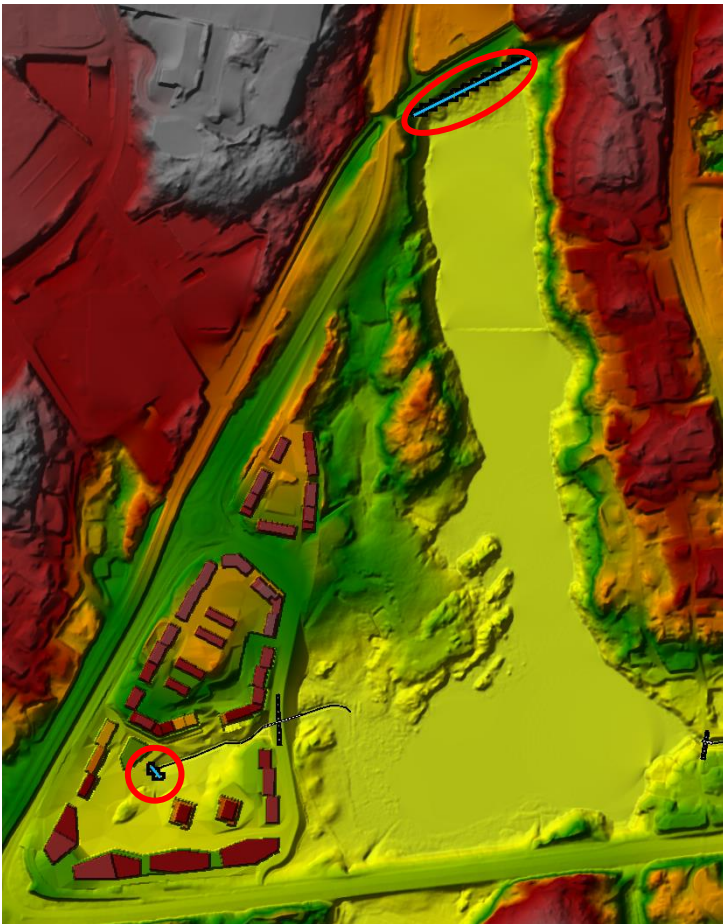
Strømningsmotstanden kan generelt deles i to hovedfaktorer: overflateruhet og lokale tap, som beskrives ved hjelp av Mannings-tall. Verdier er vurdert i henhold til tabell 4.1 i Vassdragshåndboka (Fergus, Hoseth, & Sæterbø, 2010). Manningskoeffisienter benyttet i modellen er presentert i Tabell 9.

Tabell 9: Mannings ruhetstall for terrenget benyttet i HEC-RAS modell.

Beskrivelse	Mannings ruhetstall
Elv/innsjø	0,035
Parkområde – kort gress	0,03
Flomslette: gress og vegetasjon i form av busker og trær	0,06
Hus	1,0
Vei	0,0125

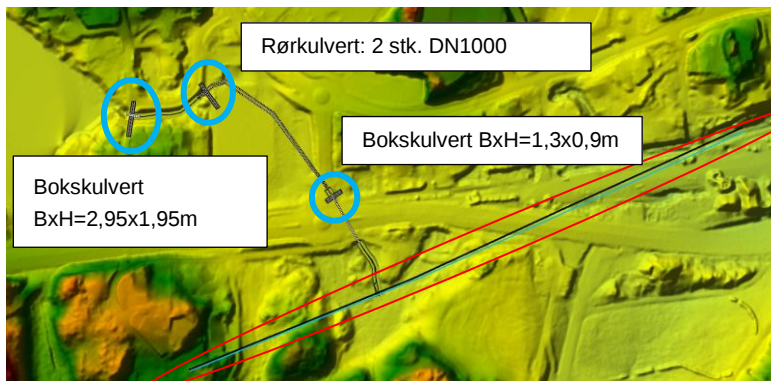
4.1.3 Grensebetingelser

Det er satt to øvre grensebetingelser i modellen. Det er satt en ved utløpet av kulverten som kommer ut i dagen midt i Brakehaugen boligområde. Gjennom veien i boligområde er det lagt inn en kulvert som leder vannet ut mot Birkelandsvatnet. Den andre øvre grensebetingelsen er satt ved nordenden av Birkelandsvatnet. Her tilføres vannmengden som drenerer mot utløpet av Birkelandsvatnet, men ikke kommer inn via kulverten i planområdet.



Figur 9: Terrengmodellen for planområdet og Birkelandsvatnet. De blå linjene, som er markert med rød sirkel, indikerer de øvre grensebetingelsene for modellen, hvor vannet tilføres.

Nedre grensebetingelse er satt på andre siden av veien sørøst for Birkelandsvatnet. Bokskulverter og rørkulverter som avgrenser Birkelandsvatnet nedstrøms er inkludert i modellen. Det er lagt inn totalt 5 kulverter i modellen, hvorav 2 av dem er rørkulverter som går parallelt under bakken under Biltema. Kulvertdimensjoner og høyder som har blitt lagt inn i modellen er nærmere beskrevet i eget befaringsnotat «250313_Befaring_utløp_Birkelandsvatnet». Terrenget er modifisert til å stemme overens med innmålinger.

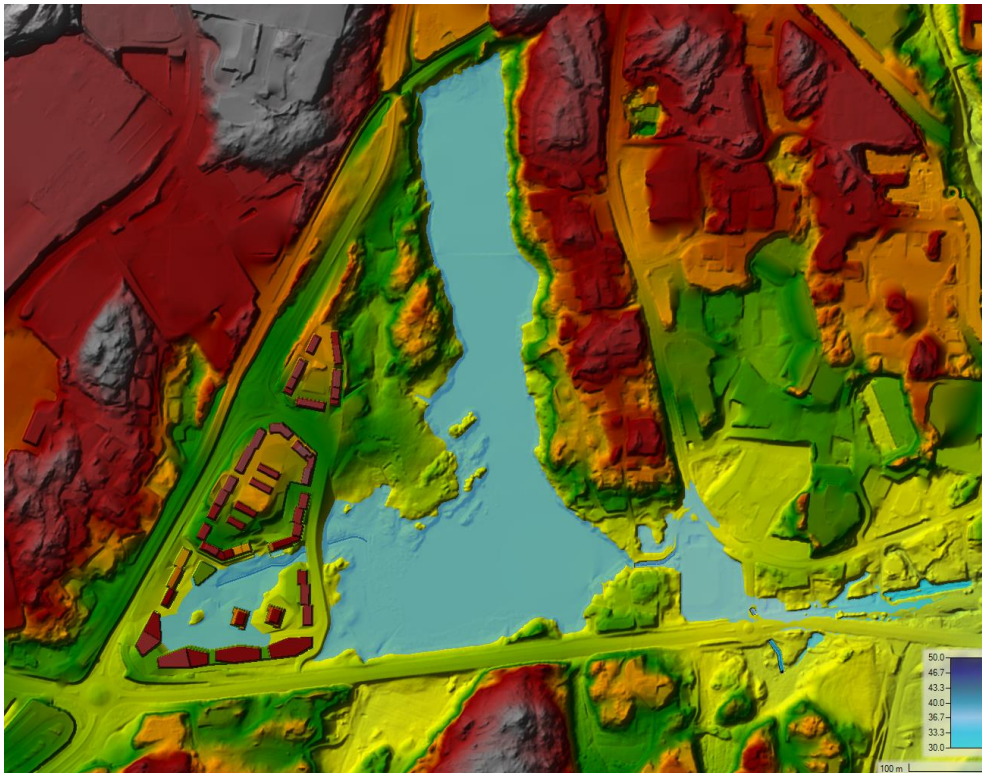


Figur 10: Terrengmodellen for utløpet av Birkelandsvatnet. De blå sirklene markerer innløpene til kulvertene som er lagt inn i modellen. Blå strek, markert med rød sirkel rundt, indikerer nedre grensebetingelsene for modellen.

4.2 Resultater av vannlinjeberegningen

4.2.1 Etter utbygning

Vannlinjeberegningen er utført for flomstørrelse Q200 inkludert klimapåslag med et terreng hvor planområdet er inkludert. Resultatene viser at flomsone strekker seg utover bekkeløpet og kulverter under en dimensjonerende flomhendelse. Vanndekt areal etter utbygning er vist i blått i Figur 11.



Figur 11: Beregnet flomsone for Q200 med klimapåslag ved planområdet etter utbygning (til venstre i bildet), Birkelandsvatnet og ved Biltema nedstrøms Birkelandsvatnet (til høyre i bildet).

Den beregnede vannstanden langs planområdet på Brakehaugen under en Q200 med klimapåslag er beregnet til kote 38,58. Vannstanden og vannutbredelsen i dette området er illustrert i Figur 12. Det er valgt ut fire profillinjer. Tverrsnitt av profillinjene er vedlagt i Vedlegg 2.

Profilinje 1 krysser området som er planlagt som torg/snuplass og passerer over to av bygningene i feltet for forretning/kontor/tjenesteyting. Torget ligger på kote 37,5 og 38,0, noe som betyr at vannstanden vil være opptil omtrent en meter over dette nivået.

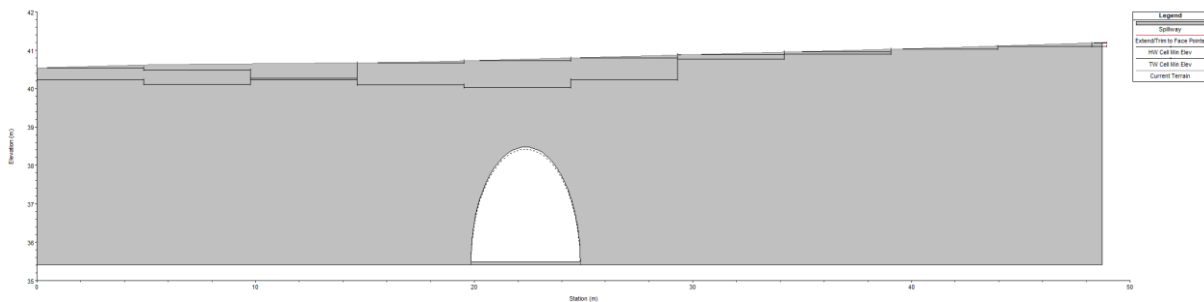
Tverrsnitt 2 dekker barnehage/grendahus og en boenhet, som er farget henholdsvis grønt og rødt i Figur 12. Disse bygningene vil være omringet av vann ved en Q200. Ved profilinje 3 når ikke vannstanden opp til bygningene, mens det ved profilinje 4 er et område nær bygget på kote 38, hvor vannet vil samle seg

Når det gjelder strømningsmønsteret viser modelleringen at det er lave vannhastigheter inne på planområde. Hovedstrømmen her vil ha vannhastigheter opp mot 0,5 m/s under kulminasjonen.



Figur 12: Beregnet flomsone for Q200 med klimapåslag ved planområdet etter utbygning.

Det undersøkes om en større kulvert vil kunne redusere vannstanden i planområdet. For å samtidig bevare den naturlige elvebunnen, testes det med en halvrør med et spenn på 5 meter og høyde på 3 meter. Kulverten som er lagt inn i modellen er vist Figur 13. Resultatene indikerer at vannstanden i planområdet reduseres med 32 cm (til kote 38,26).



Figur 13: Halvrør-kulvert med spenn på 5 meter og høyde på 3 meter.

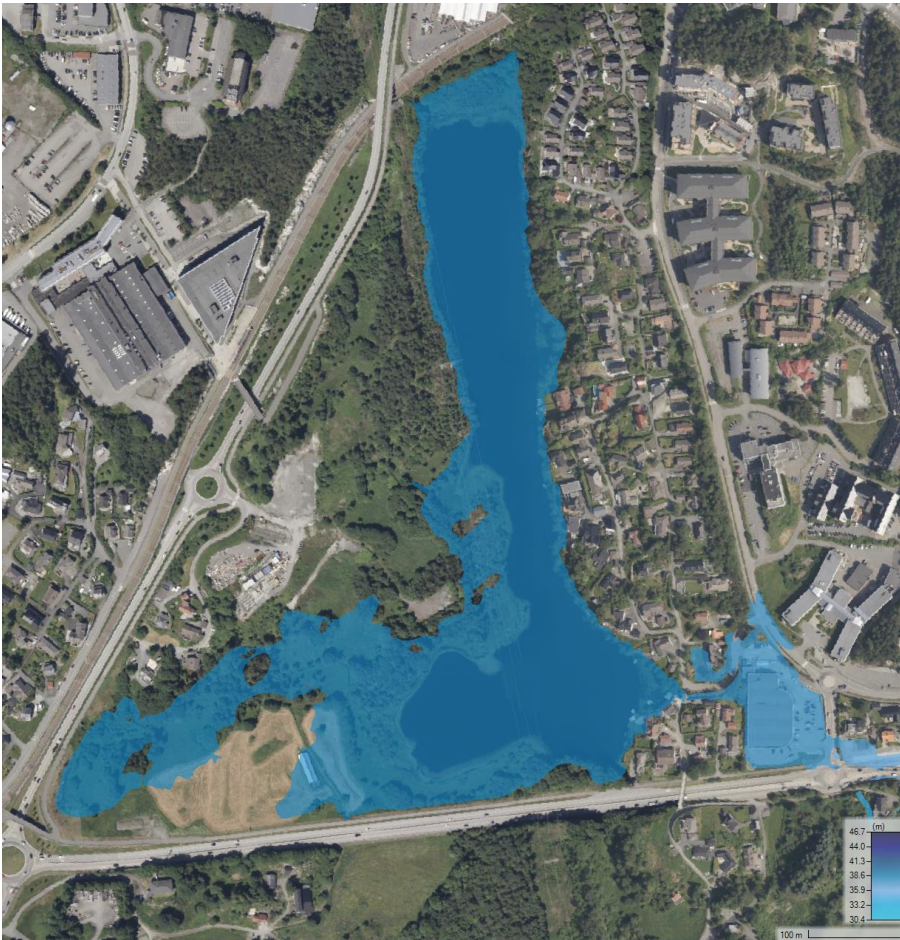
I Birkelandsvatnet er den beregnede vannstanden under en Q200 med klimapåslag 38,23 moh. Dette representerer en vannstandsstigning på omtrent 3 meter fra den målte vannstanden på 35,25 moh ved laseroppmålingen. Ved utløpet av Birkelandsvatnet er det ikke tilstrekkelig kapasitet i rørkulvertene som tar vannet under Bilterma til å ta unna vannet og vannet vil renne ut over parkeringsplassen ved Bilterma og vannstanden vil være på 37,52 meter. Flomsonen nedstrøms Birkelandsvatnet er vist i Figur 14.



Figur 14: Flomsonen ved Q200 med klimapåslag ved utløpet av Birkelandsvatnet etter utbygning ved planområdet.

4.2.2 Før utbygning

En modell basert på dagens terreng kjøres for å undersøke hvordan utbyggingen i planområdet påvirker vannstanden. Vannet ledes inn i modellen fra den nåværende utløpsplassen til kulverten. Den beregnede vannstanden ved det planlagte området på Brakehaugen under en Q200-flom med klimapåslag er før utbygning kote 38,22, noe som er 36 cm lavere enn etter utbyggingen. Vannstanden i Birkelandsvatnet er estimert til kote 38,21 moh, som er 2 cm lavere enn etter utbyggingen. I tillegg vil vann også før utbyggingen renne over parkeringsplassen ved Biltema. Utbyggingen vil med andre ord ikke påvirke nedstrøms forhold i vesentlig grad.



Figur 15: Flomsonen ved Q200 med klimapåslag ved utløpet av Birkelandsvatnet før utbygning ved planområdet.

4.3 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalysen ser på virkningen av modellparametere på vannstander og vannhastigheter under dimensjonerende flom. Modellparameterne som er analysert er ruheten og flomstørrelser i prosjektfeltet.

Det er utført en beregning for dimensjonerende flom med høy Mannings-verdi for å vurdere hvordan ruheten påvirker resultatene. En modell er blitt kjørt med en prosentvis økning i friksjonstallet på 25%. Ruhetsverdiene som brukes er vist i Tabell 10. Resultatene viser at forskjellen mellom normal og høy Manningsverdi er omtrent 1 cm i både planområdet og 2 cm i Birkelandsvatnet.

Tabell 10: Normale og høye Mannings ruhetstall for terrenget benyttet i HEC-RAS modell.

Beskrivelse	Normal Manningsverdi	Høy Manningsverdi
Elv/innsjø	0,035	0,044
Parkområde – kort gress	0,03	0,038
Flomslette: gress og vegetasjon i form av busker og trær	0,06	0,075
Hus	1,0	1,25
Vei	0,0125	0,0156

Det er gjennomført en vurdering der flomstørrelsen økes med 25%. Resultatene viser at vannstanden i planområdet øker med 64 cm, mens vannstanden i Birkelandsvatnet øker med 17 cm. I en tilleggsvurdering, hvor flomstørrelsen er beregnet uten klimapåslag, indikerer beregningene en reduksjon i vannstanden på 77 cm i prosjektfeltet og 61 cm i Birkelandsvatnet. Dette indikerer at vannføringen er den mest sensitive faktoren.

4.4 Modellusikkerheter

Det foreligger usikkerhet knyttet til laserdataene. Disse dataene er hentet fra Scalgo, men det har blitt endringer på Flyplassvegen ved Bilema siden laseroppmålingen ble gjennomført. En rundkjøring er blitt fjernet, og det er nå en synlig åpning på ortofoto der rørkulvertene går over i en bokskulvert som leder vannet under Flyplassvegen. Det er gjort modifiseringer i terrengmodellen for å tilpasse situasjonen til dagens forhold, samt justeringer for å sikre at høyder samsvarer med GPS-målte verdier. I mellomliggende strekninger er det gjort antakelser. Det er viktig å merke seg at laserdataene måler vannoverflaten som bunnhøyde, noe som ikke tar hensyn til bekkebunnen. Usikkerhetene knyttet til GPS-innmålingene, som er nærmere beskrevet i det tidligere nevnte befaringsnotatet, har også innvirkning på datakvaliteten.

4.5 Innrapportering av naturfareutredninger

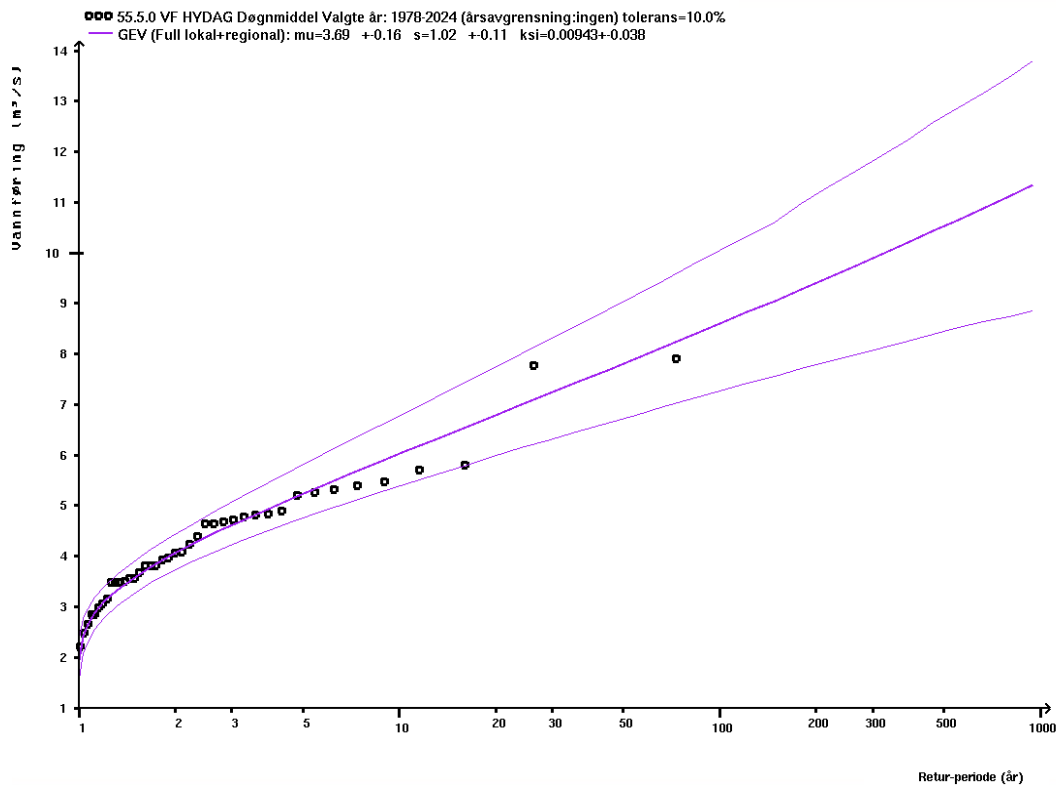
Det gjøres oppmerksom på at det fra 1.1.2025 er pålagt å innrapportere nye naturfareutredninger for flom, skred i bratt terreng og kvikkleire inn til NVE innen tre måneder fra ferdigstilling, i hht til PBL § 2-4 samt forskrift om pliktig innmelding av grunnundersøkelser og naturfareutredninger.

5 Kilder

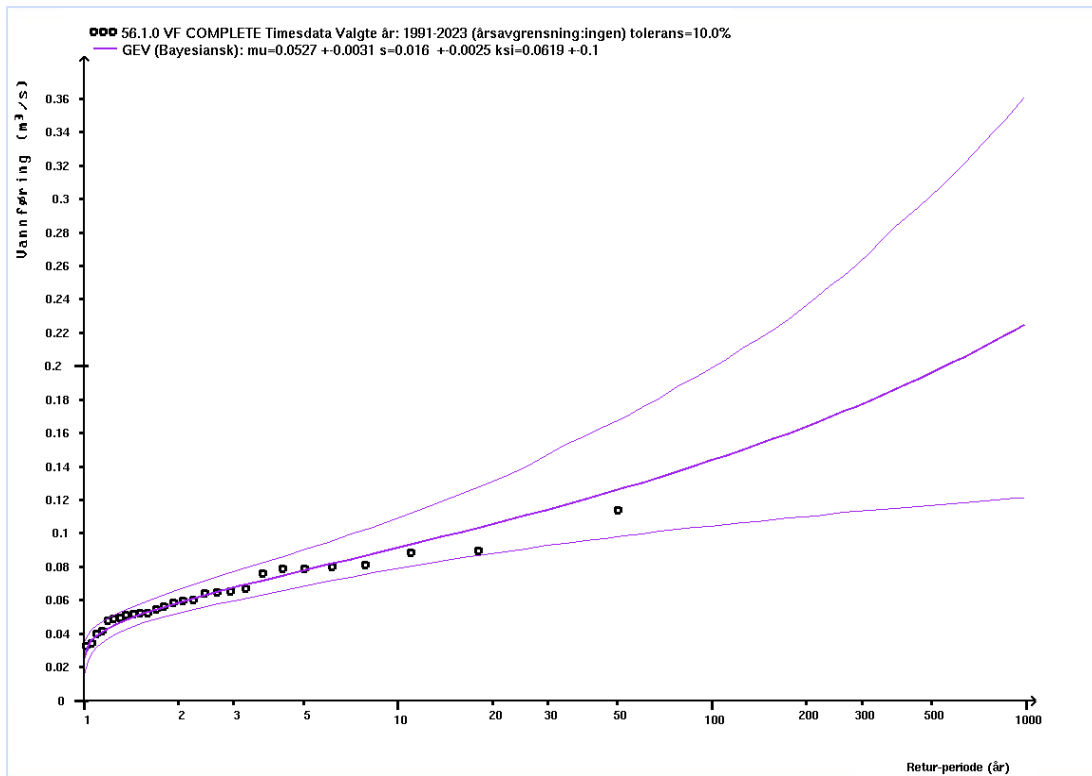
- Fergus, T., Hoseth, K., & Sæterbø, E. (2010). Vassdragshåndboka. Tapir Akademisk Forlag.
- Norsk klimaservicesenter. (2024). *Klimaprofil Hordaland*. Hentet fra <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/hordaland>
- NVE. (2011). *Retningslinjer for flomberegninger*. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/retningslinjer/2011/retningslinjer2011_04.pdf
- NVE. (2014). *Flomberegning for Nesttunvassdraget*. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_16.pdf
- NVE. (2016). *Flomberegning for Alpetun*. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_58.pdf
- NVE. (2022). *Veileder for flomberegninger*. NVE.

Vedlegg 1 - Flomfrekvensanalyse

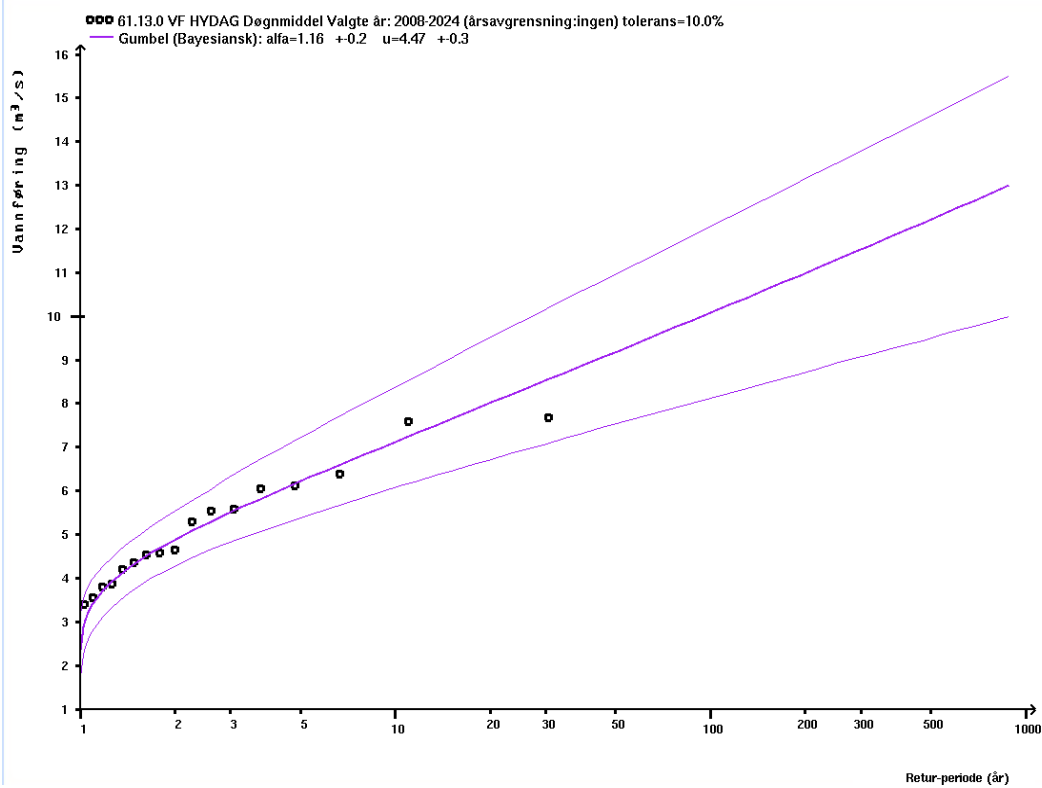
55.5 Dyrdalsvatn



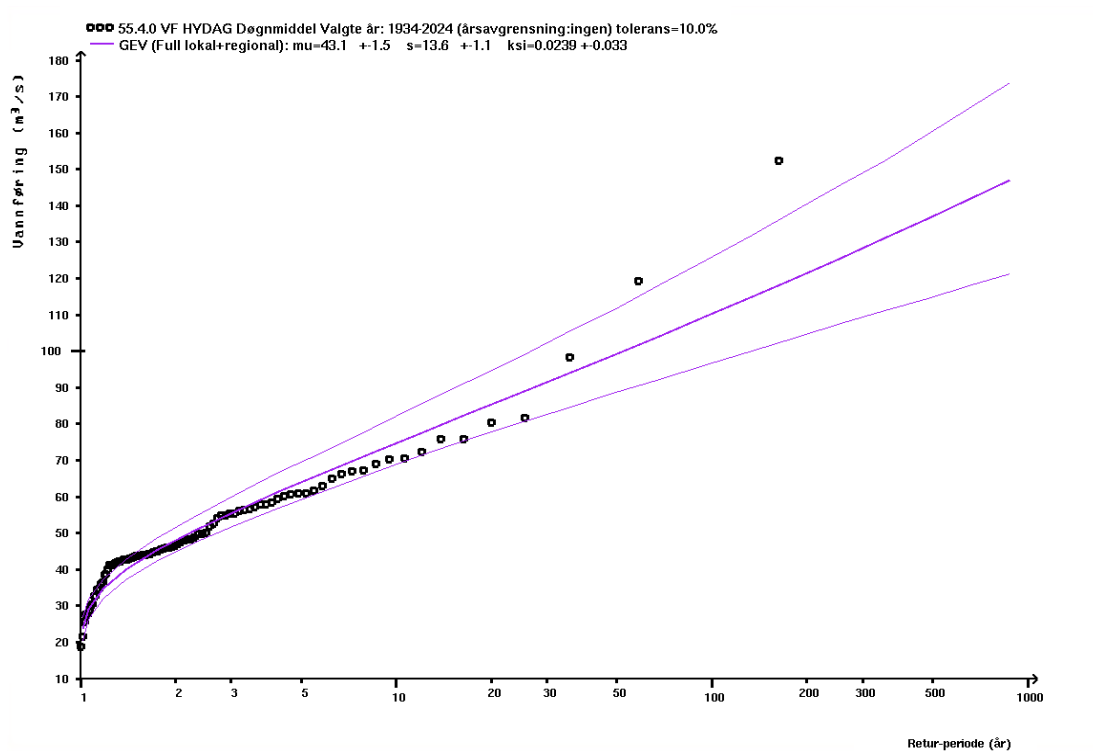
56.1.0 Sandsli



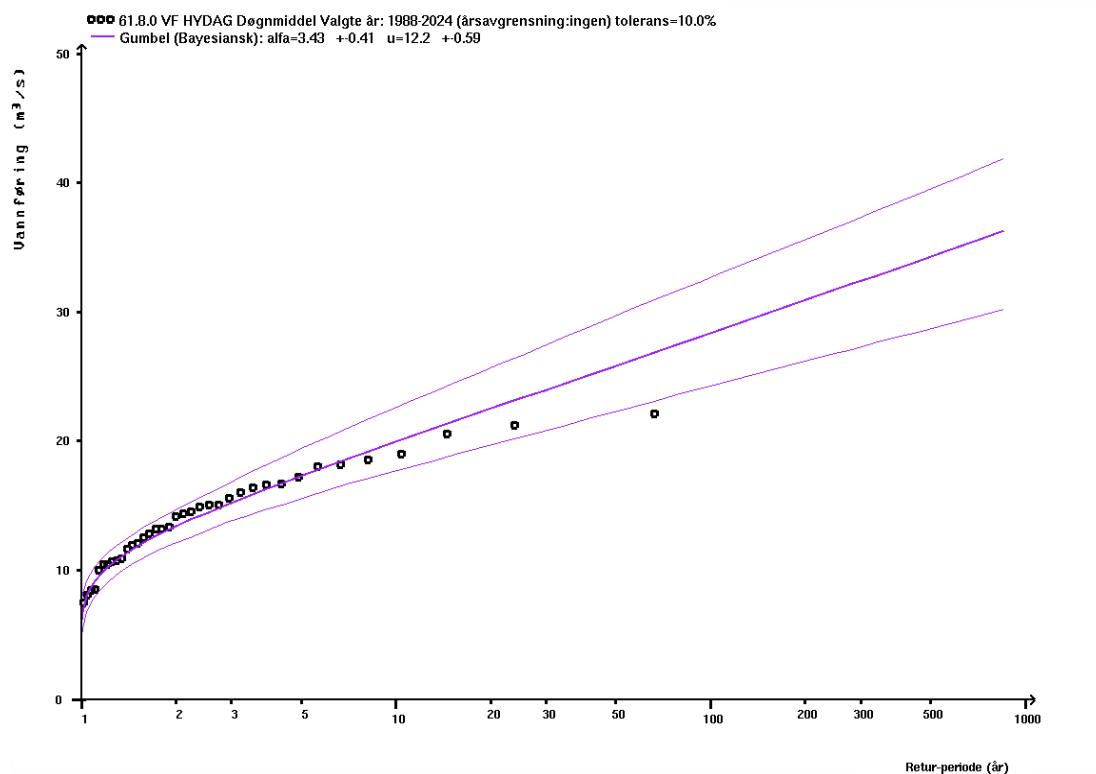
61.13 Haukåselva



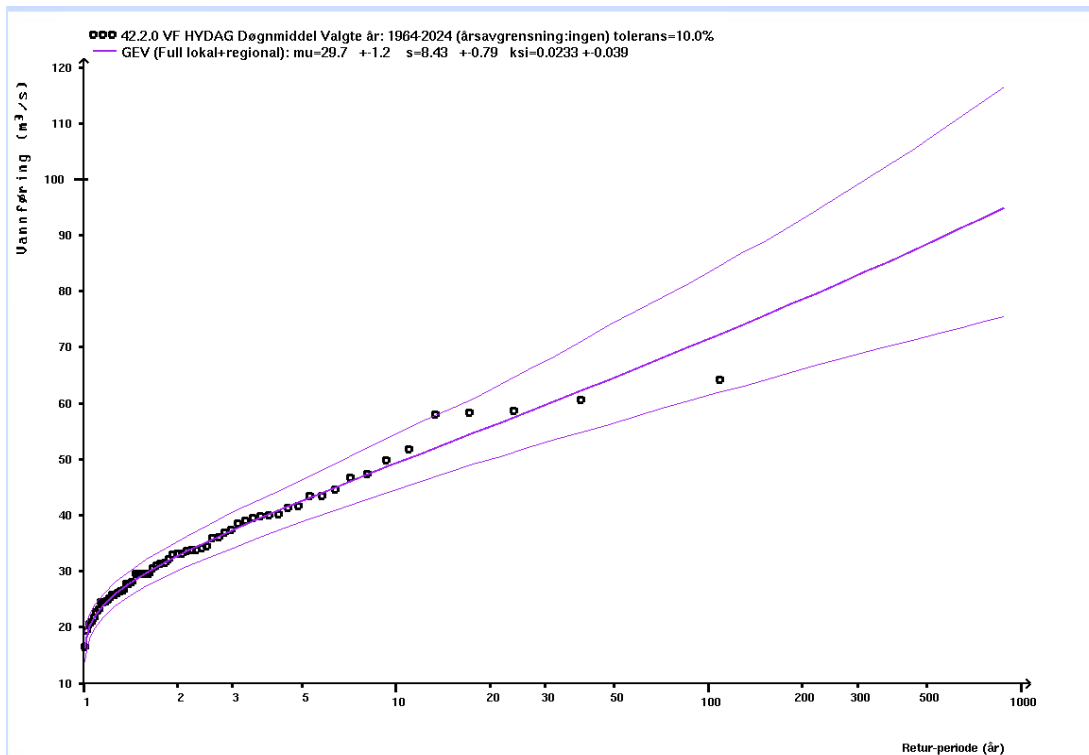
55.4 Røykenes



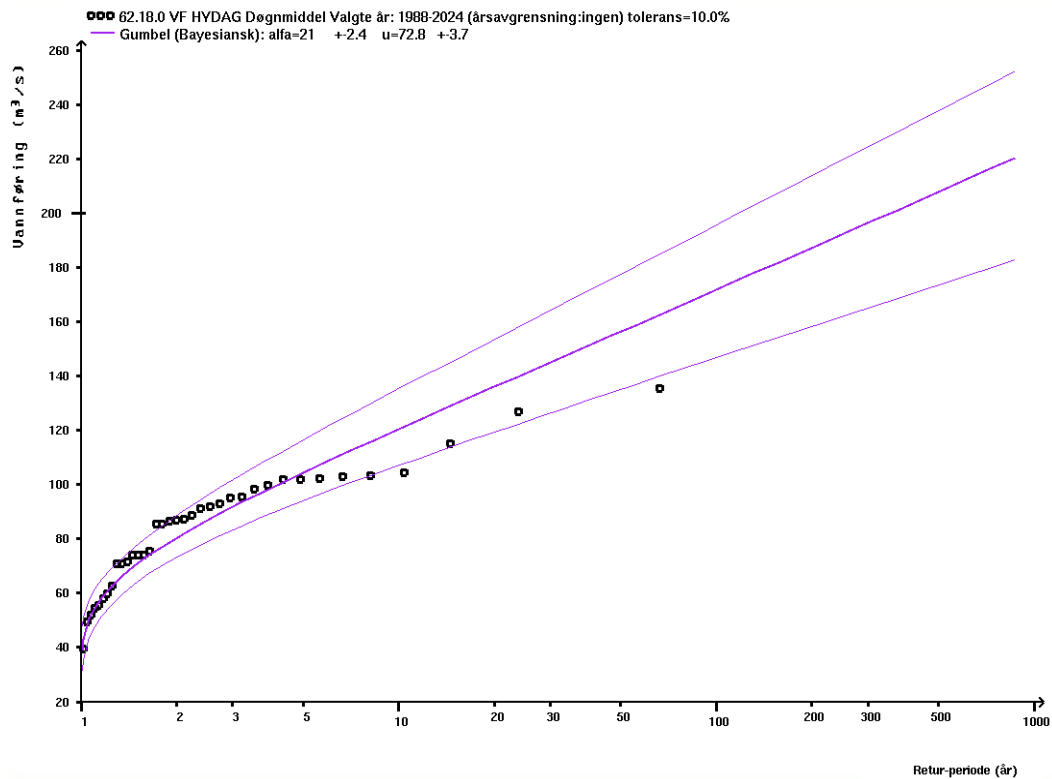
61.8 Kaldåen



42.2 Djupevad



62.18 Svartavatn



Vedlegg 2 – Profillinje vannlinjemodell

