Rapport

Oppdragsgiver	Navn Bent Engebret Øye	Kontaktperson Privatperson
Oppdrag	Nummer og navn 21574 Nesbyen, Buvassbrenna – Flomfarevurdering for endring av reguleringsplan	Oppdragsleder Ingvild Brekke
Dokument	Nummer 21574-01-1 Utført av Ingvild Brekke	Dato 2022-05-31 Kontrollert av Ragnhild Hammeren

Versjon	Dato	Utført	Kontroll	Beskrivelse
1	31.05.2022	IB	RH	Første versjon

Flomfarevurdering

Sammendrag

I forbindelse med endring av reguleringsplanen Buvatn på bl.a. gbnr. 74/22 i Nesbyen kommune er Skred AS bedt om å utføre en flomfarevurdering av planområdet. En bekk renner gjennom planområdet som ligger ved Buvatn. Både bekken og innsjøen utgjør potensiell flomfare. Krav til sikkerhet mot flom gitt av TEK17 §7-2 er lagt til grunn for vurderingene.

Dimensjonerende 200-årsflom i vurdert bekk, inkludert et klimapåslag på 40 %, er beregnet til 1,9 m^3/s. Det er etablert en hydraulisk modell av vurdert bekk med omliggende områder. Modelleringen viser at vann vil dra ut i terrenget langs bekken. Vann vil også dra over Rukkedalsvegen fordi vegen ligger lavere enn topp stikkrenne.

Dimensjonerende 200-årsflom i Buvatn, inkludert et klimapåslag på 20 %, er beregnet til 14,3 m^3/s. Det er etablert en hydraulisk modell av utløpet. Modellen er kalibrert mot måledata, og viser at dimensjonerende vannstand er på 842,7 moh. Ved Buvatn anbefales en sikkerhetsmargin på 0,1 meter.

Basert på resultater fra modelleringen og analysene er det tegnet opp faresone for flom for det vurderte området. Faresonen viser hvilke områder som vurderes utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/200 i år 2100, som tilsvarer sikkerhetsklasse F2 i TEK17.

Ny bebyggelse bør i utgangspunktet plasseres utenfor faresonen for flom, og de nye tomtene i planen ligger utenfor faresonen.

For dagens situasjon vurderes erosjonssikkerheten tilstrekkelig etter kravene i TEK17.

Innhold

1 Innledning ... 6
1.1 Bakgrunn ... 6
1.2 Befaring ... 6
1.3 Forbehold ... 6

2 Krav til sikkerhet ... 7
2.1 Lovverket ... 7
2.2 Flom ... 7
2.2.1 Aktuelle krav ... 8

3 Beskrivelse av området, bekkeløp, konstruksjoner og grunnforhold ... 9
3.1 Område og elveløp ... 9
3.2 Konstruksjoner ... 11
3.3 Grunnforhold ... 12

4 Flomberegning ... 14
4.1 Metode ... 14
4.2 Beskrivelse av nedbørfelt ... 14
4.3 Flomfrekvensanalyse ... 15
4.3.1 Målestasjoner ... 15
4.3.2 Valg av metode for flomfrekvensanalyse ... 16
4.3.3 Lokal flomfrekvensanalyse ... 16
4.3.4 Regional flomfrekvensanalyse ... 17
4.4 Nedbør- avløpsmetoder ... 19
4.4.1 PQRUT ... 19
4.4.2 Den rasjonale metode ... 19
4.5 Klimaframskrivninger ... 19
4.6 Vurdering av resultater ... 19
4.6.1 Middelflom ... 19
4.6.2 Vekstfaktor ... 20
4.6.3 Sammenligning av resultater fra ulike metoder ... 20
4.7 Dimensjonerende vannmengder ... 21
4.8 Klassifisering av det hydrologiske datagrunnlaget for flomberegningen ... 21
4.9 Frekvensanalyse på vannstand ved 12.150 Buvatn ... 21

5 Hydraulisk modellering ... 22
5.1 Metode ... 22
5.2 Bekken gjennom planområdet ... 22
5.2.1 Modelloppsett ... 22
5.2.2 Modellert fremtidig 200-årsflom ... 23
5.2.3 Sensitivitetsanalyse ... 23
5.3 Utløpet av Buvatn ... 24
5.3.1 Modelloppsett ... 24

5.3.2 Modellert fremtidig 200-årsflom 24
5.3.3 Sensitivitetsanalyse 25

6 Faresoner for flom 26

7 Vurdering av erosjonssikkerhet 27
7.1 Erosjonssikkerhet 27

8 Risikoreduserende tiltak 28

9 Konklusjon 29

10 Referanser 30

Figurer

Figur 1: Lokaliseringen av planområdet, ved Buvatn i Nesbyen kommune. 6
Figur 2: Oversiktskart over vurdert område. 9
Figur 3: Dronebilde av vurdert område. 10
Figur 4: Representativt bilde av bekkeløpet. 10
Figur 5: Stikkrenne (1) under Buvassvegen, 600 mm. 11
Figur 6: Klopp (2). 11
Figur 7: Stikkrenner (3) med samme topphøyde. Det største har diameter 600 mm, mens det minste er 300 mm. 12
Figur 8: Stikkrenne (4) med diameter 1000 mm. 12
Figur 9: Løsmassekart, NGU 13
Figur 10: Feltgrensene til Buvatn og vurdert bekk. 14
Figur 11: Lokasjon til utvalgte målestasjoner. 15
Figur 12: Hypsografisk kurve til Buvatn og vurderte målestasjoner. 16
Figur 13: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser for bekken. 23
Figur 14: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser. 24
Figur 15: Faresone som viser områder utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/200 i år 2100 (sikkerhetsklasse F2). 26

Tabeller

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2018). 7
Tabell 2: Feltkarakteristika til Buvatn og vurdert bekk. 14
Tabell 3: Feltkarakteristika til utvalgte referansevassdrag. 15
Tabell 4: Resultater fra flomfrekvensanalyse på utvalgte måleserier, døgnmiddel. 17
Tabell 5: Beregnet forholdstall ved noen av de største flommene ved utvalgte målestasjoner. 17
Tabell 6: Resultater fra RFFA-NIFS for Buvatn (kulminasjon). Eff. sjø-prosent er for tilløp. 18
Tabell 7: Resultater fra RFFA-NIFS for vurdert bekk (kulminasjon). 18

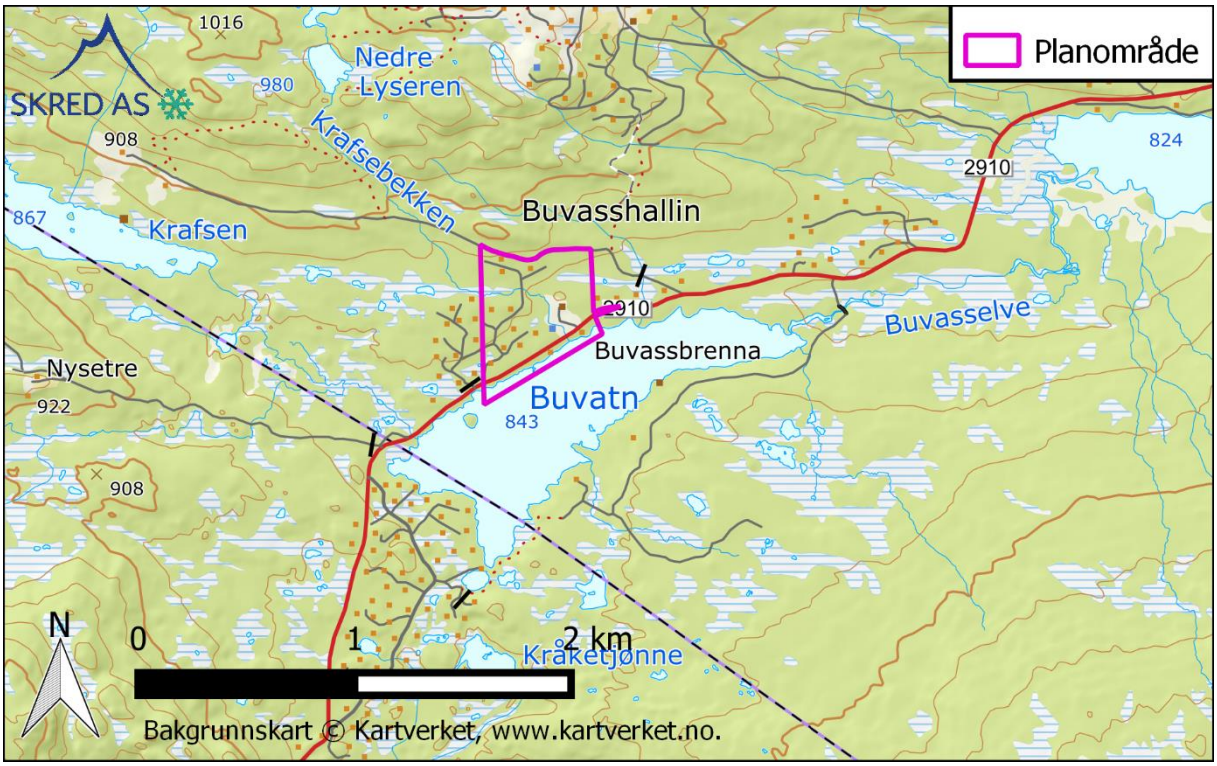
Tabell 8: Resultater fra RFFA-NIFS med 30 årsflommer for Buvatn (kulminasjon)..... 18
Tabell 9: Resultater fra RFFA-2018 for Buvatn (døgnmiddel). 19
Tabell 10: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metoder for Buvatn (kulm.)..... 20
Tabell 11: Dimensjonerende vannmengder med og uten klimapåslag (kulminasjon). 21
Tabell 12: Frekvensanalyse på vannstand ved 12.150 Buvatn. 21
Tabell 13: Parametere benyttet i Hec-Ras modell for vurdert bekk. 22
Tabell 14: Parametere benyttet i Hec-Ras modell for utløpet av Buvatn. 24

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I forbindelse med endring av reguleringsplanen Buvatn på bl.a. gbnr. 74/22 i Nesbyen kommune er Skred AS bedt om å utføre en flomfarevurdering av planområdet. En bekk renner gjennom planområdet som ligger ved Buvatn. Både bekken og innsjøen utgjør ifølge NVE sine aktsomhetskart for flom en potensiell flomfare. Krav til sikkerhet mot flom gitt av TEK17 §7-2 skal legges til grunn for vurderingene.

Lokasjon av planområdet er vist på Figur 1.



Figur 1: Lokaliseringen av planområdet, ved Buvatn i Nesbyen kommune.

1.2 Befaring

Befaring av området og bekkestrekningen ble utført 23.05.2022 av Ingvild Brekke (Skred AS). Det var bar bakke, relativt mye vann i bekken og generelt gode befaringsforhold. Registreringer ble gjort til fots.

1.3 Forbehold

Flomvurderinger er gjort ut fra terreng og vegetasjon slik det fremsto på vurderingstidspunktet. Hvis terreng eller vegetasjon endres betydelig, kan det ha betydning flomforholdene. Det kan innbefatte fysiske endringer i vassdraget eller endring i klimaframskrivninger. Da anbefales det å utføre en ny vurdering.

Informasjon om tidligere flomhendelser er viktige for vurderingene. Dersom det kommer mer informasjon om tidligere hendelser, bør det tas med i betraktningene.

2 Krav til sikkerhet

2.1 Lovverket

Plan- og bygningsloven § 28-1 stiller krav om tilstrekkelig sikkerhet mot fare for nybygg og tilbygg:

> *«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.»*

2.2 Flom

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 1 angir største årlige sannsynligheten for flom. Byggverk skal plasseres, dimensjoneres eller sikres i henhold til aktuell sikkerhetsklasse. I veilederen til TEK17 gis retningsgivende eksempler på byggverk som kommer inn under de ulike sikkerhetsklassene for flom (DiBK, 2018).

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2018).

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 innebefatter byggverk med lite personopphold som garasjer og lagerbygninger.

Sikkerhetsklasse F2 omfatter tiltak der flom vil føre til middels konsekvenser. Dette innebefatter 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.

I paragrafens fjerde ledd er det gitt at byggverk skal plasseres eller sikres slik at det ikke oppstår skade ved erosjon. Avstanden til erosjonsutsatt elvekant bør være minst like stor som høyden på elvekanten og ikke under 20 meter. Dersom vassdraget sikres mot erosjon kan avstanden være mindre.

2.2.1 Aktuelle krav

I retningslinjene til TEK17 er det gitt ulike eksempler, beskrevet på forrige side, på hva slags bebyggelse som ligger innenfor de ulike sikkerhetsklassene mot flom. I utgangspunktet virker sikkerhetsklasse F2 aktuelt for planlagt tiltak.

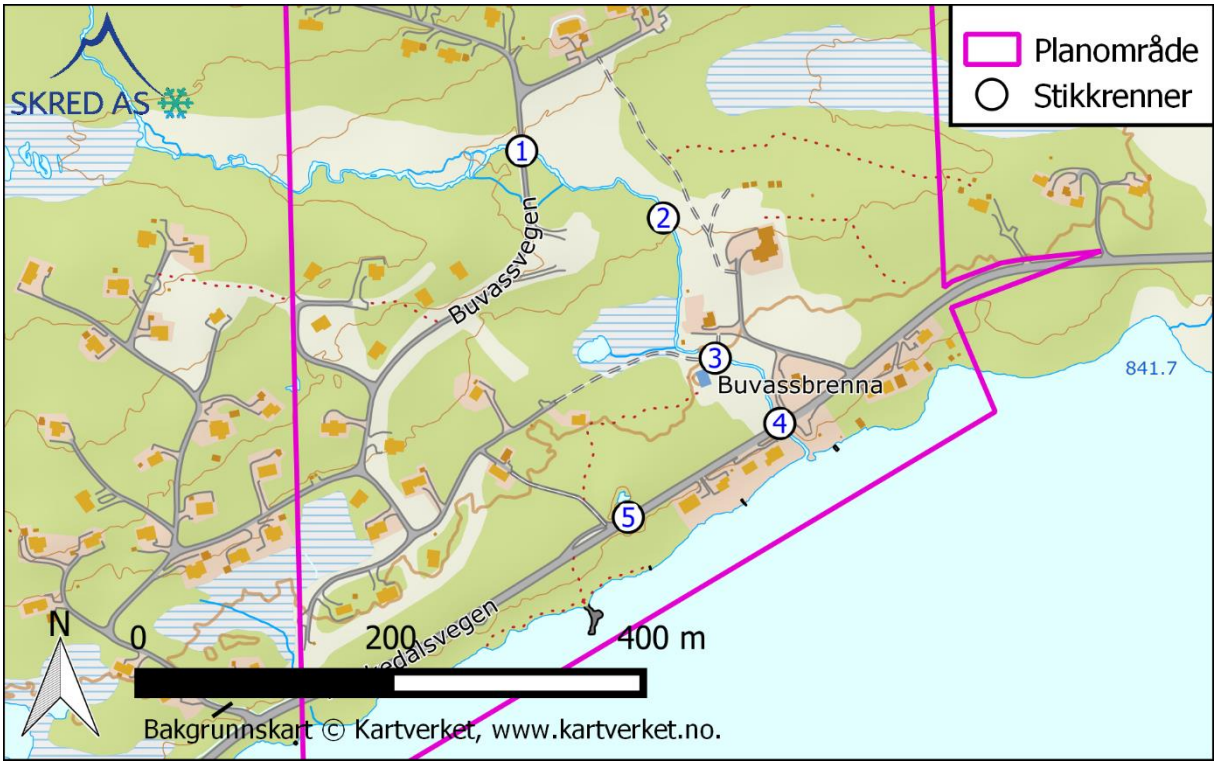
3 Beskrivelse av området, bekkeløp, konstruksjoner og grunnforhold

3.1 Område og elveløp

Det renner en bekk inn fra vest i planområdet. Bekken går i et bredt søkk delvis meandrerende og delvis i flere løp. Bekken krysser Buvassvegen (stikkrenne 1 på Figur 2) og Rukkedalsvegen (4) gjennom stikkrenner. Mellom disse vegene krysses bekken også av en klopp (2) og to parallelle stikkrenner (3). I tilknytning til bebyggelsen i nedre del er det flere steder lagt opp voller langs bekken. Disse hadde en høyde på omtrent 0,5 meter over terrenget.

Bekkeløpet består av stein i varierende størrelser i øvre del, med torv på sidene. Basert på tilgang på løsmasser vurderes potensialet for massetransport under som flom som lite.

Figur 2 viser et oversiktskart over området, Figur 3 viser et oversiktsbilde av planområdet, mens Figur 4 er et bilde av bekkeløpet tatt fra kloppen (2).



Figur 2: Oversiktskart over vurdert område.

Figur 3: Dronebilde av vurdert område.

Figur 4: Representativt bilde av bekkeløpet.

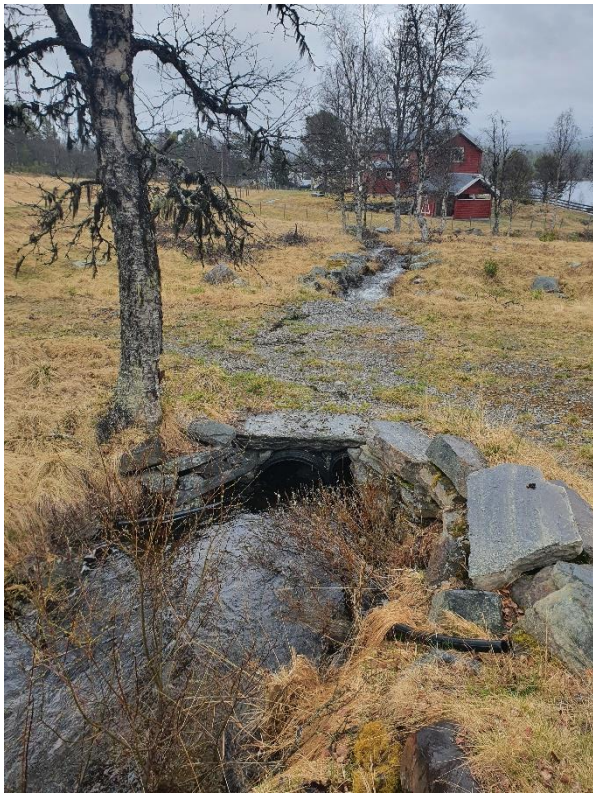
3.2 Konstruksjoner

Bekken krysses av Buvassvegen gjennom en stikkrenne (1) med diameter 600 mm. Videre nedover krysses bekken av en klopp (2) som trolig vil bli tatt av vannmassene under en flom. Omtrent 80 meter oppstrøms Rukkedalsvegen er det lagt ned en 600 mm og en 300 mm stikkrenne under en traktorvei (3). Under Rukkedalsvegen krysser bekken gjennom ei stikkrenne med diameter 1000 mm (4). 150 meter lenger vest langs Rukkedalsvegen ligger ei 600 mm stikkrenne (5). Under befaringa så stikkrennene ut til å være i god stand.

Figur 5 til Figur 8 viser bilder av stikkrennene.

Figur 5: Stikkrenne (1) under Buvassvegen, 600 mm.

Figur 6: Klopp (2).



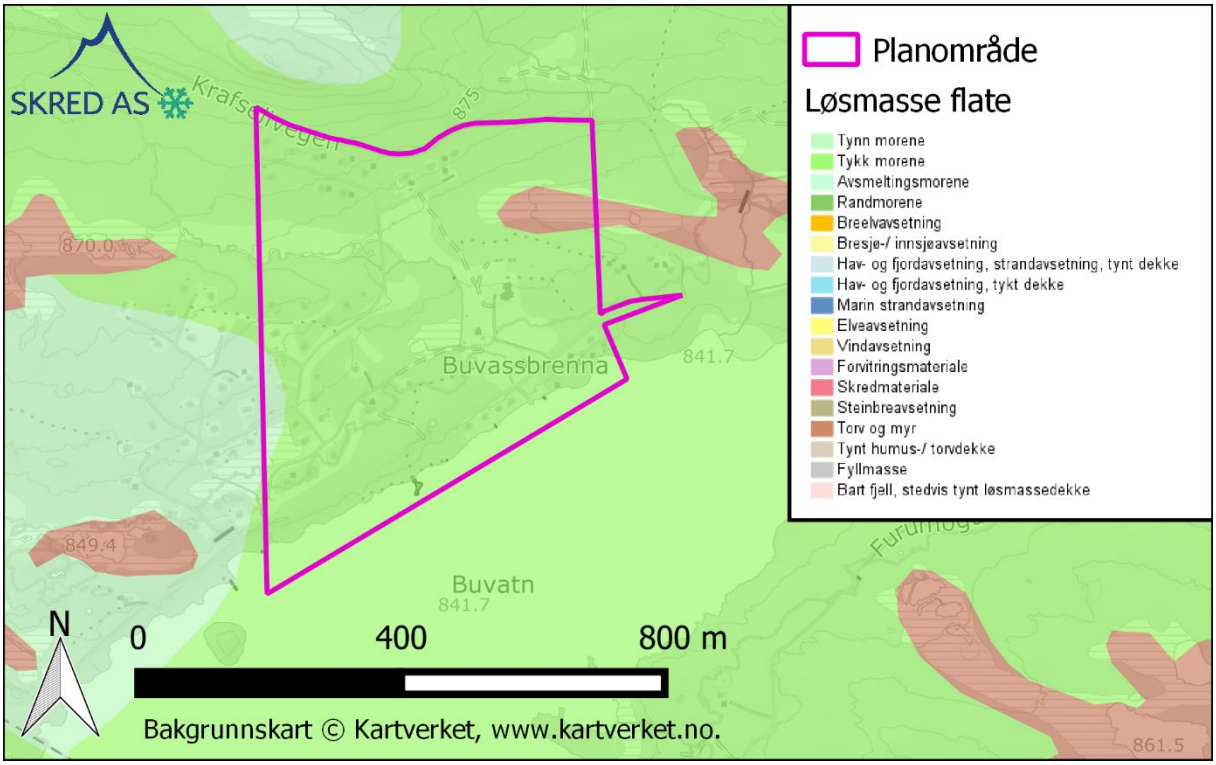
Figur 7: Stikkrenner (3) med samme topphøyde. Det største har diameter 600 mm, mens det minste er 300 mm.

Figur 8: Stikkrenne (4) med diameter 1000 mm.

270 meter nedstrøms utløpet fra Buvatnet er det en bru med et bruspenn på 4 meter. Terrenget nord for brua ligger lavere enn brudekket, så det forventes ikke at brua vil være avgjørende for vannstanden.

3.3 Grunnforhold

Området består ifølge NGU sitt løsmassekart av tykk morene med noe torv og myr (kartlagt i 1:100 000), se Figur 9. Området ligger over marin grense.



Figur 9: Løsmassekart, NGU

4 Flomberegning

4.1 Metode

Hvilke metoder som bør benyttes ved en flomberegning avhenger av flere forhold. Valg av metode må blant annet gjøres ut fra geografiske- og meteorologiske parametere, om det finnes målestasjoner i vassdraget eller i nærliggende vassdrag, kvalitet og lengde på eventuelle måleserier, samt det aktuelle nedbørfeltets størrelse og feltkarakteristika.

NVE sin veileder for flomberegninger (NVE, 2022) er lagt til grunn for beregning av dimensjonerende flommer.

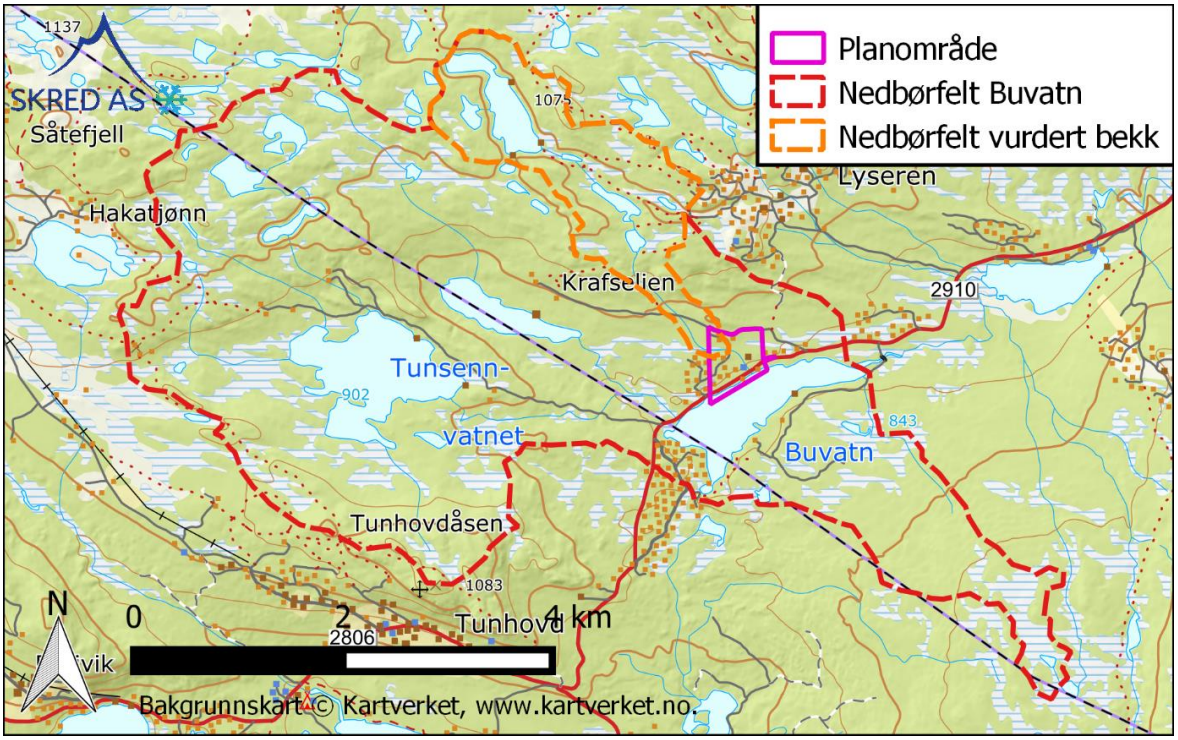
4.2 Beskrivelse av nedbørfelt

Mesteparten av nedbørfeltet til Buvatn drenerer mot sørøst, men omtrent 15 % ligger sør for Buvatn og drenerer nordover. Feltet til Buvatn er skogkledd, slakt og har mange mindre innsjøer, tjern og myrer, noe som gir høy effektiv sjøprosent og som gjør at det forventes en flomdempende effekt og treg avrenningskarakteristikk. Nedbørfeltet til bekken utgjør den nordøstre delen av nedbørfeltet til Buvatn. Feltene er ikke påvirket av regulering. Feltkarakteristika er vist i Tabell 2 og feltgrensene er vist i Figur 10.

Tabell 2: Feltkarakteristika til Buvatn og vurdert bekk.

Vassdrag	Feltareal [km²]	q_N* [l/s*km²]	Eff. sjø [%]	Skog [%]	Myr [%]	Høydeint. [moh.]
Buvatn	24,8	11,5	4,8 (inkl. Buvatn) 1,8 (tilløp)	72	15	840-1085
Vurdert bekk	3,0	13	6,1	74	11	862-1072

**fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-90.*



Figur 10: Feltgrensene til Buvatn og vurdert bekk.

4.3 Flomfrekvensanalyse

4.3.1 Målestasjoner

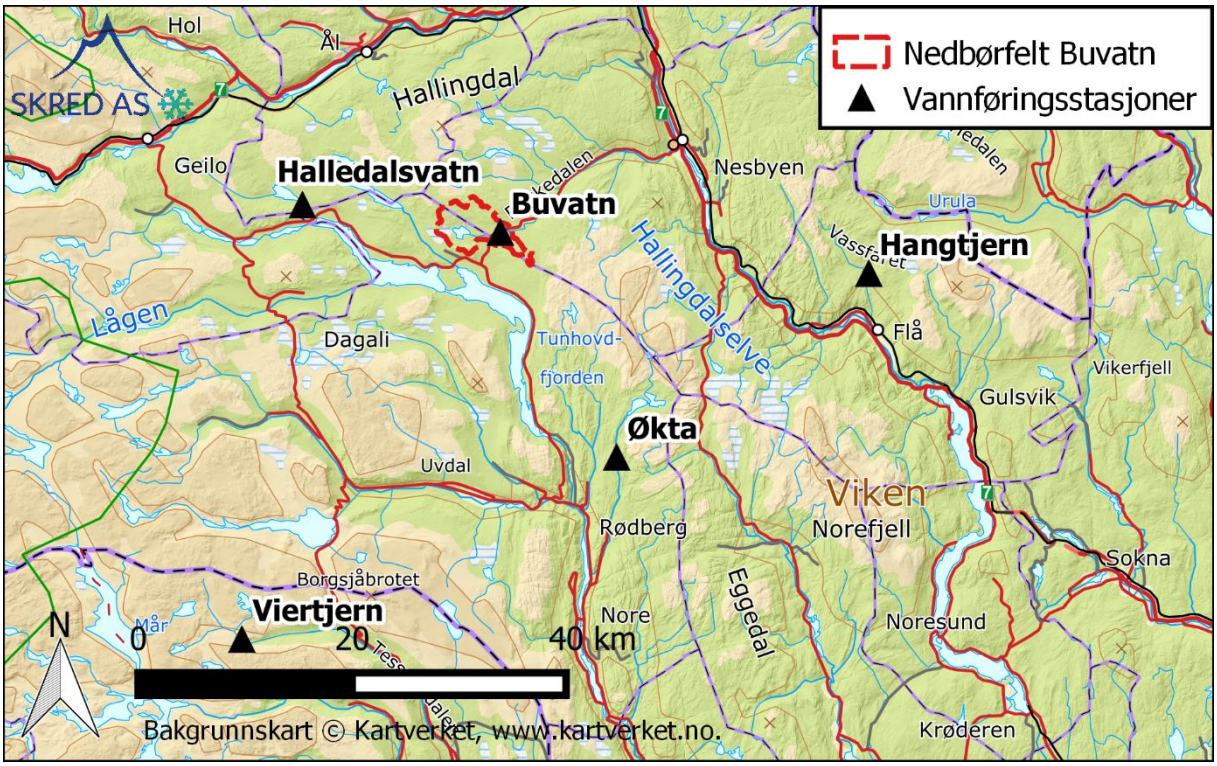
Det finnes en målestasjon i Buvatn, som vil være svært representativ for analysen. I tillegg er det funnet et utvalg målestasjoner som kan gi en indikasjon på flomforholdene.

I Tabell 3 er det gitt et utvalg målestasjoner, inkludert feltkarakteristika, som sammen kan gi en indikasjon på flomforholdene i det vurderte nedbørfeltet og gi grunnlag for lokal flomfrekvensanalyse. Det er valgt ut stasjoner som ikke er påvirket av regulering og hvor det foreligger et datagrunnlag med tilstrekkelig kvalitet. Middelavrenning (q_n) er beregnet basert på måleserien ved hver stasjon. Hypsografisk kurve til stasjonene er vist i Figur 12 og beliggenhet er vist i Figur 11.

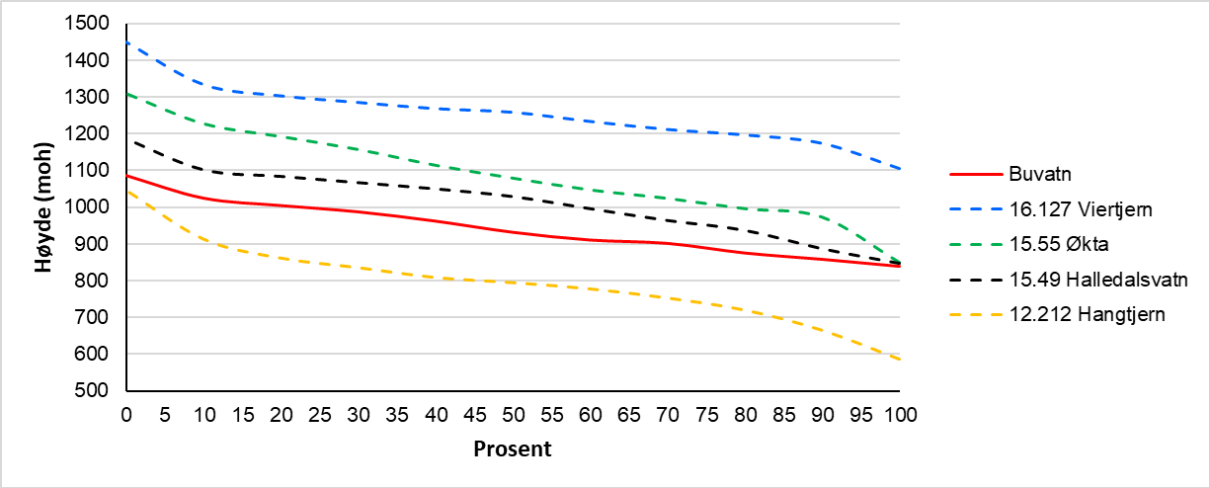
Tabell 3: Feltkarakteristika til utvalgte referansevassdrag.

Målestasjon	Feltareal [km²]	Måleperiode døgn [år]	q_N [l/s*km²]	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Snau-fjell [%]	Høydeint. [moh]
Buvatn	**24,8**	**-**	**11,5***	**4,8**	**72**	**0**	**840 - 1085**
Vurdert bekk	**3,0**	**-**	**13***	**6,1**	**74**	**0**	**862 - 1072**
12.150 Buvatn	25.1	1963-2020**	13.8	4.7	72	0	840 - 1085
12.212 Hangtjern	11.0	1986-2020	18.0	0.7	80	4	586 - 1047
15.49 Halledalsvatn	59.2	1962-2020	16	3.9	59	19	846-1185
15.55 Økta	48.8	1966-1981	15.6	4.2	25	49	849 - 1308
16.127 Viertjern	46.8	1978-2021**	25.0	1.7	0	88	1104 - 1450

fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961 – 90.* * noen år mangler*



Figur 11: Lokasjon til utvalgte målestasjoner.



Figur 12: Hypsografisk kurve til Buvatn og vurderte målestasjoner.

4.3.2 Valg av metode for flomfrekvensanalyse

Målestasjonen 12.150 Buvatn ligger i innsjøen, har målinger fra 1962 og er vurdert som middels kvalitet, og vil derfor være svært representativ.

Det er registrert findatamålinger ved 12.150 Buvatn fra starten i 1962. I praksis er serien hullete frem til 1971. Fra 1972 til 1987 virker serien å ha døgnoppløsning. På 90-tallet er det flere hele sesonger, men også noen der flomtoppen ser ut til å mangle. På 00-tallet mangler flere sesonger, mens det fra 2011 og fremover virker å være gode findatamålinger. I praksis betyr dette at det er færre enn 25 år med findata, mens det er mer enn 50 år med døgnmålinger. For nedbørfelt mindre enn 60 km^2 anbefaler NVE (2022) at følgende metoder for flomfrekvensanalyse sammenlignes:

Forenklet lokal + RFFA-NIFS

Forenklet lokal + RFFA-NIFS med forholdstall for kulminasjonsflom fra observasjoner

Flomfrekvensanalyse ved representative målestasjoner

Det er valgt å sammenligne forenklet lokal + RFFA-NIFS med observasjoner fra lokale stasjoner og RFFA-NIFS. Vekstfaktor fra RFFA-NIFS/2018 blir sammenlignet med resultater fra lokale stasjoner for verifikasjon.

4.3.3 Lokal flomfrekvensanalyse

Vannføringsmålinger fra de aktuelle målestasjonene er hentet ut og analysert gjennom NVE-databasen Hydra2. Det er gjort flomfrekvensanalyse av måleseriene på årsflommer. Kvaliteten til vannføringskurvene er gitt av NVE sin vurdering av aktuell kurve, noe som er avgjørende for kvaliteten til måledataene.

For hver måleserie er det gjort et valg av type frekvensfordeling basert på serielengde og frekvenskurven sin tilpasning til dataene. Tabell 4 presenterer analysene utført med Flom_analyse-programmet i Hydra II. Programmet tar utgangspunkt i årsflommer på døgndata. År med mer enn 10 % manglende dager fjernes i analysen.

Tabell 4: Resultater fra flomfrekvensanalyse på utvalgte måleserier, døgnmiddel.

Målestasjon	År	Middelflom		Q_{200}/ Q_M			Metode	Kurve-kvalitet (flom)
		Q_M [m³/s]	q_M [l/s*km²]	Nedre estimat	Middel-estimat	Øvre estimat		
12.150 Buvatn	51	3.6	144	1.86	2.29	2.69	GEV	Middels
12.212 Hangtjern	34	2.4	221	2.05	2.48	2.89	Gumbel	Usikker
15.49 Halledalsvatn	57	10.8	183	1.96	2.35	2.74	GEV	Usikker
15.55 Økta	14	8.6	175	2.01	2.79	3.52	Gumbel	Middels
16.127 Viertjern	37	13.7	293	1.91	2.34	2.76	GEV	Bra

4.3.3.1 Forholdstall mellom kulminasjons- og døgnmiddelflom

Når flomfrekvensanalysen er utført på døgndata må også kulminasjonsvannføring estimeres. NVE (2022) anbefales at forholdstallet mellom kulminasjonsflom og døgnmiddelflom anslås ved å vurdere en eller flere av de største flommene ved vassdraget eller nærliggende vassdrag.

Kulminasjonsfaktoren er oftest adskillig mindre i vassdrag med høy effektiv sjøprosent sammenlignet med vassdrag med liten effektiv sjøprosent. Buvatn har en høy effektiv sjøprosent, i likhet med 15.49 Halledalsvatn. Siden 12.150 Buvatn har middels kurvekvalitet ved flom, er forholdstallet også beregnet for 15.49 Halledalsvatn og 16.127 Viertjern. Det er ikke gode målinger på fin oppløsning ved 15.55 Økta.

Tabell 5 viser beregnede forholdstall.

Tabell 5: Beregnet forholdstall ved noen av de største flommene ved utvalgte målestasjoner.

Målestasjon	Dato	Døgn [m³/s]	Kulm. [m³/s]	Forholds-tall
12.150 Buvatn	19.05.66	6.1	7.1	1.16
	07.05.04	4.7	5.5	1.17
15.49 Halledalsvatn	19.05.17	15.8	18.6	1.18
	01.06.67	14	16.1	1.15
16.127 Viertjern	18.05.17	22	33	1.50
	28.04.19	16.3	22.8	1.40

Forholdstallet er betydelig større ved 16.127 Viertjern enn ved 12.150 Buvatn og 15.49 Halledalsvatn. De største flommene ved 12.150 Buvatn har oppstått om våren, noe som trolig er smelteflommer. Smelteflommer har vanligvis et mer moderat forholdstall. Forholdstallet for Buvatn settes til 1,17.

4.3.4 Regional flomfrekvensanalyse

4.3.4.1 RFFA-NIFS

I NVE (2015a) presenteres et nasjonalt formelverk for flomberegninger i nedbørfelt der feltareal er mindre enn 60 km². Inngangsparameterne til formelen er feltareal, midlere

avrenning og effektiv sjøprosent. Den største usikkerheten i formelverket er estimat av middelflom, og resulterende vekstkurve vurderes som robust for returperioder opp mot 200 år. Det betyr at et godt estimat av middelflom vil redusere usikkerheten i beregningene betraktelig.

Middelavrenning fått fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-1990 for Buvatn ligger noe under den målte middelavrenninga ved 12.150 Buvatn. Det er valgt å benytte den målte middelavrenninga for Buvatn, 13,8 l/s*km^2, samt å justere bekken opp til 15 l/s*km^2 i flomformelverket.

Resultatene gitt fra flomformelverket for små nedbørfelt er presentert i Tabell 6 og Tabell 7.

Tabell 6: Resultater fra RFFA-NIFS for Buvatn (kulminasjon). Eff. sjø-prosent er for tilløp.

Estimat	Middelflom		Q_{200}/Q_M	Q_{200} [m^3/s]
	Q_M [m^3/s]	q_M [l/s*km^2]		
Lav (2,5 %)	2.7	108		8.0
Middel	**5.4**	**216**	**2.99**	**16.0**
Høy (97,5 %)	10.7	433		32.0

Tabell 7: Resultater fra RFFA-NIFS for vurdert bekk (kulminasjon).

Estimat	Middelflom		Q_{200}/Q_M	Q_{200} [m^3/s]
	Q_M [m^3/s]	q_M [l/s*km^2]		
Lav (2,5 %)	0.4	117		1.1
Middel	**0.7**	**233**	**3.16**	**2.2**
Høy (97,5 %)	1.4	467		4.4

4.3.4.2 Forenklet lokal + RFFA-NIFS

Det er maksimalt mulig å legge inn 30 årsflommer i Nevina. Det er valgt å legge inn de 30 siste årsflommene fra kulminasjonsdata, siden det antas at målingene har vært med høyere presisjon enn tidligere.

Tabell 8: Resultater fra RFFA-NIFS med 30 årsflommer for Buvatn (kulminasjon).

Estimat	Middelflom		Q_{200}/Q_M	Q_{200} [m^3/s]
	Q_M [m^3/s]	q_M [l/s*km^2]		
Lav (2,5 %)	3.4	137		10.6
Middel	**3.9**	**157**	**3.13**	**12.2**
Høy (97,5 %)	4.5	181		14.0

4.3.4.3 RFFA-2018

Formelverket RFFA-2018 beregner medianflom, vekstkurver og forholdstall mellom kulminasjonsflom og døgnmiddelflom i umålte felt. Formelverket er utviklet for alle feltstørrelser, men for små felt (< 60 km^2) anbefales fortsatt RFFA-NIFS for returperioder til og med 200 år. Analysen gir døgnmiddelvannføring.

Spesifikk avrenning for Buvatn er satt til 13,8 l/s*km^2, som beregnet fra målestasjon 12.150 Buvatn. Resultatene gitt fra RFFA-2018 for Buvatn er presentert i Tabell 9 under.

Tabell 9: Resultater fra RFFA-2018 for Buvatn (døgnmiddel).

Estimat	Middelflom		Q_{200}/ Q_M	Q_{200} [m^3/s]	Q_{mom} / $Q_{døgn}$
	Q_M [m^3/s]	q_M [l/s*km^2]			
Lav (2,5 %)	2.4	100		5.5	**1.05**
Median	**4.2**	**170**	**2.64**	**11.0**	
Høy (97,5 %)	7.4	300		22.0	

4.4 Nedbør- avløpsmetoder

4.4.1 PQRUT

PQRUT er en nedbør-avløpsmodell som er utformet som en lineær karmodell. Modellen er en forenklet versjon av HBV-modellen. I NVE (2015a) er det gitt en beskrivelse av modellen og hvordan den kan benyttes i små nedbørfelt. Det er flere usikkerhetsmomenter som ligger i bruken av modellen for mindre felt, slik at usikkerheten i resultatene forventes å være stor.

Siden Buvatn både har smeltedominerte flommer og høy effektiv sjøprosent, vurderes det at resultatet fra PQRUT vil ha stor usikkerhet, spesielt sammenlignet med vannføringsmålestasjonen i feltet. Den vurderte bekken har et lite felt og høy effektiv sjøprosent, noe som gjør at PQRUT også for bekken vil være beheftet med stor grad av usikkerhet. Det er derfor valgt å ikke utføre flomberegninger med denne metoden.

4.4.2 Den rasjonale metode

Siden begge de vurderte nedbørfeltene er større enn 2 km^2 vurderes den rasjonale metoden som lite aktuell.

4.5 Klimaframskrivninger

I henhold til anbefalinger i NVE (2022) blir et klimapåslag på 40 % benyttet for bekken for å ta hensyn til forventet økning i flomstørrelser frem mot år 2100. Påslaget på 40 % gjelder generelt for alle nedbørfelt mindre enn 10 km^2. For Buvatn blir et klimapåslag på 20 % benyttet, som anbefalt i Klimaprofil Buskerud for Rukkedøla som Buvatn drenerer til (Norsk Klimaservicesenter, 2021) og NVE (2022).

4.6 Vurdering av resultater

4.6.1 Middelflom

Målestasjonen 12.150 Buvatn har 50 år med målinger i Buvatn, og er dermed svært representativ. Samtidig har kvaliteten blitt vurdert som middels, så den bør verifiseres mot andre målestasjoner.

12.212 Hangtjern har et mindre felt og lavere effektiv sjøprosent, som begge deler tilsier høyere spesifikke flommer.

15.49 Halledalsvatn har litt lavere effektiv sjøprosent, men dobbelt så stort areal. Den ligger på omtrent samme høyde, og i nærheten, og vurderes derfor som representativ. Måleserien er lang, men kurven er usikker, så det begrenser hvor mye vekt det kan legges på den.

15.55 Økta har også høy effektiv sjøprosent, dobbelt så stort areal noe som tilsier lavere spesifikke flommer. Samtidig har den relativt høy andel snaufjell, noe som gjør gir større spesifikke flommer. Kurven er av middels kvalitet, men måleserien er relativt kort, så vekstkurven bør ikke vektlegges.

16.127 Viertjern har lavere effekt sjøprosent og høy andel snaufjell, noe som gir rask avrenning og større spesifikke flommer. Til tross for at arealet er dobbelt så stort, så forventes det lavere spesifikk flom i Buvatn. Måleserien er relativt lang, og vurdert som god.

Fra målestasjonene vurderes en spesifikk middelflom på 140 - 180 l/s*km^2 som realistisk, som sammen med en kulminasjonsfaktor på 1,17 gir kulminert spesifikk middelflom på 160 - 210 l/s*km^2. Kulminasjonsfaktoren fra målestasjonen benyttes heller enn den fra RFFA-2018, siden den er basert på målinger i feltet. Øvre estimat for kulminert spesifikk middelflom fra målestasjonene tilsvarer middelestimatet fra flomformelverket for små felt (RFFA-NIFS), mens RFFA-2018 ligger noe under RFFA-NIFS. Forenklet lokal + NIFS gir 140-180 l/s*km^2 som spesifikk middelflom.

Bekken drenerer til Buvatn, og har et mye mindre felt. Det gjør at det forventes høyere spesifikke flommer. Samtidig har bekken enda høyere effektiv sjøprosent, noe som kan redusere effekten av mindre areal med tanke på rask avrenning. Flomformelverket gir 10-30 l/s/km^2 høyere spesifikk middelflom for bekken enn for Buvatn, og det kan virke rimelig.

4.6.2 Vekstfaktor

For vekstkurven er middelestimatet fra de mest relevante målestasjonene (12.150 Buvatn, 15.49 Halledalsvatn og 16.127 Viertjern) omtrent sammenfallende. De er lavere enn vekstkurven fra flomformelverket, som gir en høy vekstkurve fordi feltet har lav spesifikk avrenning og høy effektiv sjøprosent. For små felt anbefales RFFA-NIFS over RFFA-2018, som har en vekstkurve midt mellom de mest relevante målestasjonene og RFFA-NIFS. Det velges å benytte middelestimatet for vekstkurven for 12.150 Buvatn siden den er basert på en relativt lang måleserie, og den sammenfaller omtrent med vekstkurven for 16.127 Viertjern, der måleserien har god kvalitet.

Ifølge veilederen (NVE, 2022) er det lengden på måleserien og de klimatiske forholdene som er avgjørende, ikke feltegenskapene. Vekstkurven fra 12.150 Buvatn benyttes derfor også for bekken.

4.6.3 Sammenligning av resultater fra ulike metoder

Tabell 10: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metoder for Buvatn (kulm.).

Metode	q_m [l/s*km^2]	q_{200} [l/s*km^2]
Vurdert fra referansefelt	160 - 210	-
Formelverk for små nedbørfelt (RFFA-NIFS)	108 – 433 (216)	323 – 1295 (646)
Forenklet lokal + NIFS	137 – 181 (157)	429-557 (491)
Regional frekvensanalyse (RFFA-2018)	120 – 350 (200)	310 – 927 (525)
VALGT	210	480

4.7 Dimensjonerende vannmengder

Dimensjonerende vannmengder beregnet for Buvatn og vurdert bekk er gitt i Tabell 11 under.

Tabell 11: Dimensjonerende vannmengder med og uten klimapåslag (kulminasjon).

Vassdrag	Klimapåslag [%]	Middelflom		Q_{200}/Q_M	Q_{200} [m³/s]
		Q_M [m³/s]	q_M [l/s*km²]		
Buvatn	Ingen	5.2	210	2.29	11.9
	20 %	6.2	250	2.29	14.3
Vurdert bekk	Ingen	0.6	200	2.29	1.4
	40 %	0.8	280	2.29	1.9

4.8 Klassifisering av det hydrologiske datagrunnlaget for flomberegningen

Da det foreligger observasjoner i vassdraget med middels kvalitet og gradienten for spesifikke flomstørrelsen er relativt liten sammenlignet med relevante nærliggende vassdrag, vurderes det det hydrologiske grunnlaget for flomberegninger til klasse 2 (på en skala fra 1 – 5 der 1 er best). Det tilsvarer klassifiseringskriteriet «*Brukbart hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i eller nært vassdraget*».

4.9 Frekvensanalyse på vannstand ved 12.150 Buvatn

Programmet DAGUT i NVE-databsen Hydra II er benyttet for å utføre frekvensanalyse på vannstanden i Buvatn. På grunn av usikkerhet tilknyttet måleserien og høydegrunnlaget settes det opp en hydraulisk modell over utløpet av Buvatn som vurderes opp mot resultatene fra frekvensanalysen.

Tabell 12 viser resultatene fra frekvensanalysen.

Tabell 12: Frekvensanalyse på vannstand ved 12.150 Buvatn.

Målestasjon	Måleserie	År	Metode	H_M [moh.]	H_{200} [moh.]
12.150 Buvatn	Vannstand NN2000	1963-2020	GEV (l-mom)	842,38	842,52

5 Hydraulisk modellering

5.1 Metode

I beregning av vannlinje og hydrauliske parametere er programvaren Hec-Ras versjon 6.1 benyttet. De viktigste inngangsparameterne til Hec-Ras modellen er geometri (terrengmodell, grid, elvebanker og konstruksjoner), ruhet, grensebetingelser og vannføring. For å best mulig vurdere strømningsforholdene er en 2-dimensjonal-modell vurdert hensiktsmessig.

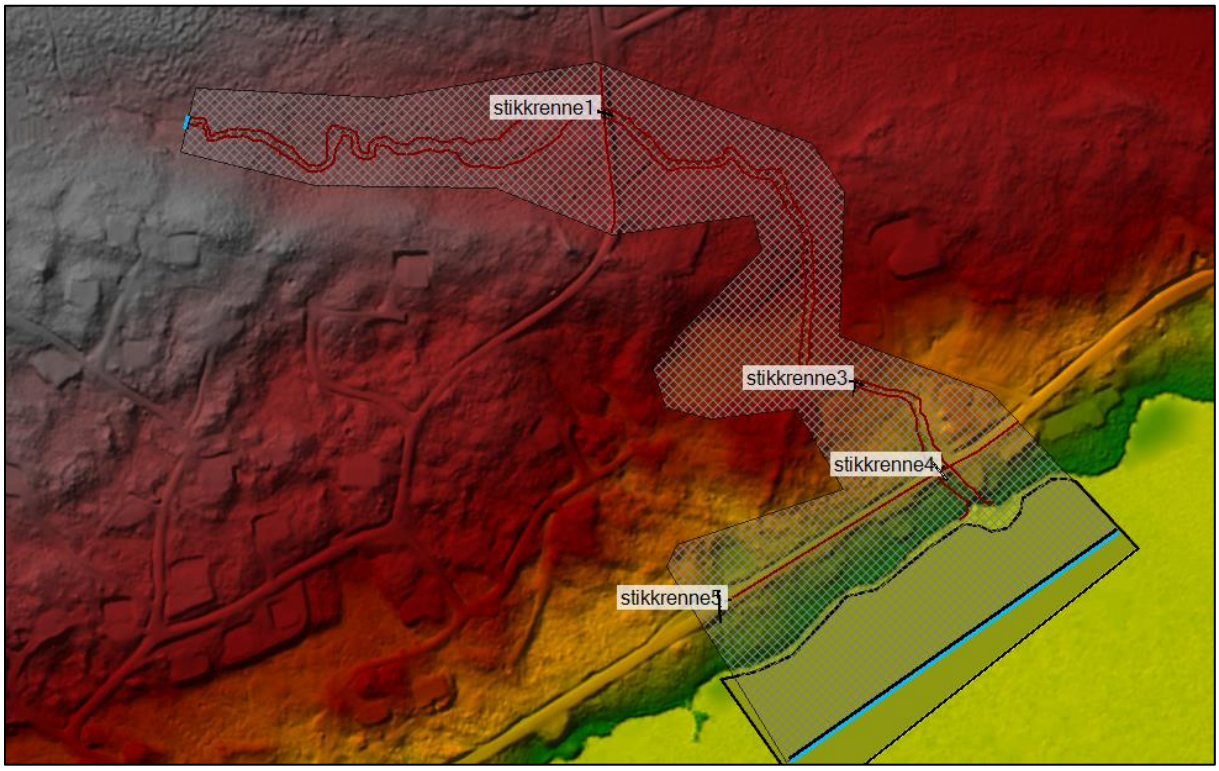
5.2 Bekken gjennom planområdet

5.2.1 Modelloppsett

Basert på bakkepunkter fra LiDAR-data av området fra 2018 (NDH Tunhovd-Dagali-Geilo-Haugastøl 5pkt) er det etablert en terrengmodell med horisontal oppløsning på 0,5 x 0,5 meter. I henhold til NVE sine anbefalinger (NVE, 2016) benyttes 1-års vannstand i Buvatn som nedre grensebetingelse. Det er ikke mulig å benytte klimapåslag direkte på en vannstand, så effekten av økt vannstand er undersøkt i sensitivitetsanalysen. Benyttede parametere i modellen fremkommer av Tabell 13. Terrengmodell, benyttet beregningsgrid og plassering av grensebetingelser er illustrert i Figur 13.

Tabell 13: Parametere benyttet i Hec-Ras modell for vurdert bekk.

Parameter	Verdi
Oppløsning på terrengmodell	0,5 x 0,5 meter
Oppstrøms grensebetingelse	Normalstrømning
Nedstrøms grensebetingelse	Fast vannstand i Buvatn, H_M = 842,38 moh.
Cellestørrelse beregningsgrid	2 x 2 meter
Likningssett	Full momentum
Tidsskritt	Gitt av courant-number mellom 0,1 og 1,0
Manningstall	20



Figur 13: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser for bekken.

5.2.1.1 Konstruksjoner

Stikkrennene med diameter 600 mm eller større er lagt inn i den hydrauliske modellen som kulverter. De mindre stikkrennene er ikke lagt inn siden det er mer sannsynlig at den tilstoppes under flom.

5.2.2 Modellert fremtidig 200-årsflom

For en fremtidig 200-årsflom viser modelleringen at vann vil stuves opp foran Buvassvegen og drar over vegen omtrent 40 meter sør for bekkeløpet. Videre nedover vil vann renne langs bekken over en bredde på omtrent 20 meter, og fylle myra midt i planområdet. Stikkrennene under Rukkedalsvegen (i bekken og 160 meter vestover) har relativt god kapasitet for dimensjonerende flom, men siden veggrøfta har god kapasitet og Rukkedalsvegen cirka 80 meter vest for bekken ligger lavere enn topp stikkrenne, så drar noe vann over vegen og mot hyttene på nedsiden.

5.2.3 Sensitivitetsanalyse

Da vi ikke har tilgang på kalibreringsdata er det gjennomført en sensitivitetsanalyse av modellen. I sensitivitetsanalysen er vannføringen økt med 20 % og ruheten økt med 20 %. Vannstanden i Buvatn er økt til 842,45 moh., midt mellom middelflomvannstand og 200-årsflomvannstand beregnet i Tabell 12. I tillegg er modellen kjørt med blokkerte stikkrenner.

Både økning i vannføring med 20 %, økning av ruhet med 20 % og økt vannstand i Buvatn har minimal påvirkning på oversvømt areal. Økning i vannføring gir mer vann mot hyttene

mellom Rukkedalsvegen og Buvatn. Ved blokkerte stikkrenner vil alt vannet dra mot hyttene nedstrøms Rukkedalsvegen.

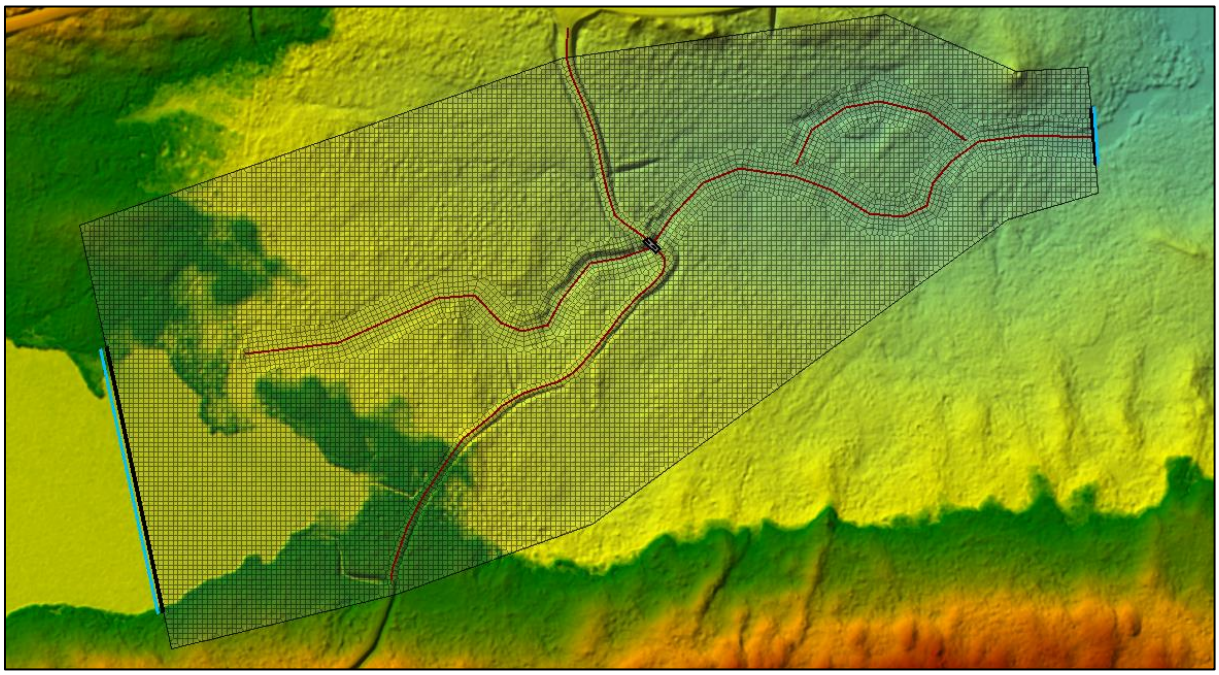
5.3 Utløpet av Buvatn

5.3.1 Modelloppsett

Samme terrengmodell som i planområdet er benyttet. Benyttede parametere i modellen fremkommer av Tabell 13. Terrengmodell, benyttet beregningsgrid og plassering av grensebetingelser er illustrert i Figur 13.

Tabell 14: Parametere benyttet i Hec-Ras modell for utløpet av Buvatn.

Parameter	Verdi
Oppløsning på terrengmodell	0,5 x 0,5 meter
Oppstrøms grensebetingelse	Normalstrømning
Nedstrøms grensebetingelse	Normalstrømning
Cellestørrelse beregningsgrid	3 x 3 meter
Likningssett	Full momentum
Tidsskritt	Gitt av courant-number mellom 0,1 og 1,0
Manningstall	20



Figur 14: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser.

5.3.1.1 Konstruksjoner

Brua 270 meter nedstrøms utløpet forventes ikke å påvirke oppstrøms vannlinje ved flom fordi terrenget ved siden av ligger lavere enn brudekket. Brua er derfor modellert åpen.

5.3.2 Modellert fremtidig 200-årsflom

For en fremtidig 200-årsflom viser modelleringen en vannstand i Buvatn på 842,64 moh. Terrenget er ganske flatt og bredt ved nedstrøms ende av Buvatn slik at vannet kan fylle en

stor bredde, noe som begrenser vannstandsstigninga. Noe vann drar østover fra sørenden av vannet, og krysser vegen. Vegen nord for brua ligger lavere enn brudekket, så brua går ikke full.

5.3.3 Sensitivitetsanalyse

Siden det både finnes vannstand- og vannføringsmålinger i Buvatn, fra målestasjonen 12.150 Buvatn, er modellen testet. 17. mai 2013 ble det målt flom (kulminerte på 6,33 m^3/s) med tilhørende vannstand 842,52 moh. (omregnet til NN2000 ved sammenligning av gjennomsnitt fra relativ og absolutt måleserie på døgndata). I modellen gir denne vannføringen en vannstand i Buvatn (842,51 moh.) som er tilnærmet lik den målte. Modellen virker dermed rimelig representativ. Siden det er noe usikkerhet knyttet til målestasjonen og flomberegningen generelt, er det fremdeles valgt å utføre en sensitivitetsanalyse av modellen. I sensitivitetsanalysen er vannføringen økt med 20 % og ruheten økt med 20 %.

Øking i vannføring med 20 % gir en økning i vannstand på 3 cm, mens økning i ruhet med 20 % gir en økning i vannstand på 2 cm.

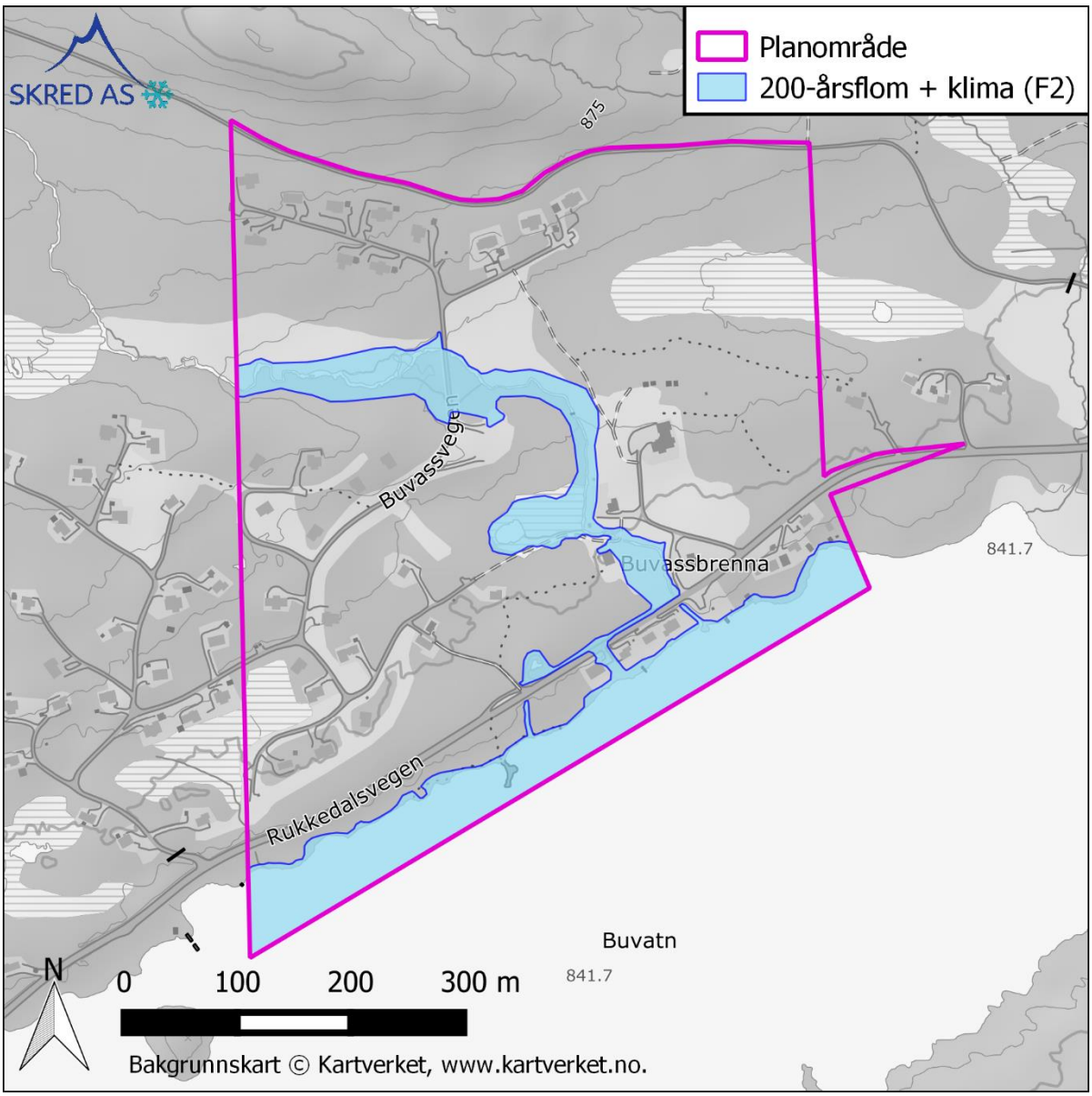
Den modellerte fremtidige 200-årsflommen ligger 12 cm over vannstanden som frekvensanalysen viser. Frekvensanalysen er uten klimapåslag, og bør derfor være noe lavere. Kvaliteten på målingene ved 12.150 Buvatn er klassifisert som middels, og det er generelt mer usikkerhet knyttet til frekvensanalyse ved høye gjentaksintervall. Den modellerte vannstanden benyttes derfor til fastsettelse av dimensjonerende vannstand.

6 Faresoner for flom

Basert på resultater fra modelleringen og analysene er det tegnet opp faresone for flom for det vurderte området. Faresonen viser hvilke områder som vurderes utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/200 i år 2100, som tilsvarer sikkerhetsklasse F2 i TEK17.

Faresonen langs bekken er en konsekvens av at terrenget er slakt, og bekken får bre seg ut. Faresonen nedstrøms Rukkedalsvegen skyldes at vegen er lavere enn topp stikkrenne, slik at vann vil dra over vegen før stikkrenna går full. Dimensjonerende 200-årsvannstand i Buvatn er 842,7 moh. Ved etablering av bebyggelse innenfor sonen langs Buvatn anbefales det å benytte en ekstra sikkerhetsmargin på minimum 0,1 meter.

Faresonen fremkommer av Figur 15.



Figur 15: Faresone som viser områder utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/200 i år 2100 (sikkerhetsklasse F2).

7 Vurdering av erosjonssikkerhet

7.1 Erosjonssikkerhet

I henhold til krav i TEK17 §7-2 (4) skal byggverk plasseres eller sikres slik at det ikke oppstår skade ved erosjon. Under befaringen ble det ikke påvist skader eller pågående utgraving langs bekken. Bekken er slak, og modelleringa viser lave vannhastigheter. For dagens situasjon vurderes erosjonssikkerheten som tilstrekkelig.

8 Risikoreduserende tiltak

Ny bebyggelse bør i utgangspunktet plasseres utenfor faresonen for flom. Dersom det skal etableres ny bebyggelse innenfor faresonen som faller inn under sikkerhetsklasse F2 må det utføres risikoreduserende tiltak. Tiltak kan enten ha som mål å redusere faresonen, eller at byggverk dimensjoneres på en måte slik at det ikke tar skade ved dimensjonerende flom.

De nye tomtene ligger utenfor faresonen, så det vurderes som lite aktuelt med tiltak for dem.

For det berørte bygget 60 meter oppstrøms Rukkedalsvegen kan et aktuelt tiltak være å oppgradere stikkrenne 3 til 2 x 1000 mm eller fjerne stikkrennene og anlegge klopp over bekkeløpet. Dersom det anlegges klopp må det forventes at selve kloppen kan bli skadet eller vasket vekk ved store flommer. For de berørte tomtene nedstrøms Rukkedalsvegen vil det mest aktuelle tiltaket være å legge et parallelt rør på 1000 mm i tillegg til det som ligger der i dag.

9 Konklusjon

Dimensjonerende 200-årsflom i vurdert bekk, inkludert et klimapåslag på 40 %, er beregnet til 1,9 m^3/s. Det er etablert en hydraulisk modell av vurdert bekk med omliggende områder. Modelleringen viser at vann vil dra ut i terrenget langs bekken. Vann vil også dra over Rukkedalsvegen fordi vegen ligger lavere enn topp stikkrenne.

Dimensjonerende 200-årsflom i Buvatn, inkludert et klimapåslag på 20 %, er beregnet til 14,3 m^3/s. Det er etablert en hydraulisk modell av utløpet. Modellen er kalibrert mot måledata, og viser at dimensjonerende vannstand er på 842,7 moh. Ved Buvatn anbefales en sikkerhetsmargin på 0,1 meter.

Basert på resultater fra modelleringen og analysene er det tegnet opp faresone for flom for det vurderte området. Faresonen viser hvilke områder som vurderes utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/200 i år 2100, som tilsvarer sikkerhetsklasse F2 i TEK17.

Ny bebyggelse bør i utgangspunktet plasseres utenfor faresonen for flom, og de nye tomtene i planen ligger utenfor faresonen.

For dagens situasjon vurderes erosjonssikkerheten tilstrekkelig etter kravene i TEK17.

10 Referanser

DiBK. (2018). *Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK 17).*

MET. (2015). *24/2015: Dimensjonerende korttidsnedbør.*

Norsk Klimaservicesenter. (2021, januar). Hentet fra Klimaprofil Buskerud: https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/buskerud

NVE. (2015a). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt.*

NVE. (2016). *Kravspesifikasjon for flomsonekartlegging på oppdrag for NVE.*

NVE. (2022). *Veileder for flomberegninger. Veileder 1/2022.*

SINTEF. (1992). *STF60 A92101 - Flomberegning og Kulvertdimensjonering.*