

Oppdragsgiver	Navn Hegmo AS	Kontaktperson Egil Vilhelmshaugen
Oppdrag	Nummer og navn 19199 Sigdal, Haglebu - Flomfarevurdering	Oppdragsleder Petter Reinemo
Dokument	Nummer 19199-01-1 Utført av Lars Eid Nielsen	Dato 2019-06-04 Kontrollert av Petter Reinemo

Flomfarevurdering

Sammendrag

Det er utarbeidet faresoner for planområdet til Haglebutunet, (GBnr. 167/72 m, fl.) for dimensjonerende fremtidig flomhendelser i elva Flenta iht. krav til bygg i sikkerhetsklasse F1 og F2 i TEK 17 §7-2. Faresonene er begrenset til areal langs Haglebuveien. Ved utnyttelse av areal mellom Haglebuveien og Flenta må det sikres at elvekant erosjonssikres på byggeplannivå.

Dimensjonerende flom for bekken gjennom planområdet er beregnet til 0,7 m³/s. Det er indikert minimum dimensjoner av bekkeløp og stikkrenner for en trygg håndtering av bekken. Grunnet fare for tilstopping og størrelse av nødvendige dimensjoner anbefales det å sikre et alternativt flomløp som sikrer at vann på avveie finner veien tilbake i bekkeløpet uten å gjøre skade på omliggende bebyggelse. Nødvendig strømningsverrsnitt for et alternativt flomløp er beregnet til 1,0 m². Ved sikring av alternativt flomløp vil dimensjoner av bekkeløp og kulverter kunne reduseres.

Innhold

1	Innledning	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Befaring	6
1.3	Forbehold	6
2	Krav til sikkerhet	7
2.1	Lowverket	7
2.2	Flom	7
2.2.1	Aktuelle krav	8
3	Beskrivelse av området og elveløp	9
3.1	Planområde	9
3.2	Flenta	9
3.3	Bekk gjennom planområdet	10
4	Flomvurdering Flenta	13
4.1	Flomberegning	13
4.1.1	Metode	13
4.1.2	Beskrivelse av nedbørfelt	13
4.1.3	Målestasjoner og flomfrekvensanalyse	14
4.1.4	Flomformelverk	17
4.1.5	PQRUT	18
4.1.6	Klimaframskrivninger	19
4.1.7	Vurdering av resultater	19
4.1.8	Dimensjonerende flommer	19
4.2	Hydraulisk modellering	20
4.2.1	Metode	20
4.2.2	Oppsett av modell	20
4.2.3	Modellert av fremtidig 20-årsflom	21
4.2.4	Modellert av fremtidig 200-årsflom	21
4.2.5	Sensitivitetsanalyse	21
4.3	Faresoner for flom	22
4.4	Vurdering av erosjonssikkerhet	23
5	Vurdering av bekk gjennom planområdet	24
5.1	Flomberegning	24
5.1.1	Nedbørfelt	24
5.1.2	Beregning med utvalgte metoder	24
5.1.3	Klimapåslag	25
5.1.4	Dimensjonerende vannmengder	25
5.2	Håndtering av bekk gjennom planområdet	25
5.2.1	Generelt	25
5.2.2	Grøftetverrsnitt	25

5.2.3	Dimensjon stikkrenner	26
5.2.4	Sikring av flomveier	26
6	Konklusjon	29
7	Referanseliste	30

Figurer

Figur 1: Lokaliseringen av vurdert planområde ved Haglebu i Sigdal kommune.	6
Figur 2: Planområde.	9
Figur 3: Oversiktsbilder Flenta fra befarings.....	10
Figur 4: Kryssing Haglebuveien oppstrøms (v) og nedstrøms (h) side	10
Figur 5: Kryssinger vest for Haglebuveien.	10
Figur 6: Omlegging av bekk gjennom området	11
Figur 7: Oversiktsfoto bekkeomlegging ved befaringsstidspunkt	11
Figur 8: Utførelse av bekkeomlegging, øvre del.....	12
Figur 9: Utførelse av bekkeomlegging, nedre del	12
Figur 10: Feltgrensene til vurderte vassdrag.....	14
Figur 11: Lokasjon til utvalgte målestasjoner.	15
Figur 12: Hypsografisk kurve for Flenta og utvalgte målestasjoner.	16
Figur 13: Resultater fra PQRUT for Flenta, 200-årsflom.	18
Figur 14: Illustrasjon av terrengmodell og beregningsgrid for planområdet.	20
Figur 15: Modellrepresentasjon bru Haglebuveien	21
Figur 16: Modellrepresentasjon bru innkjørsel camping	21
Figur 17: Faresone som viser områder utsatt for flom i Flenta med en årlig sannsynlighet større enn 1/20 i år 2100 (sikkerhetsklasse F1).	22
Figur 18: Faresone som viser områder utsatt for flom i Flenta med en årlig sannsynlighet større enn 1/200 i år 2100 (sikkerhetsklasse F2).	23
Figur 19: Identifiserte feltgrenser til vurdert bekk.....	24
Figur 20: Anbefalt minimumstverrsnitt for bekk gjennom planområdet, for å sikre kapasitet for en fremtidig 200-årsflom.	26
Figur 21: Konsept alternativ flomvei gjennom planområdet.....	27
Figur 22: Generelt prinsipp strømningsstverrsnitt flomveier	27

Tabeller

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggt teknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2016).	7
Tabell 2: Feltkarakteristika til vurderte vassdrag.	13
Tabell 3: Feltkarakteristika til utvalgte referansevassdrag.	14
Tabell 4: Resultater fra flomfrekvensanalyse på årsflommer, frekvensfordeling.	16
Tabell 5: Forholdstall mellom kulminasjon- og døgnmiddel vannføring ved utvalgte referansevassdrag.	17
Tabell 6: Resultater fra flomformelverk for små nedbørfelt.....	18
Tabell 7: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metode (kulm.).	19
Tabell 8: Dimensjonerende flommer i Flenta ved planområdet.....	19
Tabell 9: Parametere benyttet i Hec-Ras modell for Flenta.....	20
Tabell 10: Feltkarakteristika til bekk gjennom planområdet	24
Tabell 11: Resultater fra flomformelverk for små nedbørfelt.....	25

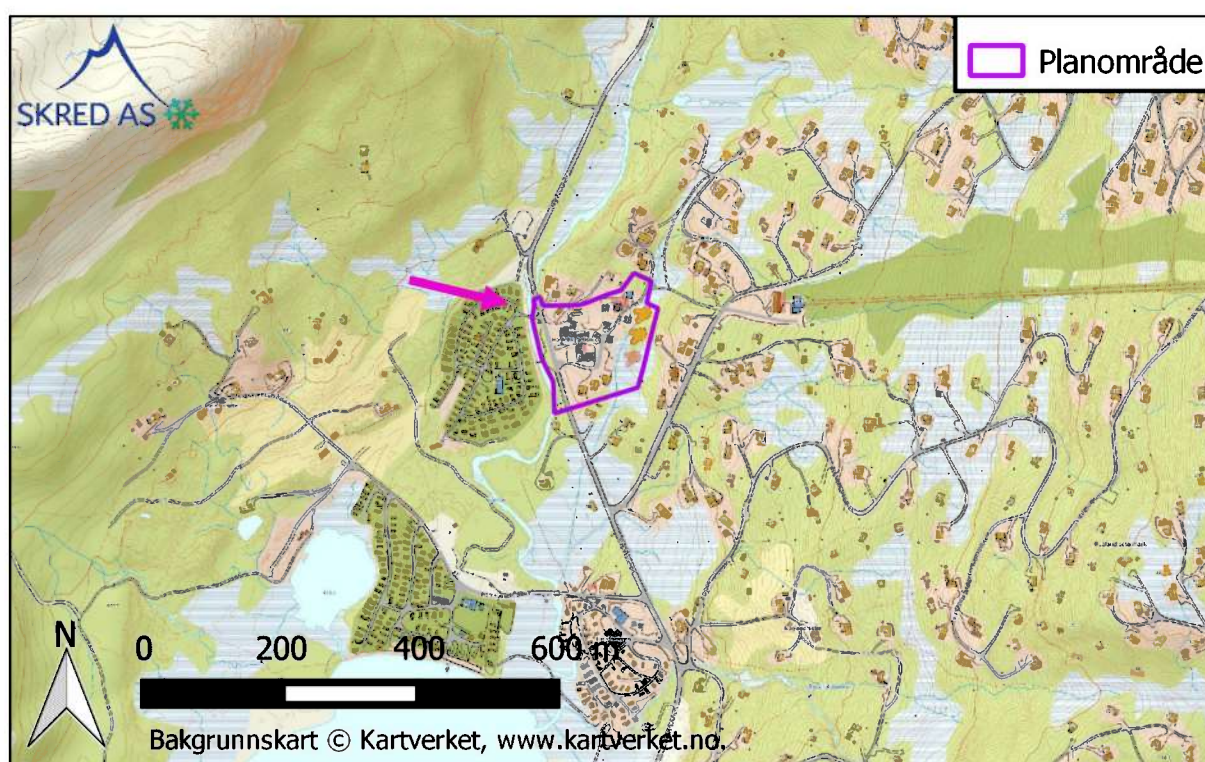
Tabell 12: Dimensjonerende 200-årsflom for bekken gjennom planområdet.	25
Tabell 13: Forutsetninger for kapasitetsbetraktning bekk.....	26
Tabell 14: Resultater kapasitetsbetraktning bekk.....	26

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I forbindelse med detaljreguleringsplan for Haglebutunet, (GBnr. 167/72 m, fl.) i Sigdal Kommune har Skred AS blitt forespurt om å gjennomføre en detaljert flomfarekartlegging av planområdet. Planområdet ligger innenfor NVEs aktsomhetszone for flom, der elva Flenta utgjør en potensiell flomfare. I Fylkesmannen sin uttalelse til varsel om oppstart av planarbeidet påpekes det at en mindre bekk som renner gjennom planområdet, og som kan bli flyttet, må håndteres tilstrekkelig. Denne bekken inngår også i arbeidet.

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 vurdert planområde ved Haglebu i Sigdal kommune.

1.2 Befaring

Befaring av området og nærliggende vassdrag ble utført 29.04.2019 av Lars Eid Nielsen (Skred AS). Det var klarvær, tilnærmet bar bakke og generelt gode befaringsforhold.

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 Lowerket

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, 2017).

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2016).

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.

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.

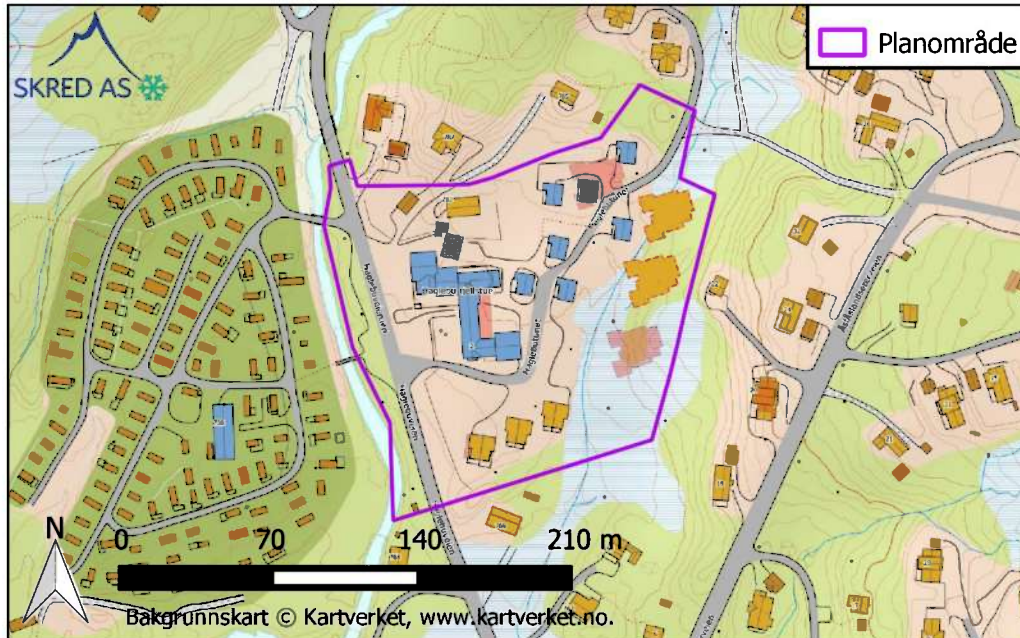
2.2.1 Aktuelle krav

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 F1 og F2 aktuelt for planområdet.

3 Beskrivelse av området og elveløp

3.1 Planområde

Det vurderte planområdet utgjør området mellom Flenta i vest og Åslandseterveien i øst, hvor det er de nedre delene som vurderes for flomfare. Vurdert planområde er vist i Figur 2.



Figur 2: Planområde.

3.2 Flenta

Elva Flenta renner langs den vestre kanten av planområdet. Elva har en jevn og slak gradient. Ifølge NGU sitt løsmassekart består store deler av området av elveavsetninger. Elvebunn består av en blanding sand, grus og avrundede steiner der størrelsen avtar nedover i elveløpet. Det kan forventes en moderat friksjon fra elveløpet mot vannmassene under flom.

Oversiktsbilde over Flenta fra befaring er vist i Figur 3. I tilknytning til planområdet krysses Flenta av Haglebuveien som vist i Figur 4, samt to mindre bruer for tilkomst til campingplassen mot vest som vist i Figur 5.



Figur 3: Oversiktsbilder Flenta fra befarig.



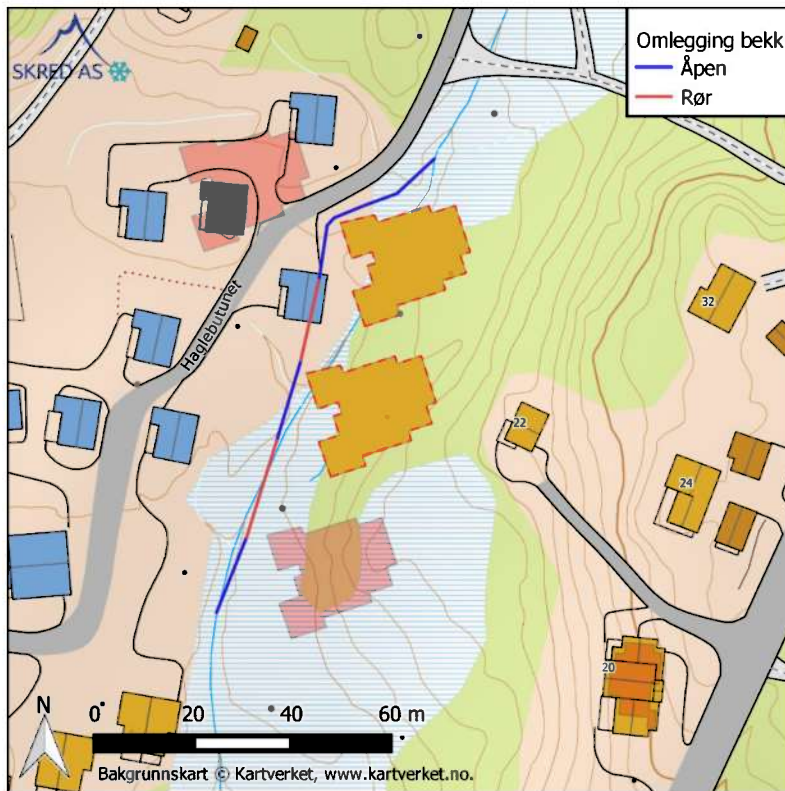
Figur 4: Kryssing Haglebuveien oppstrøms (v) og nedstrøms (h) side



Figur 5: Kryssinger vest for Haglebuveien.

3.3 Bekk gjennom planområdet

Som del av de planlagte tiltakene i planområdet er en liten bekk gjennom området lagt om over en strekning på ca. 100 m. Bekken er for to strekk på hhv. 17 og 20 m lagt i rør under tilkjørsler og oppstillingsplasser. Trase for bekkeomlegging i forhold til opprinnelig terreng er vist i Figur 6, bilder av bekken slik den var omlagt ved befaringstidspunktet er vist i Figur 7, Figur 8 og Figur 9.



Figur 6: Omlegging av bekk gjennom området



Figur 7: Oversiktsfoto bekkeomlegging ved befaringstidspunkt



Figur 8: Utførelse av bekkeomlegging, øvre del



Figur 9: Utførelse av bekkeomlegging, nedre del

4 Flomvurdering Flenta

4.1 Flomberegning

4.1.1 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. Metodene benyttet i flomberegningene er beskrevet under.

Retningslinjer for flomberegninger (NVE, 2011), *Veileder for flomberegninger i små nedbørfelt* (NVE, 2015a) og *Anbefalte metoder for flomberegninger i små uregulerte felt* (NVE, 2015b) er lagt til grunn for flomberegningen.

4.1.1.1 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.

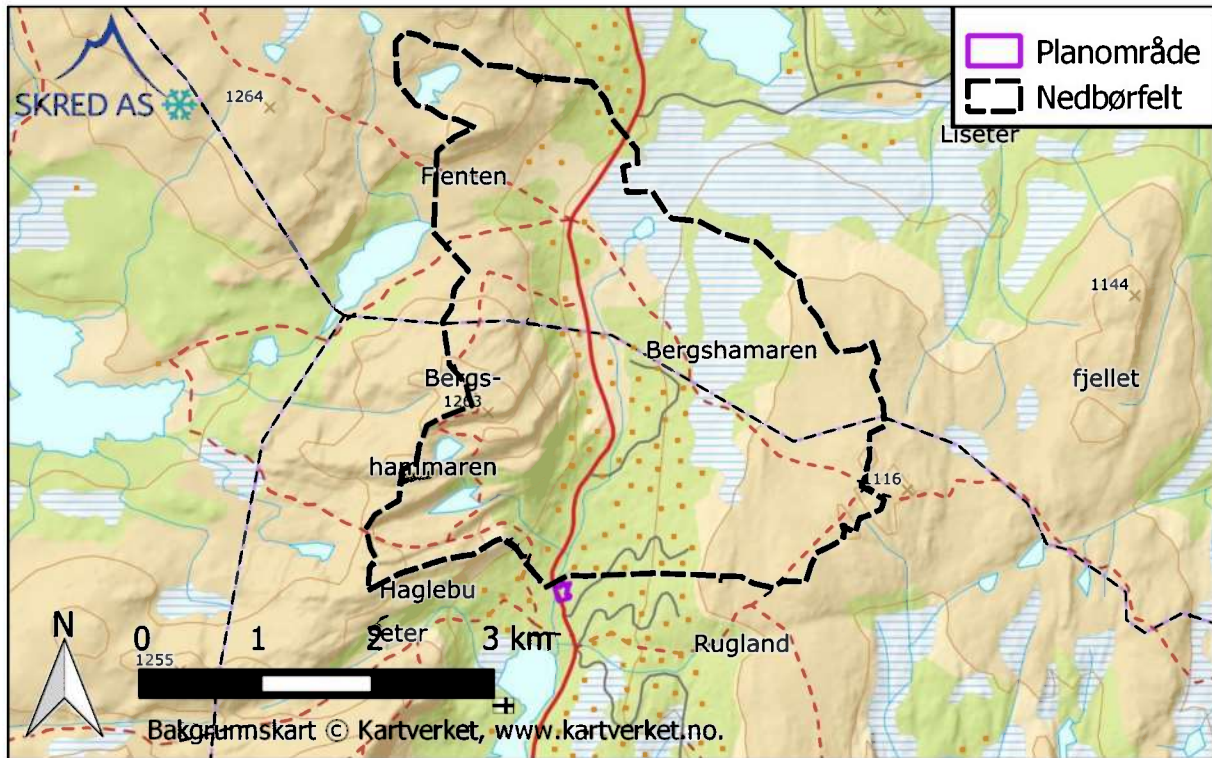
4.1.2 Beskrivelse av nedbørfelt

Flenta drenerer sørover mot Haglebuvatnet og avgrenses av vannskillet mot Hallingdal. Nedbørfeltet består av en blanding mellom myr, skog og snaufjell. Myrområdene vil i normalsituasjoner kunne holde igjen større vannmengder, mens i ekstremsituasjoner kan myrene være mettet med vann som gir en raskere avrenningskarakteristikk. Det er få tjern i feltet som bidrar med naturlig flomdempning.

De største flommene forventes, basert på analyse av målestasjoner i området, å opptre på våren ved en kombinasjon av nedbør og snøsmelting. Større høstflommer kan også forekomme. Feltkarakteristika for Flenta er vist i tabell 2 og feltgrensene er vist i figur 10.

Tabell 2: Feltkarakteristika til vurderte vassdrag.

Vassdrag	Feltareal [km ²]	qN [l/s*km ²]	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Myr [%]	Snaufjell [%]	Høydeint. [moh]
Flenta	12,9	24	0,1	32	14	36	810 - 1266



Figur 10: Feltgrensene til vurderte vassdrag.

4.1.3 Målestasjoner og flomfrekvensanalyse

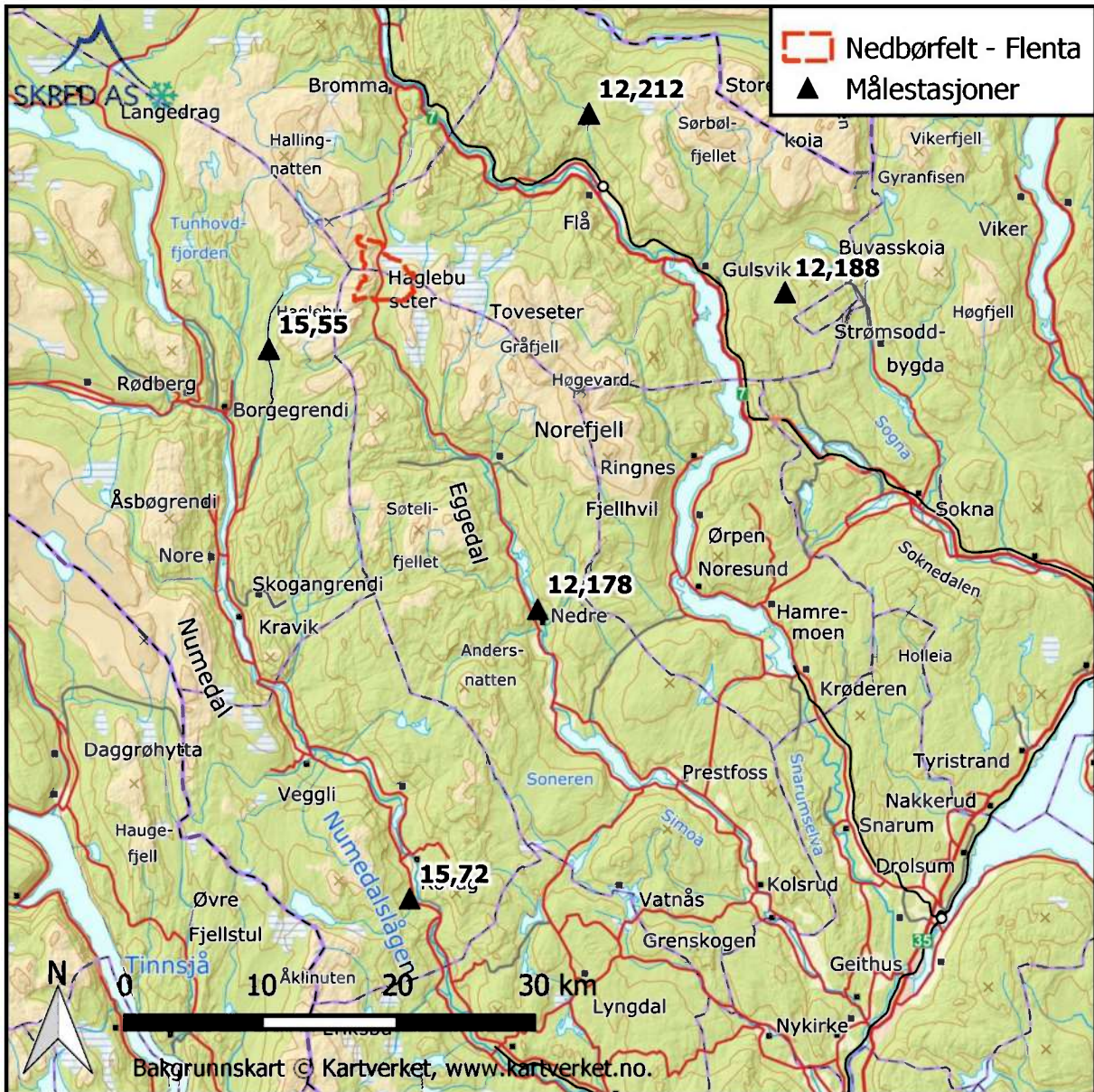
Det foreligger ingen kjente målinger av flomvannføring i Fenta eller øvre del av Haglebuelva. Det er derfor funnet et utvalg målestasjoner, med tilsvarende karakteristikk, som sammen kan gi en indikasjon på flomforholdene. Beliggenhet til stasjonene er vist i figur 11.

Feltkarakteristika til de utvalgte stasjonene er gitt i tabell 3. Hypsografisk kurve for Fenta og målestasjonene er vist i figur 12.

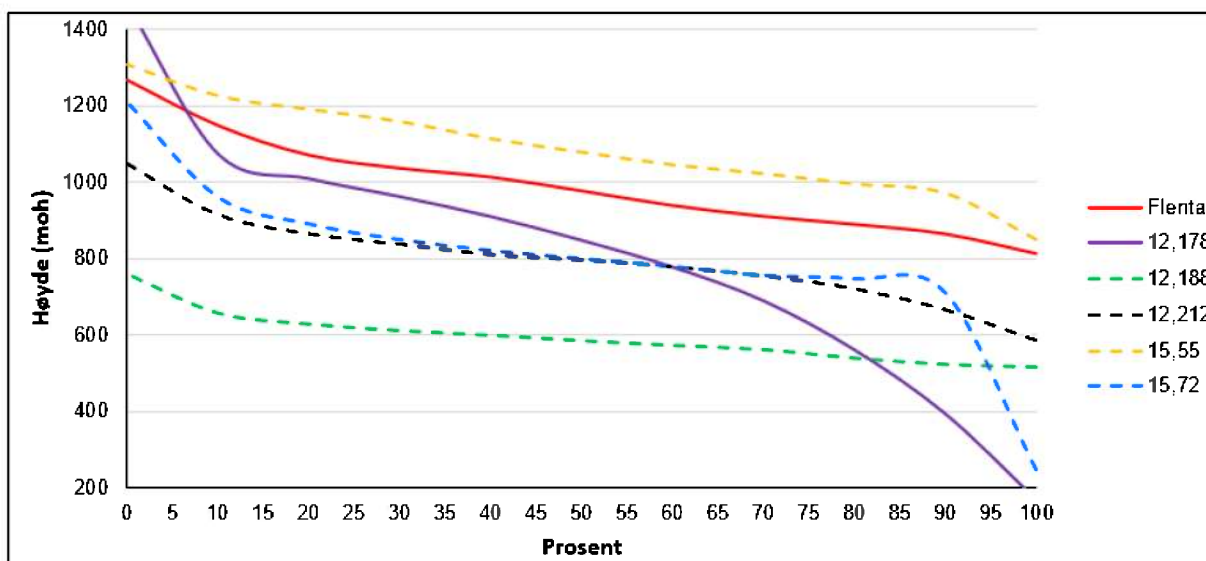
Tabell 3: Feltkarakteristika til utvalgte referansevassdrag.

Målestasjon	Areal [km ²]	Måleper. [år]	q _N [l/s*km ²]	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Myr [%]	Snau-fjell [%]	Høydeint. [moh]
Fenta	12,9	-	24*	0,1	32	14	36	810 - 1266
15.55 Økta	49.4	1966 - 81	16	4,0	25	10	50	851 - 1308
15.72 Sørkja	36.3	1979 - 93	25	5,4	65	10	10	246 - 1209
12.188 Langtjernbekk	4.81	1973 -dd	20	4,9	85	5	0	518 - 758
12.212 Hangstjern	11.6	1986 -dd	17	0,7	75	15	5	586 - 1047
12,178 Eggedal	310,6	1972 -dd	22	0,6	62	7	20	170 - 1463

*fra NVE sitt avrenningskart



Figur 11: Lokasjon til utvalgte målestasjoner.



Figur 12: Hypsografisk kurve for Flenta og utvalgte målestasjoner.

Det er utført flomfrekvensanalyse på de utvalgte måleseriene (døgndata). For hver måleserie er det gjort et valg av type frekvensfordeling basert på serielengde og frekvenskurven sin tilpasning til måledataene. Analysen er gjort på årsflommer og resultatene er presentert i tabell 4.

Tabell 4: Resultater fra flomfrekvensanalyse på årsflommer, frekvensfordeling.

Målestasjon	År	Feltareal [km ²]	Middelflom		Q20 / QM	Q200 / QM	Metode	Kurvekvalitet (flom)
			QM [m ³ /s]	qM [l/s*km ²]				
15.55 Økta	16	49.4	9.26	187	1.95	2.89	Gumbel (max)	Middels
15.72 Sørkja	14	36.3	8.81	243	1.99	2.96	Gumbel (mom)	Dårlig
12.188 Langtjernbekk	44	4.81	1.13	234	1.53	2.05	Gumbel (mom)	Usikker
12.212 Hangstjern	32	11.6	2.43	209	1.69	2.37	Gumbel (mom)	Usikker
12,178 Eggedal	46	310,6	81.1	261	1.79	2.56	Gumbel (mom)	Usikker

15.55 Økta ligger 8 kilometer sørvest for planområdet. Feltarealet er stort sammenlignet med Flenta, og har en naturlig flomdemping gjennom flere innsjøer som ligger i serie.

15.72 Sørkja ligger ca 40 kilometer sør for planområdet. Feltarealet er vesentlig større enn feltet til Flenta som kan gi en tregere avrenningskarakteristikk. Sørkjevann vil i flomsituasjoner gi en demping av flomtoppene.

12.188 Langtjernbekk har et nedbørfelt som er mindre enn feltet til Flenta. Målestasjonen ligger ved utløpet av Langtjernet som gir en høy effektiv sjøprosent. Området er dominert av skog uten innslag av snaufjell. Det forventes lavere spesifikke flomverdier enn i Flenta.

12.212 Hangstjern har en feltkarakteristikk som ligner på Flenta. Nedbørfeltet ligger ca 200 høydemeter lavere og området er i større grad dominert av skog. Det er flere mindre tjern i nedbørfeltet som kan dempe flomtoppene noe. Feltkarakteristikken tilsier noe lavere spesifikke flomverdier enn i Flenta.

12,278 Eggedal måler vannføringen i Storelva ved Solemoa i Eggedal. Da nedbørfeltene til Flenta er en del av feltet til Storelva er stasjon vurdert aktuell. Nedbørfeltet er vesentlig større enn Flenta og strekker seg over et større høydeintervall. Det forventes derfor betydelig lavere spesifikke flomverdier ved stasjonen enn i her enn i Flenta.

4.1.3.1 Kulminasjonsvannføring

Kulminasjonsvannføringen kan være vesentlig større enn døgnmiddelvannføringen. Generelt er forholdstallet ofte størst i små og bratte nedbørfelt med liten innsjødempning. Forholdstallet bestemmes fortrinnsvis fra målinger i vassdraget eller fra aktuelt formelverk.

I NVE (2015a) er forholdet mellom kulminasjon- og døgnmiddelflom beregnet for nedbørfelt i Norge der feltareal er mindre enn 50 km² samt datagrunnlaget er tilstrekkelig. Forholdstall ved vurderte målestasjoner der datakvaliteten er tilfredsstillende er gitt i tabell 5.

Tabell 5: Forholdstall mellom kulminasjon- og døgnmiddelvannføring ved utvalgte referansevassdrag.

Målestasjon	Areal [km ²]	Eff. Sjø [%]	Kulm/døgn
12.212 Hangstjern	11,6	0,7	1,39
15,72 Sørkja	36,3	5,4	1,95
12,178 Eggedal*	310,6	0,6	1,13

*fra NVE (2011)

I NVE (2011) er det presentert et formelverk som gir forhold mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring for vår- og høstflom. Feltareal og effektiv sjøprosent er inngangsparametere til formelverket. For Flenta gir formelverket et forholdstall for vår- og høstflom på henholdsvis 1,5 og 1,85. En faktor på ca. 1,7 vurderes realistisk.

4.1.4 Flomformelverk

I NVE (2015a) presenteres et nasjonalt formelverk for flomberegninger i nedbørfelt der feltareal er mindre enn 50 km². Inngangsparametere til formelen er feltareal, midlere avrenning og effektiv sjøprosent. Den største usikkerheten i formelverket er estimat av middelflom, og resulterende vekstkurve vurderes som robust. Det betyr at et godt estimat av middelflom vil redusere usikkerheten i beregningene betraktelig.

Resultatene gitt fra flomformelverket for Flenta er presentert i tabell 6. Det er gitt resultater for middelestimat, samt øvre og nedre konfidensintervall (95 %).

Tabell 6. Resultater fra flomformelverk for små nedbørfelt.

Vassdrag	Estimat	Middelflom		Q ₂₀ / Q _M	Q ₂₀₀ / Q _M	Q ₂₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
		Q _M [m ³ /s]	q _M [l/s*km ²]				
Flenta	Lav (95%)	3,6	278			5,8	8,8
	Middel	6,3	492	1,73	2,78	10,9	17,6
	Høy (95%)	11,2	870			20,7	35,2

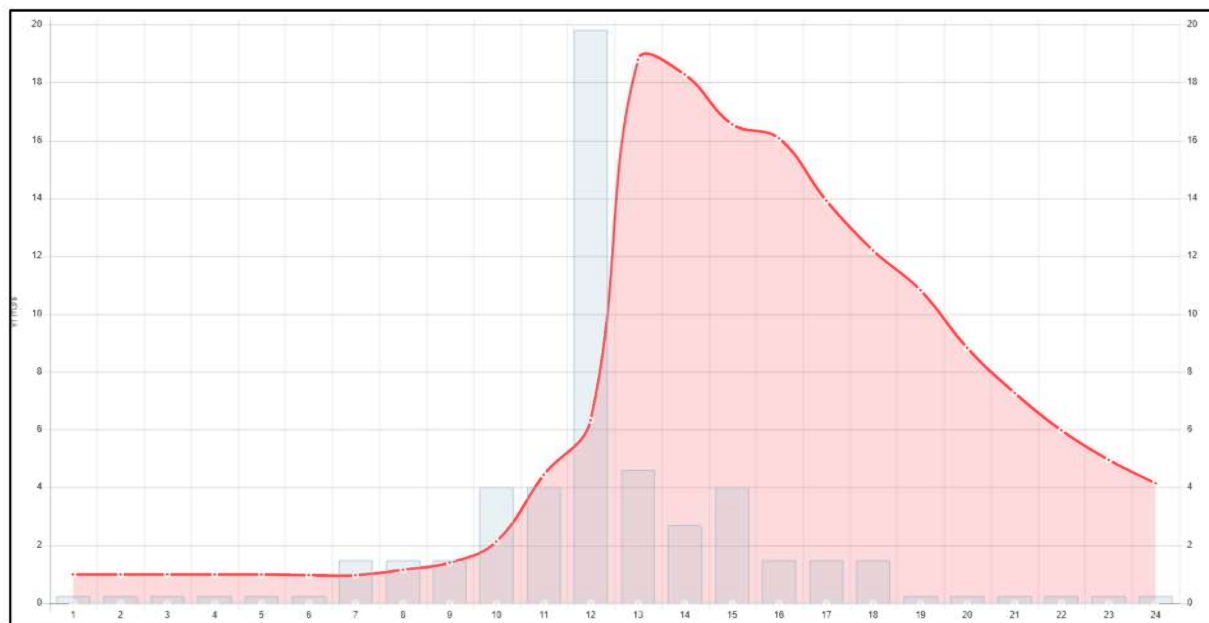
4.1.5 PQRUT

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.

I henhold til anbefalinger i NVE (2015b) benyttes det et dimensjonerende nedbørførløp på 24 timer og et tidsskritt på 1 time. Konsentrasjonstiden til feltet er estimert til 1 time, fra den pragmatiske metoden.

Det ligger en stor grad av usikkerhet i valget av dimensjonerende nedbørverdier og nedbørførløp. Som nærmeste nedbørstasjon med en god IVF-kurve er 24880 Nesbyen-Skoglund benyttet. Kurven gir godt samsvar med aktuell regional IVF-kurve (reg. 3) fra MET (2015). Det er videre konstruert et 200-års nedbørførløp som er tilnærmet symmetrisk om den mest intensive nedbørperioden. Initialvannføringen i PQRUT er satt til 1 m³/s som tilsvarer ca. 3 ganger middelvannføringen.

PQRUT-modellen gir en estimert 200-årsflom på 18,8 m³/s, vist i figur 13.



Figur 13: Resultater fra PQRUT for Flenta, 200-årsflom.

4.1.6 Klimaframskrivninger

Basert på anbefalinger i NVE (2016) og Klimaprofil Buskerud (Norsk Klimaservicesenter, 2017) er et klimapåslag på 20 % vurdert som hensiktsmessig for Flenta. Klimatillegget benyttes for å ta hensyn til forventende endringer i flomstørrelser frem mot år 2100.

4.1.7 Vurdering av resultater

12.212 Hangstjern har nedbørfelt som i størst grad likner på feltet til Flenta. På grunn av naturlige flomdempningseffekter og større andel skog kan det forventes lavere spesifikke flomverdier enn i Flenta. Det samme gjelder for 12,188 Langtjernbekk og 15,72 Sørkja. 15,55 Økta ligger geografisk nært og i samme høydeintervall, men har både større feltareal og effektiv sjøprosent enn begge de vurderte nedbørfeltene. Dette indikerer lavere spesifikke flomverdier. Spesielt kulminasjonsflommen forventes å være vesentlig større i Flenta og Haglebuelva enn ved 12,178 Eggedal. Fra målestasjonene virker en dimensjonerende døgnmiddelflom i Flenta på ca. 300 l/s*km² realistisk. Med estimert forholdstall mellom kulminasjon og døgnmiddelflom på 1,7 gir det en spesifikk kulminert middelflom på ca. 510 l/s*km².

Vurdert spesifikk kulminert middelflom tilsvarer ca. middelestimatet fra flomformelverket, og spesifikk 200-årsflom fra flomformelverket samsvarer bra med PQRUT. I Tabell 7 er resultatene gitt fra de ulike metodene sammenlignet.

Tabell 7: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metode (kulm.).

Metode	q _m [l/s*km ²]	q ₂₀₀ [l/s*km ²]
Vurdert fra referensefelt	510	-
Formelverk for små nedbørfelt	278 - 870	680 - 2730
PQRUT	-	1460

4.1.8 Dimensjonerende flommer

På bakgrunn av samsvar mellom metoder for flomberegninger er middelestimatet fått fra flomformelverket satt som dimensjonerende for Flenta. Dimensjonerende flommer inkludert klimatillegg er gitt i figur 10. Det er rundet av til nærmeste hele tall.

Tabell 8: Dimensjonerende flommer i Flenta ved planområdet.

Elv	Feltareal [km ²]	Klimatillegg [%]	Middelflom		Q ₂₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
			q _M [l/s*km ²]	Q _M [m ³ /s]		
Flenta	12.9	20	590	8	13	21

4.2 Hydraulisk modellering

4.2.1 Metode

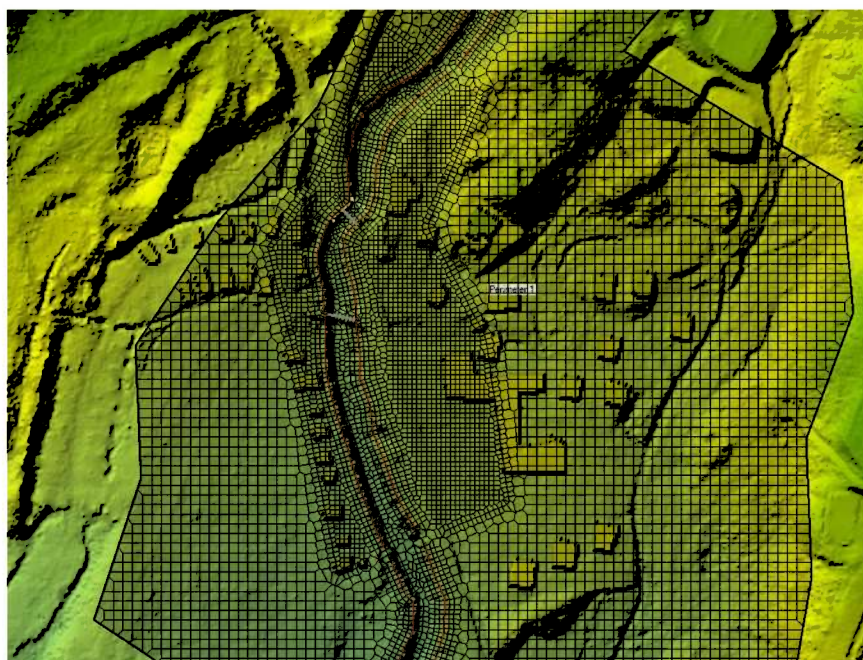
I beregning av vannlinje og hydrauliske parametere er programvaren Hec-Ras versjon 5.0.7 benyttet. De viktigste inngangsparameterne til Hec-Ras modellen er geometri (terrengmodell, grid, elvebanker og konstruksjoner), ruhet, grensebetingelser og vannføring. For å best mulig vurdere strømningsforholdene er en 2-dimensjonal-modell vurdert hensiktsmessig.

4.2.2 Oppsett av modell

Basert på bakkepunkter fra LiDAR-data av området fra 2017 er det etablert en terrengmodell med horisontal oppløsning på 1 x 1 meter. Benyttede parametere i modellen fremkommer av Tabell 9. Terrengmodell, benyttet beregningsgrid og plassering av grensebetingelser er illustrert i Figur 14

Tabell 9: Parametere benyttet i Hec-Ras modell for Flenta

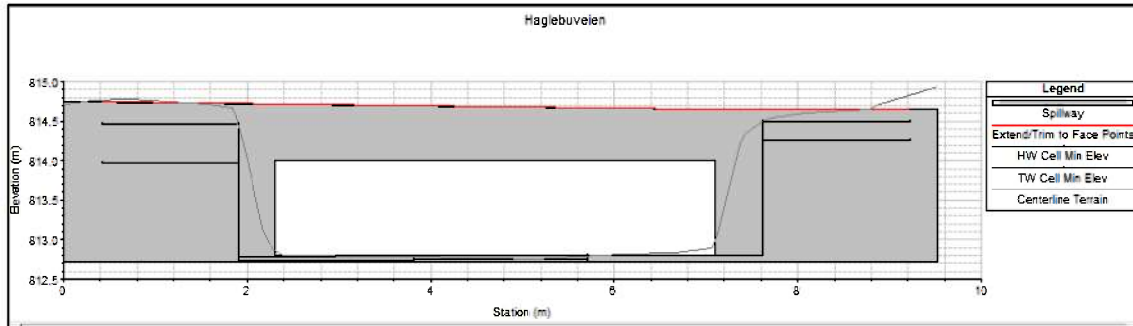
Parameter	Verdi
Oppløsning på terrengmodell	1 x 1 meter
Oppstrøms grensebetingelse	Normalstrømning, l=1%
Nedstrøms grensebetingelse	Normalstrømning, l=1%
Cellestørrelse beregningsgrid	2x2 meter
Likningssett	Full momentum
Tidsskritt	Gitt av courant-number mellom 0,4 og 0,9
Manningstall	15



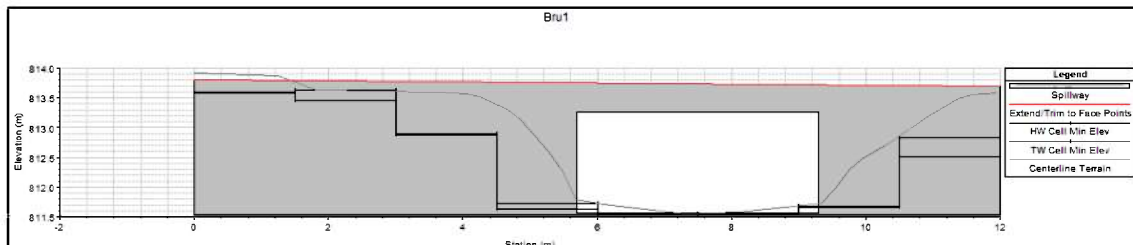
Figur 14: Illustrasjon av terrengmodell og beregningsgrid for planområdet.

De to øverste bruene som krysser Flenta langs planområdet forventes å kunne påvirke oppstrøms vannlinje ved flom. Lysåpningen til bruene ble målt opp under befaringen og er

lagt inn i den hydrauliske modellen som kulverter. Representasjon av konstruksjonene i HEC-RAS er vist i Figur 15 og Figur 16. Brua lengre nedstrøms vurderes ikke å påvirke vannlinjen i tilknytning til planområdet.



Figur 15: Modellrepresentasjon bru Haglebuveien



Figur 16: Modellrepresentasjon bru innkjørsel camping

4.2.3 Modellert av fremtidig 20-årsflom

For en fremtidig 20-årsflom viser modelleringen at kapasiteten til brua over Flenta ved kryssing av Haglebuveien har marginal kapasitet. Noe vann vil kunne ledes ut av elveløpet og videre inn i planområdet langs østsiden av Haglebuveien. Overskytende vann vil følge i grøfteformasjoner på innsiden av Haglebuveien forbi planområdet.

4.2.4 Modellert av fremtidig 200-årsflom

For en fremtidig 200-årsflom viser modelleringen at kapasiteten til brua over Flenta ved kryssing av Haglebuveien ikke har tilstrekkelig kapasitet. Det estimeres at ca. 3 – 4 m³/s vil kunne ledes langs østsiden av Haglebuveien og berøre den østlige delen av planområdet.

4.2.5 Sensitivitetsanalyse

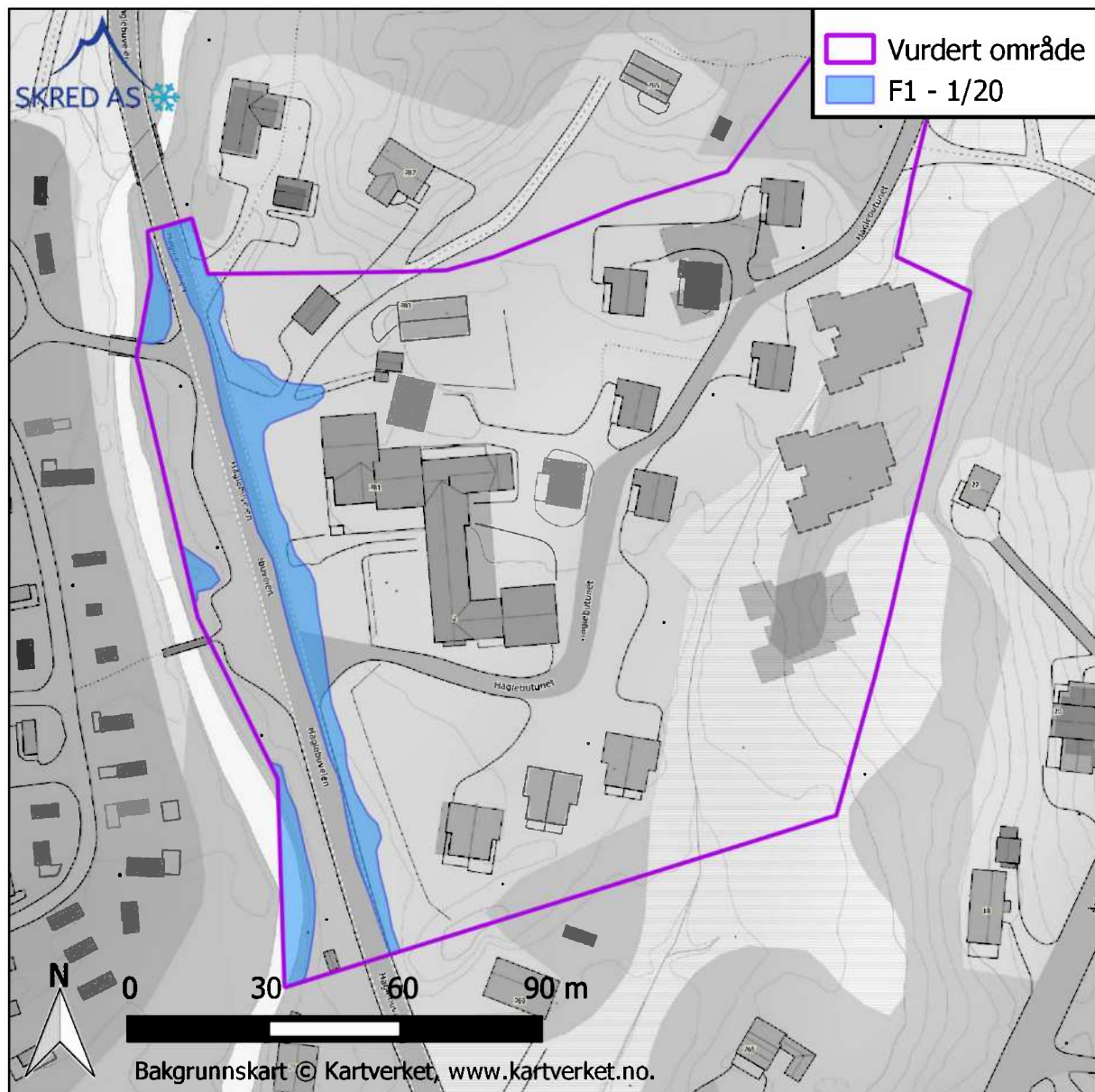
Da vi ikke har tilgang på kalibreringsdata er det gjennomført en sensitivitetsanalyse av modellen. Det bemerkes at fordeling av vannføring og ruhetsparametere i utgangspunktet er valgt noe konservativt. I sensitivitetsanalysen er vannføringen i Flenta økt med 20 %.

Øking i vannføring med 20 % gir en økning i vannstand i elveløpet før kryssingen av Haglebuveien på ca. 10 cm. Økningen har minimal innvirkning på oversvømt areal. Langs Haglebuveien i fremkant av Haglebu Fjellstue er økningen i vannstand på ca. 2 cm.

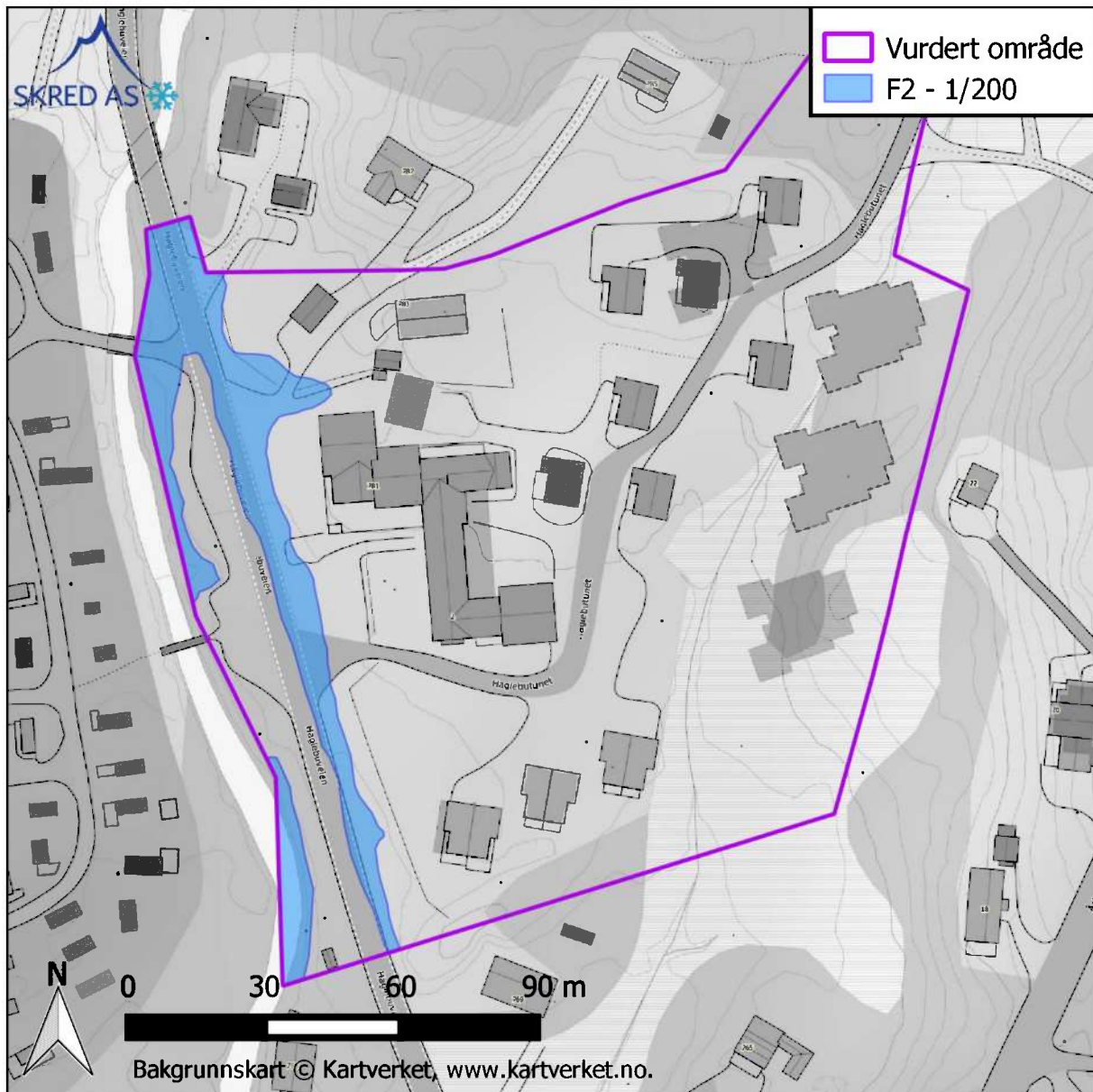
4.3 Faresoner for flom

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 i Flenta med en årlig sannsynlighet større enn $1/20$ og $1/200$ i år 2100, som tilsvarer sikkerhetsklasse F1 og F2 i TEK17.

Faresonene er i stor grad en konsekvens av begrenset kapasitet og fare for tilstopping av brua der Flenta renner under Haglebuveien.. Modellen viser en begrenset forskjell mellom faresoner for 20-års og 200-årsflom, som skyldes at de samme flomløpene blir aktivert. Faresonene fremkommer av Figur 17 og Figur 18.



Figur 17: Faresone som viser områder utsatt for flom i Flenta med en årlig sannsynlighet større enn $1/20$ i år 2100 (sikkerhetsklasse F1).



Figur 18: Faresone som viser områder utsatt for flom i Flenå med en årlig sannsynlighet større enn 1/200 i år 2100 (sikkerhetsklasse F2).

4.4 Vurdering av erosjonssikkerhet

I henhold til krav i TEK17 skal byggverk plasseres eller sikres slik at det ikke oppstår skade ved erosjon. For planområdet vil det være arealet vest for Haglebuveien som potensielt vil kunne være erosjonsutsatt. Generelt anbefales det en minimum avstand på 20 m fra elvekant. Ved utnyttelse av areal mellom Haglebuveien og Flenå må det sikres at elvekant erosjonssikres på byggeplannivå.

5 Vurdering av bekk gjennom planområdet

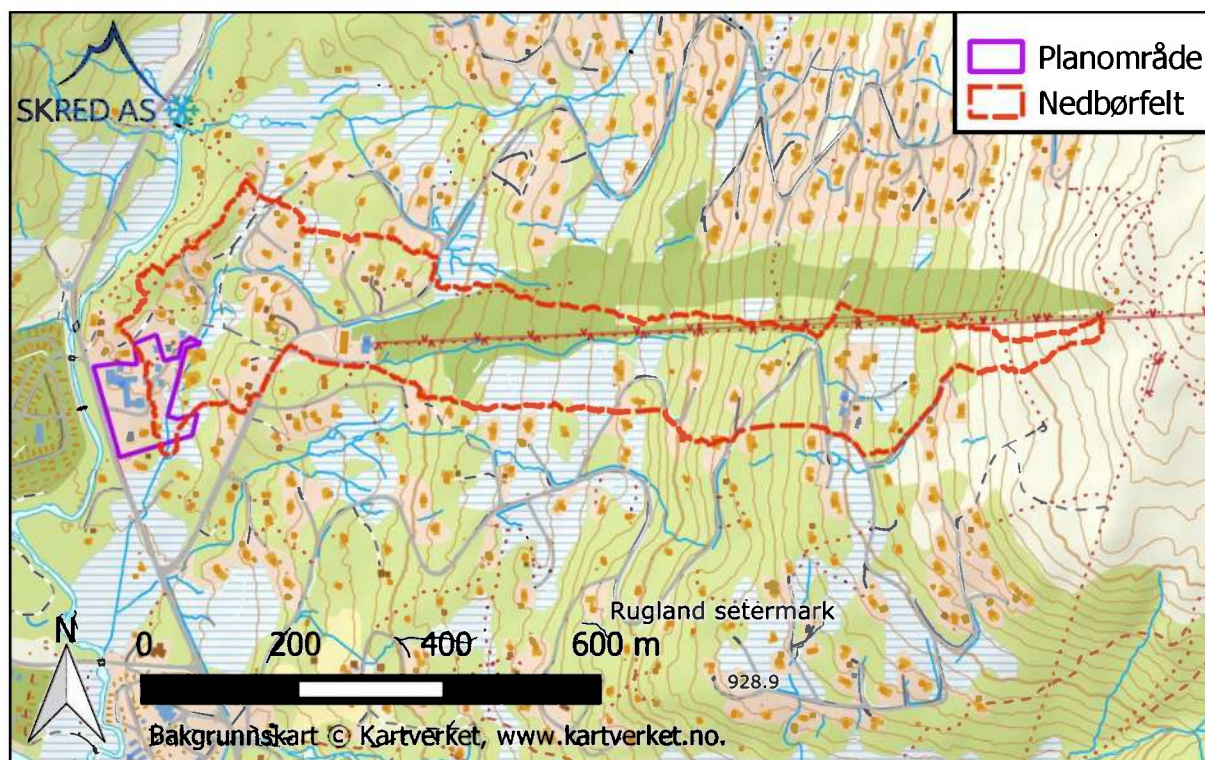
5.1 Flomberegning

5.1.1 Nedbørfelt

Nedbørfeltet til bekken som renner gjennom planområdet er karakterisert som lite og svært bratt, der feltet består av en blanding skog, alpinløype og hytteområder. Feltgrensene er identifisert fra en detaljer terrengmodell. Det er utført flytanalyser for å undersøke om feltet kan få tilført vann fra tilgrensende nedbørfelt. Feltkarakteristika er vist i Tabell 10 og feltgrenser i Figur 19.

Tabell 10: Feltkarakteristika til bekk gjennom planområdet

Vassdrag	Feltareal [km ²]	qN [l/s*km ²]	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Alpinløype [%]	Høydeint. [moh]
Bekk	0,19	20	0	60	30	810 - 1020



Figur 19: Identifiserte feltgrenser til vurdert bekk

5.1.2 Beregning med utvalgte metoder

Flomberegning er utført etter de samme NVE-veilederne som Flenta. Den rasjonale formelen og flomformelverket vurderes med relevant for bekken.

5.1.2.1 Den rasjonale metoden

Med den rasjonale metoden beregnes vannmengde basert på feltareal, vurdert avrenningskoeffisient og nedbørstatistikk. Nedbør heltes fra relevant IVF-kurve og en estimert konsentrasjonstid. Basert på formel for naturlig felt gitt i SINTEF (1992) estimeres en konsentrasjonstid på ca. 60 minutter, som fra IVF-kurve for 24880 Nesbyen-Skoglund gir

en dimensjonerende 200-årsnedbør på $55 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. En avrennings koeffisient på ca. 0,5 vurderes basert på terrengtype realistisk.

Vassdrag	Feltareal [km ²]	Kons. tid [min]	I200 [l/s*km ²]	C-verdi	Q200 [m ³ /s]
Vurdert bekk	0,19	60	55	0,5	0,52

5.1.2.2 Flomformelverk

Resultatene gitt fra flomformelverket for den vurderte bekken er presentert i Tabell 11.

Tabell 11. Resultater fra flomformelverk for små nedbørfelt.

Vassdrag	Estimat	Middelflom		Q ₂₀ / Q _M	Q ₂₀₀ / Q _M	Q ₂₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
		Q _M [m ³ /s]	q _M [l/s*km ²]				
Vurdert bekk	Lav (95%)	0.1	405			0.13	0.22
	Middel	0.2	810	1.74	2.81	0.27	0.43
	Høy (95%)	0.3	1619			0.54	0.87

5.1.3 Klimapåslag

Det er valgt å benytte et klimatillegg på 30 % for bekken basert på tolkning av anbefalinger i NVE (2016) og klimaprofil for Buskerud (Norsk Klimaservicesenter, 2017).

5.1.4 Dimensjonerende vannmengder

200-årsflom fått fra den rasjonale formelen gir godt samsvar med flomformelverket, og ligger noe over middelestimatet. Vannmengde beregnet fra den rasjonale formelen settes derfor som dimensjonerende for bekken, som fremkommer av Tabell 12.

Tabell 12: Dimensjonerende 200-årsflom for bekken gjennom planområdet.

Vassdrag	Feltareal [km ²]	Klimatillegg [%]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
Vurdert bekk	0,19	30	0,7

5.2 Håndtering av bekk gjennom planområdet.

5.2.1 Generelt

Det er gjort en vurdering av mulige løsninger for en trygg håndtering av bekken gjennom planområdet.

5.2.2 Grøftetverrsnitt

Det er gjort en betraktning av et anbefalt tverrsnitt av bekken dersom denne kan ledes åpent (frispeilstrømning) gjennom området og ha kapasitet for en estimert fremtidig 200-årsflom.

Det er utført en normalstrømningsbetraktning ved bruk av Mannings formel. Fra befaring er gjennomsnittlig fall på bekken forbi området funnet å være rundt 2,5%. Antagelser for beregningen er oppsummert i Tabell 13. Resultatene fra beregningen er vist i Tabell 14.

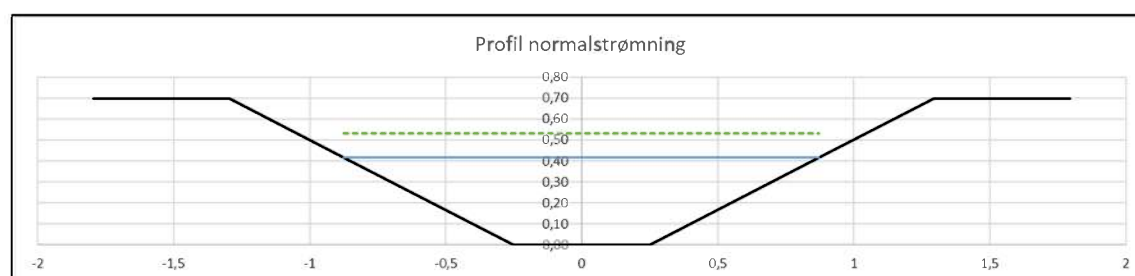
Tabell 13: Forutsetninger for kapasitetsbetraktning bekk

Parameter	Verdi
Vannføring	$Q=0,7 \text{ m}^3/\text{s}$
Fall	$l=2,5 \%$
Bunnbredde	$b=0,5\text{m}$
Helning sideskråninger	$s=1:1,5$
Ruhet	$M=25, n=0,04$

Tabell 14: Resultater kapasitetsbetraktning bekk

Parameter	Verdi
Dybde normalstrømning	$y = 42 \text{ cm}$
Strømningshastighet	$v=1,5 \text{ m/s}$
Høyde energilinje	$h=53 \text{ cm}$

En overhøyde over bunn bekk på 0,6 m vil være tilstrekkelig for å ligge over energilinje til vannet under dimensjonerende flom, forutsatt geometri gitt i Tabell 13. Grunnet utsikkerhet knyttet til tilstopping anbefales en høyde på minimum 0,7 m. Figur av anbefalt minimumstverrsnitt med angitt vannlinje og energilinje for avledning av dimensjonerende flom er vist i Figur 20. Nødvendig overhøyde i fremkant av eventuelle stikkrenner må vurderes spesielt grunnet oppstuvning av vann i fremkant av innløp.



Figur 20: Anbefalt minimumstverrsnitt for bekk gjennom planområdet, for å sikre kapasitet for en fremtidig 200-årsflom.

5.2.3 Dimensjon stikkrenner

Dagens stikkrenner har ikke tilstrekkelig kapasitet til å ta unna dimensjonerende flom i bekken.

Fra tabell 10.3 i (NVE, 2010) vil det være nødvendig med en diameter i størrelsesorden 0,8 m med antagelse om innløpskontroll. Ved mer nøyaktig fastsettelse av kapasitet må begge stikkrennene sees i sammenheng, da helning, lengde og nedstrøms oppstuvning vil kunne gi utløpskontroll og redusere kapasiteten. Stikkrennene vil også være utsatt for tilstopping av is, drivgods og sedimenter, som vil redusere kapasiteten ytterligere.

5.2.4 Sikring av flomveier

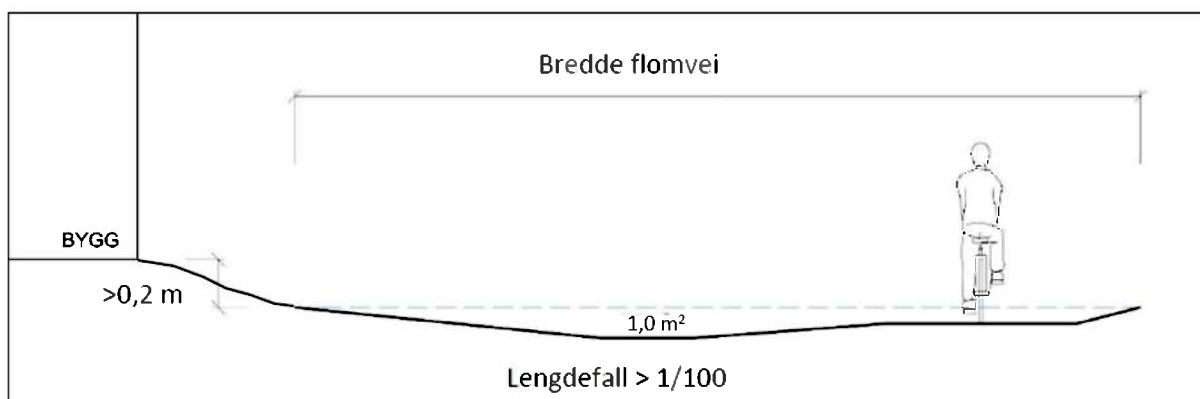
Stikkrennene vil være utsatt for tilstopping, spesielt av snø og isflak i forbindelse med smelting. Det anbefales derfor å etablere omliggende områder slik at eventuelt vann på avveie ved tilstopping finner veien tilbake til bekkeløpet nedstrøms uten å gjøre skade på

omliggende bebyggelse. Dette gjøres ved å tilpasse planeringshøyde av parkeringsareal og tilkjørsler med fallforhold slik at det oppnås et definert flomløp. Forslag til konsept for alternative flomveier er vist i Figur 21.



Figur 21: Konsept alternativ flomvei gjennom planområdet

Med en antagelse om at det kan etableres et minimum fall på 1% langs flomveien er det beregnet et nødvendig strømningsstverrsnitt på $1,0 \text{ m}^2$ for å avlede dimensjonerende flom i sin helhet. Det anbefales at det tillegges et sikkerhetspåslag opp til planeringshøyde for ny bebyggelse på minimum 0,2 meter.



Figur 22: Generelt prinsipp strømningsstverrsnitt flomveier

Ved sikring av en flomvei som beskrevet over vil sikkerhet for flom iht. krav i TEK17 §7-2 være tilfredstilt selv med en redusert kapasitet av bekkeløp og stikkrenner. Dette fordrer en risikoaksept for at arealer definert som flomvei vil kunne oversvømmes og en aksept for eventuelt nødvendig vedlikehold av parkeringsplasser og oppkjørsler etter en oversvømmelse. Det anbefales derfor at kapasitet av bekkeløp og stikkrenner gjøres så stor som mulig innenfor hva som finnes hensiktsmessig etter lokale forhold.

6 Konklusjon

Det er utarbeidet faresoner for planområdet til Haglebutunet, (GBnr. 167/72 m, fl.) for dimensjonerende fremtidig flomhendelser i elva Flenta iht. krav til bygg i sikkerhetsklasse F1 og F2 i TEK 17 §7-2. Faresonene er begrenset til areal langs Haglebuveien. Ved utnyttelse av areal mellom Haglebuveien og Flenta må det sikres at elvekant erosjonssikres på byggeplannivå.

Dimensjonerende flom for bekken gjennom planområdet er beregnet til $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Det er indikert minimum dimensjoner av bekkeløp og stikkrenner for en trygg håndtering av bekken. Grunnet fare for tilstopping og størrelse av nødvendige dimensjoner anbefales det å sikre et alternativt flomløp som sikrer at vann på avveie finner veien tilbake i bekkeløpet uten å gjøre skade på omliggende bebyggelse. Nødvendig strømningsstverrsnitt for et alternativt flomløp er beregnet til $1,0 \text{ m}^2$. Ved sikring av alternativt flomløp vil dimensjoner av bekkeløp og kulverter kunne reduseres.

7 Referanseliste

DiBK, 2017. Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK17) [WWW Document]. Hjemmeside. <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/>

Norsk Klimaservicesenter, 2017. Klimaprofil for Buskerud.

<https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret%2Fklimaprofiler%2Fklimaprofil-buskerud>

NVE, 2010. Vassdragshåndboka.

NVE, 2011. Retningslinjer for flomberegninger. NVE retningslinjer 4-2011.

NVE, 2015a Veileder for flomberegninger i små nedbørfelt. NVE veileder 7-2015.

NVE, 2015b Anbefalte metoder for flomberegninger i små uregulerte nedbørfelt. NVE rapport 97-2015.

NVE, 2016. Klimaendring og framtidige flommer i Norge. NVE rapport 81-2016.

Spreafico, M., Hodel, H.P., Kaspar, H., 2001. Rauheiten in ausgesuchten schweizerische Fliessgewässern.