

Rapport



Oppdragsgiver	Navn Haglebusetra AS	Kontaktperson Gøran Johansen
Oppdrag	Nummer og navn 18270 Sigdal, Haglebu - Flom- og skredfarevurdering for 167/674	Oppdragsleder Nils Arne K. Walberg
Dokument	Nummer 18270-01-2 Utført av Nils Arne K. Walberg (skred) og Petter Reinemo (flom)	Dato 2019-01-18 Kontrollert av Andrea Taurisano (skred) og Lars Eid Nielsen (flom)

Skred- og flomfarevurdering

Sammendrag

Det arbeides med en reguleringsplan for GBnr 167/674 ved Haglebu i Sigdal kommune. Planlagt arealbruk er fritidsleiligheter. Det er ikke spesifisert hvor mange leiligheter som vil komme i hvert bygg, noe som vil ha innvirkning på krav til sikkerhet mot flom og skred. Deler av planområdet ligger innenfor aktsomhetssoner for flom, snøskred samt jord- og flomskred, og det ønskes derfor en detaljert vurdering av skred- og flomfare.

Fritidsboliger med mer enn 10 boenheter skal tilfredsstille krav til sikkerhet mot skred for sikkerhetsklasse S3. For bygninger i denne sikkerhetsklassen skal årlig sannsynlighet for skred ikke overskride 1/5000. For flom er sikkerhetsklasse F2 mest aktuelt for planlagt bebyggelse som betyr at årlig sannsynlighet for flom ikke skal overskride 1/200.

Alle skredtyper i bratt terreng er vurdert. Vår totalvurdering er at et lite område langs den nordlige grensen av planområdet mot Tjennleinebekken ikke tilfredsstiller kravene for sikkerhetsklasse S3 grunnet faren for sørpeskred.

Planområdet er potensielt utsatt for flom i elva Flenta og Tjennleinebekken. Planområdet vurderes å være utsatt for flom i Flenta med en årlig sannsynlighet lavere enn 1/200. Tjennleinebekken utgjør derimot en flomfare for nordre del av planområdet, der årlig sannsynligheten vurderes å være større enn 1/200.

Vurderte faresoner for flom og skred kan begrenses dersom det gjennomføres risikoreduserende tiltak. Eventuelle sikringstiltak må prosjekteres av fagkyndig med kompetanse innen naturfare, slik at tiltakets effekt ved dimensjonerende hendelser kan dokumenteres. Faresoner bør revideres etter prosjektert tiltak.

Innhold

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Befaring	6
1.3	Forbehold	6
2	Krav til sikkerhet	7
2.1	Loverket	7
2.2	Skred	7
2.2.1	Vurderte skredtyper	8
2.3	Flom	9
2.4	Aktuelle krav	10
3	Skredfare	11
3.1	Beskrivelse av området	11
3.1.1	Topografi	11
3.2	Geologi	12
3.3	Vegetasjon	12
3.4	Klima	12
3.5	Registrerte skredhendelser	14
3.6	Tidligere skredfareutredninger	14
3.7	Eksisterende skredsikringstiltak	14
3.8	Vurdering av skredfare	14
3.8.1	Snøskred	14
3.8.2	Sørpeskred	17
3.8.3	Løsmasseskred	20
3.8.4	Skred i fast fjell	20
3.8.5	Faresoner for skred	20
3.8.6	Mulighet for å redusere eller bygge i faresonene for skred	21
4	Flomfare	22
4.1	Vurdert vassdrag	22
4.2	Flomberegning	22
4.2.1	Tjennleinebekken	22
4.2.2	Flomberegning med utvalgte metoder	24
4.2.3	Flenta	28
4.3	Hydraulisk modellering	29
4.3.1	Modell og oppsett	29
4.3.2	Resultater	30
4.3.3	Sensitivetsanalyse og vurdering av sikkerhetsmargin	31
4.4	Vurdering av sikkerhet mot erosjon	32
4.5	Flomveier	32
4.6	Faresoner for flom	33
4.7	Mulighet for å redusere eller bygge i faresonene for flom	33

5	Konklusjon	34
6	Referanser	35

Figurer

Figur 1: Lokalisering av det vurderte området som ligger på vestsiden av Fv. 287, rett nord for Haglebu fjellstue.	5
Figur 2: Helningskart over området. Figuren viser også sporlogg og waypoints fra befaringen.	11
Figur 3: Månedlige normalverdier for temperatur og nedbør (venstre) og ekstrem verdier for nedbør (døgnverdier) og snødybde. Data er hentet met.no (2018) fra stasjonene Eggedal III (293 moh.) og Sigdal – Prestfoss (125 moh.)	13
Figur 4: Frekvensfordeling av vind i månedene november-mars for henholdsvis Dagali lufthavn (798 moh.) og Veggli II (275 moh.) (met.no, 2018).	13
Figur 5: Dronefoto over deler av planområdet (stiplet) på vestsiden av Fv. 287 og fjellskrent vest for planområdet.	15
Figur 6: Potensielle løснеområder for snøskred og sørpeskred.	16
Figur 7: Simulert snøskred med RAMMS for løснеområde 1 med 1 m bruddhøyde. Skogen som er tatt med i beregningen er vist med grønn polygon, og bidrar til kraftig redusert utløpslengde kontra om skogen ikke hadde vært der. Figuren viser maks trykk fra et eventuelt snøskred.	17
Figur 8: Nordre deler av planområde (stiplet) og Haglebulia sett mot nordvest. Tjennleinebekken renner til venstre for hytta i bildet (heltrukken linje).	18
Figur 9: Modellert bevegelse til sørpeskred med flomskredmodulen til RAMMS. Modellert løснеområde avviker litt fra skisserte løснеområder på grunn av krav til helling i startområde for modellen. Det er benyttet snødybde på 1.0 m i løsnakeområdet.	19
Figur 10: Faresoner for skred.	21
Figur 11: Karakteristisk bilde av Tjennleinebekken.	22
Figur 12: Feltgrensene til Tjennleinebekken.	23
Figur 13: Lokasjon til utvalgte målestasjoner.	25
Figur 14: Hypsografisk kurve for vurdert vassdrag og utvalgte målestasjoner.	26
Figur 15: Lokasjon til tverrprofiler i Hec-Ras modell.	30
Figur 16: Kritiske strekninger og utsnitt fra modellberegningene for Tjennleinebekken (n=0.2).	31
Figur 17: Modellert 200-års vannlinje i Flenta.	31
Figur 18: Resultater fra flytanalyser i GIS, mfd-analyse.	32
Figur 19: Faresone for flom.	33

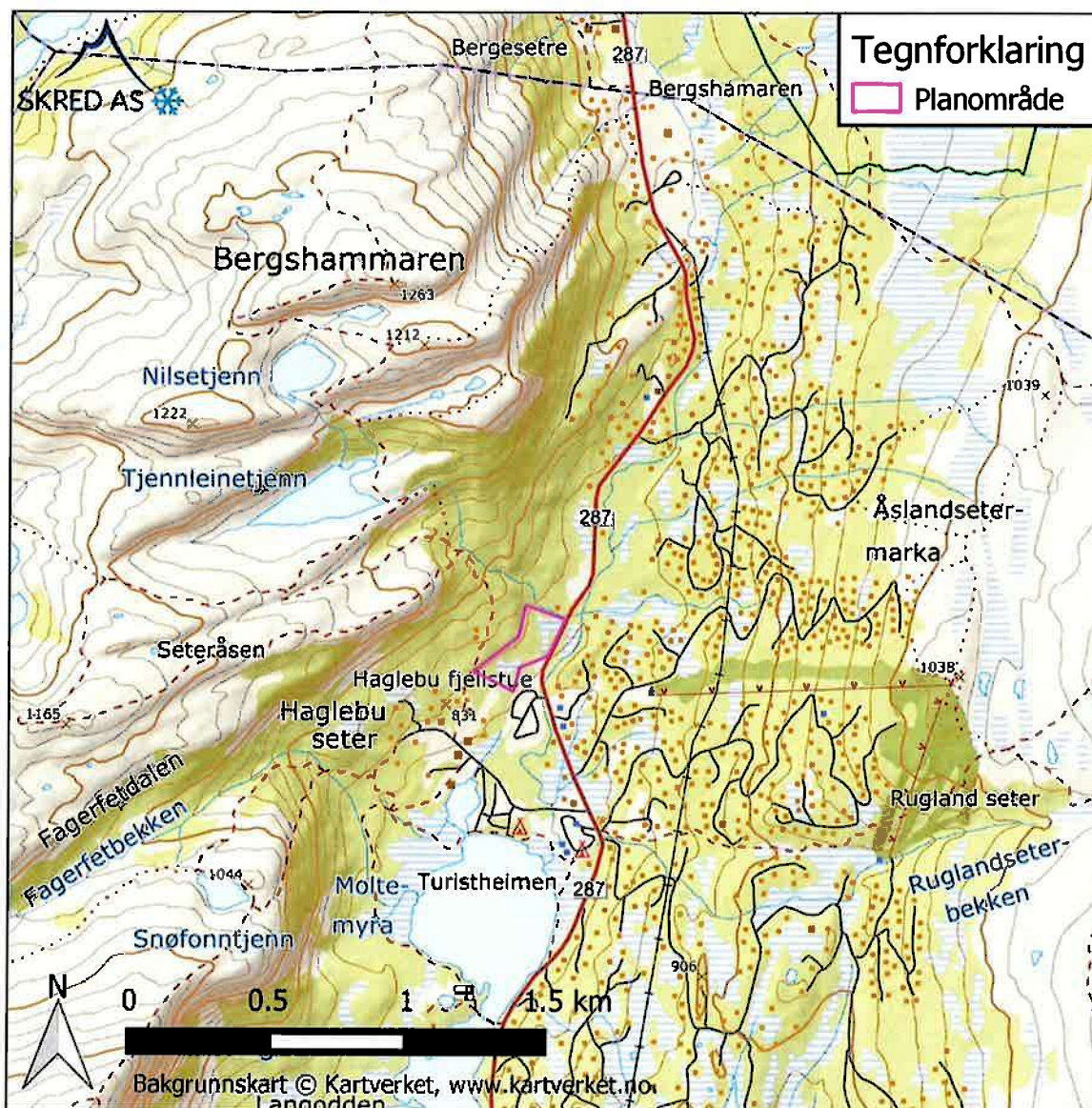
Tabeller

Tabell 1: Notater fra befaring. For plassering av waypoints, se Figur 2.	6
Tabell 2: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2017).	7
Tabell 3: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2017).	9
Tabell 4: Feltkarakteristika til Tjennleinebekken.	23
Tabell 5: Feltkarakteristika til utvalgte referansevassdrag.	24
Tabell 6: Resultater fra flomfrekvensanalyse på årsflommer, frekvensfordeling.	26
Tabell 7: Resultater fra flomformelverket for Tjennleinebekken (kulminasjon)	27
Tabell 8: Resultater fra den rasjonale formelen for den vestre bekken, 200-årsflom.	27
Tabell 9: Resultaterende flomverdier fra de ulike metodene for flomberegning (kulminasjon, før klimapåslag).	28
Tabell 10: Dimensjonerende flommer i Tjennleinebekken (kulminasjon).	28
Tabell 11: Dimensjonerende kulminasjonsflommer i Flenta, gjengitt fra Skred (2017)	28

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Haglebusetra AS arbeider med en reguleringsplan for GBnr 167/674 ved Haglebu i Sigdal kommune. Planlagt arealbruk er fritidsleiligheter. Det er ikke spesifisert hvor mange leiligheter som vil komme i hvert bygg, noe som vil ha innvirkning på krav til sikkerhet mot skred. Deler av planområdet ligger innenfor aktsomhetssoner for flom, snøskred samt jord- og flomskred, og det ønskes derfor en detaljert vurdering av skred- og flomfare. Lokalisering av det vurderte området er vist på Figur 1.



Figur 1: Lokalisering av det vurderte området som ligger på vestsiden av Fv. 287, rett nord for Haglebu fjellstue.

1.2 Befaring

Befaring i området ble utført 24. oktober 2018 av Nils Arne Walberg, Skred AS. Det var fine forhold med lettskyet, pent vær og god sikt på befaringdagen. Planområde og ovenforliggende fjellside ble befart til fots, og det ble anvendt drone med kamera.

Tabell 1: Notater fra befaring. For plassering av waypoints, se Figur 2.

Waypoint	Notat
WP 70	Bekk svinger. Naturlig, men lav mur. Delvis runda, svær steinur - utvaska morene?
WP71	I brattere område, grov morene med tynt mosedekke + skog; gran og bjørk. Litt slakere mot sør før det blir brattere ifølge kart. Noen brekte bjørk, antatt pga. store snømengder
WP 72	Lite "stryk" i bekk. På fjell.
WP 73	Elv renner over terskel på fjell. flatt parti på 15-20 m. Litt myr. Sørpeskred? Elva kan nok renne en del striere enn på befaringdag
WP 74	En del bjørk bærer preg av snørik vinter
WP 75	Under knaus. Ikke bratt nok for snø i underkant, fjell for bratt. Ikke steinsprang.
Ikke markert	Start på mulig lokal snøutglidning under brattskrent. Mest sanns. bare brukne trær pga. snø. Helling litt sørover.
WP 76	Flatt parti 50x50 m
WP 77	Myr. Lite vann
WP 78	Markering terreng
WP 79	Myr liten dreneringskanal
WP 80	Kulvert Ø30 cm
WP 81	Kulvert Ø24 cm, lite synlig overside, basseng
WP 82	Kulvert Ø100 + Ø54 cm i elv. Noe erosjon på utsiden mot vei.
WP 83	Kulvert Ø30 cm

1.3 Forbehold

Skred- og flomvurderinger er gjort ut fra terreng og vegetasjon slik de fremkom fra befaring og kotegrunnlag på vurderingstidspunktet. Hvis terreng eller vegetasjon endres betydelig, kan det ha betydning for skred- og flomforholdene. Det kan innebefatte terrenginngrep i bratt terreng eller fysiske endringer i vassdraget som en konsekvens av erosjon, masseavlagring og menneskelige inngrep. Da anbefales det å utføre en ny vurdering.

Informasjon om tidligere flom- og skredhendelser 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 Skred

Byggteknisk forskrift TEK17 § 7-3 definerer krav til sikkerhet mot skred for nybygg og tilhørende uteareal (tabell 2). Sannsynligheten i tabellen angir den årlige sannsynligheten for skredskader av betydning, dvs. skred med intensitet som kan medføre fare for liv og helse og/eller større materielle skader. I veilederen til TEK17 gis retningsgivende eksempler på byggverk som kommer inn under de ulike sikkerhetsklassene for skred (DiBK, 2017).

Tabell 2: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2017).

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	Liten	1/100
S2	Middels	1/1000
S3	Stor	1/5000

I sikkerhetsklasse S1 inngår byggverk der det normalt ikke oppholder seg personer og der det er små økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Mindre brygger og lagerbygninger med lite personopphold er nevnt som eksempler.

Sikkerhetsklasse S2 omfatter tiltak der et skred vil føre til middels konsekvenser. Dette kan eksempelvis være byggverk der det normalt oppholder seg maksimum 25 personer og/eller der det er middels økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Driftsbygninger i landbruket samt parkeringshus og havneanlegg er nevnt som eksempler.

Sikkerhetsklasse S3 omfatter tiltak der et skred vil føre til store konsekvenser. Dette kan eksempelvis være byggverk der det normalt oppholder seg mer enn 25 personer og/eller der det er store økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Eksempler på byggverk som kan inngå i denne sikkerhetsklassen er:

- eneboliger i kjede/rekkehus/boligblokk/fritidsbolig med mer enn 10 boenheter
- arbeids- og publikumsbygg/brakkerrigg/overnattingssted hvor det normalt oppholder seg mer enn 25 personer
- skole, barnehage, sykehjem og lokal beredskapsinstitusjon

Kravet til sikkerhet for uteareal tilhørende bygninger, skal i utgangspunktet være lik kravet til bygningen. Allikevel åpner lovverket for å redusere sikkerhetsnivået til uteareal med en

klasse, dersom dette vil gi tilfredsstillende sikkerhet for tilhørende uteareal. Momenter som må vurderes i denne sammenheng er blant annet eksponeringstiden for personer og antall personer som oppholder seg på utearealet.

2.2.1 Vurderte skredtyper

I TEK17 er det spesifisert at samlet sannsynlighet for alle skredtyper skal legges til grunn for vurderingen av årlig sannsynlighet. Vi har derfor vurdert følgende skredtyper:

- Skred i fast fjell
- Skred i løsmasser
- Snøskred, inkludert sørpeskred

Den endelige vurderingen av skredfare er samlet nominell årlig sannsynlighet for skred, som kan sammenliknes direkte med kravene i tabell 2.

2.2.1.1 Snøskred og sørpeskred

Snøskred kan inndeles i løssnøskred og flaskskred. Løssnøskred utløses i snø med lav fasthet, som gjerne starter med en liten lokal utglidning. Etter hvert som nye snøkorn blir revet med utvider skredet seg og kan få en pæreform. Flaskskred oppstår når en større del av snødekket løsner som et flak langs et glideplan. Det er flaskskred som har størst skadepotensiale. Store snøskred løsner vanligvis der terrenget er mellom 30-50° grader bratt. Der det er brattere enn dette glir snøen stadig ut slik at det ikke dannes større skred. Snøskred kan skape skredvind med kraft til å utrette stor skade.

Sørpeskred er en strøm med vannmettede snømasser. Sørpeskred følger som oftest forsenkninger i terrenget, og oppstår når dreneringen i grunnen er dårlig, som for eksempel på grunn av tele og is. Sørpeskred kan utløses i slakt terreng, for eksempel når kraftig snøfall blir etterfulgt av regn og mildvær. Sørpeskred kan også utløses når varme gir intens snøsmelting. Skredmassene har høy tetthet og skred med lite volum kan gi stor skade. Det er ikke utarbeidet aktsomhetskart for sørpeskred.

2.2.1.1 Skred i fast fjell

Når en eller flere steinblokker løsner og faller, spretter, ruller, eller sklir nedover en skråning benyttes begrepene steinsprang (volum <math><100\text{ m}^3</math>) og steinskred (volum 100-10.000 m^3). Steinsprang og steinskred løsner oftest i bratte fjellparti der terrenghelningen er større enn 40-45°.

2.2.1.2 Jordskred og flomskred

Jordskred starter med en plutselig utglidning i vannmettede løsmasser og blir som regel utløst i skråninger som er brattere enn 25-30°. Man kan skille mellom kanaliserte og ikke-kanaliserte jordskred.

Et kanalisert jordskred skaper en kanal i løsmassene som kan fungere som skredbane for nye skred. Skredmasser kan bli avsatt og danne langsgående rygger parallelt med kanalen. Når terrenget flater ut blir skredmassene avsatt i en tungeform. Over tid kan flere slike skred bygge en vifte av skredavsetninger. I et ikke-kanalisert jordskred flytter massene seg nedover langs en sone som gradvis kan bli bredere. Mindre jordskred kan oppstå i slakere terreng

med finkorna, vannmettet jord og leire, gjerne på dyrka mark eller i naturlig terrasseformede skråninger i terrenget.

Flomskred er raske, vannrike, flomlignende skred som følger elve- og bekkeløp, eller raviner, gjel eller skar, ofte uten permanent vannføring. Helningen i utløsningsområdet kan være ned mot 10°. Skredmassene kan bli avsatt som langsgående rygger på siden av skredløpet, og oftest i en stor vifte nederst, der de groveste massene ligger ved roten av vifta og finere masser blir avsatt utover vifta. Massene i et flomskred kan komme fra store og små flomskred langsetter flomløpet, undergraving av sideskråninger og erosjon i løpet, eller i kombinasjon med sørpeskred.

2.2.1.3 Skredfare og klimaendringer

Spesielle værforhold er en dokumentert utløsende faktor for de fleste typer skred, og forekomsten av disse skredtypene vil naturlig bli påvirket dersom klimaet utvikler seg slik at ekstremt vær inntreffer oftere. Generelt vil et varmere og våtere klima kunne påvirke frekvensen av jordskred, flomskred, snøskred og sørpeskred, men i hvilken grad skredaktiviteten vil endres i hver landsdel er uvisst.

Det er ikke mulig å beregne et «klimapåslag» for skredstørrelse eller skredutløp og så bruke dette i skredfarekartlegging. Klimautviklingen inngår dermed i en rekke usikkerhetsmomenter som det ikke finnes verktøy for å kvantifisere, men som vurderes skjønnsmessig når en utreder eller kartlegger skredfare.

2.3 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 3 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 3: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2017).

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.

2.4 Aktuelle krav

Det er opp til kommunen å skjønnsmessig vurdere aktuelle krav til sikkerhet i hver konkret byggesak. Da planområdet det i denne saken er oppgitt å skulle reguleres til fritidsleiligheter er det fra vår side foreslått sikkerhetsklasse S3 / F2 i TEK17. Dette legges derfor til grunn for vurderingene i denne rapporten.

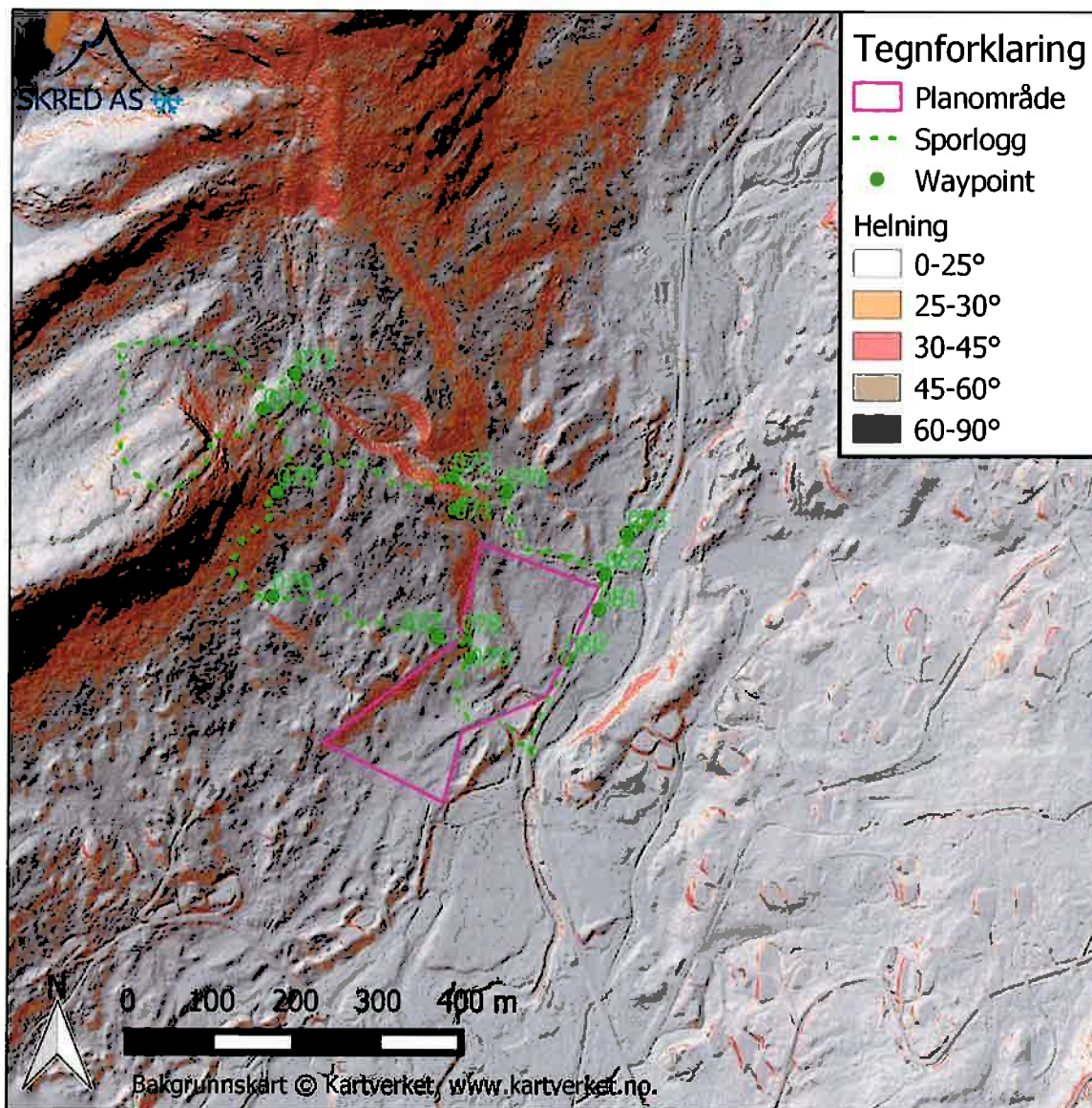
3 Skredfare

3.1 Beskrivelse av området

Planområdet befinner seg på vestsiden av Fv. 287 Haglebuveien, rett nord for Haglebu Fjellstue i Sigdal kommune.

3.1.1 Topografi

Terrenganalysen er basert på en terrengmodell med celler på 1 x 1 m generert fra laserskanningsdata (LiDAR) utført i 2017 av Terratec, prosjektbetegnelse *NDH Modum-Sigdal Spkt 2017*. Kart med terrenghelning er vist i Figur 2.



Figur 2: Helningskart over området. Figuren viser også sporlogg og waypoints fra befaringen.

Reguleringsplanområde strekker seg ca. 300 m på vestsiden av og parallelt med Fv. 287 Haglebuveien, og ligger på ca. 820 moh. Selve planområde er relativt flatt, men i vest stiger

terrenget jevnt oppover mot en navnløs fjellrygg på ca. 1000 moh. De øverste drøye 100 høydemetrene er bratte, mellom 30° og 90°. I nordvest er det en annen navnløs topp på 1110 moh., hvorav det fra kote 900 er brattere enn 30°. Inntil nordre grense til planområdet renner Tjennleinebekken som drenerer ovenforliggende fjellområde og Tjennleinetjenn.

3.2 Geologi

Ifølge NGUs berggrunnskart i 1:50 000 (NGU, 2018a) består det vurderte området av granittisk til granodiorittisk gneis, hovedsakelig vekslende mellom øye- og båndgneis. Bergarten ble under befaringen vurdert til å være moderat oppsprukket og med lite til moderat steinsprangaktivitet fra mindre, nær vertikale bergskrenter.

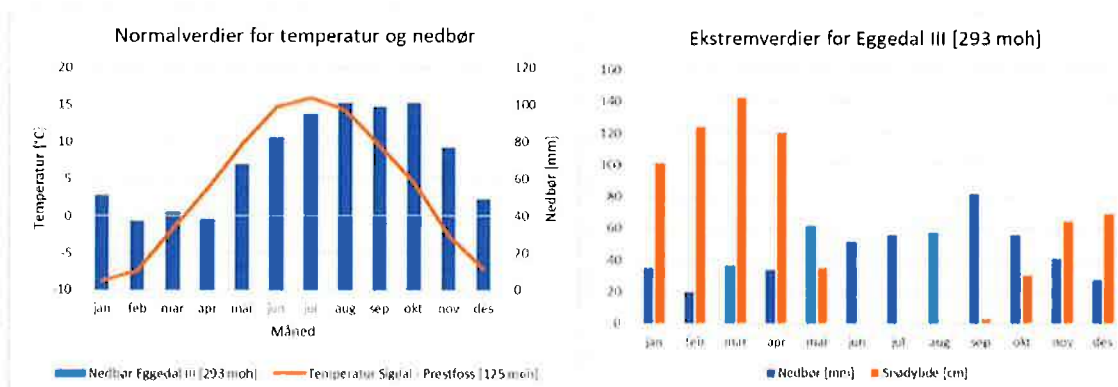
Ifølge NGUs løsmassekart består planområde og nedre deler av fjellsiden av usammenhengende, tynt morenedekke (NGU, 2018b). Øvre og brattere deler av fjellsiden er avmerket som bart fjell, dvs. områder med mer enn 50 % fjell i dagen. Under befaringen ble det observert at store deler av skråningen bestod av grov morene. Det ble ikke observert områder med hovedsakelig finkornig materiale. Det ble også observert et område med store blokker (> 1 m i diameter) uten vegetasjon, sannsynligvis utvasket morenemateriale. Langs Tjennleinebekken ble det observert lite tilgjengelig materiale for massetransport, og mange steder rant bekken over bart fjell. Dette vitner om et generelt tynt løsmassedekke i fjellsiden.

3.3 Vegetasjon

Terrenget opp mot skoggrensen på anslagsvis 1000 moh. er stort sett dekket av gran opp til 900 moh. og bjørkeskog i de høyereliggende områdene. Skogbunnen består ellers av mose, gress og lyngvegetasjon. Over 1000 moh. er det lite eller ingen trær og busker, kun spredt bjørk i lune områder. Området preges ellers av en del myr, både i selve planområde nede ved veien, men også i forsenkninger og slake partier i de øvre fjellområdene.

3.4 Klima

Området har et kontinentalt klima med normal årsnedbør på 840 mm og negativ normal månedstemperatur fra november til mars. Mest nedbør faller sommer og høst. Nedbør og snømengder vil øke med høyden. Vindfordelingen på ulike værstasjoner er ofte styrt av lokale topografiske faktorer, som dalfører ol. Figur 3 og Figur 4 viser utvalgte klimadata for ulike stasjoner i Buskerud. Data er hentet fra Eklima (met.no, 2018).



Figur 3: Månedlige normalverdier for temperatur og nedbør (venstre) og ekstrem verdier for nedbør (døgnverdier) og snødybde. Data er hentet met.no (2018) fra stasjonene Eggedal III (293 moh.) og Sigdal – Prestfoss (125 moh.)

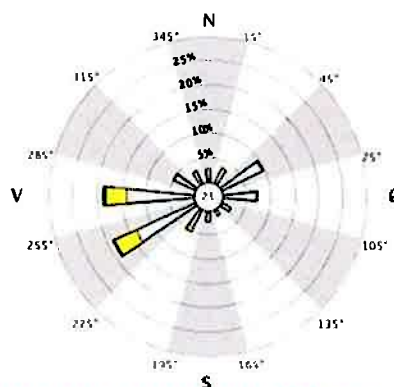
Vindrose, frekvensfordeling av vind
 Vindretning deles i sektorer på 30°
 Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

- Vindhastighet (m/s)**
- > 20.2
 - 15.3–20.2
 - 10.3–15.2
 - 5.3–10.2
 - 0.3–5.2

Stille (%)

21

29720 DAGALI LUFTHAVN



Ar: 2002 - 2017
 jan, feb, mar, nov, des
 Tidspunkt: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)

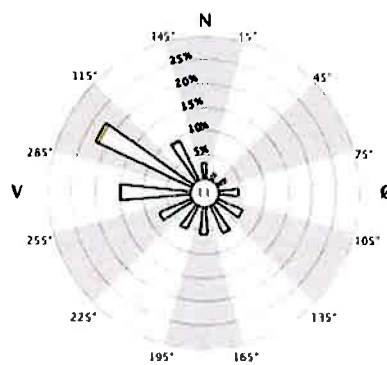
Vindrose, frekvensfordeling av vind
 Vindretning deles i sektorer på 30°
 Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

- Vindhastighet (m/s)**
- > 20.2
 - 15.3–20.2
 - 10.3–15.2
 - 5.3–10.2
 - 0.3–5.2

Stille (%)

11

28922 VEGGLI II



Ar: 2006 - 2017
 jan, feb, mar, nov, des
 Tidspunkt: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)

Figur 4: Frekvensfordeling av vind i månedene november-mars for henholdsvis Dagali lufthavn (798 moh.) og Veggli II (275 moh.) (met.no, 2018).

3.5 Registrerte skredhendelser

I nasjonal skredatabase (NVE, 2018) er ikke registrert skredhendelser tilknyttet planområdet.

3.6 Tidligere skredfareutredninger

Vi er ikke kjent med tidligere skredfarevurderinger i direkte tilknytning til planområdet. Skred AS har tidligere utført en flom- og skredfarevurdering for Bergheim hyttetun, 1.5 km nordover langs Fv. 287.

3.7 Eksisterende skredsikringstiltak

Ingen sikringstiltak mot skred er registrert i nasjonal skredatabase (NVE, 2018).

3.8 Vurdering av skredfare

3.8.1 Snøskred

Det vurderte området ligger i dalbunnen på ca. 820 moh. Mulige løsneområder for snøskred er fjellområdene vest og nordvest for planområdet. I vest er skråningen skogkledt og slakt stigende med enkelte brattere og flatere partier i skogen. Selve toppartiet, ytre deler av en lengre fjellrygg, består av en bratt skrent med høydeforskjell på ca. 100 m. Hele skrenten er brattere enn 30°, med større partier også brattere enn 60°, noe som gjør at snøen er forventet å rase ut i mindre utglidninger før det bygger seg opp store snømengder. Det kan likevel ikke utelukkes at det løsner snøskred her. Nedre deler av skråningen befinner seg mer enn 250 m fra planområde, slik at mindre snøutglidninger ikke vil ha utbredelse ned til planområdet.

I Haglebulia og tilgrensende fjellskrent mot nord er det ikke observert aktive, sammenhengende skredbaner som har fallretning mot det vurderte området. Fjellsiden er delvis dekket av bjørkeskog som bærer tydelig tegn på at det relativt nylig har vært store snømengder i området, da mange trær var kraftig bøyd og knekt. Det var ikke tegn på skredskadet skog, og tegn på snøsig ble kun observert i underkant av enkelte bratte partier. Det er enkelte mindre, konkave partier hvor snø kan samle seg, og siden store deler av skråningen er brattere enn 30° kan det ikke utelukkes at det kan løsne snøskred i dette området. Avstanden mellom de potensielle utløsningsområdene og planområdet (> 500-600 m) er mer enn 2 ganger større enn høydeforskjellen mellom dem (180-280 m). Små snøskred stopper erfaringsmessig før de har gått så langt.

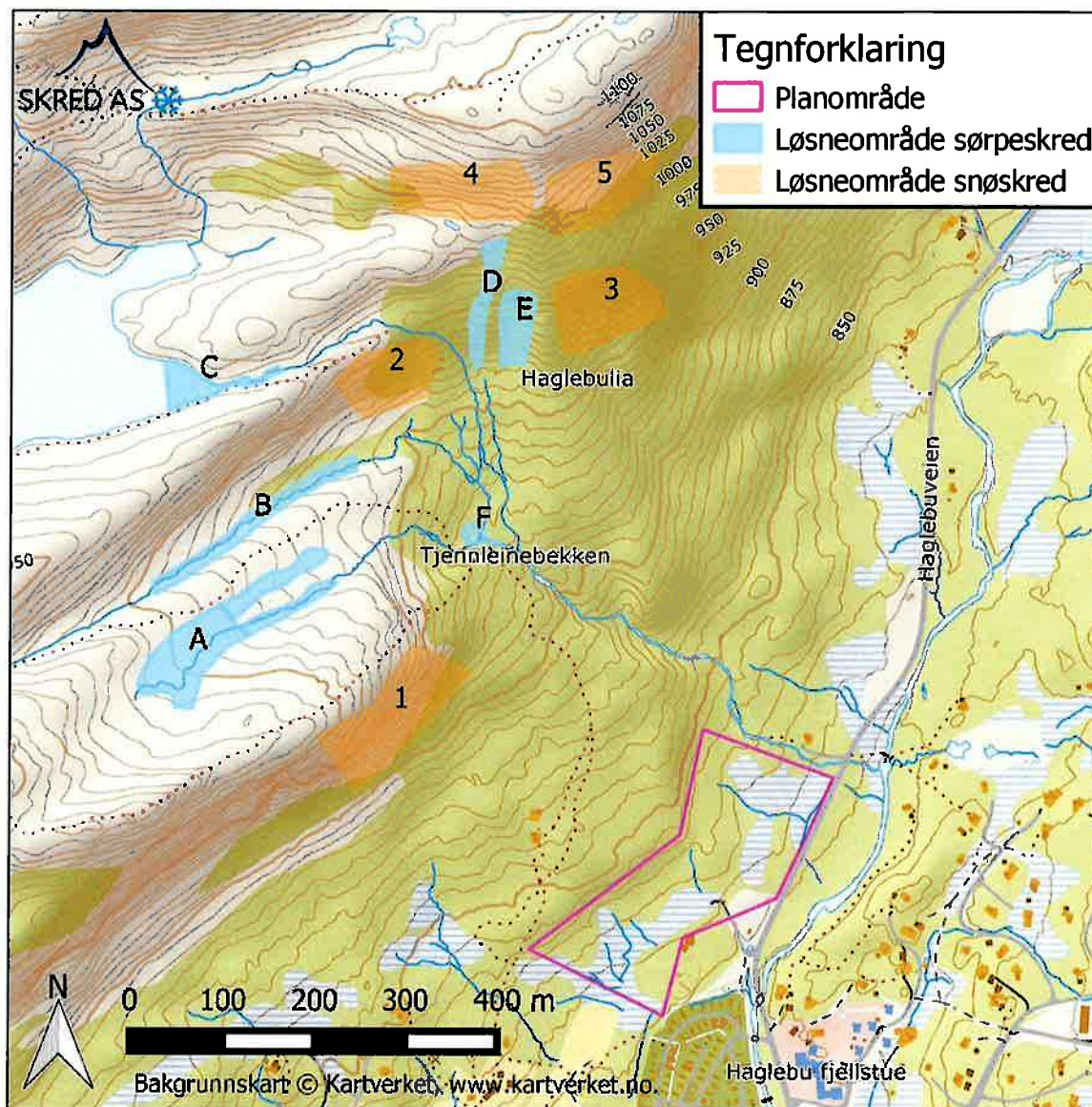


Figur 5: Dronefoto over deler av planområdet (stiplet) på vestsiden av Fv. 287 og fjellskrent vest for planområdet.

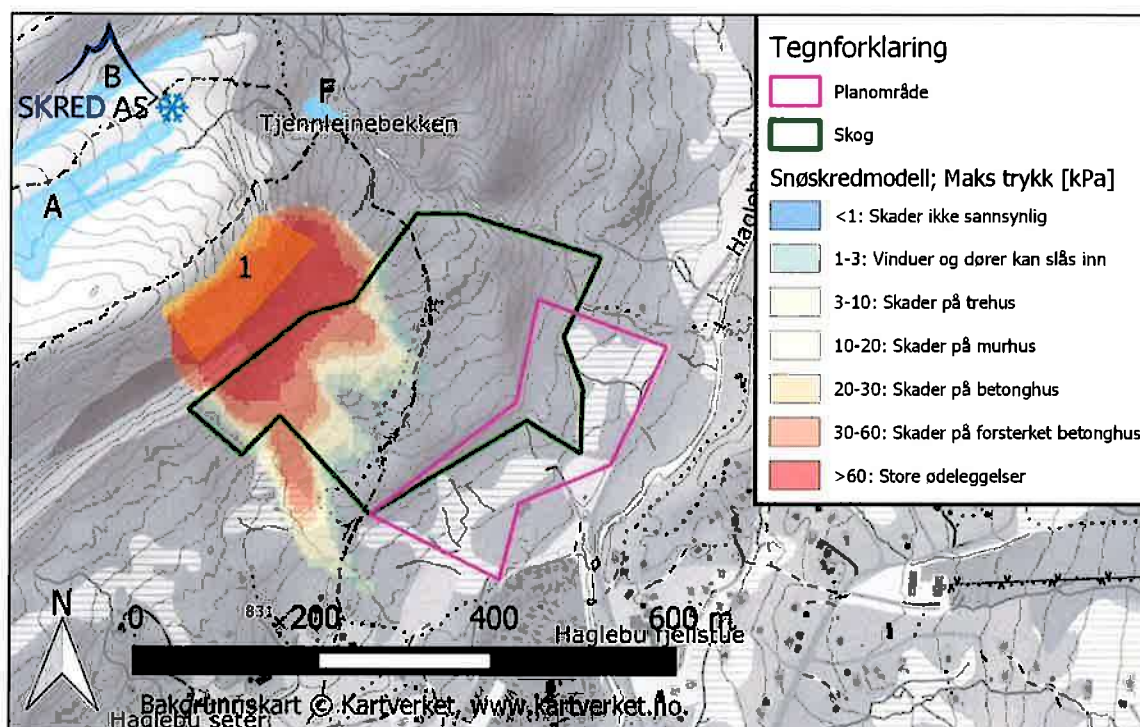
På bakgrunn av terrengeanalyser og observasjoner i felt mener vi derfor at noen av de bratte terrengpartiene nevnt ovenfor, under spesielle og sjeldne forhold, kan være løснеområder for større snøskred, avmerket i Figur 6. Snøskred fra løснеområdene i Figur 6 er modellert med RAMMS (Christen, Kowalski, & Bartelt, 2010) med ulike verdier for bruddhøyde og standard friksjonsparametre for store skred med langt gjentaksintervall (L300), justert for norske forhold. For løснеområde 1 er skogen tatt med i beregningene da det er tett granskog rett i underkant av løснеområdene. I Haglebulia, løснеområde 2-5, er skogen ikke tatt hensyn til da det i disse områdene er tynnere. Sistnevnte modelleringer er dermed konservative.

Modellresultatene viser at utløpet til skred fra løснеområde 1 ikke vil nå planområde når vi tar høyde for granskogen i modelleringene (Figur 7). Granskogen vurderes til å ha en signifikant bremsende effekt på skredet da den strekker seg helt opp til underkant av løснеområdene. Eventuelle snøskred fra løснеområdet 2 og 4 vil gå ned langs Tjennleinebekken, men stoppe nær grensen av planområdet. Snøskred fra løснеområdene 3 og 5 vil gå ned nordøst for planområdet. Når vi legger til grunn at granskogen har en reduserende effekt på utløpslengden og at verken terrenget eller skredhistorikken tilsier

store, sjeldne skred er det er det vurdert at årlig sannsynlighet for betydelige skader fra snøskred er mindre enn 1/5000.



Figur 6: Potensielle løsneområder for snøskred og sørpeskred.



Figur 7: Simulert snøskred med RAMMS for løснеområde 1 med 1 m bruddhøyde. Skogen som er tatt med i beregningen er vist med grønn polygon, og bidrar til kraftig redusert utløpslengde kontra om skogen ikke hadde vært der. Figuren viser maks trykk fra et eventuelt snøskred.

3.8.2 Sørpeskred

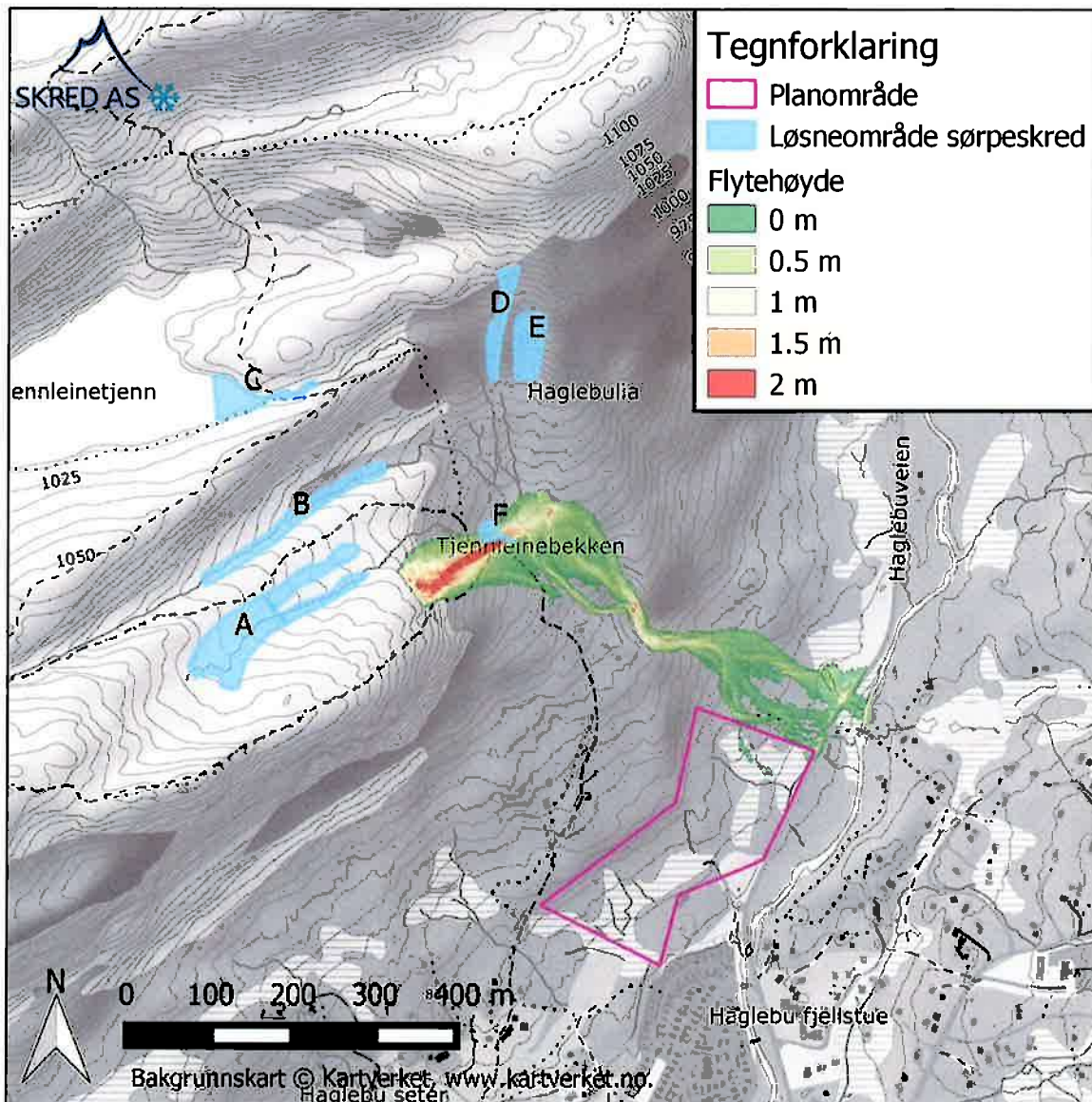
Sørpeskred utløses typisk fra slake og konkave terrengpartier der store snømengder kan akkumuleres og bli vannmettet uten at vann finner en naturlig avrenning. Myrområder kan i noen tilfeller ligge til rette for utløsning av sørpeskred, det samme gjelder mindre tjern og vann, som derfra har en tendens til å følge bekkeløp og annet forsenket terreng ned mot dalbunnen. Det finnes ingen modellverktøy for å modellere utbredelsen av sørpeskred, men flomskredmodulen til RAMMS er benyttet for å beregne flytmønstre. Modellerte løснеområder for sørpeskred avviker fra potensielle løснеområder på grunn av modellkriterier knyttet til terrenghelling for utløsning av skred.

Det er flere potensielle utløsningsområder for sørpeskred i området, se Figur 6. Det er vurdert at sørpeskred kan løsne fra de slake myrene som drenerer til Tjennleinebekken, markert som løснеområde A og B. I tillegg kan sørpeskred potensielt starte ved utoset av selve Tjennleinetjenn (C), i fjellsiden hvor det er tydelig spor etter erosjon eller gamle skred i Haglebulia (D, E), samt fra et mindre parti nede i bekken (F). Felles for alle løснеområdene er at de i hovedsak drenerer ned langs Tjennleinebekken.



Figur 8: Nordre deler av planområde (stiplet) og Haglebulia sett mot nordvest. Tjennleinebekken renner til venstre for hytta i bildet (heltrukken linje).

Flere steder viser modellen at et eventuelt sørpeskred kan forlate bekkeløpet. I den nedre delen av utløpsområdet, hvor bekkefaret ikke er like markert som lengre opp, vurderer vi dette som sannsynlig ved en skredhendelse, og skyggekartet underbygger dette. I øvre område vurderer vi dette som mindre sannsynlig, i tillegg til at massene da vil føres ut i et ikke-kanalisert løp i granskogen. Dette gjør at et eventuelt skred vil spre seg mer, og miste mer energi. Figur 9 viser modellert flythøyde av sørpeskred med flomskredmodulen til RAMMS. Modellert løsneområde avviker litt fra skisserte løsneområder på grunn av krav til helling i startområde for modellen. Oppløsning på terrenngmodellen benyttet er 2 x 2 m, friksjonsparametere er $\xi = 2000 \text{ m/s}^2$, $\xi = 0.05$, en kombinasjon av inngangsparametere som våre erfaringer tilsier fungerer tilfredsstillende for sørpeskred.



Figur 9: Modellert bevegelse til sørpeskred med flomskredmodulen til RAMMS. Modellert løsneområde avviker litt fra skisserte løsneområder på grunn av krav til helling i startområde for modellen. Det er benyttet snødybde på 1.0 m i løsneområdet.

Vi er ikke kjent med at det har gått sørpeskred i dette området, men på bakgrunn av topografien kan dette ikke utelukkes. I tillegg befinner vi oss i et kontinentalt klima som tilsier at vi kan ha store snømengder som beholder sin lagdeling igjennom hele vinteren. Dette betyr at vi kan ha ustabil snødekke når snøsmeltingen begynner eller når det faller store nedbørmengder som regn, noe som øker sjansen for utløsning av sørpeskred.

Vi vurderer sørpeskred som en sjelden hendelse, og eventuelt utløp vil i hovedsak begrense seg til området langs bekken. Det er derfor tegnet 1/5000 faresone for sørpeskred langs Tjennleinebekken som strekker seg inn i den nordlige delen av planområde.

3.8.3 Løsmasseskred

Løsmassedekket ovenfor tomten er generelt slakere enn 25° som kreves for at løsmassedekket skal bli remobilisert og jordskred skal oppstå. Enkelte partier i skogen er brattere, men løsmassene består av grove blokker. Det ble ikke observert finkorning materiale, og det er derfor lite sannsynlig at jordskred skal oppstå. Heller ikke langs Tjennleinebekken ble det observert finkornige løsmasser, og bekken rant for det meste på fjell eller igjennom grove materialer og blokker.

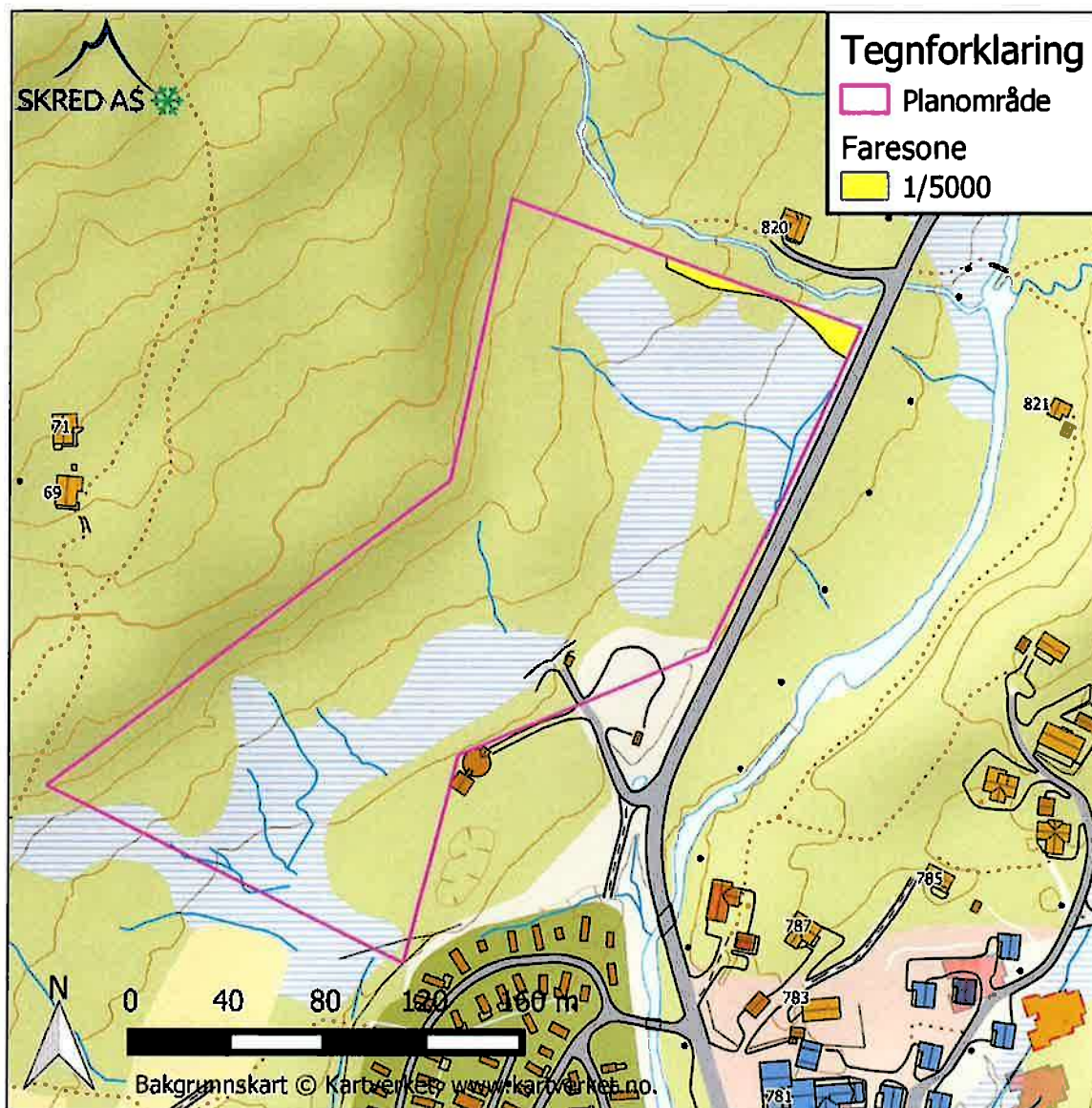
Terrenget på begge sider av søkket der Tjennleinebekken renner, er stedvis brattere enn 25-30°. Vi kan således ikke utelukke at grove morenemasser under en sjeldent stor flom kan eroderes og transporteres nedover langs bekken. Om dette skjer raskt kan det utarte seg som et flomskred. Vi vurderer den årlige sannsynligheten for en slik hendelse å være noe større enn 1/5000. Sidespredningen og utløpet av massene i en slik hendelse vurderes imidlertid å være noe mindre enn det som er beregnet for sørpeskred, og derfor resulterer ikke dette scenarioet i større faresoner enn det som er dimensjonert av sørpeskred.

3.8.4 Skred i fast fjell

Utfall av steinblokker krever skrenter i fjell eller steinholdige løsmasser med helning på minst 40 - 45°. Utfall av steinblokker fra skrenten i vest og nord for planområdet er ikke usannsynlig, og det ble observert moderat oppsprekking i de mange mindre skrentene. Eventuelle utfall ventes å stoppe opp i det slakere og ru terrenget nedenfor skrenten. Tatt i betraktning avstanden mellom planområdet og skrenten i forhold til deres høydeforskjell, vurderes den årlige sannsynligheten for steinsprang inn i planområdet å være betydelig mindre enn 1/5000.

3.8.5 Faresoner for skred

Vi vurderer at hele det vurderte området har en årlig sannsynlighet for skader fra skred som er mindre enn 1/1000. På grunn av fare for sørpeskred, og sekundært flomskred, er det tegnet inn en 1/5000 faresone ved utløpet av Tjennleinebekken nord i planområdet.



Figur 10: Faresoner for skred.

3.8.6 Mulighet for å redusere eller bygge i faresonene for skred

Faresonene kan reduseres ved å etablere sikringstiltak mot flom-/sørpeskred. Dette kan for eksempel være bedre kanalisering av elveløpet, bedre flomforebygging eller ledevoller. Eventuelle sikringstiltak må detaljprosjekteres.

Tiltak mot 5000 års skred blir erfaringsmessig omfattende. Derfor, og også i henhold til NVEs anbefalinger, mener vi at bebyggelse i størst mulig grad bør forsøkes plassert utenfor faresoner. Vi kan imidlertid bistå dersom en ønsker å se nærmere på sikringsmulighetene.

4 Flomfare

4.1 Vurdert vassdrag

Tjennleinebekken renner langs den nordre kanten av planområdet. Bekken har et veldefinert, jevnt bratt og løp der bekkeløp i stor grad består av grovere masser med innslag av berg i dagen. Elva Flenta renner øst for planområdet og utgjør også ifølge NVE sine aktsomhetssoner en potensiell flomfare.



Figur 11: Karakteristisk bilde av Tjennleinebekken.

4.2 Flomberegning

4.2.1 Tjennleinebekken

4.2.1.1 Metode

Ved beregning av dimensjonerende flommer i Tjennleinebekken er NVE-veilederen «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt» (NVE, 2015a), og NVE-rapporten «Anbefalte metoder for flomberegninger i små uregulerte felt» (NVE, 2015b) lagt til grunn. Metodene benyttet i flomberegningene av Tjennleinebekken er beskrevet under.

Vannføringsmålinger og flomfrekvensanalyse

Det foreligger ingen kjente målinger av flomvannføringer i Storelva. Det er derfor funnet et utvalg målestasjoner som sammen kan gi en indikasjon på flomforholdene. Indikasjonen fås gjennom beregning og vurdering av spesifikk middelflom og flomfrekvensanalyse, samt analyse av feltkarakteristika opp mot aktuelt nedbørfelt.

Flomformelverk for små nedbørfelt

I NVE (2015a) presenteres et nasjonalt formelverk for flomberegninger i nedbørfelt der feltareal er mindre enn 50 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. Det betyr at et godt estimat av middelflom vil redusere usikkerheten i beregningene betraktelig.

Rasjonelle metoden

Den rasjonelle formelen beregner vannmengder basert på nedbørstatistikk, feltareal og antatt avrenningskoeffisient. Dimensjonerende nedbør hentes fra relevant IVF-kurve eller nedbørstatistikk, basert på estimert konsentrasjonstid. Det foreligger ulike anbefalinger til hvor store felt formelen bør benyttes til. Anbefalingene varierer mellom 0,2 og 5 km². Generelt bør formelen benyttes forsiktig i naturlige felt og helst i kombinasjon med andre metoder.

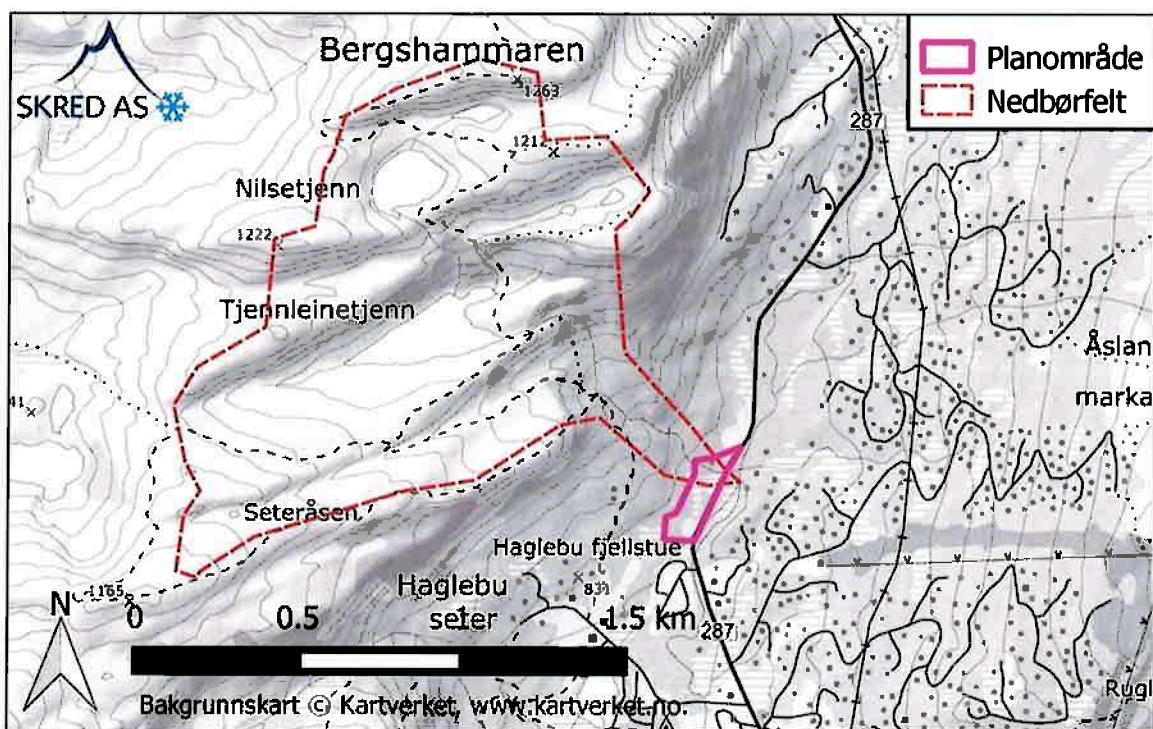
4.2.1.2 Nedbørfelt

Nedbørfeltet til Tjennleinebekken er identifisert gjennom NVE-applikasjonen NEVINA og verifisert visuelt. Feltet er dominert av snaufjell med noe skog i de lavereliggende områdene. Nildetjenn og Tjennleinetjenn vil gi en naturlig demping av flomtoppene. Tabell 4 viser feltkarakteristika til Tjennleinebekken, mens feltgrenser er vist i figur 12.

Tabell 4: Feltkarakteristika til Tjennleinebekken.

Vassdrag	Feltareal [km ²]	\bar{q}_N [l/s ² km ²]*	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Snaufjell [%]	Høydeint. [moh]
Tjennleinebekken	1,4	26	2,8	20	70	822 - 1266

*Hentet fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961 – 90.



Figur 12: Feltgrensene til Tjennleinebekken.

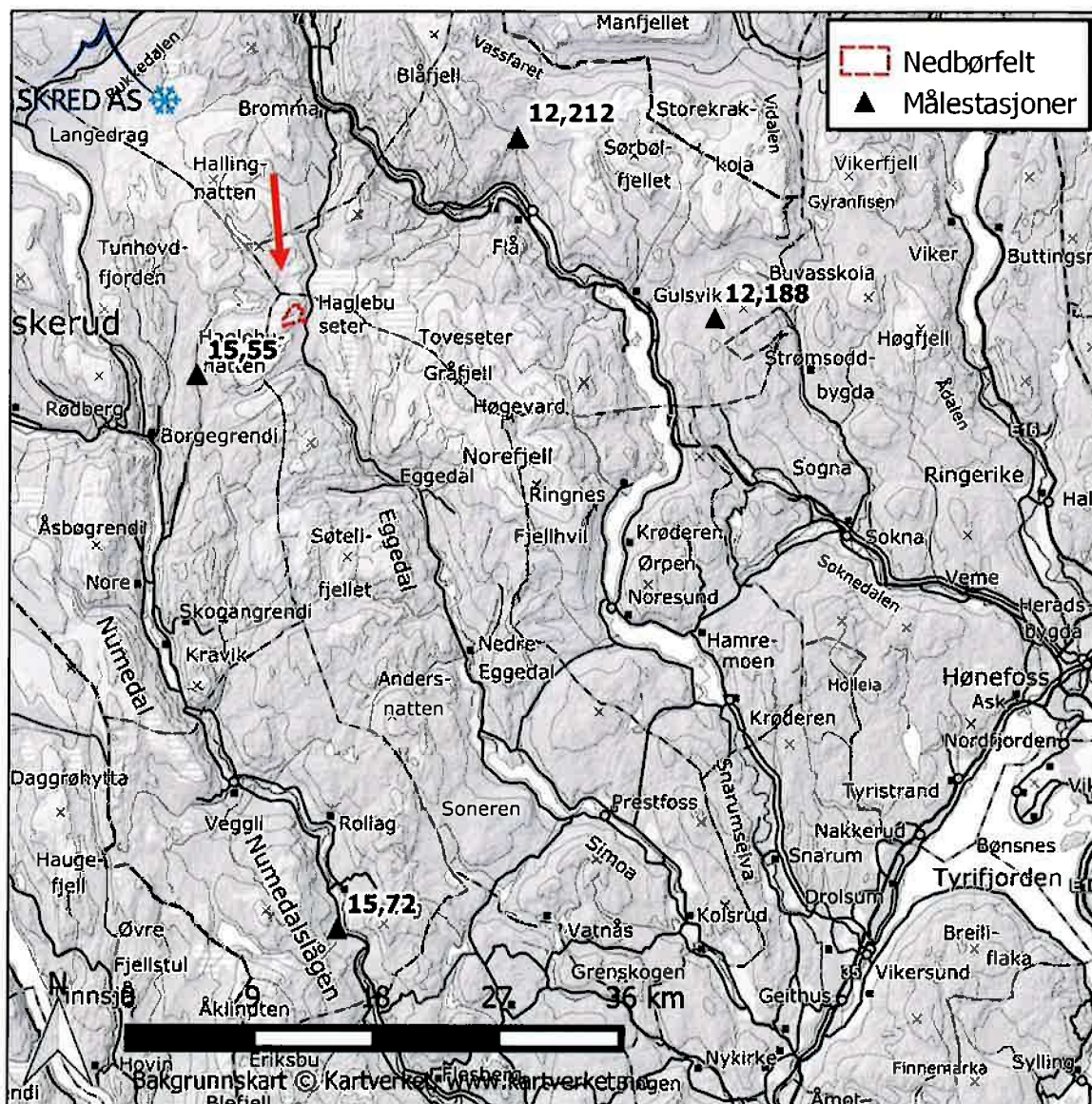
4.2.2 Flomberegning med utvalgte metoder

4.2.2.1 Vannføringsmålinger og flomfrekvensanalyse

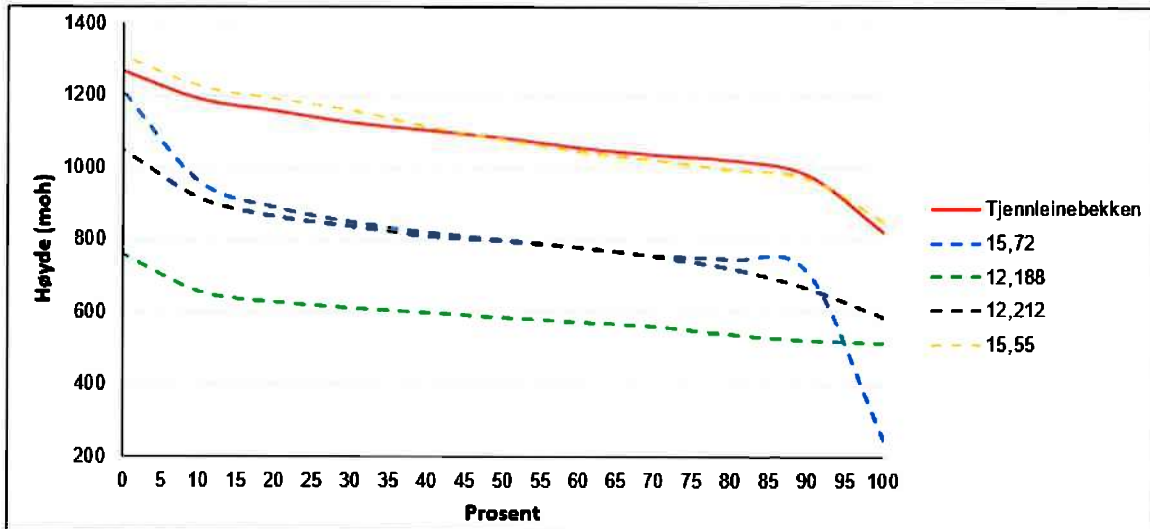
Det er funnet et utvalg målestasjoner som sammen kan gi en indikasjon på flomforholdene i Tjennleinebekken. Feltkarakteristika til de utvalgte stasjonene er gitt i Figur 13. Hypsografisk kurve for Tjennleinebekken og vurderte målestasjonene er vist i Figur 14.

Tabell 5: Feltkarakteristika til utvalgte referansevasdrag.

Måle-stasjon	Feltareal [km ²]	Måleperiode [år]	q _N [l/s*km ²]	Eff. Sjø [%]	Sjøg. [%]	Snar-fjell [%]	Høydeint. [moh]
Tjennleinebekken	1,4		26*	2,8	20	70	822 - 1266
15.55 Økta	49.4	1966 - 81	16	4,0	25	50	851 - 1308
15.72 Sørkja	36.3	1979 - 1993	25	5,4	65	10	246 - 1209
12.188 Langtjernbekk	4.81	1973 - dd	20	4,9	85	0	518 - 758
12.212 Hangstjern	11.6	1986 - dd	17	0,7	75	5	586 - 1047



Figur 13: Lokasjon til utvalgte målestasjoner.



Figur 14: Hypsografisk kurve for vurdert vassdrag 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 6.

Tabell 6: Resultater fra flomfrekvensanalyse på årsflommer, frekvensfordeling.

Målestasjon	År	Feltareal [km ²]	Middelflomm		Q20 / QM	Q200 / QM	Metode	Kurvekvalitet (fløm)
			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)	Svært usikker
12.212 Hangstjern	33	11.6	2.42	209	1.68	2.35	Gumbel (mom)	Usikker

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

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 Tjennleinebekken gir formelverket et forholdstall for vår- og høstflom på henholdsvis 1,5 og 1,8. Et forholdstall på ca. 1,8 kan virke realistisk.

4.2.2.2 Flomformelverk for små nedbørfelt

Middelavrenning fått fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-1990 kan virke rimelig sammenlignet med verdiene ved målestasjonene. Det er derfor valgt å benytte en middelavrenning på $26 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ i flomformelverket.

Resultatene gitt fra flomformelverket for små nedbørfelt er presentert i tabell 7. Det er gitt resultater for middelestimat, samt øvre- og nedre konfidensintervall (95%).

Tabell 7: Resultater fra flomformelverket for Tjennleinebekken (kulminasjon)

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]				
Lav (95 %)	0.4	254			0.6	1.0
Middel	0.7	509	1.74	2.86	1.2	2.0
Høy (95 %)	1.4	1017			2.5	4.1

4.2.2.3 Den rasjonale formelen

Konsentrasjonstid er estimert til ca. 2 timer basert på empirisk formel for naturlig felt gitt i SINTEF (1992). Avrenningskoeffisienten (C-verdi) er et uttrykk for hvor stor andel av den totale nedbøren som går direkte til overflateavrenning, og vurderes til 0,5. Faktoren styres av type vegetasjon og underlag i feltet, og underlagets evne til fordrøyning av vann. Det forventes at avrenningskoeffisienten øker med økte returperioder som en konsekvens av mer vann og større vannmetning i feltet. Høy vannmetning vil medføre at en større andel av nedbøren går direkte til avrenning og at feltet får en kortere konsentrasjonstid. IVF kurve 24880 Nesbyen – Skoglund er benyttet. Resultater gitt av den rasjonale formelen for Tjennleinebekken er presentert i Tabell 8.

Tabell 8: Resultater fra den rasjonale formelen for den vestre bekken, 200-årsflom.

Bekk	IVF-kurve	Areal [km ²]	Kons. Tid [min]	I200 [l/s*ha]	C-verdi	Q200 [m ³ /s]
Tjennleinebekken	24880 Nesbyen	1,4	120	34	0,5	2,4

4.2.2.4 Klimaframskrivninger

I henhold til anbefalinger i Klimaprofil for Buskerud (Norsk Klimaservicesenter, 2017) er det valgt å benytte et klimapåslag på 40 % for å ta hensyn til forventende endringer i korttidsnedbør/flomstørrelser frem mot år 2100. Klimatillegget er valgt basert på en tolkning av anbefalingene.

4.2.2.5 Vurdering av resultatene

Det forventes høyere spesifikk middelflom i Tjennleinebekken enn ved alle de vurderte målestasjonene, hovedsakelig grunnet forskjellen i feltareal og andel snaufjell. 15,55 Økta ligger geografisk nært og har en tilsvarende hypsografisk kurve som Tjennleinebekken, men et betydelig større feltareal. En spesifikk døgnmiddelflom på 300 l/s*km² synes realistisk som sammen med et forholdstall på 1,8 mellom døgnmiddel- og kulminasjonsvannføring gir en kulminert spesifikk middelflom på 540 l/s*km². Verdien ligger i øvre konfidensintervall fra flomformelverket, noe som på bakgrunn av bratt karakteristikk synes realistisk. Da frekvensfordelingen fått av flomformelverket er vurdert som robust og gir godt samsvar med 5,72 Sørkja som vurderes geografisk mest relevant, blir denne benyttet. Vurderte flomstørrelser fra målestasjonene og formelverket gir godt samsvar med den rasjonale metoden. I Tabell 9 er resulterende flomverdier fra de ulike metodene gitt.

Tabell 9: Resulterende flomverdier fra de ulike metodene for flomberegning (kulminasjon, før klimapåslag).

Metode	Middelflom [l/s*km ²]	q200 [l/s*km ²]
Vurdert fra målestasjoner	540	1100 - 1600
Formelverk for små nedbørfelt	250 – 1000	730 - 2900
Rasjonale formelen	-	1700

4.2.2.6 Dimensjonerende flommer

Dimensjonerende middelflom er satt basert på vurdering av målestasjonene, mens frekvensfordelinger er satt basert på flomformelverket. Valgte verdier gir godt samsvar med den rasjonale formelen. Resulterende flomverdier er gitt i Tabell 10. Spesifikk 200-årsflom inkludert klimatillegg er beregnet til ca. 2150 l/s*km².

Tabell 10: Dimensjonerende flommer i Tjennleinebekken (kulminasjon).

Vassdrag	Feltareal [km ²]	Klimatillegg	Middelflom		Q ₂₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
			Q _M [m ³ /s]	q _M [l/s*km ²]		
Tjennleinebekk	1,4	40 %	1,1	760	1,8	3,0

4.2.3 Flenta

I 2017 ble det utført en flomberegning av Flenta ved Medalen camping som ligger rett nedstrøms det vurderte planområdet, og er således relevant. Det henvises til Skred AS rapport 17231-01-1 for detaljert rundt flomberegningen. Resulterende flomverdier for Flenta er gjengitt i Tabell 11.

Tabell 11: Dimensjonerende kulminasjonsflommer i Flenta, gjengitt fra Skred (2017)

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	13,7	20	580	8	14	22

4.3 Hydraulisk modellering

4.3.1 Modell og oppsett

Ved modellering av kapasitet til bekkeløp og hydrauliske parametere er programvaren Hec-Ras versjon 5.0.6 benyttet. De viktigste inngangsparameterne til Hec-Ras modellen er geometri (terrengmodell, grid, elvebanker og konstruksjoner), ruhet, grensebetingelser og vannføring. Basert på bakkepunkter fra LiDAR-data av området fra 2018 er det etablert en terrengmodell med horisontal oppløsning på 1 x 1 meter av vassdragene med tilgrensende områder.

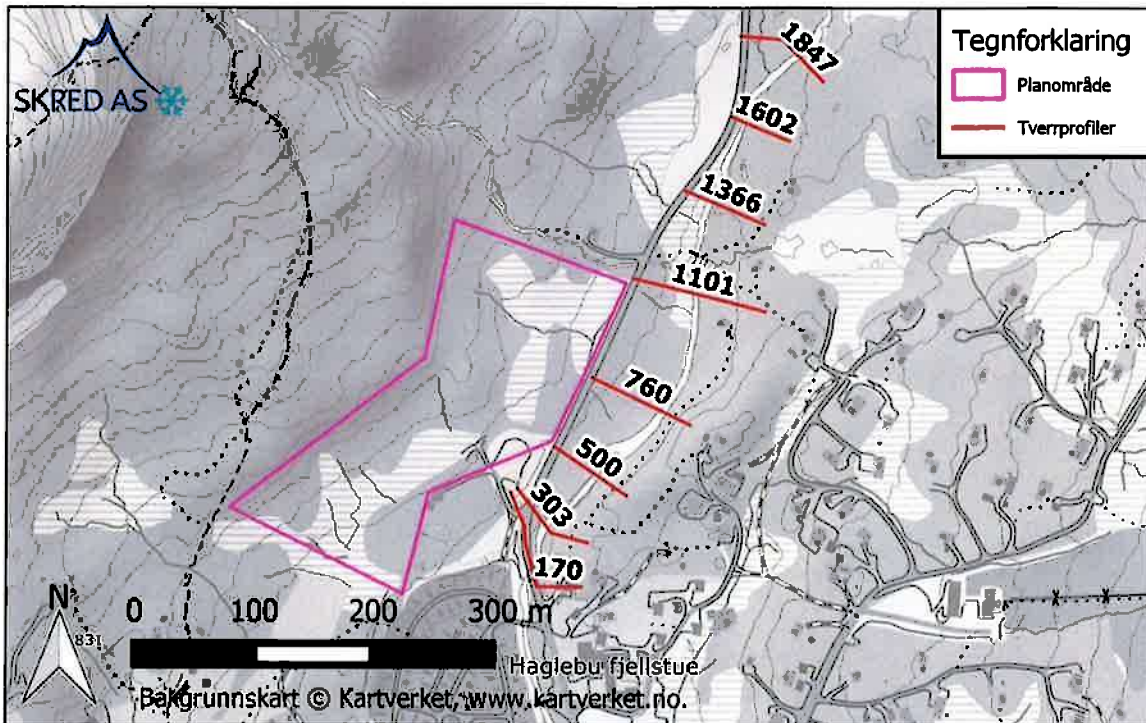
4.3.1.1 Tjennleinebekken

Tjennleinebekken har stedvis en gradient som går utover anbefalingene for bruk i Hec-Ras. Dette skyldes at modellen antar en hydrostatisk trykkfordeling, og ikke tar hensyn til effekter som vertikale hastighetskomponenter og luftinnblanding. For å kompensere for disse effektene blir modellen kjørt med høyere ruhetsverdier enn hva som i utgangspunktet er anbefalt, og modellen er kjørt med et høyoppløselig beregningsgrid.

For Tjennleinebekken er en 2D-modell vurdert mest hensiktsmessig. I Hec-Ras er det etablert et beregningsgrid med horisontal oppløsning på 1 x 1 meter. Modellområdet strekker seg fra ca. 100 meter oppstrøms planområdet og ned til Haglebuvegen der normalstrømning er benyttet som grensebetingelser. *Full-momentum equation* er benyttet, med Manningstall på 5, 7,5 og 15.

4.3.1.2 Flenta

For Flenta er det etablert en 1D-modell. Da det i utgangspunktet ikke forventes at planområdet vil bli berørt ved flom i Flenta er modellen kjørt med konservative parametere. Det forventes derfor at reel 200-års vannlinje vil kunne ligge noe lavere enn resulterende verdier. Som nedstrøms grensebetingelse er det satt en vannstand til + 815 moh. om tilsvarer en overløpssituasjon over veibanen. Det er benyttet et Manningstall på 15. Lokasjon til benyttede tverrprofiler er vist i Figur 15.

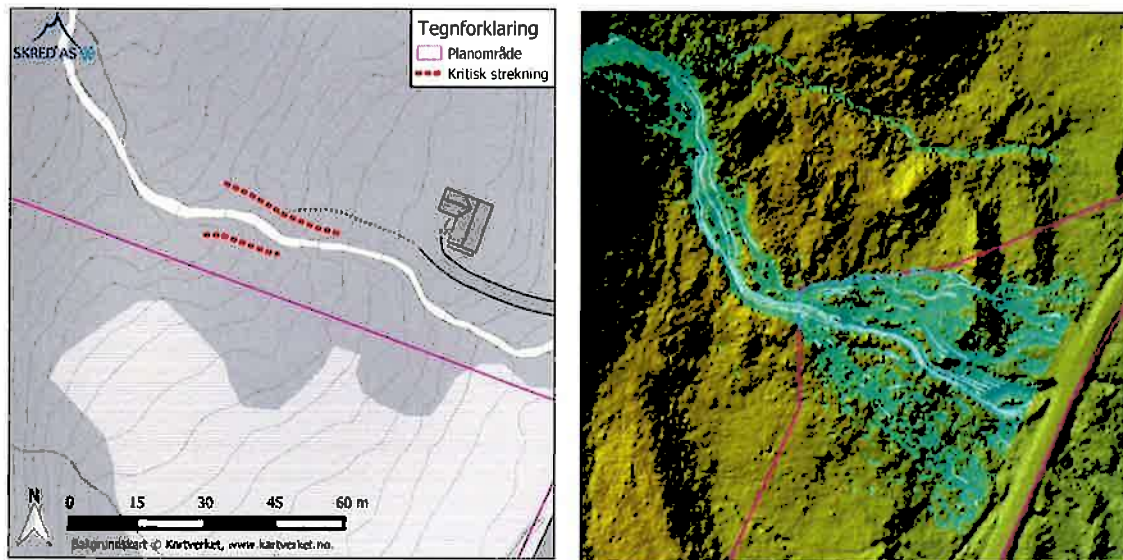


Figur 15: Lokasjon til tverrprofiler i Hec-Ras modell.

4.3.2 Resultater

4.3.2.1 Tjennleinebekken

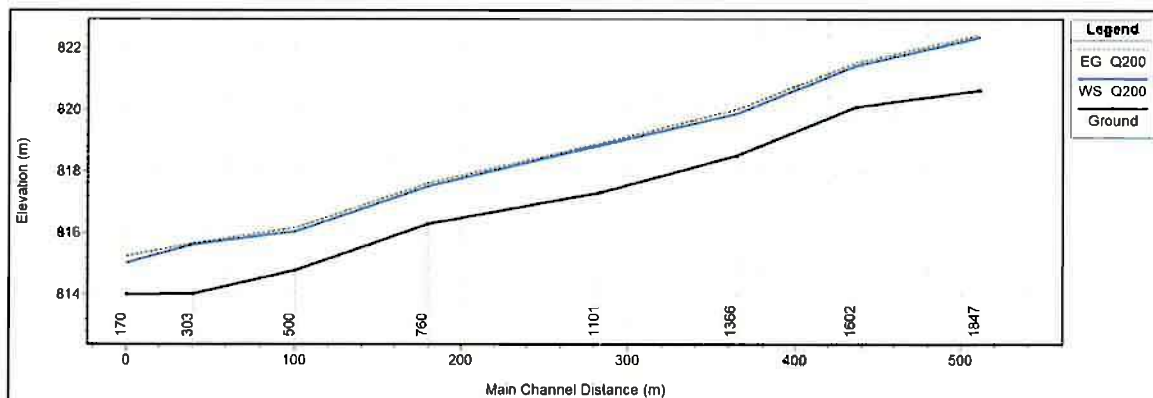
Modelleringen av Tjennleinebekken indikerer at bekkeløpet har begrenset kapasitet på en strekning øverst i planområdet. Den kritiske strekningen ligger i tilknytning til en sving der bekkeløpet flater ut lokalt, som potensielt er utsatt for masseavlaging i forbindelse med større flommer. For modellert 200-årsflom for alle ruhetsparametere gir modellen overløp både nord- og sørover. Også et bekkeløp helt nord i planområdet vil bli aktivert. Figur 16 viser identifiserte kritiske strekninger samt et utsnitt fra modellberegningen.



Figur 16: Kritiske strekninger og utsnitt fra modellberegningene for Tjennleinebekken ($n=0.2$).

4.3.2.2 Flenta

Modelleringen av Flenta viser at planområdet ikke vil bli berørt ved en fremtidig 200-årsflom i elva. Vannlinja vil ligge godt under nivået til Haglebuveien i tilknytning til planområdet. Basert på den hydrauliske modellen vurderes det at årlig sannsynlighet for at planområdet blir berørt ved flom i Flenta er mindre enn $1/200$. Figur 17 viser modellert vannlinje der det refereres til profilene i Figur 15.



Figur 17: Modellert 200-års vannlinje i Flenta.

4.3.3 Sensitivitetsanalyse og vurdering av sikkerhetsmargin

Modellen for Tjennleinebekken er kjørt med ulike ruhetsparametere som gir en indikasjon på følsomheten. En reduksjon i Manningstall fra 15 til 5 ga en økt vannlinje på mellom 0,05 og 0,3 meter langs modellert bekkestrekning.

I Flenta er det gjort en egen analyse der både ruhet og 200-årsflom er økt med 20 % ($M = 12$, $Q=27 \text{ m}^3/\text{s}$). Analysen gir en økning i vannstand på opp mot 0,4 meter, noe som ikke er kritisk for flomsikkerheten til planområdet.

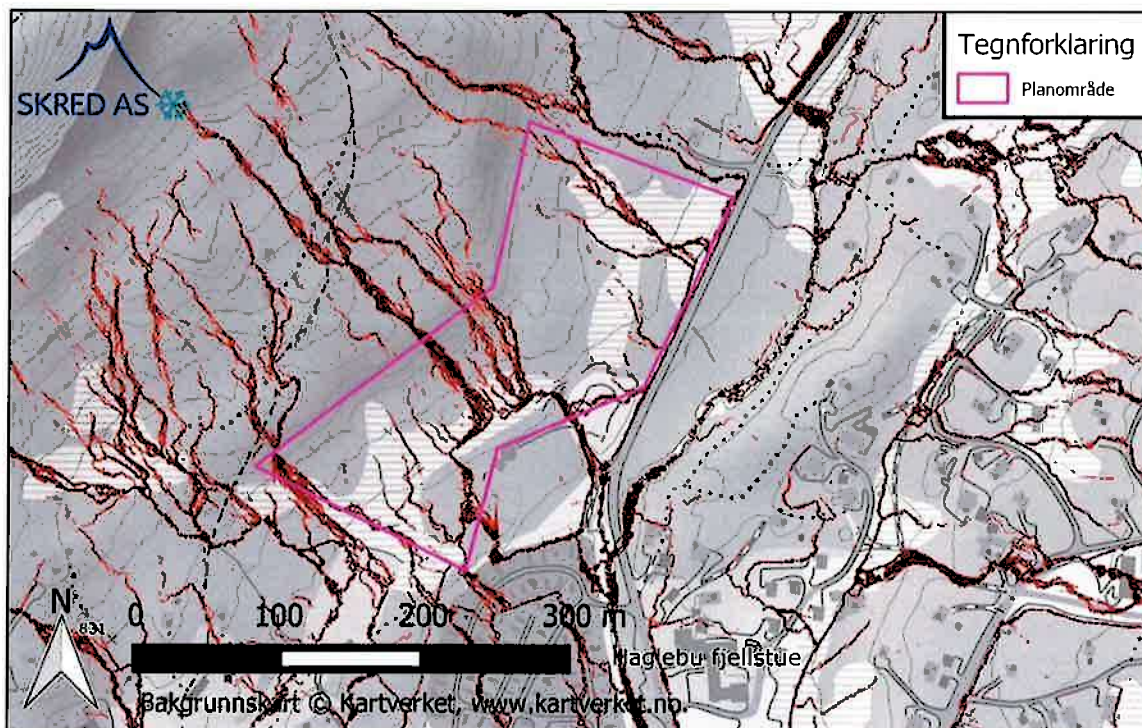
Fra vurdering av sensitivitetsanalysene, betraktning av vannhastigheter og generell usikkerhet anbefales det å benytte en ekstra **sikkerhetsmargin på minimum 0,5 meter** ved praktisk bruk av faresonene og etablering av tiltak.

4.4 Vurdering av sikkerhet mot erosjon

De modellerte vannhastighetene og den bratte karakteristikken til bekken gir i utgangspunktet potensiale for erosjon. Under befaringen ble det ikke påvist pågående erosjon i tilknytning til bekkeløpet. Løpet består i hovedsak av utvasket grov morene med innslag av berg i dagen, der erosjonsbestandigheten vurderes god (se Figur 11). Da bekkekant er lite erosjonsutsatt vurderes skjønnsmessig en sikkerhetssone på minimum 5 meter fra bekken å være tilstrekkelig for å oppnå nødvendig sikkerhet mot erosjon etter kravene i TEK17. Eventuelle sikringstiltak mot flom må utformes slik at de ikke tar skade av erosjon.

4.5 Flomveier

Under Haglebuveien krysser bekken gjennom to stikkrenner med dimensjon på henholdsvis 1000 og 550 mm. Antatt innløpskontroll er kapasiteten til disse to ca. $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$, slik at det forventes at flomveier blir aktivert ved større flommer. Flomveier fra kryssingen er vurdert gjennom flytanalyser, blant annet beskrevet i Bratlie (2015). Resultatene fra flytanalysen er illustrert i Figur 18.

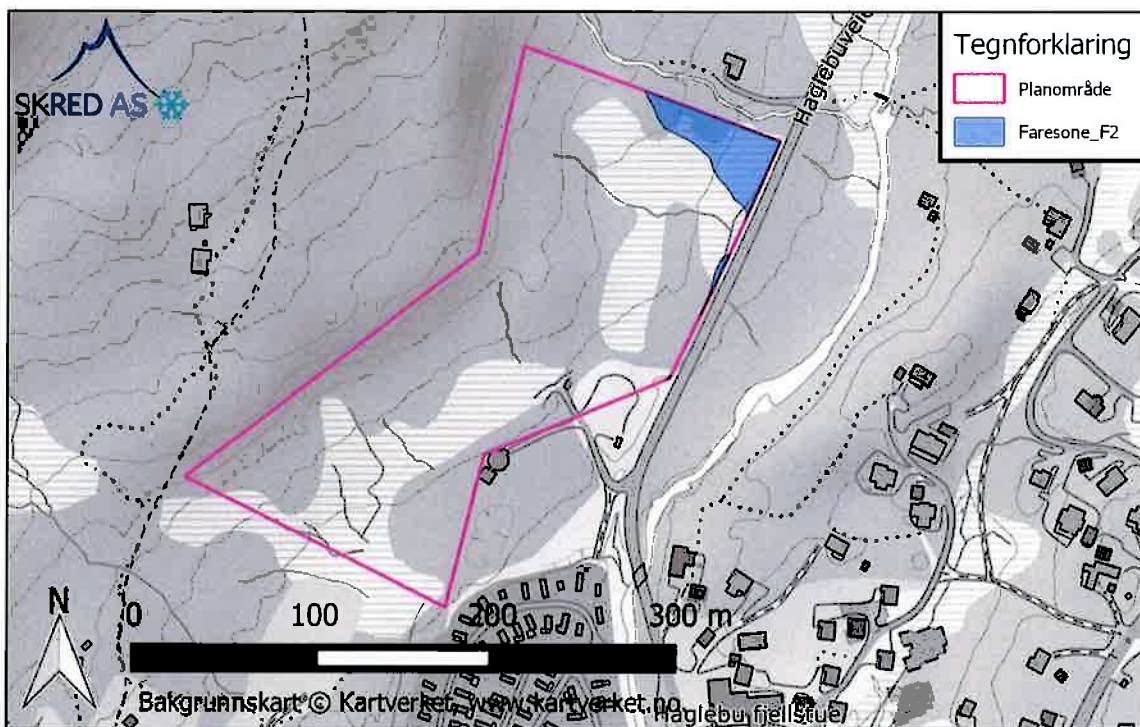


Figur 18: Resultater fra flytanalyser i GIS, mfd-analyse.

4.6 Faresoner for flom

Planområdet er ikke utsatt for flom i Flenta for årlige sannsynligheter større enn 1/200. Tjennleinebekken utgjør derimot en flomfare. Basert på resultater fra de de hydrauliske beregningene, vurdering av kritiske strekninger og flomveier er det tegnet faresone som viser hvilke områder som er utsatt for flom med en årlig sannsynlighet på 1/200 som tilsvarer sikkerhetsklasse F2.

Faresoner for flom er vist i Figur 19.



Figur 19: Faresone for flom.

4.7 Mulighet for å redusere eller bygge i faresonene for flom

Bebyggelse bør i utgangspunktet plasseres utenfor faresonen. Dersom det skal etableres bebyggelse innenfor faresonen for flom må området eller bygget utformes på en slik måte at byggverk ikke tar skade for dimensjonerende flom.

Flomvurderingen viser at omfanget til faresonen i stor grad skyldes begrenset kapasitet i bekkeløpet langs identifisert kritisk strekning, vist i Figur 16. Tiltak i tilknytning til disse strekningene i form av for eksempel mindre voller, som hindrer vannet i å nå ut av bekkeløpet, vil kunne redusere faresonene betraktelig.

Eventuelle sikringstiltak må detaljprosjekteres av fagkyndig med kompetanse innen naturfare. Faresoner bør revideres etter prosjektert tiltak.

5 Konklusjon

Alle skredtyper i bratt terreng er vurdert. Vår totalvurdering er at nordlige deler av planområdet ikke tilfredsstillende sikkerhetskravene for sikkerhetsklasse S3 grunnet faren for sørpeskred. Det er derfor tegnet faresoner i dette området.

Planområdet er potensielt utsatt for flom i elva Flenta og Tjennleinebekken. Planområdet vurderes å være utsatt for flom i Flenta med en årlig sannsynlighet lavere enn 1/200. Tjennleinebekken utgjør derimot en flomfare for nordre del av planområdet, der årlig sannsynligheten vurderes å være større enn 1/200.

Vurderte faresoner for flom og skred kan begrenses dersom det gjennomføres risikoreduserende tiltak. Eventuelle sikringstiltak må detaljprosjekteres av fagkyndig med kompetanse innen naturfare. Faresoner bør revideres etter prosjektert tiltak.

6 Referanser

- Bratlie, 2015 Beregning av flomveier med eksempler på bruk i kommunal forvaltning. Kart og plan 1- 2015.
- Christen, M., Kowalski, J., & Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Reg. Sci. Technol.*, pp. 63, 1–14.
- DiBK. (2017). *Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK17)*. Retrieved from <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>
- Kartverket. (2018). *Nasjonal Høydemodell DTM1*.
- Kartverket. (2018). *Nytt Høydesystem NN2000*.
- met.no. (2018). *Eklima - meteorologisk institutts vær- og klimadata*. Retrieved from <http://eklima.no>
- NGU. (2018a). *Nasjonal begrunnsdatabase*. Retrieved from <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>
- NGU. (2018b). *Nasjonal løsmassedatabase*. Retrieved from <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>
- Norconsult AS. (2003). *Kjosfoss Kraftverk - Flomberegning*.
- Norsk Klimaservicesenter. (2016). *Klimaprofil Sogn og Fjordane*.
- NVE. (2018). *NVE Atlas*. Retrieved from <https://atlas.nve.no/>
- SINTEF, 1992 Flomberegning og kulvertdimensjonering. Vann og avløp September 1992. STF60 A92101
- Skred AS, 2017. Sigdal, Flomfarevurdering Meldalen camping. Skred AS rapport nr. 17231-01-1.
- Spreafico, M., Hodel, H.P., Kaspar, H., 2001 Rauheiten in ausgesuchten schweizerischen Fliessgewässern.