Rapport

Oppdragsgiver	Navn Kleivi Næringspark AS	Kontaktperson Jon-Andreas Kolderup
Oppdrag	Nummer og navn 17153 Ål, Kleivi - Flom- og skredfarevurdering for Kleivi Næringspark	Oppdragsleder Petter Reinemo
Dokument	Nummer 17153-01-3 Utført av Petter Reinemo (flom), Kalle Kronholm (skred)	Dato 2017-10-27 Kontrollert av Gunnar Berg, COWI (flom), Andrea Taurisano (skred)

Faresoner for flom og skred

Sammendrag

Reguleringsplan for Kleivi Næringspark industriområde ligger innenfor NVE sine aktsomhetssoner for flom samt jord- og flomskred. Det ønskes derfor en detaljert flom- og skredfarevurdering av planområdet. I tillegg ønskes det en flomvurdering av eksiterende hytte på g/bnr. 126/20. Dagens krav til sikkerhet mot flom og skred, definert i TEK10/17 med veileder, er lagt til grunn for vurderingene.

Flomvurderingen viser at hele planområdet nord for Hallingdalselva er flomutsatt ved en 200-årsflom (sikkerhetsklasse F2), mens deler av planområdet nord for elva er utsatt ved en 20-årsflom (F1). Eksisterende hytte på g/bnr 126/20 er ikke utsatt ved en 200-årsflom i Hallingdalselva, men vannlinja vil nå opp mot eiendommen. Den delen av planområdet som ligger sør for Hallingdalselva er vurdert utsatt ved både en 20- og en 200-årsflom som en konsekvens av oppstrøms bekker. Dette da alle oppstrøms søkk er vurdert å være utsatt med tanke på å få tilført flomvann fra tilgrensende nedbørfelt, slik situasjonen var i 2011.

Det er faresoner for skred med årlig sannsynlighet ≥1/1000 inn i den sørlige delen av planområdet. Den eneste aktuelle skredtypen er løsmasseskred (flomskred). Som i hendelsen i 2011 vurderer vi at dimensjonerende skredtype er en overgang mellom flom og flomskred. Ved å oppgradere eksisterende grøfter med voll på baksiden, og brattere helning og etablere nye grøfter/voller, vil man kunne redusere faresonene betydelig.

Dersom det skal etableres ny bebyggelse innenfor faresonene må det utføres risikoreduserende tiltak mot flom og skred. Tiltakene må detaljprosjekters. Aktuelle tiltak er skissert i rapporten og innebefatter voller, heving av planeringshøyde og etablering av avskjærende grøfter/bekker/voller.

Innhold

1 Innledning 5
1.1 Bakgrunn 5
1.2 Befaring 5
1.3 Forbehold 6
2 Krav til sikkerhet 7
2.1 Lovverket 7
2.2 Flom 7
2.2.1 Aktuelle krav 8
2.3 Skred 8
2.3.1 Aktuelle krav 9
2.3.2 Vurderte skredtyper 9
3 Vurdering av flomfare 11
3.1 Vurderte vassdrag 11
3.2 Hallingdalselva 12
3.2.1 Beskrivelse av elveløp 12
3.2.2 Tidligere flomhendelser 12
3.2.3 Flomberegning 13
3.2.4 Hydraulisk analyse 17
3.2.5 Sensitivitetsanalyse 18
3.2.6 Resultater og flomsoner 19
3.2.7 Sikkerhetsmargin 24
3.2.8 Vurdering av fare for erosjon 25
3.2.9 Risikoreduserende tiltak 25
3.3 Bekker sør for planområdet 26
3.3.1 Beskrivelse av bekker og nedbørfelt 26
3.3.2 Tidligere flomhendelser 29
3.3.3 Dimensjonerende vannmengder 30
3.3.4 Dagens situasjon 33
3.3.5 Vurdering av flomfare 36
3.3.6 Risikoreduserende tiltak 36
4 Skred 38
4.1 Beskrivelse av området 38
4.1.1 Topografi 38
4.2 Geologi 40
4.3 Vegetasjon og terrenginngrep 40
4.4 Registrerte skredhendelser 40
4.5 Tidligere rapporter 40
4.6 Aktsomhetsområder 40
4.7 Eksisterende skredsikringstiltak 40
4.8 Vurdering av skredfare 41

4.8.1 Snøskred 41
4.8.2 Sørpeskred 41
4.8.3 Løsmasseskred 42
4.8.4 Skred i fast fjell 44
4.8.5 Faresoner for skred 45
4.8.6 Forutsetninger for faresonene 46
4.8.7 Mulighet for reduksjon av faresonene 46

5 Konklusjon 47

6 Referanseliste 48

Figurer

Figur 1: Lokaliseringen av det vurderte planområdet ved Kleivi, Ål kommune. 5
Figur 2: Planområdet med aktsomhetssoner for flom. 11
Figur 3: Karakteristisk bilde av Hallingdalselva og nedstrøms bru over elva. 12
Figur 4: Feltgrensene til Hallingdalselva ved planområdet. 14
Figur 5: Lokasjon til vurderte målestasjoner. 15
Figur 6: Benyttet terrengmodell, beregningsgrid, konstruksjoner og plassering av grensebetingelser. 18
Figur 7: Estimert strømningsforhold ved en 20-årsflom. 19
Figur 8: Estimert 20-års flomsone og flomnivåer for Hallingdalselva ved Kleivi vest. 20
Figur 9: Estimert 20-års flomsone og flomnivåer for Hallingdalselva ved Kleivi øst. 21
Figur 10: Estimert strømningsforhold ved en 200-årsflom. 22
Figur 11: Estimert 200-års flomsone og flomnivåer for Hallingdalselva ved Kleivi vest. 23
Figur 12: Estimert 200-års flomsone og flomnivåer for Hallingdalselva ved Kleivi øst. 24
Figur 13: Sikkerhetssone mot erosjon (DiBK, 2016). 25
Figur 14: Identifiserte nedbørfelt til de største bekkene som berører planområdet 27
Figur 15: Resultater fra kartlegging av flomveier for en situasjon med tette stikkrenner. 28
Figur 16: Eksisterende stikkrenne under oppstrøms vei med redusert kapasitet og med stor fare for gjentetting og erosjon. 29
Figur 17: Lokasjon til vurderte referansevassdrag. 30
Figur 18: Kartlegging av dagens situasjon for håndtering av flomvann mot planområdet. 33
Figur 19: Inntaket ved punkt C i figur 18, som er vurdert som kritisk punkt med tanke på flomsikkerhet. 34
Figur 20: Stikkrenner ved punkt D, samt starten på naturlig flomvei østover. 35
Figur 21: Illustrasjon av anbefalte risikoreduserende tiltak. 37
Figur 22: Kart med beregnet terrenghelning. 38
Figur 23: Skyggekart som viser ravinene i Sangelie sør for planområdet. 39
Figur 24: Avskjærende grøft utenfor det sørøstlige hjørnet av planområdet. Flere steder, men ikke alle, var det en voll på nedsiden av grøftene. Enkelte steder var vollen opp til 1,5-2 m over bunn grøft. Flere steder, som her, var det begrenset fall i grøftene. 41

Figur 25: Eksempel på beregning av flytehøyde på skredmasser fra Sangelie. Plasseringen av eksisterende og anbefalte grøfter/voller er skissert. 44
Figur 26: Faresoner for skred med årlig sannsynlighet ≥1/1000. Punktene P1-P4 er beskrevet i teksten. 45

Tabeller

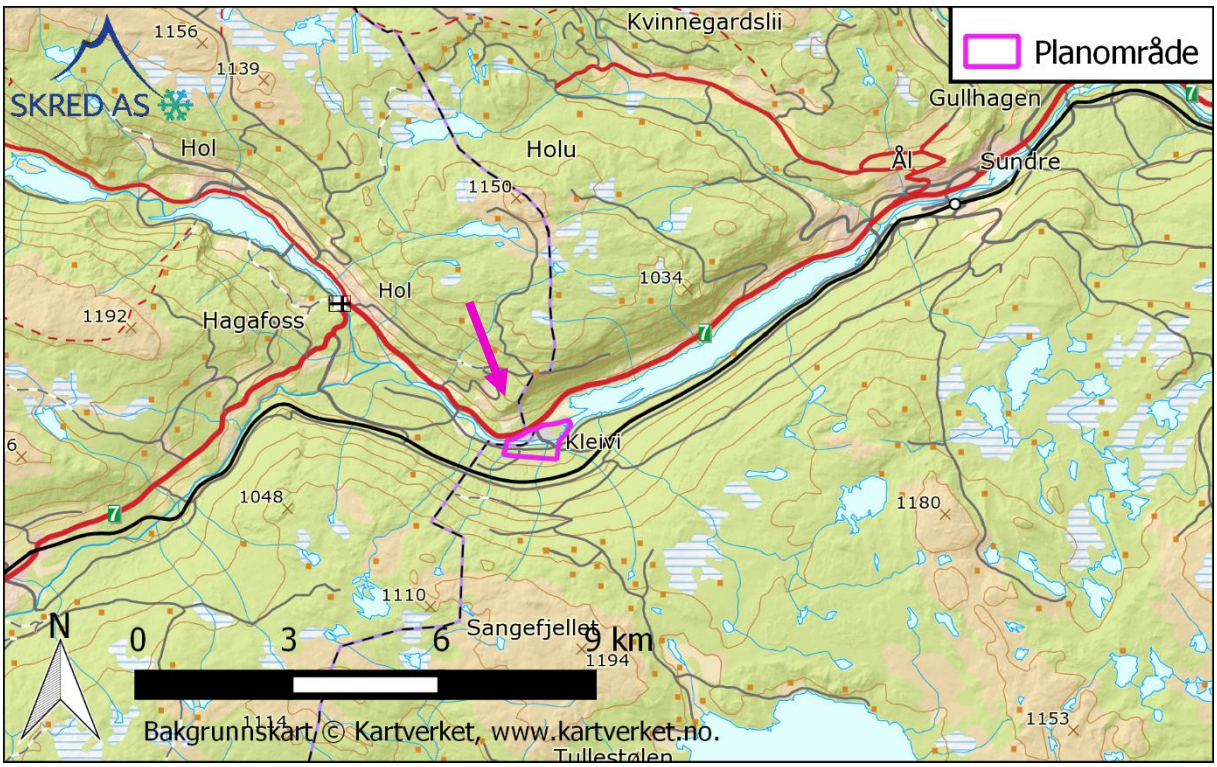
Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK10/TEK17 (DiBK, 2016). 7
Tabell 2: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK10/TEK17 (DiBK, 2016). 8
Tabell 3: Feltkarakteristika til Hallingdalselva. 13
Tabell 4: Resultater fra flomfrekvensanalyse og regionale flomformler med frekvenskurver. 15
Tabell 5: Dimensjonerende kulminasjonsflommer beregnet for Hallingdalselva ved Kleivi. .. 16
Tabell 6: Benyttede Manningsnummer. 18
Tabell 7: Feltparametere til bekkene som berører planområdet sør for Hallingdalselva. 26
Tabell 8: Feltkarakteristika til utvalgte referansevassdrag. 30
Tabell 9: Resultater fra flomfrekvensanalyse på årsflommer, frekvensfordeling. 31
Tabell 10: Resultater fra flomformelverket for små nedbørfelt, kulminasjon. 32
Tabell 11: Resultater fra den rasjonale formelen for den vestre bekken, 200-årsflom. 32
Tabell 12: Dimensjonerende kulminasjonsvannføring i kryssende bekker, inkludert klimatillegg. 33

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Reguleringsplan for Kleivi Næringspark industriområde ligger innenfor NVE sine aktsomhetssoner for flom samt jord- og flomskred. Det ønskes derfor en detaljert flom- og skredfarevurdering av planområdet. I tillegg ønskes det en flomvurdering av eksiterende hytte på g/bnr. 126/20. Dagens krav til sikkerhet mot flom og skred, definert i TEK10/TEK17 med veileder, legges til grunn for vurderingene.

Reguleringsplanen legger til rette for næringsbebyggelse. Lokasjon av det vurderte området er vist på figur 1.



Figur 1: Lokaliseringen av det vurderte planområdet ved Kleivi, Ål kommune.

1.2 Befaring

Befaring i området ble utført 2017-09-15 av Kalle Kronholm og Petter Reinemo, Skred AS. Det ble utført oppmåling av tverrprofiler i elva med GPS (TopCon GSR-1). Det var gode befaringsforhold med klarvær. Kalle Kronholm bor like ved området, og er derfor svært godt kjent.

2017-10-10 ble det av Kari Torgersen og Petter Reinemo utført supplerende oppmåling av elveprofiler ved bruk av GPS og ekkolodd.

1.3 Forbehold

Skred- og flomvurderinger er gjort ut fra terreng og vegetasjon slik de ble observert på befaring, på tilgjengelige flyfoto, på kotegrunnlag og på innmålt terreng. Hvis terreng eller vegetasjon endres betydelig, kan det ha betydning for skred- og flomforholdene. Det kan innbefatte fysiske endringer i vassdraget eller endring i klimaframskrivninger. Endringer i vassdraget innebefatter forandringer 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 Flom

Byggteknisk forskrift TEK10/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 TEK10/TEK17 gis retningsgivende eksempler på byggverk som kommer inn under de ulike sikkerhetsklassene for flom (DiBK, 2016).

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK10/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 innbefatter byggverk med lite personopphold som garasjer og lagerbygninger.

Sikkerhetsklasse F2 omfatter tiltak der flom vil føre til middels konsekvenser. Dette innbefatter 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 TEK10/TEK17 er det gitt ulike eksempler, beskrevet ovenfor, på hva slags bebyggelse som ligger innenfor de ulike sikkerhetsklassene mot flom. I utgangspunktet er sikkerhetsklasse F1 og F2 mest aktuelt for planområdet. Sikkerhetsklasse må vurderes separat for ny arealbruk når konkrete planer foreligger.

2.3 Skred

Byggteknisk forskrift TEK10/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 TEK10/TEK17 gis retningsgivende eksempler på byggverk som kommer inn under de ulike sikkerhetsklassene for skred (DiBK, 2016).

Tabell 2: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK10/TEK17 (DiBK, 2016).

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/brakkerigg/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.

2.3.1 Aktuelle krav

Det er opp til kommunen å vurdere aktuelle krav til sikkerhet, og følgende må derfor ses som en anbefaling.

I dag er planområdet anvendt hovedsakelig til industri. Vi antar at dette fortsatt vil være tilfellet fremover. Uten å kjenne til nøyaktig arealbruk, antar vi at den mest aktuelle sikkerhetsklassen er S2 (1/1000). Sikkerhetsklasse må vurderes separat for ny arealbruk når konkrete planer foreligger.

2.3.2 Vurderte skredtyper

I TEK10/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.

2.3.2.1 Snøskred og sørpeskred

Snøskred kan inndeles i løssnøskred og flakskred. 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. Flakskred oppstår når en større del av snødekket løsner som et flak langs et glideplan. Det er flakskred 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.

2.3.2.2 Skred i fast fjell

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

2.3.2.3 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.

2.3.2.4 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.

På www.klimatilpasning.no gis det følgende vurdering for forventet endring i skredfare for Buskerud:

> *Skredfare er sterkt knyttet til lokale terrengforhold, men været er viktig utløsningsfaktor for skred. I bratt terreng kan klimautviklingen gi økt hyppighet av skred som er knyttet til regnskyll / flom og snøfall. Dette gjelder først og fremst jordskred, flomskred, og sørpeskred. Økt erosjon som følge av kraftig nedbør og økt flom i elver og bekker kan utløse flere kvikkleireskred. Faren for tørrsnøskred kan bli redusert, mens det kan bli økt fare for våtsnøskred i skredutsatte områder.*

Vi vurderer at sannsynligheten for jordskred og flomskred i fjellsiden ovenfor det kartlagte området kan øke på grunn av klimaendringer, men at sannsynligheten for snøskred vil minke.

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.

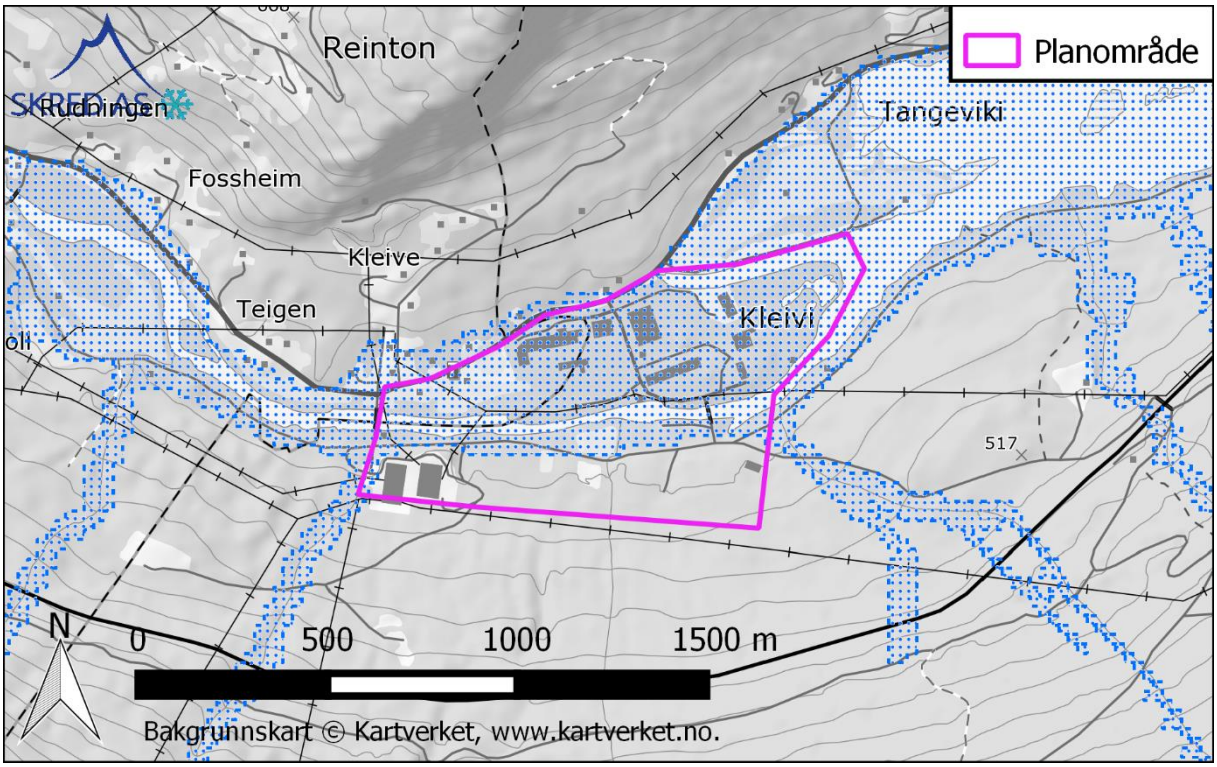
3 Vurdering av flomfare

3.1 Vurderte vassdrag

Hallingdalselva renner gjennom planområdet og utgjør en potensiell flomfare. Dette fremkommer også av NVE sine aktsomhetskart for flom. Store deler av planområdet ligger på fluviale avsetninger, avsatt fra Hallingdalselva.

For den delen av planområdet som ligger sør for Hallingdalselva utgjør også flere mindre bekker en potensiell flomfare. Bekkene har små og bratte nedbørfelt der vannføringen og flomsituasjonen kan bli påvirket av tilstand på stikkrenner og grøfter i tiknytning til jernbanen og veier oppstrøms i feltet. Det har tidligere vært hendelser der flomvann har kommet på avveie som en konsekvens av endrede drensveier i forbindelse med flom.

Figur 2 viser planområdet med NVE sine aktsomhetssoner for flom.



Figur 2: Planområdet med aktsomhetssoner for flom.

3.2 Hallingdalselva

3.2.1 Beskrivelse av elveløp

Hallingdalselva har gjennom planområdet en jevn slak gradient uten større retningsendringer. Det er noen mindre terskler i elveløpet. Elvebunn består i stor grad av sand, grus og avrundende steiner der størrelsen avtar nedover i elveløpet. Dette skyldes avtagende vannhastigheter mot Strandafjord der masser avlagres. Det forventes at elveløpet utøver en relativt lav friksjon mot vannmassene. Det er to bruer på elvestrekningen, der spesielt den nedre brua forventes å påvirke vannlinjen ved planområdet under flom.

Figur 3 viser et karakteristisk bilde av elveløpet og nedstrøms bru over elva.

Figur 3: Karakteristisk bilde av Hallingdalselva og nedstrøms bru over elva.

3.2.2 Tidligere flomhendelser

Fra Hallingplast har vi fått informasjon om at deler av deres område var berørt under flommen i 2004 (7. mai). Basert på måledata fra stasjon 12,9 Oppsjø kulminerte vannføringen på ca. 270 m^3/s når det antas at Nes kraftverk gikk med full kapasitet.

Vi er ikke blitt kjent med andre flomhendelser i forbindelse med Hallingdalselva ved Kleivi Næringspark.

3.2.3 Flomberegning

3.2.3.1 Beskrivelse av nedbørfelt

Hallingdalselva drenerer store fjellområdet fra vannskillet og østover. Det er flere store reguleringsmagasiner i nedbørfeltet som både påvirker normal- og flomvannføringen i elva. Magasinene har generelt en god flomdempende effekt. Ved planområdet har elva et feltareal på 1552 km^2.

Planområdet ligger i tilknytning til utløpene til kraftverkene Usta og Hol 3, som spesielt i normalsituasjoner vil påvirke vannføringen i Hallingdalselva gjennom planområdet. Usta kraftverk har en kapasitet på 40 m^3/s, mens Hol 3 har en kapasitet på 75 m^3/s.

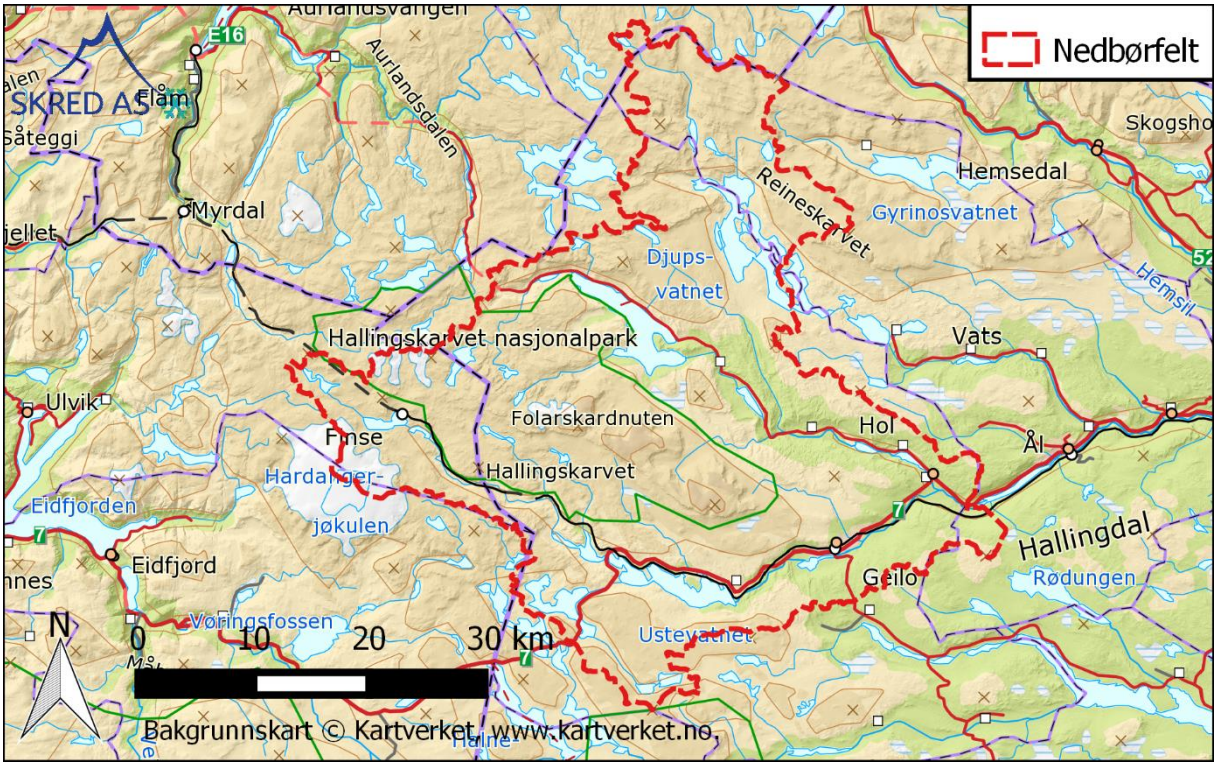
I tillegg til det naturlige nedbørfeltet får Hallingdalselva, ved Kleivi, et mindre bidrag i vannføring i form av overføringen fra Varaldsetvatn til kraftverket Hol 1. I forbindelse med større flommer i Hallingdalselva forventes det at det ikke overføres vann fra Varaldsetvatn. Dette da Votna, som Varaldsetvatn drenerer naturlig til, har en noe annen feltkarakteristikk (blant annet vesentlig mindre feltareal, 273 km^2) som kan gi et annet flomforløp og tidspunkt for kulminasjon.

På grunn av stor grad av regulering er hydrologien i feltet kompleks. Kun 14 % av nedbørfeltet (223 km^2) er ikke påvirket av regulering. I NVE (2004) er det gjort detaljerte hydrologiske analyser av vassdraget, som er vurdert ved beregning av dimensjonerende flommer ved Kleivi. Vårflommer er i hovedsak dominerende i vassdraget, men store sommer- og høstflommer kan også forekomme.

Feltkarakteristika for Hallingdalselva ved Kleivi er vist i tabell 3. Feltgrensene er vist i figur 4.

Tabell 3: Feltkarakteristika til Hallingdalselva.

Elv	Feltareal [km^2]	q_N [l/s*km^2]	Elvelengde [km]	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Sjø [%]	Snau-fjell [%]	Høydeint. [moh]
Hallingdalselva	1552	31,5	43,3	1,0	13	10	67	446 -1930



Figur 4: Feltgrensene til Hallingdalselva ved planområdet.

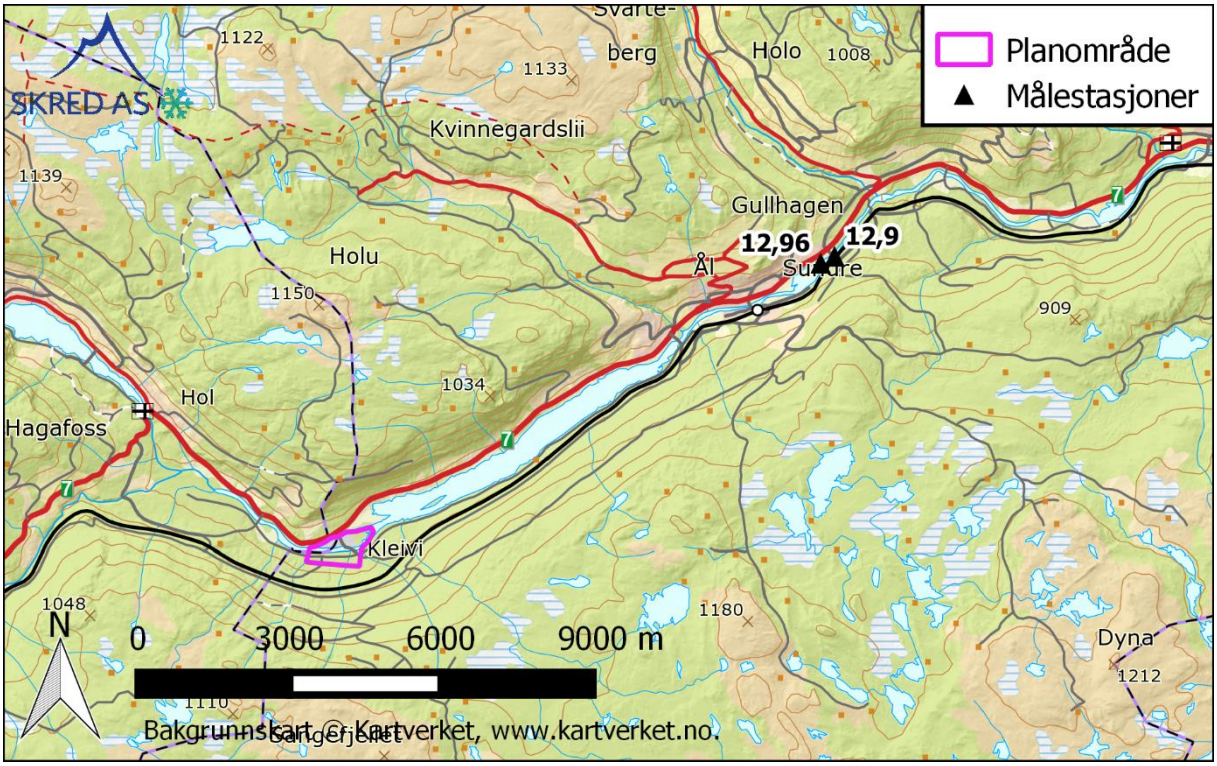
3.2.3.2 Klima

I henhold til anbefalinger i NVE (2016) benyttes det ikke klimapåslag ved fastsettelse av flomstørrelser i Hallingdalselva. Følgende er blant annet gitt i rapporten: «..*i fjellområder i Buskerud og Telemark viser framskrivningene en liten reduksjon i flomstørrelsene i framtiden*».

3.2.3.3 Beregning av dimensjonerende flommer

Det er flere utfordringer i forbindelse med flomberegninger i regulerte vassdrag. Dette skyldes at manøvrering av magasiner, flomløp og drift av kraftverk i stor grad kan påvirke flomvannføringen sammen med de naturlige prosessene. Generelt forventes det at reguleringen gir en betydelig reduksjon i de midlere flommene, der reguleringens flomdempende effekt vil avta for økte returperioder. For ekstremflommer forventes det at reguleringen har mindre effekt på flomstørrelsene.

Målestasjon 12,9/12,96 Oppsjø ligger i Hallingdalselva ca. 10 kilometer nedstrøms planområdet. Det foreligger her 14 år med uregulerte måledata hvor det er beregnet en døgnmiddelflom på 335 m^3/s. Etter siste store utbygging i 1967 er døgnmiddelflommen redusert til ca. 195 m^3/s (beregnet ved 12,9 Oppsjø hvor det i tillegg antas at Nes-kraftverk har gått med maksimal kapasitet under flom). Lokasjon til målestasjonene er vist på figur 5.



Figur 5: Lokasjon til vurderte målestasjoner.

Det er gjort en flomfrekvensanalyse på en etablert dataserie der driftsvannføringen til Nes kraftverk er lagt til den regulerte måleserien ved 12,9 Oppsjø. I NVE (2011) er det gitt regionale flomformler og frekvenskurver som er benyttet. Hallingdalselva ligger på grensen mellom vårregion 3 og 4 (V3 og V4) og høstregion 2 og 3 (H2 og H3).

Tabell 4 viser beregnet middelflom og frekvensfordeling ved 12,96/12,9 Oppsjø, samt tilsvarende verdier gitt av aktuelle regionale flomformler med tilhørende frekvenskurver.

Tabell 4: Resultater fra flomfrekvensanalyse og regionale flomformler med frekvenskurver.

Målestasjon / Region	År	q_M [l/s*km^2]	Q_{20} / Q_M	Q_{200} / Q_M	Metode
12,96 Oppsjø, uregulert	14	195	-	-	-
12,9 Oppsjø, regulert (inkl. Nes kraftv.)	49	115	1,37	1,63	Gamma (mom)
Flomregion, V3	-	248	1,6	2,2	-
Flomregion, V4	-	235	1,8	2,6	-
Høstregion, H2	-	106	1,7	3,0	-
Høstregion, H3	-	141	2	3,4	-
Valgte verdier		**115**	**1,55**	**3,0**	

Det forventes generelt en brattere frekvenskurve i regulerte vassdrag enn i uregulerte vassdrag, som skyldes at den flomdempende effekten forventes å avta med økt returperiode. Den beregnede frekvensfordelingen ved 12,9 Oppsjø virker derfor lav for en 200-årsflom. På bakgrunn av de regionale frekvenskurvene, middelflom, vassdragets karakteristikk samt vurderinger i NVE (2004) er det vurdert at frekvenskurven gitt fra Høstregion H2 kan være realistisk for en 200-årsflom. For 20-årsflom, der magasinenes flomdempningseffekt i feltet forventes å være større, er det valgt en faktor på 1,55 basert på gjennomsnittsverdi fra frekvensfordelingen beregnet ved 12,9 Oppsjø og høstflomregion H2.

Kulminasjonsvannføringen kan være vesentlig større enn døgnmiddelvannføringen. Generelt er forholdstallet størst i små og bratte vassdrag, og mindre i store vassdrag med høy effektiv sjøprosent. I NVE (2011) er det gitt formler for beregning av forholdstall mellom kulminasjon- og døgnmiddelvannføring. I mangel på gode måledata er det valgt å benytte disse formlene. Formlene gir en faktor på 1,05 for vårflom og 1,09 for høstflom. Et forholdstall på 1,1 blir benyttet for Hallingdalselva ved Kleivi.

Resulterende kulminerte flomverdier er gitt i tabell 5. Spesifikk 200-årsflom er i samme størrelsesorden som tidligere kjente flomberegninger utført for nærliggende punkter i Hallingdalselva (NVE 2004 og Sweco 2009).

Tabell 5: Dimensjonerende kulminasjonsflommer beregnet for Hallingdalselva ved Kleivi.

Elv	Feltareal [km²]	Middelflom		Q_{20} [m³/s]	Q_{200} [m³/s]
		q_M [l/s*km²]	Q_M [m³/s]		
Hallingdalselva ved Kleivi	1552	127	196	300	590

3.2.3.4 Driftsvannføring

Basert på informasjon fra VTA i E-CO Energi virker det lite sannsynlig at Usta kartverk og Hol 3, som har utløp i tilknytning til planområdet, stenges i forbindelse med en 20- eller 200-årsflom. Manøvrering av kraftverkene vil avhenge av flomsituasjonen i vassdraget.

I de hydrauliske beregningene av 20- og 200-årsflom er det valgt å sette driftsvannføringen i de to kraftverkene til full kapasitet. Det tilsvarer 40 m^3/s fra Usta kraftverk og 75 m^3/s fra Hol 3.

3.2.3.5 Vannstand i Strandafjord

Hallingdalselva renner ut i Strandafjord nedstrøms Kleivi næringspark. Vannstanden i Strandafjord er styrt av Dam Strandafjord, hvor det er to flomluker i tillegg til en overløpsterskel. I følge VTA i E-CO Energi er kapasiteten til lukene og Nes kraftverk større enn den estimerte 200-årsflommen. Lukene åpnes på en vannstand på ca. + 445,1 moh, mens HRV er på 445,3 moh. (NN2000). På bakgrunn av kapasitet til lukene og Nes kraftverk forventes det ikke at vannstanden i Strandafjord vil overstige HRV ved en estimert 200-årsflom.

For 20-årsflom er vannstand i Strandefjord satt til 445,15 moh. basert på frekvensanalyse (GEV-fordeling) på måledata av vannstand ved stasjon 12,177 Strandefjord (1970 – 2009). Vannstanden er tilsvarende det som ble registrert under 2004-flommen, som tilsvarte ca. en estimert 20-årsflom.

3.2.4 Hydraulisk analyse

3.2.4.1 Modell og oppsett

I beregning av vannlinje og hydrauliske parametere er programvaren Hec-Ras versjon 5.0.3 benyttet. De viktigste inngangsparameterne til Hec-Ras modellen er geometri (terrengmodell, grid, elvebanker og konstruksjoner), ruhet, grensebetingelser og vannføring. En 2-dimensjonal modell er vurdert hensiktsmessig.

Basert på bakkepunkter fra laserskanning av området (utført i 2009 og 2012) er det etablert en terrengmodell med horisontal oppløsning på 1 x 1 meter av området. Da det ikke foreligger laserpunkter i elveløpet er terrengmodellen justert basert på oppmålte tverrprofiler. Tverrprofilene er målt inn ved bruk av GPS og GPS i kombinasjon med ekkolodd i nedre del av elva samt utløpet i Strandafjord.

Terrengmodellen er modifisert ved den nederste brua ved at brukarene er lagt inn i modellen. Brubanene er ikke lagt inn i modellen da det ikke forventes at vannlinjen ved dimensjonerende flommer vil nå opp til underkant brubane (verifisert gjennom beregningene). Den øvre brua er ikke lagt inn i modellen da det forventes at den i mindre grad påvirker vannlinjen ved planområdet samt at det ville medført en stor grad av usikkerhet ved modellering av denne.

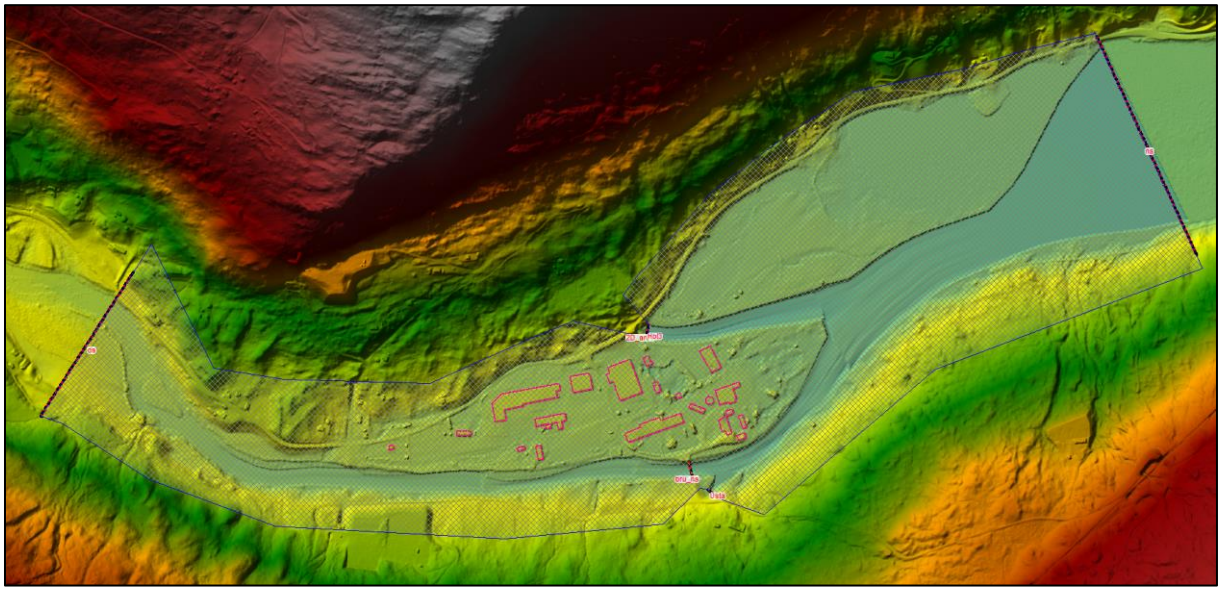
I Hec-Ras er det etablert et beregningsgrid med horisontal oppløsning 4 x 4 meter. *Full-momentum equation* er benyttet med en eddy-viskositet på 0,1. Beregningene er kjørt med

et tidsskritt på 2 sekunder som gir en stabil modell. Nivå i Strandafjord er benyttet som nedstrøms grensebetingelse i henhold til vurderingene beskrevet i avsnitt 3.2.3.5.

Benyttede Manningsnummer (ruhet) i modellen er gitt i tabell 6. Ruhetsverdiene er satt basert på erfaringsdata og anbefalinger i aktuell litteratur (Spreafico m. fl, 2001). Figur 6 viser benyttet terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser.

Tabell 6: Benyttede Manningsnummer.

Terrengtype	Manningsnummer
Elv	0,03
Bebygde områder / asfalt	0,025
Skog	0,067
Åpne områder inkl. næringsareal	0,05
Dyrket mark	0,05
Asfaltert vei	0,025



Figur 6: Benyttet terrengmodell, beregningsgrid, konstruksjoner og plassering av grensebetingelser.

3.2.5 Sensitivitetsanalyse

Da vi ikke har tilgang på gode kalibreringsdata i tilknytning til elvestrekningen er det gjennomført sensitivitetsanalyser av utvalgte parametere i den hydrauliske modellen for modellert 200-årsflom. Analysen er gjennomført for å få et bilde av usikkerhet og robustheten til modellen og resultatene. Følgende analyser er utført:

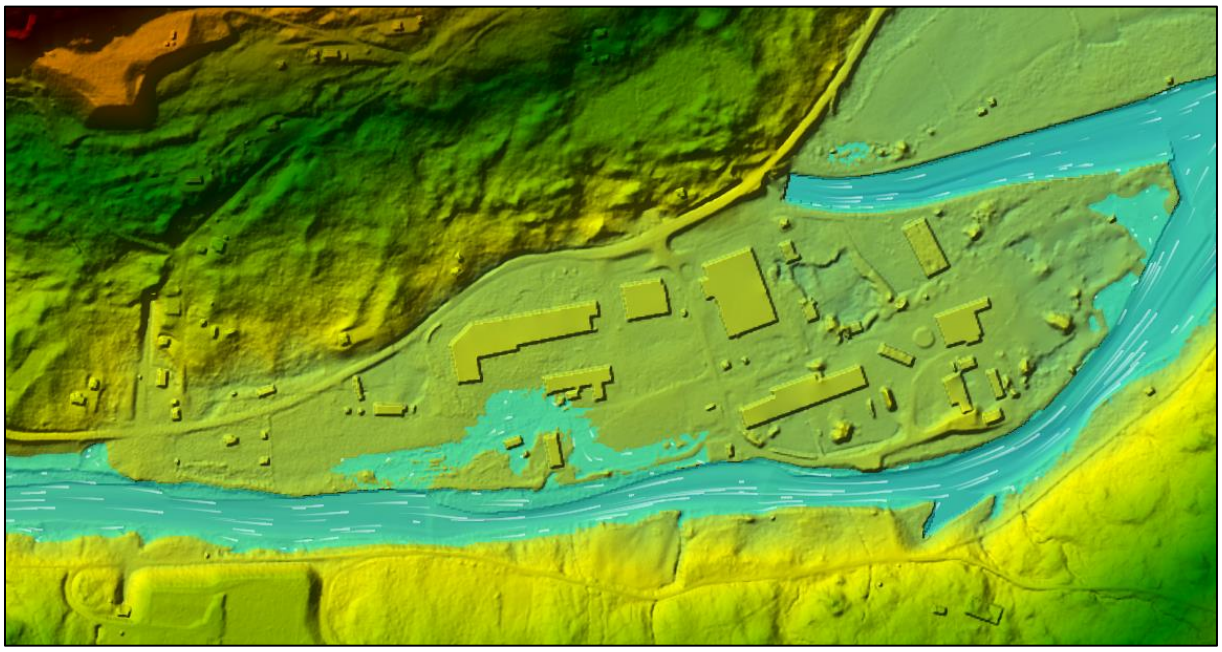
- Økning i ruhetsverdier på 20 %.
- Økning i vannføring på 20 %.

Økning i ruhet ga en økning i vannlinje i tilknytning til elva på ca. 0,1 til 0,25 meter. Økning i vannføring ga en tilsvarende økning i vannlinje på ca. 0,15 til 0,25 meter.

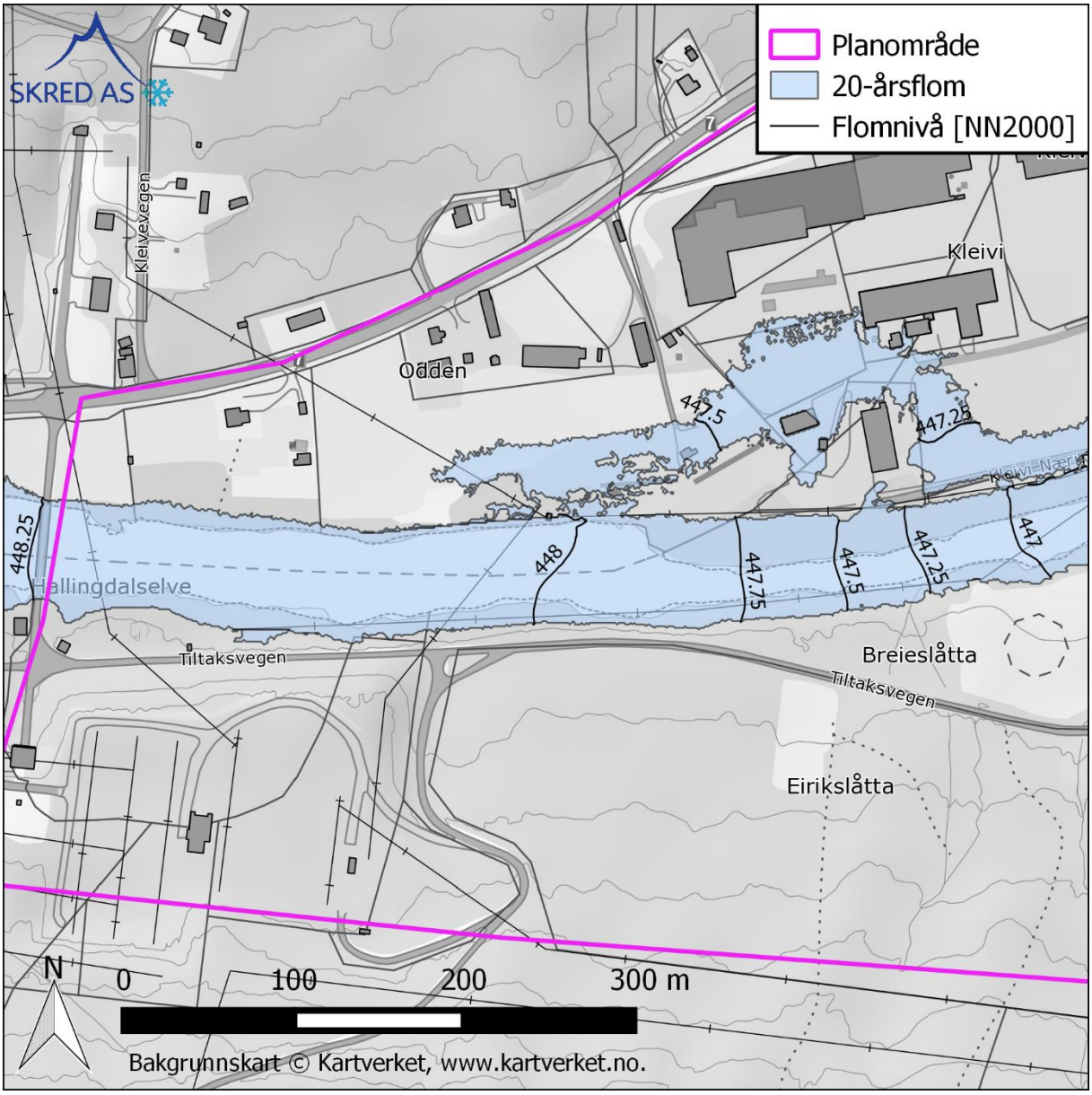
3.2.6 Resultater og flomsoner

3.2.6.1 20-årsflom

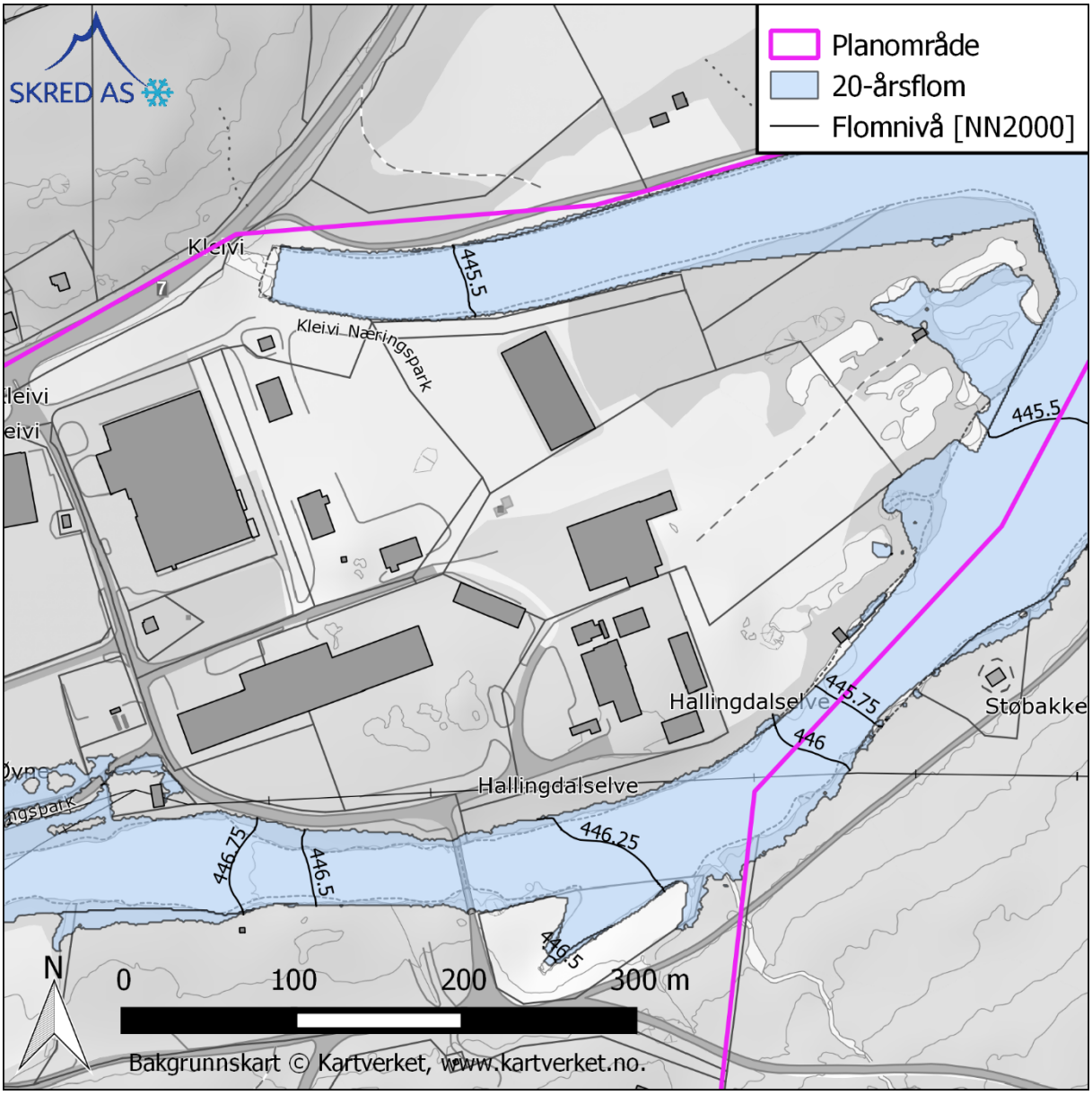
Modellering av 20-årsflom i Hallingdalselva viser at deler av planområdet nord for Hallingdalselva forventes oversvømt. Dette stemmer godt med informasjon om tidligere flomhendelser. Eksisterende hytte på g/bnr 126/20 er ikke utsatt ved en 20-årsflom. Estimerte strømningsforhold ved en 20-årsflom er vist i figur 7, mens 20-års flomsone med beregnet flomvannstand er vist i figur 8 og figur 9.



Figur 7: Estimert strømningsforhold ved en 20-årsflom.



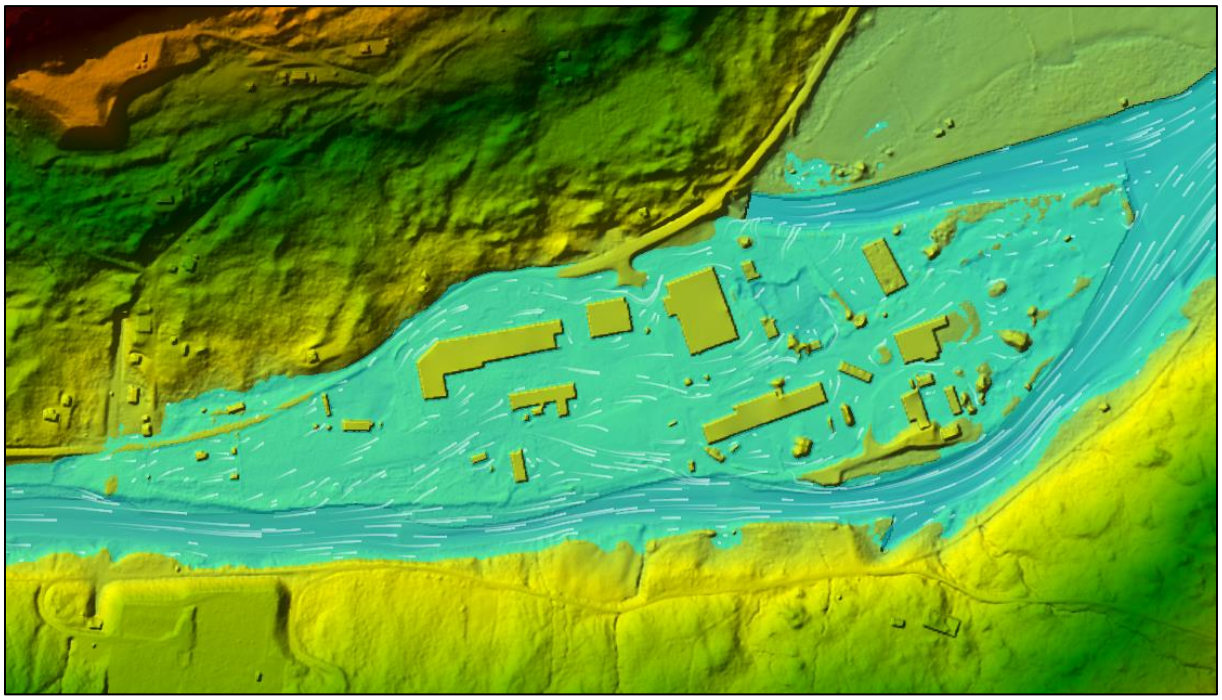
Figur 8: Estimert 20-års flomsone og flomnivåer for Hallingdalselva ved Kleivi vest.



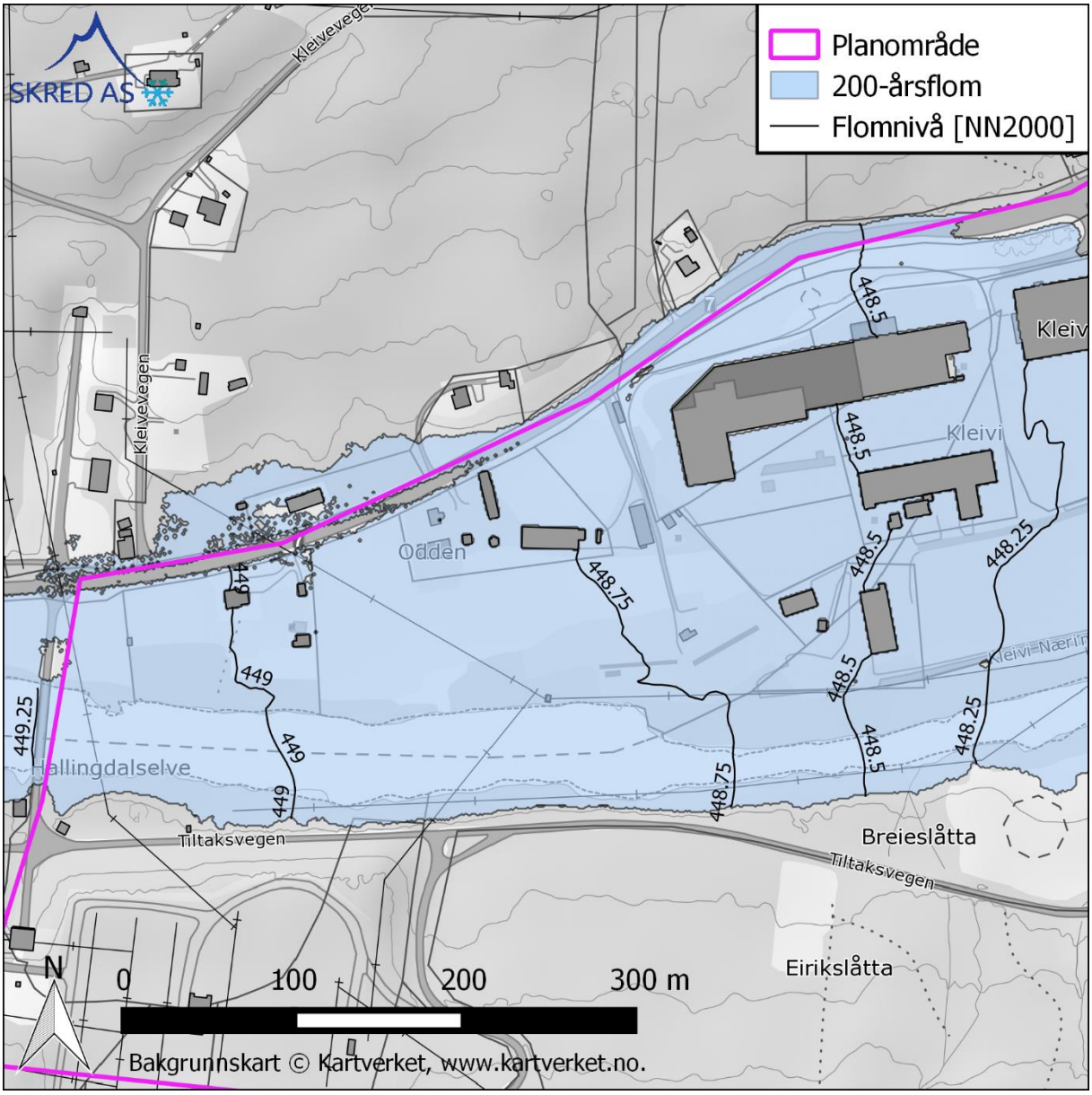
Figur 9: Estimert 20-års flomsone og flomnivåer for Hallingdalselva ved Kleivi øst.

3.2.6.2 200-årsflom

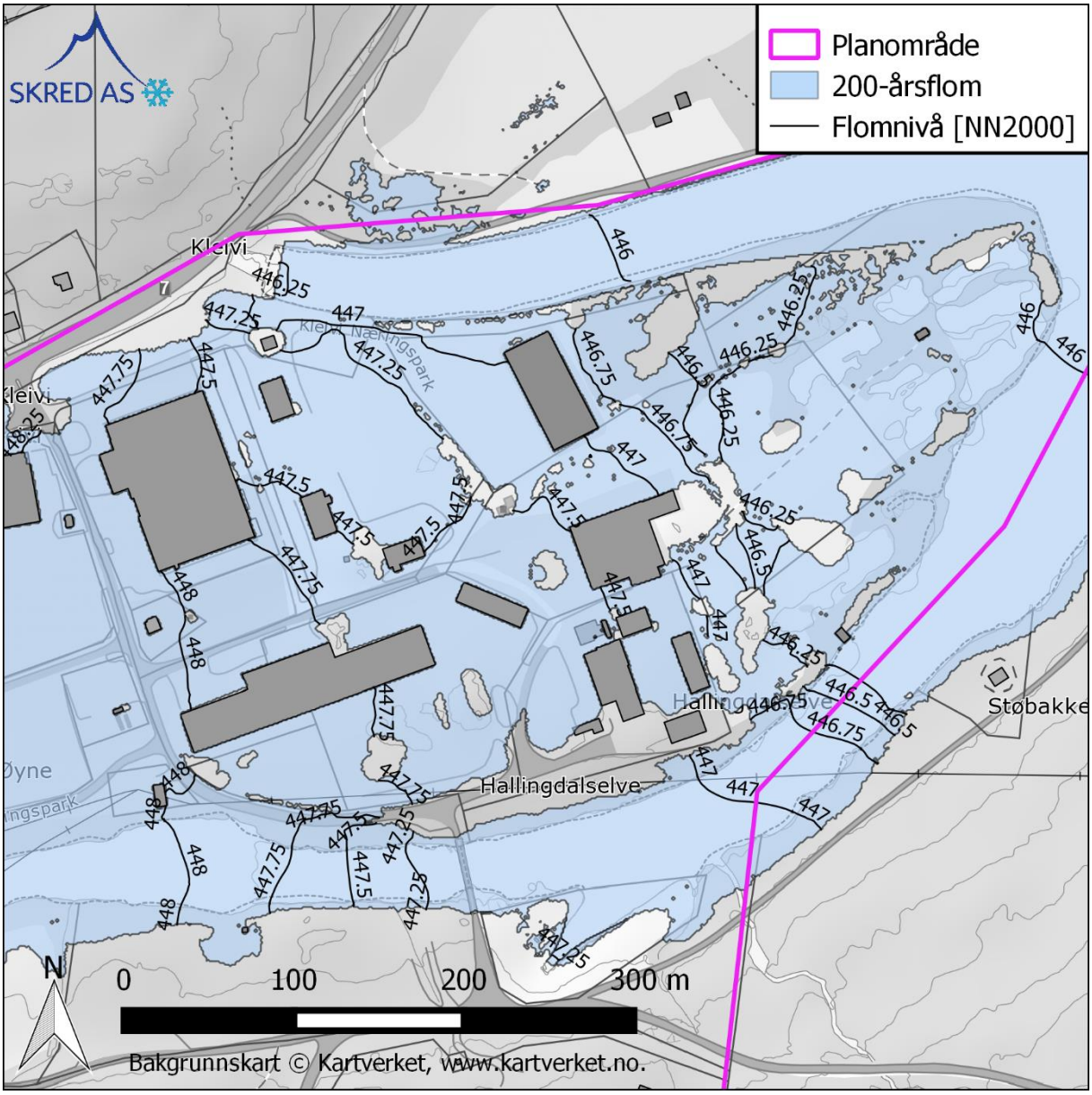
Modellering av 200-årsflom i Hallingdalselva viser at store deler av planområdet nord for Hallingdalselva forventes oversvømt ved en 200-årsflom. Eksisterende hytte på g/bnr 126/20 er ikke utsatt ved en 200-årsflom, men vannlinja vil nå opp mot eiendommen. Estimerte strømningsforhold ved en 200-årsflom er vist i figur 10, mens 200-års flomsone med beregnet flomvannstand er vist i figur 11 og figur 13.



Figur 10: Estimert strømningsforhold ved en 200-årsflom.



Figur 11: Estimert 200-års flomsone og flomnivåer for Hallingdalselva ved Kleivi vest.



Figur 12: Estimert 200-års flomsone og flomnivåer for Hallingdalselva ved Kleivi øst.

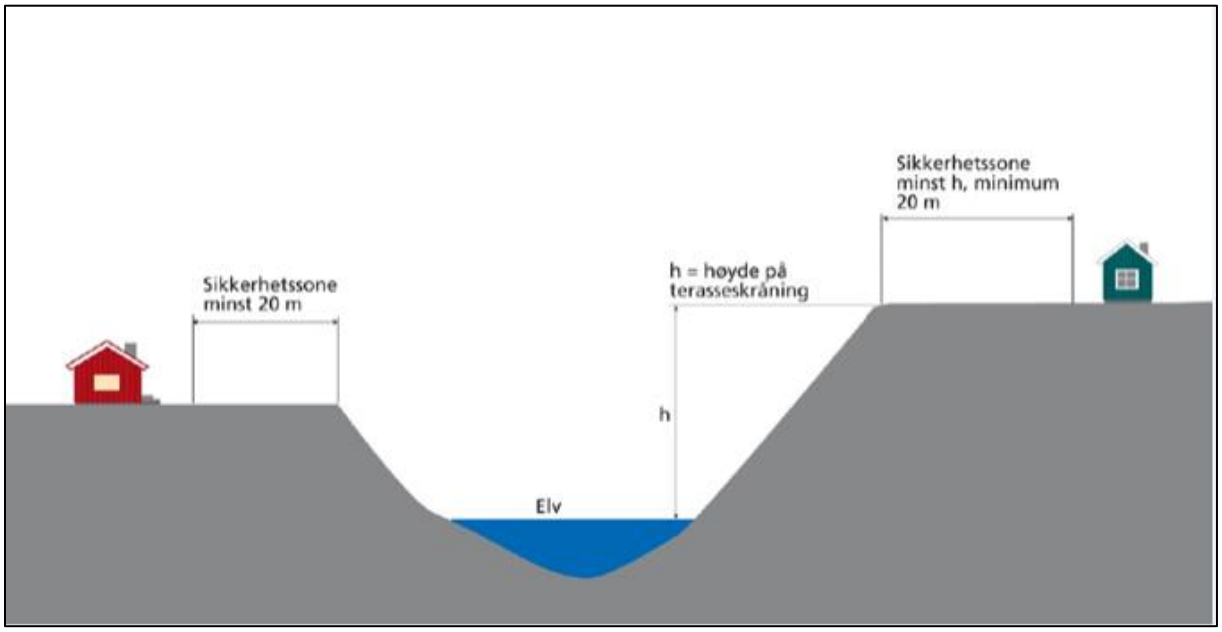
3.2.7 Sikkerhetsmargin

Det anbefales å benytte en sikkerhetsmargin på minimum 0,5 meter over beregnet vannlinje (gitt av flomsonekartene) ved praktisk bruk av flomsonekartene. Sikkerhetsmarginen er satt basert på en vurdering av resultatene fra sensitivitetsanalysen og generell usikkerhet i beregningsgrunnlaget. Dersom det etableres sikringstiltak, som for eksempel flomvoller, anbefales det også å benytte en sikkerhetsmargin på minimum 0,5 meter.

3.2.8 Vurdering av fare for erosjon

Under befaringen ble det ikke påvist pågående erosjon langs elvekanten mot planområdet. Deler av elvekantene virket å bestå av finere masser, som potensielt vil være erosjonsutsatt ved høy vannstand og store vannhastigheter.

Dersom bebyggelse legges nærmere elva enn 20 meter må det sikres at elvekant har tilstrekkelig erosjonssikkerhet. Figur 13 viseren illustrasjon av anbefalt sikkerhetssone (DiBK, 2016).



Figur 13: Sikkerhetssone mot erosjon (DiBK, 2016).

3.2.9 Risikoreduserende tiltak

For områdene omfattet av flomsonene samt områder som ligger lavere enn anbefalt sikkerhetsmargin, må det gjennomføres risikoreduserende tiltak for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot flom. I henhold til kravene i TEK10 skal byggverk plasseres, dimensjoneres eller sikres i henhold til aktuell sikkerhetsklasse. Tiltak kan for eksempel være å øke planeringshøyde eller etablere flomvoller. Det er også mulig å dimensjoneres byggverk på en slik måte at det ikke får skade ved en dimensjonerende flom. Dersom bebyggelse legges nærmere elva enn 20 meter må det sikres at elvekant har tilstrekkelig erosjonssikkerhet.

3.3 Bekker sør for planområdet

3.3.1 Beskrivelse av bekker og nedbørfelt

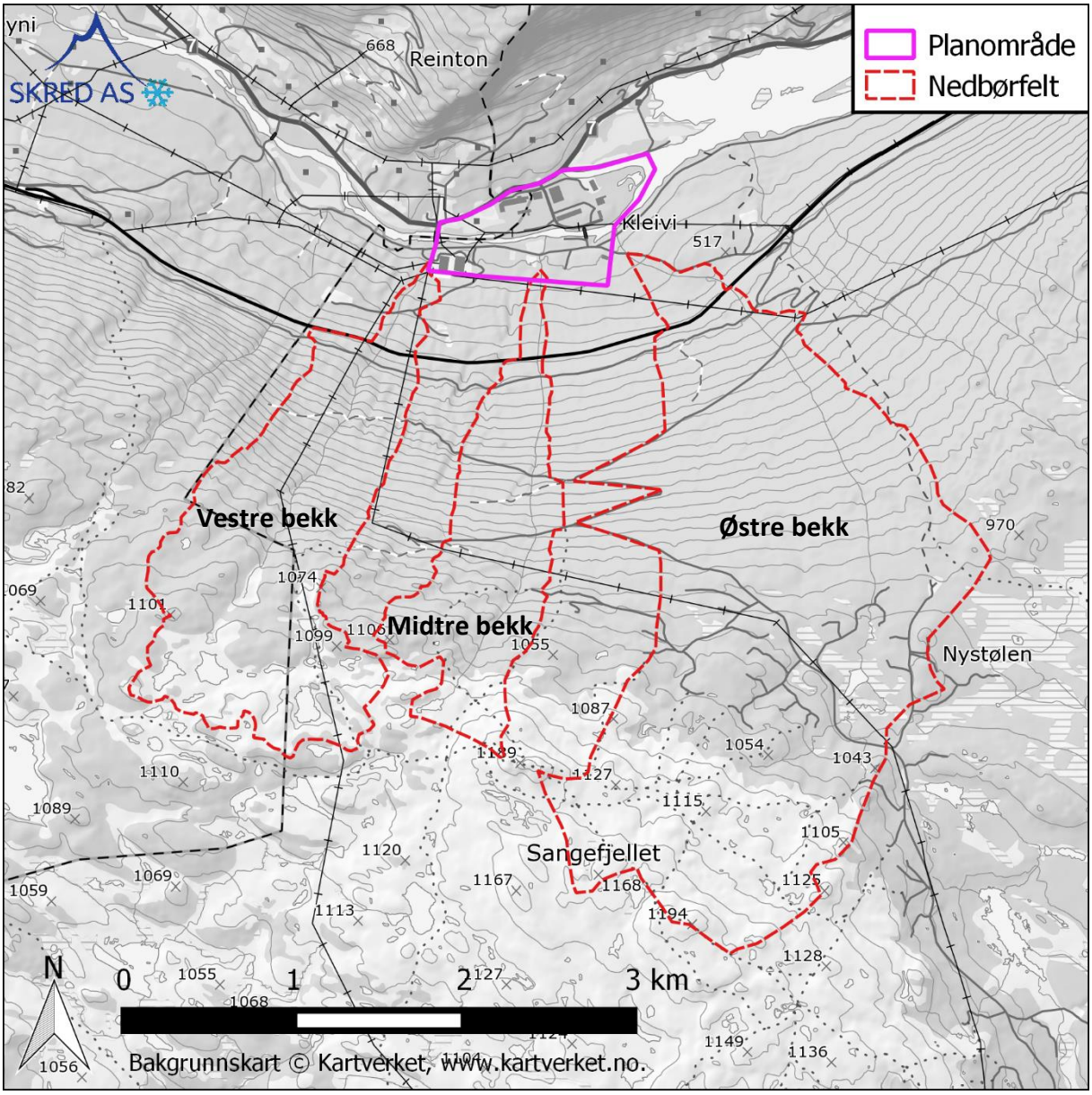
Flere mindre bekker drenerer nordover gjennom planområdet sør for Hallingdalselva. Bekkene har små nedbørfelt med en karaktersikk som tilsier en rask avrenning med markante flomtopper. Nedbørfeltene strekker seg fra ca. 1200 moh og ned til ca. 450 moh. ved planområdet. Det er innslag av snaufjell i de høyereliggende partiene. Det er gjort en kartlegging av nedbørfeltene ved bruk av NVE-applikasjonen NEVINA og GIS-analyser på den etablerte terrengmodellen. Gjennom GIS er potensielle flomveier kartlagt ved bruk av en sdf-analyse (single-flow-direction), blant annet beskrevet i Bratlie (2015). Resultatene fra analysene er verifisert opp mot registreringer under befaringen og tidligere kjente hendelser.

Det er i hovedsak tre større bekker som drenerer mot planområdet. Nedbørfeltene til bekkene er vist i figur 14. Kartleggingen av nedbørfeltene viser at feltgrensene i stor grad er avhengig av kapasitet og tilstand på avskjærende veier samt jernbanen. Analyse av flomveier viser at flomvann flere steder potensielt kan komme på avveie og overføres til nabofeltet dersom stikkrenner går tett. Dette gjelder spesielt for jernbanen, men også for veiene som krysser i feltet. Resultatene fra sfd-analysen fremkommer av figur 15. Figur 16 viser et typisk bilde av en stikkrenne under oppstrøms vei der faren for tilstopping, erosjon, utglidning av veikropp og at flomvann kan komme på avveie er stor.

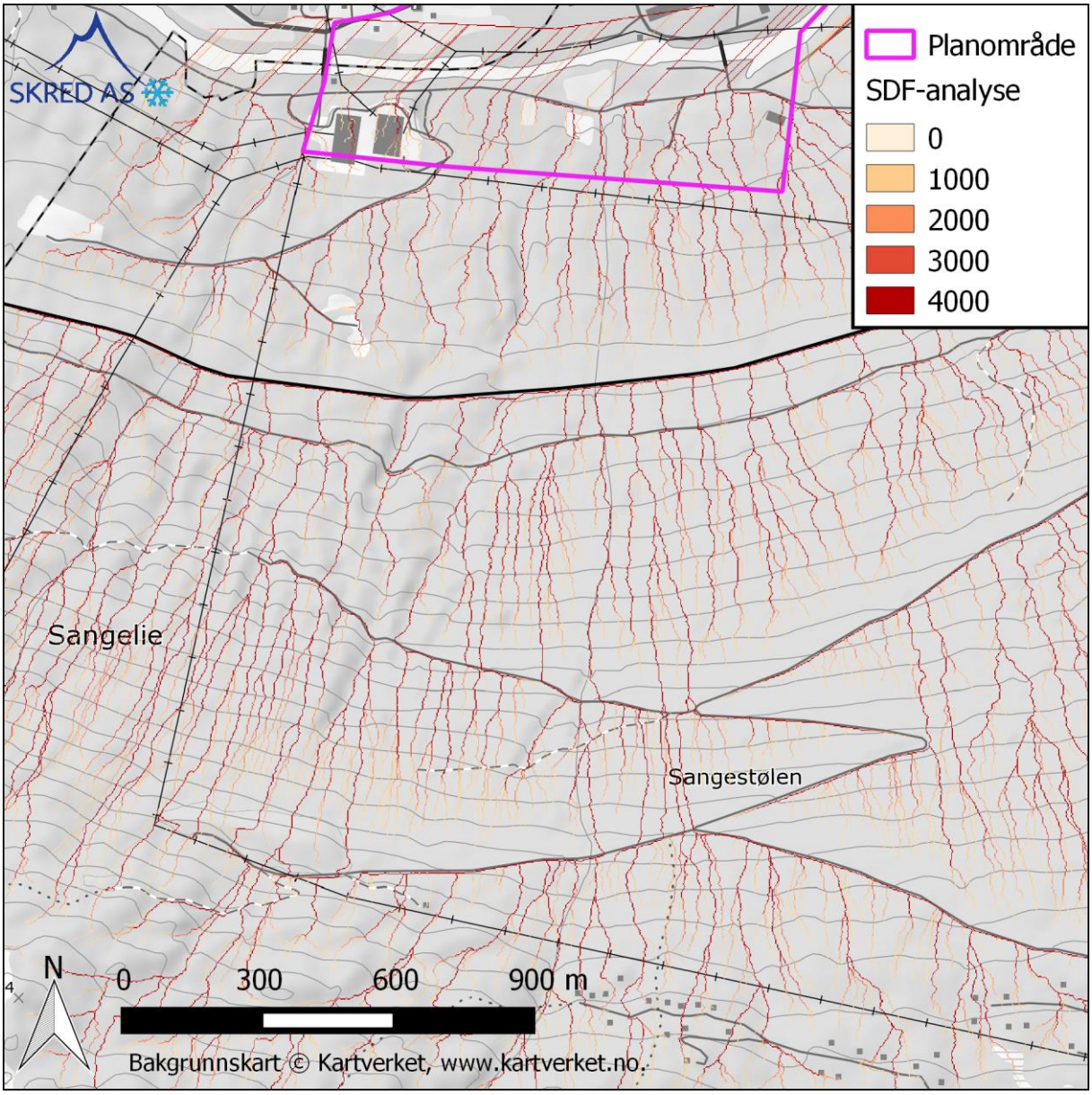
De identifiserte feltgrensene er nødvendigvis ikke gjeldende i forbindelse flomsituasjoner. Det er flere søkk i terrenget, som i normalsituasjoner er tørre, som potensielt kan få tilført større menger vann som en konsekvens av tilstopping/overskridelse av kapasitet i nabofeltet. Feltparametere til de identifiserte nedbørfeltene er gitt i tabell 7.

Tabell 7: Feltparametere til bekkene som berører planområdet sør for Hallingdalselva.

Bekk	Feltareal [km²]	q_N [l/s*km²]	Eff. Sjø [%]	Snau-fjell [%]	Høydeint. [moh]
Vestre bekk	2,47	18	0,1	22	450 - 1117
Midtre bekk	1,36	18	0	13	450 - 1158
Østre bekk	5,89	18	0	25	450 - 1190



Figur 14: Identifiserte nedbørfelt til de største bekkene som berører planområdet



Figur 15: Resultater fra kartlegging av flomveier for en situasjon med tette stikkrenner.

Figur 16: Eksisterende stikkrenne under oppstrøms vei med redusert kapasitet og med stor fare for gjentetting og erosjon.

3.3.2 Tidligere flomhendelser

Sommeren 2011 var det en større flomhendelse i de vurderte nedbørfeltene som skyldtes en lokal kraftig nedbørhendelse som foregikk over en kortere tidsperiode. Vannmengdene forårsaket til dels kraftig erosjon i bekkeløpene og massetransport med overgang til flomskred. Det oppsto gjentetting av stikkrenner og drensveier som videre førte til at flomvann kom på avveie samt utglidninger av vei- og jernbanefyllingen. Det er også grunn til å tro at stikkrenner under veier og jernbanen i utgangspunktet var underdimensjonerte. Hendelsen ga skader helt ned til planområdet.

Hendelsen i 2011 underbygger resultatene fra analysen av flomveier vist i figur 15, som tilsier at situasjonen ved kryssing av vei og jernbane er kritiske. Sannsynligheten er høy for at vann kan komme på avveie i forbindelse med flomhendelser.

3.3.3 Dimensjonerende vannmengder

Dimensjonerende vannmengder til de tre bekkene, identifisert i avsnitt 3.3.1, er estimert basert på vurderinger av resultater gitt av ulike metoder beskrevet i NVE (2015).

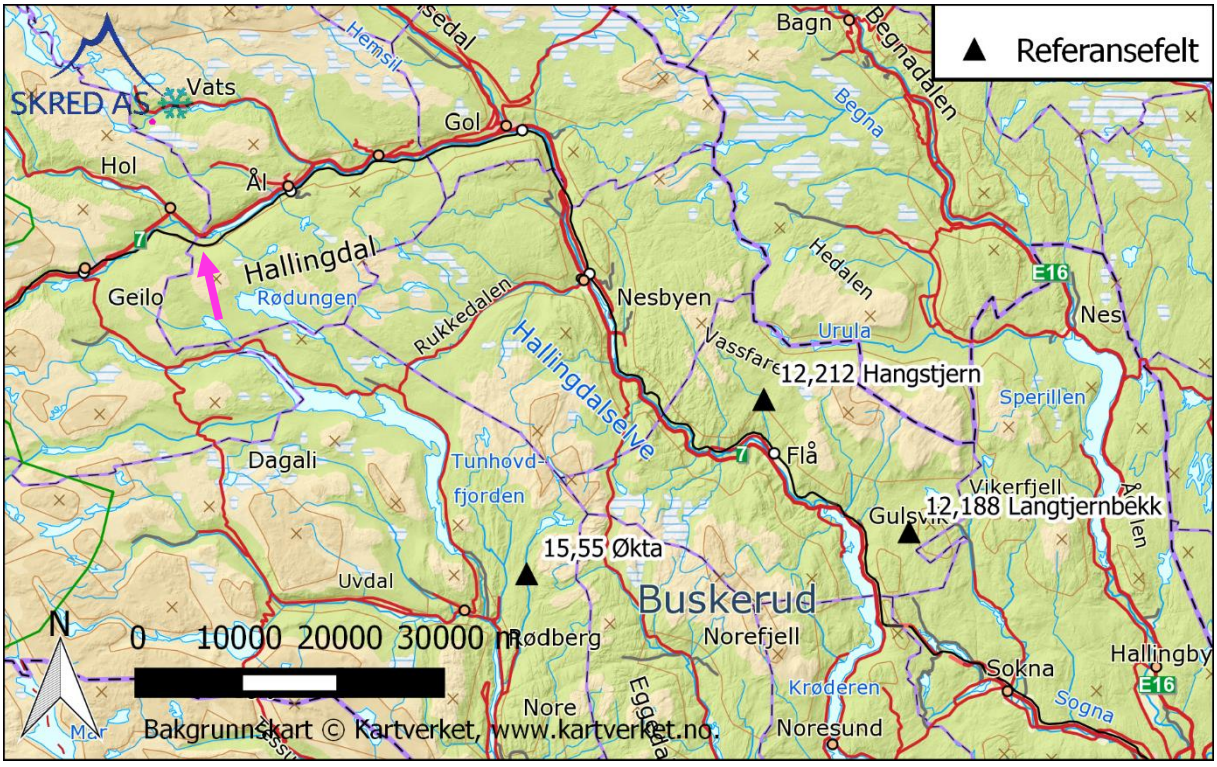
3.3.3.1 Målestasjoner

Det er funnet tre målestasjoner som kan gi en indikasjon på flomforholdene i bekkene. Ingen av feltene vil være direkte sammenlignbare. Feltkarakteristika for stasjonene er gitt i tabell 8 og beliggenhet til stasjonene er vist i figur 17.

Tabell 8: Feltkarakteristika til utvalgte referansevassdrag.

Måle-stasjon	Feltareal [km2]	Periode [år]	qN [l/s*km2]	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Snau-fjell [%]	Høydeint. [moh]
15,55 Økta	49,4	1966 - 81	16	4,0	25	50	851 - 1308
12,188 Lang-tjernbekk	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

Alle stasjonene har et større feltareal enn de tre vurdere bekkene. Da stasjonene i tillegg både har innslag av innsjøer, som bidrar med naturlig flomdempning, samt en slakere feltgradient forvetnes det lavere spesifikke flomverdier. Vannføringskurvene til stasjonene har middels/usikker kvalitet på flomvannføring.



Figur 17: Lokasjon til vurderte referansevassdrag.

Vannføringsmålinger fra målestasjonene er hentet ut og analysert gjennom NVE-databasen Hydra2. Det er gjort flomfrekvensanalyse av måleseriene på årsflommer. Analysen som er gjort på døgndata (DAGUT) forventes å være mest robust da serien består av kontrollerte målinger samt har ofte flere år med data. For hver måleserie er det gjort et valg av type frekvensfordeling basert på serielengde og frekvenskurven sin tilpasning til måledataene. Resultatene fra analysen er presentert i tabell 9.

Tabell 9: Resultater fra flomfrekvensanalyse på årsflommer, frekvensfordeling.

Målestasjon	År	Feltareal [km2]	Middelflom		Q20 / QM	Q200 / QM	Metode
			QM [m3/s]	qM [l/s*km2]			
15.55 Økta	16	49.4	9.26	187	1.95	2.89	Gumbel (max)
12.188 Lang-tjernbekk	42	4.81	1.13	236	-	-	-
12.212 Hangstjern	30	11.6	2.43	210	1.74	2.46	Gumbel (max)

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 (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 bekkene gir formelverket et forholdstall for vår- og høstflom på henholdsvis ca. 1,6 – 1,7 og ca. 2,0 til 2,3. Et forholdstall på i overkant av 2 virker realistisk for de vurderte feltene.

3.3.3.2 Flomformelverk

I NVE (2015) presenteres et nasjonalt formelverk for flomberegninger i nedbørfelt der feltareal er mindre enn 50 km^2. Inngangsparameterne til formelen er feltareal, midlere avrenning og effektiv sjøprosent. Den største usikkerheten i formelverket ligger i estimat av middelflom, og resulterende vekstkurve vurderes som robust. Det betyr at et godt estimat av middelflom vil redusere usikkerheten i beregningene betraktelig. Formelverket gir kulminasjonsverdier direkte.

Resultatene gitt fra flomformelverket for små nedbørfelt er presentert i tabell 10.

Det er gitt resultater for middelestimat. Øvre og nedre konfidensintervall (95 %) tilsvarer ca. middelestimatet */2.

Tabell 10: Resultater fra flomformelverket for små nedbørfelt, kulminasjon.

Bekk	Middelflom		Q20 [m3/s]	Q200 [m3/s]
	QM [m3/s]	qM [l/s*km2]		
Vestre bekk	1,2	480	2,1	3,4
Midtre bekk	0,8	560	1,4	2,2
Østre bekk	2,7	460	4,8	7,7

3.3.3.3 Den rasjonale formelen

Den rasjonale formelen beregner flomvannmengde basert på nedbørstatistikk, feltareal og antatt avrenningskoeffisient. Dimensjonerende nedbør hentes ut fra relevant IVF-kurve basert på estimert konsentrasjonstid. Konsentrasjonstid estimeres på bakgrunn empirisk formel for naturlig felt gitt i SINTEF (1992) og faglig skjønn. Avrenningskoeffisienten (C-verdi) er et uttrykk for hvor stor andel av den totale nedbøren som går direkte til overflateavrenning. 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.

Det er gjort en beregning av den vestre bekken, da resultatene (spesifikke vannmengder) forventes å representere mot de to andre bekkene. Konsentrasjonstiden er estimert til ca. 75 minutter. IVF kurve 24880 Nesbyen – Skoglund og regional IVF-kurver for Region 3 (MET, 2015) er benyttet. Det er godt samsvar mellom de to kurvene. Basert på en vurdering av terrengtype samt erfaringsdata virker en avrenningskoeffisient på rundt 0,35 å være realistisk.

Resultater gitt av den rasjonale formelen for den vestre bekken er presentert i tabell 11.

Tabell 11: Resultater fra den rasjonale formelen for den vestre bekken, 200-årsflom.

Bekk	IVF-kurve	Kons. Tid [min]	I200 [l/s*ha]	C-verdi	Areal [km2]	Q200 [m3/s]
Vestre bekk	24880 Nesbyen	75	49	0,35	2,47	4,2
Vestre bekk	IVF Region 3	75	53	0,35	2,47	4,6

3.3.3.4 Klimatillegg

Basert på anbefalinger i NVE (2016) og Klimaprofil Buskerud (Norsk Klimaservicesenter, 2017) er et klimapåslag på 30 % vurdert som hensiktsmessig. Klimatillegget benyttes for å ta hensyn til forventende endringer i flomstørrelser frem mot år 2100.

3.3.3.5 Dimensjonerende vannmengder

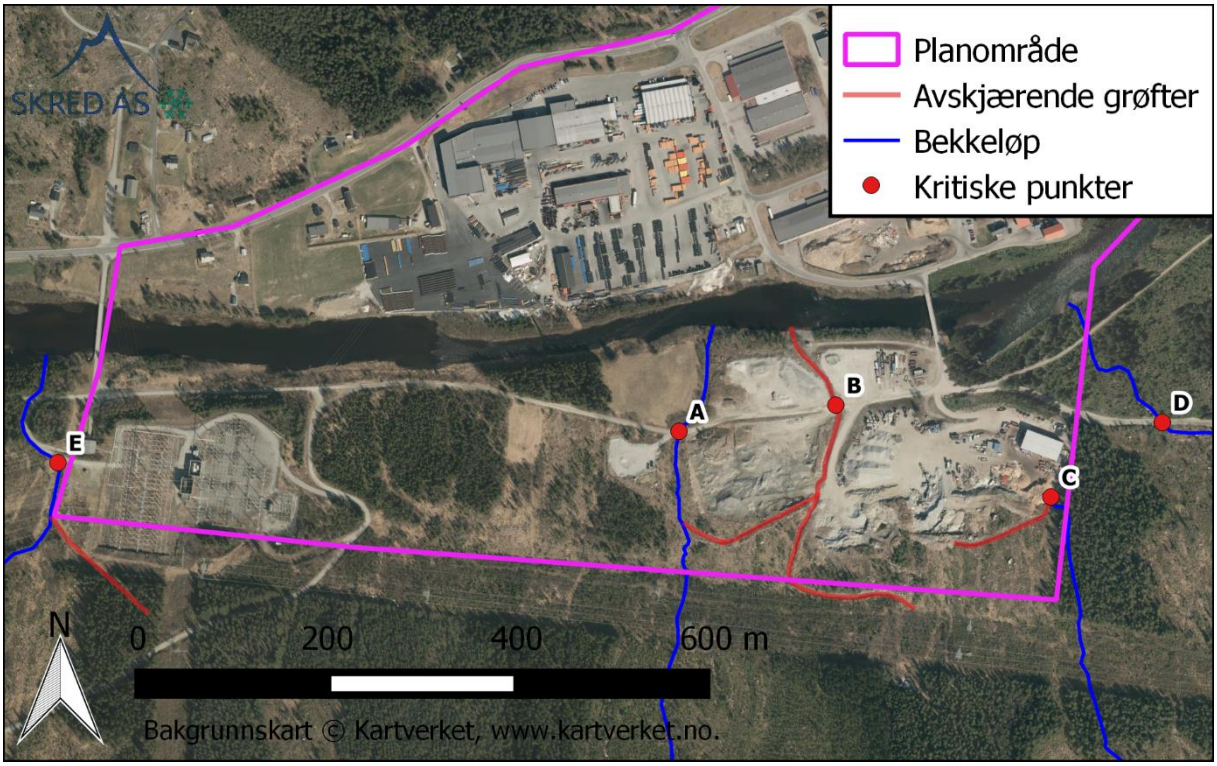
De ulike metodene gir sprikende verdier i spesifikke flomstørrelser. Flomformelverket gir verdier som ligger mellom resultater fått fra målestasjonene og den rasjonale formelen. Det forventes at målestasjonene underestimerer. Det er valgt å sette verdiene fått fra flomformelverket som dimensjonerende. Resultatene er presentert i tabell 12.

Tabell 12: Dimensjonerende kulminasjonsvannføring i kryssende bekker, inkludert klimatillegg.

Bekk	Feltareal [km²]	Klimatillegg [%]	Q_{20} [m³/s]	Q_{200} [m³/s]	q_{200} [l/s*km²]
Vestre bekk	2,47	30	2,7	4,4	1790
Midtre bekk	1,36	30	1,8	2,9	2100
Østre bekk	5,89	30	6,2	10,0	1700

3.3.4 Dagens situasjon

Etter flommen i 2011 er det gjort flere tiltak i tilknytning til planområdet for å redusere flomfaren. Det innbefatter blant annet etablering av avskjærende grøfter oppstrøms utnyttet areal/bebyggelse og utskifting av stikkrenner og kulverter. Eksisterende situasjon i tilknytning til planområdet ble kartlagt under befaringen og er vist i figur 18.



Figur 18: Kartlegging av dagens situasjon for håndtering av flomvann mot planområdet.

Oppstrøms utnyttet areal er det i stor grad etablert avskjærende grøfter som leder vann mot et hovedløp/bekkeløp gjennom planområdet. De avskjærende grøftene er godt definerte i terrenget, men har stedvis variabel overhøyde mot planområdet. Sikkerheten mot erosjon virker også å være varierende. Stikkrenner/kulverter i tilknytning til hovedløpene utgjør kritiske punkter. De kritiske punktene internt i planområdet er navnsatt på figur 18.

I punkt A ligger det to 750 mm. rør under vegen. Dersom kapasitet overskrides forventes det at flomvannet renner over veibanen og tilbake til bekkeløpet på nedstrøms side.

I punkt B ligger det to 700 mm. rør under vegen. Bekkeløpet er nylig utbedret og er godt definert. Dersom kapasitet overskrides forventes det at flomvannet renner over veibanen og tilbake til bekkeløpet på nedstrøms side. Overløpet er derimot noe diffust og bør derfor utbedres.

Til punkt C ledes vann fra oppstrøms avskjærende grøft samt fra et naturlig bekkeløp. Vannet går inn i en kulvert og ledes i rør nordover gjennom deler av planområdet. Dimensjon på rør antas å være ca. 800 mm. Det er ingen naturlige flomveier fra punktet. Dersom kapasiteten til kulverten overskrides, eller inntaket går tett, forventes det at flomvann vil bre seg mot nordvest utover eksisterende industriområde. Figur 19 viser inntaket ved punkt C.

Figur 19: Inntaket ved punkt C i figur 18, som er vurdert som kritisk punkt med tanke på flomsikkerhet.

Punkt D innbefatter punktet der den østre bekken krysser under vegen. Under flommen i 2011 oppsto det store skader i tilknytning til punktet. Det ligger her to rør med dimensjon på 900 og 1100 mm. Inntaket er dårlig erosjonssikret og faren for tilstopping av løsmasser er stor. I forbindelse med flom anses faren for at deler av vegfyllingen vaskes bort som stor, i tillegg til at flomvann kan komme på avveie vestover langs veien. Figur 20 viser et bilde av innløpet til stikkrennene, samt starten på naturlig flomvei vestover.

Figur 20: Stikkrenner ved punkt D, samt starten på naturlig flomvei østover.

Punkt E innbefatter inntaket til den vestre bekken som renner i den vestre grensen av planområdet og trafostasjon. Dersom kapasitet overskrides viser analysen av flomveier at flomvannet vil renne vestover i kanten av veien før det ledes tilbake til bekkeløpet og ut i Hallingdalselva.

3.3.5 Vurdering av flomfare

Basert på en totalvurdering av nedbørfeltene, analyse av flomveier, dimensjonerende vannmengder, historikk og tilstand ved oppstrøms stikkrenner og drensveier er flomfaren for planområdet vurdert.

Flomberegningene gir høye spesifikke vannmengder som potensielt kan gi betydelig skade i bratte vassdrag og dersom flomvann kommer på avveie. Vannmengder i de ulike løpene mot planområdet er i stor grad avhengig av kapasitet til drensveier og stikkrenner samt tilstand på avskjærende veier og jernbanen. I forbindelse med større flommer forventes det, slik situasjonen er i dag, at flomvann vil komme på avveie og kan ledes til tilgrensede nabofelt. Hvor dette vil skje er vanskelig å forutse da lokale forhold i stor grad vil spille inn.

Basert på kravene i TEK10/TEK17 til sikkerhet mot flom er det vurdert at hele området sør for Hallingdalselva er utsatt, der det ikke er utført tilstrekkelige risikoreduserende tiltak. Alle søkkene i fjellsiden er vurdert å være utsatt med tanke på å få tilført flomvann fra tilgrensende nedbørfelt. Vannmengdene kan bli betydelig, og det anbefales at dimensjonerende vannmengder gitt i avsnitt 3.3.3.5 legges til grunn ved etablering av eventuelle sikringstiltak.

For den østre bekken som renner inn i den østre delen av planområdet er dimensjonerende 200-årsflom (10 m^3/s) vesentlig større enn kapasitetene til de to stikkrenne som ligger under vegen og utgjør et kritisk punkt (D). Ved dimensjonerende flom forventes det at flomvann vil renne langs veien vestover og inn i planområdet før den når Hallingdalselva. Kulverten fra punkt C har hverken tilstrekkelig kapasitet for dimensjonerende flommer, eller en definert flomvei mot Hallingdalselva. Det forventes derfor at industriområdet i tilknytning til punktet vil bli berørt ved dimensjonerende flommer. Punkt A, B og E har alle begrenset kapasitet for en dimensjonerende 200-årsflom, men det forventes her at flomvann vil renne over veibanen og tilbake til bekkeløpet på nedstrøms side.

3.3.6 Risikoreduserende tiltak

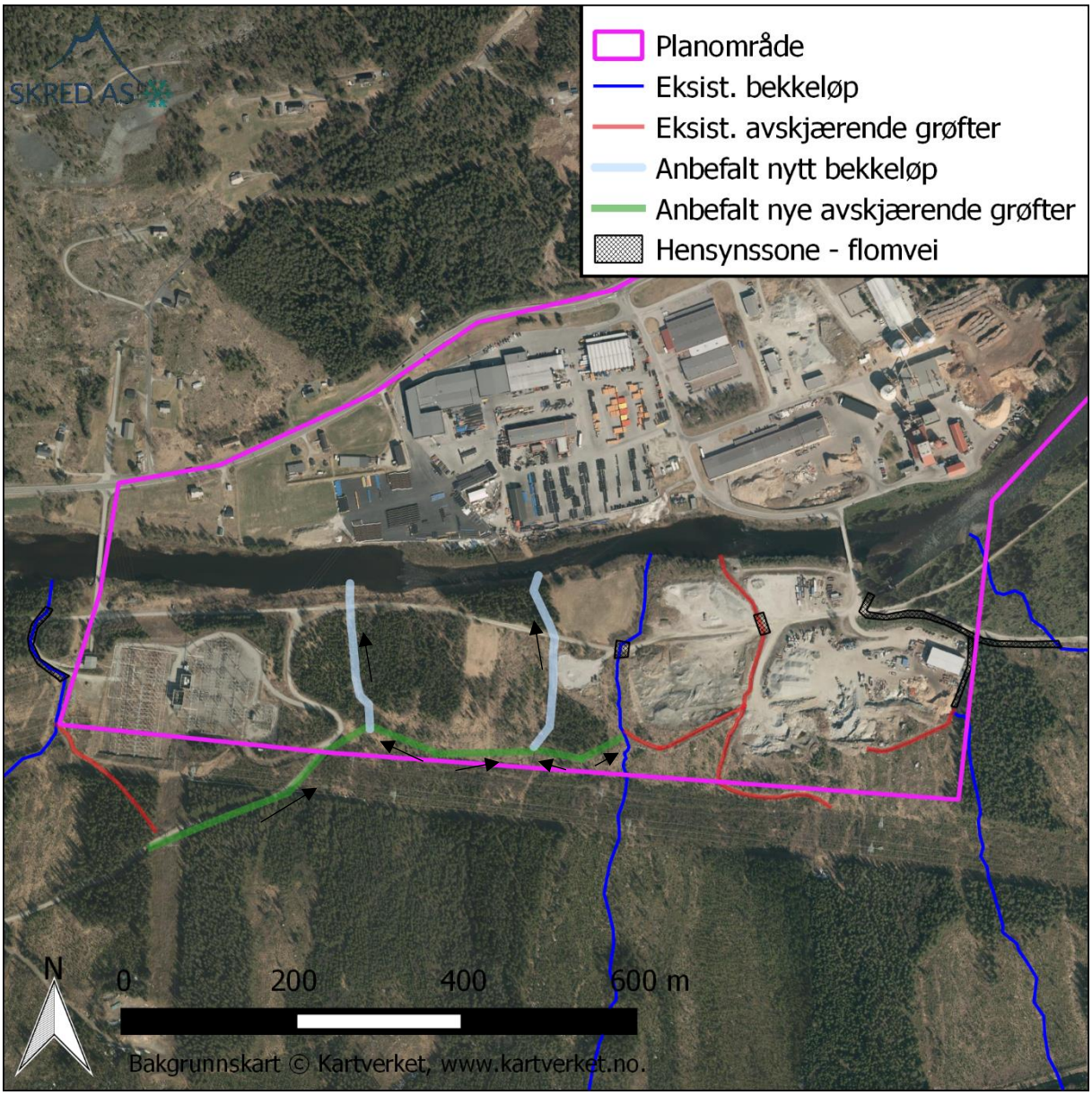
Vurderingen av flomfare tilsier at all ny bebyggelse på planområdet sør for Hallingdalselva potensielt er utsatt ved fremtidige flommer i oppstrøms bekker etter både sikkerhetsklasse F1 og F2 i TEK10/TEK17. Dette skyldes at alle oppstrøms bekkeløp og søkk er vurdert å være utsatt med tanke på å få tilført flomvann fra tilgrensende nedbørfelt, slik situasjonen var i 2011.

Det er til dels utført risikoreduserende tiltak for deler av planområdet i form av avskjærende grøfter/bekkeløp beskrevet i avsnitt 3.3.4. Før det etableres ny bebyggelse nedstrøms grøftene må det sikres at de har tilstrekkelig kapasitet og erosjonssikkerhet for dimensjonerende flom.

For ny bebyggelse der det ikke er etablert tiltak anbefales det å etablere tilsvarende avskjærende grøfter/bekkeløp som leder vannet til et bekkeløp med god kapasitet gjennom planområdet og videre til Hallingdalselva. Bekkeløpene må ha kapasitet for minimum dimensjonerende flom og være tilstrekkelig erosjonssikret.

Fra alle kritiske punkter må det sikres trygge flomveier. Dette er spesielt viktig da faren for tilstopping av løsmasser er stor. Inntakene til kulvertene og flomveiene må ha tilstrekkelig sikkerhet mot erosjon, noe som ikke er tilfelle i dag. Flomveier bør merkes med hensynssoner i reguleringsplanen. I forbindelse med overvannshåndteringen bør det også etableres flomveier internt i planområdet.

Alle tiltak må detaljeres i forbindelse med detaljprosjektering. En illustrasjon av anbefalte tiltak og hensynssoner for flomveier er vist i figur 21.



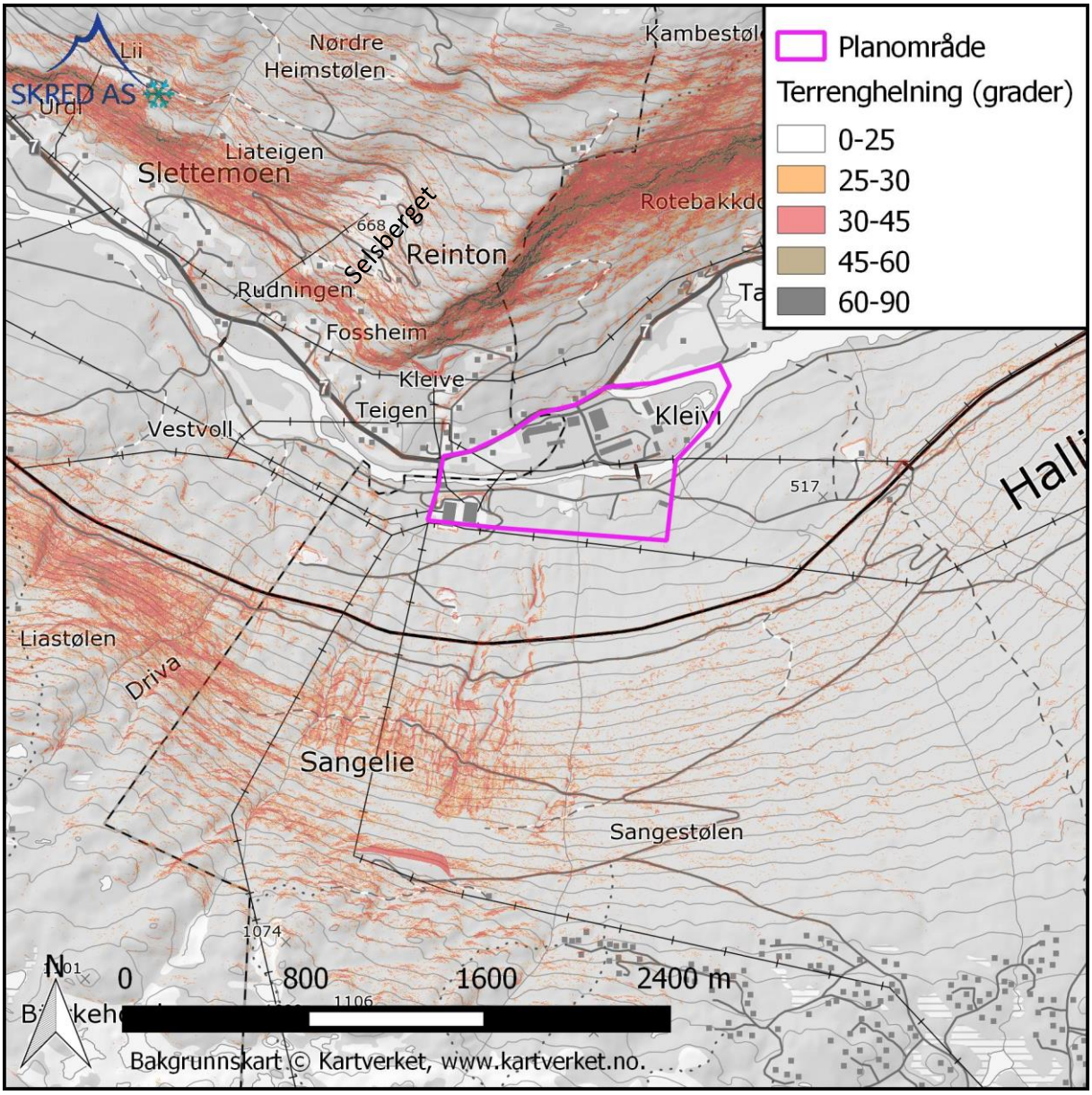
Figur 21: Illustrasjon av anbefalte risikoreduserende tiltak.

4 Skred

4.1 Beskrivelse av området

4.1.1 Topografi

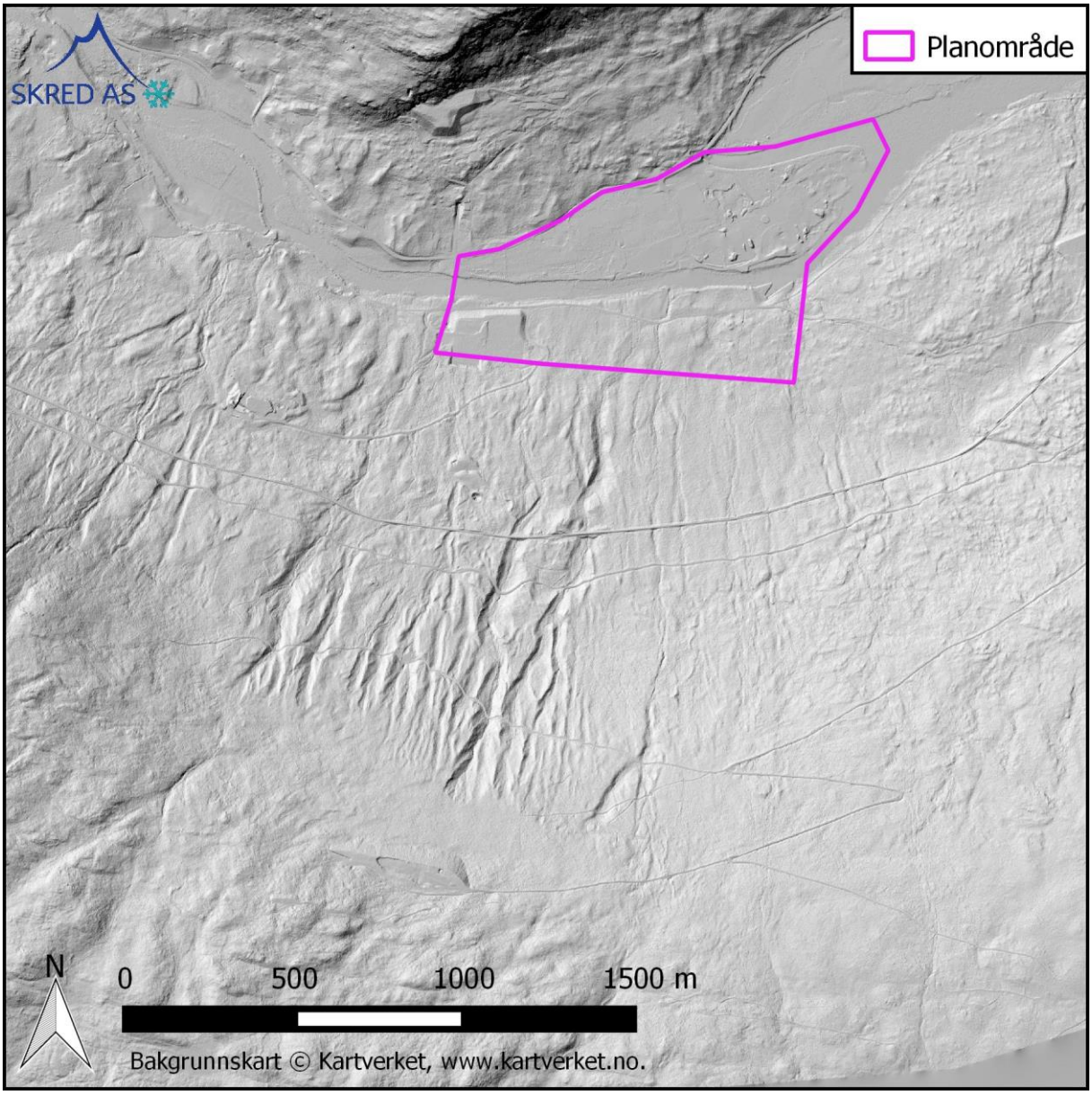
Anvendt terrengmodell er beskrevet i avsnitt 3.2.4.1. Fra terrengmodellen, som har en horisontal oppløsning på 1 m, er det avledet terrenghelning, vist i figur 22. Merk at eksisterende overvannsgrøfter sør for planområdet ikke er inkludert i tilgjengelig kotegrunnlag, og derfor ikke i den anvendte terrengmodellen.



Figur 22: Kart med beregnet terrenghelning.

Planområdet ligger på kote 450 på begge sider av Hallingdalselva. Nord for planområdet stiger terrenget opp mot Kleive/Kleivebergi/Bekkestadhøgde og videre opp mot Storhovd rundt kote 1050. Nederst er denne fjellsiden forholdsvis slak, men rundt kote 520 går den over i en fjellskrent som er delvis vertikal opp til kote 700 i vest og kote 850 i øst. Ovenfor skrenten flater terrenget ut opp mot Storhovd.

Sør for planområdet ligger fjellsiden «Sangelie», som gradvis øker i terrenghelning opp mot kote 1000, og deretter slaker ut videre mot Sangefjellet mot sørvest. Topografien i fjellsiden er preget av mange markerte søkk (raviner). Disse ses både i kartet med terrenghelning (Figur 22) og i skyggekartet (Figur 23), og er spor etter tidligere løsmasseskred og/eller erosjon langs bekkeløp.



Figur 23: Skyggekart som viser ravinene i Sangelie sør for planområdet.

4.2 Geologi

Ifølge NGU løsmassekart i 1:250 000 (NGU, 2016) er det morenemateriale i fjellsiden sør for planområdet (Liagardane), tykkest nederst i fjellsiden, og tynnere oppover. Planområdet består hovedsakelig av elveavsetninger. Skrenten nord for planområdet er kartlagt som bart fjell med skredmateriale i foten. Berggrunnen er av NGU kartlagt i 1:50 000 og består av granitt, granittisk gneis og metaryolitt og metaryodacitt.

4.3 Vegetasjon og terrenginngrep

Sangelie er delvis dekket med blandingsskog. Enkelte steder står skogen tett, mens det er flatehogst på enkelte teiger. Skoggrensa ligger rundt kote 1000.

Sangelie er gjennomskåret av grusveier i flere høyder, samt jernbanelinja rundt kote 560. Veier ses på skyggekartet i figur 23. Håndtering av overvann langs veiene er beskrevet i flomvurderingen ovenfor.

4.4 Registrerte skredhendelser

I nasjonal skreddatabase (NVE, 2016) er det i Sangelie bare registrert en enkelt skredhendelse, datert 23. mai 1922, mot banen litt nordøst for området der Sangefjellvegen krysser banelinja. Registreringen er merket med «Trolldalen – Gulsvik», og vi er usikre på om hendelsen er riktig plassert på kartet.

Den 5. juli 2011 ble fyllingen under banelinja vasket ut 3-4 steder, og det ble registrert flere utglidninger i sideterrenget langs banen. I tillegg ble store deler av Sangefjellvegen og de andre veier i Sangelie vasket vekk. Hendelsene var forårsaket av kortvarig, intens nedbør etter en forholdsvis våt forsommer. Hendelsene som ble registrert i 2011 ligger i grenselandet mellom flom og flomskred.

4.5 Tidligere rapporter

Vi er ikke kjent med detaljerte skredfarevurderinger for planområdet, men Kalle Kronholm har tidligere utført skredfarevurderinger langs banelinja. Kalle Kronholm har også utført flere vurderinger langs nordsiden av Strandafjorden. Disse rapportene ble gjort under et tidligere arbeidsforhold, og vi har ikke hatt tilgang til dem.

4.6 Aktsomhetsområder

Store deler av planområdet sør for Hallingdalselva er dekket av aktsomhetssoner for jord- og flomskred (NVE, 2016). En aktsomhetssone for snøskred strekker seg så vidt inn i planområdet fra nord.

4.7 Eksisterende skredsikringstiltak

Flere overvannsgrøfter er registrert i området (Figur 18). Flere av disse har dimensjoner som gjør at de kan ha effekt mot skred (Figur 24), men vi har ikke fått bekreftet at disse er designet som sikringstiltak mot skred.

Figur 24: Avskjærende grøft utenfor det sørøstlige hjørnet av planområdet. Flere steder, men ikke alle, var det en voll på nedsiden av grøftene. Enkelte steder var vollen opp til 1,5-2 m over bunn grøft. Flere steder, som her, var det begrenset fall i grøftene.

4.8 Vurdering av skredfare

4.8.1 Snøskred

Fjellsiden nord for planområdet er bratt nok til at snøskred kan utløses, men terrenget er så bratt at snøskred vil ha begrenset volum. I tillegg er skogen forholdsvis tett mellom skrenten og planområdet. Dette gjør at vi vurderer årlig sannsynlighet for snøskred inn i planområdet fra nord som betydelig lavere enn 1/1000.

I Sangelie sør for planområdet er bare mindre parti av terrenget bratt nok til at snøskred kan utløses. Skrenten på tippen på kote 917 er det største sammenhengende potensielle utløsningsområdet. Det er skog i flere av de bratteste partiene, og i store deler av fjellsiden nedover, og det er langt og relativt slakt (for snøskred) fra potensielle utløsningsområder ned til planområdet. Dette betyr at vi vurderer årlig sannsynlighet for snøskred inn i planområdet fra sør som betydelig lavere enn 1/1000.

4.8.2 Sørpeskred

Sørpeskred utløses typisk fra slake og konkave terrengpartier der store snømengder kan akkumuleres og bli vannmettet uten at vann finner en naturlig avrenning. Det er ingen kjente sørpeskredhendelser i Sangelie, men flere av bekkene ned mot planområdet renner gjennom eller starter fra myområder eller mindre tjern. Dermed kan det ikke utelukkes at

sørpeskred kan utløses og vil følge forsenkninger i terrenget ned mot planområdet. Dette vil trolig hovedsakelig skje på vårparten i perioder med intens snøsmelting, gjerne kombinert med nedbør som regn.

Avstanden fra myrområdene og de mindre tjern vi anser som potensielle utløsningsområder, ned til planområdet er forholdsvis stor. Vi mener derfor at sørpeskred i planområdet vil ha mer form som flomskred (løsmasseskred), beskrevet nedenfor.

4.8.3 Løsmasseskred

Ravinene i Sangelie sør for planområdet viser tydelige tegn på tidligere løsmasseskred (Figur 23). Vi forventer at eventuelle løsmasseskred vil kanaliseres som flomskred langsetter disse ravinene. Utløsningsområder for løsmasseskred er:

- Bratte kanter langs naturlige bekkeløp: Erosjon i løsmassene i flomsituasjoner kan føre til betydelig sedimenttransport i bekkene.
- Bratte deler av det naturlige løsmassedekket: Grunne utglidninger av løsmassedekket kan forekomme der terrenget er forholdsvis bratt når vann reduserer stabiliteten av løsmassedekket.
- Fyllinger under vei og bane: I situasjoner der stikkrenner og kulverter går tett, kan erosjon fra vann transportere store deler av fyllingen nedover langs bekkeløpene. Alternativt kan hele fyllingen få redusert stabilitet på grunn av at det står vann i grøften. Dette kan føre til utglidning av hele fyllingen.

Alle de beskrevne situasjoner kan gi situasjoner som faglig sett ligger i grenselandet mellom flom og flomskred.

For å vurdere hvordan flomskred vil bevege seg ned mot planområdet fra potensielle utløsningsområder, har vi utført beregninger med programvaren RAMMS, versjon 1.6.20, modulen for flomskred (Christen mfl., 2010).

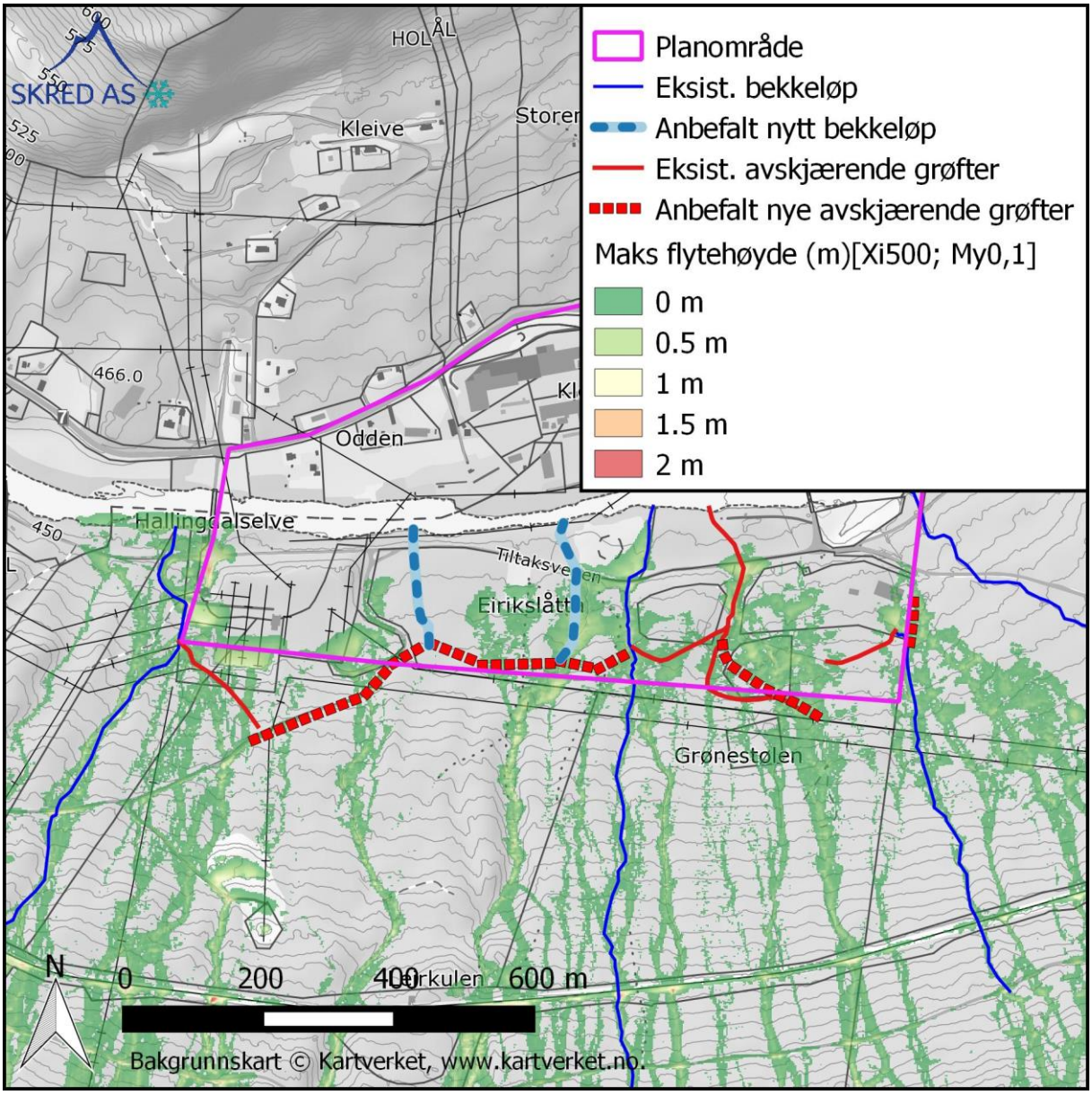
Vi kjenner ikke detaljene til tidligere skredhendelser i fjellsiden, og modellen er derfor ikke kalibrert. Skredmasser er utløst som flak med høyde på 0,5-1 m. Det er både benyttet standard verdier for friksjon i skredbevegelsen, men også flere beregninger med lav friksjon, som vi mener representerer en situasjon som er en overgang mellom flom og flomskred. Det er dels utført beregninger med et større flak parallelt med kotene rundt kote 760, og dels beregninger av skredbevegelse fra de mest sannsynlige utløsningsområdene. Sensitivitet av ulike parametere er testet.

Et eksempel på beregningsresultater er vist i figur 25. Kort oppsummert viser resultatene følgende:

- I motsetning til beregninger av avrenningen av vann gjennom fjellsiden (Figur 15), viser beregningene at eksisterende veier og banelinje har begrenset effekt på strømningsmønsteret til flomskred.

- Merk at den anvendte terrengmodellen ikke inkluderer eksisterende overvannsgrøfter sør for planområdet. I praksis antar vi at disse vil ha noen effekt på strømningsmønsteret til flomskred.
- Masser fra flomskred kan nå inn i planområdet langs stort sett hele den sørlige grense.
- Sannsynligheten for utløsning av løsmasseskred fra de ulike deler av fjellsiden avhenger i stor grad av lokale forhold i en flomsituasjon, for eksempel tette stikkrenner, kulverter, hogst, etc. Det er derfor ikke vanskelig å vurdere hvilke områder som er mest utsatt for flomskred.
- Flytehøyde på flomskred ved planområdet er forholdsvis lav. Vi antar derfor at eksisterende avskjærende grøfter (Figur 24) flere steder, men langt fra alle, har betydelig effekt mot flomskred.

Basert på observasjoner, vurderinger og beregningene forventer vi at årlig sannsynlighet for betydelige skader fra løsmasseskred i planområdet flere steder er større enn 1/1000.



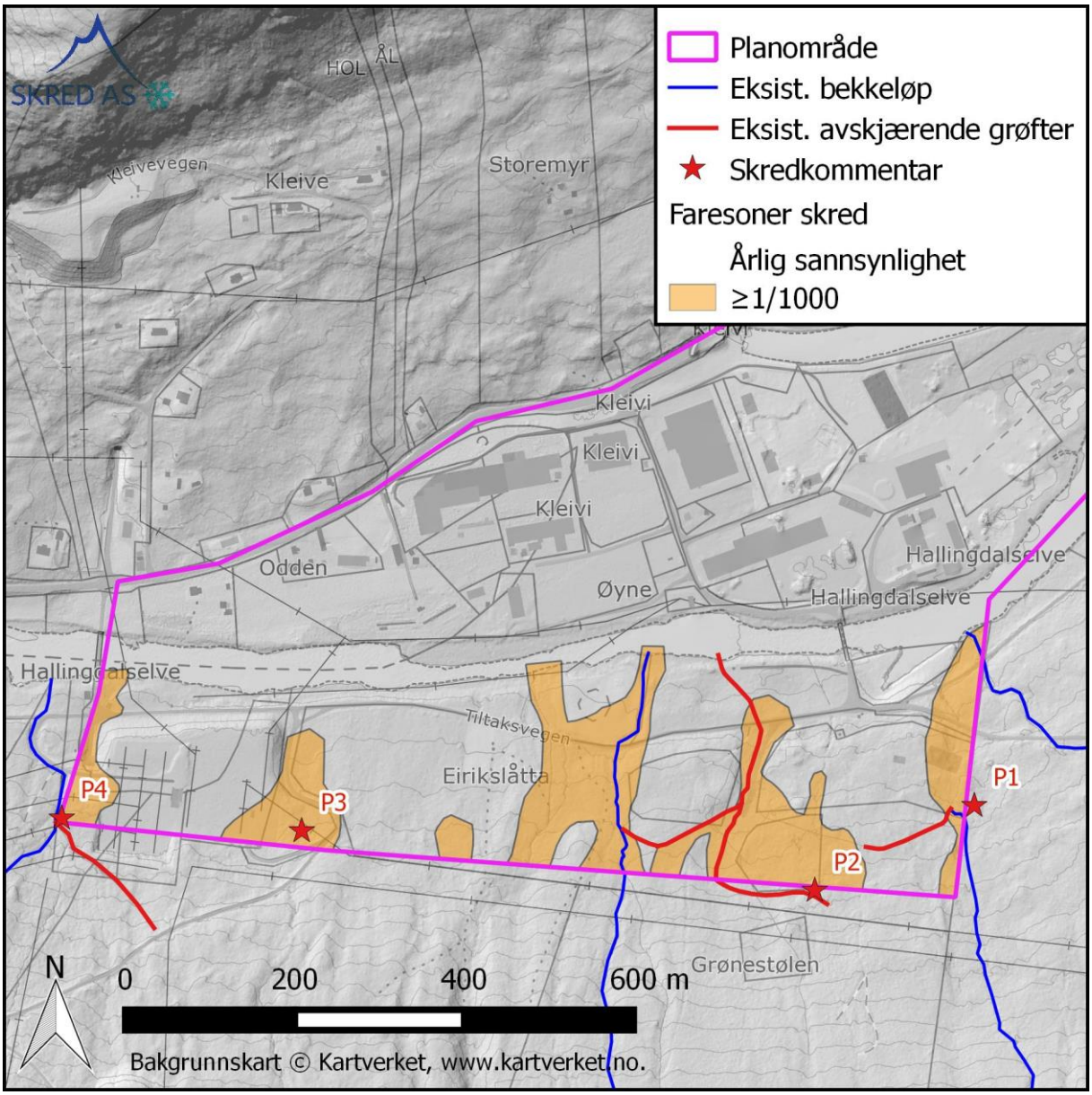
Figur 25: Eksempel på beregning av flytehøyde på skredmasser fra Sangelie. Plasseringen av eksisterende og anbefalte grøfter/voller er skissert.

4.8.4 Skred i fast fjell

I Sangelie er det ikke fjell i dagen, og terrenget er forholdsvis slakt. Det er derfor ikke typiske kildeområder for steinsprang. Skrenten nord for planområdet er et kildeområde for steinsprang. Her betyr avstanden fra kildeområdene til planområdet samt vegetasjonen i fjellsiden at det er lite sannsynlig at steinsprangblokker vil nå frem til planområdet. Aktsomhetskartet viser antatt maksimal utbredelse av steinsprang, og denne sonen stopper i god avstand fra planområdet. Vi vurderer at årlig sannsynlighet for steinsprang i planområdet er betydelig mindre enn 1/1000.

4.8.5 Faresoner for skred

Dimensjonerende (og eneste aktuelle) skredtype er løsmasseskred kanalisert som flomskred langs eksisterende raviner i fjellsiden Sangelie sør for planområdet. Samlet årlig sannsynlighet for skred i planområdet vurderes som større enn 1/1000 flere steder langs den sørlige avgrensning av planområdet. Faresonene er vist i figur 26. Merk at eksisterende grøfter flere steder vurderes å ha god effekt mot dimensjonerende skred.



Figur 26: Faresoner for skred med årlig sannsynlighet ≥1/1000. Punktene P1-P4 er beskrevet i teksten.

4.8.6 Forutsetninger for faresonene

Som nevnt i flomvurderingen, er tilstanden til flere av stikkrennene i grusveiene i Sangelie forholdsvis dårlig. Vi har derfor tatt høyde for at samtlige stikkrenner kan gå tett og føre til utløsning av løsmasseskred fra både naturlig terreng samt fyllinger under vei og bane. Dersom forhold rundt håndtering av stikkrenner forbedres, kan det være mulig å redusere sannsynlighet for utløsning av løsmasseskred, noe som kan redusere faresonene for skred.

Skogen i Sangelie reduserer sannsynligheten for utløsning av løsmasseskred. Dersom skog i hele fjellsiden hogges ned, vil det føre til en økning av sannsynlighet for skred i planområdet.

4.8.7 Mulighet for reduksjon av faresonene

Flytehøyden og volum av skredmasser er forholdsvis lav ned mot den sørlige delen av planområdet. Vi mener derfor at eksisterende grøfter flere steder er tilstrekkelig sikring mot dimensjonerende skred, men flere steder er grøftene ikke tilstrekkelige. Dersom man etablerer ytterligere grøfter sør for planområdet, og utvider eksisterende grøfter med for eksempel større voll på nedsiden (nordsiden) av grøftene, vil man kunne redusere faresonene. Dette må detaljprosjekteres, men noen generelle punkt er gitt her:

- Flere steder har eksisterende grøfter for liten overhøyde fra bunn av grøft. Det gjelder for eksempel punktene P2 og P4 i figur 26. Vi antar grovt at høyde mellom bunn grøft og topp av vollen bak må være 1,5-2 m.
- Vest for punkt P2 er det begrenset fall i eksisterende grøft. Vi anbefaler at grøften legges med større fall, omtrent som i figur 25, og etableres med jevnt stor overhøyde for å redusere faresonen.
- Ved punktene P1 og P3 vil man kunne redusere faresonene ved å etablere ny grøft/voll som beskrevet over, og vist omtrentlig i figur 25.

5 Konklusjon

Flomvurderingen viser at hele planområdet nord for Hallingdalselva er flomutsatt ved en 200-årsflom (sikkerhetsklasse F2), mens deler av planområdet nord for elva er utsatt ved en 20-årsflom (F1). Eksisterende hytte på g/bnr 126/20 er ikke utsatt ved en 200-årsflom i Hallingdalselva, men vannlinja vil nå opp mot eiendommen. Det anbefales å benytte en sikkerhetsmargin på minimum 0,5 meter over beregnet vannlinje i Hallingdalselva ved praktisk bruk av flomsonekartene. Den delen av planområdet som ligger sør for Hallingdalselva er vurdert utsatt ved både en 20- og en 200-årsflom som en konsekvens av oppstrøms bekker. Dette da alle oppstrøms søkk er vurdert å være utsatt med tanke på å få tilført flomvann fra tilgrensende nedbørfelt, slik situasjonen var i 2011.

Det er faresoner for skred med årlig sannsynlighet ≥1/1000 inn i den sørlige delen av planområdet. Den eneste aktuelle skredtypen er løsmasseskred (flomskred). Som i hendelsen i 2011 vurderer vi at dimensjonerende skredtype er en overgang mellom flom og flomskred. Ved å oppgradere eksisterende grøfter med voll på baksiden, og brattere helning og etablere nye grøfter/voller, vil man kunne redusere faresonene betydelig. Det er gitt eksempler på hvor og hvordan dette kan gjøres.

Dersom det skal etableres ny bebyggelse innenfor faresonene må det utføres risikoreduserende tiltak mot flom og skred. Aktuelle tiltak er beskrevet i rapporten og må detaljprosjekters.

6 Referanseliste

DiBK, 2016. Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK17) [WWW Document]. Hjemmeside. URL http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/

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 Regions Science and Technology 63, 1-2.

MET, 2015. Dimensjonerende korttidsnedbør. NIFS rapport 134-2015.

Norsk Klimaservicesenter, 2017. Klimaprofil Buskerud. April 2017. URL https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofil-buskerud/_attachment/11417?_ts=15b1ed15b73

NVE, 2004. Flomberegninger i Hallingdalsvassdraget, Hemsedal, Gol og Nesbyen

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

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

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

SINTEF, 1992. Flomberegning og kulvertdimensjonering. STF60 A92101.

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

Sweco, 2009. Flomvurdering Ål Folkepark.