



Noregs vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Aurdal, skredfarevurdering

Utgave: 1

Dato: 2013-09-30

DOKUMENTINFORMASJON

Oppdragsgiver: Noregs vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Rapporttittel: Aurdal, skredfarevurdering
Utgave/dato: 1 / 2013-09-30
Arkivreferanse: -
Lagringsnavn: aurdal, skredfarevurdering.docx
Oppdrag: 533071 – Nord-Aurdal, Aurdal - Skredfarevurdering
Oppdragsbeskrivelse: Skredfarevurdering og skisse av mulige tiltak for utsatt bebyggelse i Aurdal.
Oppdragsleder: Kalle Kronholm
Fag: Samferdsel infrastruktur
Tema: Geoteknikk, geologi
Leveranse: Analyse

Skrevet av: Kalle Kronholm
Kvalitetskontroll: Petter Snilsberg

Asplan Viak AS www.asplanviak.no

FORORD

Asplan Viak har vært engasjert av NVE for å gjennomføre en skredfarevurdering for et boligfelt i Aurdal, Nord-Aurdal kommune. Flere hus i boligfeltet ble truffet av skred 22. mai 2013.

Jaran Wasrud ved NVE Region Øst har vært vår kontaktperson for oppdraget, Han har bidratt med informasjon om tidligere skredhendelser. Kalle Kronholm har vært oppdragsleder for Asplan Viak, og har gjennomført oppdraget.

Ål, 2013-09-30

Kalle Kronholm
Oppdragsleder

Petter Snilsberg
Kvalitetssikrer

SAMMENDRAG

22. mai 2013 ble flere hus i det vurderte boligfeltet truffet av et løsmasseskred og enda flere hus ble etterfølgende evakuert. Løsmasseskredet løsnet i en åkerreine på nedsiden av et jorde. I tillegg løsnet masser fra jordet ovenfor åkerreina. Skredet fulgte en liten bekk gjennom tett skog. Det var mye medrivning av løsmasser fra skredbanen og det lite løsmasse igjen på fjellet.

Første steg i oppdraget var å tegne faresoner for skred med nominell årlig sannsynlighet på 1/100 og 1/1000. Dette svarer til minstekravet til sikkerhet mot skred for nybygg i sikkerhetsklasse S1 og S2, gitt i TEK10. Dersom boliger ligger tydelig innenfor en faresone, var andre steg i oppdraget å skissere forslag til sikringstiltak samt gi grove kostnadsoverslag på skisserte løsninger.

Vi har gjennomført en detaljert skredfarevurdering for området. For å løse oppdraget er følgende arbeid gjennomført:

- Gjennomgang av historiske skredhendelser
- Klimaanalyse
- Befaring
- Terrenganalyse
- Definisjon av ulike scenarier for utløsning
- Beregning av utbredelse av skred basert på scenarier

Løsmasseskred er den mest aktuelle skredtypen i området. Åkerreina ligger i nedre kant av hele jordet ovenfor boligfeltet, og utglidninger av løsmasser herfra er det mest sannsynlige scenarioet. Sannsynlighet for utglidning av ulike deler av åkerreina avhenger hovedsakelig av geometri og hydrogeologiske egenskaper til åkerreina og av vannmengden som ledes ned i åkerreina fra ovenfor liggende terreng. Potensielt utløst skredvolum avhenger av terrenget ovenfor åkerreina, hovedsakelig helningen av dette. Løsmasseskred kan nå inn i store deler av det vurderte området, men utbredelsen på vestsiden av E16 er begrenset.

Snøskred kan utløses fra deler av skredbanen fra skredet 22. mai 2013. Etter skredet er det lite vegetasjon og ruheten på bakken er begrenset. Snøskred kan nå enkelte bygg i det vurderte området.

Faresonekartene for skred med årlig sannsynlighet på 1/100 (S1) og 1/1000 (S2) dekker alle skredtyper. Tabellen nedenfor viser bolighus som ligger innenfor faresonene. I tillegg ligger flere garasjer og uthus innenfor faresonene, men disse er ikke tatt med i tabellen.

Bolighus på Gnr/Bnr	Innenfor faresone 1/100?	Innenfor faresone 1/1000?
99/20	Ja	Ja
99/37	Ja	Ja
99/38	Ja	Ja
99/41 (99/42 har samme eier, her er ikke registrert bolighus)	Nei	Ja
99/19 (Haugen)	Nei	Ja
99/36	Nei	Ja

Boligene på 99/41, 99/36 og 99/19 ligger mer utsatt for skred enn en årlig sannsynlighet på 1/1000. Det billigste sikringstiltaket er trolig å fjerne hele åkerreina. Effekten av dette sikringstiltaket vil være stor fordi løsmasseskred antas å utløses herfra. Kostnaden på dette tiltaket er estimert til rundt kr. 300 000,-.

Alternativt kan det etableres en ledevoll ovenfor boligen på 99/19. Kostnaden for denne er estimert til kr. 1-3 mill. Det kan også etableres ledevoller ovenfor boligene på 99/41, 99/38 og 99/36. Valg av løsning vil her avhenge av hvor mange av boligene man ønsker å sikre, men er grovt estimert til kr. 2-6 mill. Tiltak her vil medføre en del utfordringer i forhold til Høgdingsvegen.

INNHOLDSFORTEGNELSE

Sammendrag.....	3
FIGURLISTE.....	7
KARTBILAG	7
1 Innledning	8
1.1 Befaring.....	9
1.2 Kartgrunnlag	9
1.3 Forbehold og avgrensninger.....	9
2 Krav til sikkerhet mot skred	10
3 Områdebeskrivelse	11
3.1 Topografi, vegetasjon og geologi.....	11
3.2 Terrengmodell	11
3.3 Inngrep i terrenget.....	11
3.4 Klima.....	12
3.5 Historiske opplysninger om skred.....	16
3.6 Skredhendelser 22. mai, 2013.....	16
3.7 Tidligere kartlegginger.....	18
3.8 Observasjoner i terreng.....	18
4 Vurdering av skredfare	20
4.1 Aktuelle skredtyper.....	20
4.2 Løsmasseskred.....	20
4.3 Snøskred.....	27
4.4 Faresoner for skred.....	30
5 Tiltak	33
5.1 Tiltak for å øke sikkerheten mot skred.....	33
5.2 Tiltak for å opprettholde dagens sikkerhetsnivå.....	35
6 Konklusjon.....	37
7 Referanseliste	38

FIGURLISTE

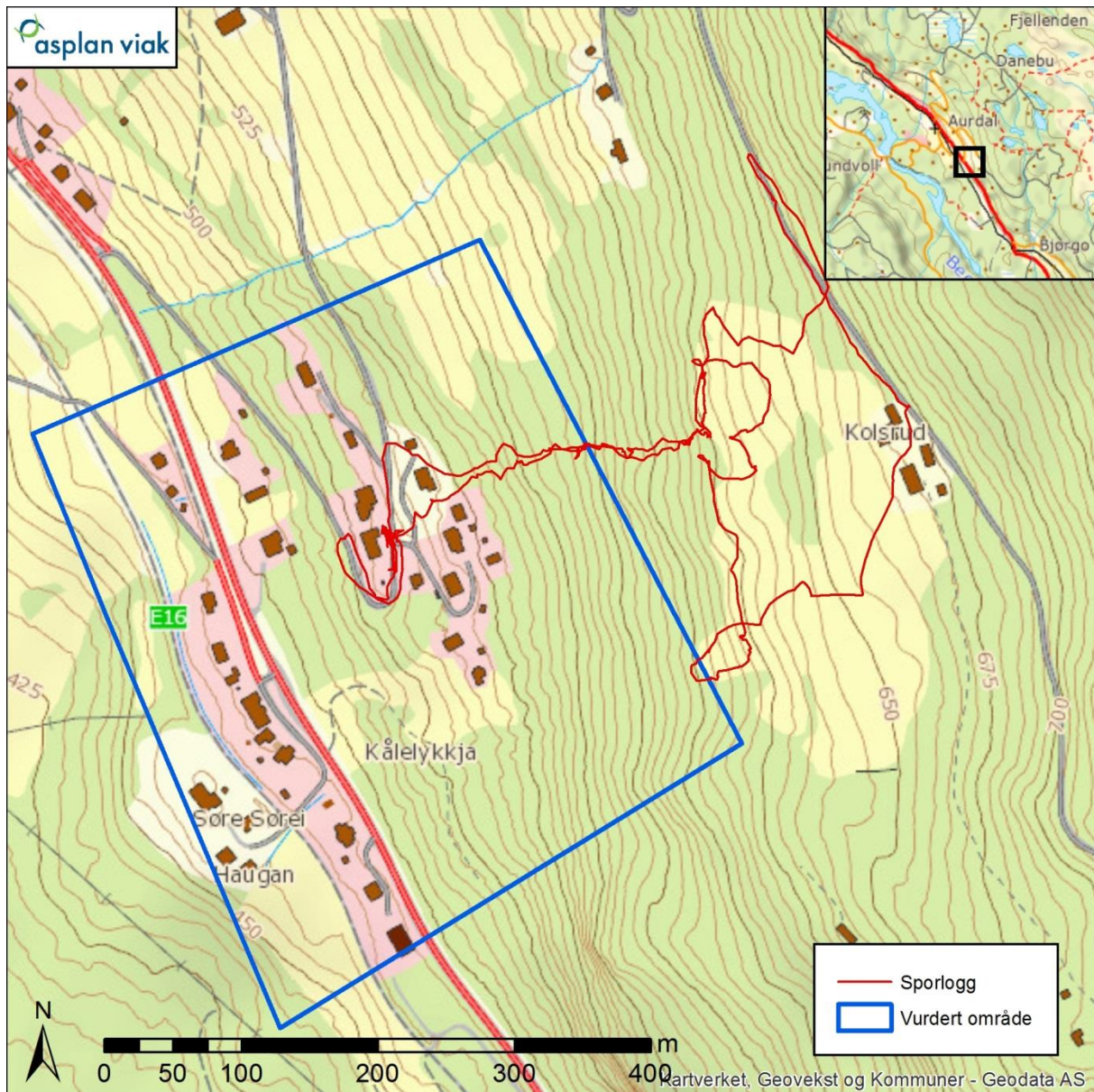
Figur 1 Oversiktskart, vurdert område vist med blå strek.	8
Figur 2 Månednormaler for nedbør og temperatur for utvalgte stasjoner for normalperioden 1961-1990. Data fra eklime.met.no.....	13
Figur 3 Ekstremverdianalyse for døgnedbør for stasjon 22950 Nord-Aurdal II (og III). Forventet verdi for et gitt gjentakelsesintervall er vist med svart linje. Konfidensnivå på 95 % er angitt med blå linjer og viser at analysen er usikker for sjeldne hendelser. Data fra eklime.met.no.	14
Figur 4 Ekstremverdianalyse for døgnedbør for stasjon 23160 Åbjørsbråten. Forventet verdi for et gitt gjentakelsesintervall er vist med svart linje. Konfidensnivå på 95 % er angitt med blå linjer og viser at analysen er svært usikker for sjeldne hendelser. Data fra eklime.met.no.	14
Figur 5 Ekstremverdianalyse for nysnøtilvekst over tre døgn for stasjon 22950 Nord-Aurdal II. Forventet verdi for et gitt gjentakelsesintervall er vist med svart linje. Konfidensnivå på 95 % er angitt med blå linjer og viser at analysen er svært usikker for sjeldne hendelser. Data fra eklime.met.no.	15
Figur 6 Ekstremverdianalyse for nysnøtilvekst over tre døgn for stasjon 23160 Åbjørsbråten. Forventet døgnedbør for et gitt gjentakelsesintervall er vist med svart linje. Konfidensnivå på 95 % er angitt med blå linjer og viser at analysen er svært usikker for sjeldne hendelser. Data fra eklime.met.no.	16
Figur 7 Skredhendelser registrert 22. og 23. mai 2013, samt terrenghelning beregnet ut fra koter med 1 m ekvidistanse. Punktene A, B og C kan være spor etter tidligere løsmasseskred og er beskrevet i teksten.....	17
Figur 8 Løsmasse fra tidligere skred, stoppet mot bjørk.	19
Figur 9 Etterregning av skadeskredet 22. mai 2013.....	24
Figur 10 Beregnet utbredelse av løsmasseskred utløst fra de aktuelle områdene i åkerreina med årlig sannsynlighet på 1/100.	26
Figur 11 Beregnet utbredelse av løsmasseskred utløst fra de aktuelle områdene i åkerreina med årlig sannsynlighet på 1/1000.	27
Figur 12 I skredbanen til det største skredet 22. mai 2013 er det renvasket fjell med helning på rundt 35° og relativ liten ruhet. Dette er et potensielt utløsningsområde for snøskred.....	28
Figur 13 Beregnet maksimal hastighet av dimensjonerende snøskred med årlig sannsynlighet på 1/1000. Beregning med alfa-beta modellen langs skredbanen er også vist.	30
Figur 14 Oversikt over eiendomsgrenser med Gnr/Bnr.....	32
Figur 15 I området markert med grønn farge bør det stilles krav om skjøtsel av skog. Fjernes skogen i dette området vil sikkerheten reduseres i forhold til dagens nivå.	36

KARTBILAG

Kartbilag 1: Faresoner for skred.

1 INNLEDNING

Asplan Viak AS er engasjert av NVE Region Øst til å gjennomføre en skredfarevurdering for et boligfelt i Aurdal, Nord-Aurdal kommune (Figur 1). Flere hus i boligfeltet ble 22. mai 2013 truffet av skred. NVE ønsker faresoner for skred med nominell årlig sannsynlighet på 1/1000 og 1/100. Dersom eksisterende boliger ligger innenfor disse faresoner skal det skisseres mulige tiltak.



Figur 1 Oversiktskart, vurdert område vist med blå strek.

1.1 Befaring

Den 23. august 2013 gjennomførte Petter Snilsberg og Kalle Kronholm, Asplan Viak en befaring i området (Figur 1). Etter befaringen informerte beboer Paul Kolsrud om forholdene rundt skredhendelsen 22. mai, 2013.

1.2 Kartgrunnlag

Vi har mottatt kotegrunnlag fra NVE. Kotegrunnlaget er beskrevet i avsnitt 3.2 nedenfor.

Vi har dessuten anvendt flyfoto over området, blant annet fra www.norgei3d.no, kart.finn.no og GeoCache tjenester levert av Geodata AS.

1.3 Forbehold og avgrensninger

Vurderingene er gjennomført på bakgrunn av dagens vegetasjon. Skredutbredelsen er vurdert på bakgrunn av byggene som i dag ligger i boligfeltet.

2 KRAV TIL SIKKERHET MOT SKRED

NVE ønsker en utredning av faresoner for skred med nominell årlig sannsynlighet på 1/1000 og 1/100. Dette svarer til minstekravene i TEK 10 § 7-3 for hhv. sikkerhetsklasse S2 og S1 for nybygg og tilhørende uteareal (Tabell 1).

Tabell 1 Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde.

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	liten	1/100
S2	middels	1/1000
S3	stor	1/5000

I "Veiledning om tekniske krav til byggverk" fra Direktoratet for byggkvalitet gis retningsgivende eksempler på byggverk som kommer inn under de ulike sikkerhetsklassene for skred. Ifølge lovverket skal denne faresonen omfatte alle skredtyper.

3 OMRÅDEBESKRIVELSE

Det vurderte boligfeltet ligger omtrent 1,5 km sørøst for Aurdal sentrum, Nord-Aurdal kommune. Dalen Valdres løper her omtrent nordvest-sørøst. Svenskeplassen ligger på den nordøstlige side av dalen rundt kote 510 (Figur 1). Dalsiden stiger mot nordøst opp mot Kvilarberget (929 m o.h.) og Kolsrudåsen (980 m o.h.).

3.1 Topografi, vegetasjon og geologi

Terrenget fra boligfeltet til nedre grense av jordene nedenfor gården «Kolsrud», rundt kote 630, har 2-3 brattere partier der terrenget er brattere enn 45°, enkelte steder opp mot 50°. Disse partiene er trolig sannsteinsbenker med fjell i dagen, eller meget tynt løsmassedekke. I terrenget mellom de brattere partier er det brattere enn 20°, og store deler av området er brattere enn 30°. Jordene ved Kolsrud er generelt slakere enn 20°, men enkelte partier med skog har en helning opp mot 30°. Terrenget ovenfor vegen til gården Kolsrud i kote 670 opp til kote 800 minner om terrenget mellom kote 510 og kote 630, beskrevet ovenfor. Den mest tydelige sannsteinsbenken er tydelig i skjæringen nord for Kolsrud. Fra omtrent kote 800 blir terrenget noe slakere, men fortsatt med enkelte partier som er brattere enn terrenget generelt.

Berggrunnen rundt boligfeltet består av sandstein og skifer. I de bratteste parti er det fjell i dagen, men ellers er det et forholdsvis tynt morenedekke over fjell. Morenemassen er forholdsvis finkornet, spesielt i den nedre delen, ned mot fjellet.

Området ligger under skoggrensa. Vegetasjonen i området består av bjørk, gran, furu og osp. Skogen er relativt tett og med store stammer.

Under befaringen var det ingen synlige bekker ned mot boligfeltet. Beboer Paul Kolsrud bekrefter at den eneste bekken ned mot boligfeltet gikk der skredet 22. mai, 2013 gikk. Ifølge Kolsrud var det vann i bekken i bare korte perioder i løpet av et typisk år.

3.2 Terrenghmodell

Fra NVE har vi mottatt koter med 1 m ekvidistanse. Fra disse har vi generert en triangulert terrenghmodell (TIN) og fra denne er laget en gridbasert terrenghmodell med cellestørrelse på 1x1 m. Alle operasjoner ble utført i programvaren ArcGIS 10.1.

3.3 Inngrep i terrenget

Under befaringen ble det ikke observert terrenghinngrep mellom boligfeltet og jordene nedenfor Kolsrud. En gammel veg opp til Kolsrud var ikke synlig i terrenget. Jordene på Kolsrud har vært dyrket i mange år. I nedre kanten langs alle de opprinnelig dyrkede jordene er det en tydelig åkerreine. Korte strekninger av denne er understøttet med en mindre steinmur. Åkerreina består av matjord og det er et tydelig skille til morenemassene under. Enkelte steder ligger åkerreina på en steinrøys.

Ovenfor jordene ved Kolsrud går det en grusveg. Denne har en grøft på oversiden, og det er etablert enkelte stikkrenner som fører vannet ut på jordene nedenfor vegen. Under befaringen ble det observert to stikkrenner ovenfor det vurderte boligfeltet. Den ene stikkrenne fører vann under vegen rett nord for Kolsrud. Vannet renner ut på jorden nedenfor.

Den andre stikkrenne ligger sør for fjellskjæringen ovenfor Solberg. Også her føres vannet direkte ut på jordet nedenfor vegen.

Terrenget ovenfor vegen til Kolsrud ble ikke befart til fots.

3.4 Klima

Formålet med klimaanalysen er å anslå hvor mye snø det kan forventes på bakken, samt nedbørmengde og vindretning i ekstreme nedbørsituasjoner som kan føre til utløsning av skred. Klimadata er hentet fra eklima.met.no. Alle data er innhentet 19. september 2013 eller deretter.

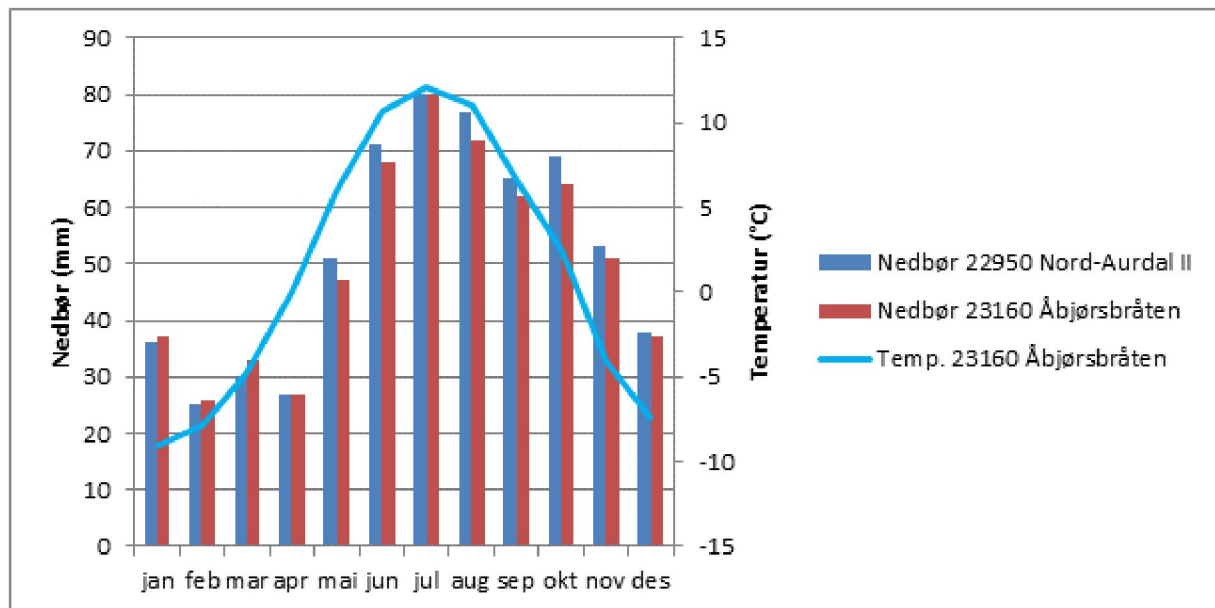
3.4.1 Stasjoner

Vi har analysert data fra stasjonene 23160 Åbjørsbråten og 22950/22951 Nord-Aurdal II/III. Disse mener vi gir et representativt bilde av klimaet i området. Stasjon 23160 Åbjørsbråten ligger 639 m o.h. omtrent 7,5 km vest for byggefeltet. Målinger av snødybde, nedbør og temperatur er tilgjengelige fra 1954 til i dag. Stasjon 22950 Nord-Aurdal II ligger 452 m o.h. omtrent 1 km nordvest for boligfeltet. Målinger av nedbør er tilgjengelige fra 1895, og snødybde fra 1957. Målingene er tilgjengelige fram til og med 2000. Stasjonen 22951 Nord-Aurdal III ligger 433 m o.h. omtrent 400 m vest for boligfeltet. Data er tilgjengelige fra 2001 til 2012. Målinger fra stasjonene 22950 og 22951 er kombinert for å få en lengre sammenhengende tidsserie.

3.4.2 Normaler

Månedsnormalene for de to stasjonene for normalperioden 1961-1990 er vist i Figur 2. Stasjon 22950 Nord-Aurdal II har en årsnedbør på 622 mm, og stasjon 23160 Åbjørsbråten har årsnedbør på 604 mm. Området er relativt tørt, og mesteparten av nedbøren kommer sommer og høst.

Nedbørførende vindretning er hovedsakelig fra sørvest over vest til nordvest, men store snøfall med vind fra øst kan også forekomme. Fremherskende vindretning er fra vest. Fjellsider som ligger i le for vind fra vest er dermed mest utsatte for snøskred.



Figur 2 Månedsnormaler for nedbør og temperatur for utvalgte stasjoner for normalperioden 1961-1990. Data fra eklime.met.no.

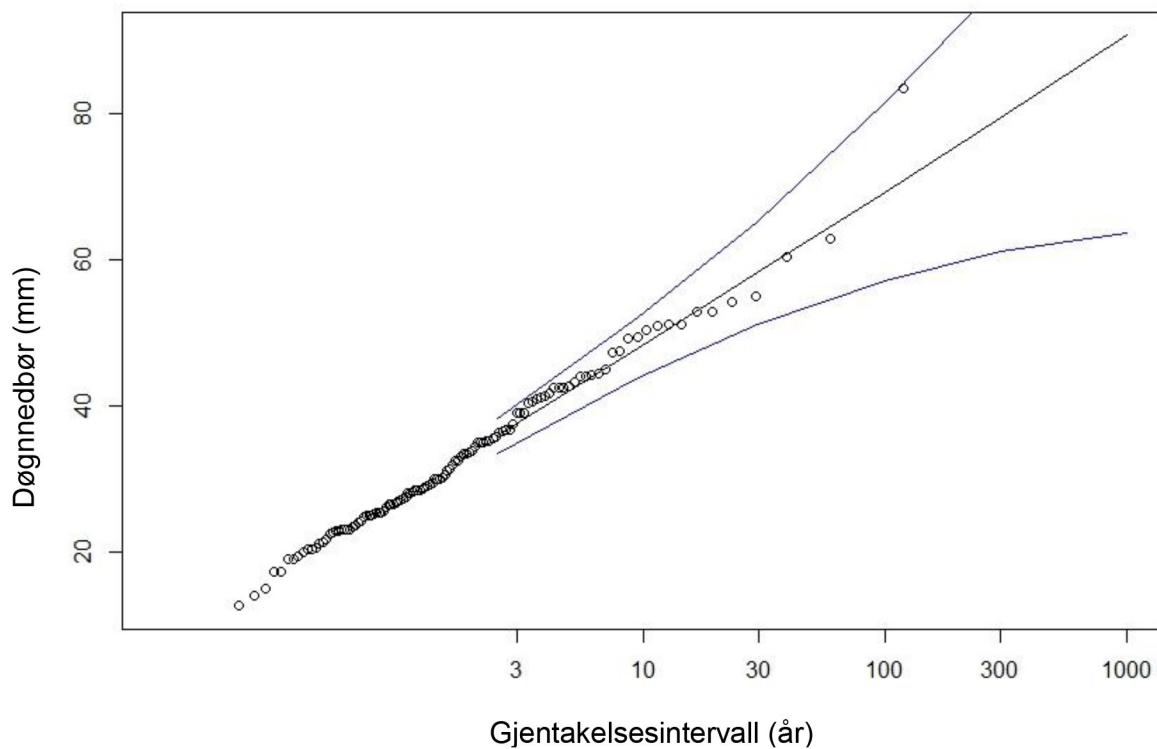
3.4.3 Ekstremverdier for nedbør

Det er gjennomført en ekstremverdianalyse (GEV) av døgnnedbør for 22950 Nord-Aurdal II (Figur 3) og 23160 Åbjørsbråten (Figur 4). På grunn av den noe lengre tidsserie fra Nord-Aurdal II er usikkerhetene for sjeldne hendelser mindre enn for Åbjørsbråten. For mindre sjeldne hendelser er forventet nedbør omtrent lik for de to stasjonene. Det er relativt kort mellom de to stasjonene, og vi antar i det følgende at analysen for Nord-Aurdal er representativ for boligfeltet.

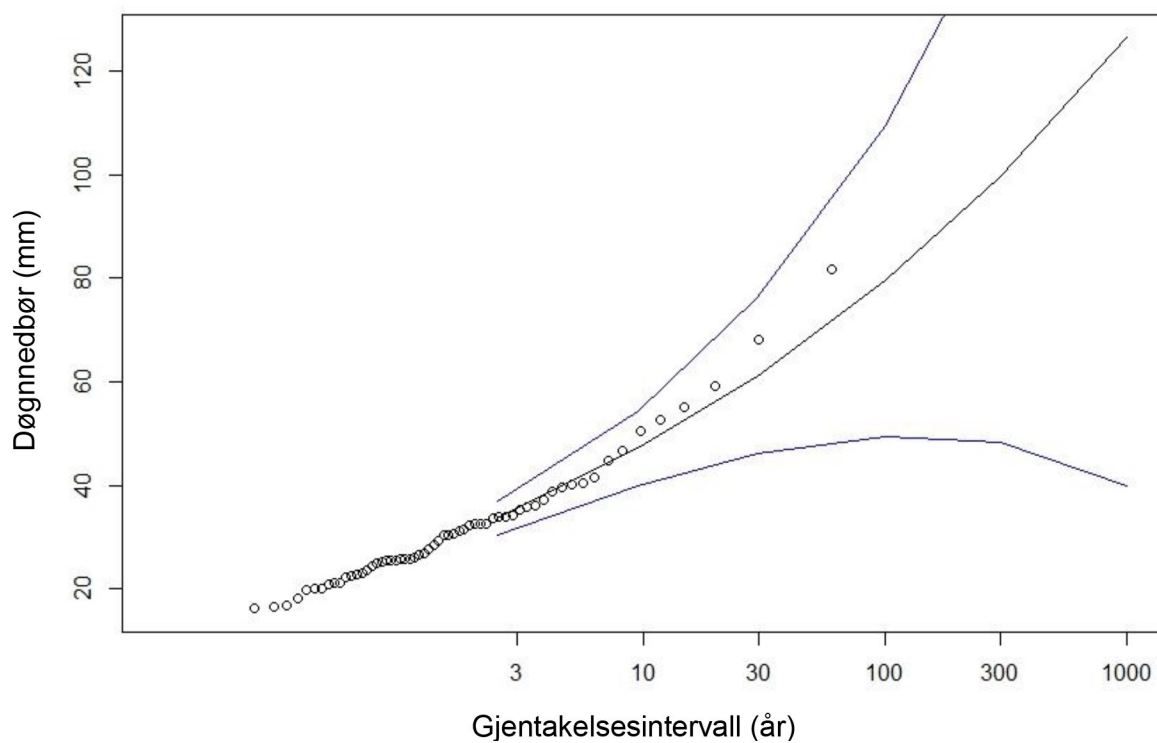
Forventet døgnnedbør for hendelser med gjentakelsesintervall på 10, 100, og 1000 år er vist i Tabell 2. Bemerk at verdier for sjeldne hendelser er svært usikre. Verdier for summert nedbør over 3 og 5 døgn er også analysert, men ikke vist.

Tabell 2 Forventede verdier for hendelser med angitt gjentakelsesintervall. For stasjon 22950 Nord-Aurdal II (og III).

Gjentakelsesintervall (år)	Døgnnedbør (mm)	Nysnøtilvekst over tre døgn (cm)
10	48	40
100	69	55
1000	91	65



Figur 3 Ekstremverdianalyse for døgntedbør for stasjon 22950 Nord-Aurdal II (og III). Forventet verdi for et gitt gjentakelsesintervall er vist med svart linje. Konfidensnivå på 95 % er angitt med blå linjer og viser at analysen er usikker for sjeldne hendelser. Data fra eklima.met.no.



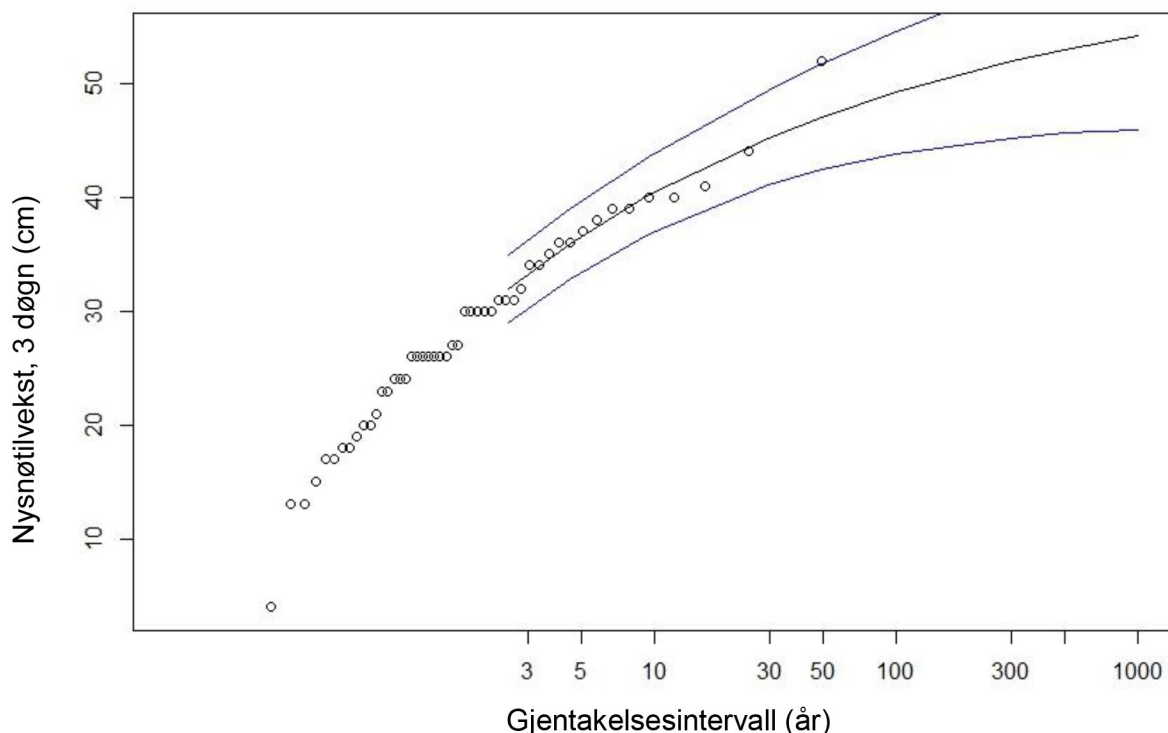
Figur 4 Ekstremverdianalyse for døgntedbør for stasjon 23160 Åbjørsbråten. Forventet verdi for et gitt gjentakelsesintervall er vist med svart linje. Konfidensnivå på 95 % er angitt med blå linjer og viser at analysen er svært usikker for sjeldne hendelser. Data fra eklima.met.no.

3.4.4 Ekstremverdier for nysnøtilvekst

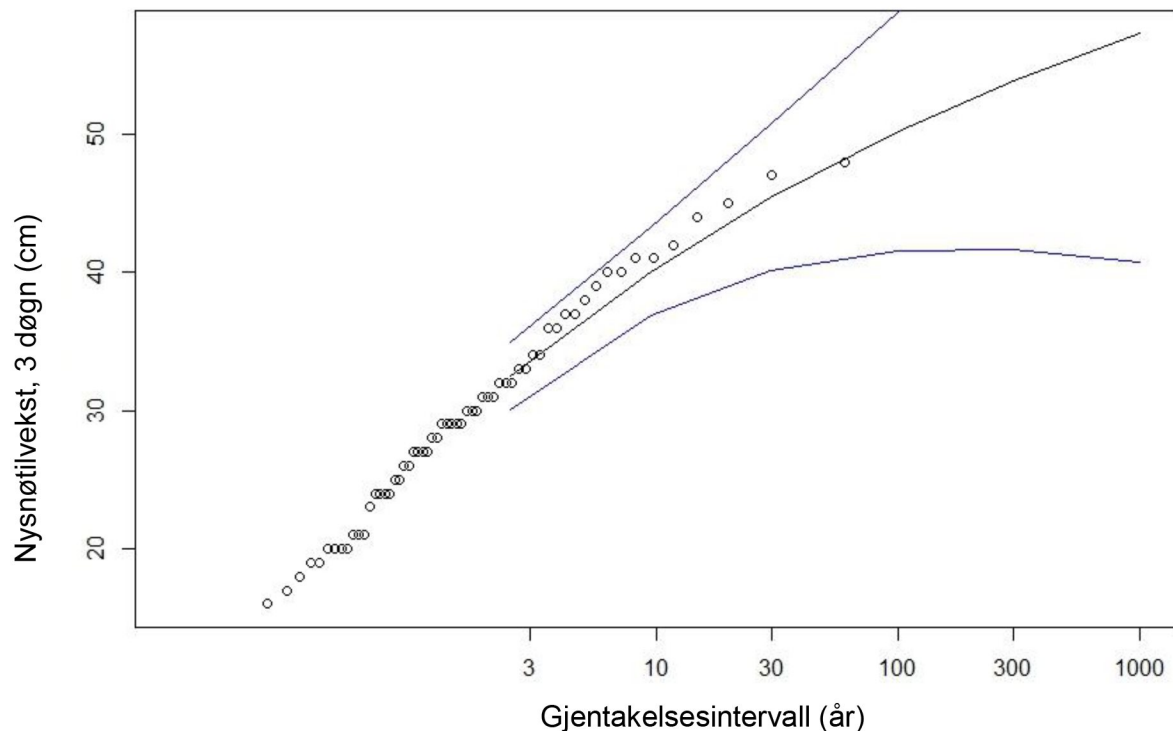
Som indikasjon på forventet bruddhøyde av dimensjonerende snøskred anvender vi nysnøtilveksten over tre døgn. Det er gjennomført en ekstremverdianalyse (GEV) av nysnøtilvekst for 22950 Nord-Aurdal II (Figur 5) og 23160 Åbjørsbråten (Figur 6). Tidsseriene for begge stasjoner er forholdsvis korte, og usikkerhetene for sjeldne hendelser er større enn for døgnedbør.

Resultatet av ekstremverdianalysen for nysnøtilvekst over tre døgn er vist i Figur 5 for Nord-Aurdal II og III og i Figur 6 for Åbjørsbråten. På bakgrunn av grafene har vi estimert forventede verdier for nysnøtilvekst over tre døgn for hendelser med gjentakelsesintervall på 10, 100, 1000 (Tabell 2). Hendelser med et gjentakelsesintervall på 1000 år vil ha en forventet nysnøtilvekst over tre døgn på rundt 65 cm, men øvre grense med 95 % konfidensnivå er vesentlig høyere.

De viste verdiene er ved stasjonene. Det forventes en økning av nedbørmengder med høyden. Dessuten er det i figurene ikke inkludert nysnøtilvekst på grunn av vindtransportert snø. Dette er beskrevet i avsnitt 4.3.3.



Figur 5 Ekstremverdianalyse for nysnøtilvekst over tre døgn for stasjon 22950 Nord-Aurdal II. Forventet verdi for et gitt gjentakelsesintervall er vist med svart linje. Konfidensnivå på 95 % er angitt med blå linjer og viser at analysen er svært usikker for sjeldne hendelser. Data fra eklima.met.no.



Figur 6 Ekstremverdianalyse for nysnøtilvekst over tre døgn for stasjon 23160 Åbjørbråten. Forventet døgngnedbør for et gitt gjentakelsesintervall er vist med svart linje. Konfidensnivå på 95 % er angitt med blå linjer og viser at analysen er svært usikker for sjeldne hendelser. Data fra eklima.met.no.

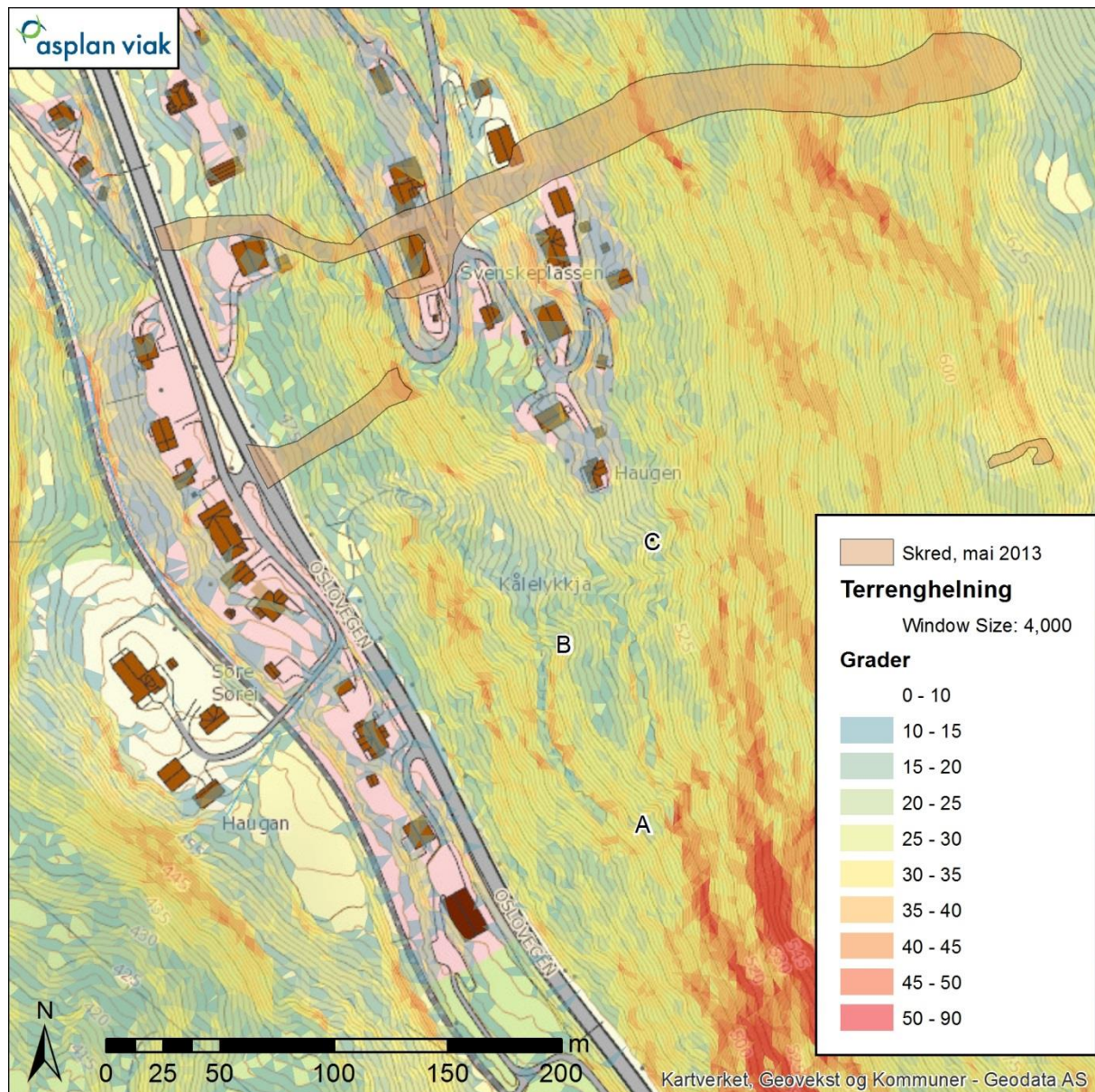
3.5 Historiske opplysninger om skred

I den nasjonale skreddatabasen (www.skrednett.no) er det registrert løsmasseskred, snøskred og steinsprang mellom Fagernes og Bagn. To av de registrerte løsmasseskredene er datert til 22. juli 1789, under Ofsen. Det største skredet 22. mai 2013 ved Svenskeplassen er også registrert i databasen. Ved hendelsene fra mai 2013 er det nevnt at «Litt lenger nord på same jordet gjekk eit jordras i oktober 1963», uten at dette er utdypet. Dersom denne siste opplysningen er korrekt, er det to større løsmasseskred fra samme jorde på rundt 50 år.

En terrengeanalyse viser at terrenget sør for Svenskeplassen har større forsenkninger. De tre tydeligste er markert med A, B og C i Figur 7. Denne typen terreng er ofte dannet av tidligere løsmasseskred. Blant annet i Hallingdal i 2013, har vi observert at denne typen renner, spesielt den øvre delen, er potensielle utløsningsområder for nye løsmasseskred.

3.6 Skredhendelser 22. mai, 2013

Den 22. mai 2013 rundt kl. 19:30 løsnet et løsmasseskred fra nedre delen av jordet nedenfor Kolsrud (Figur 7). Skredet traff flere bolighus i boligfeltet «Svenskeplassen» og flere boliger i området ble etterfølgende evakuert. To mindre skred lenger sør langs åkerreina ble også observert. Den 23. mai løsnet et skred fra fyllingen nedenfor nedre svingen på Høgdingsvegen. Hendelsene og farevurdering er beskrevet i NGI rapport 20130482-01-TN (NGI, 2013).



Figur 7 Skredhendelser registrert 22. og 23. mai 2013, samt terrenghelning beregnet ut fra koter med 1 m ekvidistanse. Punktene A, B og C kan være spor etter tidligere løsmasseskred og er beskrevet i teksten.

Ifølge NGI (2013) var det flere sammenfallende årsaker til at skredet ble utløst:

- Særlig bratt grasbakke i utløsningsområdet. Opp mot 40°.
- Særlig grunt til den impermeable telehorisonten og to grunt liggende store steiner i bruddområdet.
- Fullstendig vannmettet jordsmonn over telen og dertil stående vann i grasdekket.
- Mye regn og begynnende smelting av telen dagene forut for hendelsen. Siste døgnet ble det registrert 46,3 mm på Åbjørbråten. Det er antydnet at det meste kom før skredet gikk. Simulering basert på arealdata antyder 54 mm regn i skredområdet, men lokalt kan det ha vært mer nedbør.

Basert på analysene av nedbør (avsnitt 3.4.3) svarer den registrerte døgnnedbøren på 46,3 mm til en hendelse med gjentakelsesintervall på knapp 10 år. Nedbørmengden kan ha hatt store lokale variasjoner, men det er dermed lite sannsynlig at dette alene var utløsende

faktor. Kombinasjonen av nedbør, snøsmelting og «riktig» dybde av tele i bakken betyr at det er vanskelig å beregne sannsynligheten for at en tilsvarende hendelse vil skje igjen.

3.7 Tidligere kartlegginger

Det finnes aktsomhetskart for snøskred og aktsomhetskart for steinsprang for området. Hele boligfeltet ligger i aktsomhetssonen for snøskred.

Bortsett fra NGI rapporten fra skredhendelsene i mai 2013 er vi ikke kjent med tidligere detaljvurderinger av skredfare for boligfeltet.

3.8 Observasjoner i terreng

3.8.1 Topografi

Terrenget i området er representert relativt bra i kotene med 1 m ekvidistanse og i de anvendte terrengmodellene. Det største skredet 22. mai 2013 har endret terrenget i skredbanen på grunn av erosjon og pålagring av løsmasse. Disse endringene er ikke inkludert i terrengmodellen.

3.8.2 Skred og skredskader

Skredene som ble utløst i mai 2013 var fortsatt tydelige under befaringen. Både det nordlige skredet som traff hus og de to mindre skredene omtrent 150 m lenger sør er trolig betinget av åkerreina i nedre del av jordet. Nedsiden av åkerreina har de fleste steder en helning på over 50°. Nedsiden av åkerreina rett sør for skredet var bygd opp som en tørrmur med større steinblokker. Sannsynligvis har det rent noe vann her, og det har muligens tidligere vært problemer med stabiliteten til åkerreina.

Åkerreina strekker seg langs hele nedre del av det opprinnelig dyrkede jorde. Det er trolig variasjoner i mektigheten av matjord i åkerreina, men langs hele det befarte området var tykkelsen på nedsiden over 1 m, typisk 1-2 m. Helningen på nedsiden av åkerreina varierer også, men er trolig brattere enn 50° de fleste steder.

Ifølge lokale fulgte den nordlige skredbanen en liten bekk, men det er ingen tegn på at vann konsentreres av terrenget ned mot utløsningsområdet. Terrenget ovenfor de små skredene mot sør tyder heller ikke på en konsentrasjon av vann inn mot utløsningsområdene.

Nedenfor utløsningsområdene for de mindre skredene mot sør ble det observert større «blokker» av løsmasser som sto mot enkelte trær (Figur 8). Disse stammer fra løsmasseskred som er eldre enn mai 2013.

Det er følgende grunner til at det nordlige skredet fikk større utbredelse enn de mindre skredene mot sør:

- Større volum av utløste masser i nord fordi terrenget ovenfor åkerreina ved det nordlige skredet er betydelig brattere.
- Liten utflating i terrenget nedenfor skredene mot sør har gjort at skredmassene har stoppet.

Disse betraktninger er viktige for vurdering av utbredelse av ytterligere skred fra åkerreina.



Figur 8 Løsmasse fra tidligere skred, stoppet mot bjørk.

4 VURDERING AV SKREDFARE

4.1 Aktuelle skredtyper

Topografi, geologi, klima, observasjoner ved befaringen samt registrerte skredhendelser gjør at følgende skredtyper er mest aktuelle i det vurderte området:

- Løsmasseskred
- Snøskred

Terrenget ovenfor planområdet ligger ikke til rette for sørpeskred, og vi antar derfor at den årlige sannsynlighet for utløsning av denne skredtypen er betydelig lavere enn 1/1000.

Steinsprang ned mot planområdet kan ikke utelukkes, men årlig sannsynlighet for at blokker når fram til planområdet antas å være betydelig lavere enn 1/1000 på grunn av følgende:

- Det er bare diffuse utfallsområder, og sannsynlighet for utfall herfra er lav.
- Liten sannsynlighet for at blokker i bevegelse vil nå helt fram til boligfeltet. Den tette skogen er hovedårsaken til dette.

Vurderinger for løsmasseskred og snøskred er beskrevet i de følgende avsnittene.

4.2 Løsmasseskred

4.2.1 Generelt

Løsmasseskred utløses i bratte fjellsider der det ligger løsmasser og typisk der terrenget er brattere enn 30°. Flomskred som følger bekker og elver kan bli utløst i løp med helning helt ned mot 10°. Løsmasseskred blir gjerne utløst etter langvarig nedbør, eller etter korte, men intense regnskyll. Sterk snøsmelting kan også føre til utløsning av slike skred, men da oftest i kombinasjon med regn.

4.2.2 Utglidning av åkerreina

I terrenget ovenfor boligfeltet er åkerreina det mest sannsynlige utløsningsområde for løsmasseskred. Det er følgende årsaker til dette:

- Matjord på morene. Dette er en hydrogeologisk overgang med forskjellig struktur, korngradering, vannmetning.
- Bratt nedside.

Sannsynligheten for utglidning av åkerreina er ikke konstant langs hele strekningen, men vil avhenge av følgende forhold:

- Konsentrasjon av vann i løsmassedekket. Dette avhenger igjen av løsmassedekkets tykkelse og hvordan vann fra ovenfor liggende terreng konsentreres.
- Geometrisk form på åkerreina, og da hovedsakelig helning på morenemassene under åkerreina og helning på nedsiden av åkerreina.

Volum på eventuelle utglidninger vil i stor grad bestemme utbredelse av resulterende skred, og er blant annet avhengig av følgende forhold:

- Volum i åkerreina. Dette avhenger av geometrien av åkerreina.
- Bratthet, egenskaper og tykkelse av løsmassedekket ovenfor åkerreina.

På bakgrunn av terrengeanalysen og observasjoner i felt har vi inndelt åkerreina ovenfor boligfeltet i ni områder (Figur 10, Figur 11) som vi antar kan utløses enkeltvis. For hver del har vi estimert den relative sannsynligheten for utglidning av åkerreina, samt den relative sannsynlighet for at større volum skal utløses (Tabell 3). På grunn av kompleksiteten i de ovennevnte forholdene er det vanskelig å gi en mer detaljert sannsynlighet for utglidning av åkerreina. Dette, kombinert med beregninger av mulig utbredelse av skred, danner grunnlag for faresonene i boligfeltet.

En antakelse om forholdsvis stor årlig sannsynlighet for skred fra jordet nedenfor Kolsrud er understøttet av skredhendelsen registrert fra jordet i 1963 samt hendelsene i mai 2013.

Tabell 3 Relative sannsynligheter for utløsning og størrelse på eventuelle skredvolum fra utglidning av åkerreina. Hovedsakelig vurdert ut ifra terrengoverflaten og visuelle observasjoner. Områdene er vist i Figur 10 og Figur 11.

Område	Sannsynlighet for utløsning	Potensial for stort volum	Kommentar
1	--- Konvekst terreng ovenfor	--- Relativt slakt ovenfor	
2	0	+++ Relativt bratt ovenfor	
3	--- Allerede utløst	--- Allerede utløst	Skred mai 2013
4	+++ Konkavt terreng ovenfor	+++ Relativt bratt ovenfor	
5	--- Konvekst terreng ovenfor	+++ Relativt bratt ovenfor	
6	--- Konvekst terreng ovenfor	0	
7	+++ Konkavt terreng ovenfor	+++ Relativt bratt ovenfor	
8	0	+++ Relativt bratt ovenfor	
9	+++ Delvis konkavt terreng ovenfor. Liten bekk mot sør.	--- Relativt slakt ovenfor	To mindre skred i 2013.

+++ : Relativt stor. 0 : Moderat. --- : Relativt lav.

4.2.3 Farepotensial ovenfor nordlig del av boligfeltet

Åkerreina strekker seg langs hele den sørlige delen av boligfeltet, men ikke helt mot nord. Farepotensialet i den nordlige delen av det vurderte området er derfor annerledes enn beskrevet i avsnitt 4.2.2. Sannsynligheten for løsmasseskred ned i den nordlige delen av det vurderte området er betinget av følgende:

- Utglidninger av grusvegen opp til Kolsrud. Vi antar at sannsynligheten for en slik hendelse er lav.
- Utglidning av løsmasse fra terrenget mellom Høgdingsvegen ovenfor Solberg og det vurderte området. En stikkrenne sør for skjæringen ovenfor Solberg samler vann fra et relativt stort område ovenfor vege og leder det ut i terrenget nedenfor vege. Naturlig drensvei for dette vannet er ned i det nordlige hjørne av det vurderte området.

Samlet anser vi disse hendelsestypene som mer sannsynlig enn 1/1000 per år, men mindre enn 1/100. Antatt scenario for skred med årlig sannsynlighet på 1/1000 er en mindre utglidning av løsmasse. Disse vil følge det naturlige fallet i terrenget ned forbi det nordligste av byggene i det vurderte området.

4.2.4 Utbredelse av løsmasseskred

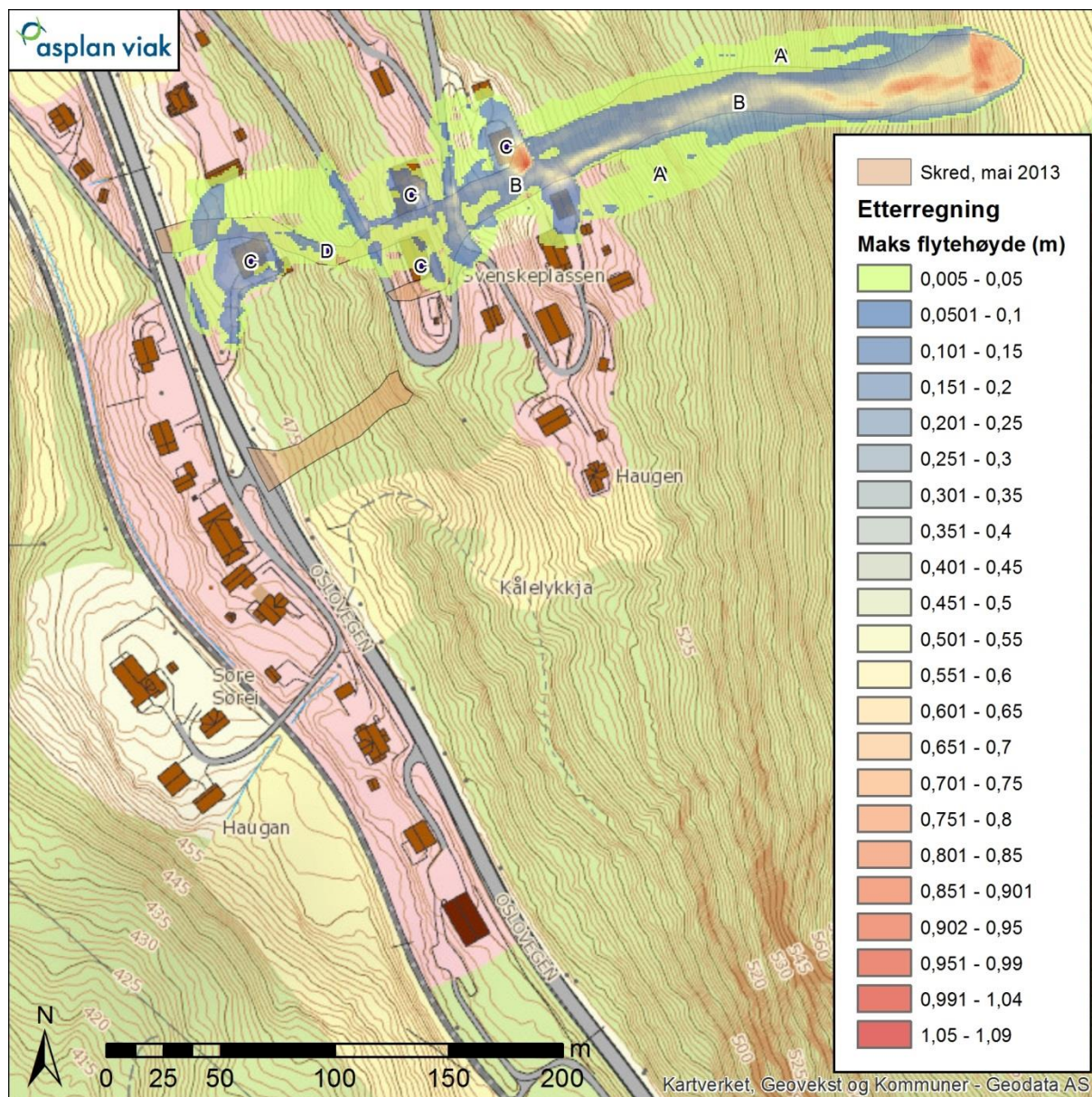
Vi har beregnet utbredelsen av løsmasseskred med programvaren RAMMS versjon 1.5.01 (Christen, m.fl., 2010). Modulen for beregning av «debris flows» er anvendt.

Etterregning av det største skredet 22. mai, 2013

De anvendte friksjonsparameterne μ (μ) og ξ (ξ) er justert til skadeskredet som gikk 22. mai 2013 (Figur 9). Volum på skredet i 2013 er estimert til rundt 360 m³ ut fra observasjoner i felt. Det beste settet med friksjonsparametere var $\mu=0,18$; $\xi=200$ m/s². Disse verdiene ligger godt innenfor rammene av det som er anbefalt. På følgende steder er det større forskjeller mellom beregnet utbredelse og observasjoner (se punktene i Figur 9):

- A) Modellert sideveis utbredelse i øvre delen av skredet er for stor. Dette kan justeres ved å øke friksjonsparameteren μ . Dette har vi ikke gjort, fordi 1) flyte høyden i området er begrenset (≤ 5 cm), og 2) ved å øke μ vil utbredelsen ned mot E16 bli for kort, selv med andre valg av ξ .
- B) Erosjon og deponisjon av løsmasse og trær i skredbanen har betydning for skredbevegelsen. Modellen tar ikke høyde for dette. Erosjon/medrivning i skredbanen har trolig vært medvirkende til at skredet er mer kanalisert i øvre del av skredbanen (punkt A over). På oversiden av de to mest skadede hus (99/20 og 99/37) har skredet trolig modifisert terrenget slik at den anvendte terrengmodellen ikke lenger har vært representativ. Her kan det derfor forventes noen uoverensstemmelser mellom modell og observasjoner.
- C) Den anvendte terrengmodellen inkluderer ikke hus. Dette har spesielt stor betydning rundt hovedbyggene på 99/20 og 99/37, men også for det nordligste bygget på 99/42, samt hovedbyggene på 99/38 og 99/36. Eiendomsgrenser er vist på Figur 14.
- D) I terrenget mellom E16 og Høgdingsvegen står det enkelte trær i skredbanen. Observasjoner på disse tyder på at flyte høyden var rundt 0,5 m. Samme sted angir modellen en flyte høyde på mindre enn 0,2 m. Det kan derfor forventes en underestimert av flyte høyder i modellen.

Dersom punktene ovenfor tas med i betraktning videre, mener vi at modellen er et relativt bra verktøy til å vurdere utbredelse av nye skred i området.



Figur 9 Etterregning av skadeskredet 22. mai 2013.

Scenarier for hendelser med årlig sannsynlighet på 1/100 og 1/1000

Utbredelsen av løsmasseskred fra utløsningsområdene 1,2, 4-8 i åkerreina (Figur 10, Figur 11) samt ovenfor liggende åker er beregnet med settet med friksjonsparametere nevnt ovenfor. Skredvolum for scenarier med årlig sannsynlighet på 1/100 og 1/1000 (Tabell 4) er estimert i forhold til vurderingene i Tabell 3 samt observasjoner i felt. Bare deler av områdene 4, 7 og 9 antas å utløses under scenariene for skred med årlig sannsynlighet på 1/100. Område 3, der det største skredet løsnet i mai 2013, antas ikke å utløses i scenariet for løsmasseskred med årlig sannsynlighet på 1/100 og 1/1000.

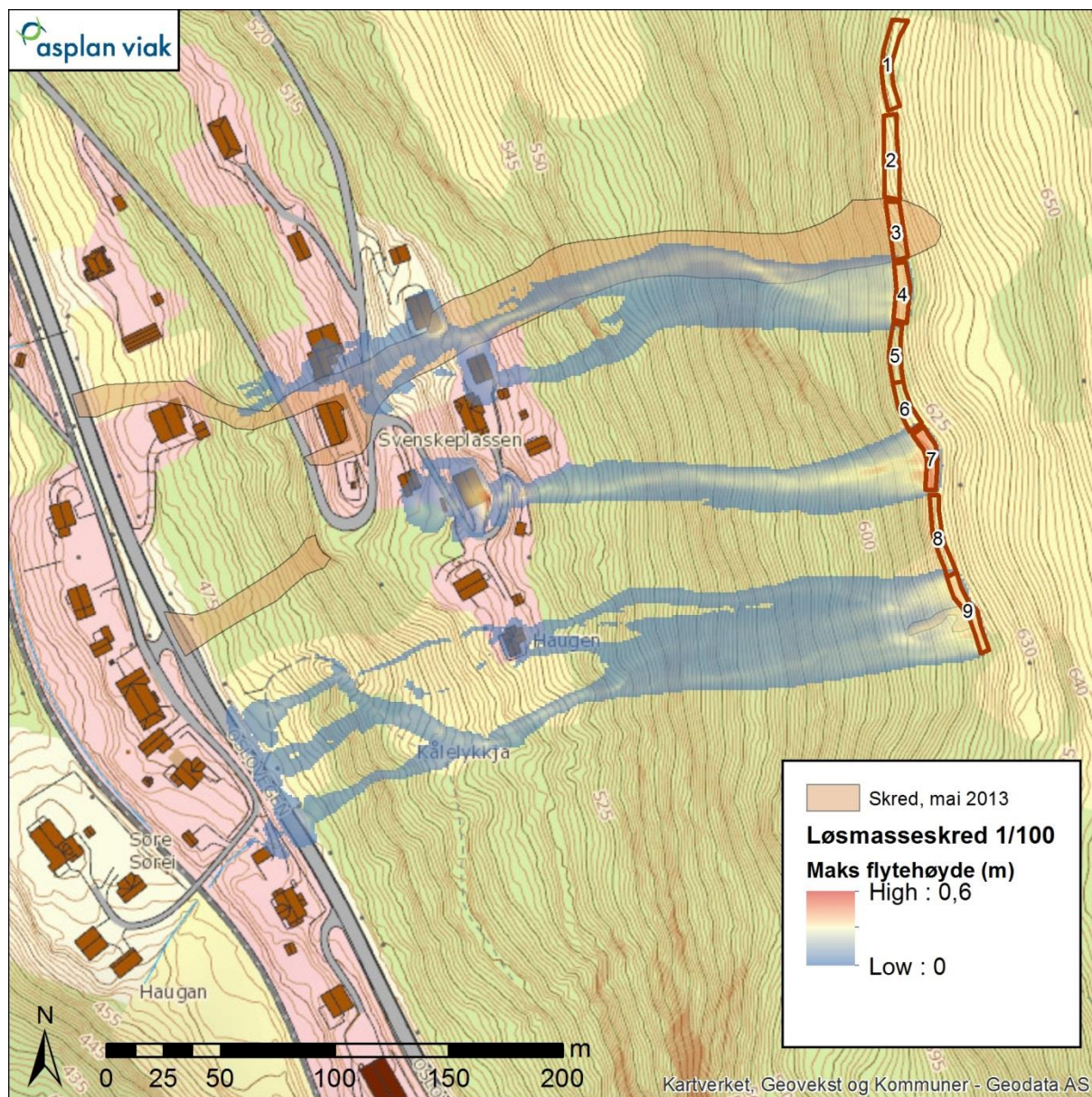
Tabell 4 Scenarioer for beregninger av utbredelse av løsmasseskred utløst fra åkerreina. Bemerk at ikke alle områder av åkerreina antas å utløses med årlig sannsynlighet på 1/100. Dette er angitt med volum=0. Område 3, der skredet i mai 2013 ble utløst, antas å ha lavere sannsynlighet for å utløses enn 1/1000.

Omr.	Bredde (m)	Scenario							
		Årlig sannsynlighet = 1/100				Årlig sannsynlighet = 1/1000			
		Beskrivelse	Volum (m ³)	μ	ξ (m/s ²)	Beskrivelse	Volum (m ³)	μ	ξ (m/s ²)
1	40	Ikke skred	0	0,18	200	Åkerreina	110	0,18	200
2	36	Ikke skred	0	0,18	200	Åkerreina + ovenfor	250	0,18	200
3	25	Ikke skred	0	0,18	200	Ikke skred	0	0,18	200
4	25	Åkerreina	70	0,18	200	Åkerreina + ovenfor	320	0,18	200
5	25	Ikke skred	0	0,18	200	Del av åkerreina + litt ovenfor	200	0,18	200
6	21	Ikke skred	0	0,18	200	Åkerreina	60	0,18	200
7	28	Åkerreina	80	0,18	200	Åkerreina + ovenfor	390	0,18	200
8	36	Ikke skred	0	0,18	200	Del av åkerreina + litt ovenfor	200	0,18	200
9	36	Åkerreina	70	0,18	200	Åkerreina + litt ovenfor	140	0,18	200

Resultater

Løsmasseskred med årlig sannsynlighet på 1/100 antas å kunne utløses fra åkerreina i område 4, 7 og 9. Beregnet utbredelse av løsmasseskred fra disse områdene er vist i Figur 10. Hovedbyggene på 99/20 og 99/42 samt garasjen mot nord på 99/42 ligger utsatt for løsmasseskred med årlig sannsynlighet på 1/100.

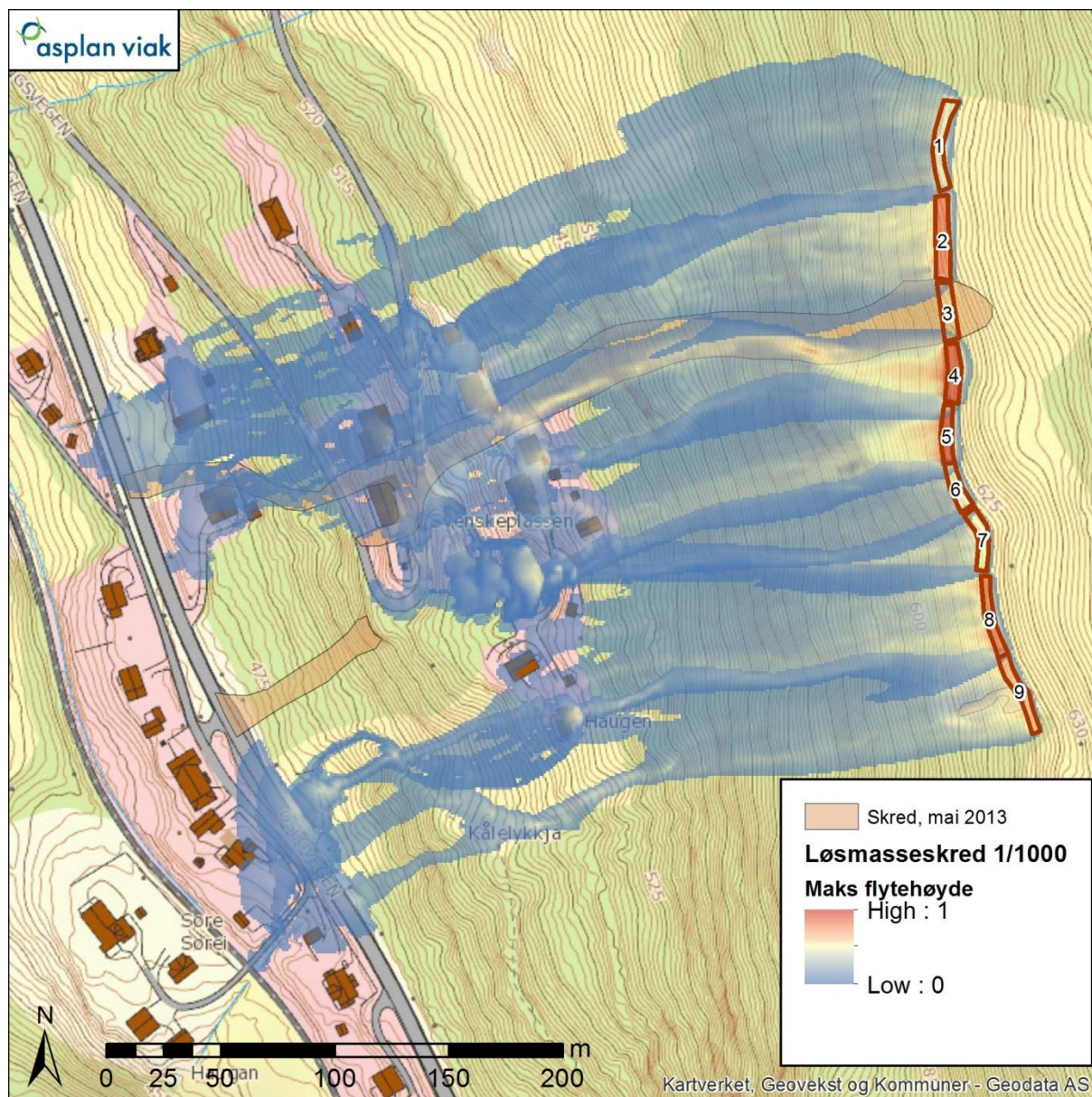
Beregningene viser at hovedbygget på Haugen også kan treffes av løsmasseskred med årlig sannsynlighet på 1/100. Dette mener vi er lite sannsynlig fordi bare den sørlige delen av område 9 har potensial for å utløses i dette scenario. Dette fordi det her vil komme mest vann fra jordet ovenfor. Skredmasser vil derfor følge en forsenkning sør om hovedhuset på Haugen.



Figur 10 Beregnet utbredelse av løsmasseskred utløst fra de aktuelle områdene i åkerreina med årlig sannsynlighet på 1/100.

Resultatene fra beregningene viser at løsmasseskred utløst fra åkerreina under scenarioene med årlig sannsynlighet på 1/1000 kan nå inn i store deler av det vurderte området (Figur 11). Hastighetene vil være relativt begrensede, men i forhold til kravene i lovverket spiller dette ikke en rolle i plasseringen av faresoner. Under uheldige omstendigheter vil det kunne oppstå store skader, for eksempel på bygg, selv ved lave hastigheter. Bemerk at skredmasser fra område 4 hovedsakelig vil følge skredbanen fra skredet 22. mai 2013.

Beregningene viser at skredmasser sør i området vil krysse E16. Dette mener vi er lite sannsynlig fordi kryssing av vegen vil føre til at store vannmengder vil dreneres vekk. Løsmassene vil derfor mest sannsynlig bli liggende igjen på E16.



Figur 11 Beregnet utbredelse av løsmasseskred utløst fra de aktuelle områdene i åkerreina med årlig sannsynlighet på 1/1000.

4.3 Snøskred

4.3.1 Generelt

Tørre flakskred er den snøskredtypen som generelt har lengst utløp. De fleste flakskred løsner i terreng på mellom 35° og 40°, men under spesielle forutsetninger kan flakskred løsne i terreng ned mot 28° og opp mot 55°. I terreng brattere enn rundt 45° vil snøen hovedsakelig løsne som løssnøskred. Disse vil utløses forholdsvis hyppig, med vil ha kortere rekkevidde enn flakskred. Ved store, tørre snøskred kan det dannes en støvsky med større hastighet og rekkevidde enn skredets tettere deler.

4.3.2 Utløsningsområder

Terrenget ovenfor boligfeltet er bratt nok til at snøskred kan utløses. Allikevel betyr den relativt tette vegetasjonen (som den sto under befaringen) at den årlige sannsynlighet for at snøskred vil utløses er lavere enn 1/1000. For å opprettholde dagens sikkerhetsnivå i forhold til snøskred bør det stilles krav om skjøtsel av skogen, som nevnt i avsnitt 5.2.

I skredbanen til det største skredet 22. mai 2013 er det begrenset vegetasjon. Det er noe ruhet i terrenget, men dette vil jevnes ut med bare litt snø på bakken. Inntil det er etablert vegetasjon i skredsåret, vil de øvre deler av skredbanen være et potensielt utløsningsområde for snøskred (Figur 12, Figur 13).



Figur 12 I skredbanen til det største skredet 22. mai 2013 er det renvasket fjell med helning på rundt 35° og relativ liten ruhet. Dette er et potensielt utløsningsområde for snøskred.

4.3.3 Utbredelse

Vi har vurdert utbredelsen av snøskred på følgende bakgrunn:

- Resultater fra beregninger med den dynamiske beregningsmodellen RAMMS (Christen m.fl., 2010)
- Den empiriske alfa-beta modellen (Lied og Bakkehøi, 1980)
- Skjønn

Scenarioer for hendelser med årlig sannsynlighet på 1/100 og 1/1000

De estimerte verdier for nysnøtilvekst over tre døgn for scenarier med årlig sannsynlighet på 1/100 og 1/1000 er vist i Tabell 2. På bakgrunn av klimaanalysen i avsnitt 3.4.4 samt tillegg for vindtransport av snø og tillegg som dekker medrivning av snø i skredbanen, antar vi at bruddhøyden for snøskred er som vist i Tabell 5.

Tabell 5 Estimert bruddhøyde på snøskred langs skredbanen til løsmasseskredet i mai 2013.

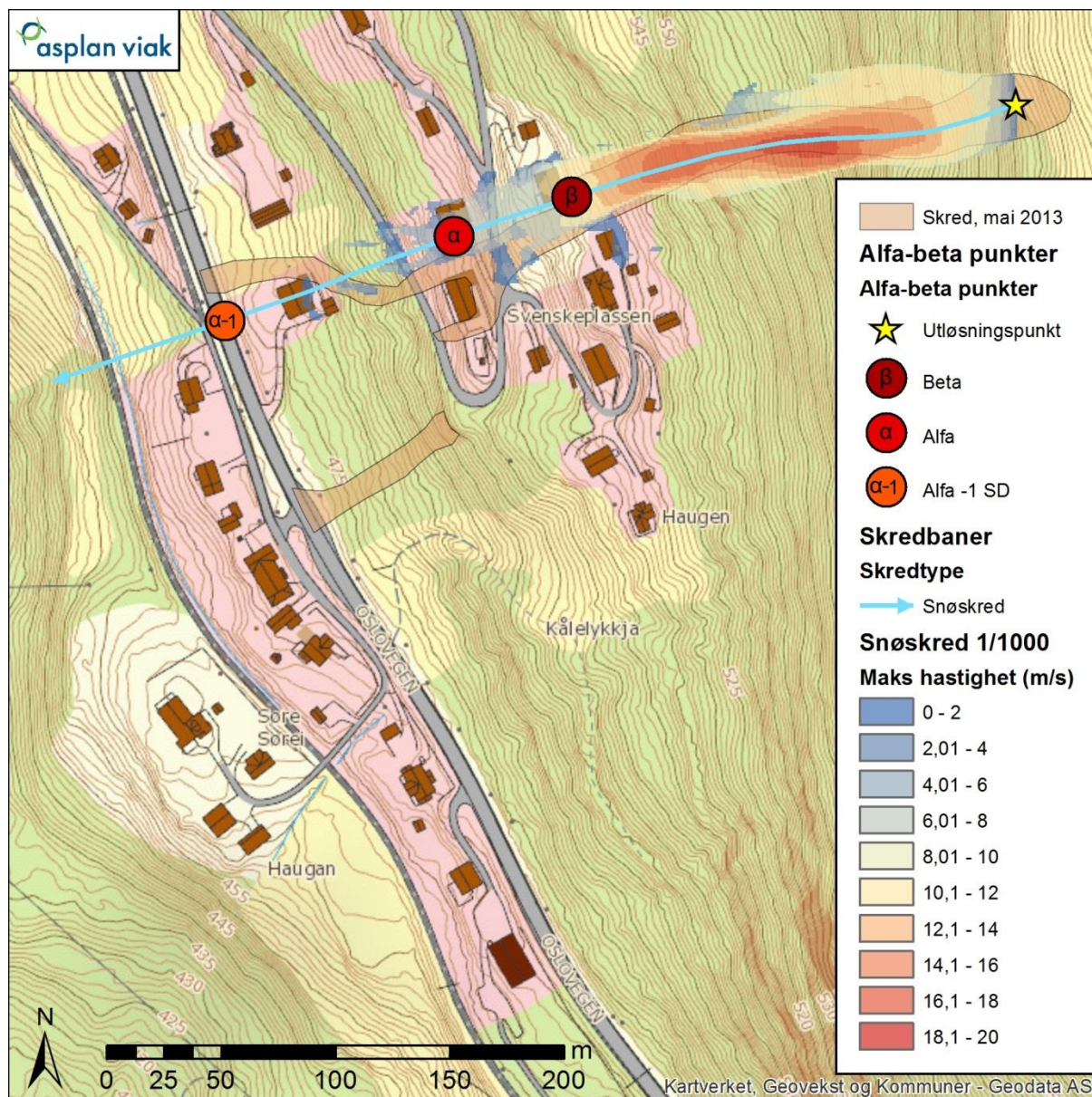
	Scenario	
	Årlig sannsynlighet = 1/100	Årlig sannsynlighet = 1/1000
Nysnøtilvekst over 3 døgn	55 cm	65 cm
Tillegg på grunn av vindtransport	0 cm	20 cm
Tillegg på grunn av medrivning i skredbanen	20 cm	30 cm
Vertikal bruddhøyde beregninger	75 cm	115 cm
Justert til 35°	60 cm	95 cm

Vi har ikke detaljerte opplysninger om tidligere snøskred i området. Den dynamiske beregningsmodellen er derfor brukt med standard parametersett for modellens to friksjonsparametere μ og ξ . Anbefalte verdier er dog justert slik at øvre høydenivå er justert fra 1500 m o.h. til 500 m o.h. og det nedre høydenivå er justert fra 1000 m o.h. til 100 m o.h. Denne justeringen mener vi bedre representerer skredforhold i Norge. Det finnes ikke standard parametersett for snøskred med årlig sannsynlighet på 1/1000. Vi har derfor brukt parametersettet for snøskred med årlig sannsynlighet på 1/300, men har gått opp en skredklasse. Vi har gjennomført beregningene under antakelse av at det ikke er skog i skredbanen.

Resultater

Beregningene viser at skred med årlig sannsynlighet på 1/100 kan nå fram til bygget på 99/20 (det øverste skredtatte huset). Dette svarer omtrent til beta-punktet i skredbanen (Figur 13).

Skred med årlig sannsynlighet på 1/1000 kan nå fram til området nedenfor 99/37 mellom E16 og Høgdingsvegen (Figur 13). Hastigheten ventes å være betydelig fram til alfa-punktet. Et dimensjonerende snøskred vil oppnå større hastighet enn et løsmasseskred. Midten av skredbanen til snøskred vil derfor trolig ligge noen titalls meter lenger nord enn løsmasseskredet 22. mai 2013. Hovedbygget på tomt 99/38 ligger omtrent i midten av forventet skredbane. Beregningene viser at hovedbygget på tomt 99/36 kan treffes av skredmasser med hastighet på <1 m/s. Dette anser vi som lite sannsynlig fordi dagens bygg på 99/20 og 99/38, ruheten ved to kryssinger av Høgdingsvegen og endelig skogen mellom Høgdingsvegen og E16 vil bremse skredmassene før de treffer hovedhuset på 99/36.



Figur 13 Beregnet maksimal hastighet av dimensjonerende snøskred med årlig sannsynlighet på 1/1000. Beregning med alfa-beta modellen langs skredbanen er også vist.

4.4 Faresoner for skred

Faresoner for skred med nominell årlig sannsynlighet på 1/100 og 1/1000 er vist i Kartbilag 1. Løsmasseskred er dominerende og dimensjonerende skredtype. Det er åkerreina i nedre del av jordet nedenfor Kolsrud som utgjør de mest potensielle utløsningsområder for løsmasseskred. Nedenfor og i skredbanen til det største skredet 22. mai 2013 er det også fare for snøskred på grunn av manglende vegetasjon.

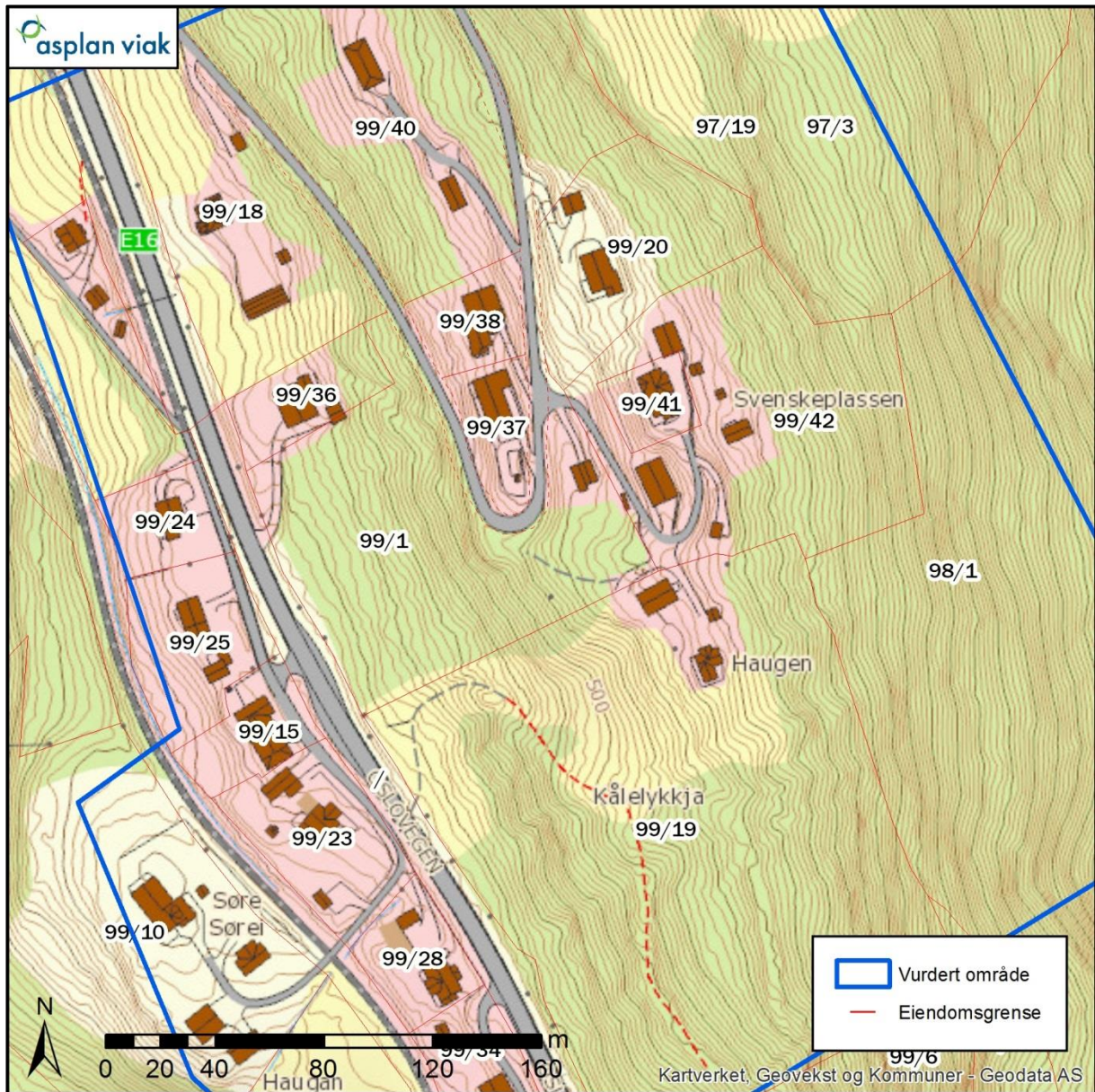
Faresonene tar høyde for at eksisterende bygg vil lede skredmassene. Veiene i det vurderte området vil også ha stor betydning for faresonene. Dette gjelder spesielt E16. Skredmasser som kommer ned til E16 vil ha lav hastighet og vil spre seg langs E16.

4.4.1 Bygg berørt av faresonene

En oversikt over eksisterende bygg berørt av faresonene er vist i Tabell 6. Kart med eiendomsgrønsner og Gnr/Bnr er vist i Figur 14.

Tabell 6 Bygg i det vurderte området. Bygg som ligger mer utsatt for skred enn det TEK10 angir som sikkerhetskrav for tilsvarende nybygg er angitt med fet skrift. Vi har ikke mottatt opplysninger om konkret bruk av byggene og sikkerhetsklassen er derfor vurdert ut fra antatt bruk.

Tomt	Type bygg	Antatt sikkerhetsklasse	Skader 22. mai 2013	Berørt av faresone 1/1000 (S2)	Berørt av faresone 1/100 (S1)
99/40	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Nei	Nei
	Garasje	S1 (1/100)	Nei	Ja	Nei
99/38	Bolighus	S2 (1/1000)	Ja	Ja	Ja
99/37	Bolighus	S2 (1/1000)	Ja	Ja	Ja
99/18	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Nei	Nei
	Låve (?)	S1 (1/100)	Nei	Ja	Nei
99/20	Bolighus	S2 (1/1000)	Ja	Ja	Ja
	Garasje	S1 (1/100)	Nei	Ja	Nei
99/41	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Ja	Nei
99/42	Garasje?	S1 (1/100)?	Nei	Ja	Ja
	Garasje nord for 99/41	S1 (1/100)	Ja	Ja	Ja
	2 mindre bygg øst for bolighus	S1 (1/100)	Nei	Ja	Nei
99/1	Garasje vest for hovedbygg på 99/42	S1 (1/100)	Nei	Ja	Ja
99/19	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Ja	Nei
	Garasje (?)	S1 (1/100)	Nei	Ja	Nei
99/39	?	S1 (1/100)?	Nei	Nei	Nei
99/34	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Nei	Nei
99/28	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Nei	Nei
	Garasje	S1 (1/100)	Nei	Nei	Nei
99/10	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Nei	Nei
	Div. mindre bygg	S1 (1/100)?	Nei	Nei	Nei
99/23	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Nei	Nei
	Garasje	S1 (1/100)	Nei	Nei	Nei
99/15	?	S1 (1/100)?	Nei	Nei	Nei
99/25	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Nei	Nei
	Garasje	S1 (1/100)	Nei	Nei	Nei
99/24	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Nei	Nei
99/29	Bolighus	S2 (1/1000)	Nei	Nei	Nei
	Div. mindre bygg	S1 (1/100)?	Nei	Nei	Nei



Figur 14 Oversikt over eiendomsgrenser med Gnr/Bnr.

5 TILTAK

Krav til sikkerhet mot skred gitt i TEK10 gjelder nybygg. Det er ulik praksis for i hvor stor grad eksisterende bygg skal sikres i forhold til sikkerhetskravene for nybygg.

I det vurderte området ligger seks bolighus mer utsatt for skred enn det dagens sikkerhetskrav for nye enkeltboliger anbefaler (S2, 1/1000, Tabell 6). Tre av disse bolighus ligger mer utsatt for skred enn dagens sikkerhetskrav for nybygg i sikkerhetsklasse S1 (1/100). Dette gjelder bolighus på følgende Gnr/Bnr: 99/37, 99/38 og 99/20. Alle tre boliger fikk skader 22. mai 2013. Skadene på boligene på 99/20 og 99/37 var store og disse boliger blir ifølge oppdragsgiver kondemnert. Vi har derfor ikke vurdert tiltak for disse.

5.1 Tiltak for å øke sikkerheten mot skred

Tiltak bør prioriteres for boligen på 99/38 fordi denne er mest utsatt for skred. Boligen fikk skader 22. mai 2013 og det bør vurderes å kondemnere boligen som boligene på 99/37 og 99/20. Vi har ikke vurdert kostnader for dette tiltaket.

Generelt kan det gjennomføres følgende typer sikringstiltak:

- Redusere sannsynligheten for utløsning av skred.
- Endre terrenget for å lede skredmasser rundt utsatte objekt.
- Endre terrenget slik at skredmasser fanges opp før de når utsatte objekt. En del bygg i det vurderte området ligger så tett inn mot fjellsiden at det ikke er plass til denne løsningen. Vi har derfor ikke vurdert det nærmere.

5.1.1 Redusere sannsynligheten for utløsning av løsmasseskred

Åkerreina utgjør de mest sannsynlige utløsningsområdene for løsmasseskred mot de utsatte boligene. Ved å fjerne massene i åkerreina vil sannsynligheten for utløsning av løsmasseskred reduseres betydelig. For best mulig sikring av de utsatte byggene anbefaler vi dette tiltaket. Bemerk at det kan være utfordringer med å fjerne denne typen kulturminner.

Et grovt kostnadsoverslag er gitt i Tabell 7. Kostnadene er basert på at massene deponeres i kort avstand fra åkerreina, og at det er uproblematisk å etablere en midlertidig adkomstveg ovenfor åkerreina.

Tabell 7 Grovt kostnadsoverslag for fjerning av masse i åkerreina (full lengde).

Beskrivelse	Kostnad, kr.
Etablering av veg langs åkerreina	50 000,-
Fjerne masse i åkerreina: Kr. 200 per m ³	240 000,-
- Areal i tverrsnitt av åkerreina: ca. 4 m ²	
- Lengde på åkerreina: ca. 300 m	
- Samlet volum: ca. 1 200 m ³	
Samlet kostnad	290 000,-

Dersom det ikke er mulig å fjerne åkerreina vil følgende tiltak redusere sannsynligheten for utløsning:

- Redusere helningen på nedsiden av åkerreina. Dette vil også involvere flytting av masser, og da kan man likegodt fjerne hele åkerreina.
- Sørge for drenering av åkerreina. Dette kan gjøres ved å legge inn drenerør, spesielt på de mest utsatte plassene. Vannet bør ledes ut i lavpunkt i terrenget nedenfor åkerreina.
- Etablere skog med stort rotnett i åkerreina. Dette vil på sikt øke stabiliteten av åkerreina og redusere sannsynligheten for utløsning av løsmasseskred.

Vi har ikke estimert kostnader på de ovennevnte tiltakene fordi vi mener at effekten ikke vil være tilstrekkelig til å sikre boligene til et nivå som svarer til dagens krav, og fordi effekten ved enkelte av tiltakene ikke vil komme umiddelbart.

Dersom man bare ønsker inngrep i deler av åkerreina er det områdene 4 og 7 (Figur 10) som bør prioriteres fordi det antas at sannsynligheten for utløsning i disse områdene er størst.

I forhold til etablering av ledevoller, som beskrevet nedenfor, vil det trolig være en enklere og sannsynligvis billigere løsning å fjerne massene i åkerreina.

5.1.2 Redusere sannsynligheten for utløsning av snøskred

Snøskred utgjør en fare for boligen på 99/38. Etablering av vegetasjon i det potensielle utløsningsområdet vil være vanskelig fordi det nesten bare er fjell i dagen. Det kan vurderes å legge på løsmasser og etablere vegetasjon. Det må da sikres at bekken plastres tilstrekkelig for å unngå erosjon av utlagte løsmasser. Det vil ta mange år før dette tiltaket får full effekt, og vi mener derfor ikke det er aktuelt.

For å redusere sannsynligheten for utløsning av snøskred kan det etableres støtteforbygninger (stive stålkonstruksjoner eller nett) i utløsningsområdet. Kostandene per løpemeter er typisk kr. 30 000. Et grovt overslag viser at det skal etableres 3 rader støtteforbygninger, og hver rad har en bredde på omtrent 20 m. Et grovt kostnadsoverslag er derfor rundt kr. 2 mill. Beste type støtteforbygning samt plassering og høyde av disse må vurderes i detalj.

5.1.3 Ledevoller

Ledevoll ovenfor 99/38

Plasseringen av en ledevoll ovenfor bolighuset på 99/38 ville være omtrent ved boligen på 99/20 (og antar dermed at denne kondemneres). Ut ifra terrenget er det mest naturlig å lede massene mot sør. Det er derfor bare mulig dersom boligen på 99/37 kondemneres og det vil kreve en del planlegging rundt svingen i Høgdingsvegen. Dersom skredmassene ledes mot nordvest vil ledevollen bli lenger og sannsynligheten for skred mot bygg på 99/18 og garasjen på 99/40 vil øke. Vi anser derfor ikke dette som en god løsning.

En ledevoll her må designes til å lede både snøskred og løsmasseskred. Beliggenhet i terreng og dimensjoner på voll må vurderes i detalj. En slik ledevoll vil bli av betydelige dimensjoner, og det må utføres en stabilitetsanalyse av vollen.

Et grovt estimat på kostnad på en ledevoll er i størrelsesordenen kr. 1-3 mill.

Ledevoll ovenfor bolighus på 99/41

Velges et alternativ med en ledevoll som sikrer boligen på 99/38, kan det også være aktuelt å sikre hovedbygget på 99/41 med en voll. Beste plassering av denne vil avhenge av

hvordan en voll legges for å sikre 99/38. Kostnaden for sikring av boligen på 99/41 vil trolig bli i størrelsesordenen kr. 1-3 mill. Dette vil komme i tillegg til vollen som sikrer boligen på 99/38.

Ledevoll ovenfor bolighus på 99/19, Haugen

Ovenfor (øst for) bolighuset på Haugen ligger en mindre forsenkning som vil lede skredmasser fra utløsningsområde 8 ned mot bolighuset. Fra nedre enden av denne forsenkningen kan det etableres en ledevoll som leder skredmasser sør om boligen. Dette vil ikke øke sannsynligheten for skred mot andre bygg. Om nødvendig kan vollen forlenges mot nord for å sikre de mindre byggene. Plassering og dimensjoner av en slik voll må vurderes i detalj. Et grovt overslag over kostnaden på en slik voll er kr. 1-3 mill.

Ledevoll ovenfor bolighus på 99/36

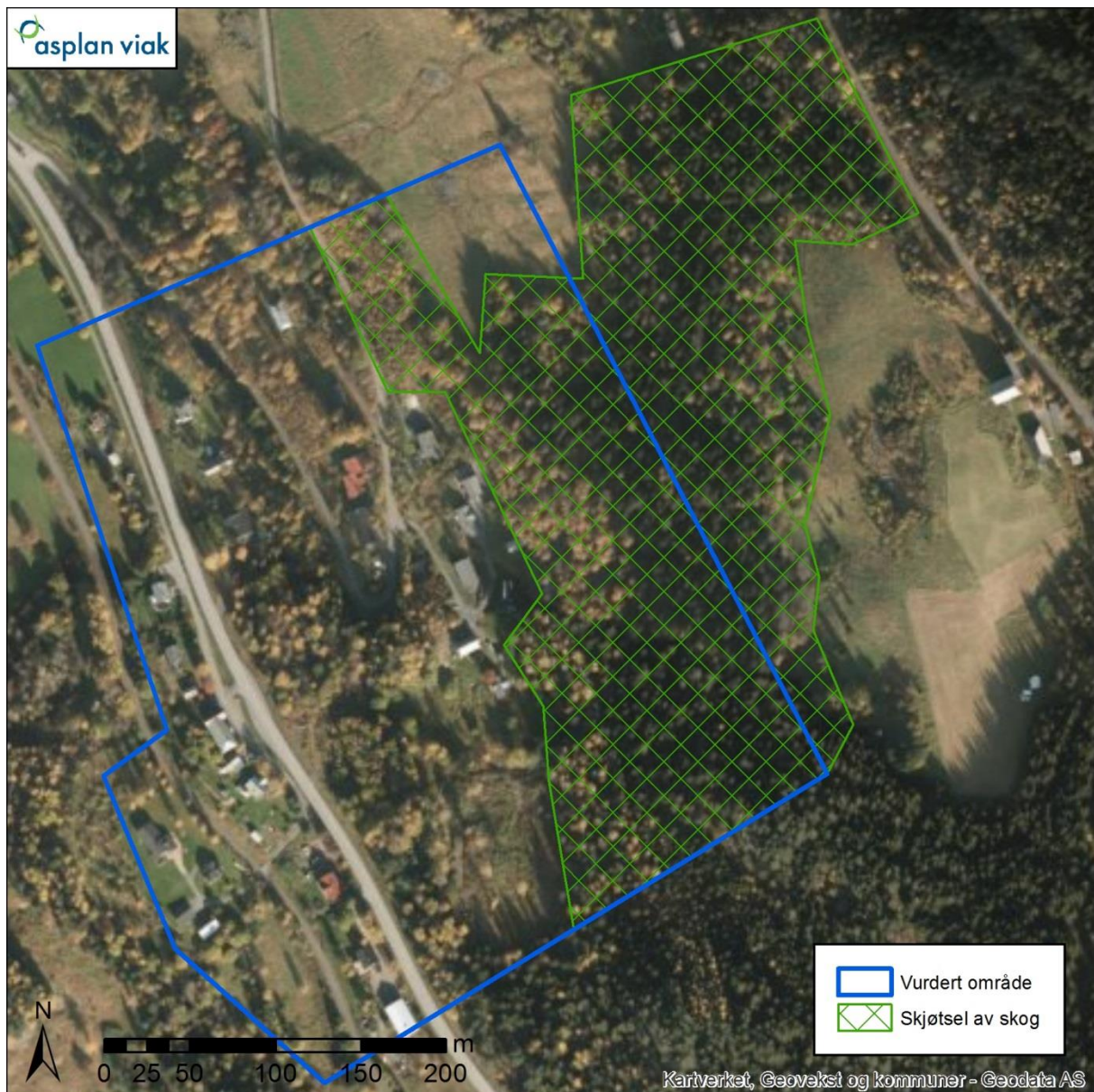
Topografien ovenfor bolighuset på 99/36 gjorde at hovedparten av skredmassene 22. mai 2013 ble ført rundt huset. Det ville være naturlig å etablere en ledevoll som forsterker den naturlige topografien og forlenger denne mot nordvest forbi boligen. Dette kan gjøres ved å utdype den naturlige forsenkningen og plassere masser på sørvestsiden av forsenkningen. Forlengelse av den naturlige forsenkningen vil kreve tilførsel av masse. Det foreslåtte tiltaket vil ikke være nødvendig dersom det etableres en voll ovenfor 99/38.

Vi forventer at de foreslåtte tiltakene vil være noe billigere enn konstruksjon av vollene beskrevet ovenfor. Et grovt estimat på kostnad er kr. 200 000,- til kr. 1 mill. dersom det må tilføres mye masse.

5.2 Tiltak for å opprettholde dagens sikkerhetsnivå

Faresonene er utarbeidet ut fra vegetasjonen som den sto under befaringen. Dersom skogen fjernes eller tettheten og størrelsen på stammene reduseres, vil sannsynligheten for skred i det vurderte området øke. Det er sannsynligheten for både snøskred, løsmasseskred og steinsprang som vil øke.

For å sikre at dagens sikkerhetsnivå opprettholdes, anbefaler vi derfor å stille krav til skjøtsel av skogen i området vist i Figur 15.



Figur 15 I området markert med grønn farge bør det stilles krav om skjøtsel av skog. Fjernes skogen i dette området vil sikkerheten reduseres i forhold til dagens nivå.

6 KONKLUSJON

Store deler av det vurderte området tilfredsstillende ikke lovverkets krav til sikkerhet mot skred for nybygg i sikkerhetsklasse S2, der den nominelle årlige sannsynlighet for skred ikke skal overskride 1/1000. Mindre deler av det vurderte området tilfredsstillende ikke kravene til nybygg i sikkerhetsklasse S1, der den nominelle årlige sannsynlighet for skred ikke skal overskride 1/100.

Bolighuset på Gnr/Bnr 99/38 ligger mer utsatt for skred enn en årlig sannsynlighet på 1/100. Et mulig tiltak er å konderne denne boligen i tillegg til boligene på 99/37 og 99/20.

Boligene på 99/41, 99/36 og 99/19 ligger mer utsatt for skred enn en årlig sannsynlighet på 1/1000. Det billigste sikringstiltaket er trolig å fjerne hele åkerreina. Effekten av dette sikringstiltaket vil være stor fordi løsmasseskred antas å utløses herfra. Kostnaden på dette tiltaket er estimert til rundt kr. 200 000,-.

Alternativt kan det etableres en ledevoll ovenfor boligen på 99/19. Kostnaden for denne er estimert til kr. 1-3 mill. Det kan også etableres ledevoller ovenfor boligene på 99/41, 99/38 og 99/36. Valg av løsning vil her avhenge av hvor mange av boligene man ønsker å sikre, men er grovt estimert til kr. 2-6 mill. Tiltak her vil medføre en del utfordringer i forhold til Høgdingsvegen.

7 REFERANSELISTE

Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P., (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 63, 1-2, pp. 1 - 14.

Lied, K., Bakkehøi, S. (1980). Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. *Journal of Glaciology*, 16 (94), s. 165-177.

NGI (2013). Skred, dreneringsforhold og skader. Sikkerheten i evakuerte områder. NGI Teknisk notat. Dokument nr. 20130482-01-TN. 23 sider.