

Oppdragsgiver	Navn Gol kommune	Kontaktperson Elin Tangen
Oppdrag	Nummer og navn 19191 Gol – Kartlegging av kritiske punkter	Oppdragsleder Petter Reinemo
Dokument	Nummer 19191-01-1 Utført av Petter Reinemo	Dato 2019-09-30 Kontrollert av Lars Eid Nielsen

Kartlegging av kritiske punkter i Gol kommune

Sammendrag

På oppdrag for Gol kommune har Skred AS gjennomført en kartlegging av kritiske punkter i bekker og bratte vassdrag for 9 delområder i kommunen. Kartleggingen er utført på et oversiktsnivå der hensikten med arbeidet er å få en overordnet oversikt og identifisere mulige kritiske punkter og problemområder.

Basert på GIS-analyser av bekkeløp, flomveier, infrastruktur og bebyggelse er kritiske punkter identifisert. Punktene er vurdert og supplert gjennom befaring i felt. Videre er det for alle punkter gjennomført en overordnet risiko- og sårbarhetsanalyse med utgangspunkt i fastsatte terskelverdier for sannsynlighet og konsekvens. Punktene er karakterisert etter 3 risikoklasser som *lav*, *middels* og *høy*. Det er totalt identifisert 189 punkter der 52 er klassifisert med *høy* risiko.

Punkter klassifisert med *høy* risiko er i stor grad relatert til punkter der vann på avveie (flomvei) kan påvirke bebyggelse, eller der vann på avveie kan ledes mot utløsningsområder for jord- og flomskred gitt av NVE sine aktsomhetssoner hvor det er nedstrøms bebyggelse. Vann på avveie mot skredterreng kan potensielt utgjøre en fare for liv og helse.

I tillegg til generelle anbefalinger er det for alle punkter gitt overordnede anbefalinger til tiltak som kan redusere risiko. Før det eventuelt utføres tiltak ved punkter bør det utføres mer detaljerte vurderinger.

Større områder langs de vurderte bekkene i delområdet ligger innenfor NVE sine aktsomhetssoner for flom. Ved etablerings av ny bebyggelse eller tiltak innenfor eller nært disse sonene bør det utføres detaljerte flomfarevurderinger etter kravene i TEK17 §7-2. Det samme gjelder for bebyggelse som ligger nær bekkeløp.

Innhold

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Detaljeringsgrad og bruk av resultatene	5
1.3	Befaring	5
2	Analyseområder	6
3	Arbeidsflyt	7
4	Analyser	8
4.1	Bekker og flomveier	8
4.1.1	Innledende kart- og terrenganalyser	8
4.1.2	Identifikasjon av kritiske bekker og punkter	9
4.2	Utløsningsområder for jord- og flomskred	10
4.3	Overordnede flomberegninger	10
4.3.1	Om beregningene	10
4.3.2	Vannføringsstasjoner og flomfrekvensanalyse	11
4.3.3	Flomformelverk	12
4.3.4	Foreliggende klimaframskrivninger	12
4.3.5	Estimat av flomvannføring i vurderte bekker	12
4.4	Kapasitetsberegning av kulverter	13
5	Tiltak	14
5.1	Generelle anbefalinger	14
5.2	Foreslåtte tiltak ved punkter	15
6	Risikoanalyse	16
6.1	Generelt om ROS-analysen	16
6.2	Vurdering av sannsynlighet	17
6.2.1	Vurderingspunkter	17
6.2.2	Terskelverdier for vurderingspunkter	17
6.3	Vurdering av konsekvens	19
7	Resultater fra kartlegging	20
7.1	Generelt	20
7.2	A – Grov, Haugstad og Skaga	20
7.3	B – Gol skisenter, Øygarden og Grønlia	21
7.4	C – Vola	22
7.5	D – Robru og Berg	23
7.6	E – Åsgardan og sentrum	24
7.7	F – Snodalen, Rusteåna og Herad	25
7.8	G – Hallingen og Golsfjellet	26
7.9	H – Liaåne	27
7.10	I – Liagardane, Engene og Elvestad	28

8 Referanser 30

Figurer

Figur 1: Kart over delområder (REGINE-enheter) som inngår i analysene.	6
Figur 2: Eksempel på innledende kart- og terrenganalyse fra Delområde A.	8
Figur 3: Eksempel på identifiserte bekker og kritiske punkter fra delområde A.	9
Figur 4: Eksempel på flomveier som ledes inn mot mulige utløsningsområder for jord- og flomskred gitt av NVE sine aktsomhetskart.	10
Figur 5: Lokasjon til vurderte vannføringsstasjoner.	11
Figur 6: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde A.	20
Figur 7: Eksempel på privat inntak til venstre (B.1.5) og inntak med fare for tilstopping til høyre (B.1.7).	21
Figur 8: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde B.	22
Figur 9: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde C.	23
Figur 10: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde D.	24
Figur 11: Oversikt over genererte flomveier i delområde E.	25
Figur 12: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde F.	26
Figur 13: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde G.	27
Figur 14: Elvesplitting til venstre (H.1.2) og erosjon mot boligbebyggelse til høyre (H.1.5). ..	28
Figur 15: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde H.	28
Figur 16: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde I.	29

Tabeller

Tabell 1: Feltkarakteristika til utvalgte vannføringsstasjoner.	11
Tabell 2: Resultater fra flomfrekvensanalyse på utvalgte måleserier.	12
Tabell 3: Resultater fra middelsestimat gitt av flomformelverket, kulminasjon.	12
Tabell 4: Resulterende estimat av spesifikke flomverdier for ulike feltareal, inkludert klimapåslag på 30 %.	13
Tabell 5: Benyttet risikomatrise.	16
Tabell 6: Definisjon av risikoklasser.	16
Tabell 7: Vurderingspunkter for estimering av sannsynlighet.	17
Tabell 8: Sannsynlighet og kriterier ved vurdering av massetransport, erosjon og tilstoppingsfare.	18
Tabell 9: Klassifisering av informasjon fra kjent historikk.	18
Tabell 10: Terskelverdier ved vurdering av konsekvens.	19

Vedlegg

- Vedlegg 1.1: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde A (vest)
- Vedlegg 1.2: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde A (øst)
- Vedlegg 2.1: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde B (sør)
- Vedlegg 2.2: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde B (nord)
- Vedlegg 3: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde C
- Vedlegg 4.1: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde D (nord)
- Vedlegg 4.2: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde D (sør)
- Vedlegg 5: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde E
- Vedlegg 6: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde F
- Vedlegg 7: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde G
- Vedlegg 8: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde H
- Vedlegg 9.1: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde I (nord)
- Vedlegg 9.2: Kartbilag med kritiske punkter, Delområde I (sør)
- Vedlegg 10: Tabell med detaljert informasjon og ROS-analyse av kritiske punkter

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

På oppdrag for Gol kommune har Skred AS gjennomført en kartlegging av kritiske punkter i bekker og bratte vassdrag for 9 delområder i kommunen. Kartleggingen er utført på et oversiktsnivå i henhold til NVE sin tilskuddsordning. Følgende aktiviteter inngår i analysen:

- Kartlegging av hvor åpne og lukka bekker går i terrenget
- Kartlegging av kritiske punkter
- Kartlegging av areal langs bekken som kan bli oversvømt under flom
- Kartlegging av erosjonsutsatte strekninger og strekninger der løsmasser blir avsatt
- Kartlegging av hvor vannet kan ta veien når det blir hindra å følge bekkeløp
- Identifisering av skadereduserende tiltak

1.2 Detaljeringsgrad og bruk av resultatene

I henhold til tilskuddsordningen til NVE er det utført en oversiktskartlegging og ikke en detaljkartlegging etter krav til sikkerhet mot naturfare gitt av TEK17 §7. Det er tatt utgangspunkt i en detaljeringsgrad der kritiske punkter i tilknytning til sammenhengende bekker fra FKB-data og som utgjør en potensiell fare for bebyggelse og større infrastruktur som hovedveier er kartlagt.

Hensikten med arbeidet er å få en overordnet oversikt og identifisere mulige kritiske punkter og problemområder. Resultatene skal kunne benyttes som grunnlag og prioritering av tiltak, identifisere områder hvor det kan være hensiktsmessig med detaljerte farekartlegginger, samt gi informasjon til arealplanlegging og byggesaksbehandling. Oversikten kan også benyttes inn i kommunens beredskapssystem. Før det iverksettes tiltak ved kritiske punkter anbefales det å utføre detaljerte vurderinger av punktet og tilhørende nedbørfelt for å få et bilde av reell fare.

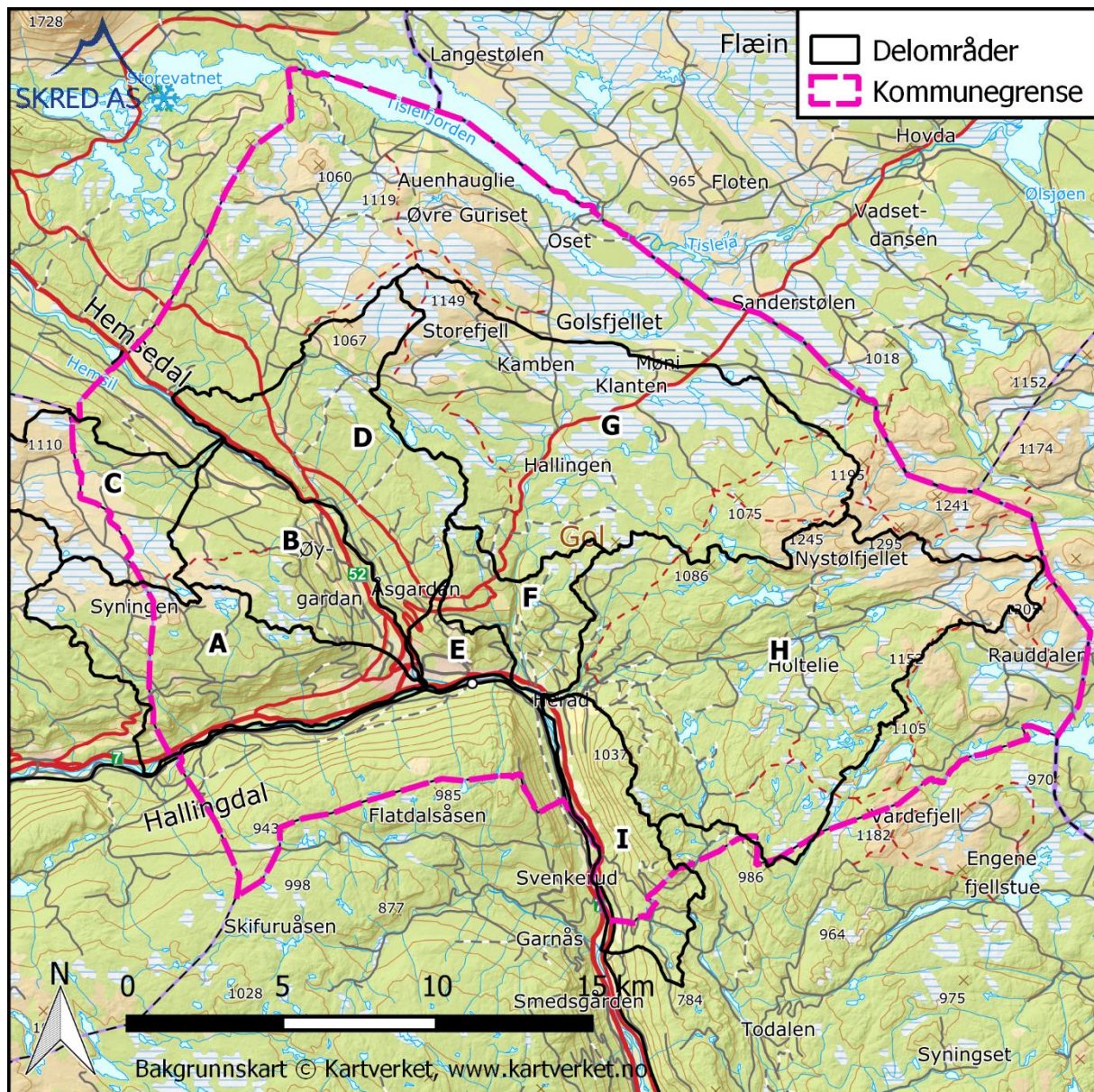
1.3 Befaring

Befaring i de 9 delområdene ble utført 19. og 20. september av Lars Eid Nielsen og Petter Reinemo, Skred AS. Befaringen ble gjennomført til fots og med bil. Det var klarvær, lite vann i bekkene og generelt gode befaringsforhold. Til sammen ble det gjort registreringer av ca. 200 ulike punkter.

2 Analyseområder

Gol kommune har valgt ut 9 delområder som skal inngå i analysen. Områdene er oppdelt etter NVE sine REGINE-enheter der avgrensning er vist på Figur 1. Flere av områdene går utover Gol sin kommunegrense og kun punkter innenfor kommunegrensen blir analysert. Hele nedbørfeltet til hvert punkt inngår derimot i analysen uavhengig av kommunegrensene.

De 9 delområdene inkluderer følgende: **A** – Grov, Haugstad og Skaga, **B** – Gol skisenter, Øygarden og Grønli, **C** – Vola, **D** – Robru og Berg, **E** – Åsgardan og sentrum, **F** – Snodalen, Rusteåna og Herad, **G** – Hallingen og Golsfjellet, **H** – Liaåne og **I** – Liagardane, Engene og Elvestad.



Figur 1: Kart over delområder (REGINE-enheter) som inngår i analysene.

3 Arbeidsflyt

Arbeidet tar utgangspunkt i NVE veileder 3/2015 «Flaumfare langs bekker – Råd og tips om kartlegging» (NVE,2015a). Utførte analyser er beskrevet mer detaljert i kapittel 4. Det gis her en overordnet beskrivelse av arbeidsprosessen:

1. Datainnsamling og innledende GIS-analyser:

Relevante data som kartgrunnlag, terrengdata, kjent historikk og informasjon om eventuelle tiltak er samlet inn og strukturert. Videre er det etablert en digital terrengmodell med horisontal oppløsning på 1 x 1 meter og utført flytanalyser for hele Gol kommune inkludert tilhørende nedbørfelt. Basert på analyse av grunnlagsdataene og de innledende GIS-analysene er kritiske bekker og punkter identifisert som grunnlag for befaringen.

2. Befaring

Det er utført en detaljert befaring for å verifisere og supplere de kritiske bekkene og punktene gitt av det innledende arbeidet. Dimensjon, tilstand, mulig tilstopping, erosjon/avlagring og mulige flomveier er vurdert ved hvert punkt. Det er benyttet et standardisert registreringsskjema for dette arbeidet.

3. Detaljerte analyser

Fra GIS-analysene, kartstudier og registreringer i felt er det utført et detaljert analysearbeid av de kritiske bekkene og punktene. Det er utført en overordnet ROS-analyse for alle kritiske punkter med utgangspunkt i spesifiserte vurderingskriterier. Skadereduserende tiltak ved punktene er foreslått.

4. Sammenstilling

Resultatene fra hvert delområde er sammenstilt i kart. Spesielle problemområder, punkter og problemstillinger i hvert delområde er belyst.

4 Analyser

4.1 Bekker og flomveier

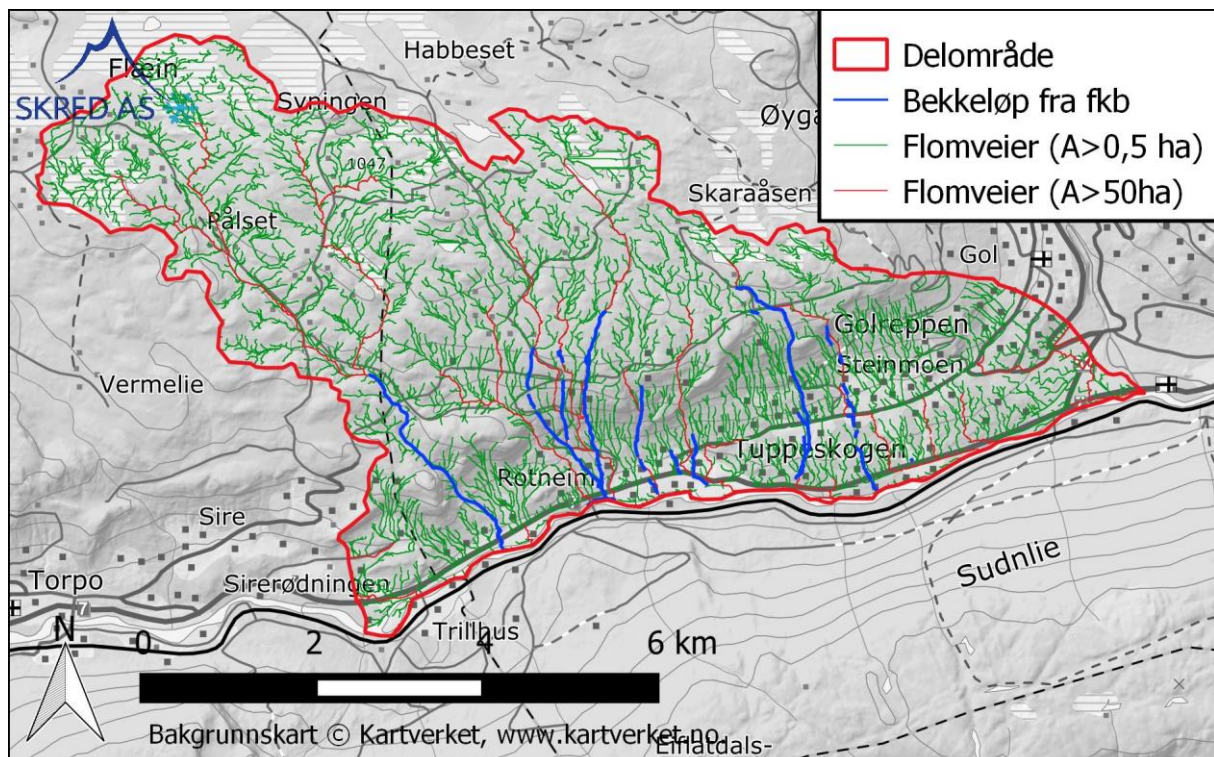
4.1.1 Innledende kart- og terrenyanalyser

I terrenyanalysene er det tatt utgangspunkt i den Nasjonale digitale høydemodellen (NDH) for Gol kommune (NDH Gol-Hemsedal 5pkt 2018), inkludert tilgrensende nedbørfelt, med en horisontal oppløsning på 1 x 1 meter (hoydedata.no). Det er gjort en reprosessering hvor bakkepunkter (klasse 2) er benyttet og lavpunkter er fjernet. Videre er det kjørt flytanalyser/flomveisanalyser med algoritmer for både enkel- og fordelt spredning. Metodikken er blant annet beskrevet i Bratlie (2015). De identifiserte flomveiene representerer en situasjon med tette stikkrenner.

For hvert delområde er bekker som fremkommer av fkb-data indentifisert. Da nødvendigvis ikke alle større bekker kommer frem av fkb-data og det stedvis er hull i datasettet er flytanalysene også benyttet for å tette disse hullene.

Flomveiene er skjønnsmessig inndelt i to kategorier etter tilrenningsareal. Kategori «Flomvei (A>50 ha)» har til hensikt å supplere fkb-datasettet, mens «Flomvei (A>0,5 ha)» viser dreinsveier med et teoretisk mindre tilrenningsareal.

Eksempel fra innledende kart- og terrenyanalyser for Delområde A er vist i Figur 2.



Figur 2: Eksempel på innledende kart- og terrenyanalyse fra Delområde A.

4.1.2 Identifikasjon av kritiske bekker og punkter

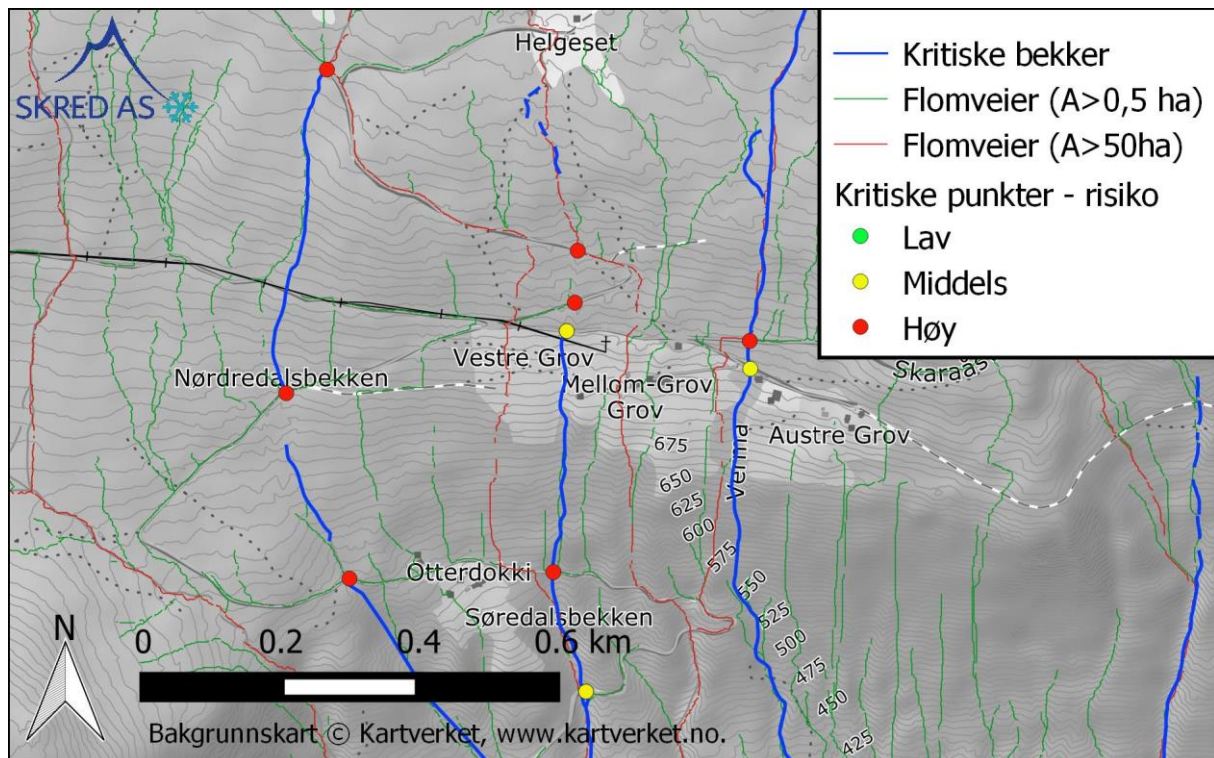
4.1.2.1 Kriterier for valg av kritiske bekker

Alle bekker utgjør nødvendigvis ikke en mulig fare for bebyggelse eller infrastruktur, og det er et mål å identifisere de mest kritiske. Det kan ikke utelukkes at det også kan forekomme problemer og skader relatert de bekker og som ikke identifiseres her. Følgende kriterier er lagt til grunn for identifikasjon og valg av kritiske bekker:

- Bekker skal ha en størrelse og et feltareal tilsvarende de sammenhengende bekkene gitt fra fkb-datasettet.
- Bekker skal utgjøre en mulig fare for bebyggelse og/eller kommunal infrastruktur. Dette gjelder både der bekker renner tett mot bebyggelse eller der det vurderes at potensielle flomveier kan påvirke bebyggelse og/eller utløsningsområder for jord- og flomskred mot nedstrøms bebyggelse.
- Bekker hvor det foreligger kjent historikk som tilsier at vann har kommet på avveie og berørt bebyggelse.

4.1.2.2 Identifiserte bekker og punkter

Kritiske bekker i hvert delfelt er identifisert ved visuelle betraktninger og gjennom GIS-analyser med utgangspunkt i de definerte kriteriene. I GIS er det kjørt spørringer for hvor bebyggelse (gitt av fkb-bygg) ligger nærmere bekkeløp enn 20 meter og hvor bebyggelse ligger nærmere identifisert flomvei enn 10 meter (der $A > 50$ ha). Et eksempel på identifiserte bekker og punkter fra delområde A er vist i Figur 3.

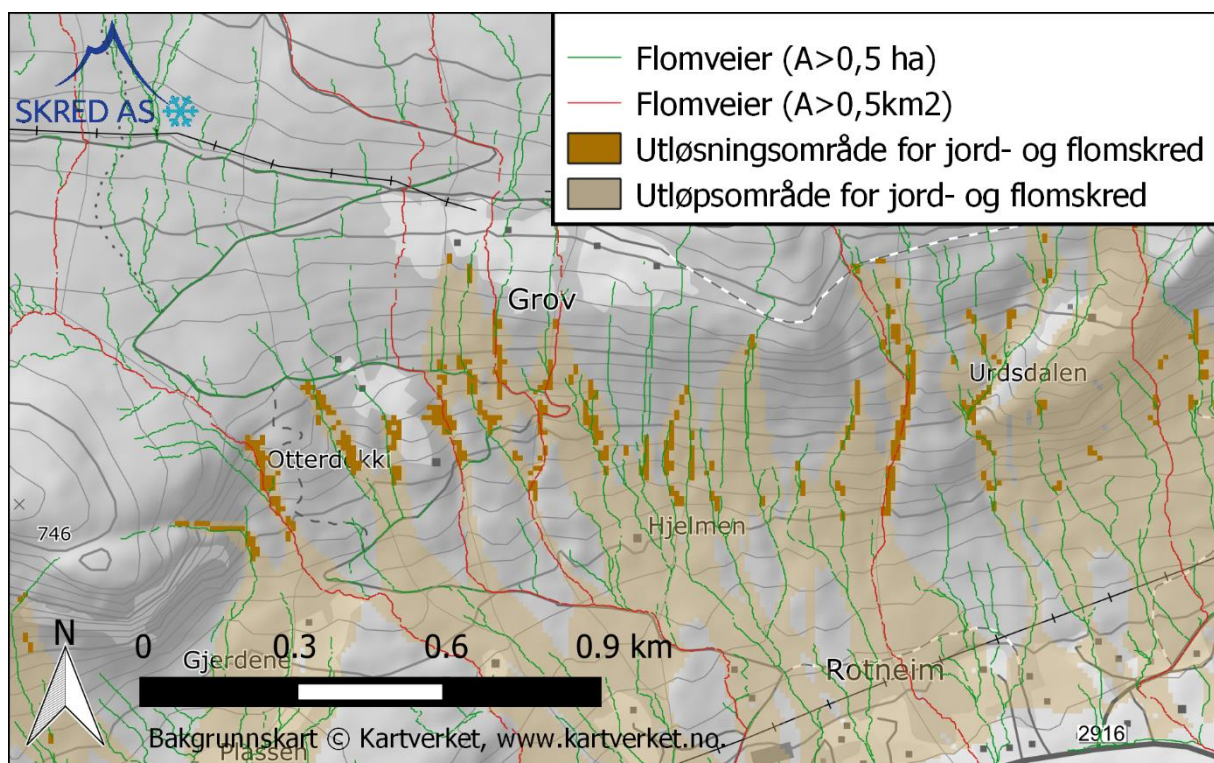


Figur 3: Eksempel på identifiserte bekker og kritiske punkter fra delområde A.

4.2 Utløsningsområder for jord- og flomskred

I flere av delområdene er det aktsomhetssoner for jord- og flomskred samt historikk fra tidligere skredhendelser. Vann på avveie fra et kritisk punkt kan være utløsende årsak for jord- og flomskred. Dette kan typisk forekomme dersom større vannmengder blir ledet over mot utløsningsområder. Ved vurdering av konsekvens i ROS-analysen blir utløsningsområdene gitt i NVE sine aktsomhetskart for jord- og flomskred vurdert opp mot identifiserte flomveier og nedstrøms bebyggelse. Det bemerkes at NVE sine utløsningsområder i aktsomhetskartene ikke gir en komplett oversikt og at utløsning av skred også kan forekomme andre steder.

Et eksempel på flomveier som ledes inn mot mulige utløsningsområder for jord- og flomskred i delområde A er vist i Figur 4.



Figur 4: Eksempel på flomveier som ledes inn mot mulige utløsningsområder for jord- og flomskred gitt av NVE sine aktsomhetskart.

4.3 Overordnede flomberegninger

4.3.1 Om beregningene

For å få en indikasjon på flomvannføring i de ulike bekkene og ved kritiske punkter er det utført en overordnet flomberegning. Flomberegningen må anses som generell og resultatene må ikke benyttes til detaljutrednings- eller dimensjoneringsformål.

Flomberegningen baserer seg på analyse av data fra vannføringsstasjoner i området og beregninger med det nasjonale flomformelverket for små nedbørfelt (NVE, 2015b).

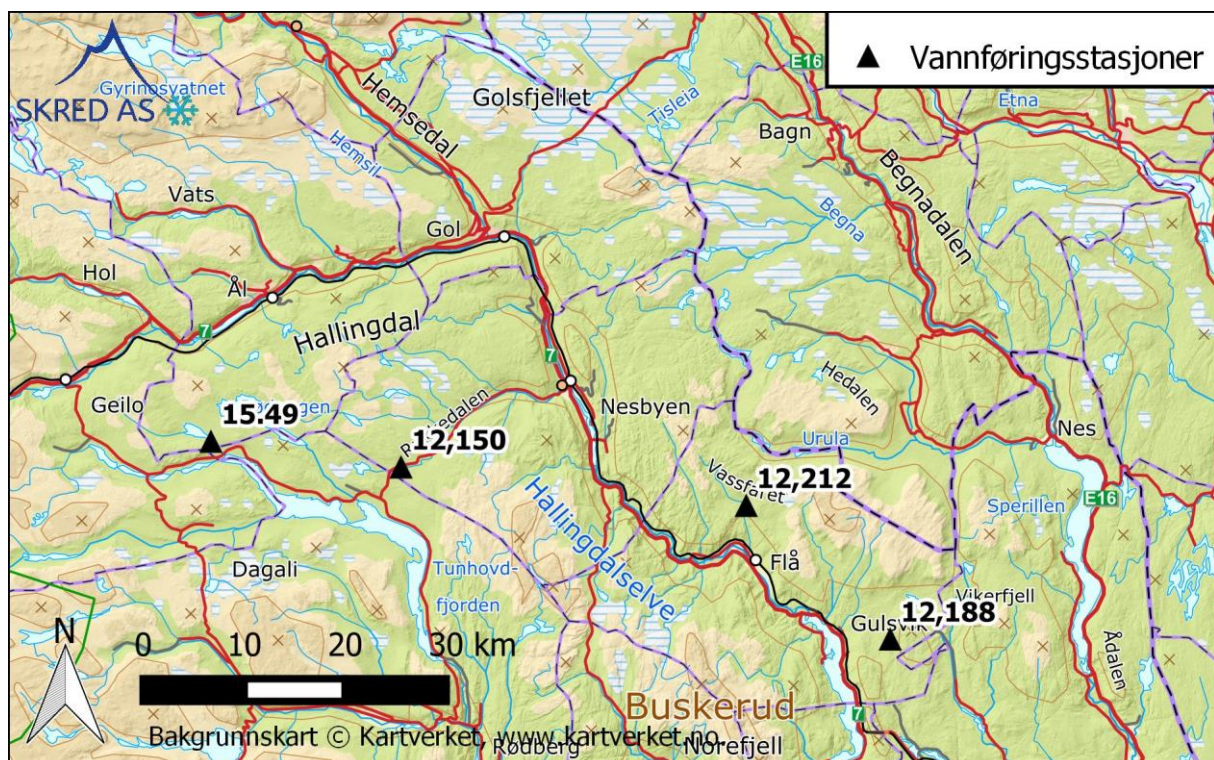
4.3.2 Vannføringsstasjoner og flomfrekvensanalyse

Det finnes ingen målestasjoner i kartleggingsområdene eller i nærliggende vassdrag med tilsvarende karakteristikk som de vurderte bekkene. For å få en indikasjon på vannføringer er det allikevel plukket ut et utvalg av de nærmeste målestasjonene med mest sammenlignbar feltkarakteristikk. De fleste målestasjonene har nedbørfelt med betydelig større feltareal enn de vurderte bekkene. Utvalgte målestasjonene med feltkarakteristikk fremkommer av Tabell 1, mens beliggenhet er vist i Figur 5. Alle stasjonene ligger sør for Gol og har middels eller usikker vannføringskurve på flomvannføring.

Tabell 1: Feltkarakteristika til utvalgte vannføringsstasjoner.

Målestasjon	Feltareal [km ²]	Periode [år]	qN* / qN _{målt} [l/s*km ²]	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Snau-fjell [%]	Høydeint. [moh]
12,150 Buvatn	25,5	1963 - dd	11 / 14	4,7	72	0	840 - 1085
12,188 Langtjernbekk	4,8	1974 - dd	20 / 20	4,9	85	0	518 - 758
12,212 Hangstjern	11,6	1986 - dd	17 / 17	0,7	75	5	586 - 1047
15,49 Halledalsvatn	59,2	1962 - dd	15 / 16	3,8	59	19	846 - 1185

*Fra NVE sitt avrenningskart.



Figur 5: Lokasjon til vurderte vannføringsstasjoner.

Det er utført flomfrekvensanalyse for måleseriene på døgndata. For å regne om fra døgnmiddel- til kulminasjonsvannføring er gjennomsnittsverdi fra formel for vår- og høstflom blant annet presentert i NVE (2011) benyttet. Resultatene fra analysen er vist i Tabell 2.

Tabell 2: Resultater fra flomfrekvensanalyse på utvalgte måleserier.

Målestasjon	Feltareal [km ²]	Q _{kulm} / Q _{døgn}	Middelflom		Q5 / QM	Q20 / QM	Q50 / QM	Metode
			qM _{døgn} [m ³ /s]	qM _{kulm} [l/s*km ²]				
12,150 Buvatn	25.0	1.26	144	181	1.32	1.59	1.71	GEV (mom)
12,188 Langtjernbekk	4.8	1.41	236	333	1.37	1.53	1.74	Gumbel (mom)
12,212 Hangstjern	11.6	1.59	209	333	1.30	1.62	1.77	GEV (mom)
15,49 Halledalsvatn	59.2	1.21	180	218	1.31	1.68	1.86	GEV (mom)

4.3.3 Flomformelverk

I NVE (2015b) presenteres et nasjonalt formelverk for flomberegninger i nedbørfelt der feltareal er mindre enn 50 km². Inngangsparameterne til formelen er feltareal, midlere avrenning og effektiv sjøprosent. Den største usikkerheten i formelverket er estimat av middelflom, og resulterende vekstkurve vurderes som robust.

Ved vurderte målestasjoner er det godt samsvar mellom målt middelvannføring og NVE sitt avrenningskart. For de identifiserte bekkene gir avrenningskartet for normalperioden 1961 – 90 en spesifikk avrenning på ca. 12 – 17 l/s*km². Ved samlet vurdering av feltene blir det derfor benyttet en spesifikk avrenning på 15 l/s*km² og en effektiv sjøprosent på 0 inn i formelverket. Resulterende vannmengder gitt av formelverket for middelestimat og ulike feltareal er vist i Tabell 3.

Tabell 3: Resultater fra middelestimat gitt av flomformelverket, kulminasjon.

Feltareal [km ²]	qM [l/s*km ²]	Q5 / QM	Q20 / QM	Q50 / QM
1	504	1,27	1,77	2,16
5	405	1,27	1,77	2,16
10	368	1,27	1,77	2,16
20	335	1,27	1,77	2,16
50	296	1,27	1,77	2,16

4.3.4 Foreliggende klimaframskrivninger

I Klimaprofil for Buskerud (Norsk Klimaservicesenter, 2017) og i NVE (2016) gis det anbefalinger for klimapåslag på nedbør og flomvannføring for å ta hensyn til forventede endringer frem mot år 2100. Basert på en tolkning av anbefalingene har vi valgt å benytte et klimapåslag på 30 % i estimatene av flomvannføring i bekkene. I urbane nedbørfelt, der det er en mer direkte sammenheng mellom returperiode til nedbør og avrenning, bør et høyere klimapåslag benyttes.

4.3.5 Estimat av flomvannføring i vurderte bekker

Det kan forventes høyere spesifikk vannføring i mange av de identifiserte bekkene enn ved vurderte målestasjoner. På bakgrunn av dette virker middelerdi fra flomformelverket å gi et realistisk inntrykk av flomvannføring. Formelverket gir også en noe brattere frekvenskurve enn flomfrekvensanalysene.

Det er valgt å ta utgangspunkt i middelestimatet fra flomformelverket for å få et inntrykk av flomvannføring ved kritiske punkter. I tillegg er det lagt på 30 % for å ta hensyn til foreliggende klimaframskrivninger. Resulterende vannføringer som benyttes videre i ROS-analysene er vist i Tabell 4.

Tabell 4: Resulterende estimat av spesifikke flomverdier for ulike feltareal, inkludert klimapåslag på 30 %.

Kapasitet	Feltareal		
	< 2 km ² [l/s*km ²]	2 – 10 km ² [l/s*km ²]	>10 km ² [l/s*km ²]
God (estimert > 20 år)	1200	1000	800
Middels (estimert 2 – 20 år)	1000	800	650
Dårlig (estimert < 2 år)	655	525	450

Ved flere av punktene i de vurderte bekkene vil effektivt feltareal og vannmengde i stor grad være avhengig av kapasitet og tilstand til oppstrøms vannveier og punkter. For eksempel kan en avskjærende skogsbilvei lede større vannmengder mot et nabofelt dersom en stikkrenne går tett eller har utilstrekkelig kapasitet. Problemstillingen er spesielt aktuell i små og bratte felt som inkluderer en større del av bekkene i analyseområdene. Estimerte vannmengder ved hvert punkt forventes derfor å innbefatte en stor grad av usikkerhet.

4.4 Kapasitetsberegning av kulverter

For å få et estimat av kapasitet til kulverter og stikkrenner er det tatt utgangspunkt i en energibetraktning ved innløpet. Betragtningen forutsetter innløpskontroll og at inntaket er fri for masser. Følgende formel er benyttet:

$$Q = (1 - K_i) \times A \times \sqrt{H \times 2g}$$

Q = vannføring, K_i = innløpskoeffisient, A = lysåpning til stikkrenne/kulvert, H = vannstand.

Innløpskoeffisienten er satt basert på vurdert tilstand/utforming av inntaket under befaringen. Koeffisienten er satt til 0,5, 0,6 og 0,8 for henholdsvis *God-*, *Middels-* og *Dårlig tilstand*, der koeffisient for *God tilstand* er kalibrert mot nomogram i SINTEF (1992).

Usikkerheten i estimatet forventes å øke for økte tverrsnittareal. For bruer vil formelen ikke gi et plausibelt resultat. Ved detaljkartlegging bør spesielt kapasitet til bruer og utløpskontrollerte kulverter beregnes med egnet hydraulisk programvare el.

5 Tiltak

5.1 Generelle anbefalinger

Generelt anbefales det for alle bekker å føre jevnlig tilsyn og vedlikehold av bekkeløp og kulverter/sikkrenner hvor det bør tilstrebes å holde disse åpne. Spesielt i forbindelse med varsel om lokalt kraftig nedbør (fra MET) og/eller flomvarsel i mindre vassdrag (fra NVE), bør utsatte bekker og stikkrenner/kulverter befares og ryddes/åpnes.

Det anbefales å ha dialog med grunneiere og beboere i tilknytning til bekkene, og opplyse om ansvarsforhold og hvilken konsekvens eventuelle inngrep i vassdrag kan ha for nedstrøms områder. Her gir Graneloven og vannressursloven aktuelle føringer. Blant annet er dumping av hageavfall i vannveier et klassisk problem som fort kan blokkere bekkeløp/stikkrenner og videre føre vann på avveie.

Det anbefales også at kommunen kartlegger og har kontroll på kritiske flomveier med skadepotensial, som typisk er i bebygde eller skredutsatte områder. Arbeidet med kartlegging av kritiske punkter kan gi grunnlag for en mer detaljert kartlegging av kritiske flomveier. I tillegg til vurdering av trase bør også vurdering av kapasitet inngå her.

Kapasitetsberegningen i matrisen for de kritiske punktene (vedlegg 10) gir en indikasjon på relativ kapasitet til stikkrenner/kulverter. Den gir derfor en overordnet vurdering av hvor kapasiteten kan være dårlig. Ved disse punktene anbefales det at kapasiteten vurderes mer i detalj som grunnlag for å se på behov for eventuelt å skifte ut sikkrenne/kulvert for å øke kapasitet.

I forbindelse med etablering av ny bebyggelse må det sørges for at bygg oppnår tilstrekkelig sikkerhet mot flom og erosjon etter krav i TEK17 §7-2. Det er også viktig at bebyggelse og terrengtilpasninger ikke påfører nedstrøms bebyggelse økt ulempe, som kan forekomme ved for eksempel bygging i flomveier. Bebyggelse som planlegges nær bekkeløp eller innenfor/nært NVE sine aktsomhetssoner for flom bør i utgangspunktet vurderes detaljert etter kravene i TEK17 §7-2.

5.2 Foreslåtte tiltak ved punkter

Det gis her en overordnet beskrivelse av ulike tiltak som foreslås ved de kritiske punktene. Alle fysiske tiltak må vurderes i detalj og prosjekteres før de etableres. Det presiseres at detaljnivået i dette oppdraget ikke er tilstrekkelig som prosjekteringsgrunnlag.

Alle tiltakene er gitt en forkortelse i parentes som benyttes videre i matrisen for kritiske punkter (i vedlegg 10). Foreslåtte tiltak ved hvert punkt er ikke utømmelig.

Etablere fangrist (R): Ristløsning i bekkeløpet eller ved inntaket for å begrense faren for tilstopping av drivgods eller løsmasser. Valg av ristløsning må tilpasses lokale forhold, da en feil løsning i verste fall kan forverre problemet.

Etablere masseavlagringsbasseng (M): Tiltak for å hindre løsmasser i å nå kritisk punkt

Erosjonssikring av bekkeløp eller sideterreng (E): Erosjonssikre bekkeløp eller inntak for å stoppe pågående erosjon, eller redusere faren for erosjon.

Utbedre inntak (I): Utbedre inntak for å sikre en mer hydraulisk gunstig utforming som kan øke kapasitet. Eksempel er etablering av vingemur.

Sikre og/eller etablere trygg flomvei (FV): Sikre flomvei fra kritisk punkt som skal lede vann på avveie trygt tilbake til bekkeløp eller resipient.

Skifte ut konstruksjon (K): Stikkrenne/kulvert er av dårlig forfatning og bør byttes ut.

6 Risikoanalyse

6.1 Generelt om ROS-analysen

Det er gjennomført en overordnet risiko- og sårbarhetsanalyse av hvert enkelt punkt. Dette for å kategorisere punktene med tanke på hvilke som vurderes mest kritiske. Det bemerkes at analysen ikke er en detaljert analyse, der hensikt er å få en overordnet oversikt og prioritering over kritiske punkter i kommunen.

For hvert punkt er det utført en forenklet ROS-analyse. Risiko er betegnet som produktet av sannsynlighet og konsekvens. Sannsynlighet er klassifisert på en skala fra 1 til 3 mens konsekvens er klassifisert på en skala fra 0 til 3. Kriterier/terskelverdier er definert i avsnitt 6.2 og 6.3. Resulterende risikomatrix er vist i Tabell 5, mens definisjon av risikoklasser er gitt i Tabell 6.

Tabell 5: Benyttet risikomatrixe.

Konsekvens	Sannsynlighet		
	Liten (1)	Middels (2)	Stor (3)
Neglisjerbar (0)	0	0	0
Lav (1)	1	2	3
Middels (2)	2	4	6
Høy (3)	3	6	9

Tabell 6: Definisjon av risikoklasser.

Risikoklasse	Poeng i matrise	Beskrivelse
Lav	0 – 2	Liten sannsynlighet for og/eller konsekvens. Risikoreduserende tiltak kan vurderes.
Middels	3 – 4	Middels sannsynlighet for og/eller konsekvens. Risikoreduserende tiltak bør vurderes.
Høy	6 - 9	Stor sannsynlighet for og/eller konsekvens. Risiko anses i utgangspunktet som ikke akseptabel, og risikoreduserende tiltak kan være nødvendig.

6.2 Vurdering av sannsynlighet

6.2.1 Vurderingspunkter

Sannsynligheten for hvor ofte en uønsket hendelse vil inntreffe i tilknytning til kritiske punkter er avhengig av flere parametere. Det vil inkludere karakteristikk av nedbørfelt, kapasitet og utforming av kryssinger og inntak, fare for helt eller delvis tilstopping, og forhold i nabovassdrag. For å få et estimat på sannsynlighet for en uønsket hendelse på et overordnet nivå er vurderingspunkter gitt i Tabell 7 benyttet. Sannsynlighet blir fastsatt basert på minst gunstige punkt. Terskelverdier for vurderingspunkter er gitt i avsnitt 6.2.2.

Tabell 7: Vurderingspunkter for estimering av sannsynlighet.

Vurderingspunkt	Sannsynlighet		
	Lav (1)	Middels (2)	Høy (3)
Kapasitet til kryssing	God	Middels	Dårlig
Potensial for massetransport og tilstopping av løsmasser og/eller drivgods	Liten fare	Middels fare	Stor fare
Tidligere observasjoner av vann på avveie eller tilstopping	Aldri	Sjelden	Ofte

6.2.2 Terskelverdier for vurderingspunkter

6.2.2.1 Kapasitet til kryssing

Kapasitet til stikkrenne/kulvert er klassifisert som «God», «Middels» eller «Dårlig». Vurderingen er gjort ved å sammenligne resultatet av kapasitetsberegningen ved hver kryssing (gitt av metodikk beskrevet i avsnitt 4.4) mot feltareal og tilhørende spesifikke vannføringer estimert i avsnitt 4.3.5.

Vurderingen av kapasitet må anses som grov da både kapasitetsberegningene og flomberegningene er generelle og inkluderer en stor grad av usikkerhet.

6.2.2.2 Potensial for massetransport, erosjon og tilstopping av løsmasser/drivgods

Terskelverdier for faregrad av massetransport, erosjon og tilstopping av løsmasser/drivgods følger av Tabell 8. Fastsettelse av faregrad baserer seg på en kombinasjon av feltregisteringer og kartstudier, og innbefatter en stor grad av faglig skjønn.

Tabell 8: Sannsynlighet og kriterier ved vurdering av massetransport, erosjon og tilstoppingsfare.

Sannsynlighet	Kriterier
Liten (1)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kulvert og inntak fri for masser under befarings ▪ Bekkeløp i tilknytning til inntak vurderes lite erosjonsutsatt ▪ Lite tilgjengelige løsmasser i oppstrøms bekkeløp og begrenset transportkapasitet ▪ Liten fare for at vegetasjon langs oppstrøms bekkeløp kan bli mobilisert under flom
Middels (2)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Noe avlagring av løsmasser i kulvert eller i tilknytning til inntak under befarings ▪ Tegn til pågående erosjon/erosjonspotensiale i bekkeløp i tilknytning til inntak ▪ Moderat med tilgjengelige løsmasser i oppstrøms bekkeløp og middels transportkapasitet ▪ Middels fare for at vegetasjon langs oppstrøms bekkeløp kan bli mobilisert under flom
Stor (3)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betydelig avlagring av løsmasser og/eller tilstopping i tilknytning til inntak under befarings ▪ Betydelig pågående erosjon/erosjonspotensiale i bekkeløp i tilknytning til inntak ▪ Store mengder tilgjengelige løsmasser i oppstrøms bekkeløp og stor transportkapasitet ▪ Stor fare for at vegetasjon langs oppstrøms bekkeløp kan bli mobilisert under flom

6.2.2.3 Tidligere observasjoner

Tidligere observasjoner og registreringer gjort av kommunen, men også av private og andre etater, kan gi nyttig informasjon om sannsynligheten til en hendelse. Kjente problemområder registret av Gol kommune kommer frem av kommunen sin søknad til NVE om tilskudd til kartleggingen. Tabell 9 viser benyttet klassifiseringssystem av historikk. Ingen observasjon tilsier ikke at en hendelse ikke kan forekomme.

Tabell 9: Klassifisering av informasjon fra kjent historikk.

Registrering	Kriterier
Ingen (1)	Det finnes ingen historikk.
Noe (2)	Det har blitt utført noe vedlikehold for å opprettholde funksjon/kapasitet, men ingen registreringer av større hendelser som har gitt flomvann på avveie hvor bebyggelse er berørt.
Ofte (3)	Det foreligger observasjoner av hendelser der flomvann har kommet på avveie eller kapasitet har vært svært nær overskridelse.

6.3 Vurdering av konsekvens

En uønsket hendelse i tilknyttet et kritisk punkt kan ha ulike konsekvenser. For hvert kritisk punkt vurderes konsekvens basert på en vurdering av følgende faktorer:

- Antall boenheter og næring som kan berøres av vann på avveie fra kritisk punkt (gitt av genererte flomveier og registreringer fra befaringen).
- Konsekvens ved stenging av vei.
- Potensiale for å tilføre utløsningsområder for jord- og flomskred, gitt av NVEs aktsomhetssoner, økt vannmengde hvor det er bebyggelse i tilhørende aktsomhetssoner.

Benyttede terskelverdier for konsekvens er vist i Tabell 10. Konsekvensklasse 0 (neglisjerbar) er benyttet for å ta hensyn til områder der høy sannsynlighet kan aksepteres. Dette er typisk punkter langt ned i vassdraget hvor det ikke er fare for at bebyggelse kan bli berørt og/eller eventuell stenging av vei ikke har noen konsekvens (for eksempel en skogsbilveg eller sykkelveg med omkjøringsmuligheter).

Tabell 10: Terskelverdier ved vurdering av konsekvens.

Konsekvens	Antall boenheter som berøres nedstrøms	Stenging av vei	Overføring av vann til skredterreng som utgjør fare for bebyggelse
Neglisjerbar (0)	0	Ingen konsekvens	Ingen
Liten (1)	0	Sidevei med omkjøringsmulighet	Ingen
Middels (2)	1 - 5	Hovedvei med omkjøringsmulighet eller sidevei uten omkjøringsmuligheter	Ingen
Stor (3)	> 5 eller næringsbygg	Hovedvei uten omkjøringsmulighet	Mulig

7 Resultater fra kartlegging

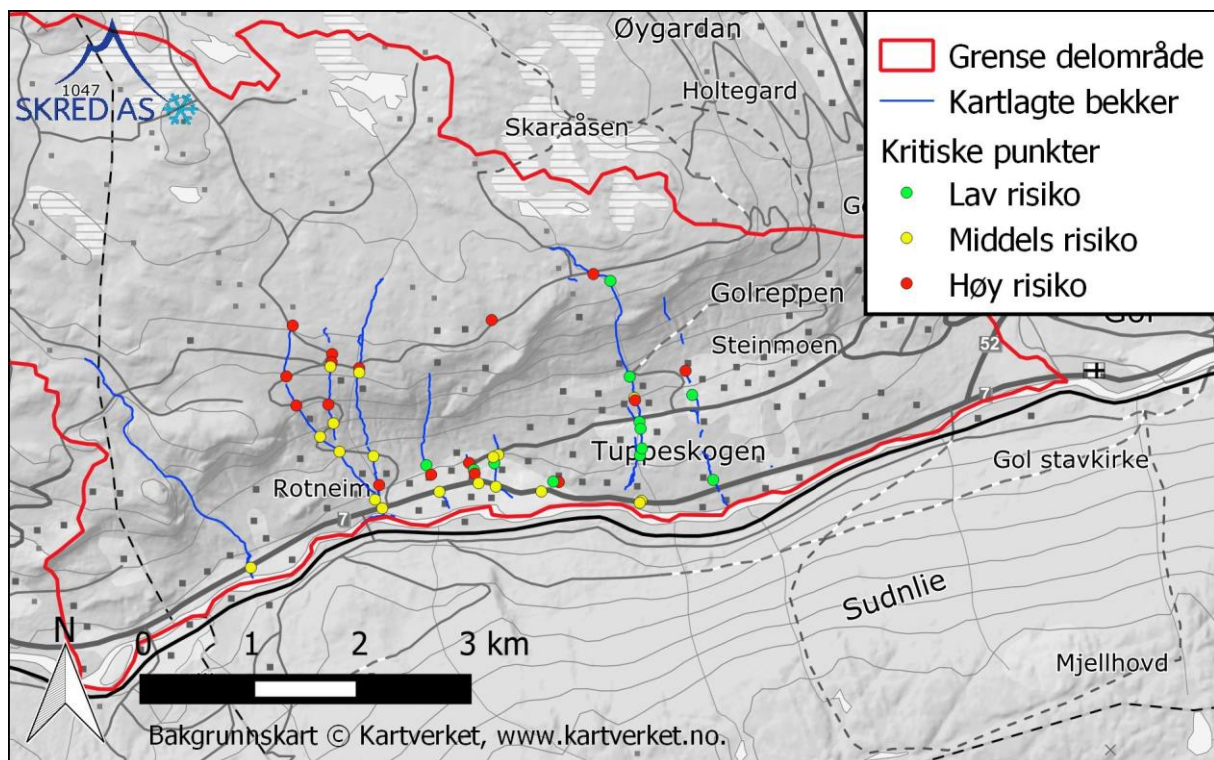
7.1 Generelt

Hovedresultatene fra hvert delområde er trukket fram i kapittel 7.2 til 7.10. I vedlagt tabell (vedlegg 10) og kartvedlegg er det gitt detaljert informasjon om de kritiske punktene. Kartvedleggene viser også de indentifiserte punktene sammen med genererte flomveier samt aktsomhetssoner for jord- og flomskred, samt flom.

7.2 A – Grov, Haugstad og Skaga

Det er i delområde A identifisert 46 kritiske punkter der 18 av de er klassifisert med *høy risiko*. En oversikt over punktene er vist i Figur 6.

Spesielt punkter i tilknytning til Nørdredalsbekken, Sørenalsbekken og Verma anses som kritiske da vann på avveie her kan føres inn i utløsningsområder for jordskred med nedstrøms bebyggelse innenfor tilhørende aktsomhetssone. Grovvegen krysser bekkene flere steder i bratt terreng og kan virke avskjærende og lede vann på avveie mot skredterreng. Flere bekker krysser Skaraåsvegen før terrenghelningen øker mot Hallingdalselva. Analysene viser at flomvann her kan ledes ut av bekkeløp ved kritiske punkter og mulig mot nedstrøms bebyggelse eller utløsningsområder. Da punktene ligger forholdsvis høyt i terrenget er det stor usikkerhet i hvor vann på avveie kan bli ledet. I nedre del av feltene er det også identifisert flere punkter klassifisert med *høy risiko* som i stor grad skyldes liten kapasitet/fare for tilstopping og mulig flomvei mot bebyggelse. Det er også identifisert flere punkter med *Middels risiko* som bør vurderes mer i detalj, spesielt der disse er i bratt terreng eller i tilknytning til veier som avskjærer terrenget.



Figur 6: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde A.

7.3 B – Gol skisenter, Øygarden og Grønlia

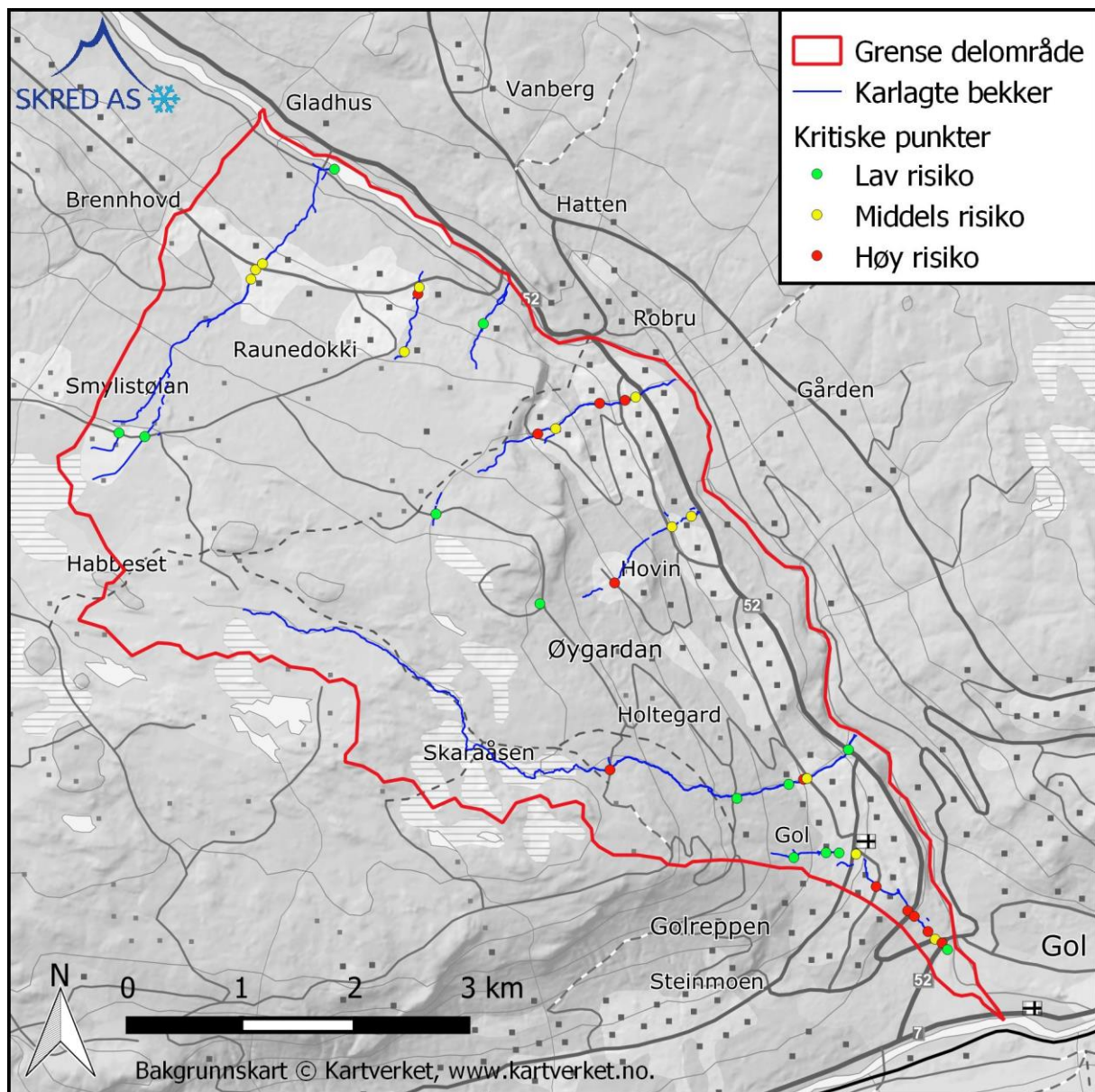
Det er i delområde B identifisert 37 kritiske punkter der 12 av de er klassifisert med *høy risiko*. En oversikt over punktene er vist i Figur 8.

Bekken som renner fra Gol skiheis og videre forbi Golberg og Hesla går på flere partier lukket i rør/kulverter med varierende dimensjoner, inntaksløsning og lengde. Det er få definerte flomveier fra inntakene, samt flere avskjærende veier i terrenget. Bekkelukkingene er både på privat og offentlig grunn. Fra flere av punktene langs bekken vurderes det at bebyggelse kan bli berørt dersom flomvann kommer på avveie. Ved etablering av tiltak her er det svært viktig at hele nedbørfeltet vurderes samlet, der etablering av trygge flomveier anses som det mest opplagte tiltaket. Figur 7 viser eksempler på inntak i bekken fra Gol skisenter.

Også langs Spildra, ved Svartebråten, Mjørsetbekken og ved Smøttebråten er det identifisert punkter med *høy risiko*. Konsekvens her kan både være at vann på avveie berører bebyggelse eller ledes mot utløsningsområde for jordskred. Det er også klassifisert flere punkter med *middels risiko* som bør vurderes mer i detalj.



Figur 7: Eksempel på privat inntak til venstre (B.1.5) og inntak med fare for tilstopping til høyre (B.1.7).

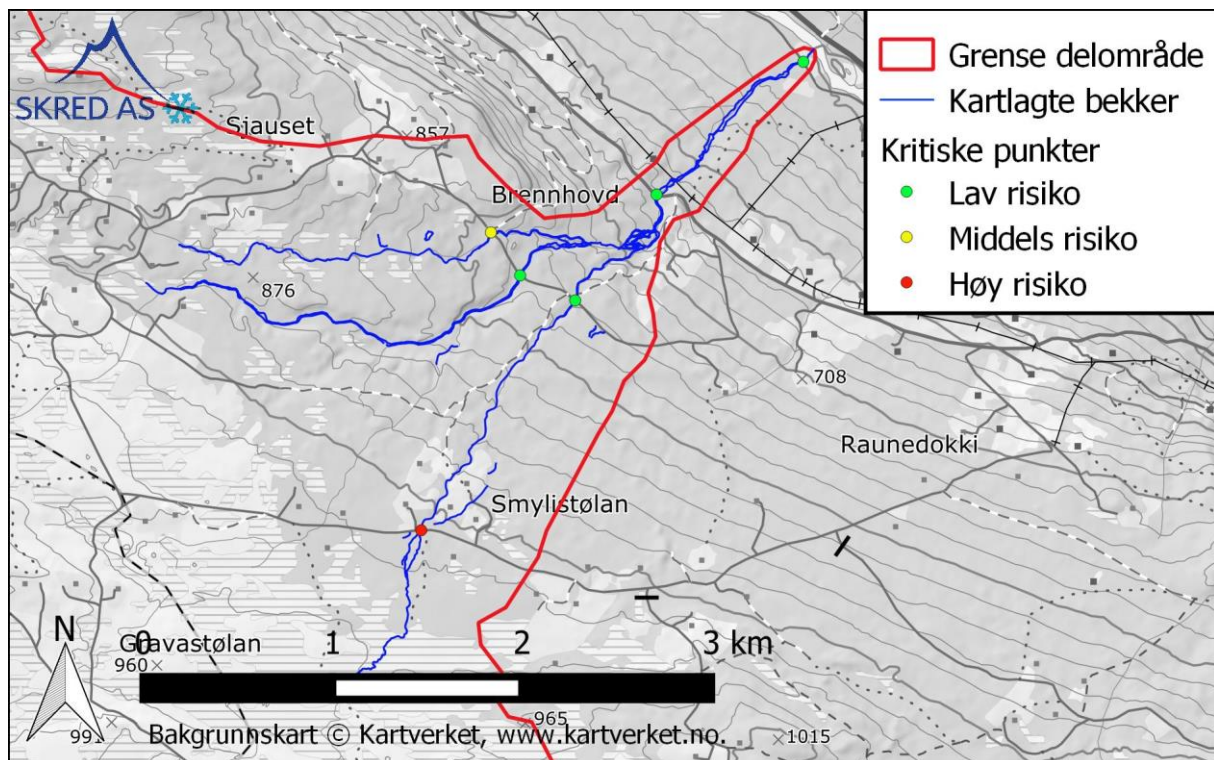


Figur 8: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde B.

7.4 C – Vola

Det er i delområde C identifisert 6 kritiske punkter der kun ett er klassifisert med *høy risiko*, og ett med *middels risiko*. En oversikt over punktene er vist i Figur 9.

Alle de vurderte bekkene er delfelt til elva Vola og har betydelig feltareal. Større områder langs de vurderte bekkene ligger innenfor NVE sine aktsomhetssoner for flom. Ved etablerings av ny bebyggelse innenfor eller nært disse sonene bør det utføres detaljerte flomfarevurderinger. Konsekvens ved eventuelt brudd på vei ved kritiske punkter vurderes som liten/middels grunnet omkjøringsmuligheter. Ved Smylistølan er det identifisert et kritisk punkt med *høy risiko* (C.1.1) der vann på avveie potensielt kan berøre nedstrøms bebyggelse grunnet diffus flomvei.



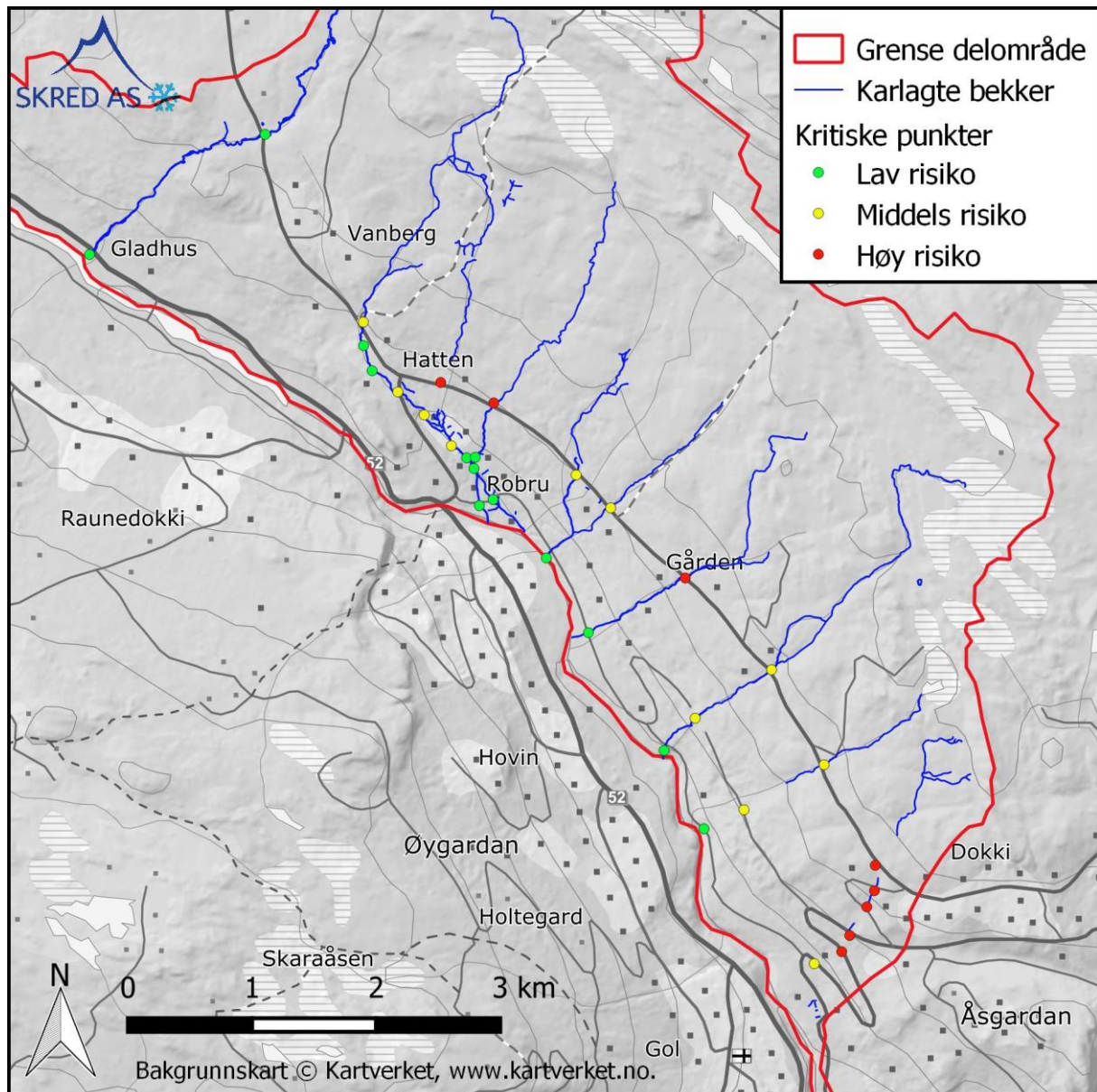
Figur 9: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde C.

7.5 D – Robru og Berg

Det er i delområde D identifisert 32 kritiske punkter der 8 av de er klassifisert med *høy risiko*. En oversikt over punktene er vist i Figur 10.

Øst i delområdet krysser en bekk Øvrevegen, en privat vei to steder, samt Valdresvegen fire steder. Langs bekken er det varierende dimensjon og tilstand på stikkrenner. Stedvis er bekken lite definert der vannet vil fordele seg utover i terrenget. Det vurderes at de kryssende veiene både kan virke som flomveier fra kritiske punkter, men også avskjære vann fra oppstrøms terreng og samle større mengder vann. Grunnet lite definerte flomveier vurderes det at både veiene i området og nedstrøms bebyggelse kan bli berørt ved stor vannføring og flomvann på avveie fra kritiske punkter.

Langs Øvrevegen er det identifisert flere punkter klassifisert med *middels* eller *høy risiko*. Det er også her varierende kapasitet og tilstand på inntak, samt diffuse flomveier. Det vurderes at nedstrøms bebyggelse, veier eller utløsningsområder for jordskred kan påvirkes av vann på avveie.

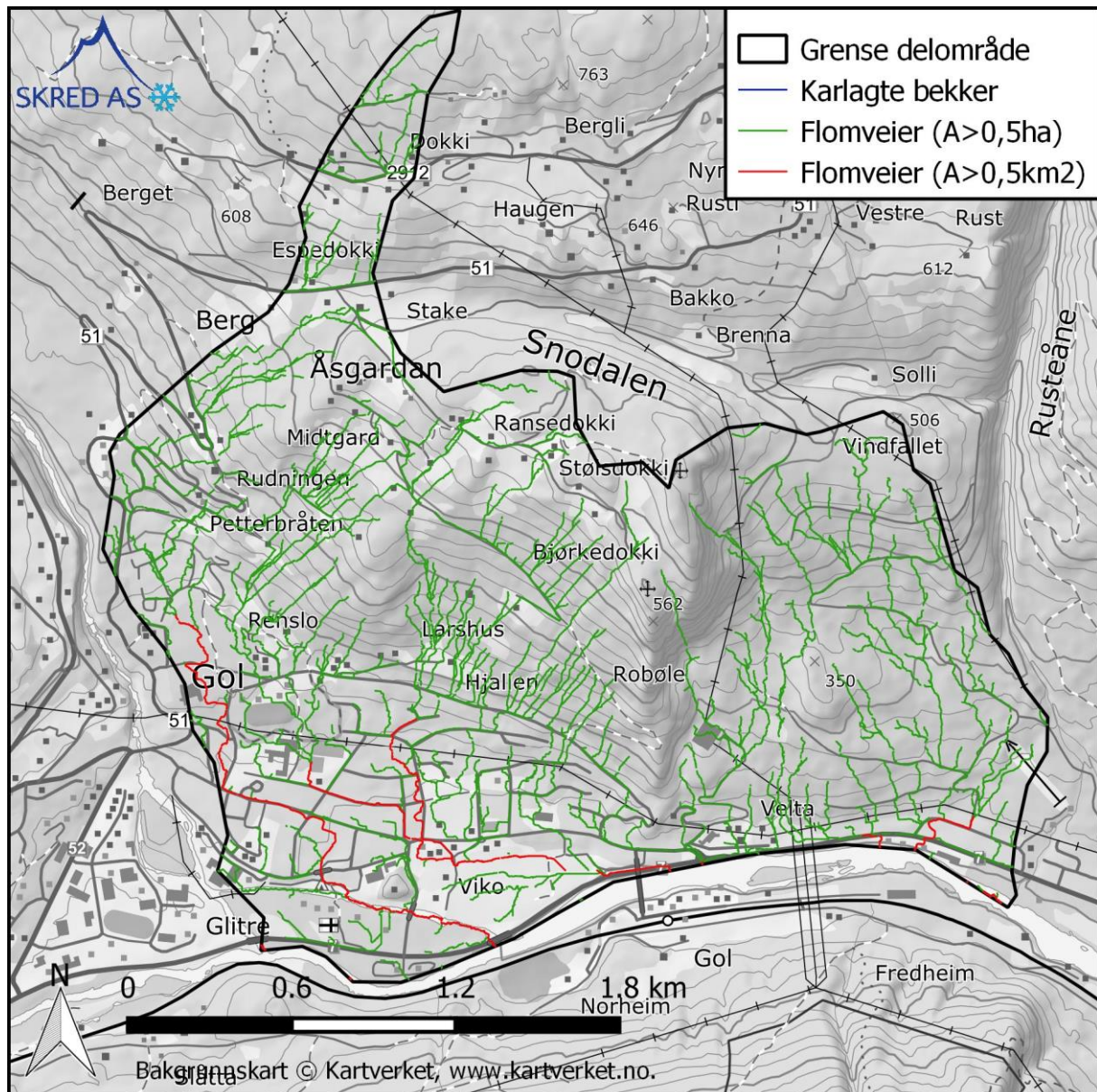


Figur 10: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde D.

7.6 E – Åsgarden og sentrum

Det er i delområdet E ingen bekker med feltstørrelse som er en del av kartleggingen. Delfetlet er bratt og i nedre del (sentrum) er det et stort innslag av tette flater. Ved kraftig nedbør og/eller snøsmelting forventes det høy belastning på overvannsystemet og mulig aktivisering av flomveier. Vi har fått informasjon om at det tidligere har vært problemer med flombekker som krysser Tronderudvegen, spesielt et løp ned fra Hjallen, der eiendommer har blitt berørt.

Figur 11 viser de genererte flomveiene i delområdet. Det anbefales å gjennomføre en detaljert kartlegging av flomveier for å identifisere eventuelle problemområder og avbøtende tiltaket. Flomveier må sees i sammenheng med det lukka overvannsystemet.

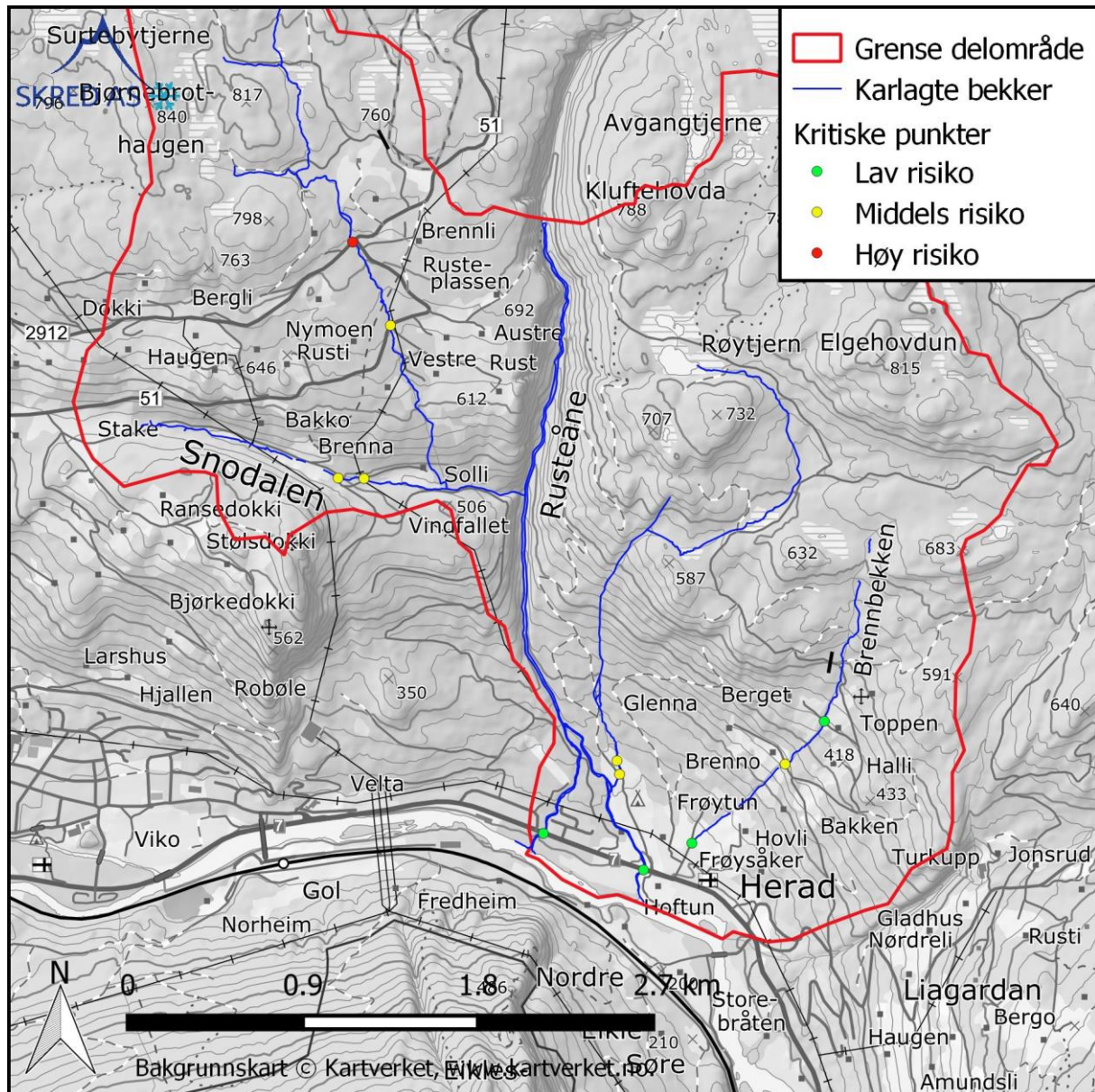


Figur 11: Oversikt over genererte flomveier i delområde E.

7.7 F – Snodalen, Rusteåna og Herad

Det er i delområde F identifisert 11 kritiske punkter der ett av de er klassifisert med *høy risiko*. Oversikt over punktene er vist i Figur 12. Punkt F.1.3 er klassifisert med *høy risiko* da vann på avveie her vurderes å kunne påvirke nedstrøms bebyggelse grunnet diffus flomvei. Før utløpet i Hallingdalselva krysser Rusteåna over en vifteformasjon i to løp. Krysningpunktene av Rv. 7 er ikke detaljvurdert (kapasitetsberegning krever en detaljert analyse) og på bakgrunn av viftas karakteristik vurderes hele formasjon som potensielt flomutsatt, til tross for at den ikke er dekket fullt ut av NVE sin aktsomhetsone for flom eller det er identifisert punkter med *høy risiko* her.

Større områder langs de vurderte bekkene i delområdet ligger innenfor NVE sine aktsomhetssoner for flom. Ved etablerings av ny bebyggelse innenfor eller nært disse sonene bør det utføres detaljerte flomfarevurderinger.

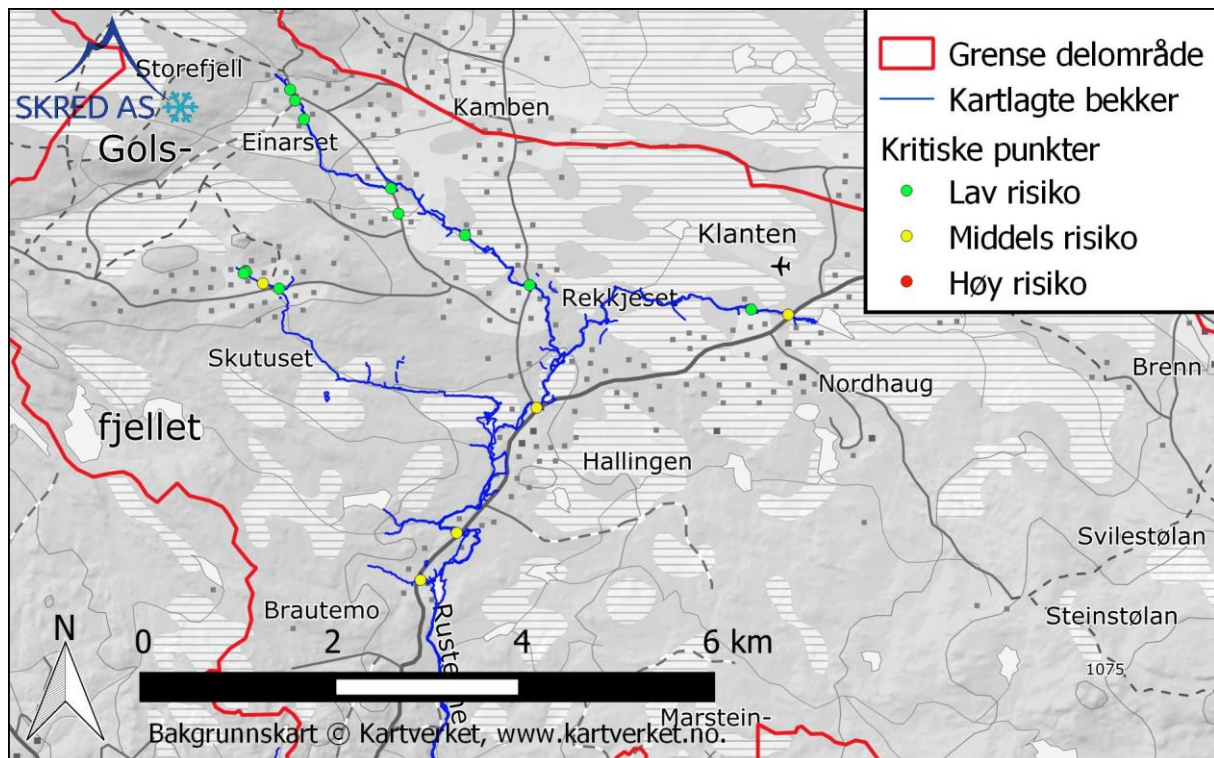


Figur 12: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde F.

7.8 G – Hallingen og Golsfjellet

Det er i delområde G identifisert 17 kritiske punkter der ingen er klassifisert med *høy risiko*. Oversikt over punktene er vist i Figur 13. Punkter klassifisert med *Middels risiko* er i stor grad knyttet til bruer der konsekvens kan være stenging av veg. Det kreves detaljerte hydrauliske beregninger av kryssingene for å kunne vurdere kapasitet, men inntrykket fra befaringen er at et par av krysningene virker å ha noe begrenset lysåpning (G.3.1 og G.3.3).

Vassdragene i delområdet har generelt en slak karakteristikk med større myrområder, sprett hyttebebyggelse og lite infrastruktur. Store områder er dekket av aktsomhetssoner for flom, som skyldes den flate karakteristikken. For eksempel kan liten kapasitet/tilstopping av en bru eller stikkrenne føre til at større områder oppstrøms oversvømmes.



Figur 13: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde G.

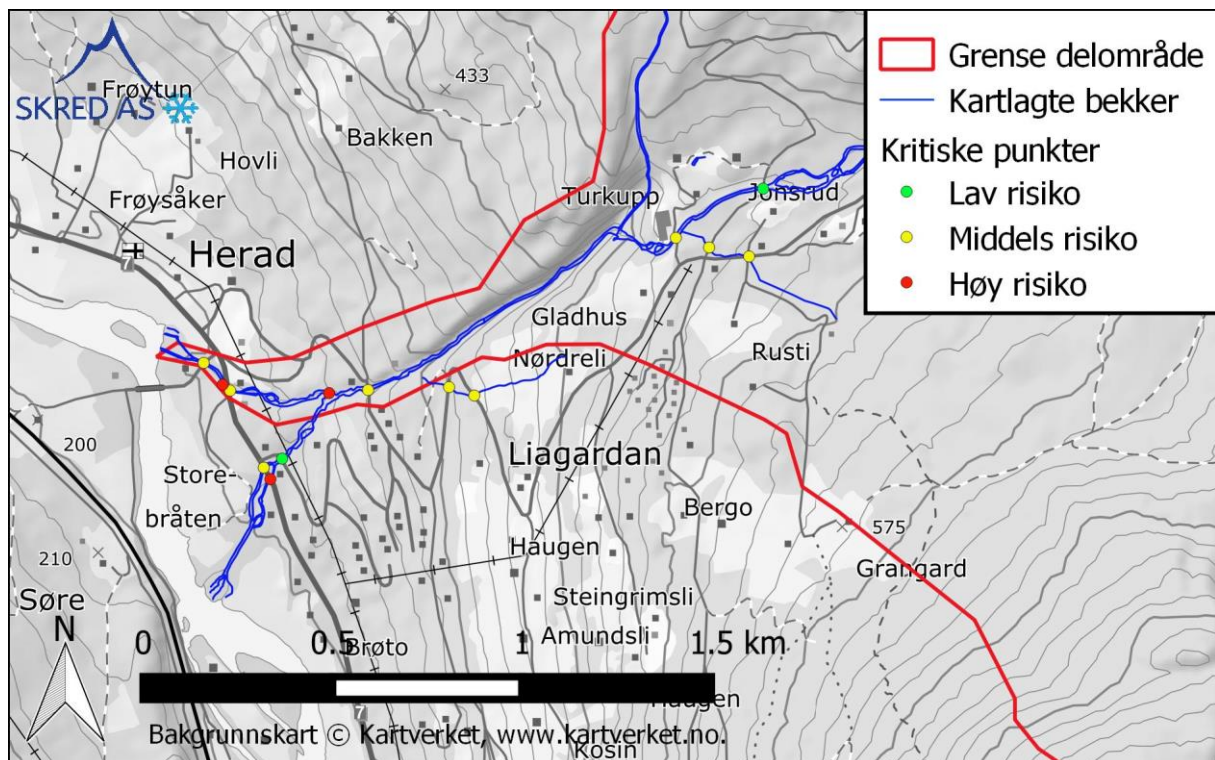
7.9 H – Liaåne

Det er i delområde H identifisert 14 kritiske punkter der 3 er klassifisert med *høy risiko*. Oversikt over punktene er vist i Figur 15. I dag går hovedløpet til Liaåne i det søndre løpet over vifteformasjonen. Elvesplittingen (H.1.2) vurderes som spesielt kritisk da en delvis tilstopping/avlgring av masser her kan lede større vannmengder til det nordre løpet (nordre løp kan bli hovedløp). Kryssende bruer i det nordre løpet har mindre lysåpning enn det søndre og forventes således under en situasjon med tilstopping av søndre løp å være kritisk.

I elvesvingen nedstrøms utløpet til brua i det nordre løpet er det registret pågående erosjon i elvekant (H.1.5). Ved flom i Liaåne kan det forekomme betydelige erosjonsskader, da hastighetsgradienten gjennom brua ledes direkte mot elvekant. Om store vannmengder ledes i det nordre løpet kan erosjon utgjøre en fare for bebyggelse på viften. Ny bebyggelse virker å være planlagt nærmere elvekant enn 20 meter, som kan være kritisk. Før det gjøres tiltak på vifteformasjonen bør det utføres en detaljert farevurdering for å få et bilde av reell fare. I noen sidebekker til Liaåne er det identifisert punkter som vurderes til *middels risiko*. Konsekvens her vurderes i hovedsak å være stenging av veg. Figur 14 viser bilde av elvesplittingen på vifta (H.1.2) og elvekant med pågående erosjon (H.1.5).



Figur 14: Elvesplitting til venstre (H.1.2) og erosjon mot boligbebyggelse til høyre (H.1.5).



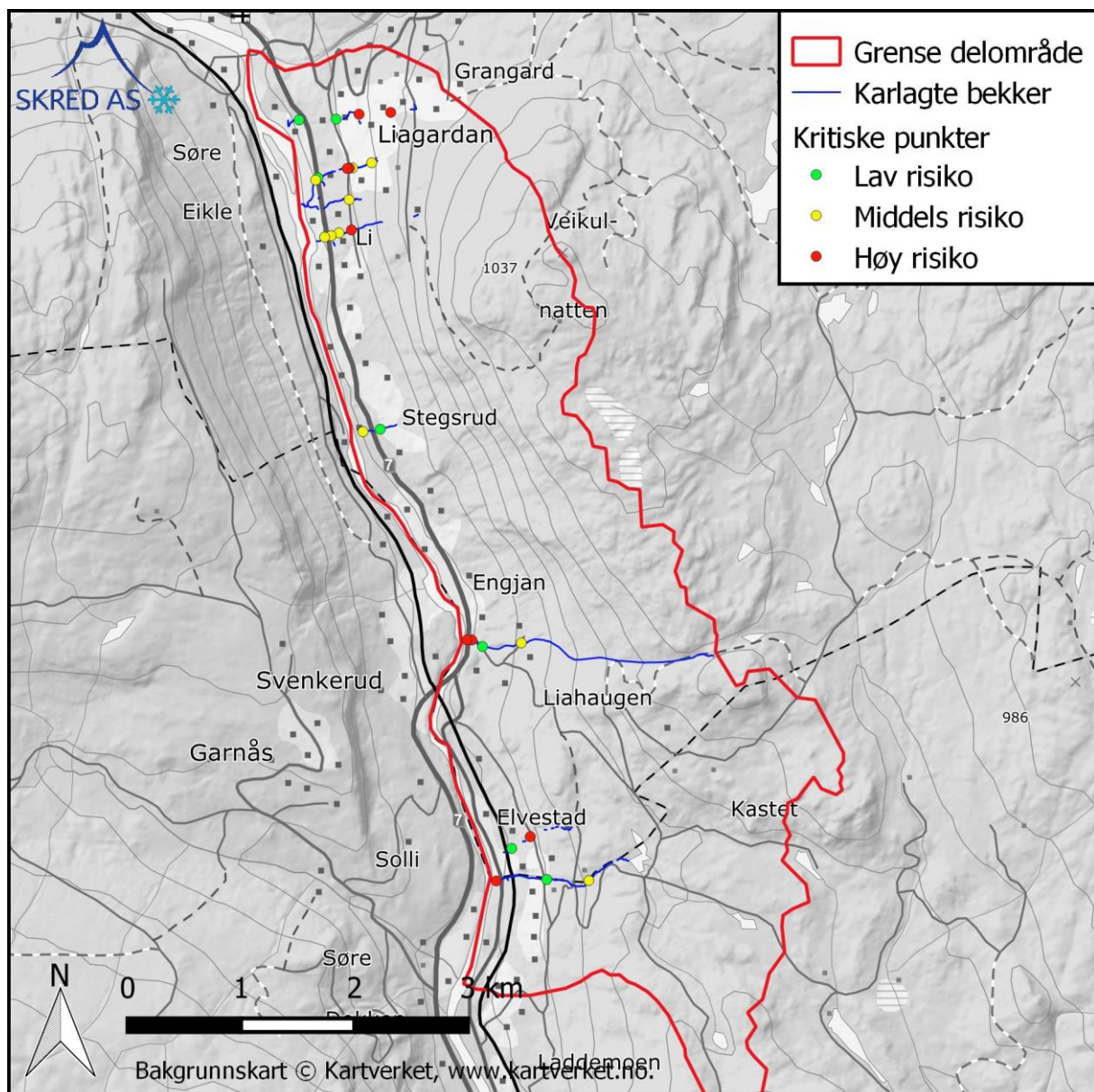
Figur 15: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde H.

7.10 I – Liagardane, Engene og Elvestad

Det er i delområde I identifisert 26 kritiske punkter der 9 er klassifisert med *høy risiko*. Oversikt over punktene er vist i Figur 16. I nordre del av delfeltet er det flere veier som virker avskjærende i terrenget. Analysene viser at mulige flomveier både kan påvirke bebyggelse

samt lede vann på avveie mot utløsningsområder for skred. Det er flere avskjærende veier og stikkrenner som ikke er en del av kartleggingen og som vurderes å kunne være kritiske med tanke på vann på avveie mot utløsningsområder. Det inkluderer spesielt veien mellom Bego og Viddi. For å redusere faren for vann på avveie i dette området vurderes det som vesentlig å ha kontroll og sikre god kapasitet på drensveier, stikkrenner og flomveier.

I nedre del av Latebekken er det identifisert to punkter med *høy risiko* der stikkrenner har liten kapasitet og konsekvens kan være vann på avveie over Rv. 3. Sør i delområdet er det også identifisert to punkter med *høy risiko* i Krusetjernbekken og bekk fra Nordre Rensla, hvor Rudvegen og bebyggelse kan bli berørt ved vann på avveie.



Figur 16: Oversikt over identifiserte kritiske punkter i delområde I.

8 Referanser

- Bratlie, 2015 Beregning av flomveier med eksempler brukt i kommunal forvaltning. Kart og Plan 1-2015.
- Norsk Klimaservicesenter, 2017. Klimaprofil Buskerud. Juli 2017. URL <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofil-buskerud/attachment/12029?ts=15dcb13f302>
- NVE, 2011 NVE retningslinjer 4-2011. Retningslinjer for flomberegninger.
- NVE, 2015a NVE Veileder 3-2015 «Flaumfare langs bekker – Råd og tips om kartlegging».
- NVE, 2015b NVE Rapport 97-2015. Anbefalte metoder for flomberegninger i små uregulerte nedbørfelt. NVE
- NVE, 2016 Klimaendring og framtidige flommer i Norge. NVE rapport 81-2016.
- SINTEF, 1992 Flomberegning og kulvertdimensjonering. Vann og avløp September 1992 STF60 A92101