

Til: Ringerike kommune
v/ Marius Karlsen og Yngvild Skjeldnes
Kopi til: NVE v/Martin Nørman Jespersen
Dato: 2023-08-22
Rev.nr. / Rev.dato: 1 / 2023-08-23
Dokumentnr.: 20230463-02-TN
Prosjekt: Geoteknisk og hydrologisk bistand i forbindelse med flom i Hønefoss
Prosjektleder: Marius Mathisen Søvik
Utarbeidet av: Cletus Christopher Blum, Jørgen Løkken Skaatan, Marius Mathisen Søvik og Ingar Haug Steinholt
Kontrollert av: Håkon Heyerdahl

Vurdering av stabilitet mot Randselva

Innhold

1	Innledning	2
2	Grunnlag	3
2.1	Skredhendelser	3
2.2	Utførte grunnundersøkelser	4
2.3	Bunnkartlegging	4
3	Stabilitetsberegninger og forutsetninger	
3.1	Lagdeling	5
3.2	Udrenerte styrkeparametere	5
3.3	Drenerte styrkeparametere	6
3.4	Poretrykk	7
4	Stabilitetsberegninger	8
5	Vurdering av evakueringsområde	9
6	Mulige sikringstiltak	10
6.1	Sikring av erosjonshull	10
6.2	Sikring av elvebredden	11
7	Oppsummering	11
8	Referanser	11

Kontroll- og referanseside

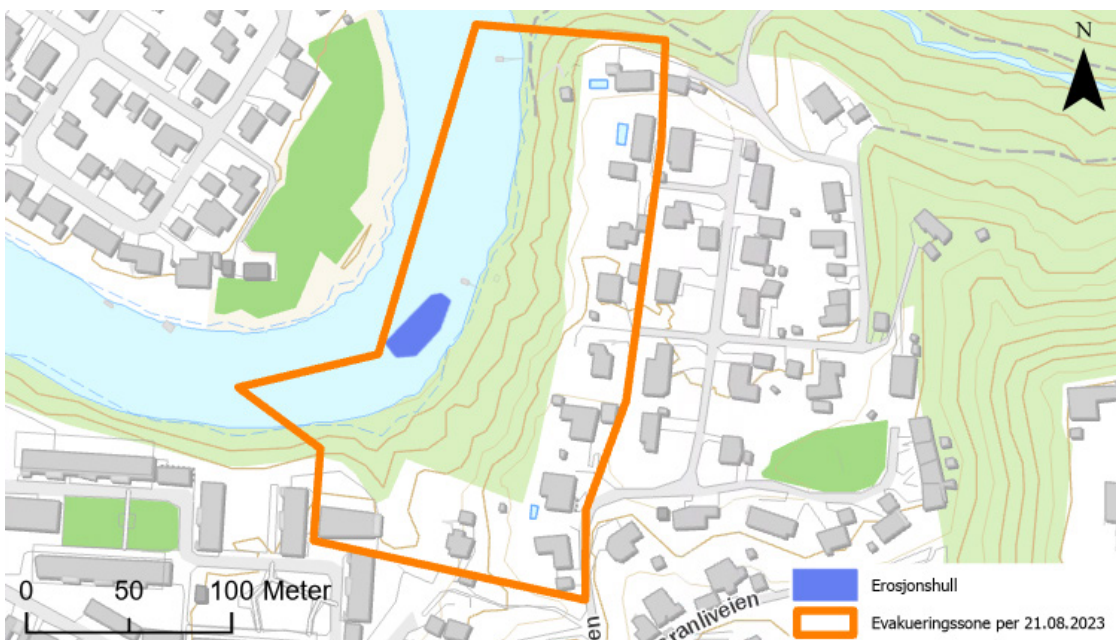
1 Innledning

Ekstremværet «Hans» har herjet Sør-Norge den siste tiden. NGI har bistått Ringerike kommune med vurdering av skredfare siden lørdag 12. august 2023.

Deler av området kalt «Livveien» har vært evakuert siden 9. august som følge av usikkerhet knyttet til skredfare som følge av flom og erosjon. Boligområdet ligger på toppen av skråningen fra Randselvas yttersving, noe som øker faren for erosjon i skråningen.

Grunnet svært høy vannføring er det p.t. ikke mulig å vurdere erosjon basert på visuelle observasjoner fra land eller fra lufta. Hydrateam, på vegne av NVE, har derfor bistått med skanning av elvebunnen. Skanningen gir grunnlag for å kunne vurdere om flommen har ført til økt erosjon av elvebunnen, og følgelig økt sannsynlighet for skred.

Hydrateam har gjort skanning av elvebunn i 2020 og august 2023 (etter ekstremværet «Hans»). I tillegg har det blitt utført flere målinger av elvebunnen i regi av NVE i 2012 og 2016. Målingene viser at det har oppstått et erosjonshull på bunn av Randselva i yttersving en gang i perioden 2020-2023 og muligens like etter «Hans», vist på Figur 1.



Figur 1: Deler av Livveien er evakuert på bakgrunn av pågående flom. Erosjon er kartlagt langs bunnen av Randselva (omtrentlig geometri er vist i polygon).

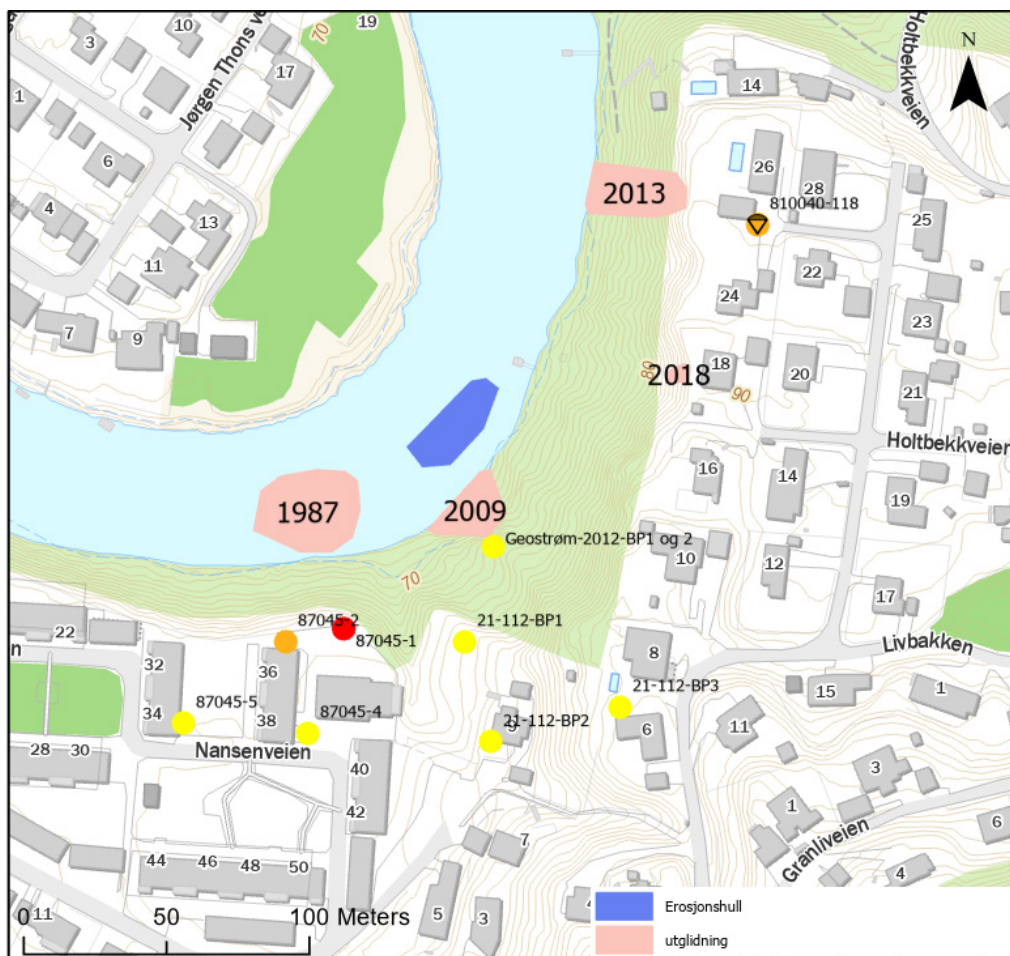
Ringerike kommune ønsker at NGI vurderer faren for skred ned mot Randselva i området vist på Figur 1. Foreliggende notat gir en vurdering av stabilitet av skråningen.

2 Grunnlag

2.1 Skredhendelser

Kjente tidligere skredhendelser i området er vist på Figur 2.

- Det er registrert en utglidning i Randselva i 1987 nedenfor Nansenveien 14 (NGI, 1988).
- I 2009 ble det utført befaring med båt langs Storelva og Randselva (NGI, 2009), og en utglidning i leirige masser er observert. Lokasjon er usikker, men det ser ut til at en ny utglidning har løsnet samme sted i 2012 (NVE, 2012).
- Det er registrert en utglidning i 2013 ut mot Randselva på <https://atlas.nve.no>. Det er gitt lite detaljert informasjon om denne hendelsen, men det er gitt en geometri av skredet.
- En grunn overflateutglidning har i 2018 løsnet nedenfor Livveien 18 (Rambøll, 2019).



Figur 2: Registrerte utglidninger i området (rosa med årstall). Erosjonshullet er vist med mørkeblå farge ute i Randselva. Utførte grunnundersøkelser med tolkning av kvikkleire er også vist i området (grønn = påvist ikke-kvikk leire, gul = tolket ikke-kvikk leire, oransje= tolket kvikkleire, rød = påvist kvikkleire).

2.2 Utførte grunnundersøkelser

Plassering av utførte grunnundersøkelser i området er vist på Figur 2.

NGI, på oppdrag for Ringerike kommune, har utført felt- og laboratorieundersøkelser, samt beregning av skråningsstabilitet (NGI, 1988). Det er utført fire sonderinger i området. Kvikkleire er påvist i borpunkt 87045-2 på kote +56, altså under elvebunn (kote +60-63).

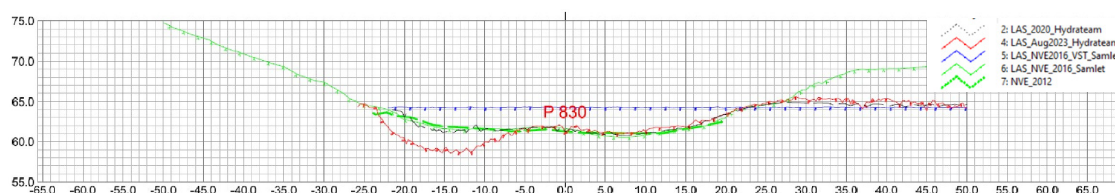
På oppdrag for Statens naturskadefond har NGI kartlagt områder i Hønefoss med potensiell fare for kvikkleireskred (NGI, 1994). I nærheten av aktuelt område er det utført én dreietrykksondering; borpunkt nr. 810040-118. Det er tolket leire som kan være kvikk med dybden, men dette er ikke bekreftet med prøver.

Etter en utglidning i 2012, har Geostrøm AS utført to dreietrykksonderinger på vegne av NVE like ved utglidningen markert "2009" på Figur 2 (NVE, 2012). Nøyaktig plassering av sonderingene er ikke mulig å fastslå, men leira er tolket å ikke være kvikk/sprø.

Innlandet Geoteknikk AS har utført felt- og laboratorieundersøkelser (Innlandet Geoteknikk AS, 2021a) ifm. planlagt oppføring av boligbygg på adressen Skogfaret 9 i Hønefoss. I samme prosjekt er det også gjort vurdering av områdestabilitet for området (Innlandet Geoteknikk AS, 2021b). Det er utført boringer i tre punkter, borpunkt nr. hhv. 21-112-BP1 tom. -BP3. Det er tatt prøver som er påvist ikke-kvikke, med laveste målte omrørte skjærfasthet (S_{UR}) på 6.4 kPa. Grunnen til at boringene er merket som «gule» på Figur 2, altså at grunnen er tolket til å være ikke-kvikk, er at det ikke er tatt prøver under elvenivå. Dermed kan det ikke utelukkes at det finnes kvikkleire under det prøvetatte nivået (kote +61.8).

2.3 Bunnkartlegging

Kartlegging av bunnforhold langs Randselva er utført av Hydrateam. Det er blant annet gjort kartlegging i 2012, 2016, 2020 og senest i august 2023, etter ekstremværet «Hans» (Hydrateam, NVE, 2023). Erosjonshullet er tydeligst i profil P830, der differansen mellom elvebunn i 2020 og 2023 er 3 meter. Området med kartlagt erosjon er vist med mørkeblå farge på kartet i Figur 2.



Figur 3: Resultater av kartlegging av bunnforhold i Randselva, fra 2012 og frem til august 2023 (Hydrateam, NVE, 2023). Profilet viser et erosjonshull med dybde 3 m under tidligere elvebunn (rød linje).

Basert på 1988-borpunktene (NGI, 1988), eroderer ikke elva direkte i kvikkleire. Kvikkleire tolkes å ligge enda et par meter under elvebunn enn erosjonshullet.

3 Grunnlag for stabilitetsberegninger

3.1 Lagdeling

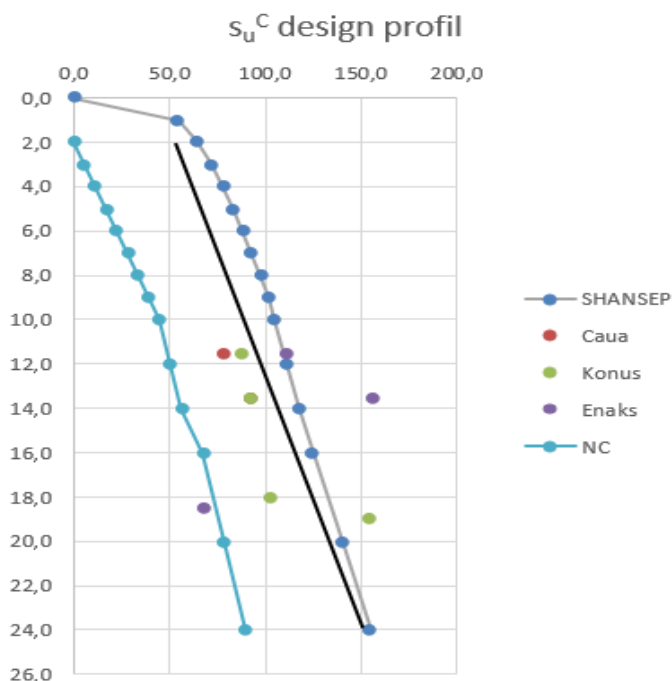
Grunnen er lagdelt, hovedsakelig bestående av leirmasser. Leiren har stedvis innhold av silt, sand og grus. For de utførte stabilitetsberegningene, er det antatt ett sammenhengende lag bestående av leirig/siltig/sandig materiale.

3.2 Udrenerte styrkeparametere

Udrenerte styrkeparametere er tolket ut fra utførte sonderinger (CPTu), poretrykkmålinger og laboratorieforsøk (hhv. treaksialforsøk (CAUa), konusforsøk og enaksiale trykkforsøk fra prøver tatt opp i borpunkt 1 og 3).

Treaksialforsøket er imidlertid konsolidert til lavere effektivspenninger enn de faktiske in-situ forhold. Det legges derfor lite vekt på resultat av treaksialforsøket (CAUa).

Tolkning av aktiv udrenert skjærfasthet i borpunkt 1 er vist i Figur 4. Det er spesielt lagt vekt på SHANSEP-tolkning (dvs. vurdering av skjærfasthet hvor det tas hensyn til overkonsolidering av grunnen), som stemmer godt overens med konusforsøk og enaksiale trykkforsøk. Ut fra foreliggende laboratoriedata, later grunnen til å være noe overkonsolidert.

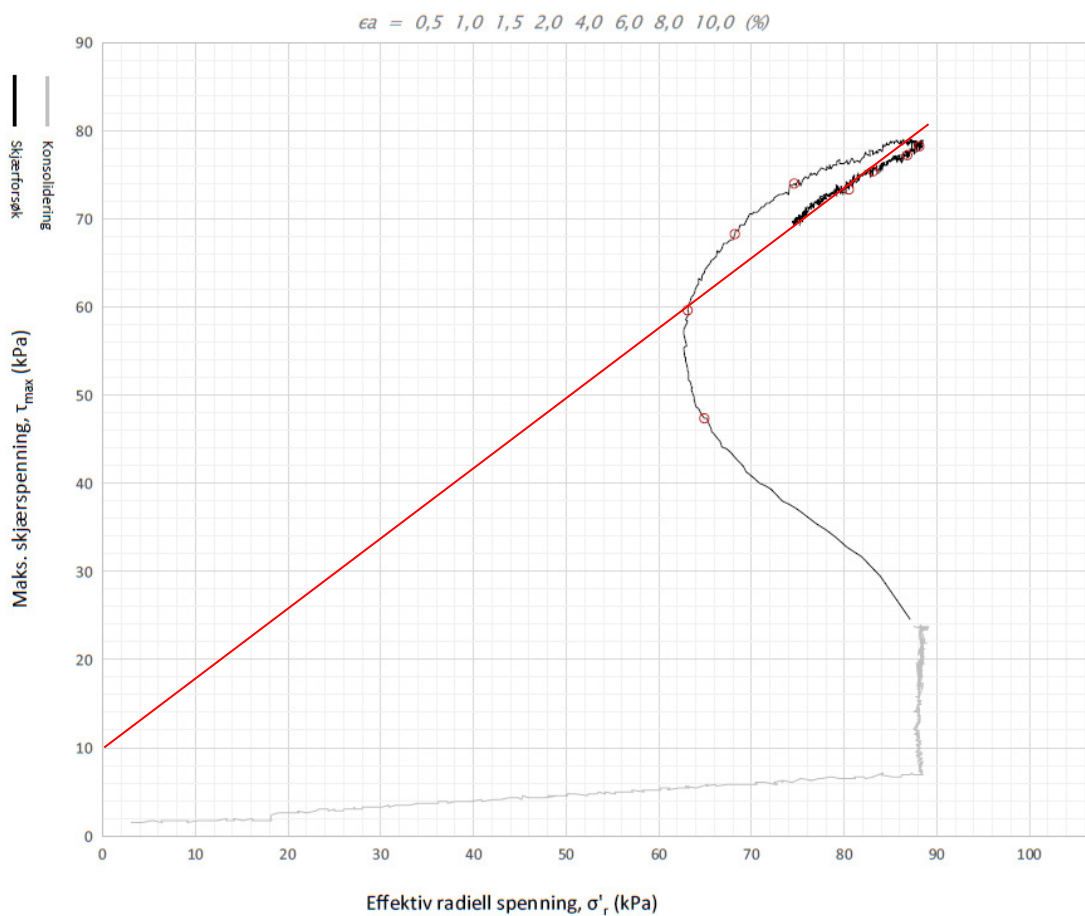


Figur 4: Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet (svart linje er brukt i stabilitetsberegning).

For anisotropifaktorer er det benyttet standardverdier for lavplastiske leirer, gitt av NIFS rapport 14/2014 (NIFS, 2014). Forholdet mellom aktiv skjærfasthet og hhv. direkte/passiv skjærfasthet er $S_{uD}/S_{uA} = 0.67$ og $S_{uD}/S_{uA} = 0.35$.

3.3 Drenerte styrkeparametere

Drenerte styrkeparametere er basert på treaksialforsøk utført i borpunkt 1, vist i Figur 5. Drenerte parametere benyttet i stabilitetsberegningene, er oppsummert Tabell 1.



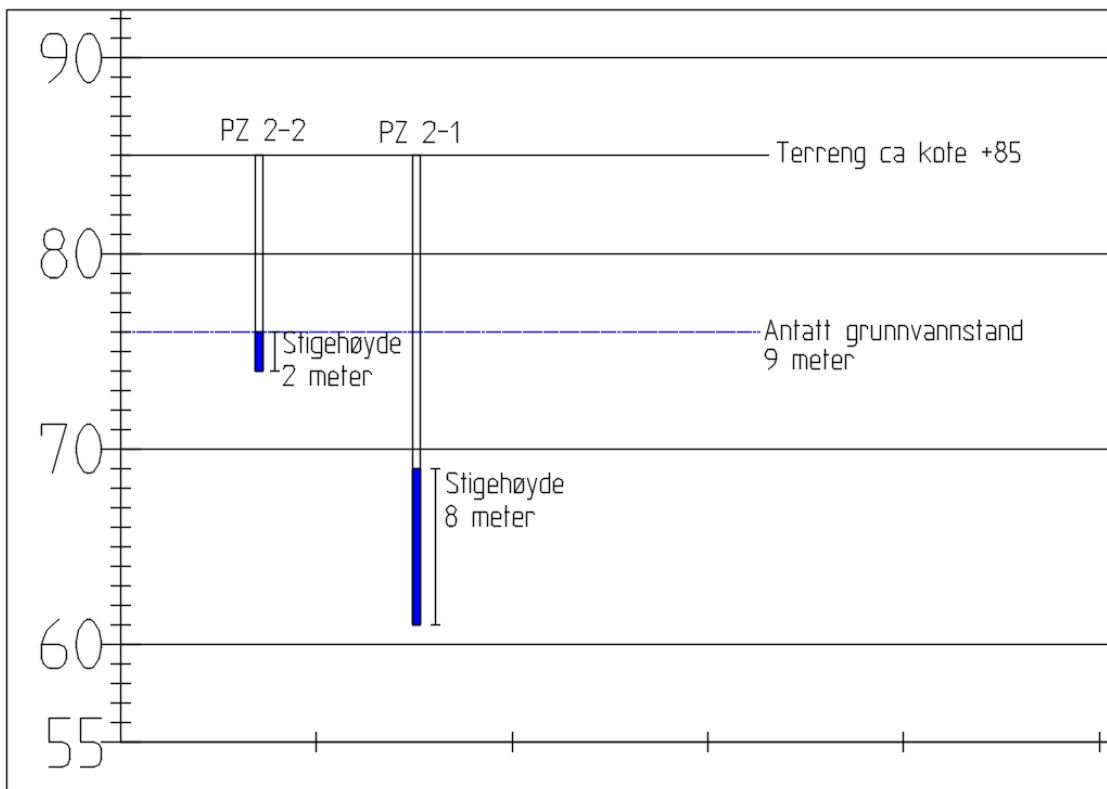
Figur 5: Treaksialforsøk (CAUa) fra 11,5 m dybde i borpunkt 21-112-1 (Innlandet Geoteknikk AS, 2021a). Bruddlinje med $\varphi' = 25$ grader og $c' = 10$ kPa er tegnet med rød linje.

Tabell 1: Drenerte styrkeparametere for leire.

Materiale	Egenvekt	Friksjonsvinkel	Kohesjon
Leire	20 kN/m ³	25°	10 kPa

3.4 Poretrykk

Det er målt poreundertrykk og grunnvannstand på omtrent 9 meters dybde under terreng. Resultatet er basert på målt poretrykk i 2 stk. poretrykksmålere som er installert på to ulike dybder i borpunkt 2 (topp på kote +84.75). Poretrykket stiger fra 20 kPa på 11 meters dybde til 80 kPa på 24 meters dybde (Figur 6).



Figur 6: Poretrykksmålere i borpunkt 2 indikerer grunnvannstand på 9 meters dybde og betydelig poreundertrykk (dvs. at poretrykket øker med < 10 kPa per meter).

Dersom man antar at poretrykket øker lineært med dybden, skulle dette tilsi en økning i poretrykk med dybden tilsvarende 5,5 kPa/m. Utført trykksondering (CPTu) indikerer flere tynnere sjikt med sand/grus og disse sjiktene med høyere permeabilitet kan forklare hvorfor poretrykket ikke er høyere.

4 Stabilitetsberegninger

Det er utført drenerte og udrenerte stabilitetsberegninger i ett profil (A-A'). Utførte beregninger er vist i Figur 7 og Figur 8. Plassering av profilet er vist på Figur 9.

Beregningene er utført med utgangspunkt i elvebunnens opprinnelige tilstand, og med oppdatert vurdering av bunnforhold (hhv. stabilitet med og uten erosjonshullet som er kartlagt ved oppmåling av elvebunnen etter «Hans»).

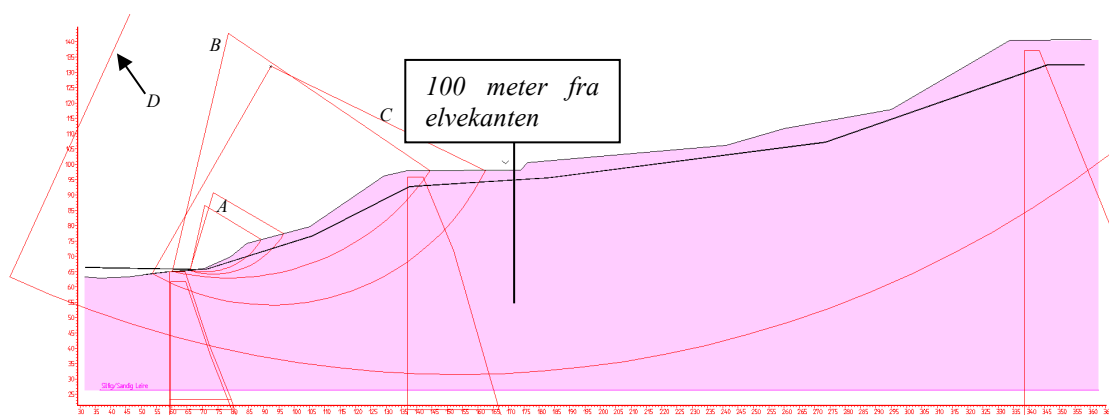
Det er som ventet lavere beregningsmessig sikkerhet i skråningen i dag, enn tilfellet var før erosjonshullet oppstod (Tabell 2).

Tabell 2: Resultater av stabilitetsberegningene. Kolonnen til høyre viser prosentvis endring i beregnet sikkerhetsfaktor for dagens situasjon (med erosjonshull) sammenliknet med tidligere situasjon (uten erosjonshull).

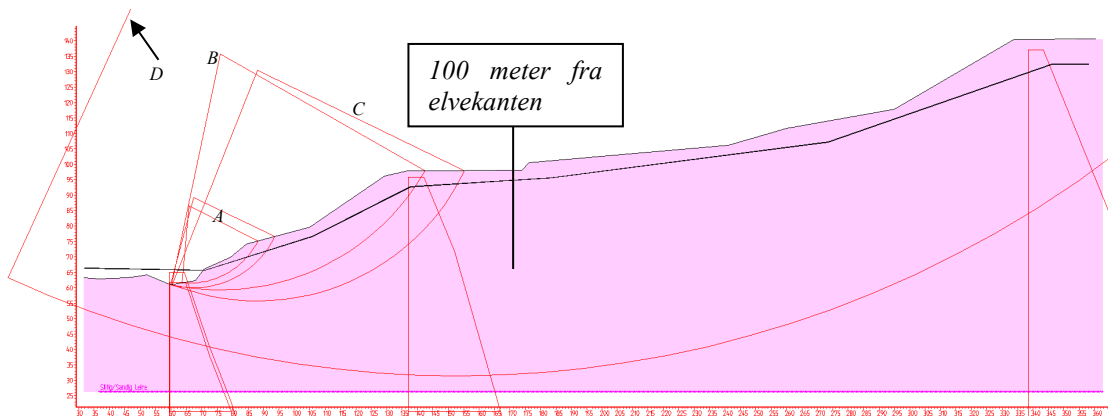
Beregning	Stabilitet
A) Drenert analyse, lokalt på elvenivå	Ca 2 % forverring
B) Drenert analyse, opp til ca kote +100	Ca 6 % forverring
C) Udrenert analyse, opp til ca kote +100	Ca 4 % forverring
D) Udrenert analyse, hele skråningen (opp til ca kote +140)	Uendret

Det er flere usikkerheter i beregningene. Det er blant annet gjort en konservativ tolkning av grunnforhold basert på et fåtall borpunkter. Dessuten har erosjonshullet en begrenset utstrekning med cirka 15 m bredde, mens beregningen er utført i et 2D-profil der erosjonshullet er «uendelig bredt/langt». Beregningen blir dermed noe konservativ.

Usikkerhetene til tross, er det likevel hensiktsmessig å sammenlikne resultatene av beregningene for å kunne vurdere stabiliteten i dag sammenliknet med stabiliteten før erosjon i elvebunn.



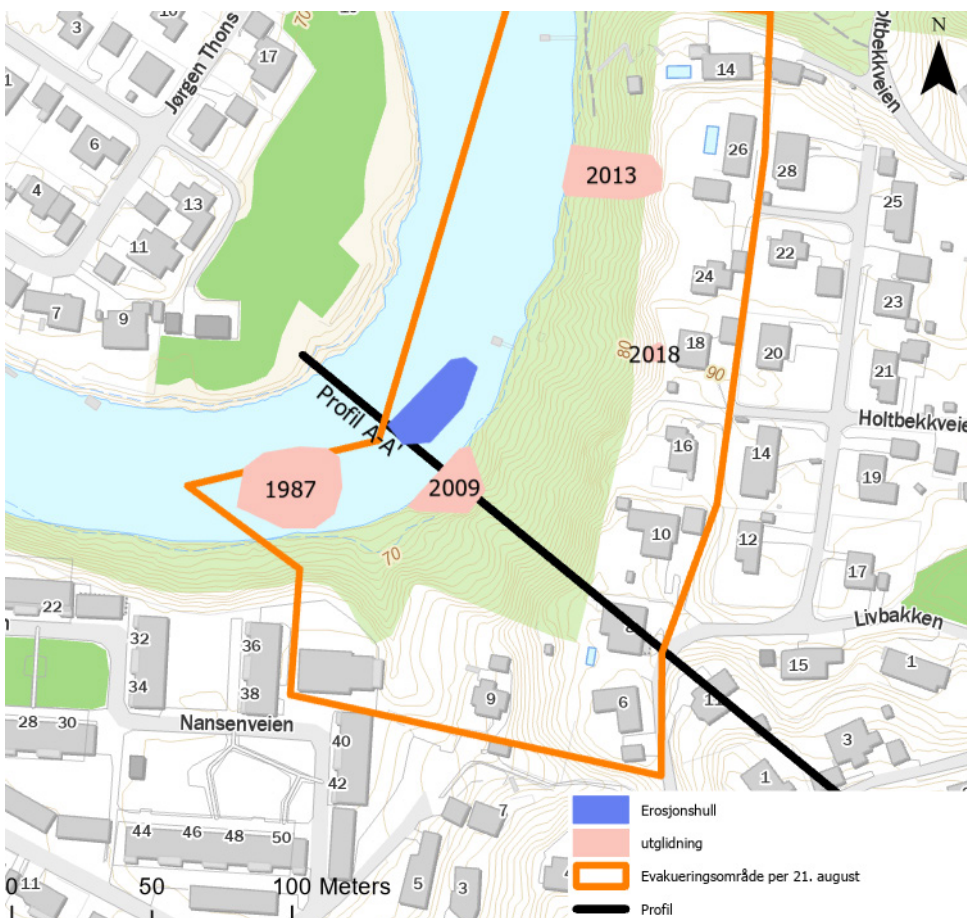
Figur 7: Stabilitetsberegninger av skråningen før utviklingen av erosjonshull.



Figur 8: Stabilitetsberegninger av skråningen etter utviklingen av erosjonshull (dagens tilstand).

5 Vurdering av evakueringsområde

Området ved Livveien har vært evakuert siden 9. august. Bakgrunnen for evakuering er først og fremst fare for skred. I skrivende stund (23.08.2023) er området vist i Figur 9 fortsatt evakuert (Ringerike kommune, 2023).



Figur 9: Evakueringsområde slik det fremgår per 21. august.

NGI har beregnet at erosjonshullet medfører 4-6 prosent forverring av stabiliteten for en glideflate med bakkant i en avstand på 100 meter fra elva. Basert på at stabiliteten er (litt) forverret, virker evakueringsområdet til kommunen rimelig.

Det er opp til Ringerike kommune å bestemme hva som kreves før folk kan flytte tilbake igjen med hensyn til skråningsstabilitet. Hittil har kommunen vurdert at folk kan flytte tilbake igjen dersom sikkerheten av skråningene er tilnærmet som før ekstremværet.

Situasjonen vil i dette tilfellet være tilnærmet som før ekstremværet etter at man evt. har fylt igjen erosjonshullet med egnede masser. Dette er beskrevet mer i detalj i delkapittel 6.1.

Selv om ekstremværet «Hans» ikke har forårsaket nye utglidninger langs Randselva, vil NGI anbefale at yttersving av elvebredden oppstrøms og nedstrøms sikres (se delkapittel 6.2).

6 Mulige sikringstiltak

Det anbefales å iverksette tiltak for å hindre videre erosjonsutvikling. Dersom tiltak ikke utføres, vil erosjonshullet kunne fortsette å utvikle seg, noe som over tid kan øke faren for skred.

Randselva er et typisk eksempel på en meandrerende elv som avsetter masser i innersving, og eroderer i yttersving. Erosjon er helt normalt, men erosjonen kan forverre stabiliteten av skråningene langs elva. Både den laterale og vertikale erosjonen bør begrenses, da begge vil kunne forverre skråningsstabiliteten.

6.1 Sikring av erosjonshull

For å hindre videre utvikling av erosjonshullet, kan det fylles igjen med masser som er tunge nok (dvs. grove nok) til å motstå erosjon fra vannmassene. Det er viktig at bunnsikringen forlenges både oppstrøms og nedstrøms for det opprinnelige erosjonshullet for å kompensere for endrede hydrauliske egenskaper i området. Vannhastigheten er relativt lav i dette området (antatt 1-3 m/s). Det må gjøres beregninger av stabil steinstørrelse for erosjonssikringen, for å forsikre at man ikke legger ut erosjonsutsatte masser på elvebunnen. En slik beregning er ikke inkludert i dette notatet.

Erosjonssikringen vil i første rekke stoppe videreutvikling av erosjonshullet, og slik forhindre en gradvis forverring av stabilitetsforholdene for glideflater som slår ut i elvebunnen. Oppfylling med masser i erosjonshullet vil også medføre en noe forbedret stabilitet av skråningen (dvs. bringe stabiliteten tilbake mot tidligere nivå).

Erosjonssikringen kan legges ut fra lekter. Utlegging av stein på elvebunn vil ikke forverre stabiliteten. Snarere tvert imot, vil stabiliteten bedres litt dersom erosjonshullet

fylles med stein (tilbake til det sikkerhetsnivået det var før erosjonshullet oppstod). Ikke minst, vil videre erosjon på elvebunnen stoppe opp her.

6.2 Sikring av elvebredden

Tidligere eksempler i 1987 og 2009 viser naturlig utløste skred i området, trolig pga. erosjon. Skredet fra 2013 og 2018 er utløst som følge av nedbør.

For å forhindre at nye skred løsner langsmed elven, må erosjonsprosessen stoppes.

Før elvebredden erosjonssikres, bør datagrunnlaget utbedres og grunnundersøkelser utføres. Omfang og behov for sikring sees i sammenheng med resultater fra grunnundersøkelser. I første omgang anbefales det derfor at det utføres grunnundersøkelser (sonderinger for tolkning av lagdeling og opptak av leirprøver for påfølgende testing i geoteknisk laboratorium).

Som nevnt er vannhastighetene her rundt 1-3 m/s, men det må likevel beregnes stabil steinstørrelse for å forsikre seg om at utlagte masser kan motstå både vanntrykk, lokal turbulens og isgang. Det vises til NVEs Sikringshåndbok for mer informasjon om prosjektering av slike tiltak (NVE, 2021).

7 Oppsummering

Det er gjort stabilitetsberegninger for skråningen mot Randselva i et område hvor det er påvist erosjon av elvebunnen under ekstremværet «Hans». Stabilitetsberegningene viser at sikkerheten i skråningen er noe forverret som følge av den kartlagte erosjonen. Grunnlaget for beregningene er noe begrenset, men resultatene vurderes likevel å være representative for situasjonen.

På bakgrunn av pågående erosjon, anbefales det sikringstiltak, i form av gjenfylling av erosjonshullet i kombinasjon med plastring av elvebunnen, samt grunnundersøkelser for å videre vurdere erosjonssikring lang elvebredden.

8 Referanser

Hydrateam, NVE. (2023). *Kartlegging av elvebrunn. Oversendt i flere eposter, datert 16. og 17. august.*

Innlandet Geoteknikk AS. (2021a). *Geoteknisk datarapport - Skogfaret 9. Dokumentnr. 21-112-1.*

Innlandet Geoteknikk AS. (2021b). *Utredning av områdestabilitet i Skogfaret 9, Ringerike kommune. Dokumentnr.: 21-112-2.*

NGI. (1988). *Nansenveien 14, Hønefoss. Grunnundersøkelser og stabilitetsvurderinger i anledning utrasing i Randselva.*

- NGI. (1994). *Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred. Rapportnr.: 810040-2.*
- NGI. (2009). *Befaringsrapport Storelva og Randselva. Dokumentnummer 20091249-00-5-TN.*
- NIFS. (2014). *Naturfareprosjekt Dp. 6 Kvikkleire "En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer" Rapport 14/2014.*
- NVE. (2021). *Sikringshåndboka.* Hentet fra <https://sikringshandboka.nve.no/>
- Ringerike kommune. (2023, august 8). Hentet fra <https://www.ringerike.kommune.no/innhold/flom-i-ringerike/omrader-som-har-blitt-evakuert/#heading-h2-3>
- Statens vegvesen. (2014). *Veiledning håndbok V220. Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger.*

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Vurdering av stabilitet mot Randselva		Dokumentnr./Document no. 20230463-02-TN
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical note	Oppdragsgiver/Client Ringerike kommune	Dato/Date 2023-08-22
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/Proprietary rights to the document according to contract NGI		Rev.nr. & dato/Rev.no. & date 1 / 2023-08-23
Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/Keywords Stabilitet, Randselva, Hønefoss, Skråningsstabilitet		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge, Viken	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Ringerike	Felt navn/Field name
Sted/Location Hønefoss	Sted/Location
Kartblad/Map 044S	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: 32 Øst: 570721 Nord: 6671023	Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/Self review by:	Sidemanns-kontroll av/Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/Inter-disciplinary review by:
0	Originaldokument	2023-08-22 Marius Mathisen Søvik	2023-08-22 Håkon Heyerdahl		
1	Reviderte formuleringer	2023-08-23 Marius Mathisen Søvik	2023-08-23 Ingar H. Steinholt		

Dokument godkjent for utsendelse/Document approved for release	Dato/Date 23. august 2023	Prosjektleder/Project Manager Marius Mathisen Søvik
---	-------------------------------------	---

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: GeoMiljø – Offshore energi – Naturfare – GeoData og teknologi

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Geotechnics and Environment – Offshore energy – Natural Hazards – GeoData and Technology.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

