

RAPPORT

Forskning og utvikling, FoU

Saltstabilisering av kvikkleire (SAK)

Arbeidspakke 2: Kost-/nytte og miljø

Prosjekteier:

Stjørdal kommune v/ Atle Horn

Prosjektleder:

Statens vegvesen v/ Tonje Eide Helle

Arbeidspakkeleder:

Norges Geotekniske Institutt v/ Marianne Kvennås

Rapportforfattere:

Statens vegvesen v/ Bob Hamel

Norges Vassdrags- og Energidirektorat v/ Stein-Are Strand og Arne Jørgen Kjøsnes

Norges Geotekniske Institutt v/ Marianne Kvennås og Bjørn Kristian Fiskvik Bache

Kvalitetssikrer:

Norges Vassdrags- og Energidirektorat v/ Toril Wiig

Prosjektbeskrivelse

Innovasjonsprosjektet «Saltstabilisering av kvikkleire (SAK)» har som mål å teste og utvikle en eller flere skånsomme og kostnadseffektive installasjonsprosedyrer for sikring av kvikkleireområder ved hjelp av saltbrønner. Prosjektet pågår fra høsten 2018 til utgangen av 2019, og er et samarbeid mellom Stjørdal kommune, Statens vegvesen, Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE), Bane NOR, Norges Geotekniske Institutt (NGI) og Multiconsult AS. SAK støttes av Regionale Forskningsfond Midt-Norge, og har en totalramme på 3,2 MNOK.

Saltet kaliumklorid kan brukes som et alternativ til dagens sikrings- og grunnforsterkningsmetoder i kvikkleireområder. SAK skal utvikle og teste ut ulike installasjonsprosedyrer for saltbrønner til sikring av kvikkleireområder. I tillegg vil SAK vurdere kost-/nytte og miljøgevinst av saltbrønninstallasjon som skredsikring kontra eksisterende sikringsmetoder.

Arbeidet er delt inn i tre arbeidspakker:

Arbeidspakke 1: Installasjonsmetoder

Arbeidspakke 2: Kost-/nytte og miljø

Arbeidspakke 3: Evaluering og anbefalinger

Forord

Denne rapporten omhandler Arbeidspakke 2 Kost-/nytte og miljø. Målsetningen med arbeidspakken er å vurdere kost-/nytte av saltbrønninstallasjon sammenlignet med topografiske tiltak og kalksementstabilisering, samt å beregne CO₂-utslippet for de ulike sikringsmetodene og verdien av å ivareta landskapstyper.

Prosjektgruppen i AP2 har bestått av:

Stjørdal kommune: Atle Horn

Statens vegvesen: Bob Hamel, Tonje Eide Helle

NVE: Stein-Are Strand, Toril Wiig

NGI: Marianne Kvennås, Bjørn Kristian Fiskvik Bache

Innhold

1	Innledning		4
2	Beskrivelse av kvikkleiresonen på Hegramo		5
2.1	Arealinngrep og omfang – topografiske tiltak	9	
2.2	Arealinngrep og omfang – kalksementstabilisering	9	
2.3	Arealinngrep og omfang – saltstabilisering	10	
3	Generelle forutsetninger for kostnads- og CO₂-beregninger		11
3.1	Beregning av mengder	11	
3.2	Beregning av kostnader	12	
4	Beregning av CO₂-utslipp for sikringsmetodene		14
4.1	Metodebeskrivelse	14	
4.2	Forutsetninger for beregninger	14	
4.3	CO ₂ -vurdering av stabilisering av kvikkleire ved Hegramo	14	
5	Nytte/kost-beregninger for sikringsmetodene		15
5.1	Metodebeskrivelse	15	
5.2	Forutsetninger for nytte/kost beregninger	15	
5.3	Nytte/kostvurderinger av sikring mot kvikkleireskred i Hegramo	16	
6	Vurdering av ikke prissatte konsekvenser		17
6.1	Landskapstyper og naturmangfold	17	
6.2	Kulturminne	20	
6.3	Naturressurser	22	
6.4	Nærmiljø og friluftsliv	22	
6.5	Oppsummering ikke prissatte konsekvenser	22	
7	Oppsummering og vurdering		23
8	Referanser		25

Vedlegg

Vedlegg A	NGI notat 20180146-01-TN rev.1 AP2 – Kostnadsberegning av stabilitetstiltak
Vedlegg B	Asplan Viak notat 621528-01 LCA KCl saltstabilisering
Vedlegg C	Forutsetninger for CO ₂ -ekv beregninger

1 Innledning

Denne rapporten oppsummerer arbeidet i Arbeidspakke 2 (AP 2) i FoU-prosjektet Saltstabilisering av kvikkleire (SAK) og omhandler vurdering av nytte-/kost og miljøgevinst av saltbrønninstallasjon som skredsikring.

SAK har som mål å teste og utvikle en skånsom og kostnadseffektiv installasjonsprosedyre for sikring av kvikkleireområder ved hjelp av saltbrønner. Konvensjonelle sikringsmetoder av naturlige skråninger i kvikkleireterreng medfører ofte store praktiske og miljømessige utfordringer. I tillegg kan de være svært kostbare. Som følge av dette har flere offentlige utbyggingsprosjekt blitt uforholdsmessig kostbare og i enkelte tilfelle blitt skrinlagt. Tilsetning av saltet kaliumklorid (KCl) i kvikkleire kan brukes som et alternativ til dagens sikrings- og grunnforsterkingsmetoder (Helle, 2017). Bruk av salt er lovende men det er nødvendig å utvikle metoder og prosedyrer for installasjon av saltbrønner, samt estimere kostnader knyttet til denne type sikringsarbeid.

I arbeidspakke 1 (AP 1) ble det testet ulike installasjonsmetoder for etablering av saltbrønner, med ulik måte å tilføre saltet. Dette arbeidet er dokumentert i rapport fra AP1 (Stjørdal kommune, 2019). Feltarbeidet ble gjennomført på Norwegian GeoTest Sites (NGTS) på Tiller – Flotten utenfor Trondheim, hvor det ble installert til sammen 21 saltbrønner. Følgende installeringsmetoder ble utprøvd:

- Ischebeck-stag, kryssborkrone og KCl-slurry
- Totalsondering, kryssborkrone og KCl-slurry
- Naverboring, KCl-slurry
- Totalsondering, kryssborkrone og KCl-staver
- Totalsondering, kryssborkrone og KCl-kuber i miljøbrønnrør
- Sonic, leirkrone og KCl-slurry

Det ble konkludert med at metoden med saltstaver å foretrekke på grunn av:

- ↗ Muliggjør kontroll med mengde og til hvilket nivå salt blir installert
- ↗ Man unngår at salt kommer ut på terrengoverflaten
- ↗ Metoden er enkelt og rask

Installasjonsarbeidene for saltbrønnene er relativt tidkrevende om en sammenlikner med installasjon av kalksementbrønner og vertikaldren som bare tar noen få minutt. Fordelen er likevel at saltbrønnene kan installeres i kupert terreng uten å generere poreovertrykk og at det kan benyttes lett utstyr som alle firma med geotekniske borerigger kan utføre.

AP2 skal besvare følgende spørsmål:

1. Hva er nytte-/kosteffekten av saltbrønninstallasjon sammenlignet med konvensjonelle metoder?

Spørsmål 1 svares ut ved å gjennomføre nytte-/kostanalyse av ulike alternative sikringsmetoder i kvikkleirefasonen Hegramo i Stjørdal kommune.

2. Hva er den miljømessige gevinsten av stabilisering av kvikkleire med salt?

Spørsmål 2 svares ut ved å beregne CO₂-utslippet for de ulike sikringsmetodene og ved å gjøre en vurdering av ikke prissatte konsekvenser, bl.a. verdien av å ivareta landskaps typer.

Nytte-/kosteffekten og den miljømessige gevinsten av saltbrønninstallasjon sammenliknes med følgende konvensjonelle sikringsmetoder:

- Kalksementstabilisering
- Topografiske tiltak (avlasting og motfylling)

I AP2 er det gjort beregninger av nytte-/kosteffekten og CO₂-utslipp for de tre ulike sikringsmetodene for en mulig sikring av kvikkleiresonen Hegramo i Stjørdal kommune. Det er antatt at alle metodene kan benyttes, og at det sikres til samme nivå for alle metodene. Dette for å muliggjøre en direkte sammenlikning av enhetskostnader. Det er derfor sett bort fra eventuelle begrensninger for mulig bruk av metodene i dette arbeidet.

Ikke prissatte konsekvenser ved bruk av de ulike sikringsmetodene i Hegramo er beskrevet, men disse er ikke vurdert i detalj. Slike vurderinger må alltid vurderes spesielt for hvert enkelt tilfelle, og det er derfor også gitt noen generelle råd hva gjelder vurdering av ikke prissatte konsekvenser.

2 Beskrivelse av kvikkleiresonen på Hegramo

På Hegramo er det registrert en kvikkleiresone, sone 1863, som er registrert av NVE (NVE, Kvikkleiresone 1863. <https://gis3.nve.no/kvikkleireFaktaark/1863>, 2014a) og utredet av Rambøll (Rambøll, 2014). Hegramo ligger ca. 10 km øst for Stjørdal sentrum i Trøndelag (Figur 1). Kvikkleiresonen ligger nord for Hegramo sentrum og øst for Hegra ungdomsskole, og ble avdekket under arbeidet med utredning for ny barneskole i Hegra (Figur 2). Sonen er naturlig avgrenset av en bekkedal i øst. I sør grenser sonen mot Hegramo sentrum som ligger på elvebanken ut mot Stjørdalselva. Skråningen ned mot Hegra er på det høyeste ca. 30 m høy (Figur 3). Her er mektigheten på kvikkleira ca. 20 meter, overdekket av ca. 20 meter med tørrskorpeleire, sand og leire.

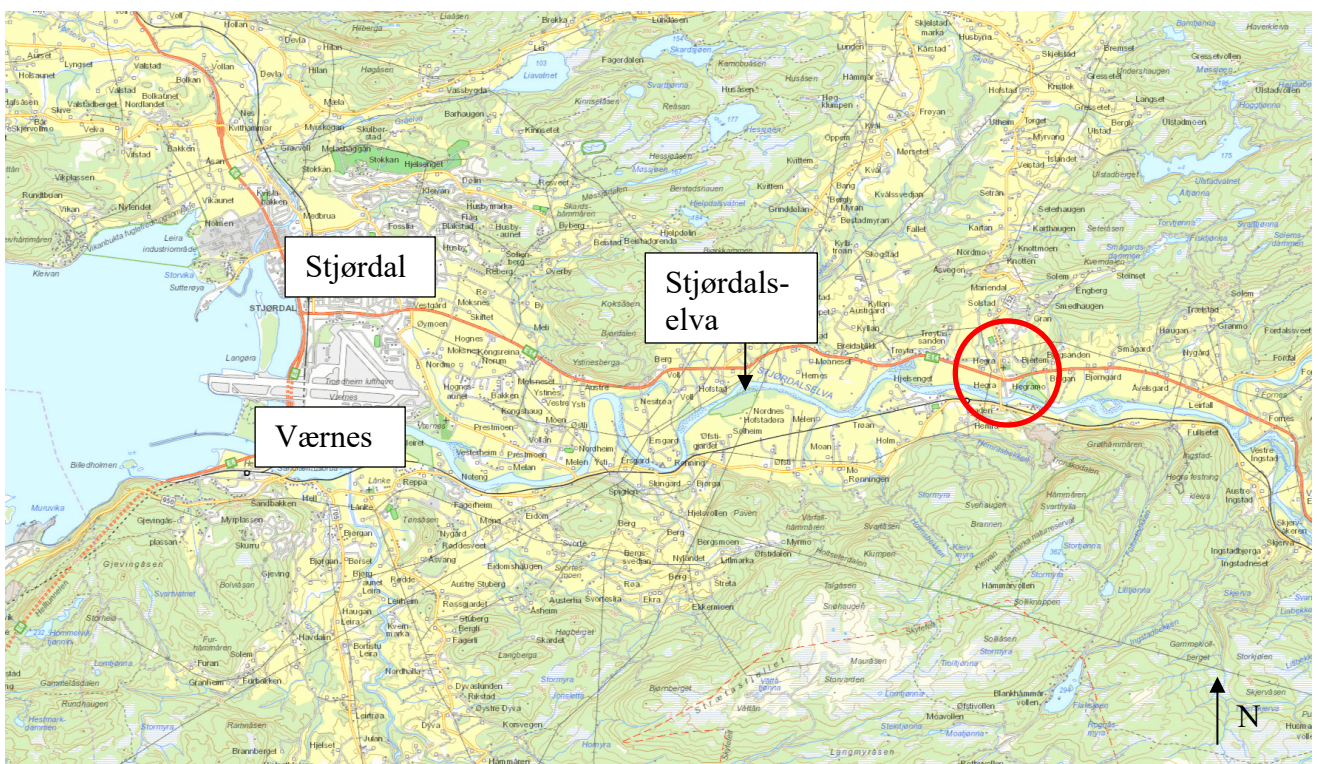
Kvikkleiresonen har skadekonsekvens *meget alvorlig*, faregrad *middels*, og ligger i *risikoklasse 5* (høyeste risikoklasse) (Rambøll, 2014). Sentrum av Hegramo ligger innenfor utløpsområdet for et skred fra Hegramo kvikkleiresone. Det betyr at kvikkleiresonen må sikres før ny bebyggelse kan etableres. Et skred i skråningen ned mot eksisterende barneskole vil i verste konsekvens ta med seg hele kvikkleiresonen.

Det er utført enkelte mindre topografiske tiltak i området. Rambøll konkluderer med at sikkerheten i området er tilfredsstillende når terrenget ligger urørt som i dag, men ved planlegging og utførelse av nye tiltak i området, stilles krav til forbedring av sikkerheten ref. TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) og (NVE, 2014b). Dette har vist seg vanskelig å gjennomføre, og i praksis er det nå byggestopp

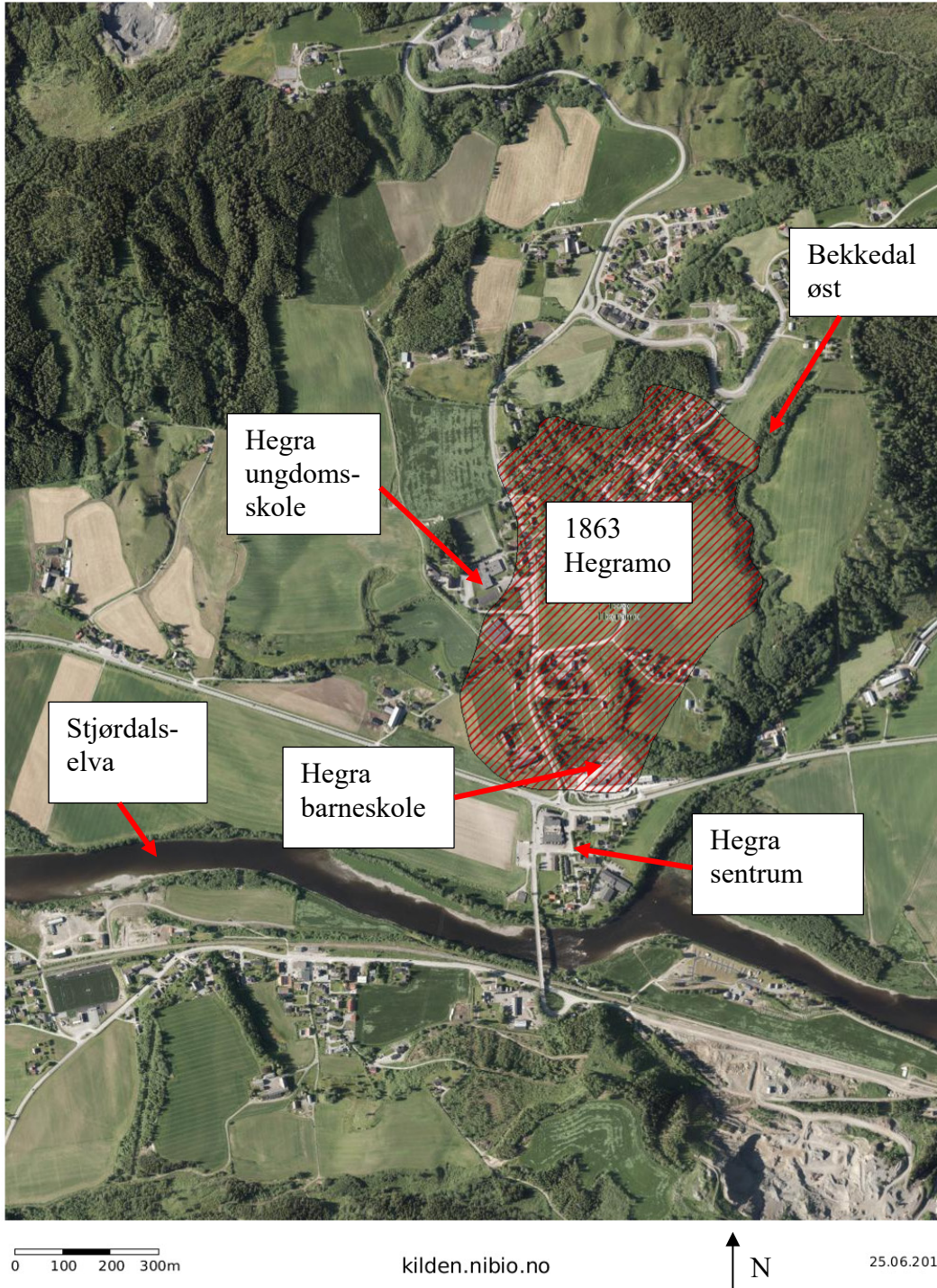
i Hegramo sentrum på grunn av kvikkleiresonen. Dette innebærer at sentrum sør for kvikkleiresonen ikke kan utvikles videre. For at sentrum skal kunne utvikles er det konkludert med at det må utføres tiltak i skråningen ovenfor barneskolen og deler av det flate området nord for skråningen (Figur 4).

Mulige metoder for å sikre mot skred, kan være topografiske tiltak, kalksementstabilisering eller saltstabilisering.

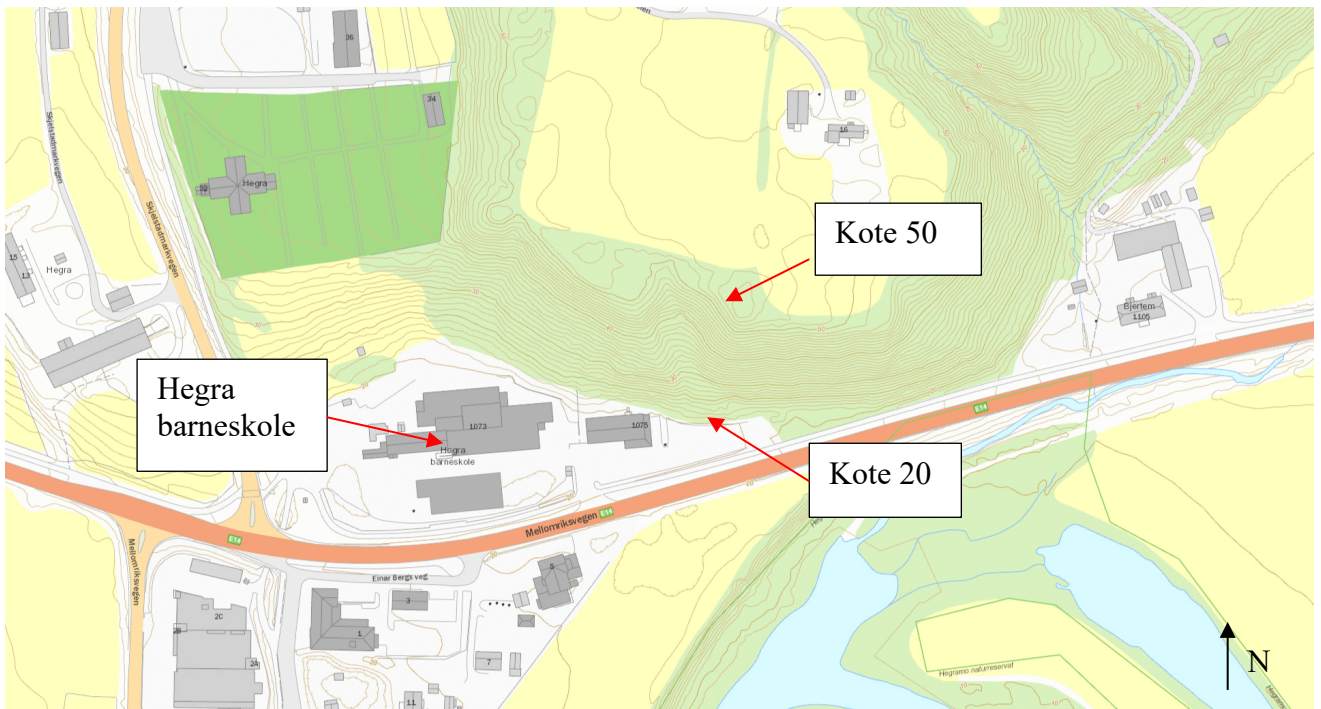
Stjørdal kommune har vedtatt at de skal være en foregangskommune innenfor klima og miljø, og ønsker derfor å prioritere tiltak som utføres med metoder som har lavt klimatisk fotavtrykk og som ikke ødelegger biologisk mangfold.



Figur 1 Lokalisering av Hegramo er vist med rød sirkel. M 1:110 000. Kilde Geodata AS.



Figur 2 Lokalisering av kvikkleiresone 1863: Hegramo.



Figur 3 Skråningen ovenfor Hegra barneskole er ca. 30 m høy. M 1:3 750. Kilde Geodata AS.



Figur 4 Oversiktsbilde Hegramo, M 1:9800. Område som må sikret for videre utvikling av Hegra sentrum er vist med rød sirkel.

2.1 Arealinngrep og omfang – topografiske tiltak

Topografiske tiltak vil innebære senking av terrenget med ca. 2 meter på toppen av skråningen, og gjenbruk av disse massene til oppfylling i skråningsfoten (Figur 5). Tegning som illustrerer profil av topografiske tiltak er vist på tegning nr. 101 i vedlegg A.



Figur 5 Flyfoto over Hegramo (kilde: Norge i bilder), M 1:3300. Orange område illustrerer omtrent område som må avlastes (orange) og motfylles (blått) for å øke sikkerheten mot kvikkleireskred.

2.2 Arealinngrep og omfang – kalksementstabilisering

Kalksementstabilisering innebærer å stabilisere deler av dyrket område med kalksement fra terrengnivå og ned i kvikkleirelaget. Det vil etableres rader med kalksementpeler. Radene vil ha en bredde på opptil ca. 1 meter, og det vil være ca. 3-4 meter mellom hver rad (Figur 6). Tegning som illustrerer profil av stabilisering med kalksement er vist på tegning nr. 102 i vedlegg A.



Figur 6 Flyfoto over Hegramo (kilde: Norge i bilder), M 1:3300. Orange område illustrerer omtrent område som må sikres med kalksement for å øke sikkerheten mot kvikkleireskred.

2.3 Arealinngrep og omfang – saltstabilisering

Stabilisering med salt innebærer å bore hull med ca. 1,5 m senteravstand både på deler av dyrket område og i skråningen ned mot skolen (Figur 7). Dette innebærer svært tett med brønner over det aktuelle området. Salt tilsettes i dybden hvor kvikkleira ligger. Tegning som illustrerer profil av stabilisering med salt er vist på tegning nr. 103 i vedlegg A.



Figur 7 Flyfoto over Hegramo (kilde: Norge i bilder), M 1:3300. Orange område illustrerer omtrent område som må sikres med saltbrønner for å øke sikkerheten mot kvikkleireskred.

I tillegg vil det for alle metoder være behov for areal til adkomst og rigg.

3 Generelle forutsetninger for kostnads- og CO₂-beregninger

Det er utført kostnadsberegninger av de tre sikringsmetodene saltstabilisering, kalksementstabilisering og topografiske tiltak for å oppnå forbedring av sikkerhet i skråninger på 15% i kvikkleireområder iht. NVEs retningslinjer *Sikkerhet mot kvikkleireskred ref.* (NVE, 2014b).

Ved Tømmerås i Grong er det utført stabilitetstiltak med avlastning av skråninger og oppfylling i ravinedaler for å bedre sikkerheten av skråninger. Det foreligger beregninger av prosjekterte tiltak fra før, og NVE innehar informasjon om kostnader knyttet til de utførte arbeidene. Tømmerås er derfor benyttet som referanseprosjekt for beregningene for mengder og kostnader knyttet til stabiliseringstiltak (NGI, 2019) (vedlegg A). De geologiske forholdene og kvikkleireforekomsten ved Tømmerås er sammenlignbare med forholdene ved Hegramo.

Skråningen som er kritisk for stabiliteten for kvikkleiresone Hegramo er tilnærmet like høy som skråningen på Tømmerås. Ved Hegramo ligger kvikkleira fra ca. 15-20 m under terreng, som er noe dypere enn ved Tømmerås. Forskjellen på Tømmerås og Hegramo vurderes allikevel som forholdsvis liten, slik at det for kostnadsberegningene er valgt å benytte samme enhetskostnader fra Tømmerås for beregning av totale kostnader for sikringstiltaket på Hegramo.

Det at kvikkleira ligger noe dypere på Hegramo, vanskeliggjør bruk av kalksementstabilisering som sikringsmetode, men i det videre er det likevel valgt å inkludere metoden også for Hegramo. Ved Hegramo er det ikke behov for erosjonssikring og heving av bekk, og kostnader knyttet til dette vil ikke inngå i nytte/kost-vurderingene. Enhetskostnader til erosjonssikring og tilhørende ikke prissatte konsekvenser, inkluderes allikevel slik at metodene kan sammenlignes på generell basis.

3.1 Beregning av mengder

Det er innledningsvis beregnet nødvendige mengder av avlasting/motfylling, salt og kalksement for å oppnå forbedring av sikkerhet på 15% i den aktuelle skråningen ved Tømmerås (vedlegg A) (NGI, 2019). Disse mengdene benyttes for videre kostnadsberegninger ved Hegramo. Det totale antall løpemetere ved Hegramo er 100 m.

For topografiske tiltak er beregnede nødvendige mengder for å oppnå 15 % forbedring ved bruk av topografiske tiltak ved Hegramo vist i Tabell 1.

Tabell 1 Nødvendige mengder for å oppnå 15 % forbedring ved bruk av topografiske tiltak, per løpemetere og totalt ved Hegramo

Topografiske tiltak	
Nødvendig avlastning	58 m ³ /lm
	5800 m ³ totalt
Nødvendig motfylling	71 m ³ /lm
	7100 m ³ totalt

Nødvendige mengder kalksement for å oppnå 15 % forbedring ved bruk av kalksementstabilisering ved Hegramo vist i Tabell 2.

Tabell 2 Nødvendige mengder for å oppnå 15 % forbedring ved bruk av kalksement

Tiltak med kalksement	
Areal kalksement	500 m ² /lm
Nødvendig Su	115 kPa
Nødvendig dekningsgrad	25 %
Volum kalksement	125 m ³ /lm
	12 500 m ³ totalt

For stabilisering med salt er beregnede nødvendige mengder salt for å oppnå 15 % forbedring ved Hegramo vist i Tabell 3. Ved å installere saltbrønner med en senteravstand på 1,5 m, så vil leirvolumet mellom brønnene være stabilisert i løpet av ca. 3 år (Eggestad og Sem, 1976) (Helle, 2017).

Tabell 3 Nødvendige mengder for å oppnå 15 % forbedring ved bruk av salt

Tiltak med salt	
Nødvendig lengde	86 m
Gjennomsnittlig dybde borhull	26 m
Gjennomsnittlig dybde saltbrønn	16 m
Senteravstand saltbrønner	1,5 m
Antall meter brønn	990 m/lm
	9 990 m totalt
Antall meter salt	610 m/lm
	6 100 m totalt

3.2 Beregning av kostnader

Beregningen av kostnader er basert på beregnede mengder i kap. 3.1 multiplisert med erfaringspriser fra tilsvarende arbeider. Erfaringspris for topografiske tiltak er hentet fra NVEs kvikkleireprosjekter i Midt-Norge, mens erfaringspriser for stabilisering med kalksement er hentet fra prosjekter hvor Statens vegvesen har benyttet metoden.

Enhetsprisene for stabilisering med salt er hentet fra installering av saltbrønner på Tiller i forbindelse med SAK-prosjektet (Stjørdal kommune, 2019). Det ble installert til sammen 21 saltbrønner ved hjelp av ulike metoder. For kostnadsberegningene er følgende installasjonsmetoder og brønner benyttet, da de vurderes å være mest aktuelle ved videre bruk:

- Installering med totalsondering og saltslurry: Gjennomsnittskostnader for installering av brønnene SW19 og SW20 er benyttet
- Installering av saltstaver i forborede brønner: Gjennomsnittskostnader for installering av brønnene SW13 og SW14 er benyttet

Det ble i AP1 konkludert med at saltstaver er å foretrekke. Det er valgt å også sammenlikne beregningene med bruk av slurry.

Beregning av kostnader for stabilisering ved Tømmerås er gjort i kr pr. løpemeter. Ut ifra de forutsetninger som er gjort, vil de samme kostnadene gjelde for Hegramo. Enhetsprisene som er oppgitt inkluderer riggekostnader. Beregnede kostnader er vist i Tabell 4 til Tabell 7. Grunnlaget for beregningene er vist i vedlegg A (NGI, AP2 - Kostnadsberegninger av stabilitetstiltak. NGI notat 20180146-01-TN, rev1, datert 02.07.19, 2019).

Tabell 4 Beregnede kostnader pr løpemeter for topografiske tiltak for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%

Topografiske tiltak	Mengde	Enhetspris	Sum
Avlasting og motfylling	110 m ³ /lm	115 kr/m ³	12 650 kr/lm
Heving og erosjonssikring av bekk	20 m ³ /lm	300 kr/m ³	6 000 kr/lm
Totale kostnader			18 650 kr/lm

Tabell 5 Beregnede kostnader pr løpemeter for tiltak med kalksement for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%

Tiltak med kalksement	Mengde	Enhetspris	Sum
Stabilisering	125 m ³ /lm	300 kr/m ³	37 500 kr/lm
Totale kostnader			37 500 kr/lm

Tabell 6 Beregnede kostnader pr løpemeter for tiltak med saltslurry for å for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%

Tiltak med saltstabilisering, totalsondering+slurry	Mengde	Enhetspris	Sum
Etablering borhull	990 m/lm	143 kr/m	141 570 kr/lm
Etablering saltbrønn	600 m/lm	624 kr/m	375 000 kr/lm
Totale kostnader			516 570 kr/lm

Tabell 7 Beregnede kostnader pr løpemeter for tiltak med saltstaver for å for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%

Tiltak med saltstabilisering, totalsondering+saltstaver	Mengde	Enhetspris	Sum
Etablering borhull	990 m/lm	143 kr/m	141 570 kr/lm
Etablering saltbrønn	600 m/lm	805 kr/m	483 000 kr/lm
Totale kostnader			624 570 kr/lm

Erfaringsprisene for salt er basert på en uttesting i felt, mens de to andre metodene er ferdig uttestet og har vært brukt i lang tid, og er dermed optimalisert.

4 Beregning av CO₂-utslipp for sikringsmetodene

4.1 Metodebeskrivelse

Det er gjennomført beregningen av utslipp av CO₂-ekvivalenter (CO₂ekv) basert på beregnede mengder i kap. 3.1, multiplisert med beregningsfaktorer og utslippsfaktorer fra VegLCA. VegLCA er Vegvesenets senfase livsløpsanalyseverktøy som beregner klimapåvirkningen fra vegprosjekter. Utslipp fra materialproduksjon, utbygging og drift- og vedlikehold er inkludert i VegLCA.

For utfyllende informasjon vises det til brukerveiledning (Statens Vegvesen, 2018).

4.2 Forutsetninger for beregninger

Utslippsfaktorer og beregningsfaktorer er hentet fra VegLCA, bortsett fra utslippsfaktor for bentonitt som kommer fra NAVFAC EXWC (NAVFAC EXWC, 2015). Avstander er i henhold til NAF reiseplanlegger (NAF, 2019). Utslipp på grunn av arealbruksendring er antatt neglisjerbart. Vedlegg C inneholder en detaljert oversikt over forutsetningene for beregning av CO₂-utslipp.

Utslippsfaktor for salt har blitt utarbeidet av Asplan Viak (Asplan Viak, 2019) (vedlegg B). Det er tatt utgangspunkt i at saltbrønnene installeres med rigg (ikke med gravemaskin). Eventuell tomgang kjøring av maskiner er ikke inkludert.

I og med at heving av bekk ikke er aktuelt i forbindelse med tiltak ved Hegramo, er CO₂-utslipp for heving av bekk vist separat, for bruk i eventuelle andre prosjekter.

4.3 CO₂-vurdering av stabilisering av kvikkleire ved Hegramo

Beregning av utslipp av CO₂-ekvivalenter for ulike sikringsmetoder er vist i Tabell 8.

Tabell 8 Beregnet CO₂-utslipp for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%

Tiltak	CO ₂ utslipp per løpemeter (kg CO ₂ ekv/lm)	CO ₂ utslipp totalt (tonn CO ₂ ekv)
Topografiske tiltak Hegramo	295	30
Kalksement	383570	38357
Saltslurry	5029	503
Saltstaver	3608	361

Topografiske tiltak som inkluderer heving av bekk i det omfang som utført ved Tømmerås, gir totalt 466 kg CO₂ekv/lm.

Det er store forskjeller i klimagassutslipp knyttet til de ulike stabiliseringsalternativene. Topografiske tiltak fører til de laveste utslippene, men også saltstabilisering gir bare en brøkdel av utslippene sammenlignet med kalksementpeling.

Ved topografiske tiltak er den største andelen av utslippene knyttet til dieselforbruk til gravemaskinene (ca. 80%). Ved kalksement er den største andelen av utslippene knyttet til produksjon av kalksement (ca. 88%). Ved bruk av salt er den største andelen av utslippene knyttet til produksjon av salt (ca. 80%).

Saltstaver har mindre utslipp av CO₂ enn saltslurry. Dette skyldes i all hovedsak lavere saltforbruk ved bruk av saltstaver (vist i vedlegg A).

5 Nytte/kost-beregninger for sikringsmetodene

5.1 Metodebeskrivelse

Vurdering av nytte/kost gjennomføres med et verktøy som benyttes av skred- og vassdragsavdelingen i NVE. Nytte/kost-verktøyet er beregnet for prioritering av fysiske tiltak mot ulike typer flom og skred, og brukes for kontroll av at planlagte tiltak har en samfunnsøkonomisk nytte som overskrider kostnadene ved tiltaket. NVE bruker beregningene i en helhetlig vurdering av risikoreducerende tiltak.

NVEs nytte/kost-verktøy beregner nåverdi av nytten for et sikringstiltak ut fra reduksjon av årlig nominell sannsynlighet for en hendelse og de verdier innenfor faresonen som blir sikret. Verdiene som sikres inkluderer både tap av menneskeliv og materielle verdier, samt samfunnsøkonomiske konsekvenser som f.eks. stengte veier med tilhørende behov for omkjøring.

For utfyllende informasjon vises det til brukerveiledningen (NVE, 2016).

5.2 Forutsetninger for nytte/kost beregninger

Beregning av kostnader pr løpemeter stabilisert grunn for de ulike sikringsmetodene er beskrevet i vedlegg A (NGI, 2019). En oppsummering av beregningene er vist i kap. 3.2.

Det er inkludert en kostnad lik kr. 1 500 000 for prosjektering og oppfølging av sikringstiltaket (erfaringstall NVE) i nytte/kost-beregningen. Det er valgt samme kostnad uavhengig av tiltak.

For bestemmelse av nåverdi nytte som inngår i beregningene, er det for Hegramo forutsatt at et skred i skråningen fører til at hele kvikkleiresonen blir en del av løsneområdet (raser ut), samt at områdene mot sør/sørvest rammes av utflytende skredmasser. Dette inkluderer følgende verdier:

56 bolighus, to driftsbygninger, tre forretningsbygg, en skole og to flermannsboliger.

I tillegg kan Hegra idrettshall i ytterste konsekvens rammes, men det er anslått treffprosent på 50. Videre vil både Fylkesvei og riksvei (E14), samt kommunale og private veier rammes. Ca. 90 dekar åkerland vil også rammes av et skred. På grunnlag av ovennevnte verdier gir nytte/kost-verktøyet også en verdifastsettelse knyttet til tap av menneskeliv.

Nytte/kost-verktøyet beregner nåverdi nytte basert på redusert sannsynlighet for skred for de ulike sikringsmetodene, dvs. at det etter sikring fortsatt vil være en restrisiko knyttet til kvikkleiresonene. For de beregnede sikringstiltakene er dette gjort ved reduksjon av kvikkleiresonens faregrad med bakgrunn i at stabilitet økes med ca. 15 %. Det bemerkes at det er store usikkerheter knyttet til disse vurderingene som det må tas høyde for når resultatene fra nytte/kost – beregningene vurderes. Resultatene inkluderer derfor en følsomhetsanalyse der sannsynlighetene for skred som inngår i beregningene er over- og undervurdert med henholdsvis 100% og 50%.

Ikke prissatte konsekvenser er ikke tatt med i nytte/kostvurderingene, men er diskutert i kap. 6.

5.3 Nytte/kostvurderinger av sikring mot kvikkleireskred i Hegramo

Nytte-/kost beregnet for ulike sikringsmetoder er vist i Tabell 9.

Tabell 9 Nytte/kost-beregning for Hegramo

Sikringsmetode	Kostnad pr. løpe-meter (kr)	Kostnad Hegramo (kr)	Nåverdi kostnader	Nåverdi nytte	Nytte/kost	Følsomhets-analyse*
Topografiske tiltak	12 535	1 253 500	3 300 000	82 350 000	24,95	13,48-46,6
Topografiske tiltak, inkludert bekkesikr.**	18 535	1 853 500	4 020 000	82 350 000	20,46	11,07-38,26
Kalksementstab.	37 500	3 750 000	6 300 000	82 350 000	13,07	7,07-24,44
Salt: Slurry	516 570	51 657 000	63 790 000	82 350 000	1,29	0,70-2,41
Salt: Staver	624 570	62 457 000	76 750 000	82 350 000	1,07	0,58-2,01

*Følsomhetsanalyse: Sannsynlighet for skred overvurdert 100% - sannsynlighet for skred 50% undervurdert.

** Ikke relevant for Hegramo

Kostnader for CO₂-utslipp for de ulike sikringsmetodene er gitt i Tabell 10. Kostnader for CO₂-ekvivalenter er hentet fra SVV sitt kost-/nytteanalyse-verktøy (EFFEKT) (Statens Vegvesen, 2015). Prisene er estimert for 2015, 2020 og 2030 ut fra prisnivå 2013.

Tabell 10 Kostnader for CO₂-utslipp for de ulike sikringsmetodene

Sikringsmetode	CO ₂ -utslipp Totalt (tonn CO ₂ ekv.)	Kostnad CO ₂ 2015 (kr)	Kostnad CO ₂ 2020 (kr)	Kostnad CO ₂ 2030 (kr)
Topografiske tiltak	30	7 500	11 100	27 900
Topografiske tiltak, inkludert bekkesikr.*	47	11 750	17 390	43 710
Kalksementstab.	38357	9 589 250	14 192 090	35 672 010
Salt: Slurry	503	126 500	186 110	467 790
Salt: Staver	361	90 250	133 200	335 730

* Ikke relevant for Hegramo

Nytte-/kost-beregning for Hegramo inklusive kostnad for CO₂ er gitt i Tabell 11.

Tabell 11 Nytte/kost-beregning for Hegramo inkl. kostnad CO₂

Sikringsmetode	Nytte/kost inkl. CO ₂ 2015	Nytte/kost inkl. CO ₂ 2020	Nytte/kost inkl. CO ₂ 2030
Topografiske tiltak	24,90	24,87	24,74
Topografiske tiltak, inkludert bekkesikr.*	20,42	20,40	20,26
Kalksementstab.	5,18	4,02	1,96
Salt: Slurry	1,29	1,29	1,28
Salt: Staver	1,07	1,07	1,07

* Ikke relevant for Hegramo

Alle tiltakene gir positiv nytte/kost for sikring av Hegramo kvikkleiresone. Topografiske tiltak kommer ut med stor nytte/kost grunnet lave kostnader. Ved bruk av saltstabilisering slik kostnadene fremgår basert på pilotprosjektet, AP1 (Stjørdal kommune, 2019), vil det for Hegramo oppnås positiv nytte/kost, men med klart mindre margin enn for kalksementstabilisering og topografiske tiltak. Når man inkluderer kostnad for CO₂-utslipp vil nytte/kost for kalksementstabilisering reduseres betraktelig. For de andre metodene vil kostnaden for CO₂-utslipp være av liten betydning for nytte/kost.

6 Vurdering av ikke prissatte konsekvenser

Ikke prissatte konsekvenser er konsekvenser av stabilitetstiltaket som ikke inkluderes i nytte-/kost-vurderingen. Disse konsekvensene vil være stedsspesifikke for hvert område. Det er i SAK prosjektet gjort en enkel vurdering av noen utvalgte ikke prissatte mulige konsekvenser for Hegramo, som antas å kunne påvirkes av stabiliseringstiltak. Det er ikke utført egne undersøkelser i felt for å svare ut ikke prissatte konsekvenser, men tilgjengelig informasjon hos aktuelle faginstanser er innhentet fra internett eller på bakgrunn av telefonsamtale.

I tillegg er det inkludert noen generelle vurderinger, som ikke har vært aktuelle for Hegramo, men som kan være aktuelle for andre lokaliteter.

6.1 Landskapstyper og naturmangfold

Artsdatabanken har utviklet kart (Natur i Norge) som blant annet beskriver landskapstyper i Norge (Artsdatabanken, https://nin.artsdatabanken.no/Natur_i_Norge, 2019). I følge Artsdatabanken er kartet på generell basis detaljert i målestokk 1:5 000-1:20 000. Systemet svarer ut formålet med ivaretaging av landskapsmessig mangfold som i naturmangfoldloven er definert som «mangfoldet av landskapstyper». NiN Landskap beskriver landskapsvariasjon i Norge, dvs. mangfoldet av landskapstyper.

Naturmangfold defineres i henhold til naturmangfoldloven som biologisk mangfold, landskapsmessig mangfold og geologisk mangfold som ikke i det alt vesentlige er et resultat av menneskers påvirkning (Statens Vegvesen, <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Lavere+Energiforbruk+i+Statens+vegvesen+%28LEIV%29/rapporter>, 2018).

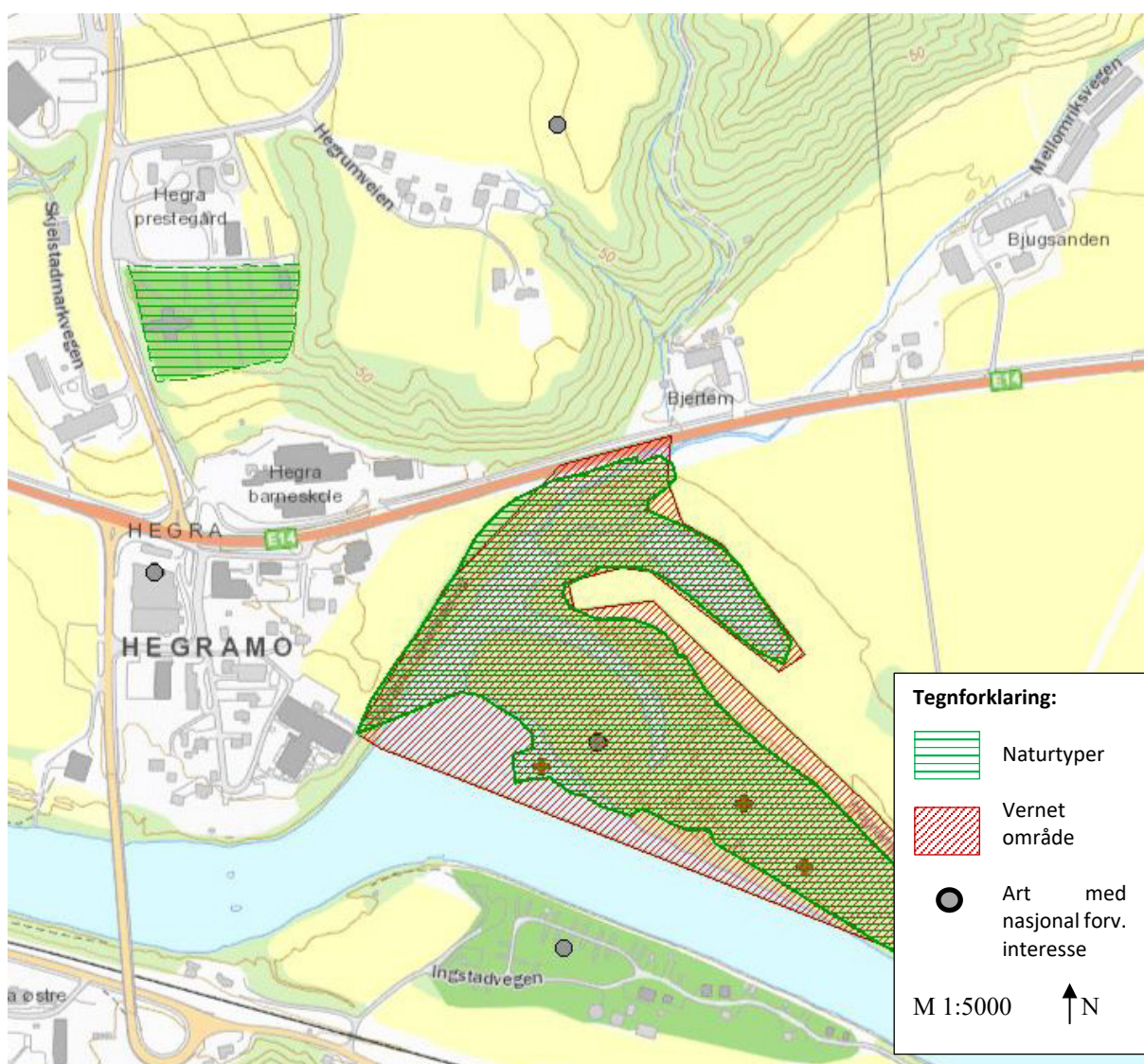
6.1.1 Vurdering for Hegramo

I området rundt Hegra er det registrert innlandsdal-landskap som er åpent dallandskap under skoggrensen med bebygde områder og jordbruksdominans.

I Hegra er det registrert viktig naturtype *naturreservat* nord for Stjørdalselva, sør for E14 og øst for Hegramo sentrum (Figur 8) (Fylkesmannen i Nord-Trøndelag, 2013). Området ble fredet i 1993 og dekker et totalareal på ca. 95 dekar. Formålet med fredningen er å bevare et lite påvirket område langs Stjørdalselva med naturtypene pionerkratt og skog av flommarkvegetasjon. Hegramo naturreservat har også betydning som hekke, raste- og hvilelokalitet for fuglelivet. Det er også registrert fuglearter med nasjonal forvaltningsinteresse innenfor kvikkleireområdet.

Området rundt Hegra kirke er registrert som område med spesiell, lokal viktig naturtype, da det er gravplasser her.

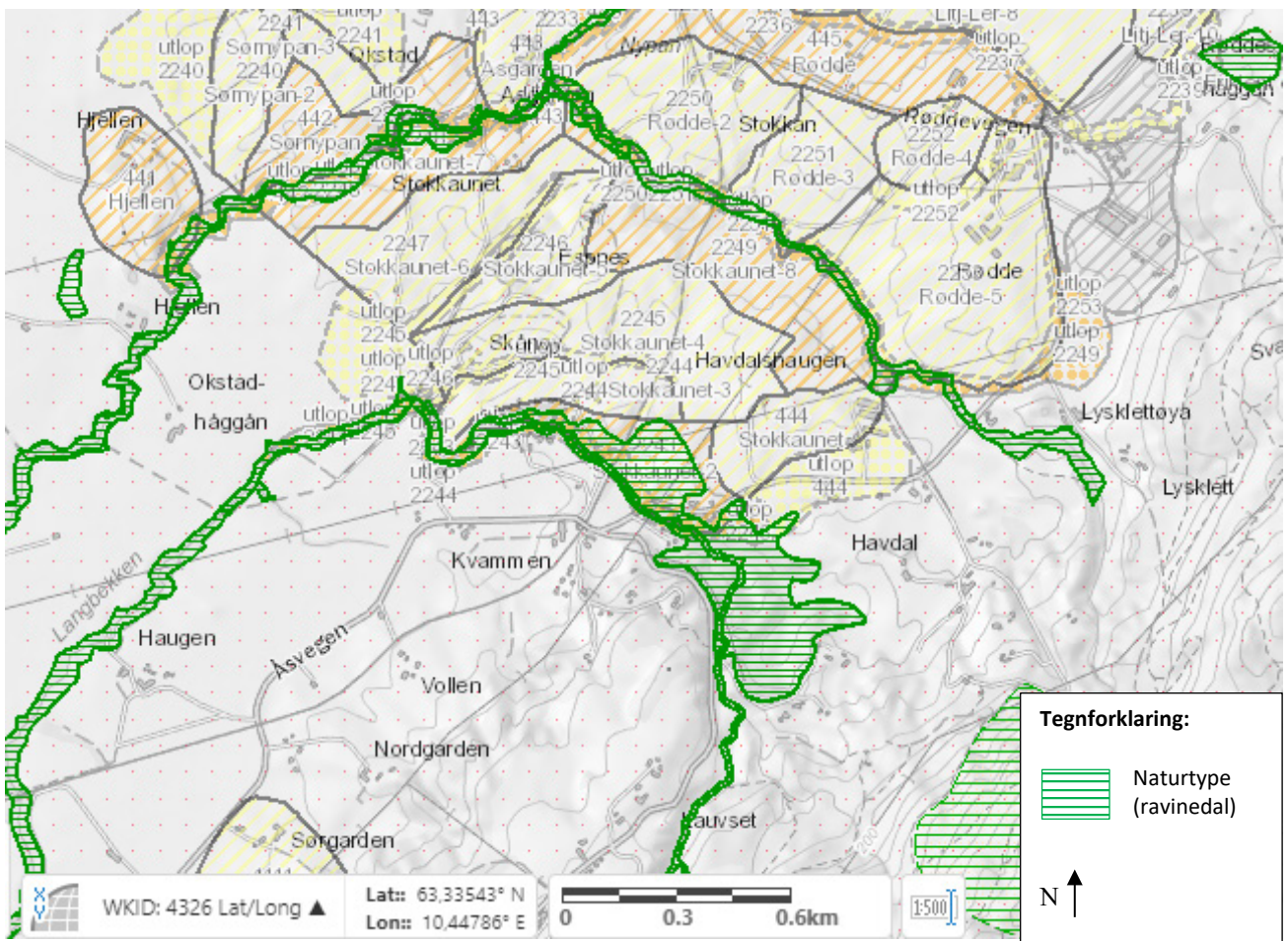
Det vurderes at ingen av de tre sikringsmetodene vil komme i konflikt med spesielle landskaps- eller naturtyper eller biologisk mangfold ved Hegramo.



Figur 8 Registreringer i Naturbase (<https://kart.naturbase.no/>) i området ved Hegramo

6.1.2 Generell vurdering

Ofte finner man ravinedaler i områder med kvikkleire. Dette er eksempelvis illustrert ved et område ved Brøttem i Trøndelag, sør for Trondheim, hvor ravinedalene går igjennom flere kvikkleiresoner (Figur 9). Ravinedaler er vurdert som en sårbar naturtype av Artsdatabanken (Artsdatabanken, 2019b), da ravinene har blitt redusert på grunn av igjenfylling og nedbygging. Ravinene har typisk veldig bratte dalsider, er fuktige, svært produktive og har stor variasjon fra bunn til topp. Ravinene består ofte av andre naturtyper også, samt stort biologisk mangfold.



Figur 9 Kvikkleire ved Brøttem (gul og oransje skravur) med ravinedaler (grønn skravur) (kilde NVE)

Ved sikring av kvikkleireområder med ravinedaler, vil topografiske tiltak som igjenfylling, legging av bekker i rør og liknende, ødelegge/fjerne ravineområdene og de naturtyper og biologisk mangfold som tilhører dette. Avlastning av skråningstopp vil kunne gjøres uten at ravinene nødvendigvis ødelegges. Problemet er tiltak i bunn av skråning, der oppfylling og erosjonssikring av bekker gjør at det blir veldig åpent i bekken/bunn av ravinene, slik at fukten forsvinner og miljøet blir tørrere enn før.

Tilførsel av sprengt stein i bekkene vil, hvis det ikke gjøres avbøtende tiltak, redusere det biologiske mangfoldet i bekkene. Stein kan i enkelte tilfeller gi mer hulrom og skjul som er positivt for fisk, men bunnsstrat av sprengstein kan ikke benyttes til gyting. Sprengstein som legges i elver/bekker vil ofte bli hardpakket, og over tid vil hulrommene mellom steinene tilpakknes av finsedimenter. På det viset vil

sprengstein over tid gi mindre hulrom og reduserte skjulmuligheter for fisk. Fisk kan også påvirkes av økt konsentrasjon av suspenderte uorganiske partikler, avhengig av naturlig bakgrunnskonsentrasjon.

Også fiskens tilgang til næring vil ofte bli betydelig redusert når det benyttes sprengstein, siden artsdiversiteten i bekken bli veldig lav, da sprengsteinsbunn gir dårlige levekår for de fleste bunndyr.

Stabilisering med salt, kan få negative følger for livet i og langs vassdrag på grunn av avrenning fra det stabiliserte området. Statens Vegvesen har gjort en litteraturstudie på vurdering av blant annet natriumklorids påvirkning på biota i forbindelse med salting av veger (Statens Vegvesen, 2008). Det konkluderes med at tålegrensene kan være høye, men biota i små bekker der konsentrasjonen og dosene kan bli svært høye, er mest utsatt.

For eventuelle grunnvannsbrønner i nærhet av et område som sikres med saltbrønner, kan vannkvaliteten påvirkes negativt.

Stabilisering med kalksement vil ikke påvirke ravedalene direkte, da tiltaket utføres oppe på flatene langs ravedalene. Dette krever svært tungt utstyr, som kan medføre behov for legging av bærelag før stabilisering. Dette kan redusere biologisk mangfold i det aktuelle området. Eventuell utlekking fra kalksement vil kunne medføre forhøyet pH til et vassdrag. Dette trenger ikke å gi negative konsekvenser, men må vurderes ut ifra størrelse på vassdraget.

På generelt grunnlag vil tiltak der en unngår terrengendringer og store inngrep være de mest skånsomme for biologisk mangfold. Stabilisering med salt kan være en svært skånsom metode i forhold til naturtyper og biologisk mangfold, dersom det ikke påvirker biologisk liv i vassdrag og grunnvannsressurser.

6.2 Kulturminne

Ved Hegra er det registrert kulturminner på området som vurderes sikret (Figur 10). Trøndelag Fylkeskommune har kommet med følgende innspill på epost i forhold til sikring av området hvor kulturminner er registrert:

Dette er en utfordring vi i kulturminnevernet ikke ser en enkel løsning på. Det er en kjensgjerning at deler av kulturlandskapet i Trøndelag med sine mange spor etter forhistorisk aktivitet mange steder står på bokstavelig talt usikker grunn. Dette medfører usikkerhet for bevaringen av våre kulturminner over tid. Større og mindre leirras kan skade kulturminnene som både kan bli med i raset, eller bli dekket av ras. Dette har vi flere eksempler på opp i historien, både med arkeologisk belegg, skriftlige kilder og selvsyn. Erodering i jordbrukslandskapet endrer topografi og utsetter dermed også kulturminnene for skader som ofte er uopprettelige. Tiltak som bidrar til å stabilisere rasutsatte områder er derfor viktige for å sikre kulturarven vår.

Området øst for Hegra kirke er et av stedene i Stjørdal kommune som har avdekket spektakulære funn over en større tidsdybde. Kjent fra før var gravhauger langs kanten av plataået som daterer seg til jernalder. For et par år siden ble det gjort funn av en større mengde bronsegenstander som stammer fra slutten av bronsealderen i Norge. Det er med andre ord spor etter menneskelig aktivitet i området på til sammen minst tre tusen år. En arkeologisk undersøkelse for å sikre kildeverdi til bronsefunnene avdekket ytterligere spor i området i form av kokegropen gravd ned i undergrunn. Det er vanlig at flere begravelser som ikke har synlig markering på overflaten i dag, finnes i tilknytning til gravfelt. Dette kan forventes på nevnte område også.

Alle disse kulturminnene er automatisk fredet i hht kulturminnelovens §§ 3 og 6. Dersom det skal gjøres inngrep i slike områder må det derfor søkes om dispensasjon fra kulturminnelovens bestemmelser for å få tillatelse til inngrep, jfr §8.

Den typen inngrep som er beskrevet i forbindelse med dette prosjektet omfattes av samme lov. Borearbeidene er så tette at de vil influere på kulturminnene både over og under bakken. Dette gjelder både rent fysisk konflikt, men også kjemisk gjennom tilførsel av oksygen og salter til undergrunn. Eventuelle gjenstanders kjemiske stabilitet etter opptil tre tusen år i bakken vil med dette kunne forrykkes.



Figur 10 Kart som viser registrerte kulturminner ved området som vurderes sikret på Hegra

Dette innebærer at samtlige sikringsmetoder som vurderes i AP2 vil kunne påvirke de registrerte kulturminnene ved Hegramo.

På generell basis kan saltstabilisering være en mer skånsom metode i forhold til kulturminner, da boring av hull vil ødelegge kulturminner kun der hvor hullet etableres. Det er imidlertid behov for hull med senteravstand på 1,5 meter, som innebærer svært mange hull innenfor et område.

6.3 Naturressurser

Kvikkleireområdet på Hegramo, hvor det er aktuelt å utføre tiltak, er i dag jordbruksareal samt skogareal i skråning ned mot kirkegård og skole. Kvikkleire ligger ca. 20 meter under terreng, slik at det ikke vil være nødvendig å stabilisere det øverste jordlaget.

Ved topografiske tiltak graves massene (utenom matjord) opp og flyttes. Massene legges gjerne i motfylling i bunn av skråningen. Topografiske tiltak arronderes ikke brattere enn at jordbruk kan fortsette.

Ved kalkstabilisering vil det være aktuelt å grave av det øverste jordlaget før stabilisering, og så tilbakeføre dette etter stabilisering, slik at jordbruk kan fortsette. Ved saltstabilisering vil det ikke nødvendigvis være behov for å fjerne det øverste jordlaget før tilsetning av salt.

Et tiltak med kalksementpeler medfører at det stabiliserte området tilføres kalksement til stort dyp, om nødvendig fra terrengoverflaten. Senere eventuell utgraving av dette området kan medføre at det vil foreligge restriksjoner på håndtering av massene stabilisert med kalksement, da massene ikke nødvendigvis kan defineres som rene. NGI-prosjektet Grunnforsterkning (NGI, 2018) konkluderer med at dersom kalkstabilisert leire ønskes gjenbrukt, må dette eventuelt håndteres som inerte masser og ikke rene masser, avhengig av forurensningsgrad.

Saltstabilisering av massene vil tilføre salt til leira, men vil ikke redusere massenes kvalitet i forhold til gjenbruk.

I forhold til gjenbruk av masser etter tiltak, kan et tiltak med kalksementpeler ha negativ konsekvens, mens de andre to tiltakene vil ha ubetydelig konsekvens.

6.4 Nærmiljø og friluftsliv

Metodene er ikke til hinder for å legge til rette for nærmiljø og friluftsliv ved Hegramo.

Generelt så må dette tilpasses stedsspesifikke forhold og kommunale planer.

6.5 Oppsummering ikke prissatte konsekvenser

Ved Hegramo er det ingen av metodene som utpeker seg spesielt fordelaktig i forhold til ikke prissatte konsekvenser. Samtlige metoder vil påvirke registrerte kulturminner negativt.

På generell basis kan stabilisering med salt være en foretrukket metode i forhold til verdien av å bevare landskap. Metoden kan også være fordelaktig i forhold til ivaretagelse av biologisk mangfold, dersom det ikke påvirker biologisk liv i vassdrag og grunnvannsressurser. Hvor stor denne verdien er i forhold til nytte/kost og utslipp av CO₂ må vurderes stedsspesifikt.

Sammenliknet med kalksementstabilisering vil metoden ikke medføre restriksjoner i forhold til gjenbruk av stabilisert materiale.

7 Oppsummering og vurdering

Tiltak med saltstabilisering er vesentlig mer kostbare enn de andre alternativene. Dette henger sammen med lang installasjonstid, da prosessene for installasjon har vært langt fra optimalisert. For å få redusert kostnaden for etablering av borhull, må tidsbruken for boring av hull reduseres betydelig. For etablering av saltbrønn med slurry, er det tidsbruken med tilføring av slurry som gir høye kostnader, mens for etablering av saltbrønn med saltstaver er det kostnaden med produksjon av saltstaver som gir høye kostnader.

Det er store forskjeller i klimagassutslipp knyttet til de ulike stabiliseringsalternativene beregnet for Hegramo. Tiltak med kalksement medfører betydelig mer utslipp av CO₂ i forhold til topografiske tiltak og stabilisering med salt. Topografiske tiltak fører til de laveste utslippene, ca. 10 ganger lavere enn stabilisering med salt, og ca. 1000 ganger lavere enn tiltak med kalksement.

Saltstaver har noe mindre utslipp av CO₂ enn saltslurry. Dette skyldes i all hovedsak lavere saltforbruk.

Når det gjelder nytte/kostvurderinger av stabiliseringstiltak ved Hegramo er det positiv nytte/kost for alle tiltakene. Topografiske tiltak har den høyeste nytte-/kostfaktoren, som er ca. 20 ganger høyere enn for stabilisering med salt og ca. 10 ganger høyere enn for stabilisering med kalksement. Når man inkluderer kostnad for CO₂-utslipp vil nytte/kost for kalksementstabilisering reduseres betraktelig. For de andre metodene vil kostnaden for CO₂-utslipp være av liten betydning for nytte/kost.

Ved Hegramo vil topografiske tiltak være foretrukket i forhold til nytte-/kost og utslipp av CO₂. Det er innenfor området det er aktuelt å sikre, ingen spesielle hensyn å ta til landskapstyper. Samtlige metoder vil ha en uønsket påvirkning på registrerte kulturminner.

Hegramo kvikkleiresone er en kvikkleiresone med stor konsekvens, herunder at det er store verdier som blir rammet ved et eventuelt skred. For andre kvikkleiresoner er konsekvensen ofte mindre. NVE Region Midt har sikret mange kvikkleiresoner med topografiske tiltak, ofte inkludert erosjonssikring og heving av bekk. For mange av disse kvikkleiresonene har nytte/kost vært positiv (nytte/kost > 1,0), men ofte vesentlig lavere enn hva som er beregnet i kap. 5.3. Det vil derfor være naturlig å påpeke at saltstabilisering som sikringsmetode i mange tilfelle ikke ville gitt positiv nytte/kost på grunn av høye enhetskostnader. Det vil også være tilfelle for kalksementstabilisering, særlig hvis man inkluderer kostnaden for CO₂-utslipp.

Det vil imidlertid ikke alltid være mulig å gjennomføre topografiske tiltak i alle områder, særlig i skråninger med bebyggelse på topp eller i bunn, fredede områder generelt, eller i raviner med verneverdig biologisk mangfold. I slike tilfeller kan stabilisering med kalksement eller salt være et alternativ for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot områdeskred.

En begrensning ved stabilisering med kalksement er at det bygges opp et poreovertrykk i grunnen under installasjon. Dette gir en potensiell reduksjon i sikkerhet som gjør at det må gjøres en midlertidig forbedring av stabiliteten før stabiliseringen kan utføres. Slike ekstratiltak er ikke inkludert i kostnadsberegningen. En annen begrensning med bruk av kalksement er at det ikke kan installeres til mer enn ca. 20-22 meters dybde. I ravinert landskap i kvikkleireområder er ofte skråningene høye og mektigheten av kvikkleire stor. Det vil da ikke være mulig å nå ned til store deler av den kritiske glideflaten slik at metoden blir lite effektiv. En kalksementtrigg er også stor og tung, og krever relativt plant terreng for å kunne operere effektivt. I slike områder er stabilisering med salt en mer egnet metode. Det bemerkes også at gjeldende regelverk i utgangspunktet krever absolutt sikkerhet/materialfaktor ved bruk av

kalksementstabilisering som sikringsmetoden, slik at kostnadene som fremgår i rapporten sannsynligvis er for lave.

Dersom kostnadene for saltstabilisering kan reduseres kan den være aktuell i områder der topografiske tiltak eller tiltak med kalksement ikke er mulig å gjennomføre. En av fordelene med metoden er at den kan installeres med lett utstyr og komme til i kupert terreng.

Kostnadene knyttet til saltstabilisering forventes å kunne reduseres med større erfaring med installasjon av saltbrønner. En kostnadsreduksjon vil være nødvendig for å gjøre metoden konkurransedyktig. En mer kritisk vurdering av sikkerhetsprinsippet som legges til grunn vil også kunne gi et mindre stabilisert volum og lavere total kostnad.

I forhold til reduksjon av CO₂ utslipp, ligger det et potensial i reduksjon ved bruk av elektrifisert maskinpark. Relativt sett vil potensialet være størst for topografiske tiltak siden diesel forbruk har en høy andel i utslippene. For salt- og kalksementstabilisering er den største andelen av utslippene knyttet til materialproduksjon, slik at utslippet av CO₂ foreløpig ikke vil kunne komme ned på nivå med topografiske tiltak. Muligheten for å elektrifisere saltstabiliseringsrigg kan imidlertid være større enn for tunge gravemaskiner (topografiske tiltak) og kalksementstabiliseringsrigg.

Ikke prissatte konsekvenser må vurderes stedsspesifikt. Saltstabilisering kan være en egnet metode i for eksempel ravinerte landskap. Så lenge nytte/kost-faktoren for saltstabilisering er betydelig lavere enn for topografiske tiltak, vil utfordringen ligge i hvordan faktoren *ikke prissatte konsekvenser/ nytte-kost* skal få større positiv verdi for saltstabilisering i forhold til topografiske tiltak.

8 Referanser

- Artsdatabanken. (2019). https://nin.artsdatabanken.no/Natur_i_Norge.
- Artsdatabanken. (2019b). <https://www.artsdatabanken.no/rodlistefornaturtyper>.
- Asplan Viak. (2019). *Notat LCA av kaliumklorid. Oppdragsnummer 621528-01*.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK17)*.
- Eggestad og Sem. (1976). *Stability of excavations improved by salt diffusion from deep wells. In Proceedings of the 6th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. ISSMFE Austrian National Committee, Vienna, Austria, pp. 211-216.*
- Fylkesmannen i Nord-Trøndelag. (2013). <https://felles.naturbase.no/api/dokument/hent/13623.PDF>.
- Helle, T. E. (2017). *Quick-clay landslide mitigation using potassium chloride. Doktorgradsavhandling ved NTNU 2017:234.*
- NAF. (2019). <https://reiseplanlegger.naf.no/>.
- NAVFAC EXWC. (2015). https://www.navfac.navy.mil/navfac_worldwide/specialty_centers/exwc/products_and_services/ev/erb/gsr.html.
- NGI. (2018). *GBV Grunnforsterkning 2018, sluttrapport. NGI-rapport 20180049-01-R.*
- NGI. (2019). *AP2 - Kostnadsberegninger av stabilitetstiltak. NGI notat 20180146-01-TN, rev1, datert 02.07.19.*
- NVE. (2014a). *Kvikkleiresone 1863. https://gis3.nve.no/kvikkleireFaktaark/1863.*
- NVE. (2014b). *Sikkerhet mot kvikkleireskred - Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper. NVE.*
- NVE. (2016). https://www.miljokommune.no/Global/Klima/Webinarer/2018-06-10_Brukerveiledning%20NKA2016_1_30.pdf.
- Rambøll. (2014). *Kvikkleiresone Hegramo, geoteknisk rapport. G-rap-001 rev. 01, datert 17.12.14.*
- Statens Vegvesen. (2008). *Salt SMART Miljøkonsekvenser ved salting av veier - en litteraturgjennomgang. Rapport nr 2535. .*
- Statens Vegvesen. (2015). *Brukerveiledning EFFEKT 6.6, Rapport nr. 356.*
- Statens Vegvesen. (2018). <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Lavere+Energiforbruk+i+Statens+vegvesen+%28LEIV%29/rapporter>.
- Stjørdal kommune. (2019). *Saltstabilisering av kvikkleire (SAK), Arbeidspakke 1: Installasjonsmetoder. Stjørdal kommune.*

Vedlegg A

NGI-NOTAT 20180146-01-TN REV. 1 AP2
– KOSTNADSBEREGNING AV STABILITETS-
TILTAK

Til: Stjørdal kommune
v/ Atle Horn
Kopi til:
Dato: 2019-06-27
Rev.nr. / Rev.dato: 1 / 2019-07-02
Dokumentnr.: 20180146-01-TN
Prosjekt: Saltstabilisering av kvikkleire
Prosjektleder: Marianne Kvennås
Utarbeidet av: Bjørn Kristian Fiskvik Bache
Kontrollert av: Vidar Gjelsvik / Marianne Kvennås

AP2 – Kostnadsberegninger av stabilitetstiltak

Innhold

1	Innledning	2
2	Beregninger	2
	2.1 Sikringsprinsipp	2
	2.2 Beregning av mengder	4
	2.3 Kostnadsestimat	4
3	Diskusjon	7
4	Referanser	8

Tegninger

Tegning nr. 010	Plantegning med beregningsprofil
Tegning nr. 100	Profil 1 – Stabilitet, dagens situasjon
Tegning nr. 101	Profil 1 – Stabilitet, forbedring med topografiske tiltak
Tegning nr. 102	Profil 1 – Stabilitet, forbedring med kalksement
Tegning nr. 103	Profil 1 – Stabilitet, forbedring med bruk av salt
Tegning nr. 104	Profil 1 – Stabilitet, rotasjon av kritisk glideflate

Vedlegg

Vedlegg A: Kostnadsgrunnlag for installering av saltbrønner

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

I forbindelse med prosjektet "Saltstabilisering av kvikkleire" er NGI sammen med Stjørdal kommune, Statens vegvesen, BaneNOR, NVE og Multiconsult involvert for å finne egnede metoder for installasjon av saltbrønner, samt vurdere økonomiske og miljømessige forhold og anvendelsesområder for saltstabilisering sammenlignet med konvensjonelle metoder.

Prosjektet er delt inn i tre arbeidspakker; Arbeidspakke 1 (AP1) som omhandler installasjonsmetode av saltbrønner, arbeidspakke 2 (AP2) som omhandler kost/nytte og miljø, og arbeidspakke 3 (AP3) med evaluering og anbefalinger. Foreliggende notat er en del av AP2, og tar for seg kostnadsberegning av ulike tiltak for å oppnå forbedring av sikkerhet i skråninger i kvikkleireområder iht. NVEs retningslinjer *Sikkerhet mot kvikkleireskred ref. [1]*.

2 Beregninger

I rapporten for AP2 skal det gjøres en vurdering av miljømessige og økonomiske konsekvenser ved tiltak i kvikkleiresoner. Foreliggende notat er et grunnlag for disse vurderingene, hvor det er utført stabilitetsberegninger av en skråning ved Tømmerås i Grong. Ved Tømmerås er det utført stabilitetstiltak med avlasting av skråninger og oppfylling i ravinedaler for å bedre sikkerheten av skråninger. Det foreligger beregninger av prosjekterte tiltak fra før, som legges til grunn for videre arbeid.

2.1 Sikringsprinsipp

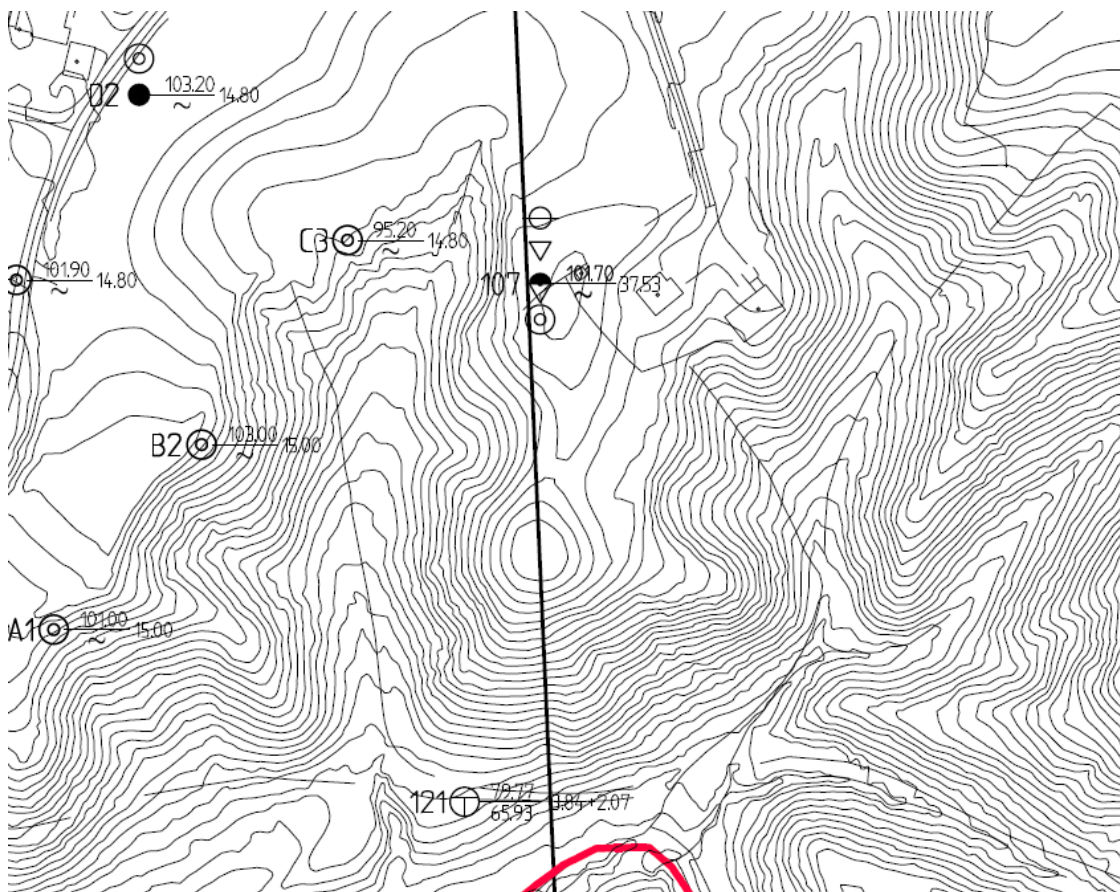
Skråningen som er valgt er vist på figur 1, og har i utgangspunktet sikkerhetsfaktor $\gamma_M=1,0$. Det er gjort beregninger med bruk av topografiske tiltak og stabilisering med kalksement for å oppnå en forbedring av sikkerheten på 15% iht. NVE veileder *Sikkerhet mot kvikkleireskred ref. [1]*. Skråningen har i realiteten begrenset topografisk utstrekning der skråningshøyden avtar på begge sider av profilet. For å forenkle beregningene av nødvendige volum antas det at skråningen har "uendelig" utstrekning, slik at tiltak kan beregnes pr. løpemeter skråning.

For topografiske tiltak er prinsippet for forbedring at de drivende kreftene i skråningen reduseres, mens skjærfastheten i grunnen forblir uendret. Dette gjøres ved at terrenget på topp av skråning senkes, mens terrenget i bunn av skråningen heves. Dette gjøres til en øking av sikkerhetsfaktoren på 15% er oppnådd.

For stabilisering med kalksement er prinsippet for forbedring at skjærfastheten i jorda i deler av skråningen økes, slik at motstanden mot glidning blir større. Det gjøres ingenting med selve topografien. Stabilisering gjøres til en gjennomsnittlig økning av motstanden i skråningen på 15% er oppnådd. I beregningene er det tatt utgangspunkt i en gjennomsnittlig skjærfasthet i stabilisert materiale på 250 kPa.

For stabilisering med salt er også prinsipp om 15% forbedring lagt til grunn. Metoden øker ikke grunnens skjærfasthet, og reduserer heller ikke de drivende kreftene, så sannsynligheten for at et skred kan gå er uendret. Saltstabilisering øker imidlertid restfastheten i grunnen, slik at et eventuelt skred begrenses til en enkelt utglidning og ikke utvikler seg til et områdeskred. Det tas utgangspunkt i at alle glideflater med $F_c < 1,15$ må omfattes av salttiltaket. Det installeres salt til underkant av kvikkleirelaget, eventuelt begrenset til $0,25 \cdot H$ under skråningståen dersom kvikkleira ligger dypere enn dette.

For å vurdere om saltomfanget er tilstrekkelig er det gjort beregninger av stabilitet i dagens tilstand. Deretter er skredlegemet fra mest kritiske glideflate (initialskred) rotert slik at drivende moment er lik null. Deretter er det vurdert om det er mulighet for videre retrogresjon i skredkanten som står igjen. I dette tilfellet er det vurdert at skredkanten ikke utgjør noen fare for videre retrogresjon, se tegning 104.



Figur 1 Utsnitt av tegning 010 som viser skråning i Tømmerås med tilhørende beregningsprofil.

2.2 Beregning av mengder

Utførte stabilitetsberegninger er vist på tegning 100 – 104, vedlagt. Beregningene er utført med samme materialparametere som ble benyttet ved prosjektering av tiltakene. Basert på beregningsresultatene er det beregnet nødvendig omfang av tiltakene, vist i tabell 1 til 3.

Tabell 1 Nødvendige mengder for å oppnå 15 % forbedring ved bruk av topografiske tiltak.

Topografiske tiltak	
Nødvendig avlasting	58 m ³ /lm
Nødvendig motfylling	71 m ³ /lm

Tabell 2 Nødvendige mengder for å oppnå 15 % forbedring ved bruk av kalksement.

Tiltak med kalksement	
Areal kalksement	500 m ² /lm
Nødvendig Su	115 kPa
Nødvendig dekningsgrad	25 %
Volum kalksement	125 m ³ /lm

Tabell 3 Nødvendige mengder for å oppnå 15 % forbedring ved bruk av salt.

Tiltak med salt	
Nødvendig lengde	86 m
Gjennomsnittlig dybde borhull	26 m
Gjennomsnittlig dybde saltbrønn	16 m
Senteravstand saltbrønner	1,5 m
Antall meter brønn	990 m/lm
Antall meter salt	610 m/lm

2.3 Kostnadsestimat

2.3.1 Topografiske tiltak

Beregningen av kostnader er basert på beregnede mengder presentert i tabell 1 multiplisert med erfaringspriser fra tilsvarende arbeider. Prisene for avlasting og motfylling er hentet fra NVEs prosjekt i Tømmerås. Enhetsprisene som er oppgitt inkluderer riggkostnader. Beregnede kostnader er vist i tabell 4.

Tabell 4 Beregnede kostnader for topografiske tiltak for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%.

Topografiske tiltak	Mengde	Enhetspris	Sum
Avlasting og motfylling	109 m ³ /lm	115 kr/m ³	12 535 kr/lm
Heving og erosjonssikring av bekk	20 m ³ /lm	300 kr/m ³	6 000 kr/lm
Totale kostnader			18 535 kr/lm

For avlasting og motfylling vil det erfaringsmessig kunne kjøres og mottas ca. 100 m³/t. Dette omfatter bruk av 2 stk. 25 tonn gravemaskiner og 2 stk. lastebiler eller dumpere. For heving og erosjonssikring av bekk vil det erfaringsmessig kunne etableres 100 m³/t. Dette omfatter bruk av 2 stk. 25 tonns gravemaskiner og 5 lastebiler eller dumpere.

2.3.2 Tiltak med kalksement

Beregning av kostnader for kalksement er basert på beregnede mengder i tabell 2 multiplisert med erfaringspriser for tilsvarende arbeider. Erfaringspriser for stabilisering med kalksement er basert på avrundede anslagspriser fra Statens vegvesen.

Tabell 5 Beregnede kostnader for tiltak med kalksement for å oppnå forbedring lik 15%.

Tiltak med kalksement	Mengde	Enhetspris	Sum
Stabilisering	125 m ³ /lm	300 kr/m ³	37 500 kr/lm
Totale kostnader			37 500 kr/lm

For stabilisering med kalksement vil det erfaringsmessig kunne installeres ca. 60 m³/t per kalksementtrigg. I tillegg vil det kunne være behov for gravemaskin for utjevning av terrenget dersom det er skrått eller kupert.

2.3.3 Tiltak med saltstabilisering

Beregning av kostnader for saltstabilisering er basert på mengdene i tabell 3 multiplisert med erfaringspriser for tilsvarende arbeider. Prisene for stabilisering med salt er hentet fra installering av saltbrønner på Tiller i forbindelse med SAK-prosjektet [2]. Det ble installert til sammen 21 saltbrønner ved hjelp av ulike metoder. For kostnadsberegningene er følgende installasjonsmetoder og brønner benyttet, da de vurderes å være mest aktuelle ved videre bruk:

- Installering med totalsondering og saltslurry: Gjennomsnittskostnader for installering av brønnene SW19 og SW20 er benyttet
- Installering av saltstaver i forborede brønner: Gjennomsnittskostnader for installering av brønnene SW13 og SW14 er benyttet

Kostnadsgrunnlaget for installering av saltbrønner er gitt i vedlegg A.

For beregning av saltforbruk er det tatt utgangspunkt i beregningsprofilen, og at sprøbruddmateriale innenfor relevante glideflater må stabiliseres. Det tas utgangspunkt i at saltbrønner installeres med senteravstand $c/c = 1,5$ meter i hele kvikkleiras mektighet. Dette gir en gjennomsnittlig dybde for brønner lik 20 meter, og at salt installeres i søyler med gjennomsnittlig høyde på 11 meter.

For etablering av borehull varierer kostnadene for de enkelte brønnene. Det er valgt å benytte gjennomsnittspris for installering av de fire brønnene som enhetspris. For etablering av saltbrønn er gjennomsnittskostnader for bruk av slurry i brønnene SW19 og SW20, benyttet i Tabell 6. Gjennomsnittskostnadene for bruk av saltstaver i brønnene SW13 og SW14 er benyttet i Tabell 7.

Tabell 6 Beregnede kostnader for tiltak med saltslurry for å øke omrørt skjærfasthet.

Tiltak med saltstabilisering, totalsondering+slurry	Mengde	Enhetspris	Sum
Etablering borhull	990 m/lm	143 kr/m	141 570 kr/lm
Etablering saltbrønn	600 m/lm	624 kr/m	375 000 kr/lm
Totale kostnader			516 570 kr/lm

For installasjon av brønner med totalsondering og saltslurry med geoteknisk borerigg er det beregnet et totalt drivstofforbruk på ca. 0,25 liter/lm.

Tabell 7 Beregnede kostnader for tiltak med saltstaver for å øke omrørt skjærfasthet.

Tiltak med saltstabilisering, totalsondering+saltstaver	Mengde	Enhetspris	Sum
Etablering borhull	990 m/lm	143 kr/m	141 570 kr/lm
Etablering saltbrønn	600 m/lm	805 kr/m	483 000 kr/lm
Totale kostnader			624 570 kr/lm

For installasjon av brønner med totalsondering og saltstaver med geoteknisk borerigg er det beregnet et totalt drivstofforbruk på ca. 0,25 liter/lm.

3 Diskusjon

Som det kommer frem av tabell 4 til 7 er kostnaden forbundet med bruk av kalksement omtrent det dobbelte av hva det koster å gjøre tiltak med motfylling og avlasting. Om en ved prosjektering klarer å oppnå massebalanse i prosjektet vil avlasting og motfylling være optimalt ettersom det ikke trengs å tiltransportere masser til prosjektet. Det vil imidlertid ikke alltid være mulig å gjennomføre topografiske tiltak i alle områder, særlig i skråninger med bebyggelse på topp eller i bunn, fredede områder generelt, eller i raviner med verneverdig biologisk mangfold. I slike tilfeller kan stabilisering med kalksement eller salt være et alternativ for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot områdeskred.

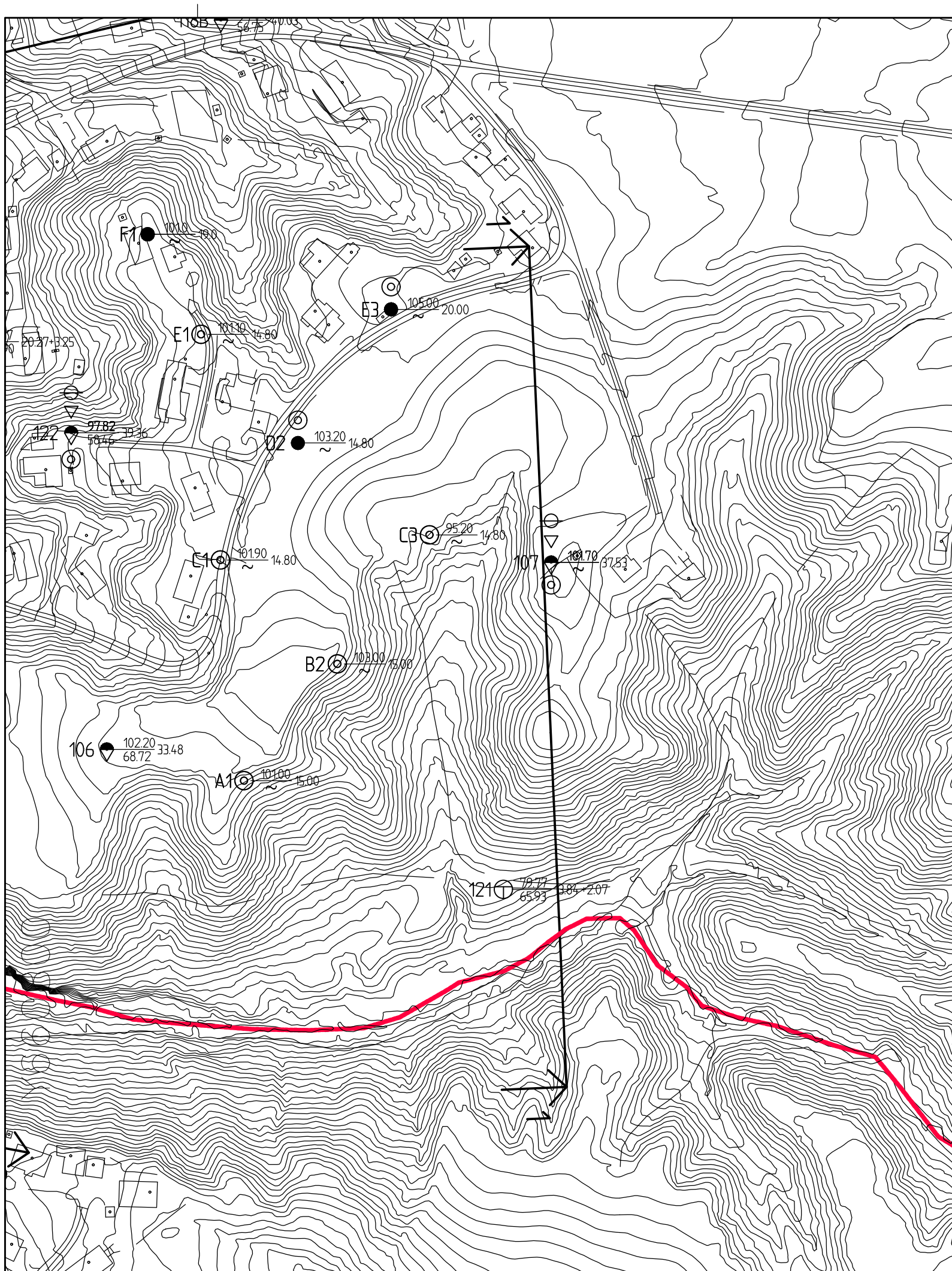
En begrensning ved stabilisering med kalksement er at det bygges opp et poreovertrykk i grunnen under installasjon. Dette gir en potensiell reduksjon i sikkerhet som gjør at det må gjøres en midlertidig forbedring av stabiliteten før stabiliseringen kan utføres. Slike ekstratiltak er ikke inkludert i kostnadsberegningen. En annen begrensning med bruk av kalksement er at det ikke kan installeres til mer enn ca. 20-22 meters dybde. I ravinert landskap i kvikkleireområder er ofte skråningene høye og mektigheten av kvikkleire stor. Det vil da ikke være mulig å nå ned til store deler av den kritiske glideflaten slik at metoden blir lite effektiv. En kalksementtrigg er også stor og tung, og krever relativt plant terreng for å kunne operere effektivt.

Tiltak med saltstabilisering er vesentlig mer kostbare enn de andre alternativene. Dette henger sammen med lang installasjonstid, da prosessene for installasjon har vært langt fra optimalisert. For metoden med installering av saltstaver, er kostnaden med produksjon av saltstavene høy, da dette ikke har vært gjort tidligere. Dersom kostnadene for saltstabilisering kan reduseres kan den være aktuell i områder der topografiske tiltak eller tiltak med kalksement ikke er mulig å gjennomføre. En av fordelene med metoden er at den kan installeres med lett utstyr og komme til i kupert terreng.

Kostnadene knyttet til saltstabilisering forventes å kunne reduseres med større erfaring med installasjon av saltbrønner. En kostnadsreduksjon vil være nødvendig for å gjøre metoden konkurransedyktig. En mer kritisk vurdering av sikkerhetsprinsippet som legges til grunn vil også kunne gi et mindre stabilisert volum og lavere total kostnad.

4 Referanser

- [1] Norges Vassdrags- og energidirektorat, «Sikkerhet mot kvikkleireskred - Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper,» NVE, 2014.
- [2] Stjørdal kommune, «Saltstabilisering av kvikkleire (SAK), Arbeidspakke 1: Installasjonsmetoder,» Stjørdal kommune, 2019.



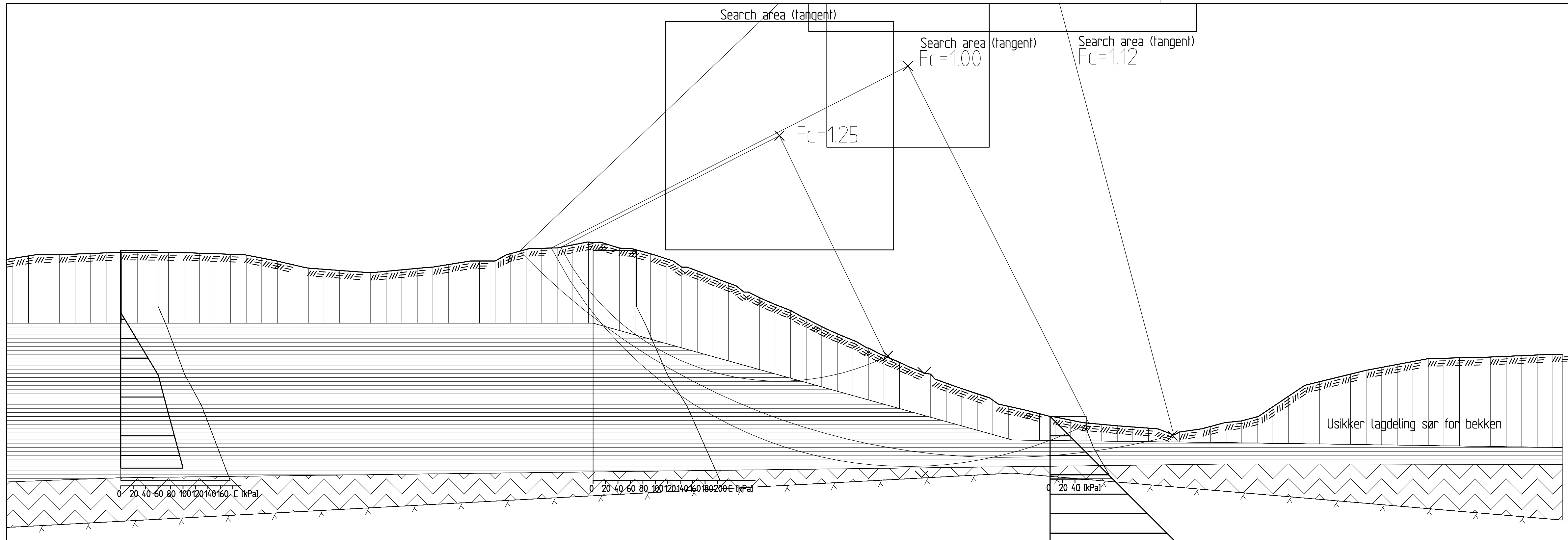
FORKLARINGER:

BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Saltstabilisering av kvikkleire Profil for stabilitetsberegninger		Status	-		
		Original format	A3		
		Tegningens filnavn	Plantegning BKB.dwg		
Tømmerås, Grong kommune Plantegning med grunnboringer		Målestokk	1:2000		
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
		26.04.2019	BKB	VG	MK v
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20180146	010	-	





FORKLARINGER:
-
BESTEMMELSER:
-
HENVISNINGER:
-

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-

Saltstabilisering av kvikkleire
Stabilitetsberegninger

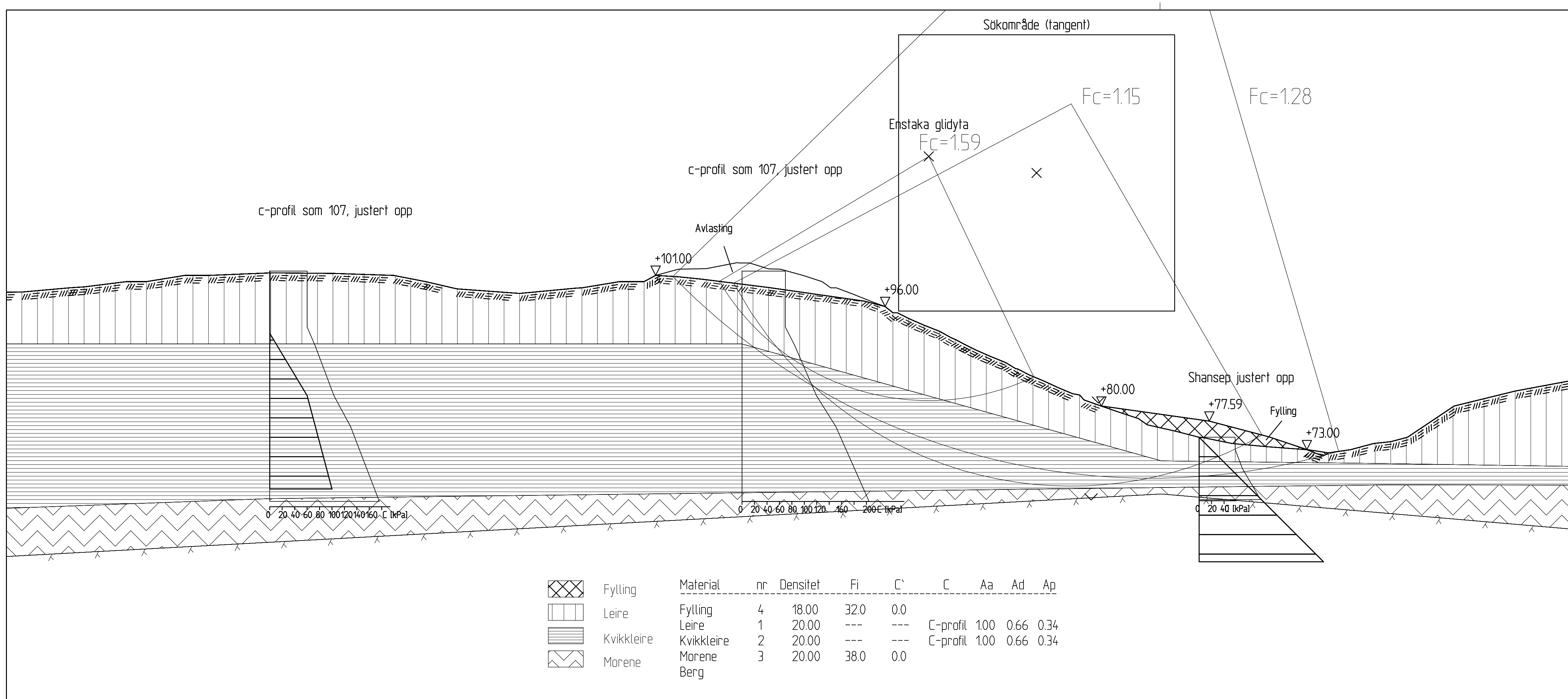
Tømmerås Profil 1
Dagens situasjon

Målestokk
1:400



Material	nr	Densitet	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap	AltGw	Ru-faktor	Portryck
Leire	1	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.66	0.34	0.00	0.00	0.00
Kvikkleire	2	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.66	0.34	0.00	0.00	0.00
Morene	3	20.00	38.0	0.0					0.00	0.00	0.00
Berg											

NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no	Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
	2019.04.24	BKB	VG	MKV
Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.		
20180146	100	-		



FORKLARINGER:

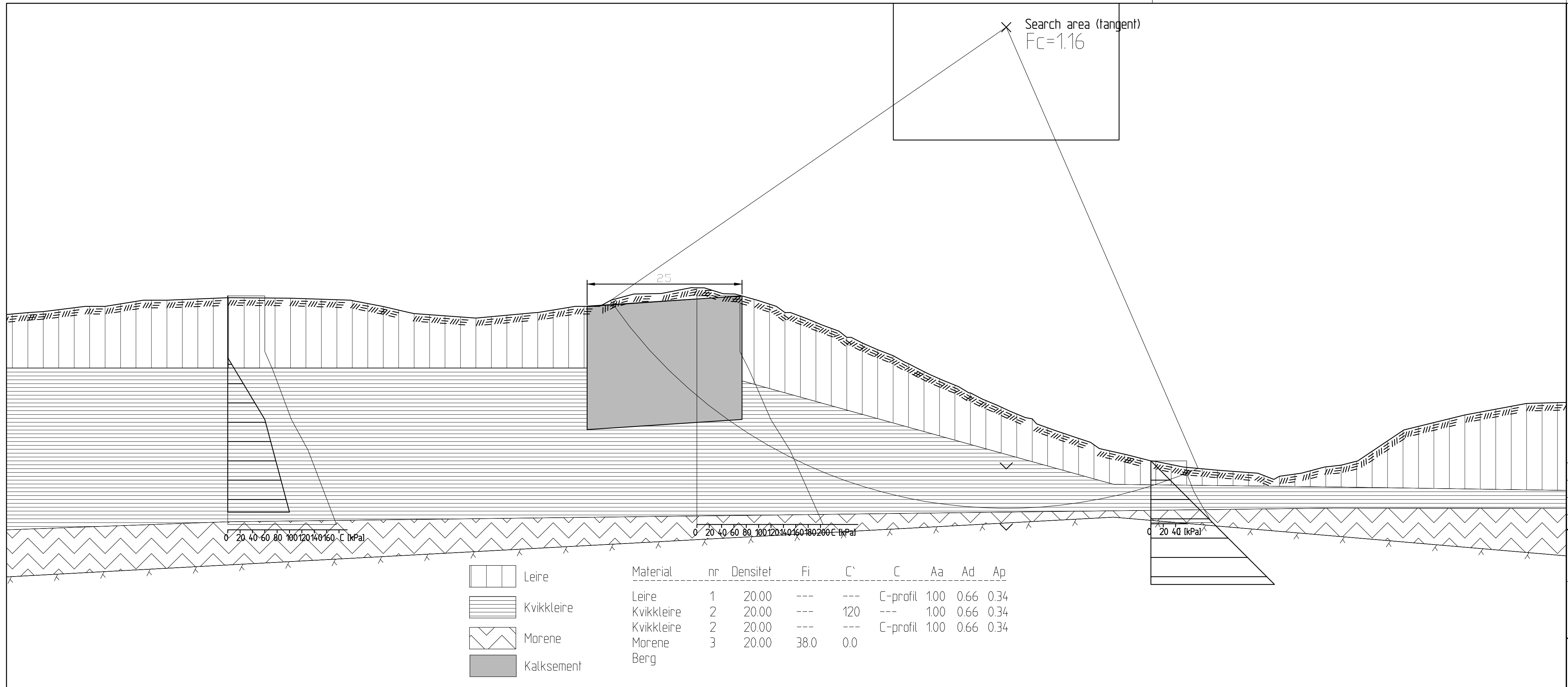
BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:

	Material	nr	Densitet	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
	Fylling								
	Leire								
	Kvikkleire								
	Morene								
	Berg								
	Fylling	4	18.00	32.0	0.0				
	Leire	1	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.66	0.34
	Kvikkleire	2	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.66	0.34
	Morene	3	20.00	38.0	0.0				

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
Saltstabilisering av kvikkleire		Status			
Stabilitetsberegninger		Original format			
		A3.1			
		Tegningens filnavn			
		Profil 1 Saltprosjekt terrengtiltak.dwg			
Tømmerås profil 1		Målestokk			
Topografiske tiltak		1400			
NGI		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion		24.04.2019	BKB	VG	MK v
NO-0806 Oslo, Norway		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48		20180146	101	-	
www.ngi.no					





Search area (tangent)
Fc=1.16

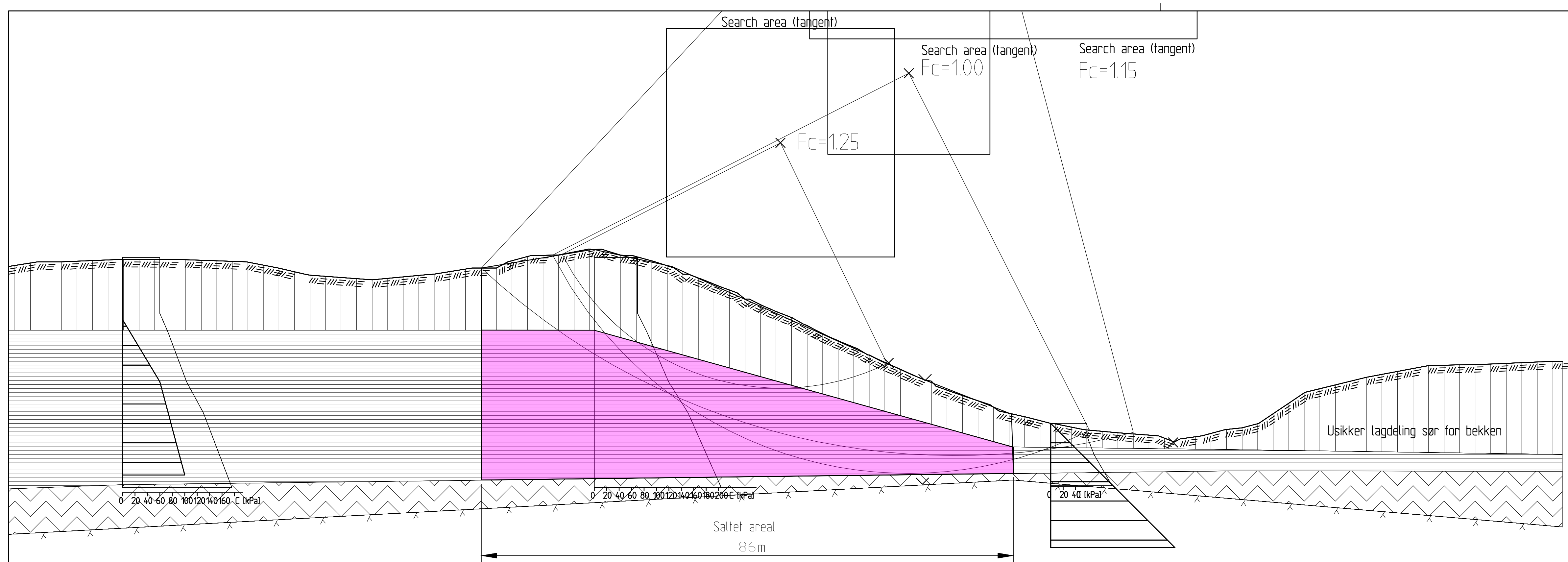
FORKLARINGER:

BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:

Material	nr	Densitet	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Leire	1	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.66	0.34
Kvikkleire	2	20.00	---	120	---	1.00	0.66	0.34
Kvikkleire	2	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.66	0.34
Morene	3	20.00	38.0	0.0				
Berg								

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
Saltstabilisering av kvikkleire Stabilitetsberegninger		Status Original format A3.1 Tegningens filnavn Profil 1 saltprosjekt tiltak KS			
Tømmerås profil 1 Tiltak med kalksement		Målestokk			
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
		24.04.2019	BKB	VG	MK v
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20180146	102	-	



- Leire
- Kvikkleire
- Morene

Material	nr	Densitet	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap	AltGw	Ru-faktor	Portryck
Leire	1	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.66	0.34	0.00	0.00	0.00
Kvikkleire	2	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.66	0.34	0.00	0.00	0.00
Morene	3	20.00	38.0	0.0					0.00	0.00	0.00
Berg											

FORKLARINGER:
-

BESTEMMELSER:
-

HENVISNINGER:
-

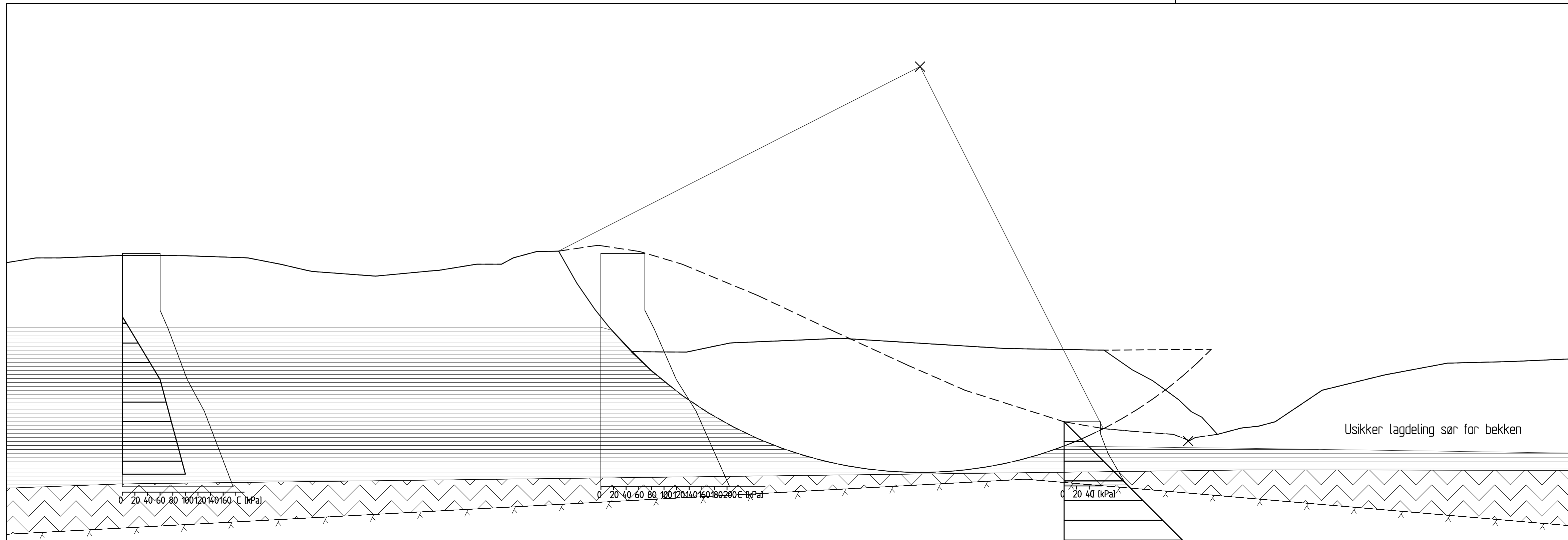
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-


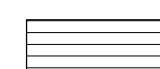

Saltstabilisering av kvikkleire
Stabilitetsberegninger

Tømmerås Profil 1
Tiltak med salt

Målestokk
1:400

NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no	Dato 2019.04.24 Oppdragsnr. 20180146	Konstr./Tegnet BKB Tegningsnr. 103	Kontrollert VG	Godkjent MKv
---	---	---	-------------------	-----------------



-  Leire
-  Kvikkleire
-  Morene

Material	nr	Densitet	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap	AltGw	Ru-faktor	Portryck
Leire	1	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.66	0.34	0.00	0.00	0.00
Kvikkleire	2	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.66	0.34	0.00	0.00	0.00
Morene	3	20.00	38.0	0.0					0.00	0.00	0.00
Berg											

FORKLARINGER:

BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
Saltstabilisering av kvikkleire		Status			
Stabilitetsberegninger		Original format			
Tømmerås Profil 1		A3.1			
Tiltak med salt, rotasjon av initialskred.		Tegningens filnavn			
		Profil 1 saltprosjekt Dagens situasjon			
		Målestokk		NGI	
		1:400			
NGI		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion		2019.04.24	BKB	VG	MKV
NO-0806 Oslo, Norway		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48		20180146	104	-	
www.ngi.no					

Vedlegg A

KOSTNADSGRUNNLAG FOR INSTALLERING AV SALTBRØNNER

Innhold

A1	Totalsondering og KCl-slurry	2
A2	Totalsondering og saltstaver	4
A3	Enhetspriser og -mengder	6

A1 Totalsondering og KCl-slurry

Mengder og kostnader forbundet med installering av saltbrønn ved totalsondering og KCl-slurry er vist i hhv. tabell 1 og tabell 2.

Tabell 1 Mengder forbundet med installering av saltbrønn ved totalsondering og KCl-slurry

Oppgave/Brønn	SW19	SW20
Dato	03.04.2019	04.04.2019
Tid boring (minutt)	59	41
Bora dybde (m)		25
Tid trekking av borstreng (minutt)	7.5	8
Faktisk dybde bunn borhull (m)	23	23
Salt mengde (kg)	225	248
Salt i brønn (kg)	200	?
Tid pumping av vatn (minutt)	5	5
Bentonittpellets (kg)	50	57.5
Bentonittplugg (antall)	0	15
Maskintimer rigg (minutt)	66.5	49
Tid fylling av bentonitt og rigging av utstyr (minutt)	45	45
Tid pumping av vatn (minutt)	10	10
Aggregattimer for MAI-pumpe (minutt)	16	23
Energiforbruk rigg (liter drivstoff)	3.7	2.7
Energiforbruk aggregat (liter drivstoff)	0.9	1.3
Energiforbruk vannpumpe forboring og opp-pumping (liter drivstoff)	1.39	1.00
Energiforbruk vannpumpe pumping fra gård (liter drivstoff)	0.22	0.22
Total tid (rigg tid+aggregat+pumping)	137.5	127

Tall i grå kursiv er antatt verdi basert på erfaring fra brønner av samme type

Tabell 2 Kostnader forbundet med installering av saltbrønn ved totalsondering og KCl-slurry

Kostnad (kr)/Brønn	SW19	SW20
Kostnad diesel	73	64
Kostnad bensin	27	21
Kostnad KCl	1642	1809
Kostnad bentonittpellets	250	288
Personell (x1,5 pga. behov for 3 personer)	10742	9922
Totalt per brønn	12734	12104
<hr/>		
Kostnad kun boring (kr)		
Drivstoff	58	43
Personell	3464	2552
Per løpemeater borhull	153	113
<hr/>		
Kostnad installering saltbrønn (kr)		
Total kostnad minus boring	9212,3	9508,6
Pr. løpemeater med salt	614	634
<hr/>		
Drivstoff-forbruk/løpemeater	0,27	0,23

A2 Totalsondering og saltstaver

Mengder og kostnader forbundet med installering av saltbrønn ved totalsondering og saltstaver er vist i hhv. tabell 3 og tabell 4.

Tabell 3 Mengder forbundet med installering av saltbrønn ved totalsondering og saltstaver

Oppgave/Brønn	SW13	SW14
Dato	03.04.2019	03.04.2019
Tid boring (minutt)	63	62
Bora dybde (m)	25	25
Tid trekking av borstreng (minutt)	6	7
Faktisk dybde bunn borhull (m)	23	25
Tid montering saltstav (minutt)	7	7
Dytte ned saltstav med rigg (minutt)	8	7
Trekke stenger (minutt)	3	3
Tid pumping av vatn (minutt)	5	2
Salt mengde (kg)	171	171
Salt i brønn (kg)	85	85
Bentonittpellets (kg)	37.5	62.5
Bentonittplugg (antall)	0	15
Dytta ned bentonittplugg med rigg (minutt)	0	0
Tid for fylling av bentonitt (minutt)	30	30
Tid pumping av vatn (minutt)	10	10
Maskintimer rigg (minutt)	80	79
Energiforbruk rigg (liter drivstoff)	4.4	4.4
Energiforbruk vannpumpe forboring og opp-pumping (liter drivstoff)	1.5	1.4
Energiforbruk vannpumpe pumping fra gård (liter drivstoff)	0.22	0.22
Total tid (rigg tid+pumping)	102	98
	Trakk frå 30 min for bæring salt rigge pumpe etc.	Trakk frå 30 min pga. vatn + slange som sprakk for NGI etc.

Tal i grå kursiv er antatt verdi basert på erfaring fra brønner av samme type

* fikk ikke dyttet stavene lenger ned siden staven mistet kontakt med adapter

Tabell 4 Mengder forbundet med installering av saltbrønn ved totalsondering og saltstaver

Oppgave/brønn	SW13	SW14
Kostnad (kr)		
Kostnad diesel	70	69
Kostnad bensin	29	27
Kostnad KCl (basert på KCl i 25 kg/sekkar * 20%)	1497	1497
Kostnad produksjon av saltstav	9428	9428
Kostnad bentonittpellets	188	313
Personell	5313	5104
Totalt per brønn	16524	16438
Kostnad kun boring (kr)		
Drivstoff	61	61
Personell	3594	3594
Pr. løpemeter borhull	159	146
Kostnad saltbrønn (kr)		
Total kostnad minus boring	12869	12784
Pr løpemeter	858	752
Drivstoff-forbruk/løpemeter (L)	0.27	0.24

A3 Enhetspriser og -mengder

Enhetspriser og -mengder for ulike poster er gitt i tabell 5.

Tabell 5 Enhetspriser for ulike poster

Post	Sats	Enhet	Type	Kommentar
Aggregat til MAI-pumpe - QAS20 full belastning	3.5	l/time	Diesel	Fra datablad ved full drift.
Caterpillar 134C Gravemaskin	12.1	l/time	Diesel	Faktura fra pilot oppgav 242 l diesel. Antar 20 maskintimer ut fra egen timeliste.
GeoMaskin GM8 SVV borerigg	3.3	l/time	Diesel	Basert på ca. 200l/60 timer. Muntlig kommunikasjon med Ole Vidar Kirkevollen.
Honda VX15 vannpumpe	1.3	l/time	Bensin	Ref. produktblad, 1,2 liter/53 min v/ full drift
Timepris for 2 grunnborere	3125	Kr./time eks. mva.		Basert på 25000 kr/dag a 8 timer/dag
KCl i 25 kg sekker	7.3	Kr./kg		Basert på 1 tonn salt inkl. frakt i 25 kg sekker
Diesel	15.81	Kr./l		Circle K, 08.05.19
Bensin	17.02	Kr./l		Circle K, 08.05.20
Bentonitpellets	5	Kr./kg		Rotek
Transport av vann	700	Kr./time		NGTs pris, mult med 2 for 2 transporter, 1400 kr/t
Materialkostnad per brønn med saltstaver	4428	Kr.		
Personell sette sammen saltstaver	5000	Kr.		Faktisk kostnad var kr 16014,2, vurdert for høy

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Kostnadsberegninger av stabilitetstiltak		Dokumentnr./Document no. 20180146-01-TN
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical note	Oppdragsgiver/Client Statens vegvesn Region midt	Dato/Date 2019-06-27
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/Proprietary rights to the document according to contract Oppdragsgiver / Client		Rev.nr. & dato/Rev.no. & date 1 / 2019-07-02
Distribusjon/Distribution ÅPEN: Skal tilgjengeliggjøres i åpent arkiv (BRAGE) / OPEN: To be published in open archives (BRAGE)		
Emneord/Keywords Kvikkleire, kalksement, topografiske tiltak, saltstabilisering		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge, Trøndelag	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Trondheim	Felt navn/Field name
Sted/Location Trondheim	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: Øst: Nord:	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	2019-06-27 Bjørn Kristian Fiskvik Bache	2019-06-27 Vidar Gjelsvik		
1	Endret tekst i diskusjon	2019-07-02 Bjørn Kristian Fiskvik Bache	2019-07-02 Marianne Kvennås		

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 2. juli 2019	Prosjektleder/Project Manager Marianne Kvennås
--	----------------------------------	--

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: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

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: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

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 tredjemann 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.

Vedlegg B

ASPLAN VIAK-NOTAT 621528-01 LCA KCL
SALTSTABILISERING

Oppdragsnavn: LCA KCl saltstabilisering
Oppdragsnummer: 621528-01
Utarbeidet av: Linda Ager-Wick Ellingsen
Kvalitetssikret av: Johanne Hammervold
Dato: 13.02.2019
Tilgjengelighet: Åpen

NOTAT LCA av kaliumklorid (KCl)

1. BAKGRUNN.....	1
2. DATA OG INVENTAR.....	2
3. RESULTATER	3

1. BAKGRUNN

NGI, sammen med NVE, Bane NOR, SVV og Stjørdal kommune er engasjert i et forskningsprosjekt hvor de ser på injisering av saltet kaliumklorid (KCl) som et middel for å stabilisere kvikkleire. I denne forbindelse har Asplan Viak fått i oppdrag å gjøre en vurdering av klimagassutslippet for produksjon av KCl. For å gjøre beregningen betrakter vi verdikjeden og relevante prosesser knyttet til produksjon og levering av KCl.

Solberg Industri importerer KCl fra Uralkali i Russland. Den russiske produsenten styrer hele verdikjeden av KCl produksjon, fra gruvedrift til ferdig produkt (vugge-til-port). Uralkali driver tradisjonell gruvedrift for utvinning av KCl i Perm. De produserer både rosa og hvit KCl og disse kan leveres med et K_2O -innhold på 60-62%. For bruken av KCl som et stabiliseringsmiddel er det hvit KCl som vil bli brukt med et K_2O -innhold på 62%. Uralkali pakker det ferdig produserte KCl saltet i innpakkingssekker som inneholder 25 kg KCl.

Uralkali sender det pakkeproduserte produktet fra Perm med godstog til St. Petersburg¹. Når godstoget ankommer skipsterminalen i St. Petersburg blir saltet mellomlagret i et oppbevaringslager før det sendes videre med skip til Haugesund. Fra skipsterminalen i St. Petersburg sendes saltet med skip til Solberg Industri i Haugesund. Fra Haugesund sender Solberg Industri produktet videre til kundene sine, enten med skip eller lastebil.



Figur 1 a) Beliggenheten til Perm, b) godstoget som frakter KCl fra Perm til St. Petersburg, c) lager for oppbevaring på skipsterminalen i St. Petersburg, d) skip som lastes på skipsterminalen i St. Petersburg. All grafikk er hentet fra nettsiden til Uralkali¹.

2. DATA OG INVENTAR

Data har blitt samlet inn for produksjon (vugge-til-port) av KCl i Perm, innpakningssekk, diverse transportetapper fra Perm til Trondheim og midlertidige oppbevaringslagre.

For produksjon av KCl baserte vi oss på *ecoinvent*-prosessen «Potassium chloride, as K₂O», som modellerer kaliumklorid som K₂O. Prosessen baserer seg på gruvedrift og er således representativ for KCl-produksjonen i Russland. Ettersom den originale *ecoinvent*-prosessen modellerer utvinning av KCl i Saskatchewan, Canada, modifiserer vi datasettet slik at det bedre representerer utvinning i Russland. Dette gjør vi ved å endre elektrisitetsbruken fra canadisk til russisk elektrisitet. *Ecoinvent*-prosessen «Potassium chloride, as K₂O» er basert på 1 kg K₂O, og ettersom *ecoinvent*-prosessen antar et 60% K₂O-innhold i KCl, tilsvarer dette 1,67 kg KCl. For å få 1 kg KCl med et 62% K₂O-innhold, trenger vi derfor 0,62 kg «Potassium chloride, as K₂O».

For innpakningssekken laget vi en ny prosess «Packaging, for 1 kg KCl salt» som er delvis basert på *ecoinvent*-prosessen «Packaging, for fertilisers or pesticides». Ettersom den originale prosessen ser på både innpakningssekker og innpakningsbokser, endrer vi prosessen slik at den kun inkluderer sekker. Uralkali bruker sekker som veier rundt 60 g og er laget av polypropylen¹. Vi endrer derfor plasttypen i den originale prosessen fra polyetylen til polypropylen. Prosessen tar høyde for at det er et svinn på 2,4% når man går fra polypropylen granulat til ferdig sekk. Ettersom en enkelt sekk på 60 g brukes til innpakning av 25 kg KCl, blir det da 2,46 g sekk g per 1 kg KCl. Vi har modellert prosessen slik at 1 kg «Packaging, for 1 kg KCl salt» er der som trengs for inn pakking av 1 kg KCl.

For transport har vi inkludert tre transportetapper: godstog i Russland, skipstransport fra Russland til Norge og skipstransport i Norge. Med godstog er det ca. 1800 km fra Perm til St. Petersburg². Utfra bildet av godstoget på Figur 1 b), ser det ut til at godstoget går på diesel og vi har derfor antatt dette i inventaret. Distansen mellom skipsterminalene i St. Petersburg og Haugesund er 1083 nautiske mil³, eller 2006 km. Fra Haugesund sender Solberg Industri produktene sine enten med lastebil eller skip. Vi antar at saltet fraktes med skip til Trondheim. Distansen mellom skipsterminalene i Haugesund og Trondheim er 365 nautiske mil³, eller 676 km.

For mellomlagring av saltet er oppbevaringslager på skipsterminalene i St. Petersburg og i Haugesund medregnet. Oppbevaringslageret i St. Petersburg har en årlig kapasitet på 240.000 tonn¹. Med en antatt levetid på 40 år, har oppbevaringslageret en total kapasitet på $9,6 \cdot 10^6$ tonn, eller $9,6 \cdot 10^9$ kg. Hver kg som lagres i oppbevaringslageret kan tilskrives en bit av miljøbelastningene knyttet til produksjon av lageret, den er på $1,04 \cdot 10^{-10}$ (= 1 kg / $9,6 \cdot 10^9$ kg). Tilsvarende har vi også inkludert oppbevaringslager hos Solberg Industri i Haugesund. Solberg Industri anslår at total lagringskapasitet per år ligger på ca. 6.000 tonn. De opplyser om at lageret deres er et solid bygg fra Hydro og at de forventer en veldig lang levetid, vi har antatt 80 år. Hver kg blir da tildelt $2,08 \cdot 10^{-9}$ av lagerets totale produksjonsutslipp. Energiforbruk knyttet til belysning og oppvarming har blitt inkludert for lageret i St. Petersburg (9,0 Wh/kg KCl) og Haugesund (360 Wh/kg KCl), energiberegningene er basert på tall fra NVEs Analyse av energibruk i yrkesbygg⁴. Rivning av lagrene er ikke inkludert i analysen.

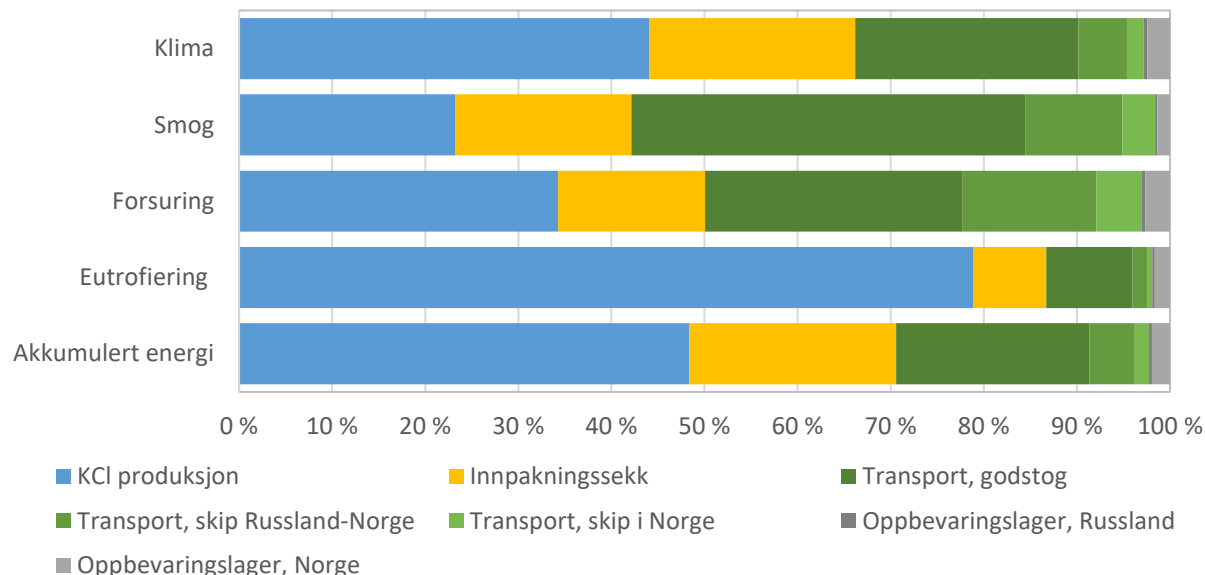
Tabell 1 Oppsummering av inventar per kg KCl.

Output	Mengde	Enhet
Potassium chloride, with 62% K ₂ O {NO} market for Cut-off, U	1,0	kg
Input		
Potassium chloride, as K ₂ O {RU} potassium chloride production Cut-off, U	0,62	kg
Packaging, for KCl salt {GLO} market for packaging, for KCl salt Cut-off, U	1,0	kg
Transport, freight train {Europe without Switzerland} diesel Cut-off, U	1,8	tkm
Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} market for Cut-off, U	2,006	tkm
Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} market for Cut-off, U	0,676	tkm
Storage building, chemicals, solid {GLO} market for Cut-off, U	1,04E-10	p
Storage building, chemicals, solid {GLO} market for Cut-off, U	2,08E-09	p

3. RESULTATER

Basert på en funksjonell enhet av 1 kg KCl levert i Trondheim, har beregninger blitt gjort for klima, smog, forsuring, eutrofiering, og akkumulert energi.

På Figur 2 vises de relative bidragene for de ulike prosessene. Produksjon av KCl (vugge-til-port) er vist i blått, innpakningssekk i gult, de ulike transportetappene i forskjellige grøntoner, og oppbevaringslagrene i forskjellige gråtoner.



Figur 2 Relative bidrag for utslippsfaktorene til VegLCA

Størsteparten av utslippene er knyttet til produksjon av KCl saltet og transportetappene, som til sammen bidrar med 75-90% av de totale utslippene. Av utslippene fra kun KCl produksjon er en stor andel (36-74%) av disse knyttet til fabrikken i Perm der mineralet bearbeides. Utslipp fra innpakningssekken ligger på 8-22%. Til sammen er utslippene knyttet til oppbevaringslagrene på 1,6-3,1%, men størsteparten av disse stammer fra lageret i Haugesund.

I Tabell 2 er de totale utslippsfaktorene til VegLCA vist for de ulike miljøkategoriene. I teksten under fokuserer vi på klimagassutslippene.

Tabell 2 Utslippsfaktorer til VegLCA

Miljøkategori	Totale utslipp	Enhet
Klima	4,3E-01	kg CO ₂ -ekv
Smog	3,2E-03	kg NMVOC
Forsuring	3,1E-03	kg SO ₂ -ekv
Eutrofiering	1,8E-04	kg P-ekv
Akkumulert energi	7,4E+00	MJ

De totale klimagassutslippene per kg levert KCl er beregnet å være 0,43 kg CO₂-ekvivalanter (CO₂-ekv). Av disse er 0,19 kg CO₂-ekv fra KCl produksjon (vugge-til-port), der fabrikken som bearbeider mineralet står for det største enkeltbidraget med 0,07 kg CO₂-ekv av disse. Produksjon av sekkene bidrar med 0,10 kg CO₂-ekv. Transportetappen med godstog i Russland bidrar med 0,10 kg CO₂-ekv (uansett om godstoget går på strøm eller diesel) og skip fra St. Petersburg til Haugesund med 0,02 kg CO₂-ekv. I analysen antok vi at saltet ble transportert med skip fra Haugesund til Trondheim, det fører til et utslipp på 0,01 kg CO₂-ekv. Dersom saltet i stedet for blir transportert med en 16-32 tonns lastebil 814 km på E6, gir det et transportutslipp på 0,13 kg CO₂-ekv, noe som øker de totale klimagassutslippene til 0,56 kg CO₂-ekv. Oppbevaringslageret i St. Petersburg har et veldig lite bidrag med 0,002 kg CO₂-ekv, mens utslipp knyttet lageret i Haugesund ligger på 0,01 kg CO₂-ekv.

Referanser:

1. Uralkali. Available at: <https://www.uralkali.com>. (Accessed: 8th January 2019)
2. Google maps. Available at: <https://www.google.no/maps/>. (Accessed: 8th January 2019)
3. Port distances. Available at: <https://sea-distances.org/>. (Accessed: 8th January 2019)
4. Norges vassdrags- og energidirektorat. *Analyse av energibruk i yrkesbygg*. (2016).

Vedlegg C

FORUTSETNINGER FOR CO2-EKV
BEREGNINGER

Vedlegg C Forutsetninger CO₂-ekv beregninger

			Referanse	Kommentar
Generelt				
Diesel		3,19 kg CO ₂ ekv/l	1	
Materialtransport		0,165 kg/tkm	1	
Topografiske tiltak				
Gravemaskin avgraving og motfylling	dieselforbruk	1 l diesel/m ³	1	
	transport maskin	neglisjerbar		Antatt
	transportavstand gjenbruksmaterial	0,25 km		Antatt
Heving og erosjonssikring av bekk	material	100% nytt, 0% gjenbruk		Antatt
Gravemaskin heving bekk	dieselforbruk	1,1 l diesel/m ³	1	
	transport	neglisjerbar		Antatt
Stein	produksjon	0,0025 kg CO ₂ ekv/kg	1	
	tetthet	1700 kg/m ³	1	
	transportavstand	5 km		Antatt
Kalksement				
kalksement	produksjon	0,922 kg CO ₂ ekv/kg	1	
	tetthet	2925 kg/m ³	1	
	transportavstand Brevik-Hegramo	700 km	3	
rigg	dieselforbruk ift. material	1,16 %	5	
	transport	neglisjerbar		Antatt

Slurry				
salt	produksjon	0,43 kg CO2ekv/kg	4	
	transportavstand Trondheim - Hegramo	44 km	3	
	MAI pumpe dieselforbruk	1,1 l/brønn	6	
vann forboring og oppumping	pumpe dieselforbruk	1,248 l/brønn	6	
vann transport fra gård	pumpe dieselforbruk	0,676 l/brønn	6	
bentonitt	mengde	53,75 kg	6	
	utslippsfaktor	0,022 kg CO2ekv/kg	2	
	biltransport Trondheim-Hegramo	44 km	3	
	øvrig transport	neglisjerbar		Antatt
rigg	dieselforbruk	3,3 l /time	6	
	transport	neglisjerbar		Antatt
Staver				
salt	produksjon	0,452 kg CO2ekv/kg	4	Antatt 5% ekstra for pressing
	transportavstand Trondheim - Hegramo	44 km	3	
vann forboring og oppumping	pumpe dieselforbruk	0,986 l/brønn	6	
vann transport fra gård	pumpe dieselforbruk	0,442 l/brønn	6	
bentonitt	mengde	50 kg	6	
	utslippsfaktor	0,022 kg CO2ekv/kg	2	
	biltransport Trondheim-Hegramo	44 km	3	
	øvrig transport	neglisjerbar		Antatt
rigg	dieselforbruk	3,3 l /time	6	
	transport	neglisjerbar		Antatt
stålrør	produksjon	1,72 kg CO2ekv/kg	1	Antatt vanlig stål
	biltransport Trondheim-Hegramo	44 km	3	
stålwire		neglisjerbar		Antatt

Referanser

- [1] <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Lavere+Energiforbruk+i+Statens+vegvesen+%28LEIV%29/rapporter>
- [2] https://www.navfac.navy.mil/navfac_worldwide/specialty_centers/exwc/products_and_services/ev/erb/gsr.html
- [3] <https://reiseplanlegger.naf.no/>
- [4] LCA av kaliumklorid (KCl), Notat, Asplan Viak, 2019
- [5] https://www.banenor.no/globalassets/documents/prosjekter/follobanen/ski-stasjon_hovedarbeider-miljbudsjett-detaljplan.pdf
- [6] SAK målinger