
RAPPORT

Områdeplan Kjøpmannsgata - Områdestabilitet

OPPDRAKSGIVER

Trondheim kommune

EMNE

Vurdering av områdestabilitet

DATO / REVISJON: 19. desember 2019 / 02

DOKUMENTKODE: 10211940-RIG-RAP-001



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

RAPPORT

OPPDRAG	Områdeplan Kjøpmannsgata - Områdestabilitet			DOKUMENTKODE	10211940-RIG-RAP-001
EMNE	Vurdering av områdestabilitet			TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	Trondheim kommune			OPPDRAGSLEDER	Anders Samstad Gylland
KONTAKTPERSON	Tone Furuberg			UTARBEIDET AV	Anders Gylland / Tonje Eide Helle
KOORDINATER	SONE: 32	ØST: 5700	NORD: 70343	ANSVARLIG ENHET	10234011 Geoteknikk Midt
GNR./BNR./SNR.	X / X / X /				

SAMMENDRAG

Trondheim kommune arbeider med en områdeplan som omfatter bryggerekka langs Kjøpmannsgata i Trondheim (fra Gamle Bybro til Bakke bru). Bl.a. ses det på muligheten for å omregulere bygningene fra næringsformål til boligformål. Dette utløser krav til utredninger av sikkerhet mot naturpåkjenninger etter TEK 17, herunder kvikkleireskred.

Foreliggende rapport behandler geotekniske stabilitetsforhold ved selve bryggene, samt konsekvens av et ev. skred i nærliggende kvikkleireforekomster.

Konklusjoner og videre arbeid omfatter følgende:

- Stabilitet av byggegrunn lokalt ved Bryggerekkene må utredes videre med grunnundersøkelser og stabilitetsberegninger
- Bryggerekka blir ikke truffet direkte av skredmasser som følge av en skredhendelse i nærliggende kvikkleiresoner
- Bryggerekka må motstå en flodbølgesituasjon som følge av en ev. skredhendelser i kvikkleiresonene på Bakklandet. Flodbølgesituasjonen oppstår som følge av et dambrudd gjennom rasmassene. Bryggerekka vurderes som spesielt sårbar for en slik situasjon. Det må utledes dimensjonerende lastsituasjon for denne hendelsen og det bør gjøres en innledende vurdering av ev. behov for forsterkning av konstruksjonene. Dette vil kreve ytterligere vurderings og beregningsarbeid.

Foreliggende rapport er revidert etter uavhengig kvalitetssikring av Rambøll. Større deler av avsnitt som omhandler skred oppstrøms Bryggerekka er betydelig omarbeidet.

			<i>Aug</i>	<i>HAAJ</i>	
02	19.12.2019	Revidert etter uavhengig kvalitetssikring	Anders Gylland	Håvard Narjord	Håvard Narjord
01	15.08.2019	Revidert etter tilbakemeldinger fra oppdragsgiver	Anders Gylland/Tonje Eide Helle	Anders Gylland/Tonje Eide Helle	Håvard Narjord
00	02.07.2019	Utsendt rapport	Anders Gylland/Tonje Eide Helle	Anders Gylland/Tonje Eide Helle	Håvard Narjord
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Oppdragsbeskrivelse og terminologi	5
1.1	Områdeplan Kjøpmannsgata	5
1.2	Problemstillinger ved omregulering	5
1.3	Definisjoner og terminologi	6
2	Grunnforhold, topografi og kvikkleire	7
2.1	Kvikkleire.....	7
2.2	Grunnforhold ved Bryggerekka.....	8
3	Regelverk.....	11
3.1	Generelt	11
3.2	Kvikkleireskred – direkte påvirkning	11
3.3	Kvikkleireskred – sekundærpåvirkning	12
4	Geotekniske vurderinger	12
4.1	Stabilitet lokalt ved Bryggerekka	12
4.2	Kvikkleireskred nær Bryggerekka og direkte påvirkninger.....	14
4.3	Kvikkleireskred oppstrøms Bryggerekka og sekundærpåvirkninger	15
4.3.1	Kvikkleireforekomster og stabilitet	15
4.3.2	Utvikling av ev. skredhendelse på Bakklandet	17
4.3.3	Konsekvens av ev. skredhendelse for Bryggerekka.....	18
4.3.4	Sannsynlighetsvurdering av skredsituasjon	18
4.4	Designprinsipp	18
5	Videre arbeid	19
5.1	Vurderingsarbeid	19
5.2	Risikoreduserende tiltak som kan vurderes.....	20
6	Konklusjon.....	22
	Referanser	23

Tegningsvedlegg

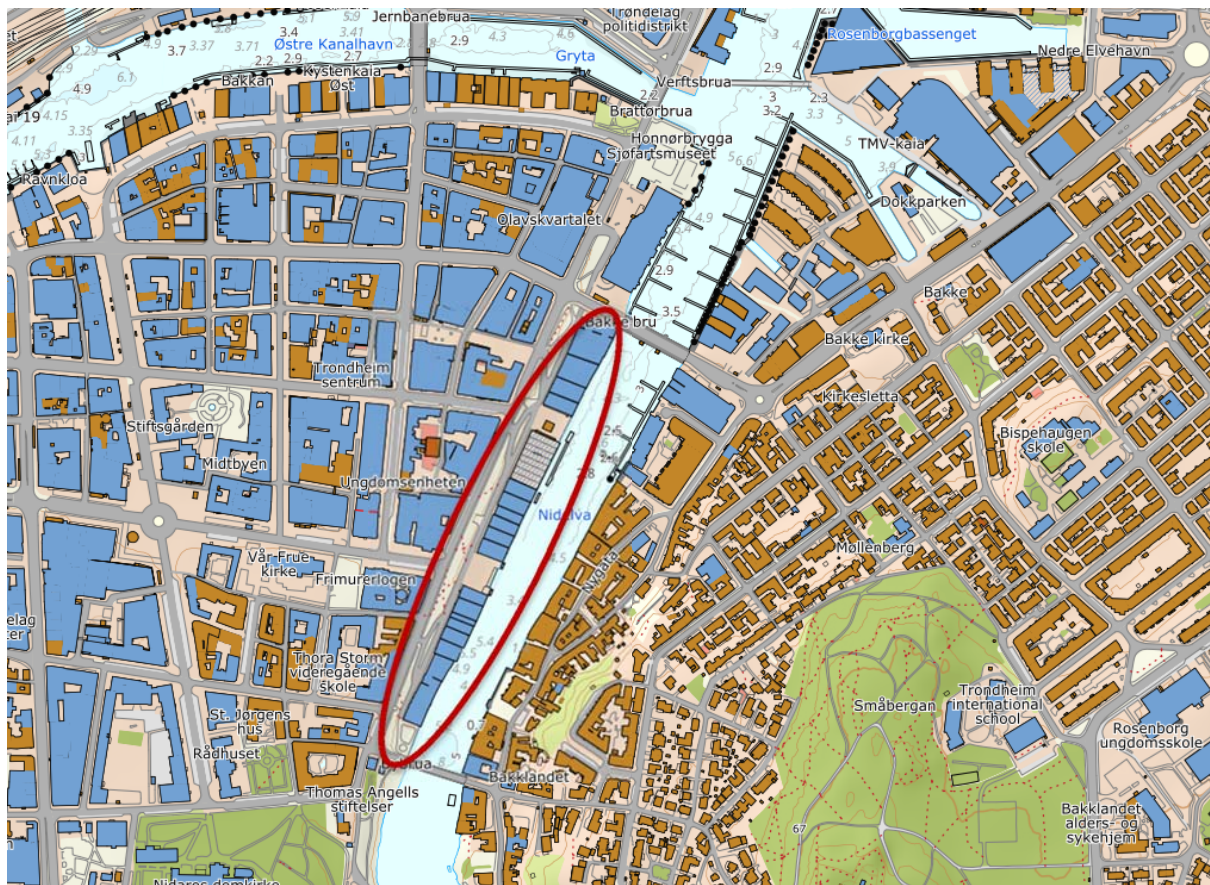
10211940-RIG-TEG-	001_rev01	Løsneområder og utløpsområder
	700_rev00	Sammenligning av terrengprofil A-D
	900_rev00	Utløpsområde nord - 3D-visualisering av vurdert løsneområde og utløpsområde - sett mot sør-sørvest. Oppdemning til kote +5 (NN2000)
	901_rev00	Utløpsområde nord - 3D-visualisering av vurdert løsneområde og utløpsområde - sett mot sør-sørvest. Oppdemning til kote +8 (NN2000)
	902_rev00	Utløpsområde sør - 3D-visualisering av vurdert løsneområde og utløpsområde - sett mot sør-sørvest. Oppdemning til kote +5 (NN2000)
	903_rev00	Utløpsområde sør - 3D-visualisering av vurdert løsneområde og utløpsområde - sett mot sør-sørvest. Oppdemning til kote +8 (NN2000)
414871-RIG-TEG	200	Beregningsprofil 1-1
	201	Beregningsprofil 1-2
	202	Beregningsprofil 3-1

1 Oppdragsbeskrivelse og terminologi

1.1 Områdeplan Kjøpmannsgata

Trondheim kommune arbeider med en områdeplan som omfatter bryggerekka langs Kjøpmannsgata i Trondheim (fra Gamle Bybro til Bakke bru, Figur 1). Bl.a. ses det på muligheten for å omregulere bygningene fra næringsformål til boligformål. Dette utløser krav til utredninger av sikkerhet mot naturpåkjenninger etter TEK 17 [1], herunder kvikkleireskred.

Foreliggende rapport behandler geotekniske stabilitetsforhold ved selve bryggene (omtales i det videre som lokalstabilitet), samt konsekvens av et ev. skred i nærliggende kvikkleireforekomster (områdestabilitet).



Figur 1 Skissert planområde. Kilde: www.norgeskart.no.

1.2 Problemstillinger ved omregulering

Bryggerekka befinner seg under marin grense og i nær tilknytning til kartlagte kvikkleiresoner (avsnitt 2.1). På grunn av dette vil en omregulering av Bryggerekka fra næringsformål til boligformål utløse en rekke krav knyttet til naturfare og skred som må vurderes. Se avsnitt 1.3 for definisjon av begreper.

I hovedsak omfatter nødvendige vurderinger følgende punkter:

- Vurdering av lokalstabiliteten langs Bryggerekka for å sikre at boligene ikke rammes av lokale utglidninger langs Nidelva, og at ev. lokale utglidninger ikke forplanter seg i sprøbruddmateriale/kvikkleire til å bli et områdeskred.
- Vurdering av utstrekning og stabilitet i sone 185 Prins Carls Bastion og om ev. skredmasser kan bidra til en flodbølge.

- Vurdering av stabilitet i sone 182 Nedre Bakklandet og hvorvidt masser fra en ev. skredhendelse kan utgjøre en fare for Bryggerekka, enten ved at skredmasser treffer Bryggerekka direkte, eller at bygningene påvirkes av sekundæreffekter (flodbølge).
- Vurdering av stabilitet i sone 183 Øvre Bakklandet og 2189 Nedre Singsaker og hvorvidt masser fra en ev. skredhendelse kan utgjøre en fare for Bryggerekka, enten ved at skredmasser treffer Bryggerekka direkte, eller at bygningene påvirkes av sekundæreffekter (flodbølge).
- Behov for ev. sikringstiltak.

Problemstillinger knyttet til eventuelle skredhendelser i kvikkleiresoner lengre oppstrøms Nidelva enn de som er nevnt over, anses som dekket gjennom arbeid med overnevnte soner.

Regelverket omhandles i detalj i avsnitt 3.

1.3 Definisjoner og terminologi

I det følgende er det gitt forklaringer på definisjoner og terminologi benyttet i denne rapporten.

I rapporten omtales kvikkleire og sprøbruddmateriale som sprøbruddmateriale/kvikkleire da store områdeskred ikke utelukkende forekommer i skråninger med kvikkleire. I Norge defineres **kvikkleire** som leire med omrørt skjærfasthet < 0,5 kPa (ref. [2]). Dvs. at leiren blir flytende ved omrøring. Store områdeskred kan imidlertid også forekomme i områder med **sprøbruddmateriale**. Dette er leire eller silt som får en betydelig reduksjon av fasthet etter brudd. Iht. NVEs veileder 7/2014 [3] defineres **sprøbruddmateriale** som leire og silt med en omrørt skjærfasthet < 2 kPa.

I områder med sprøbruddmateriale/kvikkleire kan en liten utglidning (**initial-** eller **lokalskred**) utvikle seg til et større **områdeskred**. **Initial-** eller **lokalskred** er enten et lokalt rotasjonsskred eller overflateglidning. Slike utglidninger kan skje i alle typer løsmasser. Dersom den lokale utglidningen stopper opp, defineres utglidningen som et **lokalskred**. Dersom utglidningen utvikler seg til et større områdeskred, defineres den første lokale utglidningen som et **initialskred**. **Områdeskred** defineres som bakoverrettede skalkskred (retrogressive skred), og fremover- eller bakoverrettede flaskred (progressive skred) i sprøbruddmateriale/kvikkleire. For utfyllende forklaring av skredtypene, se NVEs veileder 7/2014 [3].

Området som glir ut når et skred inntreffer omtales som **løsneområde**. **Utløpsområdet** er det området der skredmassene avsettes nedenfor skredgropen. Hvordan løsne- og utløpsområdet vurderes er beskrevet i NIFS-rapport 14/2016 [4]. I denne rapporten er termene **direkte** og **sekundær påvirkning** benyttet for å omtale skredmassenes innvirkning på ulike arealer nedenfor løsneområdet. Med **direkte påvirkning** menes at arealet befinner seg innenfor utløpsområdet, og således blir truffet direkte av skredmassene. **Sekundær påvirkning** omtaler følgeeffekter av skredhendelsen på arealer utenfor utløpsområdet som følge av skredet, i denne sammenheng flodbølge eller dambrudd gjennom oppstuede skredmasser.

Både **lokal-** og **områdestabiliteten** må vurderes på reguleringsplannivå. Den omforente definisjonen i fagmiljøet er som følger (ref. [3]):

Lokalstabilitet

Betegnelsen på en lokalt avgrenset stabilitetstilstand med mulighet for brudd (utglidning) i grunnen. Bruddet begrenses til det lokale påvirkningsområdet for spenningsendringen som har oppstått i skråningen. Typiske eksempler er lokalt grunnbrudd under fylling eller fundament, lokal utglidning ved graving i skråning i byggegrop eller i skjæring (stabilitetsbrudd), eller lokal utglidning i naturlig skråning som følge av poretrykksendring eller erosjon.

Områdestabilitet

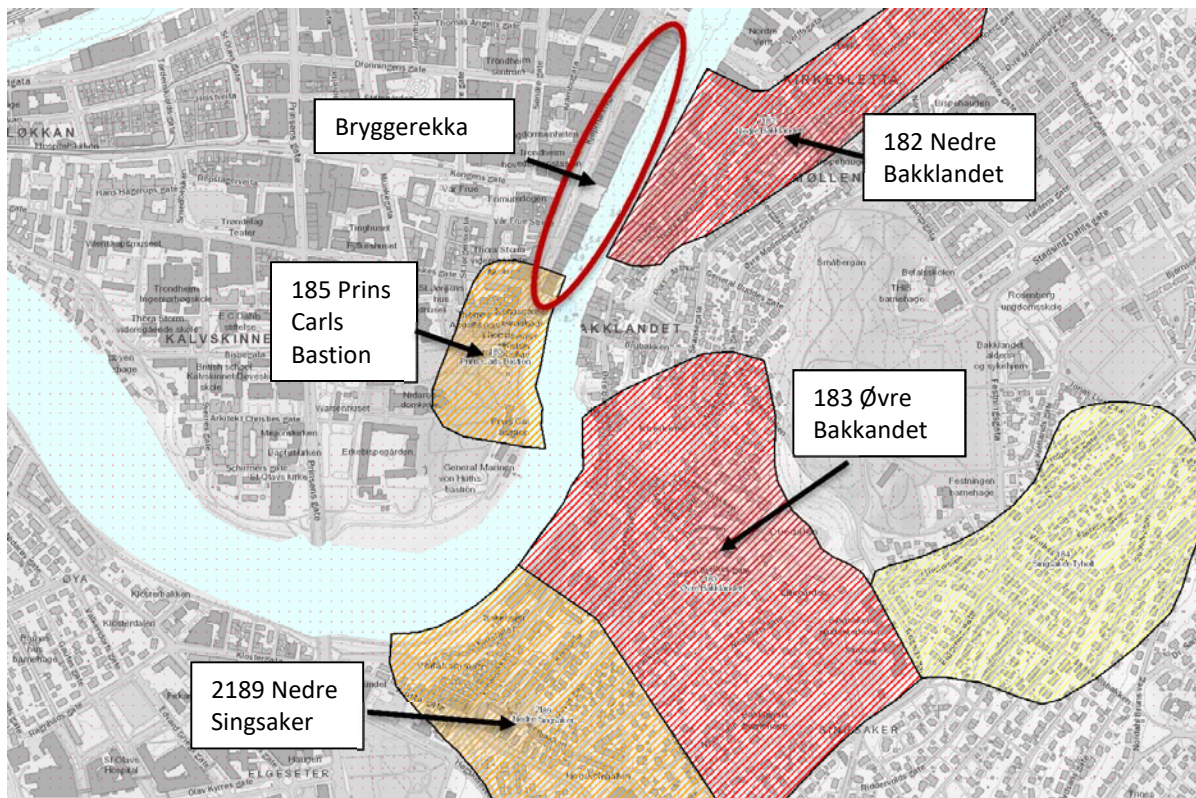
En stabilitetstilstand der et initialt brudd kan igangsette en progressiv fram- eller bakoverrettet bruddutvikling i tilstøtende sprøbruddmaterialer, slik som er typisk for kvikkleire. Skredet kan bli omfattende dersom det omrørte sprøbruddmaterialet får fritt utløp i fallende terreng.

For vurdering av lokalstabilitet følges krav i Eurokode 7 [5], og for områdestabilitet krav i NVEs veileder 7/2014 [3]. Tilfredsstillende lokalstabilitet oppnås ved **partialfaktor** på totalspenningsbasis $\geq 1,40$, og på effektivspenningsbasis $\geq 1,25$ [5]. NVEs veileder 7/2014 [3] omtaler partialfaktor benyttet for stabilitetsvurderinger som **sikkerhetsfaktor**, og definerer denne som en beregnet verdi for forholdet mellom stabiliserende krefter og drivende krefter langs en potensiell glideflate i en skråning. For enkelhets skyld er termen sikkerhetsfaktor benyttet ved omtale av skråningsstabilitet i denne rapporten. Beregnet sikkerhetsfaktor påvirkes av usikkerhet i verdier for jordas mekaniske egenskaper, romvekt og poretrykksforhold, samt usikkerhet i selve terrengmodellen og beregningsmodeller. Krav til sikkerhetsfaktor ved områdestabilitet avhenger av hvilken tiltakskategori tiltaket inngår i og hvilken faregrad den aktuelle kvikkleiresonen har (ref. [3]). For tilflytting av personer med inntil to boenheter eller mer, så kreves en sikkerhetsfaktor på totalspenningsbasis og effektivspenningsbasis over 1,4.

2 Grunnforhold, topografi og kvikkleire

2.1 Kvikkleire

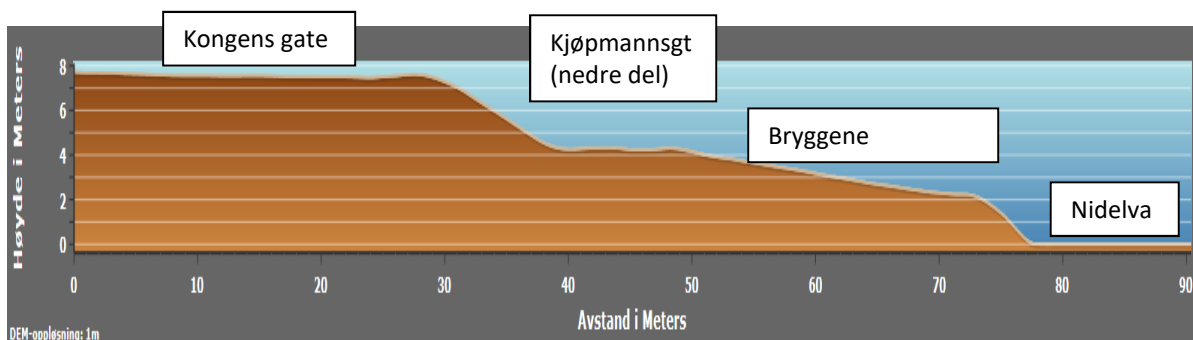
Figur 2 viser kjente kvikkleiresoner som kan ha betydning for Bryggerekka. Søndre del av planområdet ligger i sone 185 Prins Carls Bastion. På østsiden av Nidelva ligger sone 182 Nedre Bakklandet. Mot sør ligger sone 183 Øvre Bakklandet og sone 2189 Nedre Singsaker. Alle disse sonene kan påvirke Bryggerekka på forskjellig vis. Kvikkleiresonene omtales nærmere i avsnitt 4.3.1.



Figur 2 Faresoner for kvikkleireskred nær planområdet. Kilde: www.skrednett.no.

2.2 Grunnforhold ved Bryggerekka

Selve Bryggerekka ligger på ca. kote +3. Kjøpmannsgata er fordelt over to plan, med nedre plan på ca. kote +4, og øvre plan på ca. kote +7 (Figur 3). Øvrige bebygde arealer i Midtbyen er tilnærmet flate. Elvebreddens beliggenhet er endret i løpet av de siste 200 årene. Topplaget består dermed trolig av fyllmasser langs store deler av Bryggerekka. Tolkning av grunnforholdene er basert på eksisterende grunnundersøkelser, både av nyere og eldre (før 1990) årgang (ref. [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16]).



Figur 3 Høydeprofil fra Kongensgate og østover. Kilde: www.hoydedata.no.



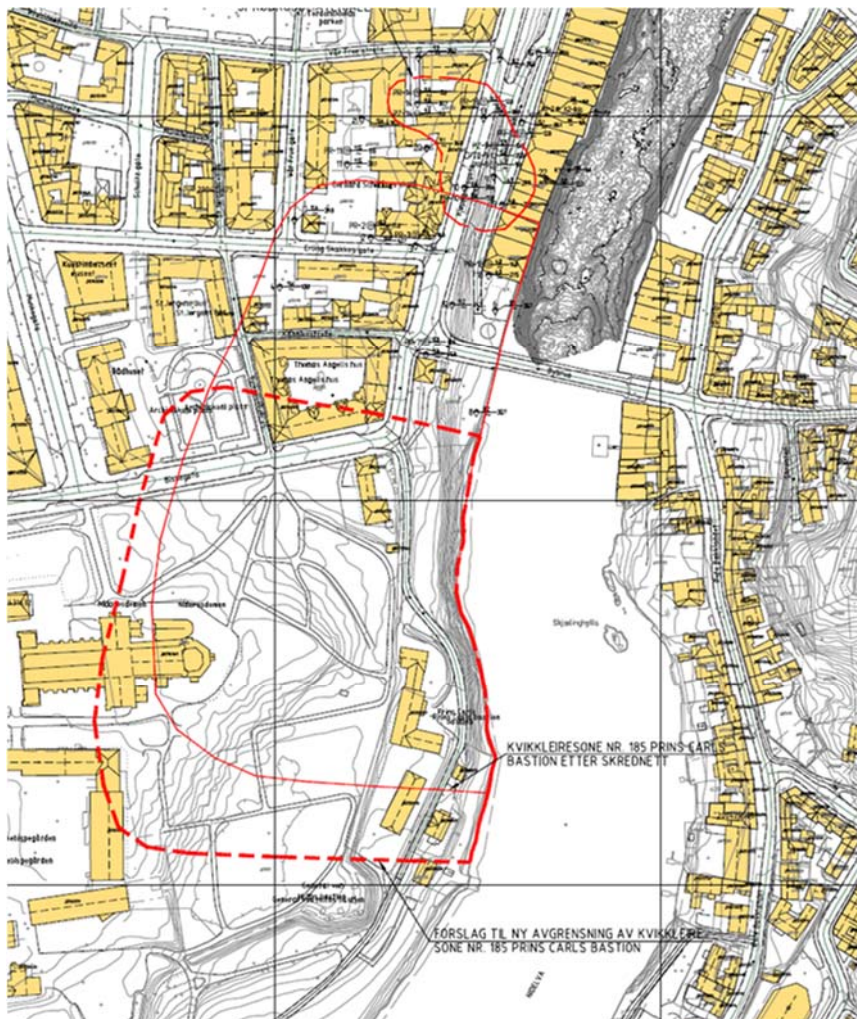
Figur 4 a) Kart over Midtbyen fra ca. år 1800 og b) i dag. Røde nåler markerer elvekanten ved ca. år 1800. Kilde: www.finn.no.

Topplagene består av kulturlag, sand, grus og stein med økende mektighet fra Nidelva og innover mot Midtbyen. I grove trekk består grunnen under det grove topplaget av sand over silt/leirig silt med enkelte leirlag, med unntak av i området for søndre del av Bryggerekka hvor det er funnet

mektige leiravsetninger under topplaget og sandlaget. Eksisterende tolking av lagdelingen indikerer at lagdelingen heller mot nord og vest (ref. [14], [17]).

Søndre del av Bryggerekka (Kjøpmannsgata 5-9) befinner seg innenfor kvikkleiresone nr. 185 Prins Carls Bastion. Multiconsult utførte i 2011 omfattende kartlegging av grunnforholdene i dette området i forbindelse med vurdering av områdestabilitet for Thora Storm videregående skole (Gerhard Schønings skole) (ref. [6]). På bakgrunn av disse undersøkelsene ble det i ref. [17] foreslått ny soneavgrensing (Figur 5). I tillegg ble det funnet en begrenset kvikkleireforekomst i Kjøpmannsgata.

Grunnundersøkelsene nordover langs Bryggerekka er i hovedsak av eldre årgang. Tolking av grunnforholdene fra disse undersøkelsene er usikker. I borpunkter der det ikke er foretatt prøvetaking for klassifisering av materiale, er disse sonderingene tolket konservativt med tanke på sprøbruddmateriale/kvikkleire. Basert på eksisterende grunnundersøkelser, kan det ikke utelukkes at det finnes mindre forekomster av sprøbruddmateriale/kvikkleire på Rådhusalmenningen, Kjøpmannsgata 32, Kjøpmannsgata 41 og Kjøpmannsgata 63-65. Dette kan også være forekomster av silt, men dette bør verifiseres med prøvetaking. Det bør utføres nye grunnundersøkelser for sikker lagdeling og for bestemmelse av geotekniske parametere.



Figur 5 Forslag til ny soneavgrensing for kvikkleiresone nr. 185 Prins Carls Bastion og kvikkleireforekomst i Kjøpmannsgata (ref. [17]).

3 Regelverk

3.1 Generelt

Gjeldende regelverk og veileder legges til grunn for vurdering av lokal- og områdestabilitet langs Bryggerekka:

- Byggteknisk forskrift (TEK17) [1]
- NVEs veileder nr. 7/2014 [3]
- NS-EN 1997-1:2004+A1:213+NA:2016 (Eurokode 7, del 1) [5]

Byggteknisk forskrift (TEK17) kapittel 7 «Sikkerhet mot naturpåkjenninger» krever at (§7-1) [1]:

- Byggverk skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade eller vesentlig ulempe fra naturpåkjenninger
- Tiltak skal prosjekteres og utføres slik at byggverk, byggegrunn og tilstøtende terreng ikke utsettes for fare for skade eller vesentlig ulempe som følge av tiltaket.

NVEs veileder nr. 7/2014 beskriver hvordan kravene i kapittel 7 «Sikkerhet mot naturpåkjenninger» i Byggteknisk forskrift (TEK17) skal tilfredsstilles for områdeskred i kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper (kvikkleireskred). I tillegg til å vurdere områdestabiliteten, så må det påses at lokalstabiliteten er tilfredsstillende iht. Eurokode 7 slik at ev. mindre utglidninger ikke forplanter seg og utvikler seg til områdeskred.

Eurokode 7 stiller krav til at stabilitetsberegninger på totalspenningsbasis tilfredsstillende en sikkerhetsfaktor over 1,40, og på effektivspenningsbasis over 1,25.

3.2 Kvikkleireskred – direkte påvirkning

For sikkerhet mot skred gjelder at (TEK17 §7-3) [1]:

- Byggverk og tilhørende uteareal skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot skred, herunder sekundærvirkninger av skred, slik at en gitt årlig nominell sannsynlighet ikke overskrides.

I og med at kvikkleireskred opptrer som en engangshendelse og ikke-gjentagende hendelser, er det med dagens metoder ikke mulig å gi en eksakt årlig nominell sannsynlighet [1].

Ved vurdering av områdestabilitet og kvikkleireproblematikk etter NVEs veileder nr. 7/2014 [3] skal følgende verifiseres:

1. Bygging skal ikke utløse skred i kvikkleire
2. Bygg skal ikke bli involvert i et kvikkleireskred som starter et annet sted, men som deretter suksessivt utvider seg
3. Bygg skal ikke bli truffet av skredmasser fra et kvikkleireskred som starter et annet sted

For en omregulering av Bryggerekka til boligformål plasseres tiltaket i tiltakskategori K4 (NVEs veileder nr. 7/2014 [3]), tilsvarende som nybygging av leilighetsbygg. Det stilles da krav til stabilitetsanalyser som dokumenterer sikkerhetsfaktor på totalspenningsbasis større eller lik 1,4 for områdestabilitet. Eventuelt kan prosentvis forbedring av stabilitet ved f.eks. motfylling og/eller terrengsenkning utføres. Hvor mye forbedring som kreves avhenger av kvikkleireforekomstens faregrad. Lokalstabiliteten skal oppfylle kravene i Eurokode 7. Videre må rapporten kvalitetssikres av uavhengig foretak.

3.3 Kvikkleireskred – sekundærpåvirkning

For vurdering av sekundærpåvirkninger av skred vurderes formuleringene i TEK 17 §7-3 fortsatt gjeldende. Dvs. at det må dokumenteres sikkerhet som beskrevet i avsnitt 3.2. Dette underbygges av at NVEs veileder nr. 7/2014 [3] inneholder følgende formulering knyttet til vurdering av utløpsområde til kvikkleireskred: «Sekundæreffekt i form av fare for oppdemning og ev. flodbølge/flom utredes særskilt der slik fare er mulig.» Videre inneholder Program for økt sikkerhet mot leirskred [18] et eget avsnitt om «Vurdering av fare for oppdemning/skade fra flodbølge» hvor det står: «Oppdemning av et vassdrag på grunn av skred og etterfølgende flodbølge kan medføre store materielle skader og inngår derfor i evalueringen av konsekvens ved et skred.»

Det bemerkes at §7-4 i TEK17, som omhandler «Unntak for flodbølge som skyldes fjellskred», åpner for bruk av organisatoriske tiltak som beredskapssystem og evakueringsplan for boligbebyggelse. Pga. at problemstillingen for Bryggerekka gjelder kvikkleireskred, og ikke fjellskred, vurderes det at det ikke er grunnlag for å hjemle tillatelse i TEK 17 §7-4 i dette tilfellet.

4 Geotekniske vurderinger

Det bemerkes generelt at en ren formålsendring av Bryggerekka til boligformål ikke medfører forverrede stabilitetsforhold, hverken for Bakklandet eller for Kjøpmannsgata.

4.1 Stabilitet lokalt ved Bryggerekka

For dette oppdraget er det ikke utført nye beregninger av lokalstabiliteten langs Bryggerekka. Vurdering av lokalstabiliteten er basert på tidligere utførte stabilitetsberegninger for Thora Storm videregående skole [17], Kjøpmannsgata 13 [19] og Kjøpmannsgata 41 [13]. Dokumentasjon av stabilitetsvurderingene finnes i eget beregningshefte [20].

Beregningene for Thora Storm videregående skole og Kjøpmannsgata 13 er utført i Profil A (Figur 6). Både område- og lokalstabiliteten langs dette profilet er tilfredsstillende (sikkerhetsfaktor på totalspenningsbasis på 1,52-2,22).

Stabilitetsanalysene for Kjøpmannsgata 41 er utført i ett profil ut mot Nidelva i ca. samme lokasjon som Profil C i Figur 6. Beregningene viser tilfredsstillende sikkerhet med sikkerhetsfaktor på totalspenningsbasis $> 1,40$. Beregningene ble utført i 1957. Bunntopografien kan dermed ha endret seg i årenes løp, noe som vil påvirke beregningsresultatene. I tillegg er det heftet usikkerhet fastsettelse av styrkeegenskaper i beregningsgrunlaget og beregningsmetodikk.

I denne rapporten er stabiliteten langs hele Bryggerekka er vurdert basert på sammenligning av skråningshøyde og –helning i fire terrengprofil (Profil A-D i Figur 6 og tegning 10211940-RIG-TEG-700). Terrengmodellen er basert på laserskanning av landområdene fra 2017 i høydesystem NN2000 (Figur 6). Bunndata i Nidelva er fra 2010 i høydesystem Trondheim lokal (ref. [6]). Bunnkotene i Nidelva er justert manuelt til NN2000 i profilene. Det foreligger ikke bunnkotekartlegging langs Profil C og D. Det er i denne vurderingen antatt at bunnprofilene i Profil C og D tilsvarer bunnprofilene i Profil A og B.

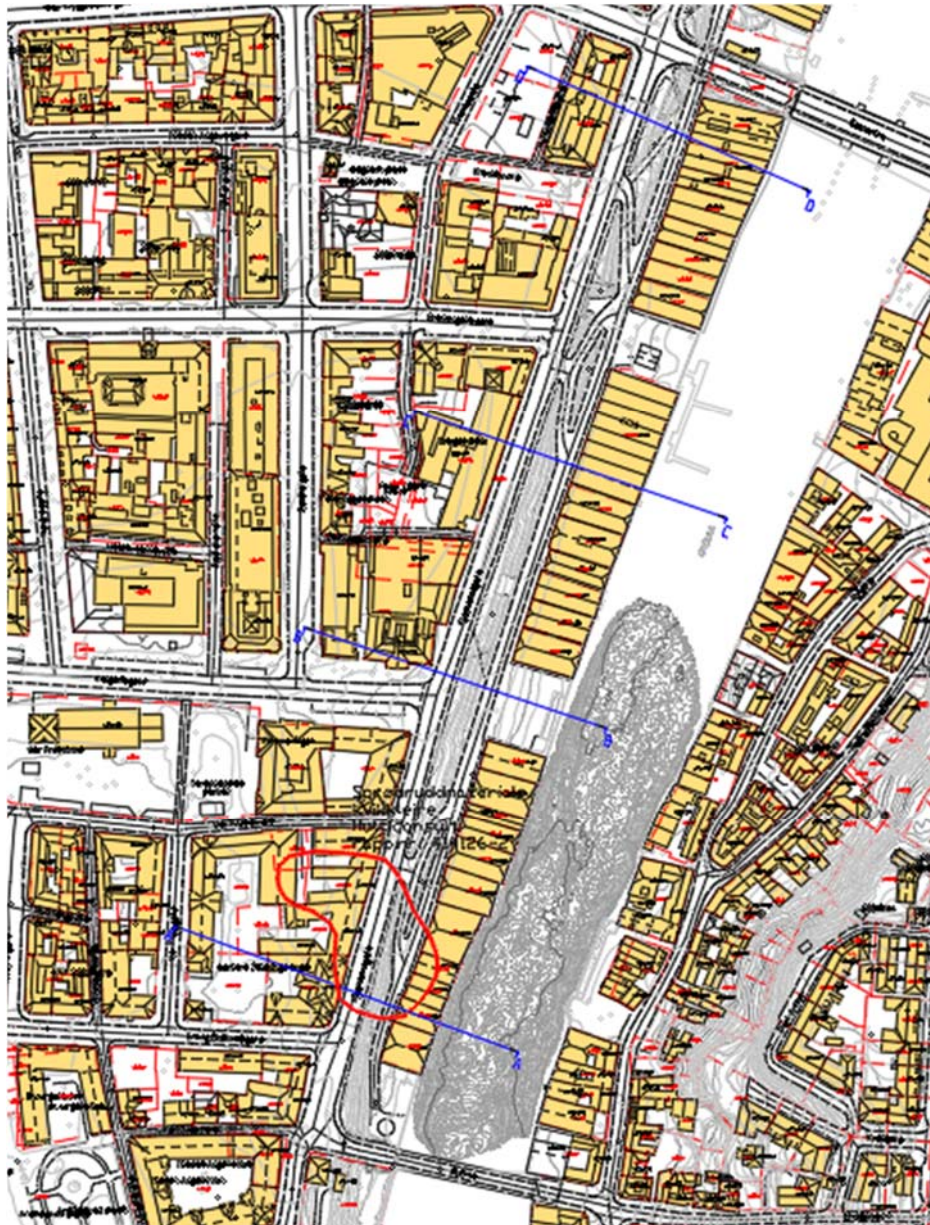
Terrengprofilene viser at Profil A er mest kritisk både med tanke på skråningshøyde og –helning (10211940-RIG-TEG-700). Profil A er det samme terrengprofilet som ble benyttet i stabilitetsberegningene for Thora Storm videregående skole og Kjøpmannsgata 13 hvor stabilitetsberegningene viser tilfredsstillende lokalstabilitet.

Basert på grunnlaget som er gjort tilgjengelig for dette oppdraget, kan det ikke konkluderes med tilstrekkelig sikkerhet at lokalstabiliteten langs Bryggerekka er tilfredsstillende dagens regelverkskrav.

Det er heftet usikkerhet til forekomst av sprøbruddmateriale/kvikkleire i Profil B til D. I tillegg foreligger det kun bunnkotekartlegging for områdene A til B, og denne er ni år gammel. For å dokumentere gjennomførbarhet i forbindelse med områdeplan må det utføres nye stabilitetsberegninger basert på ny bunnkotekartlegging og resultater fra nye grunnundersøkelser. Eventuelle funn av sprøbruddmateriale/kvikkleire vil ikke påvirke gjennomførbarhet av omregulering. Dersom lokalstabiliteten ikke tilfredsstillers dagens regelverk, så kan det gjennomføres sikringstiltak langs elvebredden for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet iht. NVEs veileder nr. 7/2014 [3].

Aktuelle tiltak for å ev. oppnå tilfredsstillende lokalstabilitet vil være å legge en motfylling i elva langs Bryggerekka. Fylkesmannen er myndighet for fylling i sjø og det bemerkes at følgende må hensynstas ut over dokumentasjon av geoteknisk stabilitet.

- Hydrologiske forhold
 - Effekten av ev. fylling på strømningsforholdene i Nidelva bør modelleres. Endrede strømningsforhold vil kunne påvirke erosjonsforholdene i elva og forholdene for fiskevandring.
 - Ev. erosjonssikring eller motfylling i Nidelva langs Bryggerekka utføres som ett tiltak langs hele Bryggerekka for å unngå ugunstige erosjonsforhold på utsiden av tiltakets avgrensning.
 - Tiltak der det fylles ut i sjø og vassdrag er søknadspliktig.
- Miljø
 - Det må avdekkes om ev. sikringstiltak vil komme i konflikt med naturtyper eller arter av nasjonal forvaltningsinteresse i og ved Nidelva.
 - Det må kartlegges hvilke konsekvenser ev. sikringstiltak har for akvatisk økologi i Nidelva i anleggsfasen, og etter tiltakets ferdigstilling (for eksempel fiskevandring i gyteperioden mai til september).
 - Det må gjennomføres miljøgeologiske undersøkelser for kartlegging av ev. forurensede masser, og utarbeides plan for avbøtende tiltak for å hindre spredning av forurensning.
 - Det må utarbeides plan for å redusere/minimere miljølemper knyttet til anleggsfasen (f.eks. tidsperiode anleggsfase, turbiditetsmålinger, mudringsplan, krav til fyllmasser).
- Kulturminner
 - Ev. sikringstiltak må ikke komme i konflikt med eller være ødeleggende for kulturminner i området.
 - Det må undersøkes om det finnes kulturminner i sedimentene i Nidelva (marinarkeologiske undersøkelser).
 - Trepelene som bryggene står på må ikke skades.
 - Det må søkes om tillatelse fra Riksantikvaren i forkant av ev. arbeider i Nidelva.



Figur 6 Profil A til D langs Bryggerekka.

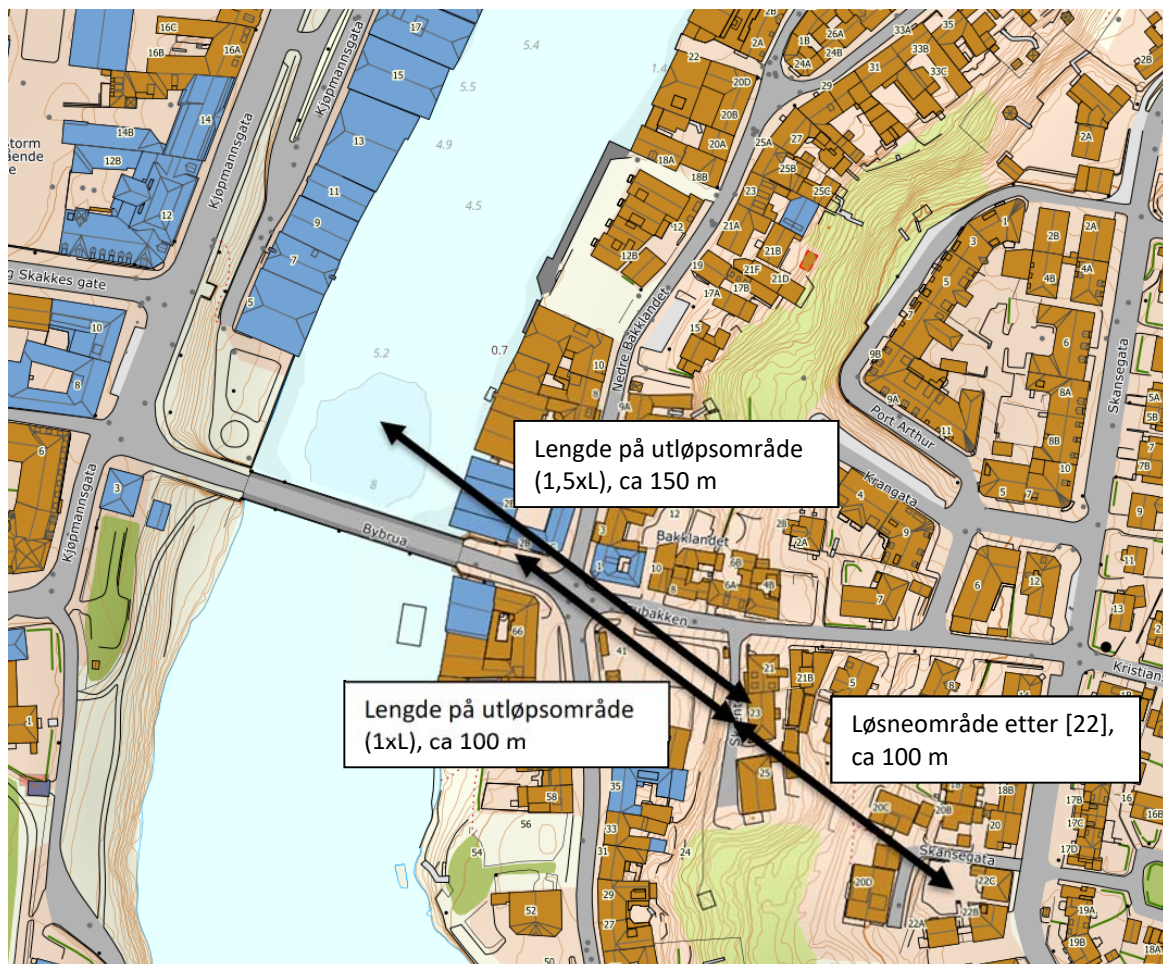
4.2 Kvikkleireskred nær Bryggerekka og direkte påvirkninger

Kvikkleiresone 182 Nedre Baklandet er utredet av Rambøll [21]. Det er beregnet sikkerhetsfaktor på 1,40 for elvebredden, og ellers høyere sikkerhetsfaktor innad i sonen (totalspenningsanalyse). Beregnet stabilitet er tilfredsstillende for områdestabilitet iht. NVE 7/2014 og tiltak i klasse K4.

Nordre del av sone 183 Øvre Baklandet kan ha utløp i retning Bryggerekka. I utredning utført av Trondheim kommune [22] er det beregnet ett profil fra Skansegata 22 til bunn av Brubakken. På totalspenningsbasis beregnes en sikkerhetsfaktor på 1,01 for en skjærflate som er ca. 100 m lang. For skredmekanisme antas i utgangspunktet en kombinasjon av rotasjonsskred og retrogressivt skred i åpent terreng for en ev. skredhendelse. Dette med bakgrunn i at en eventuell skredhendelse i dette profilet sannsynligvis vil utløse en sideveis utbredelse av skredet sørover. Topografien er slik at skredmasser fra videre retrogresjon vil gå ut i Nidelva oppstrøms Gamle bybro, ikke nedstrøms. Etter NIFS rapport 14/2016 [4] vurderes utløpsområdet da å være 1* lengde på løснеområdet. Dette er et gjennomsnitt mellom «retrogressivt skred i åpent terreng» og «Flaskskred/rotasjonsskred». Utløpsområdet stopper da før Gamle bybro (Figur 7). Skulle det likevel oppstå videre retrogresjon

isolert til profilet i [22] kan utløpsområdet vurderes til $1,5 \cdot L$, dvs. 150 m. Dette innebærer at masser kommer ut i Nidelva, men stopper før Bryggerekka. Det kan da forventes en flodbølgesituasjon tilsvarende som omhandlet i avsnitt 4.3.

En ev. skredhendelse i nordre del av sone 183 vil dermed ikke påvirke Bryggerekka direkte, men i verste tilfelle kan det skapes en flodbølgesituasjon. Denne problematikken omhandles videre i avsnitt 4.3.



Figur 7 Utløpsområde nord i kvikkleiresone 183

4.3 Kvikkleireskred oppstrøms Bryggerekka og sekundærpåvirkninger

4.3.1 Kvikkleireforekomster og stabilitet

Bakklandet

I kvikkleiresone 183 Øvre Bakklandet og sone 2189 Nedre Singsaker er det to løsneområder som kan ha utløp av betydning i Nidelva (se vedlagt tegning 10211940-RIG-TEG-001). Heretter kalt løsneområde sør og løsneområde nord. Utvalgte profiler med lagdeling og stabilitetsberegninger fra tidligere kvikkleireutredning av sone 183 [23] er inkludert som tegningsvedlegg.

Løsneområde sør strekker seg fra Nidelva og sør-øst til NTNU I-bygget. Det er sammenhengende lag med sprøbruddmateriale/kvikkleire i hele området under et topplag på 5-15 m. Ved Schives gate og mot I-bygget er laget med sprøbruddmateriale betydelig grunnere og av mindre tykkelse enn mot Nidelva. For vurdering av utløp av masser i Nidelva, er løsneområdet avgrenset her. Dette gir mindre volum av masser i Nidelva, mindre oppfyllingshøyde og lavere tid for oppfylling av demning bak massene. Dette vurderes i denne sammenhengen å være konservativt da dette medfører kortere tid

fra skredhendelse til et ev. dambrudd. Området mellom Nidelva og Klostergata planlegges sikret av planlagt utfylling i Nidelva og tas derfor ut av dette løsneområdet [24]. I tilfelle sikringstiltaket ikke skulle bli utført vil volum av masser som kan komme ut i Nidelva øke, men dette vil ikke påvirke konklusjonene i denne rapporten.

Det er i hovedsak tre steder hvor et skred kan starte i løsneområde sør. En lokal skredhendelse i ett av disse områdene kan utvikle seg til å involvere hele løsneområdet.

- Skråninga ned mot elvebredden
- Skråninga vest for Korsgata
- Skråninga vest for Schives gate

Tidligere stabilitetsberegninger ifb. utredning av kvikkleireforekomsten på Bakklandet/Gløshaugen [23] viser at beregnet stabilitet ikke er tilfredsstillende for noen av disse skråningene for vurdering av områdestabilitet iht. NVE 7/2014 og tiltak i klasse K4 (beregnet sikkerhetsfaktor på totalspenningsbasis er 1,0 ved Nidelva og 1,1 ved Schives gate, mot et krav på 1,40). Volum av løsneområdet estimeres til 430 000 m³ basert på 1:15-linje for skredgrop i sprøbruddmateriale og dagens terreng, samt avgrensing av løsneområde som vist i tegningsvedlegg 10211940-RIG-TEG-001.

Løsneområde nord dekker hovedsakelig området mellom Brubakken og Lillegårdsbakken. Her er det sammenhengende lag med sprøbruddmateriale/kvikkleire opp til Duedalen. Stedvis er kvikkleireforekomsten mektig, med liten overdekning. For vurdering av dette løsneområdet som helhet fokuseres det på områdene mot Lillegårdsbakken da det største volumet ligger her, men som diskutert i avsnitt 4.2 er det også dårlig stabilitet i retning Gamle bybro. En ev. skredhendelse i løsneområde nord antas å ville starte i skråninga øst for Øvre Bakklandet 15-40 og utvikle seg til å involvere hele løsneområdet. Skråninga er beregnet til å ha dårlig stabilitet mot nord, vest og sør med beregnet sikkerhetsfaktor på totalspenningsbasis rundt 1,0-1,1 [22] [25] [23]. Dagens tilstand tilfredsstillende dermed ikke krav til områdestabilitet iht. NVE 7/2014 i tiltaksklasse K4 (dvs. beregnet sikkerhetsfaktor over 1,40). Volum av løsneområdet estimeres til 610 000 m³ basert på 1:15-linje for skredgrop i sprøbruddmateriale og dagens terreng, samt avgrensing av løsneområde som vist i tegningsvedlegg 10211940-RIG-TEG-001.

Stabiliteten ut i Nidelva er ikke problematisk i løsneområde nord. Her er det ikke kvikkleire, og det er stedvis grunt til berg med beregnet sikkerhetsfaktor i størrelsesorden 1,2 til 1,4 på totalspenningsbasis [25] [26].

Området mellom disse to løsneområdene inneholder også kvikkleire, men lagdeling og topografiske forhold tilsier at det er begrenset mulighet for at masser fra et ev. skred kommer ut i Nidelva. En ev. skredhendelse vil starte rett vest for Parkvegen og ha utløp mot vest (Teglbrennervegen og Nidelven Terrasse). Skredmassene vil mest sannsynlig hovedsakelig samles på dette relativt flate området. På teglverksområdet er det ikke kvikkleire.

Prins Carls Bastion

Stabilitetsberegningene innenfor kvikkleiresone 185 Prins Carls Bastion ble utført nord for Gamle bybro, i forbindelse med utredningen av Thora Storm videregående skole [17]. Med bakgrunn i grunnundersøkelser i området, ble det i utredningen anbefalt å endre soneavgrensningen (Figur 5). Det er kun påvist kvikkleire under Nidarosdomen, og ved Nidelva helt sør i sonen. Mektigheten og utstrekningen av kvikkleirelaget er ikke kartlagt, men det ligger i nivå med Nidelva, overdekt av ca. 9 m med kulturlag, sand og silt.

Det er ikke utført stabilitetsberegninger innenfor den nye avgrensningen av kvikkleiresonen. Stabilitetsberegning fra utredningen av Thora Storm videregående skole [17] vurderes å ikke kunne benyttes direkte for vurdering av dagens sikkerhetsfaktor i den nye avgrensningen. Løsneområdet er dermed vurdert basert kun på geometri av kritisk glideflate i Thora Storm utredningen. Med utgangspunkt i 1:15-linjen fra skredgrop til dagens terreng, så dekker løsneområdet hele den nye avgrensningen av kvikkleiresonen. Skredvolumet estimeres til 150 000 m³.

I denne rapporten legges ny soneavgrensning til grunn for vurderingene. Sone 185 Prins Carls Bastion vurderes da til ikke å kunne påvirke Bryggerekka direkte, men en eventuell skredhendelse kan skape en flodbølgesituasjon på lik linje med kvikkleireforekomstene på Bakklandet.

4.3.2 Utvikling av ev. skredhendelse på Bakklandet

Det er ikke mulig å forutsi i detalj hvordan et ev. kvikkleireskred på Bakklandet vil utvikle seg. Det tas derfor utgangspunkt i en tenkt skredhendelse på Bakklandet som beskrevet i DSBs rapport «nasjonalt risikobilde 2013» [27]:

- *Skredhendelsen starter med et initialscred på rundt 10 x 100 m.*
 - *Dette fører til en umiddelbar flodbølge både oppstrøms og nedstrøms Nidelva*
- *Evakuering iverksettes umiddelbart og fortsetter påfølgende dag*
- *Hovedskredet, resten av løsneområde sør eller nord, går neste natt. Rasmassene går da tvers over Nidelva og demmer opp elva. Antatt 3 millioner m³ masse og 0,5 km² i areal.*
 - *Vannstanden oppstrøms i Nidelva stiger og oversvømmer rundt 1,5 km² i sentrum og på Øya.*

Dette hendelsesforløpet vurderes som relevant. Erfaringsmessig starter større kvikkleireskred med et initialscred som i løpet av det påfølgende døgn utvikler seg til en større hendelse. Dog, er det flere eksempler på at det er kortere tid mellom initialscred og hovedskred enn 12-24 timer. Det legges derfor til grunn her at hele volumet løsner samtidig.

Ved en skredhendelse i løsneområde sør, vil skredmassene kunne spre seg ut mot og over Marinen. Slik sett kan det magasineres relativt mye skredmasser før det blir en vesentlig oppdemming. Det er også mulig at elva vil lage en kanal gjennom massene fremfor å bli oppdemt i dette området.

Ved løsneområde nord, og Prins Carls Bastion, er elva smalere enn i sør og det er markante skråninger ned mot elva. Her vurderes det at en oppdemming kan skje både raskere og til et høyere nivå enn sammenlignet med sør. Oppdemmingen blir størst ved at løsneområdet i sone 183 Øvre Bakklandet kommer ut i elva, men en oppdemming kan også skje som følge av en skredhendelse i sone 185 Prins Carls Bastion.

I begge løsneområdene er det tilstrekkelig med lite sensitivt materiale i skredmassene til at en oppdemming av Nidelva ikke kan utelukkes.

Tegningsvedlegg 10211940-RIG-TEG-900 til -903 illustrerer terrengsituasjonen med skredmasser som har lagt seg ut i Nidelva for løsneområde sør og nord med oppdemming til henholdsvis kote +5 og kote +8. Volum av masser i utløpsområdet tilsvarer volum av masser i løsneområdet (430 000 m³ for løsneområde sør og 610 000 m³ for løsneområde nord). Videre er det beregnet volum av vann som kan magasineres bak skredmassene basert på det digitale kartgrunnlaget. Det er antatt at skredmassene kan legge seg opp til kote +8, men det vurderes at kanalisering på siden av massene

kan skje fra kote +5. Med en antatt vannføring på 100-200¹ m³/s [27] tar det i størrelsesorden 2-4 timer å demme opp til kote +5, og 4 til 9 timer å demme opp til kote +8 avhengig av vannføring. Tallene er omtrent like for løsneområde sør og nord. Med større vannføring tar det kortere tid å fylle magasinet. Et tiltak for å hindre en oppdemming vil være å kjøre inn med gravemaskin el. for å senke kronehøyden på demningen samt stenge Leirfossene for å begrense vannvolum i Nidelva. Gitt skredets omfang og katastrofale karakter vurderes det som lite sannsynlig at dette tiltaket kan gjennomføres i tidsrommet som er tilgjengelig før magasinet er fylt opp. Liten mulighet for tiltak for å begrense/hindre oppdemming er ett av kriteriene i Program for økt sikkerhet mot leirskred [18] for vurdering av når flodbølgesituasjoner kan bli kritiske.

4.3.3 Konsekvens av ev. skredhendelse for Bryggerekka

Bryggerekka blir ikke direkte påvirket av en ev. skredhendelse på Bakklandet, men det er to følgehendelser som kan påvirke bygningene:

1. Flodbølge fra skredhendelsen
2. Flodbølge og eventuelle skredmasser fra dambrudd gjennom rasmassene

En flodbølge som følge av dambrudd gjennom rasmassene kan bli voldsom. Det er også mulig at det kan følge med gjenstander som rester av bygninger, trær og biler i massene

Bryggene i Bryggerekka står på peler ut i elva og vurderes derfor som spesielt utsatt for en flodbølgesituasjon sammenlignet med andre bygg av nyere dato som er bygget langs samme strekning i Nidelva. Program for økt sikkerhet mot leirskred [18] fremhever at bebyggelse på kritiske områder nedstrøms er en sentral forutsetning for at en flodbølge skal kunne utgjøre en fare.

For å tilfredsstillte TEK 17 §7-3 vurderes det derfor at omregulering av Bryggerekka må hensynta en flodbølgesituasjon tilsvarende som utløpsområder fra kvikkleireskred behandles i dag. Dvs. at det skal ikke være fare for at hendelsen «kan utgjøre fare for vesentlig skade på byggverk og/eller fare for menneskeliv» (NVEs veileder nr. 7/2014 [3]).

4.3.4 Sannsynlighetsvurdering av skredsituasjon

Det er i hovedsak to årsaker til kvikkleireskred: erosjon og menneskelig aktivitet. Det er krevende å vurdere sannsynligheten på en engangshendelse som et kvikkleireskred. I DSBs rapport «Nasjonalt risikobilde 2013» [27] er det gjort et anslag ved å anta at et skred av denne størrelsesorden inntreffer ila. en periode på 2000 til 3000 år. Årlig sannsynlighet er da 0,04% per år og klassifiseres som «lav sannsynlighet». Videre vurderes sannsynligheten for skred i kvikkleiresone 183 og 2189 å være lavere enn i en gjennomsnittlig kvikkleireforekomst i pga. sikringstiltak mot erosjon i Nidelva og god kontroll på byggetiltak innenfor sonene. Videre må det en serie uheldige omstendigheter til for at en situasjon med en større flodbølge skal kunne inntreffe.

En slik vurdering av sannsynlighet er ikke fullt ut gyldig i og med at kvikkleireskred ikke er en gjentakende hendelse som kan karakteriseres ved årlig nominell sannsynlighet, men det gir en indikasjon på at et skred og en påfølgende katastrofal flodbølgesituasjon kan anses som et scenario med lav sannsynlighet.

4.4 Designprinsipp

Det er vist at aktuelle løsneområder oppstrøms Bryggerekka i Nidelva har lavere beregnet stabilitet enn regelverkskrav, samt at rasmassene har potensiale til å demme opp Nidelva slik at det kan

¹ Statkraft er forespurt om vannføring i Nidelva fra Nedre Leirfoss krefteverk, men det er ikke mottatt noe til denne revisjonen av rapporten. Tallmateriale fra DSB-rapporten vedr. Bakklandskredet benyttes til erstatning. Trondheim kommune opplyser at middel vannføring er i underkant av 100 m³/s.

oppstå en flodbølgesituasjon som følge av et dambrudd gjennom rasmassene. Bryggerekka vurderes som spesielt sårbar for en slik situasjon. Scenariet må derfor hensyntas for å tilfredsstille TEK17 kapittel 7.

TEK17 §7-3, veiledning til annet ledd spesifiserer at sikkerhetskrav kan oppnås ved å plassere byggverk utenfor skredfarlig område, ved sikringstiltak som reduserer sannsynligheten for en hendelse eller ved å ved å dimensjonere og konstruere byggverket slik at det tåler belastningene et skred kan medføre.

Fysiske sikringstiltak mot sekundære virkninger av skred vurderes som lite hensiktsmessig. Stabilisering av løснеområdene vil involvere nedplanering, fyllinger og/eller grunnforsterkning. På grunn av tett bebyggelse vil ingen av disse være gjennomførbare uten betydelige inngrep i et stort antall eiendommer (flytting av hus etc.). Ledevoller for skredmasser, eller andre forbygninger mot flodbølger i Nidelva, vurderes også som lite hensiktsmessig av estetiske grunner samt forhold knyttet til vannstrømning og akvatisk økologi.

Dimensjonering av byggverk til å tåle belastningen fra en flodbølgesituasjon gjenstår som eneste alternativ. TEK17 §7-3, veiledning til annet ledd spesifiserer da at: «Bygninger kan dimensjoneres til å tåle krefter fra skred dersom skredlastene ikke er for store. Maksimal skredlast bør ikke være større enn anslagsvis 50 kPa.»

For håndtering av områdestabilitet, og dermed tilfredsstille TEK17 kapittel 7, anbefales det for Bryggerekka et designprinsipp basert på følgende:

- Bryggene må motstå en flodbølge, både som følge av at skredmassene flommer ut i Nidelva, og for en situasjon med dambrudd gjennom rasmassene. Det skal ikke være fare for at hendelsen kan utgjøre fare for vesentlig skade på byggverk og/eller fare for menneskeliv.

5 Videre arbeid

5.1 Vurderingsarbeid

1. Lokalstabilitet må utredes videre. Dette omfatter følgende punkter:
 - a. Supplerende grunnundersøkelser for:
 - Kartlegging av ev. forekomst av sprøbruddmateriale/kvikkleire langs Nidelva i områdene i tilknytning til Profil B, C og D (Figur 6)
 - Fastsettelse av styrkeparametere i områdene i tilknytning til Profil B til D
 - b. Bunnkotekartlegging i Nidelva langs hele Bryggerekka
 - c. Stabilitetsberegninger i område B til D for vurdering av lokalstabiliteten på effektiv- og totalspenningsbasis
2. Dimensjonerende lastsituasjon fra brudd i rasmassedam må utvikles og vurderes. Elementer i en arbeidsprosess gis under. Uavhengig kvalitetssikrer (NVE 7/2014) må være involvert i alle faser.
 - a. Det må defineres en eller flere designsituasjoner som analyseres.
 - Det må bestemmes antatt oppdemningshøyde samt dimensjoner på rasmassene som blir liggende i elva. Videre må forhold knyttet til hvordan vannet graver seg gjennom rasmassene vurderes. Dette avhenger dels av rasmassenes utstrekning og beskaffenhet. Vannføring i Nidelva og hvilket

tidevannsnivå som skal benyttes må også bestemmes. I dette arbeidet vil det være relevant å se til historiske hendelser som f.eks. oppdemming av rasmassedam i Gauldalen i 1345 [28].

- Det må bestemmes hvorvidt største last, og/eller samlet lastvirkning over et tidsrom, skal være dimensjonerende.
- b. Valg av metode for modellering av brudd i rasmassedam
- Det eksisterer flere muligheter for numerisk modellering. I en første fase bør relevante fagmiljøer kontaktes for en vurdering av riktig verktøy og innhenting av priser. Både Multiconsult, NGI, SINTEF og NTNU kan utføre beregninger. Fagpersoner fra modelleringsmiljø bør være med i arbeid med å utvikle designsituasjonene (punkt a).
- c. Beregninger for etablering av dimensjonerende laster på Bryggerekka.
- Beregninger må utføres med utgangspunkt i definerte designsituasjoner og designlaster utledes. Det må vurderes hvorvidt det er innblandet løsmasser og konstruksjonselementer fra bebyggelse etc. i massene som flommer ned elva.
 - Det kan bli behov for relativt tunge beregninger hvor selve regnetiden alene kan bli opptil en måned. Dette må hensyntas ved vurdering av framdrift.
 - Beregningene forutsetter bunnkotekartlegging i Nidelva, samt vurdering av grunnforhold i topplaget i elveløpet med tanke på hvor eroderbare massene er.
- d. Innledende vurdering av dagens konstruksjonstekniske status for Bryggerekka.
- Et utvalg referansebrygger bør velges som utgangspunkt for vurdering av dagens status med tanke på fundamentering og byggeteknisk motstand mot en flodbølgesituasjonen. Rådgivende ingeniør i byggeteknikk bør utføre dette arbeidet, fortrinnsvis fra et miljø som har erfaring med pelede konstruksjoner i vann (kaier el.) og bølge/strømnings-virkninger.
 - Disse bryggene vil vurderes i punkt e (under) for vurdering av aktuelle forsterkende tiltak.
- e. Innledende vurdering av beregnede laster og konsekvens. Hvilke tiltak må gjennomføres for å at konstruksjonene i Bryggerekka skal tåle flodbølgelasten? I vurderingene må tiltak ses opp mot kostnadsbilde og inkludere estetiske konsekvenser av refundamentering/sikring opp mot ønsket om å bevare verneverdi. Formuleringen i TEK 17 §7-3: «Maksimal skredlast bør ikke være større enn anslagsvis 50 kPa» må også hensyntas og samtidig vektet mot kriteriet for utløpsområde av kvikkleireskred: «Det skal ikke være fare for at hendelsen kan utgjøre fare for vesentlig skade på byggverk og/eller fare for menneskelig.»
3. Det anbefales utført et arbeid i denne sammenhengen for å utrede, avgrense og melde inn kvikkleiresone 185 Prins Carls Bastion til NVE

5.2 Risikoreduserende tiltak som kan vurderes

Det er i hovedsak to årsaker til kvikkleireskred. Erosjon og menneskelig aktivitet.

Kvikkleiresone 2189 og 183 er relativt godt erosjonssikret i Nidelva med steinfyllinger og bolverk. Med vedlikehold av denne sikringen er situasjonen med tanke på erosjon godt kontrollert.

- Risikoreducerende tiltak vil være jevnlig kontroll av erosjonsforhold ved steinfyllinga ved Vollafallet og sørover mot Gamle bybro

Menneskelig aktivitet, i hovedsak i form av graving og oppfylling/mellomlagring av masser, kan være kritisk i kvikkleiresonene. Mens de større tiltakene vil fanges opp av regelverk og søknadsprosesser, ligger hovedutfordringen hos mindre tiltak som privatpersoner kan iverksette i egen regi. Det bemerkes at den menneskelige risikofaktor ikke kan reduseres helt.

- Risikoreducerende tiltak vil være å informere beboere om grunnforhold, hvilke tiltak som bør unngås og hva som må søkes som byggesak.

Det anbefales at det utarbeides en beredskapsplan for en eventuell skredhendelse på Baklandet og Prins Carls Bastion. Følgende elementer anbefales implementert i en beredskapsplan.

- Det bør lages planer for evakuering av berørte områder i skredområdet, utløpsområdet, oppdemningsområdet og flodbølgeområdet. For områdeplan Kjøpmannsgata trengs kun evakuering av berørt planområde.
- Det bør opprettes en liste med graveentreprenører som kan stille på kort varsel for å grave en kanal gjennom skredmassene slik at en oppdemming ikke kan skje. Det er viktig at beredskapsplanen inneholder spesifikke føringer for sikker-jobb-analyse av dette arbeidet før noen sendes ut i en gravemaskin.
- Det bør opprettes en kontakt mot Leirfossene slik at vannføring i Nidelva på kort varsel kan reduseres til et minimum ved en skredhendelse. Dette vil begrense størrelsen på en ev. oppdemming og gi økt tid før et eventuelt dambrudd.

6 Konklusjon

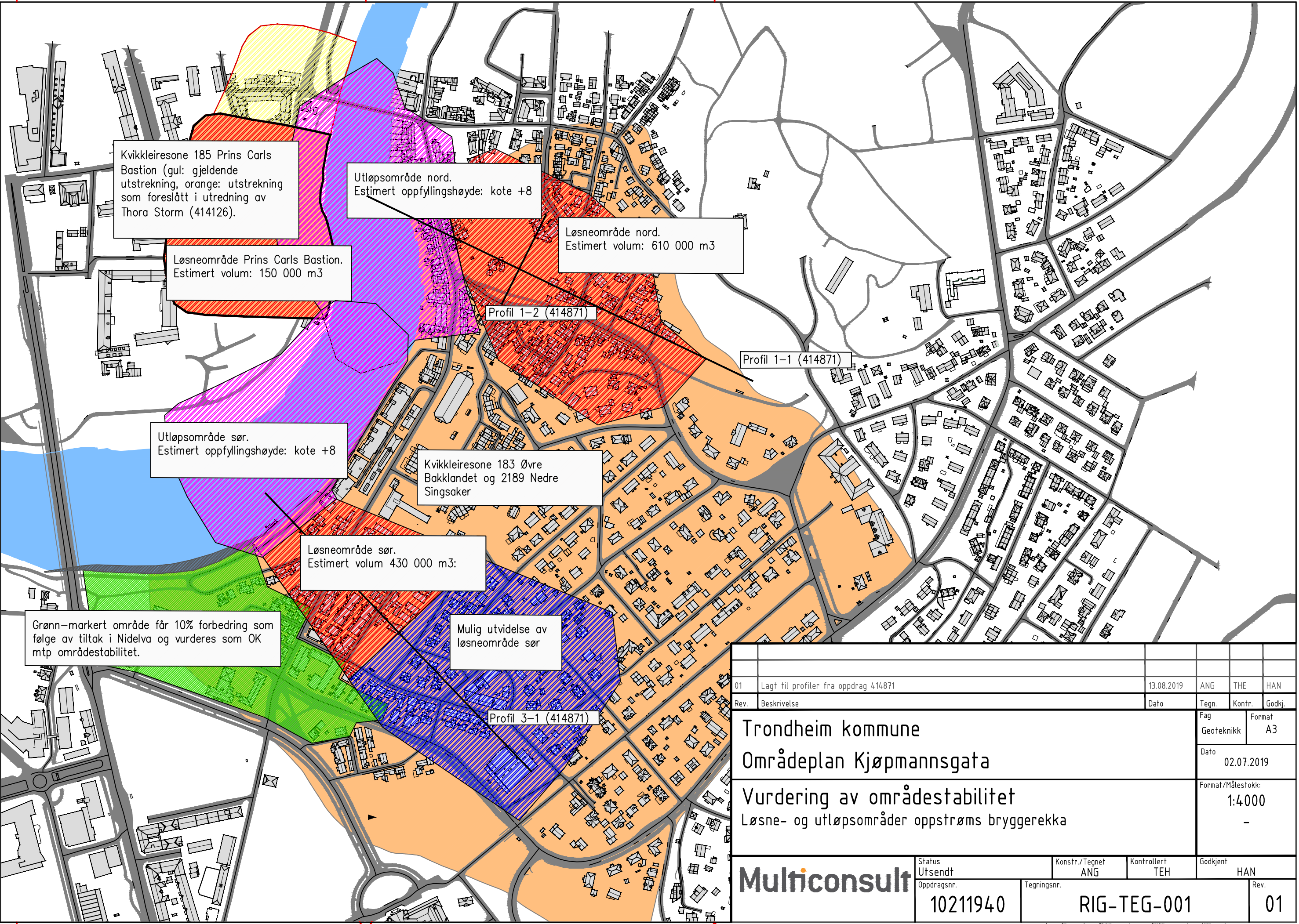
For omregulering av Bryggerekka til boligformål er det flere forhold knyttet til naturpåkjenninger etter TEK 17 som må utredes videre. For geotekniske stabilitetsforhold ved selve bryggene og konsekvens av skred i nærliggende kvikkleireforekomster er følgende konkludert:

- Stabilitet av byggegrunn lokalt ved Bryggerekkene må utredes videre med grunnundersøkelser og stabilitetsberegninger
- Bryggerekka blir ikke truffet direkte av skredmasser som følge av en skredhendelse i nærliggende kvikkleiresoner
- Bryggerekka må motstå en flodbølgesituasjon som følge av ev. skredhendelser i kvikkleiresonene på Bakklandet. Det må utledes dimensjonerende lastsituasjon for denne hendelsen.
 - Det er vist at aktuelle kvikkleiresoner oppstrøms Bryggerekka i Nidelva har lavere beregnet stabilitet enn regelverkskrav, samt at rasmassene har potensiale til å demme opp Nidelva slik at det kan oppstå en flodbølgesituasjon. Flodbølgesituasjonen oppstår som følge av et dambrudd gjennom rasmassene. Bryggerekka vurderes som spesielt sårbar for en slik situasjon.
 - For videre arbeid med denne problemstillingen er det foreslått er fremgangsmåte som inneholder flere elementer: definere skred- og dambruddsituasjon, numerisk modellering og etablering av dimensjonerende krefter, vurdering av dagens konstruksjoner og konsekvens av ev. forsterkningstiltak.

Referanser

- [1] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK 17). 15.09.2017,» 2017.
- [2] Norsk Geoteknisk Forening, «Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk. Identifisering og klassifisering av jord. Melding nr. 2 revidert 2011.,» 2011..
- [3] NVE, «Sikkerhet mot kvikkleireskred,» NVE 7/2014, 2014.
- [4] NIFS, «Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred. Rapport 14/2016,» 2016.
- [5] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering. Del 1: Allmenne regler.,» November 2004.
- [6] Multiconsult, «Thora Storm videregående skole. Grunnundersøkelse. Datarapport. Orienterende beskrivelse av grunnforhold. 414126-1.,» 11.11.2010.
- [7] Kummeneje, «Askim gummivarefabrikk A/S, Kjøpmannsgata 61. O.65.,» 21.03.1961.
- [8] Kummeneje, «Bristolkvartalet, Midtbyen. O.8464.,» 09.07.1991.
- [9] Kummeneje, «Kjøpmannsgata 15. O.3932.,» 09.09.1983.
- [10] Kummeneje, «Kjøpmannsgata 32. Gjenoppbygging av forretningsbygg. O.3976.,» 05.07.1983.
- [11] Kummeneje, «Nybygg Kjøpmannsgata 63-69. O.5322.,» 14.05.1985.
- [12] Kummeneje, «Restaurering Kjøpmannsgata 13. Grunnundersøkelse, datarapport. O.5214-1.,» 05.02.1985.
- [13] NGI, «Grunnundersøkelse for prosjektert garasjebygg, Kjøpmannsgata 41-43, Trondheim. O.517.,» September 1957.
- [14] Trondheim kommune, «Bibliotekkvartalet. 478-1.,» 18.12.1977.
- [15] Trondheim kommune, «Rådhusalmenningen. R.1027.,» 25.11.1997.
- [16] Kummeneje, «Kjøpmannsgata 32. Gjenoppbygging av forretningsbygg. O.4089.,» 22.02.1983.
- [17] Multiconsult, «Thora Storm videregående skole. Vurdering av områdestabilitet for skoletomta. 414126-2 rev 2.,» 24.03.2011.
- [18] NGI, «Program for økt sikkerhet mot leirskred. Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire. Rapport 20001008-2 rev_03.,» 2008.
- [19] Multiconsult, «Vurdering av fundamenteringsforhold i forbindelse med jekking av brygga. 10203566-RIG-NOT-002.,» 30.05.2018.
- [20] Multiconsult, «Kjøpmannsgata - Geotekniske vurdering av områdestabilitet: Lokalstabilitet. 10211940-RIG-BER-001.,» Juni 2019.
- [21] Rambøll, «Reguleringsplan for del av nedre Bakklandet kvikkleiresone. Analyse av områdestabilitet og vurderinger av sannsynlighet for skred i sonen. notat nr. 6061033-02,» 2007.
- [22] Trondheim kommune, «Øvre Bakklandet 39-41. Brubakkentomta. Sikkerhet mot kvikkleireskredS2594,» 2013.
- [23] Multiconsult, «Gløshaugen-Bakklandet kvikkleireutredning - Geoteknisk vurdering - forprosjekt. 414871-001 rev 00,» 2011.
- [24] Multiconsult, «Fengselstomta - Stabiliseringstiltak i Nidelva. Vurdering av områder som får forbedret stabilitetssituasjon som følge av utfylling i Nidelva. 10200316-RIG-NOT-005_rev02,» 2019.
- [25] NGI, «Grunnundersøkelser og stabilitetsberegninger for et terrengområde på Bakklandet i Trondheim. O.190-1,» 1955.
- [26] Multiconsult, «Resultater fra grunnundersøkelser. Geoteknisk vurdering. 414939-RIG-RAP-001_rev00,» 2012.
- [27] Direktorat for samfunnssikkerhet og beredskap, «Nasjonalt risikobilde 2013,» 2013.
- [28] K. Rokoengen, M. Jespersen, R. Kleiv og E. Sæterbø, «The 1345 slide and flood disaster in the Gauldalen valley, Mid-Norway,» *Norsk geogr. Tidsskr.*, vol. 55, pp. 57-70, 2001.
- [29] NVE, «Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred. NIFS-rapport nr. 14/2016.,» 2016.

Z:\010211\1021194-0-01\021194-0-01-03 ARBEIDSSOMRÅDE\1021194-0-01-04 TEGNINGER\Løseområder_ANG_nytt kartgrunnlag.dwg. - Layout: (Layout4-A3); - Plottet av: ang. Dato: 2019.08.14 kl. 13:48



Kvikkleiresone 185 Prins Carls Bastion (gul: gjeldende utstrekning, orange: utstrekning som foreslått i utredning av Thora Storm (414126).

Utløpsområde nord.
Estimert oppfyllingshøyde: kote +8

Løseområde nord.
Estimert volum: 610 000 m³

Løseområde Prins Carls Bastion.
Estimert volum: 150 000 m³

Profil 1-2 (414871)

Profil 1-1 (414871)

Utløpsområde sør.
Estimert oppfyllingshøyde: kote +8

Kvikkleiresone 183 Øvre Bakklandet og 2189 Nedre Singsaker

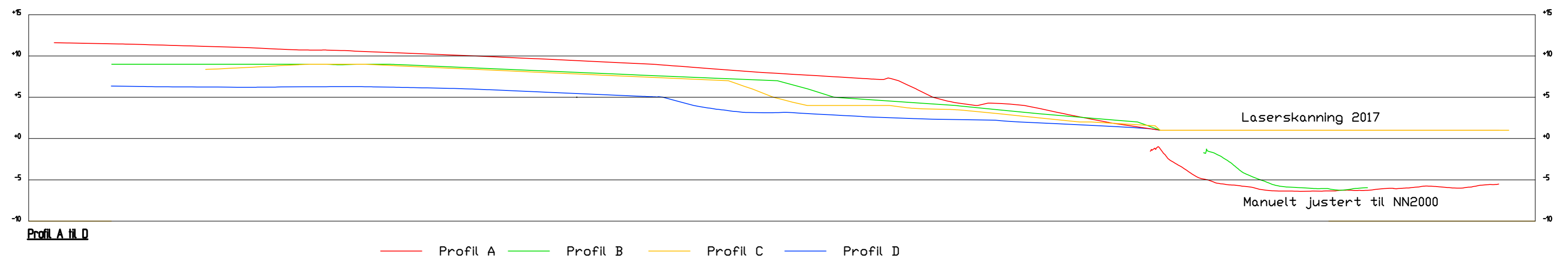
Løseområde sør.
Estimert volum 430 000 m³:

Grønn-markert område får 10% forbedring som følge av tiltak i Nidelva og vurderes som OK mtp områdestabilitet.

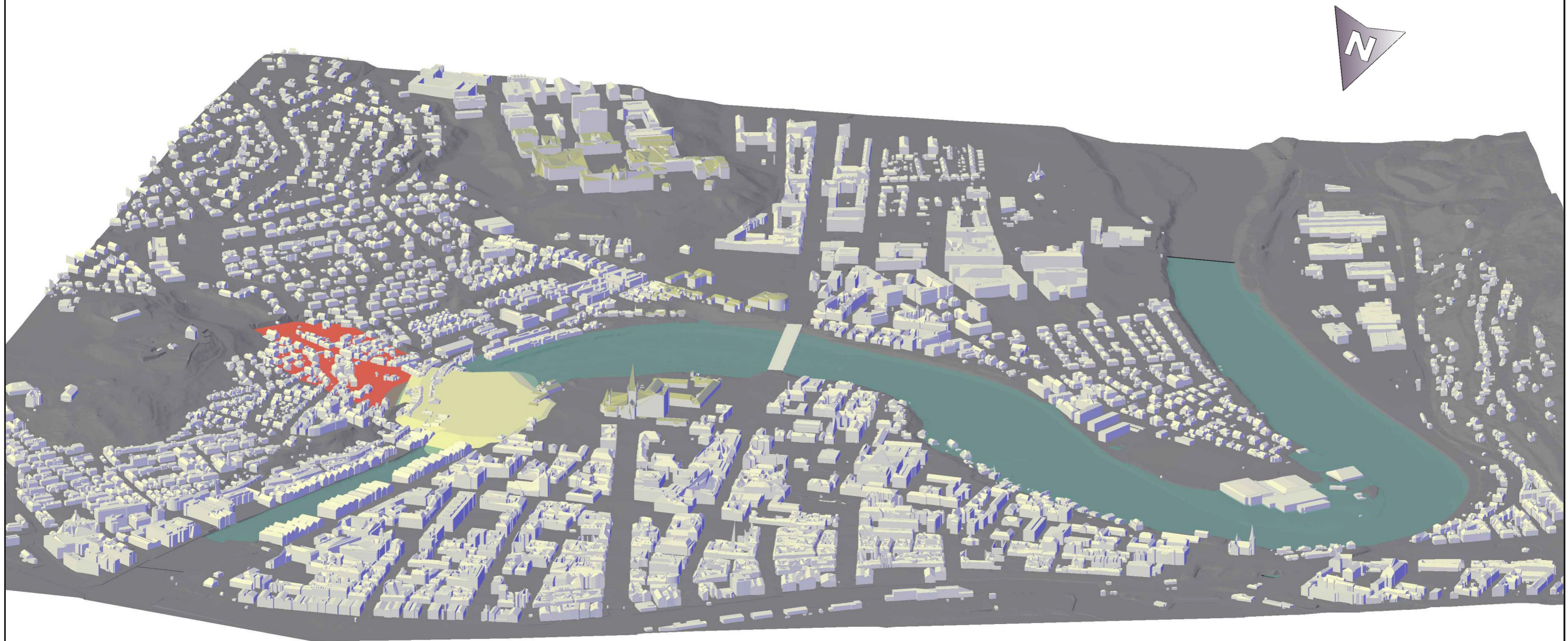
Mulig utvidelse av løseområde sør

Profil 3-1 (414871)

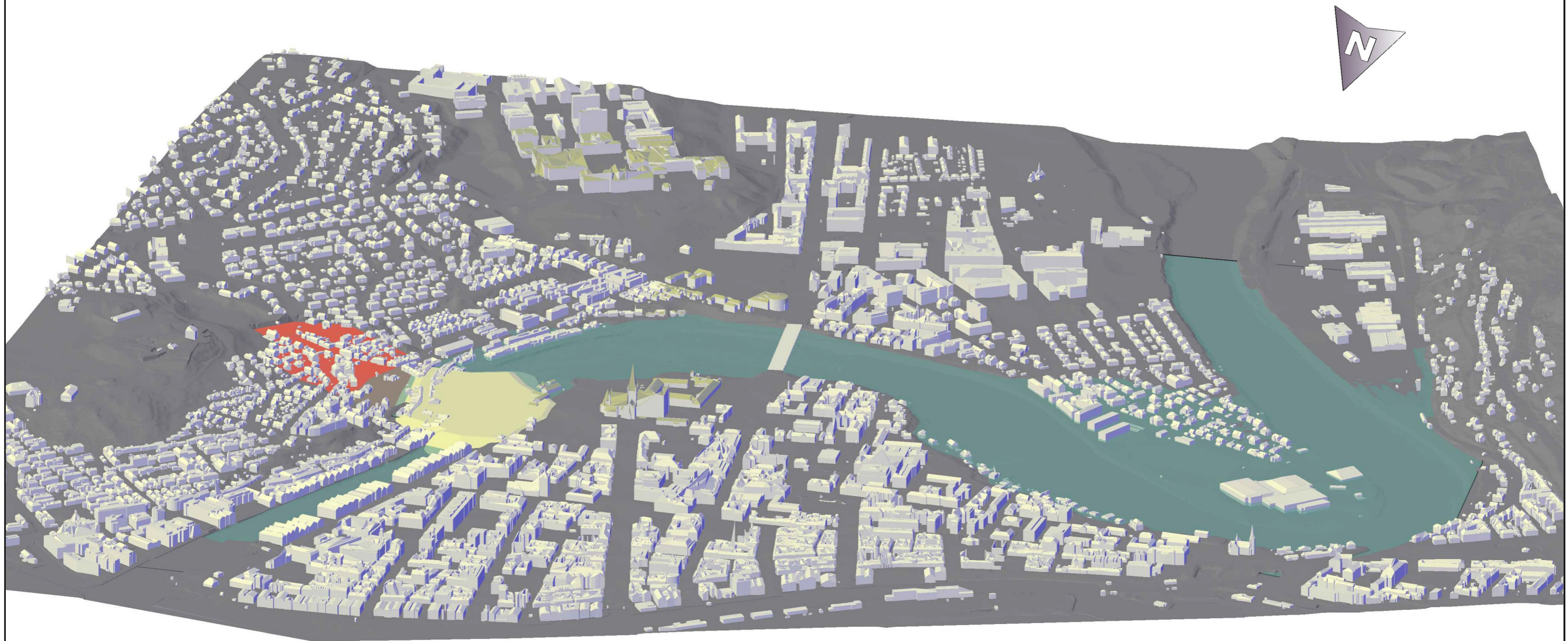
01	Lagt til profiler fra oppdrag 414871	13.08.2019	ANG	THE	HAN
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Trondheim kommune			Fag	Format	
Områdeplan Kjøpmannsgata			Geoteknikk	A3	
Vurdering av områdestabilitet			Dato	02.07.2019	
Løse- og utløpsområder oppstrøms bryggerekka			Format/Målestokk:	1:4000	
				-	
Multiconsult		Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
		Utsendt	ANG	TEH	HAN
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		10211940	RIG-TEG-001	01	



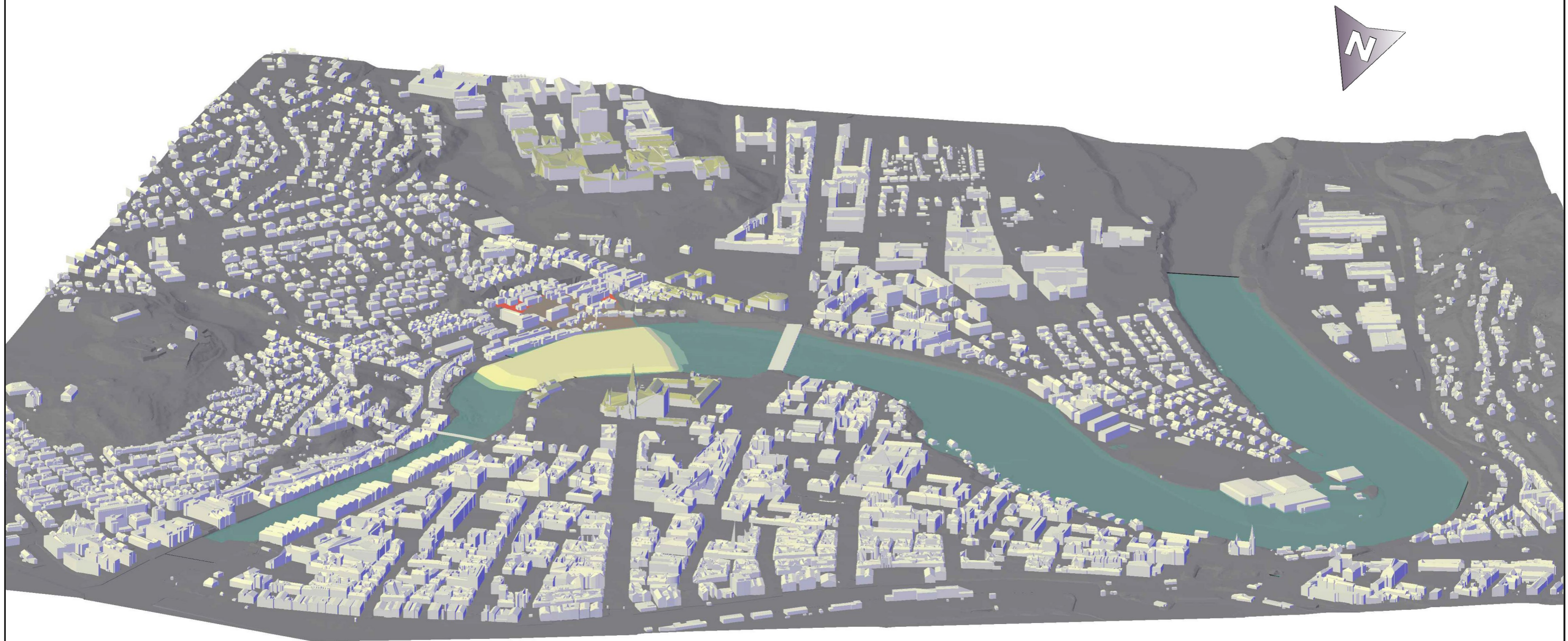
00	-	-	-	-	-
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
	Trondheim kommune		Fag	Kontr.	Format
	Områdeplan Kjøpmannsgata - Områdestabilitet		Geoteknikk		A3L
	Sammenligning av terrengprofil A-D		Dato		13.08.2019
	-		Format/Målestokk:		1:400
					-
Multiconsult		Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
www.multiconsult.no		Utsendt	TEH	ANG	HAN
Oppdragsnr.		Tegningsnr.			Rev.
10211940		RIG-TEG-700			00



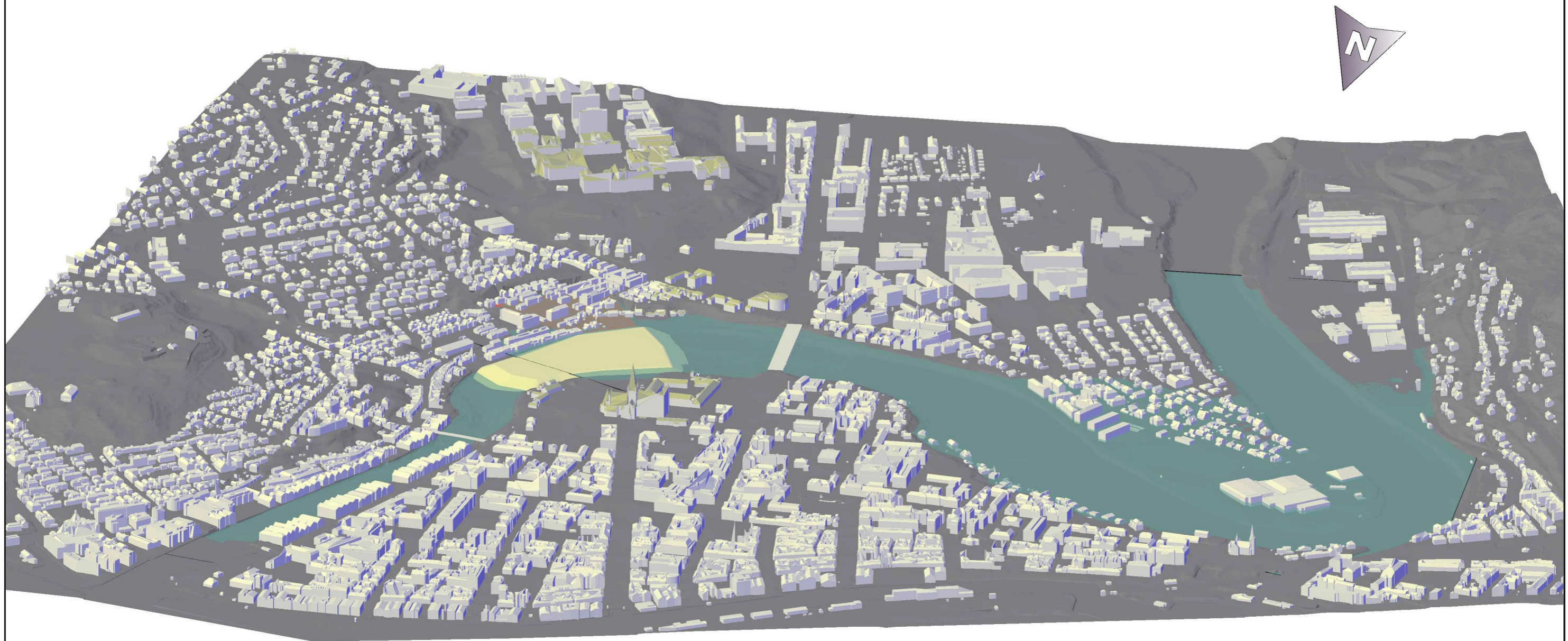
01	Farger endret for bedre lesbarhet	14.08.2019	SIVMH	ANG	HAN
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Konfr.	Godkj.
Trondheim kommune			Fag	Format	
Områdeplan Kjøpsmannsgata - Områdestabilitet			Geoteknikk	A3	
Utløpsområde nord			Dato	02.07.2019	
3D-visualisering av vurdert løsneområde og utløpsområde			Format/Målestokk:		
Sett mot sør-sørøst. Oppdemning til kote +5 (NN2000)			-		
Multiconsult	Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent	
	Utsendt	SIVMH	ANG	HAN	
	Oppdragsnr.	Tegningsnr.			Rev.
	10211940	RIG-TEG-900			01



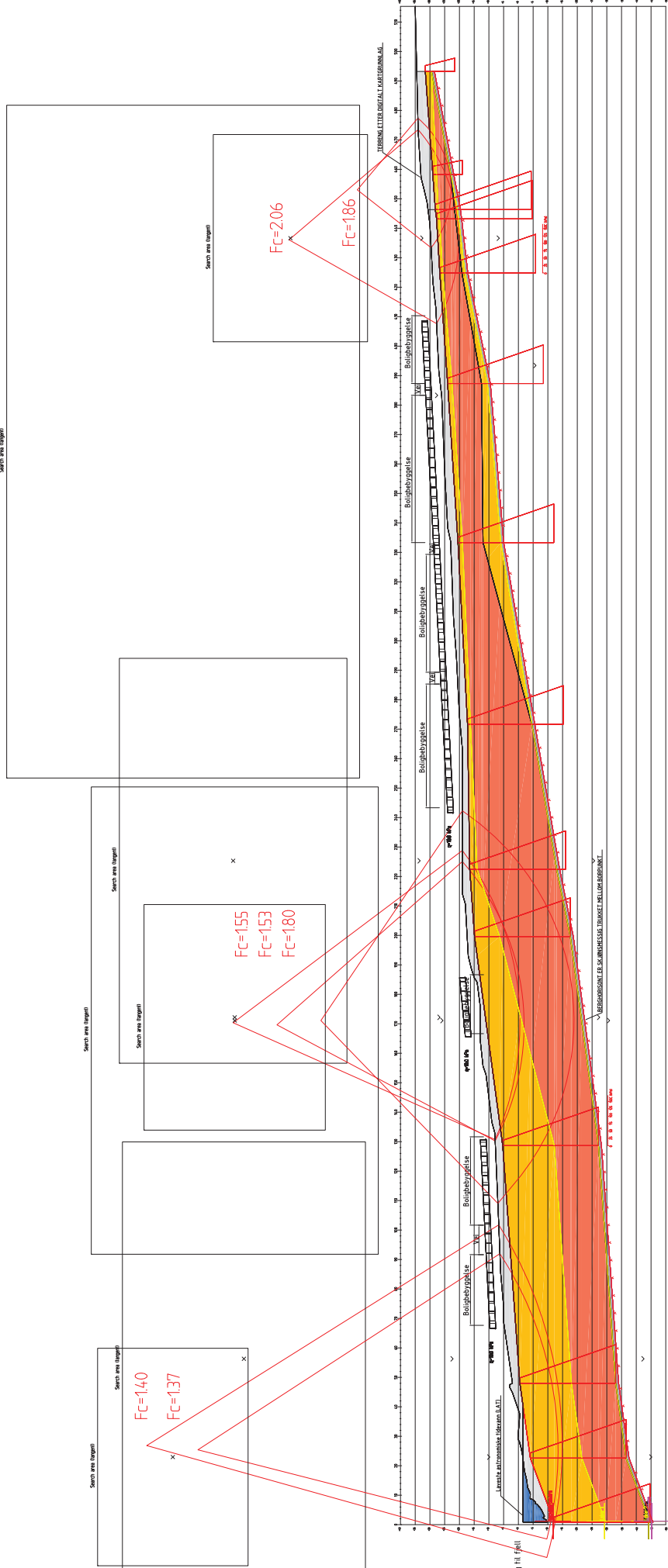
01	Farger endret for bedre lesbarhet	15.08.2019	SIVMH	ANG	HAN
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Konfr.	Godkj.
Trondheim kommune			Fag	Format	
Områdeplan Kjøpsmannsgata - Områdestabilitet			Geoteknikk	A3	
Utløpsområde nord			Dato	02.07.2019	
3D-visualisering av vurdert løsneområde og utløpsområde			Format/Målestokk:	-	
Sett mot sør-sørøst. Oppdemning til kote +8 (NN2000)					
Multiconsult	Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent	
	Utsendt	SIVMH	ANG	HAN	
	Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.		
	10211940	RIG-TEG-901	01		



01	Farger endret for bedre lesbarhet	15.08.2019	SIVMH	ANG	HAN
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Konfr.	Godkj.
Trondheim kommune			Fag	Format	
Områdeplan Kjøpsmannsgata - Områdestabilitet			Geoteknikk	A3	
Utløpsområde sør			Dato	02.07.2019	
3D-visualisering av vurdert løsneområde og utløpsområde			Format/Målestokk:		
Sett mot sør-sørøst. Oppdemning til kote +5 (NN2000)			-		
Multiconsult	Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent	
	Utsendt	SIVMH	ANG	HAN	
	Oppdragsnr.	Tegningsnr.			Rev.
	10211940	RIG-TEG-902			01



01	Farger endret for bedre lesbarhet	15.08.2019	SIVMH	ANG	HAN
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Konfr.	Godkj.
Trondheim kommune			Fag	Format	
Områdeplan Kjøpsmannsgata - Områdestabilitet			Geoteknikk	A3	
Utløpsområde sør			Dato	02.07.2019	
3D-visualisering av vurdert løsneområde og utløpsområde Sett mot sør-sørøst. Oppdemning til kote +8 (NN2000)			Format/Målestokk:	-	
Multiconsult	Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent	
	Utsendt	SIVMH	ANG	HAN	
	Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.		
	10211940	RIG-TEG-903	01		



Serch ann tragari

FC=2.06
FC=1.86

FC=1.55
FC=1.53
FC=1.80

FC=1.40
FC=1.37

Material	Unweight	Fi	C	C	Aa	Ad	Ap
lønnskorpelene	20.00	30.0	0.0				
Leire 1	20.00			C-praf	100	0.70	0.40
Kvikkleire	20.00			C-praf	100	0.60	0.30
Leire 2	20.00			C-praf	100	0.70	0.40
Bunnmorene	20.00	30.0	30				

FC=186
Analyse 2. metra del. in
Result file: Z:\V\BOK\14871\stabiliteisanalyse\gloshaugen - bakklandet\grosula\stabraf\H1\prof1_1_1.abp rev182
FC=186
Analyse 4. metra del. groy
Result file: Z:\V\BOK\14871\stabiliteisanalyse\gloshaugen - bakklandet\grosula\stabraf\H1\prof1_1_1.abp rev181
FC=155
Analyse 3. metra del. groy
Result file: Z:\V\BOK\14871\stabiliteisanalyse\gloshaugen - bakklandet\grosula\stabraf\H1\prof1_1_1.abp rev183
FC=153
Analyse 4. metra del. in
Result file: Z:\V\BOK\14871\stabiliteisanalyse\gloshaugen - bakklandet\grosula\stabraf\H1\prof1_1_1.abp rev184
FC=140
Analyse 5. metra del. groy
Result file: Z:\V\BOK\14871\stabiliteisanalyse\gloshaugen - bakklandet\grosula\stabraf\H1\prof1_1_1.abp rev185
FC=137
Analyse 6. metra del. in
Result file: Z:\V\BOK\14871\stabiliteisanalyse\gloshaugen - bakklandet\grosula\stabraf\H1\prof1_1_1.abp rev186
FC=130
Analyse 7. metra del. groy
Result file: Z:\V\BOK\14871\stabiliteisanalyse\gloshaugen - bakklandet\grosula\stabraf\H1\prof1_1_1.abp rev187

Rev.	Bestuweise	Dato	Bygr. format	Bygr. Kontr.	Kontr. (Conc)
			A3	Geoteknikk	
		Følgings finon	414871-200 stabilite_prof1_1-1.dwg		
		Utskrifts frim			
		MASTTAK			
MULTICON CONSULT AS 7466 HVALHEIM Tlf.: 73 10 92 00 - Fax: 73 10 92 30/70					
Beregningsprofil 1-1 Stabilitetsanalyse dagens situasjon ADP analyse		Skala RØLS 1:1000		Godkjent OAA 200	
Trondheim kommune Gløshaugen – Bakklandet Kvikkleireutredning forprosjekt		Prosjekt RØLS 414871			

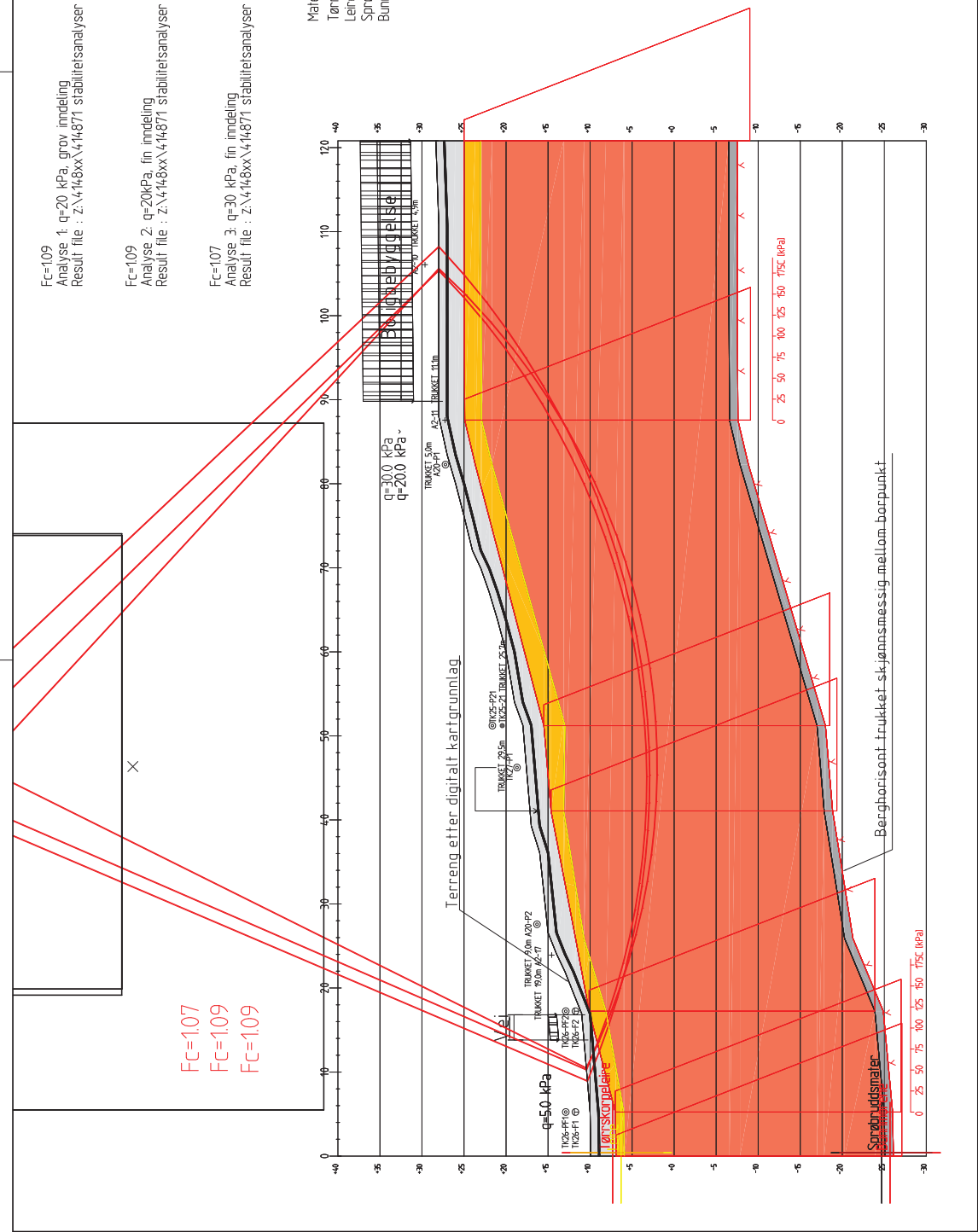
Fc=109
 Analyse 1: q=20 kPa, grov, inndeling
 Result file : Z:\4748xx\474871\stabilitetsanalyser_glosaugen - bakklundet\geosuite\stabgraf.nit\profil 1-2 adp rev0R1

Fc=109
 Analyse 2: q=20kPa, fin, inndeling
 Result file : Z:\4748xx\474871\stabilitetsanalyser_glosaugen - bakklundet\geosuite\stabgraf.nit\profil 1-2 adp rev0R2

Fc=107
 Analyse 3: q=30 kPa, fin, inndeling
 Result file : Z:\4748xx\474871\stabilitetsanalyser_glosaugen - bakklundet\geosuite\stabgraf.nit\profil 1-2 adp rev0R3

Fc=107
 Fc=109
 Fc=109

Material	Un.Veigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Tørstorpelære	2000	300	0,0				
Leire	2000			C-prof	100	0,70	0,40
Spribruddsmater	2000			C-prof	100	0,60	0,30
Bunnmorene	2000	300	30				



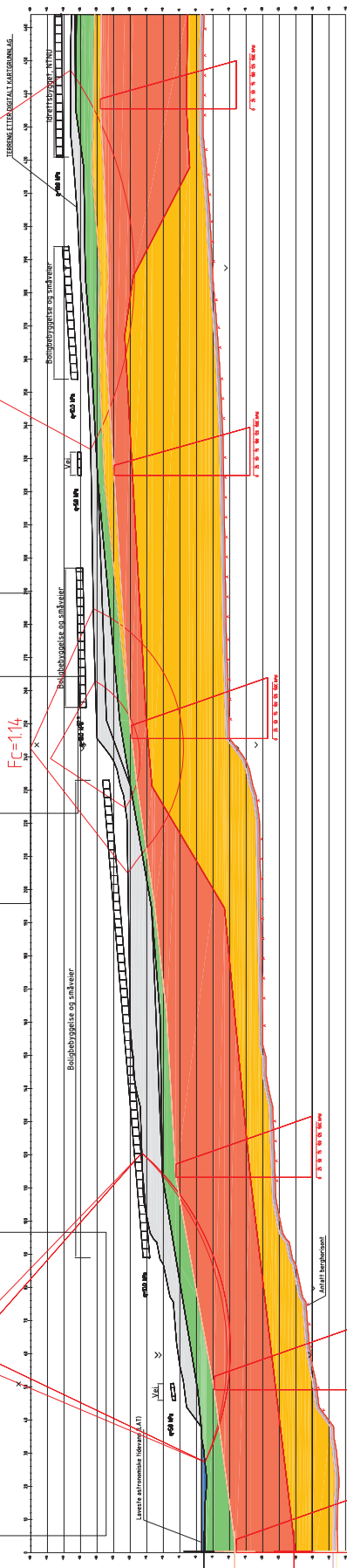
Rev.	Betegnelse	Dato	Kontrollert av	Godkjent av	Rev.
1	Trondheim kommune	15.09.2011	ROLFS	—	
2	Gjøshaugen-Bakklundet	15.09.2011	ROLFS	—	
3	Kvikkleireutredning forprosjekt	15.09.2011	ROLFS	—	
4	Beregning profil 1-2	15.09.2011	ROLFS	—	
5	Stabilitetsanalyse dagens situasjon	15.09.2011	ROLFS	—	
6	ADP analyse	15.09.2011	ROLFS	—	
MULTICONSULT AS 7488 TRONDHEIM Tlf: 75 10 62 00 - Fax: 75 10 62 2070 www.multiconsult.no					201

Search area 1 (top left): $F_c = 2.49$

Search area 2 (top middle): $F_c = 152$

Search area 3 (top right): $F_c = 114$

Search area 4 (bottom left): $F_c = 0.96$
 $F_r = 0.96$



Material	Un. Weight	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Fyllmasser	19.00	30.0	0.0	40.0	100	0.70	0.40
Silt	19.00			40.0	100	0.70	0.40
Leire 1	19.00			C-prof	100	0.60	0.30
Sprengningsmateriale	19.00			C-prof	100	0.70	0.40
Bunnmorene	19.00	30.0	3.0				

F-01: 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01
 F-02: 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01
 F-03: 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01
 F-04: 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01
 F-05: 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01
 F-06: 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01
 F-07: 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01
 F-08: 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01
 F-09: 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01
 F-10: 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01, 2010-09-01

Rev.	Best. nr.	Dato	Oppr.	Kontr.	(Opps.)
Trondheim kommune Gløshaugen – Bakklundet Kvikkleireutredning forprosjekt					
Beregningsprofil 3-1 Stabilitetsanalyse dagens situasjon ADP analyse					
MULTICONSULT AS 7466 RINDHEIM Tlf: 73 10 62 00 - Fax: 73 10 62 30/70					
Beregningsskala: 1:1000 25.09.2011 414871			Konstr./Tegnet: ERS Godkjent: OAA Rv.: —		