

Til: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
v/ Ingrid Havne
Kopi til: Priska Helene Hiller
Dato: 2020-08-03
Rev.nr. / Rev.dato: 0
Dokumentnr.: 20190224-01-TN
Prosjekt: Kvikkleiresone 2164 - Leira søndre
Prosjektleder: Thi Minh Hue Le
Utarbeidet av: Thi Minh Hue Le
Kontrollert av: Vidar Gjelsvik

Kvikkleiresone 2164 Leira søndre – Vurdering av stabilitet og soneavgrensning

Innhold

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Innledning | 3 |
| 2 | Bakgrunn | 3 |
| 2.1 | Beliggenhet | 3 |
| 2.2 | Terreng | 4 |
| 2.3 | Grunnforhold | 5 |
| 2.4 | Erosjonsforhold | 5 |
| 3 | Supplerende grunnundersøkelser i 2019 | 6 |
| 4 | Stabilitetsberegninger | 9 |
| 4.1 | Inngangsparametere | 9 |
| 4.2 | Resultater | 10 |
| 5 | Vurdering av potensielle løsne- og utløpområder | 11 |
| 5.1 | Boliger i nordvest | 11 |
| 5.2 | Leira gård i øst | 11 |
| 6 | Konklusjoner | 16 |
| 7 | Referanser | 17 |

Kart og tegninger

| | |
|-------------------|---|
| Kart 001 | Oversiktskart 1:50000 |
| Kart 010 | Borplan og profiler |
| Tegn. nr. 100-101 | Profiltegninger |
| Tegn. nr. 200-203 | Resultat fra stabilitetsberegninger |
| Tegn. nr. 300-301 | Vurdering av løsneområde basert på NIFS 14/2016 |

Vedlegg

| | |
|-----------|--------------------------------|
| Vedlegg A | Tolkning av grunnundersøkelser |
|-----------|--------------------------------|

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

I forbindelse med sikring av kvikkleiresone 2164 Leira søndre vil NVE undersøke om bebyggelser i østre og vestre deler er reelt utsatt for kvikkleireskred. NGI er engasjert for å gjøre en oppdatert vurdering av potensielt løснеområde. NGI har i den sammenheng satt opp en borplan for supplerende grunnundersøkelser. Grunnundersøkelsene ble utført i perioden juli og november 2019 av geoteknisk avdeling i Trondheim kommune. NGI fulgte opp grunnundersøkelsene under utførelse.

Foreliggende notat inneholder en oppsummering av resultater fra de supplerende grunnundersøkelsene og en vurdering av om bebyggelsene i sonen kan bli utsatt av kvikkleireskred. Vurderingen er basert på tidligere grunnundersøkelser [1], soneutredning utført i 2012-2015 [2], supplerende grunnundersøkelser [3] og stabilitetsberegninger av to kritiske snitt gjennom bebyggelsene i øst og i vest. Det blir brukt metoder forslått i NIFS rapport 14/2016 [4] for å vurdere løсне- og utløpsområde for områdeskred.

2 Bakgrunn

2.1 Beliggenhet

Kvikkleiresone 2164 Leira søndre ligger ca. 6 km sør for Trondheim sentrum, ved Nedre Leirfossen (kart 001). Sonen ble utredet av NGI i perioden 2012-2015, da den gamle kvikkleiresonen 199 Leira ble delt inn i to kvikkleiresoner: 2164 Leira søndre og 199 Leira nordre [2]. I sone 2164 Leira søndre er det tre eneboliger i nordvest og en gård med bolighus i øst (Leira gård) (Figur 1). Sone 2164 Leira søndre har middels faregrad, alvorlig konsekvens og risikoklasse 4.

Mot vest og sørvest avgrenses kvikkleiresone Leira søndre mot Nidelva. Mot øst strekker sonegrensen seg langs Leirvegen fra Leira gård (Leira 77-79) til ca. 330 m mot sør. I nord er sonen avgrenset langs Leirabekken. Bekken separerer kvikkleiresone 199 Leira nordre og kvikkleiresone 2164 Leira søndre etter anbefaling fra utredningen i 2012-2015 [2]. Mot sør ligger sonegrensen nært kvikkleiresone 201 Leiregjerde (Figur 1).



Figur 1. Oversiktskart viser kvikkleiresone 2164 Leira søndre og nabokvikkleiresoner. Kartet viser løснеområde (skravur) med potensiell fare for kvikkleireskred. Fargene angir faregrad (rød=høy, oransje=middels og gul=lav). Sone 2164 Leira søndre har middels faregrad, alvorlig konsekvens og risikoklasse 4. (Utklipp fra NVE kvikkleirekart, dato 22.07.2020)

2.2 Terreng

Terrenget i kvikkleiresone 2164 Leira søndre domineres av et lett skrånede platå mellom kote +110 og +120 som er gjennomskåret av flere raviner. De nordvestre, vestre og sørvestre delene av sonen består av bratte skråninger ned mot Nedre Leirfoss og Nidelva. Skråninger ned mot Nidelva og Nedre Leirfoss kan være opp til 80 m høye. Disse skråningene utgjør det mest kritiste faremomentet for kvikkleireskred i sonen. Den nordre delen skråner ned mot Leirabekken.

2.3 Grunnforhold

Grunnen i området består av marine sediment som inneholder leire og silt. I tidligere utredning ble det påvist eller antatt sprøbruddmateriale innenfor mesteparten av kvikkleiresonen [1] [2]. Kvikkleiren antas å ligge i et sammenhengende lag ca. 15-30 m under platånivået, mellom ca. kote +50 og +90 [2]. Over kvikkleirelaget ligger et siltig leirlag som kan være tilnærmet normalkonsolidert. Stedvis kan det finnes et meget fast lag av siltig leire eller leirig silt med mulig sand/grus/stein mellom øvre siltig leirlag og kvikkleirelag. Under kvikkleirelaget finnes det et meget fast lag som består av leire, silt, sand og stein.

Fjell er observert i dagen langs Nidelva og Nedre Leirfoss. Mot Leirfossvegen i vest er antatt fjell påtruffet ca. 12-14 m under terreng [3]. Grunnundersøkelsene viser liten løsmasseoverdekning over fjell i sørvest langs elva, mens det kan være meget stor dybde til fjell østover. Ved Leira gård i øst er det boret til 80 m dybde uten å treffe fjell [3].

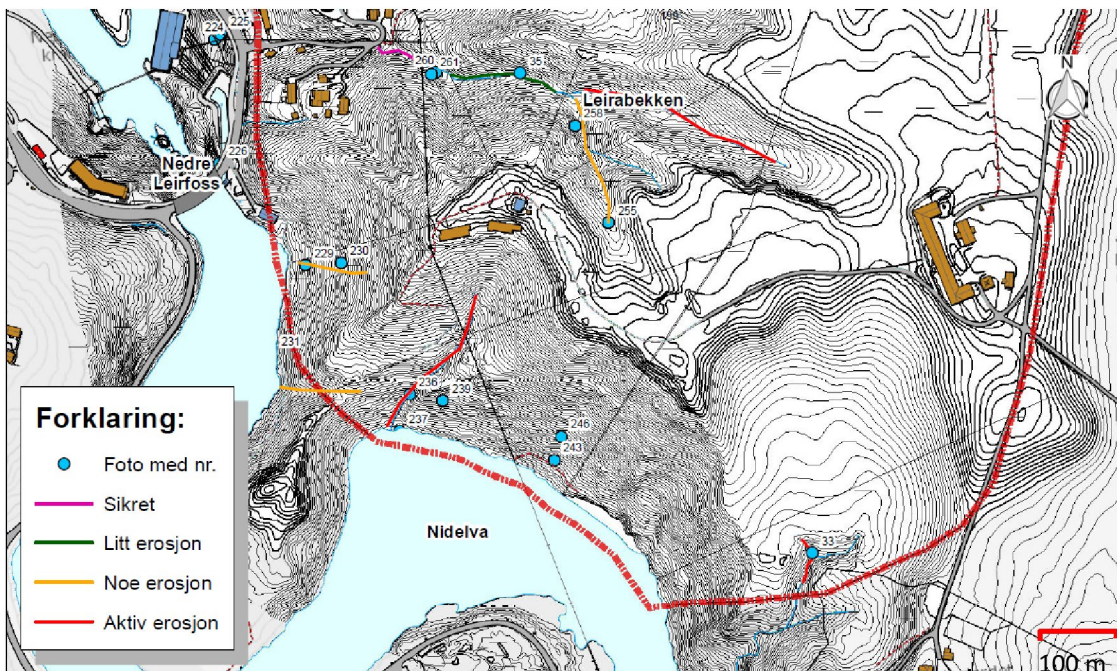
Utførte poretrykkmålinger ifm. utredningen i 2012-2015 [1] tyder på betydelige undertrykk under plataet og nærmere hydrostatisk trykk mot bunnen av skråninger. Det indikerer sterkt vannstrøm fra plataet ned mot drenerende lag og videre til Nidelva.

2.4 Erosjonsforhold

Det er ikke utført ny befaring i forbindelse med denne vurderingen. Sonen ble befart tidligere av NGI i 2012 og 2014 [2].

Det er fjellterskelen ved Øvre Leirfoss som demmer opp strømmen ned til Nedre Leirfossen. Potensialet for erosjon langs Nidelva ved bunnen av skråninger i vest er derfor vurdert å være begrenset pga. relativt lite strøm.

"Noe" til "aktiv" erosjon er observert høyere oppe i skråningene i vest og i sideraviner ved befaringen i 2014. Det ble også registrert oppkomme og flere glidninger i disse skråningene. Det ble observert aktiv erosjon lang Leirabekken [2]. Det bemerkes at NVE planlegger å erosjonssikre Leirabekken med sidebekkene [5]. Figur 2 oppsummerer registrert erosjonsforhold i området.



Figur 2. Erosjonsforhold i kvikkleiresone 2164 Leira søndre, basert på befaringen utført i 2014 (prosjekt nr. 20120099) (utklipp fra ref. [2], dato 27.07.2020).

3 Supplerende grunnundersøkelser i 2019

NVE har samarbeidet med Trondheim kommune for å viderekartlegge kvikkleiresone Leira søndre. Geoteknisk avdeling i Trondheim kommune utførte grunnundersøkelser mellom juli og november 2019 da det var ledig kapasitet på boreriggen.

Det er utført til sammen 8 totalsonderinger, 1 dreietrykksondering og 4 CPTU-er. Det er tatt 4 sylinderprøver (54 mm) fra to punkter (punkt 8 og 9). Det er utført rutineundersøkelser på begge prøveseriene i Trondheim kommunes laboratorium. Det er i tillegg utført to ødometerforsøk på prøvene fra borpunkt 9. Resultatene fra de supplerende grunnundersøkelsene er presentert i rapport R. 1764 [3]. Tegning nr. 010 viser en borplan med både supplerende og tidligere grunnundersøkelser fra 2013 [1].

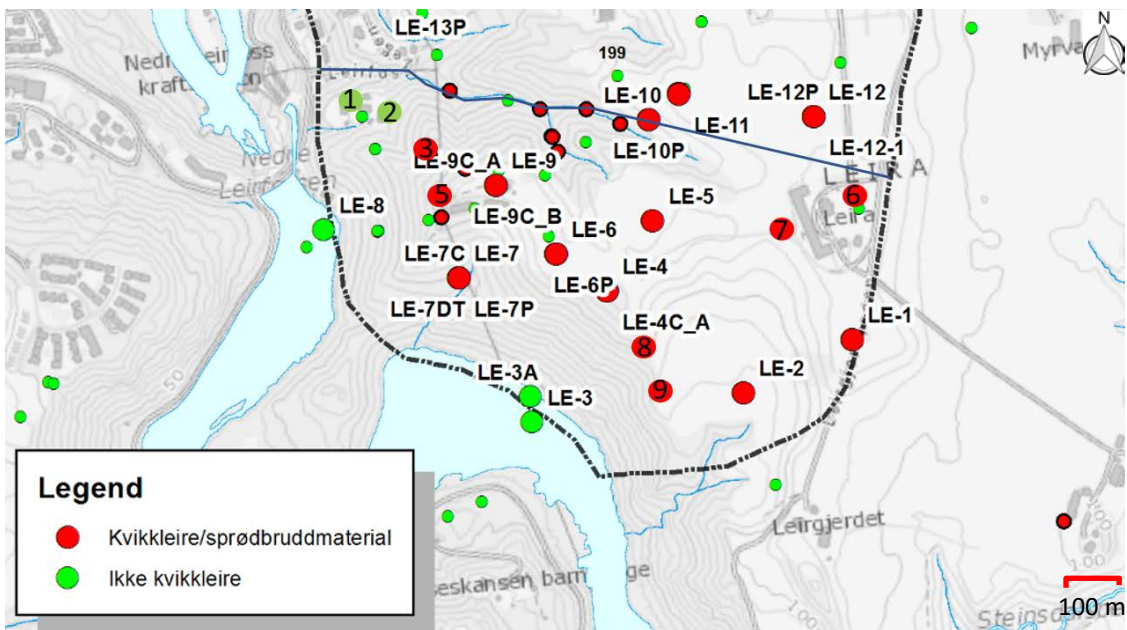
Resultatene fra supplerende grunnundersøkelsene stemmer overalt med grunnforholdene tolket ut fra den tidligere kartleggingen [1] [2]. De utførte boringene indikerer sprøbruddmateriale i et flertall av borpunktene (6 av 8 supplerende boringer) (se Tabell 1). Boringene som ikke indikerer sprøbruddmateriale ligger ved boligene i nordvest (punkt 1 og 2). På disse to punktene er det påtruffet fast masse og/eller berg innenfor 15 m dybde. Det er påvist kvikkleire i punkt 8 i sonen mellom ca. 16 og 20 m dybde. Basert på variasjon i matekraft med dybde blir det "antatt/mulig" kvikkleire i 5 punkter. Disse punktene ligger langs skråninger i vest og ved Leira gård i øst (Tabell 1 og Figur 3).

Tabell 1. Grunnundersøkellesmetode og antatt kotenivå av kvikkleire for enkelte borepunkter. "Påvist" sprøbruddmateriale tolkes ved tilgjengelighet av prøver som tilfredsstillende kriterier for sprøbruddmateriale iht. NVE veiledning [5]. "Antatt/mulig" sprøbruddmateriale tolkes om totalsondering viser 'overheng' eller 'utflating' av matekraft. "Ingen" tolkes om totalsondering viser økende matekraft. Tolkningen for hvert enkelt punkt tar i betraktning de tidligere sonderingene og prøveseriene i nærheten.

| Punkt | Metoder | | | Tolket lag med sprøbruddmateriale (ca. kote +) | | |
|-------|---------|------|--------------------|--|----------------|-------|
| | ToT | CPTU | Prøveserie (54 mm) | Påvist | Antatt/Mulig | Ingen |
| 1 | x | | | | | x |
| 2 | x | | | | | x |
| 3 | x | | | | 74-57 51-42 | |
| 5 | x | x | | | 48-43 | |
| 6 | x | | | | 77-55 | |
| 7 | x* | x | | | 89-53 | |
| 8 | x | x | x | 83-79 | 84-66 | |
| 9 | x | x | x | | x** | |

* Både totalsondering og dreietrykkssondering er utført

** Punktet er boret til begrenset dybde. Det kan ikke utelukke forekomst av kvikkleire dypere enn boret dybde.



Figur 3. Oversiktskart som viser tolkning av kvikkleire i kvikkleiresone 2164 Leira søndre. Røde punkter indikerer påvist eller antatt/mulig kvikkleire, mens grønne punkter indikerer ikke kvikkleire. De store sirklene med tall innenfor er punkter fra supplerende grunnundersøkelsene ref. [3]. De store sirklene uten tall er fra grunnundersøkelsene i 2013 (ref. [1]). De små sirklene kommer fra tolkning av data i Trondheim kommunes arkiv. (Modifisert utklipp fra ref. [2], dato 27.07.2020).

Det er tegnet to profiler for å vurdere beliggenhet av kvikkleiren og beregning av stabilitet. Profil L går fra midt i sonen gjennom boligene i nordvest ned mot Nedre Leirfoss kraftstasjon. Profil K går gjennom Leira gård i øst og bratt skråning i vest ned mot Nidelva. Beliggenhet av profilene er vist i tegn. nr. 010. Tolket lagdeling er vist i tegn.nr. 100 og 101.

Tolkning basert på både de tidligere og supplerende grunnundersøkelsene indikerer at det er siltig leire til 15-30 m dybde i både profilene. Dette øvre siltig leirlaget viser ikke sprøbruddegenskaper. Under dette laget ligger et tykt sammenhengende kvikkleirelag antagelig mellom kote + 53 og + 89. Ved boligene i nordvest er det antagelig grunt til berg basert på totalsonderinger 1 og 2. Det er en viss usikkerhet knyttet til denne tolkningen siden det ikke er boret i berg. Midt i sonen finnes det stedvis et meget fast lag med leire, silt, sand og mulig steinblokk mellom øvre siltig leirlaget og kvikkleirelaget (se ref. [2]). I den nordvestre delen er det leire, silt og mulig sand/stein under kvikkleirelaget mellom kote +42 og +51 (profil L, tegn. nr. 100). Dette laget inneholder hovedsakelig finkornige materialer nær skåningen, men andeler av grove materialer (sand/grus/stein) antas å øke under plataået. Det finnes muligens et nedre lag med sprøbruddegenskaper, men dette er kun påtruffet i ett punkt under den bratte skråningen ned mot Nedre Leirfoss (profil L, tegn. nr. 100). I den sørøstre delen er det meget fast masse med leire, silt, sand og stein under kvikkleirelaget (profil K, tegn. nr. 101).

Det er utført 4 supplerende CPTU-er [3]. Tolkede CPTU indikerer at det øvre siltige leirlaget har udrenert skjærstyrke c_{uA} mellom 40 og 140 kPa (se vedlegg A). Det bemerkes at det er usikkerhet knyttet til tolkningene basert på OCR og SHANSEP-korrelasjonen på grunn av komplisert geologi i området (se ref. [2]) Kvikkleirelaget har c_{uA} mellom ca. 80 og 160 kPa. På grunn av høyt innhold av finstoff tolkes det nederste leire, silt, sand-laget i profil L som udrenert materiale. Det nederste leire, silt, sand, stein-laget i profil K tolkes som drenert materiale siden totalsonderingene tyder på meget faste masser.

Det er utført to ødometerforsøk med prøver fra punkt 9 på ca. 10 og 12 m dybde [3]. Resultatene fra begge forsøkene tyder på betydelig prøveforstyrrelse, da modul- og tøyningskurver ikke viser typisk variasjon som for gode kvalitetsprøver. Det er ikke mulig å tolke OCR fra modul- og tøyningskurvene.

4 Stabilitetsberegninger

4.1 Inngangsparametere

Stabilitetsberegninger er utført for profil K og L for dagens situasjon. Tabell 2 presenter en oversikt over tyngdetetthet, drenert skjærstyrke og anisotropiforhold som er brukt i stabilitetsberegningene.

Tabell 2. Oversikt over inngangsparametere for stabilitetsberegningene

| Profil - Ref. | Materialer | Tyngdetetthet | Friksjonsvinkel | Kohesjon | Anisotropiforhold | | |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------|----------|-------------------|------|------|
| | | kN/m ³ | ° | kPa | Aa | Ad | Ap |
| Profil L - Tegn. nr 100, 200, 201 | Siltig leire | 19,5 | 32 | 6 | 1 | 0,65 | 0,35 |
| | Kvikkleire 1 | 19,5 | 29 | 5 | 0,85 | 0,65 | 0,35 |
| | Leire, silt, sand | 20 | 35 | 5 | 1 | 0,65 | 0,35 |
| | Kvikkleire 2 | 19,5 | 29 | 5 | 0,85 | 0,65 | 0,35 |
| | Leire | 20 | 29 | 5 | 1 | 0,65 | 0,35 |
| Profil K- Tegn. nr. 101, 202, 203 | Siltig leire | 19,5 | 32 | 6 | 1 | 0,65 | 0,35 |
| | Kvikkleire | 19,5 | 29 | 5 | 0,85 | 0,65 | 0,35 |
| | Leire, silt, sand, stein | 20 | 35 | 7 | | | |

Det er brukt anbefalte c_{uA} -profiler fra CPTU-ene på punkt 5, LE-9, LE-6 og LE-4 fra venstre til høyre i profil L (tegn. nr. 200), og CPTU-ene på punkt LE-3, 8 og 7 i profil K (tegn. nr. 202). Det bemerkes at borepunktene utført tidligere i 2013 (ref. [1]) har forstavelse "LE" foran punktets løpenummer. Inngangsparameterne er bestemt fra både supplerende [3] og tidligere grunnundersøkelser [1] [2].

For punktene fra utredningen i 2012-2015 er vedkommende CPTU-er vist i vedlegg A.2. Nærmere beskrivelser av jordparametere er presentert i utredningsrapport 20120099-03-R (ref. [2]).

Det antas at poretrykksforholdet i nordvest er sammenlignbart med poretrykksprofilen i punkt LE-7 (midt i skråningen) og LE-6 (topp av skråningen) (se profil L - tegn. nr. 200). Poretrykksforholdet i sørøst representeres av poretrykksprofilen i punkt LE-7 (ved skråningskant) og LE-11 (topp av skråningen, ved Leira Gård) (se profil K - tegn. nr. 202). Det antas hydrostatisk poretrykk ved Nidelva (bunnen av skråningen i profil K).

4.2 Resultater

Resultater fra stabilitetsberegningene er oppsummert i Tabell 3 for både udrenert og drenert tilstand under dagens situasjon. Tegn. nr. 200-203 viser kritiske skjærflater (dvs. med de laveste sikkerhetsfaktorene) og en sammensatt skjærflate tegnet gjennom kvikkleirelaget.

Tabell 3. Resultat fra stabilitetsberegninger

| Profiler | Skjærflater | Kritisk | Sammensatt | Ref |
|----------|-------------|---------|------------|-----|
| L | Udrenert | 1,05 | 1,34 | 200 |
| | Drenert | 1,64 | | 201 |
| K | Udrenert | 1,30 | 1,71 | 202 |
| | Drenert | 1,34 | | 203 |

Resultatene indikerer lav sikkerhet mot udrenerte belastninger i nordvestre delen. Boliger i nordvest ligger åpenbart i utløpssonen for et potensielt skred i profil L. Sikkerhetsfaktorer beregnet for profil K er litt høyere enn for profil B like nordvest for profil K (se tegn. nr. 010). Profil B ble beregnet i tidligere utredning (ref. [2]), og viste kritiske sikkerhetsfaktorer under 1,1 for dagens situasjon. Det er på grunn av at cuA-profilen ved punkt 8 (brukt i profil K) er gunstigere enn cuA-profilene ved punkt LE-4 og LE-5 (brukt i profil B). Totalsondering og CPTU ved punkt 9 sør for punkt 8 indikerer ikke sprøbruddmateriale ned til 13,5 m dybde og fast masse mellom 15 og 35 m dybde. Det er mulig sprøbruddmateriale mellom 13,5 og 15 m, eller under 35 m. Det tyder på at sikkerhet mot skred er gunstigere i sørvest (dvs. sør for profil K i tegn. nr. 010) enn i vest og nordvest (dvs. nord for profil K).

5 Vurdering av potensielle løsne- og utløpområder

5.1 Boliger i nordvest

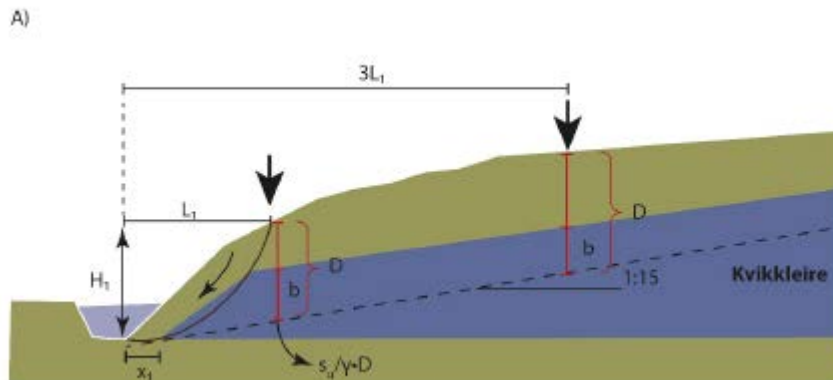
Et mål med dette prosjektet er å vurdere om eksisterende bebyggelsene er reelt utsatt for skred. Supplerende grunnundersøkelser indikerer at de tre boligene i nordvestre delen ligger på fast leire som ikke har sprøbruddegenskaper. Tidligere grunnundersøkelser tyder på at det ikke er sprøbruddmaterialer i området like sør for boligene (Figur 3). Dette området kan da anses å ligge utenfor løsneområdet i sonen. Imidlertid er det kvikkleire i ovenforliggende skråning, og boligene ligger derfor innenfor løsneområdet til sonen. Skråningsstabiliteten mot udrenerte belastninger er lav.

5.2 Leira gård i øst

For å vurdere skredfare for Leira gård blir det benyttet metode for vurdering av løsneområder for områdeskred forslått i NIFS-rapport 14/2016 [4]. Metoden er empirisk og er tilpasset for reguleringsplannivå. Det er vurdert for profil K som går fra skråning ned mot Nidelva i vest gjennom Leira gård i øst.

Skråningen i vest er høy og bratt med et tykt sammenhengende kvikkleirelag (tegn. nr. 101). Figur 4 illustrerer en grafisk prosedyre for å definere forskjellige parametere som inngår i vurderingen av L/H-kriteriet for en slik terrasse-skråning. Tabell 4 beskriver de forskjellige parameterne fra Figur 4. Evaluering gjøres ved hjelp av Tabell 5 som gir vektall og score for seks geometriske og geotekniske faktorer inngått i vurderingen. Poengverdier for hver faktor beregnes som produktet av score og vektall. Sannsynlig størrelse av løsneområdet (avhengig av L/H-klassen) vurderes basert på total poengsum for de ulike faktorene [4].

Lav L/H-klassen ($L/H < 5$) omfatter en total poengsum på 5 til 9. Middels L/H-klassen ($L/H < 10$) omfatter en total poengsum på 10 til 15. Høy L/H-klassen ($L/H < 15$) omfatter en total poengsum på 16 til 24.



Figur 4. Skisse illustrerer de forskjellige parametere som inngår i vurdering av L/H-kriteriet i en terrasse skråning med tykk kvikkleireavsetning.

Tabell 4. Beskrivelser av parametere presentert i Figur 4.

| Parameter | Beskrivelse |
|----------------------|---|
| H_1 | Høydeforskjell mellom tå og topp av et evt initialskred (dvs. kritiske skjærflate). Dette er ikke nødvendigvis skråningstå og skråningstopp! |
| x_1 | Avstand mellom utgangen av kritiske skjærflate og punktet der hvor 1:15 linja først krysser kvikkleire. |
| L_1 | Avstand mellom tå og topp av et evt initialskred (eller kritisk skjærflate). |
| D | Dybde til 1:15 linje i bakkant av initialskred |
| b | Tykkelse av sprøbruddmateriale ovenfor 1:15 linje |
| $s_u/\gamma \cdot D$ | Den inverse av stabilitetstallet ($1/N_c$) hvor s_u er udrenert gjennomsnittlig skjærstyrke (s_{uDSS} i kPa), γ er total romvekt (kN/m^3) og D er dybde til 1:15 linje |
| L | Retrosjesjonsdistanse fra foten av initialskredet til bakkanten av endelig skredgrop. Avstanden skal vurderes i skredretning. (se figur 1) |
| H | Total høydeforskjell mellom foten av initialskredet og toppen av endelig skredkant. (se figur 1) |

Tabell 5. Evaluering av L/H basert på total poengsum beregnet fra forskjellige indikatorer.

| Indikator | Vekttall | Stor L/H | Middels L/H | Lav L/H | Null |
|--|----------|----------------------------|---|---|----------|
| | | 3 | 2 | 1 | 0 |
| b/D ved L1 | 1 | > 0,5 | 0,25-0,5 | Opptil 0,25 | 0 |
| b/D ved 2L1 eller 3L1* | 2 | > 0,5 | 0,25-0,5 | Opptil 0,25 | 0 |
| Avstand fra foten av initial skred til kvikkleirelomma | 1 | $x_1 < L_1$ | $x_1 \sim L_1$ | $x_1 > L_1$ | — |
| Forhold ved skredporten | 2 | Stor elv eller dal | Bekkedal/ravine med bredde av samme størrelse som skredporten | Flere hindringer og/eller veldig trang ravine | — |
| Tidligere skredhendelser | 1 | L/H > 10 | 5 < L/H < 10 | L/H ≤ 5 | — |
| $s_u/\gamma \cdot D$ | 1 | $s_u/\gamma \cdot D < 0.1$ | $0.1 \leq s_u/\gamma \cdot D \leq 0.25$ | $s_u/\gamma \cdot D > 0.25$ | — |
| SUM | | 24 | | | |

*Avhengig av type skråning.

Tegning nr. 202 viser at løsmasselaget under kvikkleirelaget ved punkt 8 stikker over 1:15-linjen tegnet fra bunnen av den kritiske glideflaten. Om et initialt skred kan forplante seg langs den 1:15-linjen vil være avhengig av omfanget og skjærstyrken til den oppstikkende delen. Det vurderes derfor to mulige scenario for retrogresjon av kvikkleireskred langs profil K. Grafiske prosedyrer er fremvist i tegning nr. 300 og 301:

Scenario 1: 1:15-linjen er tegnet gjennom bunnen av den kritiske skjærflaten (tegn. nr. 300). Det forutsettes at et initialt skred kan forplante bakover gjennom løsmasselaget under kvikkleirelaget ved skråningskanten.

Scenario 2: 1:15-linjen er tegnet gjennom bunnen av kvikkleirelaget ved punkt 8 (ca. kote +66). Det forutsettes at retrogresjonen blir begrenset av underliggende, ikke sensitive masser ved punkt 8 fra kote +66 nedover.

Tabell 6 viser verdier av de forskjellige parameterne som tilsvarer til grafiske prosedyrene vist i tegn. nr. 300-301 for profil K. Tabell 7 viser beregnede poengverdier av de forskjellige faktorene inngått i evaluering av potensielle L/H-kriteriet.

Tabell 6. Verdier av forskjellige parametere for evaluering av L/H-kriteriet for profil K

| Parametere | Verdier | | Parameterer | Verdier | |
|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|
| | Scenario 1 | Scenario 2 | | Scenario 1 | Scenario 2 |
| x1 (m) | 51,7 | 51,7 | b ved L1 (m) | 18,4 | 18,4 |
| H1 (m) | 42,7 | 42,7 | D ved L1 (m) | 40,3 | 30 |
| L1 (m) | 107,2 | 107,2 | b ved L3 (m) | 14,9 | 7,9 |
| 3L1 (m) | 321,6 | 321,6 | D ved L3 (m) | 36,2 | 29,2 |

Tabell 7. Beregninger av poengverdier for forskjellige faktorer og total poengsum for å evaluere potensielle L/H for profil K

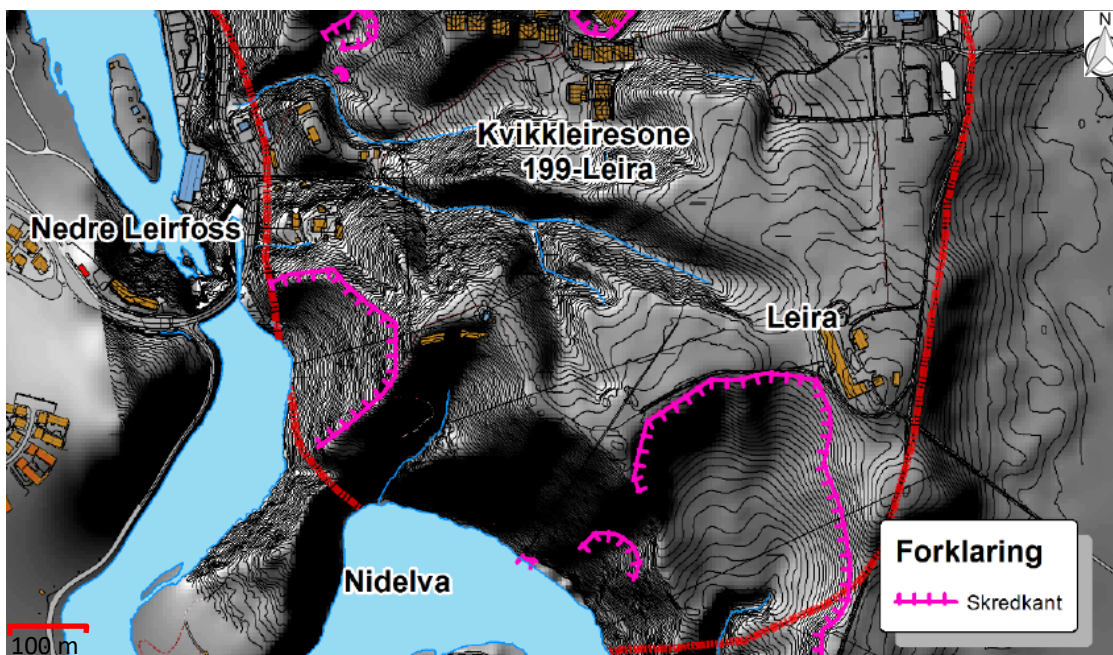
| Faktor | Vekt-tall | Score | | Poengverdi | | Kommentarer | |
|-------------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|--|------------|
| | | Scenario 1 | Scenario 2 | Scenario 1 | Scenario 2 | Scenario 1 | Scenario 2 |
| b/D ved L1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 0,46 | 0,61 |
| b/D ved 3L1 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 0,41 | 0,27 |
| Relativ avstand til kvikkleirelomma | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | x1<L1, mye usikkerhet knytte til avstand x1. | |
| Forhold ved skredporten | 2 | 3 | 3 | 6 | 6 | Elv | |
| Tidligere skredhendelser | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | Skredgrop ved Leira Gård viser ca. L/H ca. 8-10 | |
| su/γD | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | su=140 kPa, γ=19,5 kN/m ³ og D=30 m su/γD = 0,24 | |
| Sum | | | | 19 | 20 | | |

Noen viktige kommentarer om vurderingene fremvist i Tabell 7 er:

- Det er usikkerhet knyttet til avstand fra foten av et initialt skred til kvikkleirelomma, x1. En mindre konservativ tilnærming (dvs. x1 større enn eller lik L1) vil redusere de totale poengsummene.
- Skred ved skråningene i vest strømmer ned Nidelva. Da er det lett for skredmassene å flyte nedstrøms langs elva. Det er derfor gitt det høyest scoret for denne faktoren iht. NIFS 14/2016.
- Tidligere skredhendelser i området (f.eks. skredgrop ved Leira gård i Figur 5) tilsier at L/H i området kan være større enn 8.
- su-verdi for beregningen av stabilitetstallet (su/γD) er vurdert fra den anbefalte cuA-profilen ved punkt 8 (su = 140 kPa). Krysningpunktet mellom 1:15-linjen og kvikkleiren under skråningskanten er på ca. 34 m dybde.

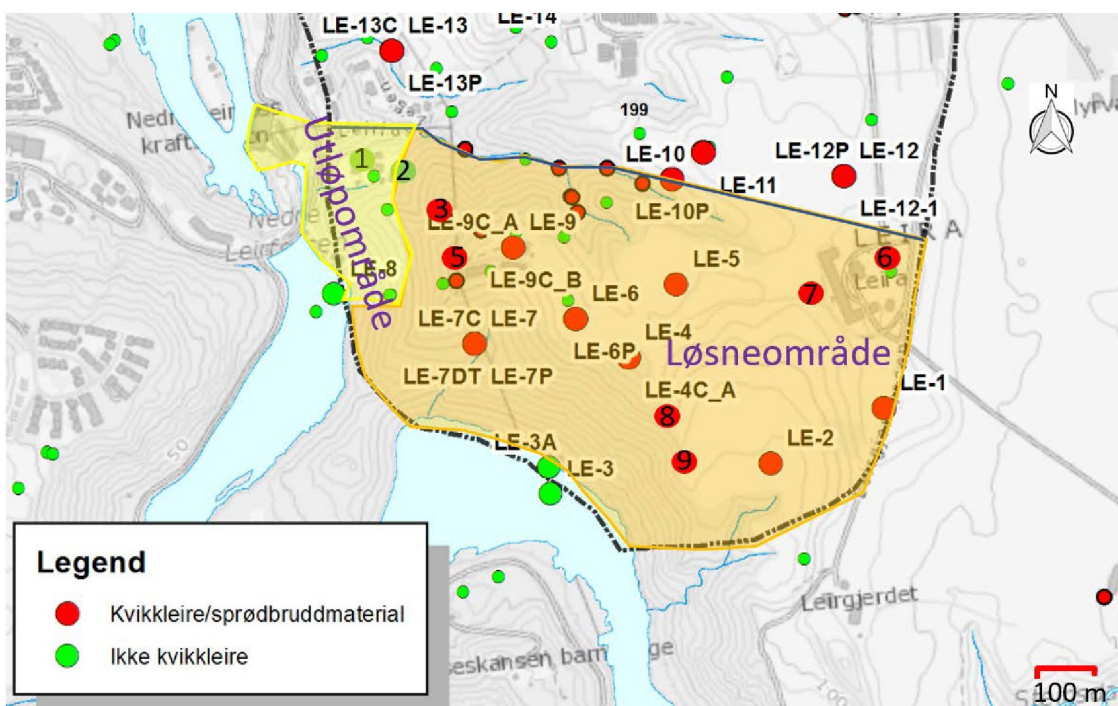
De totale poengsummene for scenario 1 og 2 er 19 og 20 henholdsvis. Det tilsier at L/H-verdien kan oppnå maksimal 15 for begge scenarioene. Avstanden fra foten av et initialskred i vest til grensen av gården i øst er minimum ca. 320 m (L-målt), mens den totale høydeforskjellen mellom foten av initialskredet og toppen av endelig skredkant er ca. mellom 30 og 40 m (H-målt). Dette gir en L/H-målt på ca. 8-11. Dette tilsier at det er reell fare for at et initialt skred i vest forplanter seg østover og når Leira gård.

Det poengteres at gården ligger på et nesten 30 m tykkelseslag av siltig leire over kvikkleirelaget. Dette siltige leirlaget er sammenhengende fra skråningskanten i vest til Leira gård. Om retrogresjon av kvikkleireskred oppstår er det sannsynlig at det øvre siltige leirelaget legger seg til ro foran skredgrop. Det gir støtte til bakkanten av skredet og kan redusere retrogresjonsdistanse, og dermed minsker sannsynlighet for at skredet når gården. Det vurderes derfor at risiko for at et initialskred forplanter seg helt til Leira gård er lav, men det kan ikke utelukkes.



Figur 5. Terrengmodell med skyggerelieff for kvikkleiresone 2164 Leira søndre. Beliggenhet for skredkantene kommer fra NGU-løsmassekart og fra observasjoner under befaring i 2015. Den viste sonegrensen er den opprinnelige, før oppdeling (Utklipp fra ref. [2], dato: 27.07.2020).

Basert på grunnundersøkelsene og vurderingen av løsne- og utløpsdistanser over, anbefales det å revidere grensene av løsne- og utløpsområdene til kvikkleiresone 2164 Leira søndre, som vist i Figur 6.



Figur 6. Anbefalte nye avgrensning av løsne- og utløpomsråder av kvikkleiresone 2164 Leira søndre

6 Konklusjoner

Det ble utført supplerende grunnundersøkelser i kvikkleiresone 2164 Leira søndre av Trondheim kommune i 2019. Grunnundersøkelsene og tidligere kvikkleireutredning i området tyder på at det er et tykt sammenhengende kvikkleirelag under platånivået i sonen. Kvikkleiren ligger ca. mellom 15 og 30 m under terreng. Mektighet av dette kvikkleirelaget kan være opp til 25 m. Over kvikkleiren er det siltig leire. I nordvestre del er det leire/silt under kvikkleiren, mens i sørøstre delen finnes det drenert leire, silt, sand, og steinmateriale.

Stabilitetsberegninger indikerer lav sikkert mot et initialt skred ned mot Nidelva og Nedre Leirfossen i de nordvestre og vestre delene av sonen. Sikkerhetsfaktorer for skrånningene ned mot Nidelva er beregningsmessig høyere i den sørvestre delen av sonen enn i de nordvestre og vestre delene.

Vurderingen av løsne- og utløpomsråder viser at boligene i nordvest kan tas ut av løsneområdet av sonen, men ligger innenfor utløpsområdet av skrånningene ned mot Nedre Leirfoss.

Risiko for at et initialt skred i vest forplanter seg østover og rammer Leira Gård i øst vurderes å være lav. Det er på grunn av at det tykke siltige leirlaget over kvikkleirelaget

kan legge seg til ro foran skredgrop ved retrogresjon og gir støtte til bakkanten av skredet. Likevel kan gården ikke tas ut av kvikkleiresonen basert på de forenklede metoder som er vanlige for slike vurderinger i dag.

7 Referanser

- [1] Multiconsult, Kvikkleiresone 199 Leira. Grunnundersøkelser, datarapport. 415644-RIG-RAP-001, 2013.
- [2] NGI, Kvikkleiresoner Trondheim - Leira. Dokument. nr. 20120099-03-R. Rev. 1. 19.06.2015, 2015.
- [3] Trondheim kommune, R1764 Leira søndre. Rev 0, 2020.
- [4] NVE-Jernbaneverket-SVV, Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred. NIFS 14-2016, 2016.
- [5] NVE, Kvikkleiresone Leira søndre - Møtereferrat. dato 29.01.2019. Saksnr: 201701769, 2019.
- [6] NVE, Veileder - Sikkerhet mot kvikkleireskred. 7-2014, 2014.



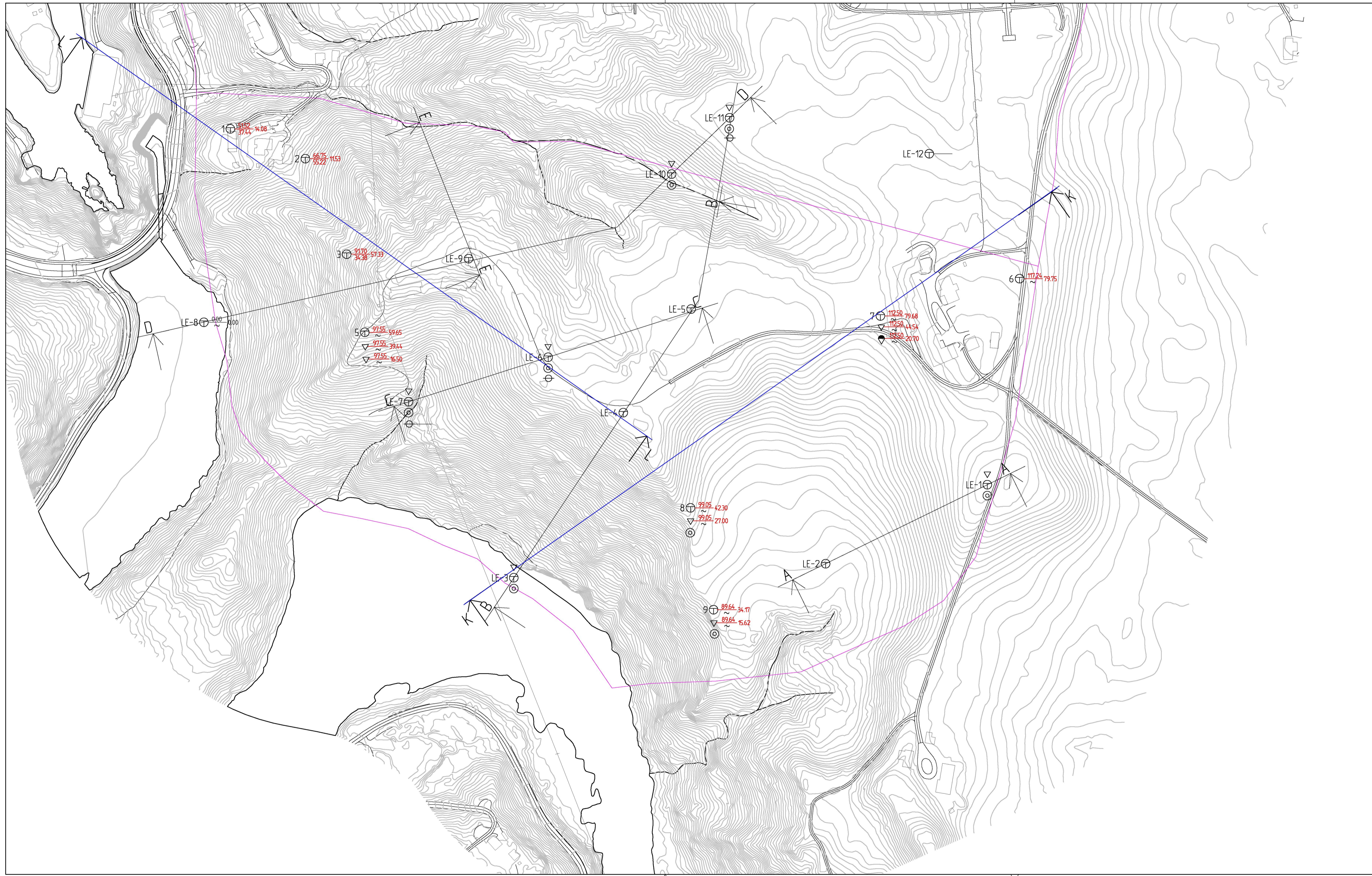
 Omriss

Kvikkleiresone 2164 Leira søndre
Oversiktskart

| | | | |
|------------------------------|---------|------------------------|----------|
| Dato | Utført | Kontrollert | Godkjent |
| 28.07.2020 | TLe | VG | TLe |
| Original format og målestokk | | Kartprojeksjon | |
| A4 1:50 000 | | ETRS 1989 UTM Zone 32N | |
| Prosjektnr. | Kartnr. | Rev. | |
| 20190224 | 001 | 0 | |

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
 Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
 Sognsveien 72
 Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
 www.ngi.no





FORKLARINGER:

- Dreiesondering
- Enkel sondering
- ▽ Trykksondering
- ☆ Fjellkontrollboring
- ◆ Dreietrykksondering
- ⊕ Totalsondering
- ⊙ Prøveserie
- Prøvegrop
- ⊕ Vingeboring
- ⊖ Poretrykksmåling
- ^^ Fjell i dagen

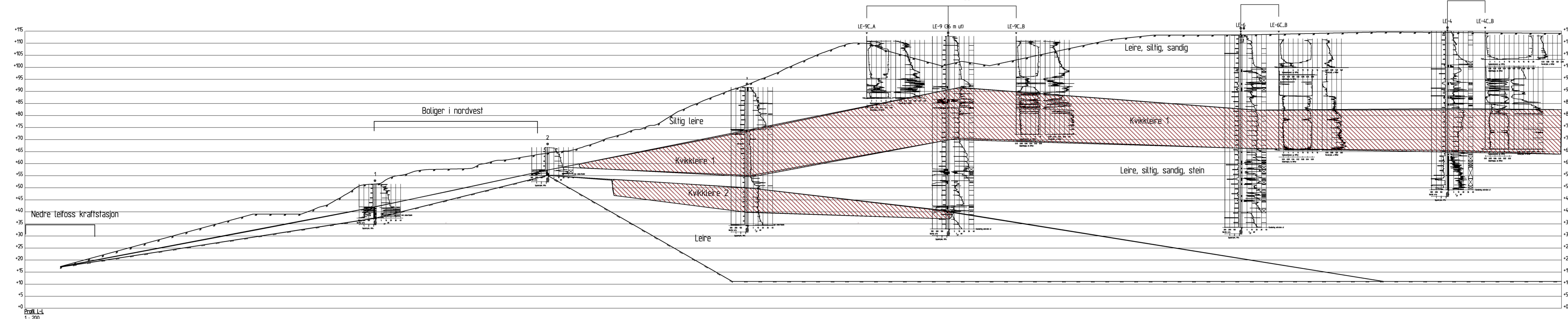
- Ekisterende soneregrenser
- Nye profiler

HENVISNINGER:

Borepunkter med prefix LE- er fra ref [1]
 [1] 415655-RIG-RAP-001 Kvikkleiresone 199 Leira - Grunnundersøkelser datarapport

| | | |
|---------------------|-------------|------|
| Tegningsittel: | Tegningsnr: | Rev: |
| Borplan og profiler | 010 | 0 |

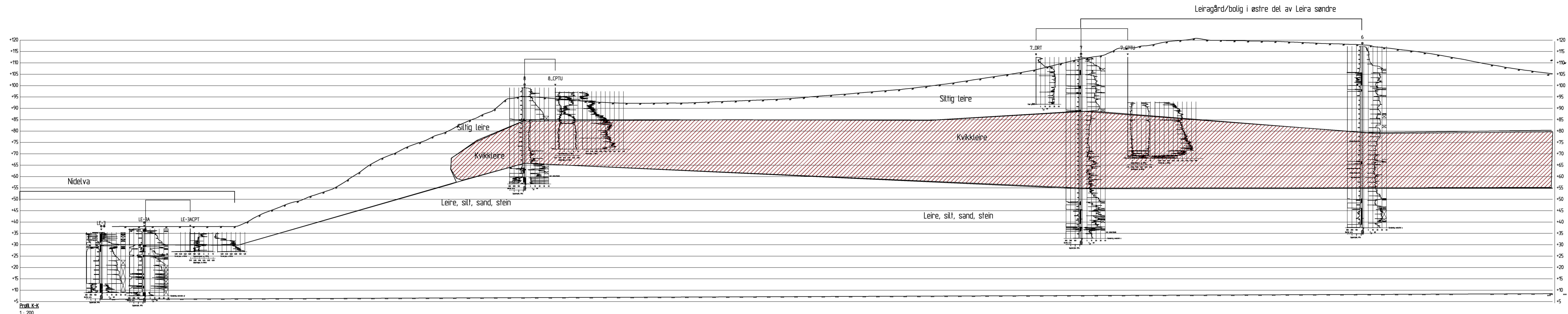
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------------|-----------------|--------------|-----------|------------|-----|----|-----|-------------|-------------|------|--|----------|-----|---|--|
| <p>KVIKKLEIRESONE 2164 - LEIRA SØNDRE Kvikkleireutretning</p> <p>Borplan og profiler Supplerende grunnundersøkelser i 2019 (uten prefix LE) Tidligere grunnundersøkelser (med prefix LE) Nye profiler L og K vist i blå</p> | <p>Status: —</p> <p>Original format: A-21</p> <p>Tegningsnr. filnavn: 010 Borplan Leira med supplerende dwg</p> <p>Målestokk: 12000</p> <p>NGI</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Date:</td> <td style="width: 25%;">Konstr./Tegnet:</td> <td style="width: 25%;">Kontrollert:</td> <td style="width: 25%;">Godkjent:</td> </tr> <tr> <td>24.07.2020</td> <td>TLe</td> <td>VG</td> <td>TLe</td> </tr> <tr> <td>Oppdragsnr:</td> <td>Tegningsnr:</td> <td>Rev:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20190224</td> <td>010</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </table> | Date: | Konstr./Tegnet: | Kontrollert: | Godkjent: | 24.07.2020 | TLe | VG | TLe | Oppdragsnr: | Tegningsnr: | Rev: | | 20190224 | 010 | 0 | |
| Date: | Konstr./Tegnet: | Kontrollert: | Godkjent: | | | | | | | | | | | | | | |
| 24.07.2020 | TLe | VG | TLe | | | | | | | | | | | | | | |
| Oppdragsnr: | Tegningsnr: | Rev: | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20190224 | 010 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |



- FORKLARINGER:**
- Dreiesonering
 - Enkel sonering
 - ▽ Trykksonering
 - ⊛ Fjellkontrollboring
 - ⊙ Dreietrykksonering
 - ⊕ Totalsonering
 - Prøvegrøp
 - + Vingeboring
 - ⊖ Poretrykksmåling
 - ⊗ Fjell i dagen
- Boring avsluttet
- Antatt fjell, berg
- Antatt fjellforløp
- Antatt stein, blokk eller fast grunn
- Boret i fjell

| | | |
|----------------|------------|------|
| Tegningsstilt: | Tegningnr: | Rev: |
| Profil L | 100 | 0 |

| | | | | | |
|---|-------------|--|---|--------------------------------------|---|
| Rev | Beskrivelse | Dato | Tegn | Kontroll | Godkj |
| | | | | | |
| KVIKKLEIRESONE 2164 - LEIRA SØNDRE Kvikkleireutretning | | | | | Status Original format A2.0 (A20x1189) Tegningens tittel 100 Profil L-L med borepunkter rev1.dwg Skala 1750 |
| Profil L Borepunkter utført i 2019 (uten prefix LE) Borepunkter utført tidligere (med prefix LE) | | | | | |
| 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 24.07.2020 Oppdragnr. 20190224 | Prosjekt / Tegnet TLe Tegningnr. 100 | Kontrollert VG Rev TLe 0 | Godkjent TLe 0 |

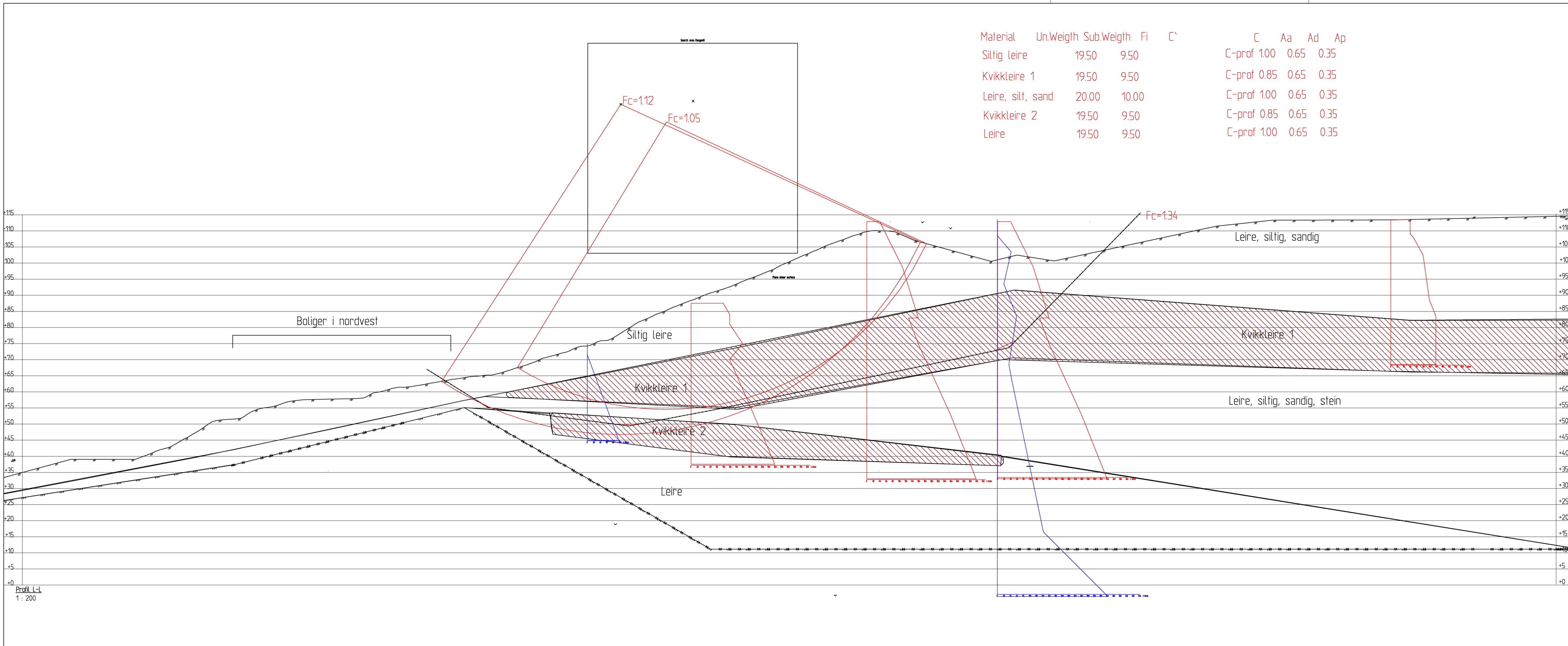


FORKLARINGER:

- Dreiesonering
- Enkel sonering
- ▽ Trykksonering
- ⊗ Fjellkontrollboring
- ⊖ Dreietrykksonering
- ⊕ Totalsonering
- ⊙ Prøveserie
- Prøvegrop
- + Vingeboring
- ⊖ Poretrykksmåling
- ⊗ Fjell i dagen
- ┆ Boring avsluttet
- ┆ Antatt fjell, berg
- ┆ Antatt stein, blokk eller fast grunn
- ┆ Boret i fjell
- ┆ Antatt fjellforløp

| | | |
|------------------------------------|---------------------------|------------------|
| Tegningsstadiet Profil K | Tegningsnr. 101 | Rev. 0 |
|------------------------------------|---------------------------|------------------|

| | |
|---|--|
| | |
| Rev. Beskrivelse KVIKKLEIRESONE 2164 - LEIRA SØNDRE Kvikkleireutretning Profil K Borepunkter utført i 2019 (uten prefix LE) Borepunkter utført tidligere (med prefix LE) | Status Original format A2.0 (A20x1189) Tegningens tittel 101 Profil K-K med borepunkter_rev1.dwg Skala 1:750 |
| 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 24.07.2020 Oppdragnr. 20190224 Prosjekt / Tegnet TLe Tegningsnr. 101 Korrigert VG Godkjent TLe Rev. 0 |



| Material | Un.Weigth | Sub.Weigth | Fi | C' | C | Aa | Ad | Ap |
|-------------------|-----------|------------|----|----|-------------|------|------|----|
| Siltig leire | 19.50 | 9.50 | | | C-prof 1.00 | 0.65 | 0.35 | |
| Kvikkleire 1 | 19.50 | 9.50 | | | C-prof 0.85 | 0.65 | 0.35 | |
| Leire, silt, sand | 20.00 | 10.00 | | | C-prof 1.00 | 0.65 | 0.35 | |
| Kvikkleire 2 | 19.50 | 9.50 | | | C-prof 0.85 | 0.65 | 0.35 | |
| Leire | 19.50 | 9.50 | | | C-prof 1.00 | 0.65 | 0.35 | |

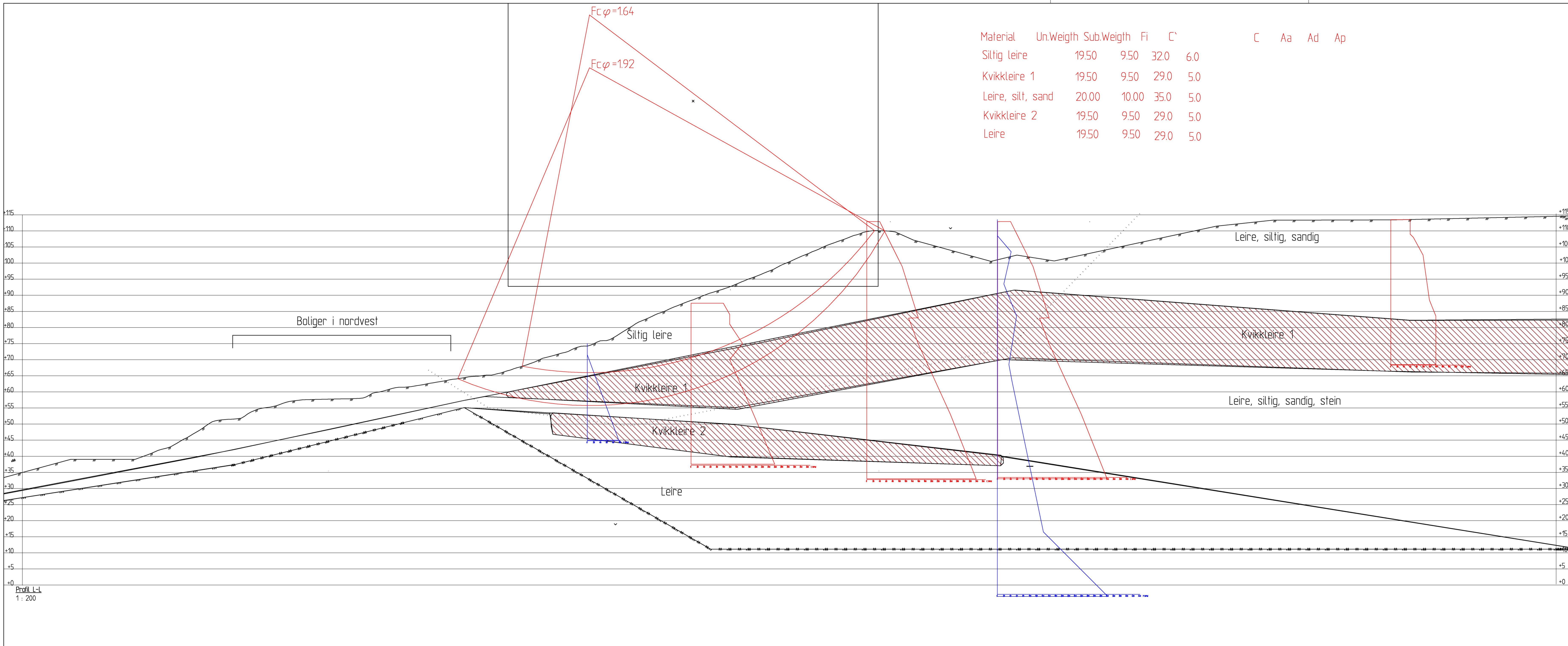
FORKLARINGER:

- Dreiesonering
- Enkel sonering
- ▽ Trykksonering
- ┆ Boring avsluttet
- ┆ Antatt fjell, berg
- ┆ Antatt fjellforløp
- ☆ Fjellkontrollboring
- Dreietrykksonering
- ⊕ Totalsonering
- ┆ Antatt stein, blokk eller fast grunn
- ┆ Boret i fjell
- ⊙ Prøveserie
- Prøvegrop
- + Vingeboring
- ⊖ Poretrykksmåling
- ⋈ Fjell i dagen

| | | |
|----------------|----------|------|
| Tegningsstilt: | Tegning: | Rev: |
| Profil L | 200 | 0 |

| | | | | | |
|---|-------------|------------|-----------------|-------------|----------|
| Rev | Beskrivelse | Dato | Tegn | Kontr | Godkj |
| | | | | | |
| KVIKKLEIRESONE 2164 - LEIRA SØNDRE Kvikkleireutretning Stabilitetsberegninger - Profil L Udrenert tilstand Eksisterende situasjon | | | | | |
| 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 |
| | | 24.07.2020 | TLe | VG | TLe |
| | | Oppdrag: | Tegning: | Rev: | |
| | | 20190224 | 200 | | 0 |

Profil L-L
1 : 200

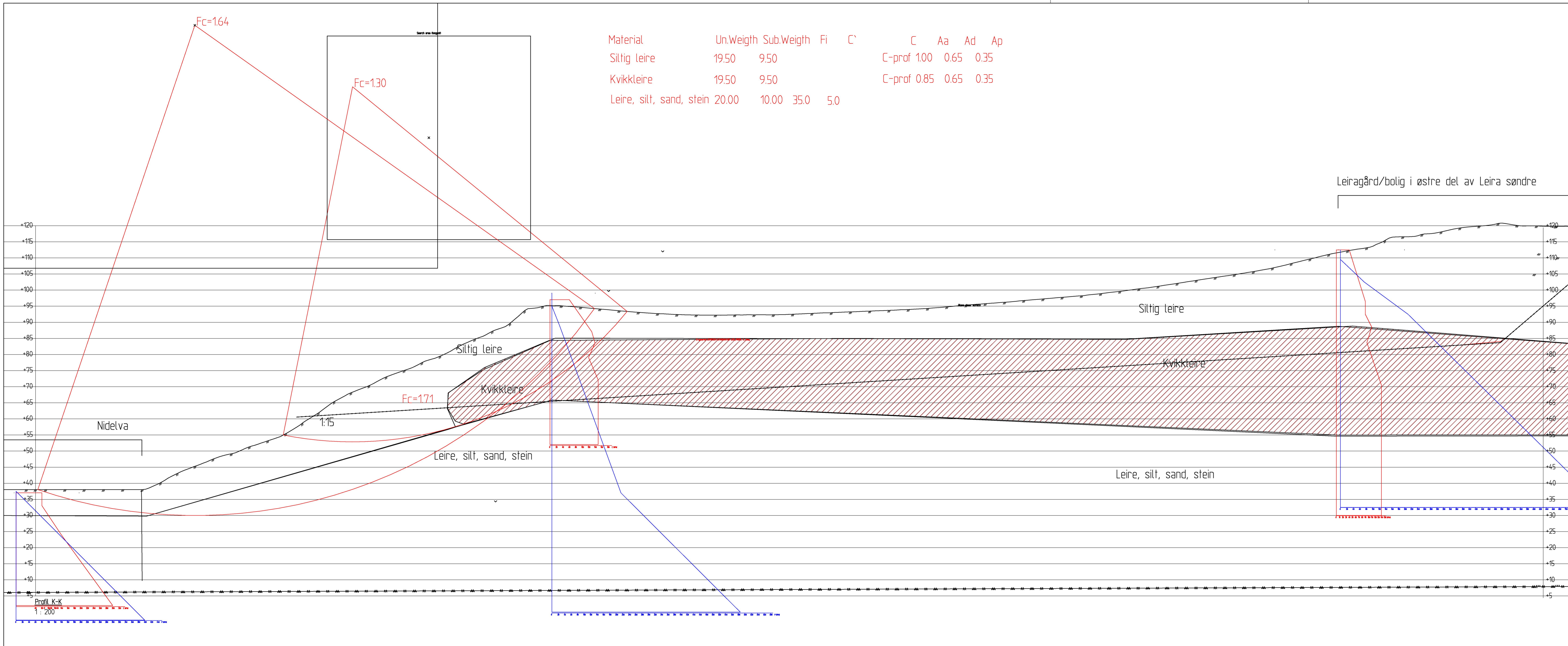


| Material | Un.Weigh | Sub.Weigh | Fi | C' | C | Aa | Ad | Ap |
|-------------------|----------|-----------|------|-----|---|----|----|----|
| Siltig leire | 19.50 | 9.50 | 32.0 | 6.0 | | | | |
| Kvikkleire 1 | 19.50 | 9.50 | 29.0 | 5.0 | | | | |
| Leire, silt, sand | 20.00 | 10.00 | 35.0 | 5.0 | | | | |
| Kvikkleire 2 | 19.50 | 9.50 | 29.0 | 5.0 | | | | |
| Leire | 19.50 | 9.50 | 29.0 | 5.0 | | | | |

- FORKLARINGER:**
- Dreiesonering
 - Enkel sonering
 - ▽ Trykksonering
 - ⊗ Fjellkontrollboring
 - ⊖ Dreietrykksonering
 - ⊕ Totalsonering
 - ⊙ Prøveserie
 - Prøvegrep
 - + Vingeboring
 - ⊖ Poretrykksmåling
 - ⊗ Fjell i dagen
- | Boring avsluttet
 | Antatt fjell, berg
 | Antatt fjellforløp
- | Antatt stein, blokk eller fast grunn
 | Boret i fjell

| | | |
|----------------|----------|------|
| Tegningsstilt: | Tegning: | Rev: |
| Profil L | 201 | 0 |

| | | | | | |
|---|--------------|---|--|-----------------------------------|---|
| Rev: | Beskrivelse: | Dato: | Tegn: | Kontr: | Godkj: |
| | | | | | |
| KVIKKLEIRESONE 2164 - LEIRA SØNDRE Kvikkleireutretning | | | | | Status: Original format A2.0 (A20x1189) Tegningens tittel: 201_Profil_L_dreer1.dwg Filstørrelse: 1500 |
| Stabilitetsberegninger - Profil L Dreneret tilstand Eksisterende situasjon | | | | | |
| 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: 24.07.2020 Oppdragnr: 20190224 | Prosjekt / Tegnet: TLe Tegningnr: 201 | Kontrollert: VG Rev: TLe | Godkjent: TLe Rev: 0 |



| Tegningsstadi | Tegningsnr | Rev |
|---------------|------------|-----|
| Profil K | 202 | 0 |

| Rev | Beskrivelse | Dato | Tegn | Kontroll | Godkj |
|-----|-------------|------|------|----------|-------|
| | | | | | |

KVIKKLEIRESONE 2164 - LEIRA SØNDRE
Kvikkleireutretning

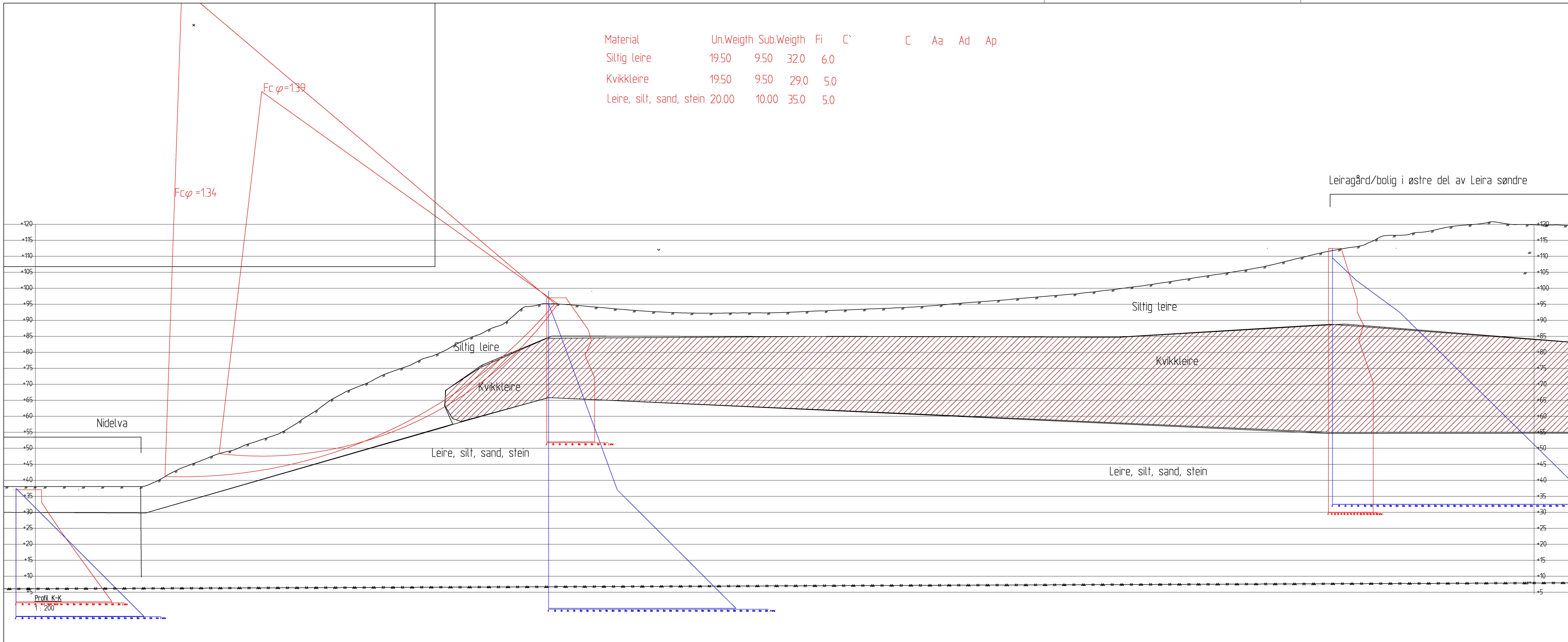
Profil K
 Borepunkter utført i 2019 (uten prefix LE)
 Borepunkter utført tidligere (med prefix LE)

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

Date: 24.07.2020
 Prosjekt: TLe
 Tegningsnr: 20190224
 Tegningsnr: 202
 Rev: 0

Status: Original format
 A2.0 (A20x1189)
 Tegningsnr: (navn)
 202_Profil_K_udrener1.dwg
 Skala: 1500

NGI

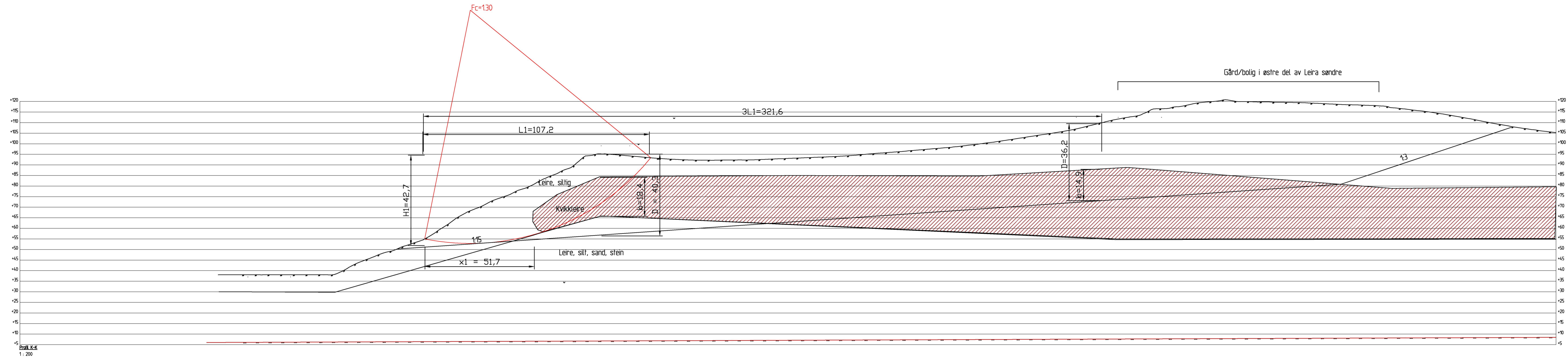


| Material | Un.Weigth | Sub.Weigth | Fi | C` | C | Aa | Ad | Ap |
|--------------------------|-----------|------------|------|-----|---|----|----|----|
| Siltig leire | 19.50 | 9.50 | 32.0 | 6.0 | | | | |
| Kvikkleire | 19.50 | 9.50 | 29.0 | 5.0 | | | | |
| Leire, silt, sand, stein | 20.00 | 10.00 | 35.0 | 5.0 | | | | |

- FORKLARINGER:**
- Dreiesondring
 - Enkel sondring
 - ▽ Trykksondring
 - ⊗ Fjellkontrollboring
 - ⊖ Dreietrykksondring
 - ⊕ Totalsondring
 - ⊙ Prøveserie
 - Prøvegrop
 - + Vingeboring
 - ⊖ Poretrykksmåling
 - ⊗ Fjell i dagen
- | Boring avsluttet
 | Antatt fjell, berg
 | Antatt fjell, berg
 | Antatt fjellforløp
- | Antatt stein, blokk eller fast grunn
 | Boret i fjell

| | | |
|---------------|------------|-----|
| Tegningsstadi | Tegningsnr | Rev |
| Profil K | 203 | 0 |

| | | | | | |
|---|-------------|--------------------|--------------------------|-------------------|-----------------|
| Rev | Beskrivelse | Dato | Tegn | Kont | Godk |
| | | | | | |
| KVIKKLEIRESONE 2164 - LEIRA SØNDRE Kvikkleireutretning | | | | | |
| Status Original format A2.0 (A20x1189) Tegningsnr (navn) 203 Profil K_dreneret.dwg Skala 1500 | | | | | |
| Stabilitetsberegning - Profil K Dreneret tilstand Eksisterende situasjon | | | | | |
| 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 24.07.2020 | Prosjekt / Tegnet TLe | Kontrollert VG | Godkjent TLe |
| Oppdragnr 20190224 | | Tegningsnr 203 | Rev 0 | | 0 |



Profil K-K
1:200

FORKLARINGER:

- Dreiesonering
- Enkel sonering
- ▽ Trykksonering
- ⊗ Fjellkontrollboring
- ⊙ Dreietrykksonering
- ⊕ Totalsonering
- ⊙ Prøveserie
- Prøvegrop
- + Vingeboring
- ⊖ Poretrykksmåling
- ⊗ Fjell i dagen
- || Boring avsluttet
- || Antatt fjell, berg
- || Antatt stein, blokk eller fast grunn
- || Boret i fjell
- Antatt fjellforløp

| | | |
|-----------------|-------------|------|
| Tegningsstadiet | Tegningsnr. | Rev. |
|-----------------|-------------|------|

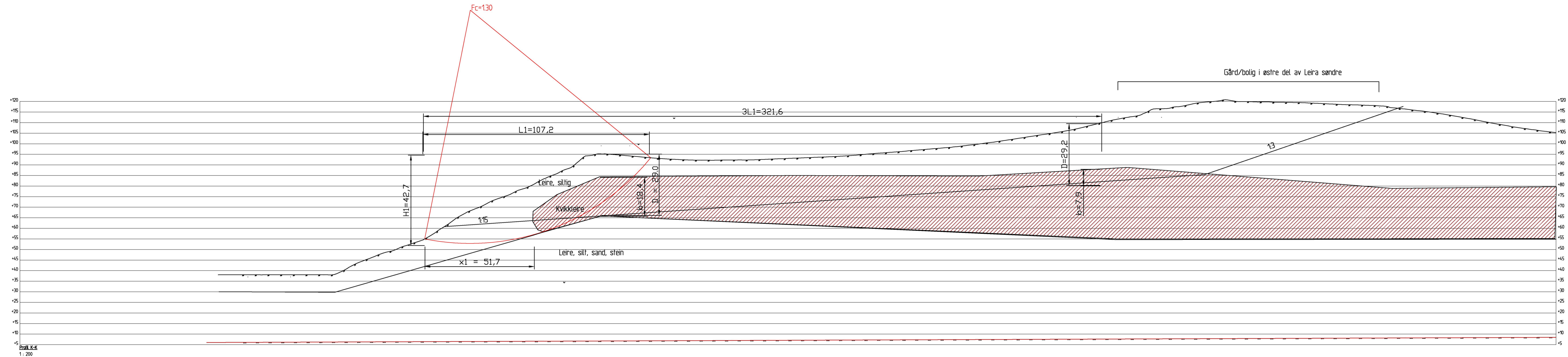
| | | | | | |
|------|-------------|------|-------|-----------|--------|
| Rev. | Beskrivelse | Dato | Tegn. | Kontroll. | Godkj. |
|------|-------------|------|-------|-----------|--------|

KVIKKLEIRESONE 2164 - LEIRA SØNDRE
Kvikkleireutretning
 Profil K-K - Scenario 1
 Faktorer for vurdering av løseområde
 Etter NIFS rapport 14-2016

| | | | | |
|---|--------------------|--------------------------|----------------------------|------------------|
| 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 27.07.2020 | Prosjekt / Tegnet T1e | Kontrollert Tegningsnr. | Godkjent Rev. |
|---|--------------------|--------------------------|----------------------------|------------------|

20190224 300 0





FORKLARINGER:

- Dreiesonering
- Enkel sonering
- ▽ Trykksonering
- ⊗ Fjellkontrollboring
- ⊖ Dreietrykksonering
- ⊕ Totalsonering
- ⊙ Prøveserie
- Prøvegrop
- + Vingeboring
- ⊖ Poretrykksmåling
- ⊗ Fjell i dagen
- || Boring avsluttet
- || Antatt fjell, berg
- || Antatt stein, blokk eller fast grunn
- || Boret i fjell
- Antatt fjellforløp

| | | |
|-----------------|-------------|------|
| Tegningsstadiet | Tegningsnr. | Rev. |
|-----------------|-------------|------|

| | | | | | |
|------|-------------|------|-------|--------|-------|
| Rev. | Beskrivelse | Dato | Tegn. | Kontr. | Godk. |
|------|-------------|------|-------|--------|-------|

KVIKKLEIRESONE 2164 - LEIRA SØNDRE
Kvikkleireutretning

Profil K-K - Scenario 2
 Faktorer for vurdering av løseområde
 Etter NIFS rapport 14-2016

1800

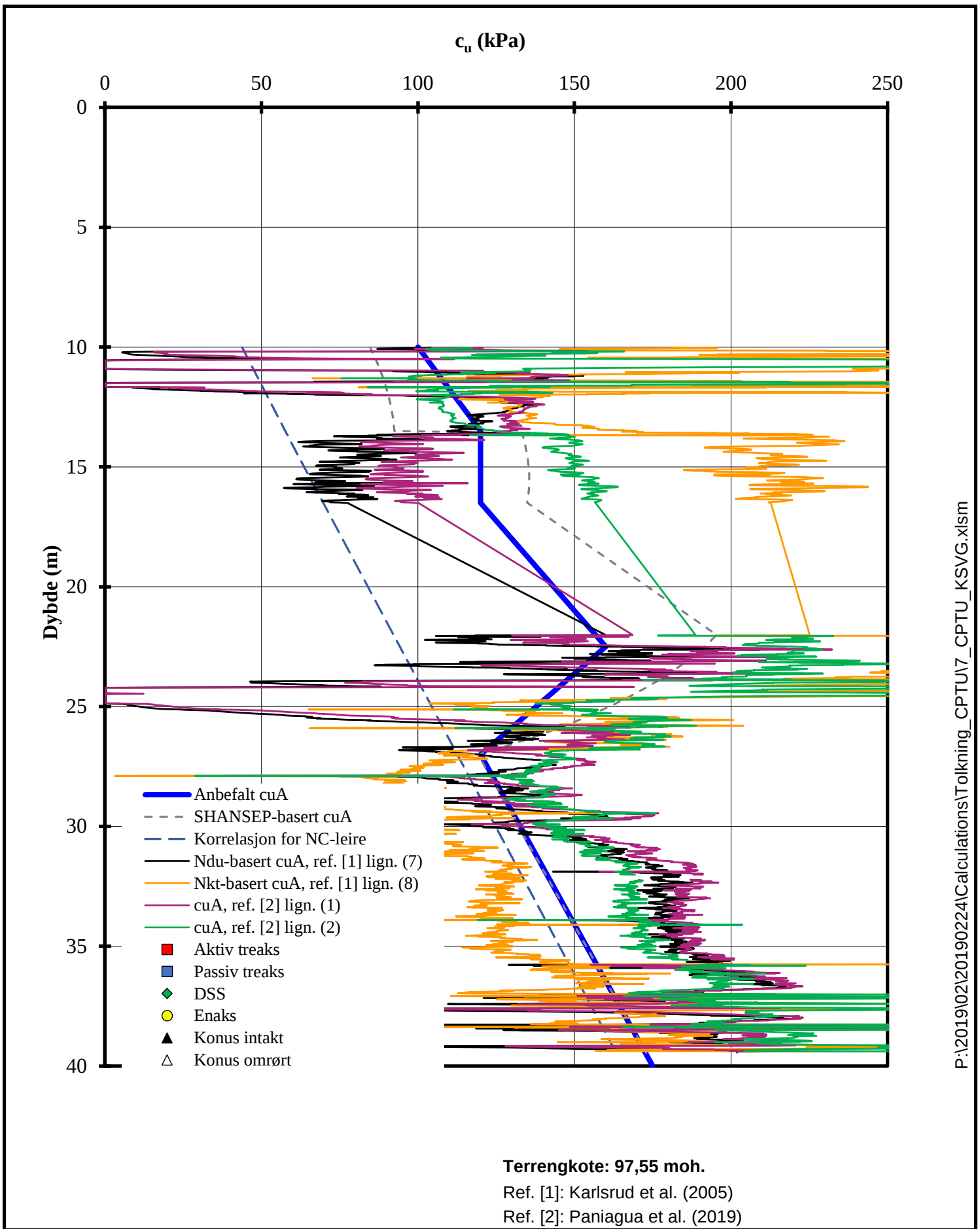
| | | | | | |
|---|--------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|-----------|
| NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no | Dato 27.07.2020 | Prosjekt / Tegnet T1e | Kontrollert T1e | Godkjent T1e | Rev. 0 |
|---|--------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|-----------|

Vedlegg A

TOLKNING AV CPTU


Innhold

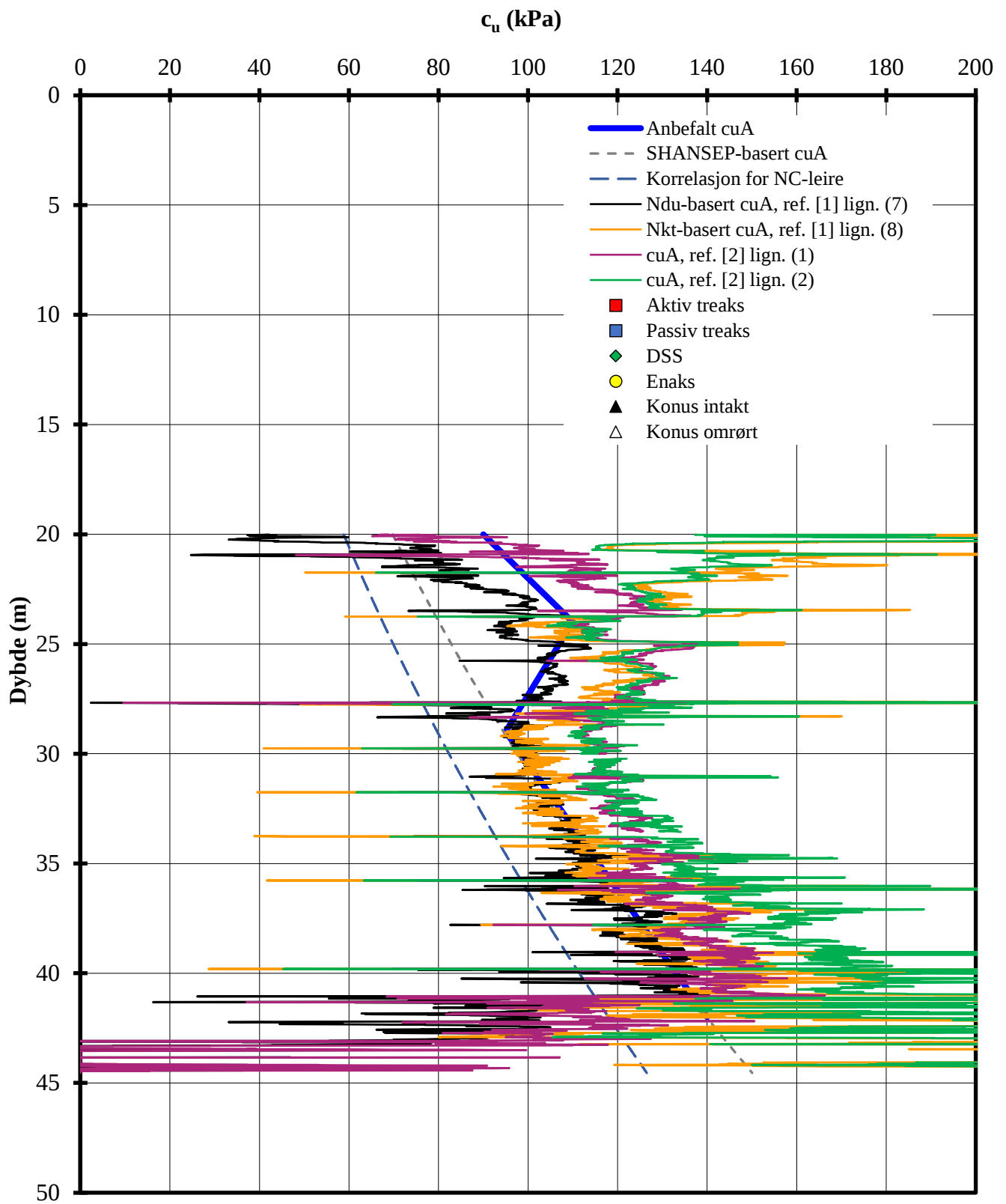
- A1 Tolkning av CPTU-ene fra 2019 (Figur A1.1-A1.4)
- A2 Tidligere tolkning av CPTU-ene fra kvikkleireutredningen 2012-2015



P:\2019\02\20190224\Calculations\Tolkning_CPTU7_CPTU7_KSVG.xlsm

Terrengkote: 97,55 moh.
 Ref. [1]: Karlsrud et al. (2005)
 Ref. [2]: Paniagua et al. (2019)


| | | |
|--|-------------|---|
| Kvikkleiresone 2164 - Leira søndre | Rapport nr. | Figur nr. |
| | 20190224 | A1.1 |
| Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering, SHANSEP og labforsøk Borhull 5_CPTU | Tegner | Dato |
| | TLe | 20.07.2020 |
| | Kontrollert |  |
| Godkjent | | |
| | TLe | |

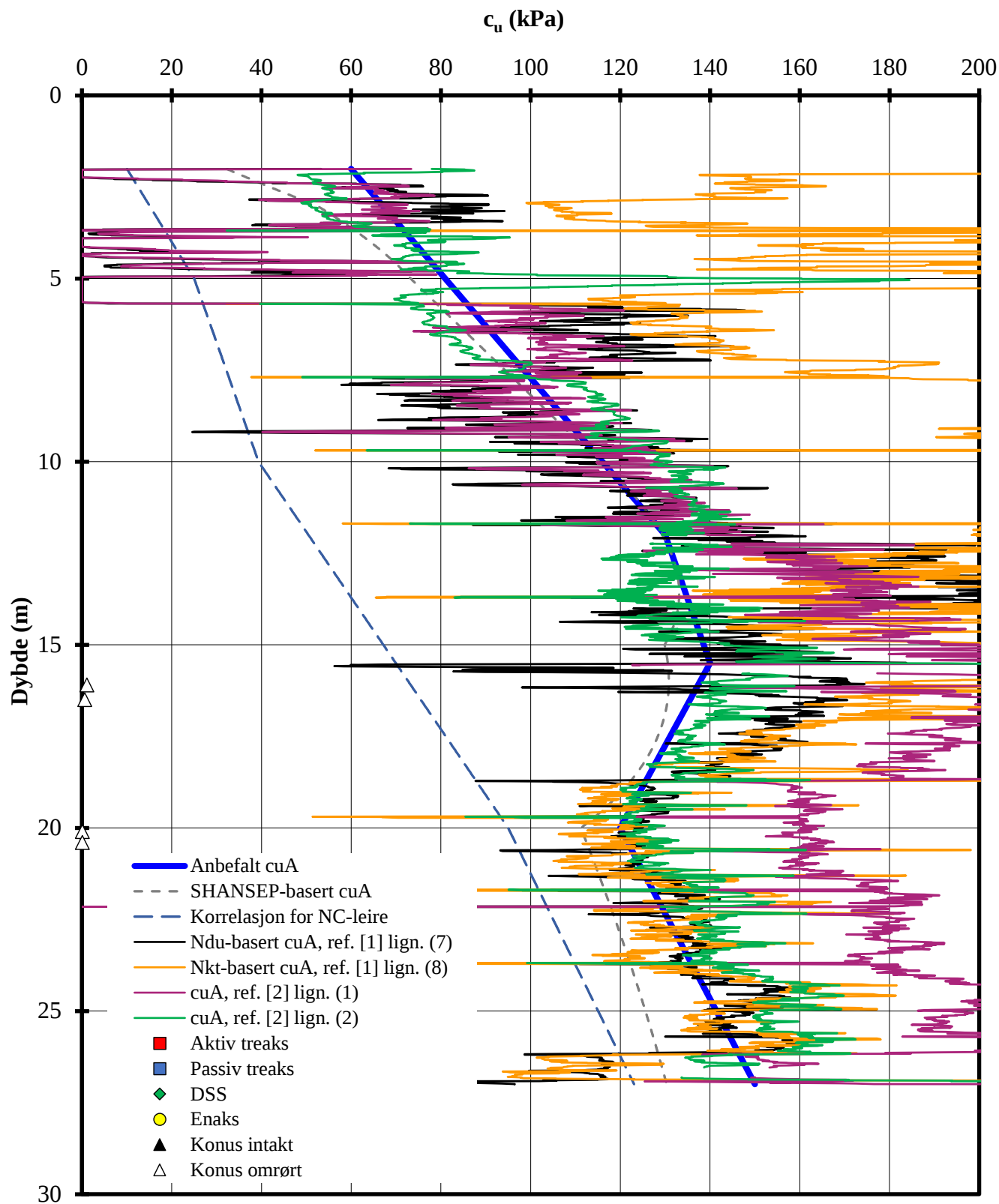


Terrengkote: 112,496 moh.

Ref. [1]: Karlsrud et al. (2005)

Ref. [2]: Paniagua et al. (2019)

| | | |
|--|-------------------|---|
| Kvikkleiresone 2164 - Leira søndre | Rapport nr. | Figur nr. |
| | 20190224 | A1.2 |
| Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering, SHANSEP og labforsøk Borhull 7_CPTU | Tegner | Dato |
| | Tle | 17.06.2020 |
| | Kontrollert VG |  |
| Godkjent TLe | | |

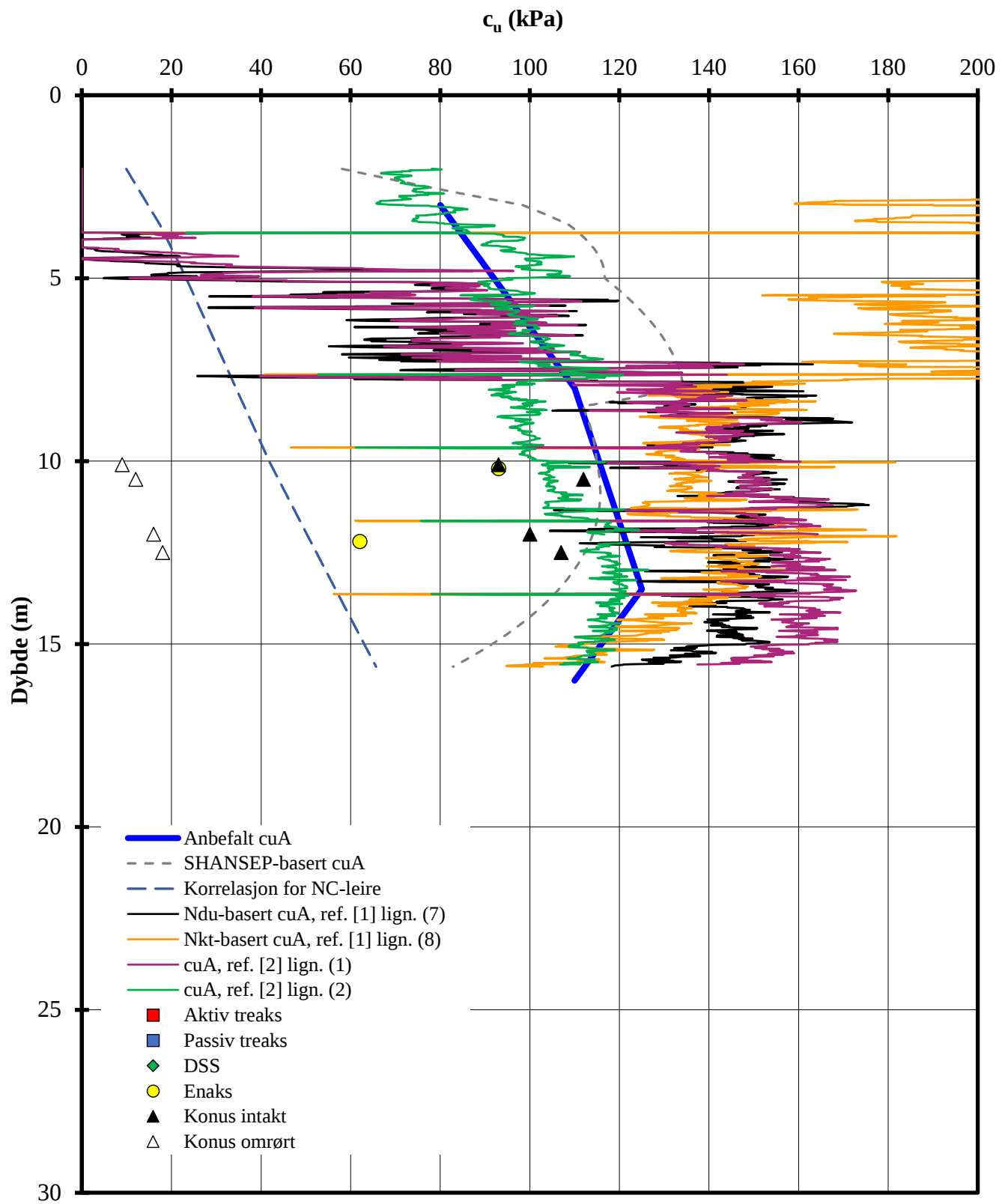


Terrengkote: 99,05 moh.

Ref. [1]: Karlsrud et al. (2005)

Ref. [2]: Paniagua et al. (2019)

| | | |
|--|-------------------|------------|
| Kvikkleiresone 2164 - Leira søndre | Rapport nr. | Figur nr. |
| | 20190224 | A1.3 |
| Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering, SHANSEP og labforsøk Borhull 8_CPTU | Tegner | Dato |
| | TLe | 17.06.2020 |
| | Kontrollert VG | |
| Godkjent TLe | | |



Terrengkote: 89,64 moh.

Ref. [1]: Karlsrud et al. (2005)

Ref. [2]: Paniagua et al. (2019)

| | | |
|--|-------------------|------------|
| Kvikkleiresone 2164 - Leira søndre | Rapport nr. | Figur nr. |
| | 20190224 | A1.4 |
| Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering, SHANSEP og labforsøk Borhull 9_CPTU | Tegner | Dato |
| | Tle | 17.06.2020 |
| | Kontrollert VG | |
| Godkjent TLe | | |

Vedlegg A2 - Tolkning av CPTU-sonderinger fra utredningsrapport 20120099-03-R

Innhold

Det er utført 12 CPTU-sonderinger. Nedenstående tabell gjengir et anslag på kvaliteten av sonderingene som fremkommer av nullpunktsavlesningen. Alle sonderingene havner i anvendelsesklasse 1.

Tabell E1: Nullpunktavlesninger og anvendelsesklasser, ref. (1).

| Borepunkt | Spissmotstand [kPa] | Sidefriksjon [kPa] | Poretrykk [kPa] | Maks. helning (°) | Anvendelsesklasse |
|-----------|---------------------|--------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Le-1 | 8,68 | 1,22 | 0,43 | 2,7 | 1 |
| Le-3 | 17,15 | 0,57 | 1,07 | 3,3 | 1 |
| Le-4 | 16,17 | 0,81 | 0,95 | 7,9 | 1 |
| Le-6 | 21,94 | 0,2 | 0,77 | 3,9 | 1 |
| Le-7 | 13,17 | 0,44 | 3,66 | 0,9 | 1 |
| Le-9 | 0,7 | 1,03 | 0,13 | 3,7 | 1 |
| Le-11 | 13,97 | 0,32 | 0,85 | 2,1 | 1 |
| Le-13 | 2,03 | 0,31 | 1,13 | 1,3 | 1 |
| Le-14 | 7,33 | 0,82 | 3,98 | 2,3 | 1 |
| Le-16 | 9,31 | 0,33 | 6,24 | 3,1 | 1 |
| Le-17 | 5,37 | 0,61 | 0,42 | 2,0 | 1 |
| Le-25 | 2,5 | 0,32 | 1,74 | 4,6 | 1 |

CPTU-sonderingene fra de supplerende grunnundersøkelsene, ref. (1), er benyttet for tolkning av udrenert skjærstyrke iht. ref. (2) med forutsetninger gitt i Tabell E2.

Tabell E2 Forutsetninger for tolkning av CPTU-sonderinger.

| $N_{\Delta u}$ – korrelasjon (poretrykksbasert): $s_u^A = (u_2 - u_0) / N_{\Delta u}$ | | | | | | | | | |
|--|----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|-----------|---------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| N_{kt} – korrelasjon (spissmotstandsbasert): $s_u^A = (q_t - \sigma_{v0}') / N_{kt}$ | | | | | | | | | |
| Borpkt | Romvekt | Poretrykk | OCR (p_c' / p_0') | I _p | St>15 | N _{Δu} | | N _{kt} | |
| | | | | | | St>15 | St<15 | St>15 | St<15 |
| Le-1 | Fra lokal prøveserie | Fra lokal poretrykksmåling | | Fra lokal prøveserie | | 9.8 – 4.5 x log OCR | 6.9-4xlogOCR+0.07xI _p | 8.5+2.5xlogOCR | 7.8+2.5xlogOCR+0.082xI _p |
| Le-3 | | | 2,0-1,2 (d=5-15m) | | 0-15 m | | | | |
| Le-4 | | | 2,2-1,0 (d=10-45m) | | - | | | | |
| Le-6 | | | 2,0-1,0 (d=10-45m) | | - | | | | |
| Le-7 | | | 5,0-2,5 (d=5-15m) | | - | | | | |
| Le-9 | | | 2,4-1,1 (d=5-35m) | | 22-35 m | | | | |
| Le-11 | | | 2,5-2,1 (d=4-16m) | | 9,6-11,6m | | | | |
| Le-13 | | | 10,0-2,9 (d=5-20m) | | 6,5-13,5m | | | | |
| Le-14 | | | 6,0-1,3 (d=5-25m) | | 5-40 m | | | | |
| Le-16 | | | 2,4-1,1 (d=10-60m) | | 5-65 m | | | | |
| Le-17 | | | 6-1,1 (d=5-40m) | | 15-31,5 m | | | | |
| Le-25 | | | 2,6-1 (d=5-40m) | | 18-45 m | | | | |

Udrenert aktivt skjærstyrkeprofil som er benyttet i stabilitetsberegningene fremgår som «anbefalt su» - grønn linje i etterfølgende figurer. Blå linje vist på skjærstyrkeprofilene angir SHANSEP-beregnet skjærstyrke ved de aktuelle CPTU-sonderingene. I borepunktene hvor det samtidig er tatt opp en prøveserie og utført laboratoriearbeid fremgår også disse resultatene på de etterfølgende plottene.

Tolket OCR-profil vises for hvert borepunkt. Den tykke blå linjen viser tolket trend for OCR-profilet. Basert på trendlinjen beregnes faktorene N_{Δu} og N_{kt}. Den tynne blå linjen angir OCR-profil i henhold til antatt tidligere havbunnsnivå som beskrevet i rapportteksten og presentert i Tabell E3. Etter dette profilet er SHANSEP-basert skjærstyrke beregnet.

Tabell E3: Antatt tidligere havbunnsnivå ved CPTU lokalitetene.

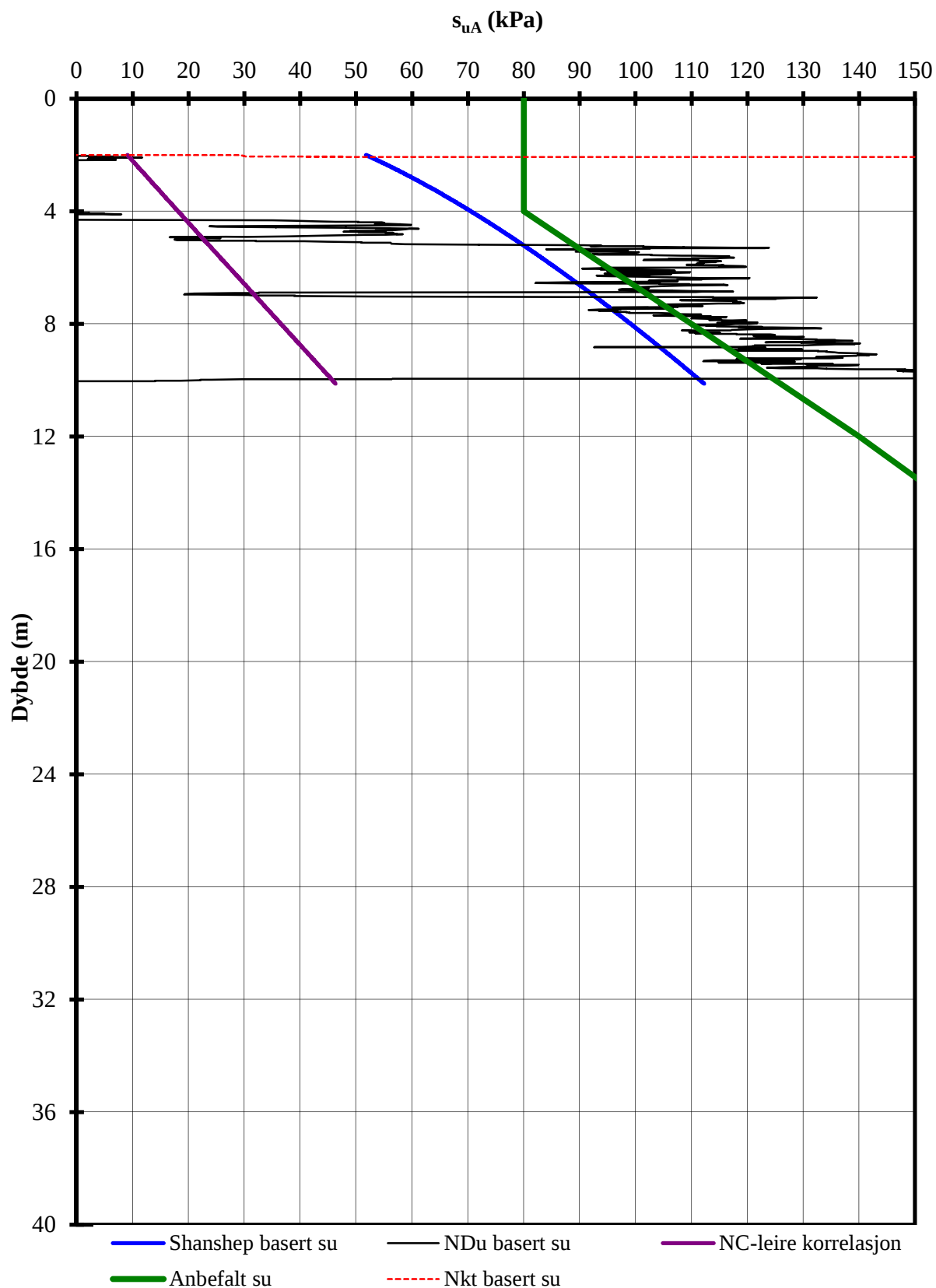
| CPTU | Antatt tidligere havbunnsnivå (kote) |
|-------|--------------------------------------|
| Le-1 | 125 |
| Le-3 | 110 |
| Le-4 | 125 |
| Le-6 | 125 |
| Le-7 | 114 |
| Le-9 | 125 |
| Le-11 | 125 |
| Le-13 | 100 |
| Le-14 | 120 |
| Le-16 | 100 |
| Le-17 | 105 |
| Le-25 | 95 |

Figurliste

| | |
|-----------|------------------------------|
| Figur E1 | Borhull Le-1 s_u -profil |
| Figur E2 | Borhull Le-1, OCR-profil |
| Figur E3 | Borhull Le-3, s_u -profil |
| Figur E4 | Borhull Le-3, OCR-profil |
| Figur E5 | Borhull Le-4, s_u -profil |
| Figur E6 | Borhull Le-4, OCR-profil |
| Figur E7 | Borhull Le-6, s_u -profil |
| Figur E8 | Borhull Le-6, OCR-profil |
| Figur E9 | Borhull Le-7, s_u -profil |
| Figur E10 | Borhull Le-7, OCR-profil |
| Figur E11 | Borhull Le-9, s_u -profil |
| Figur E12 | Borhull Le-9, OCR-profil |
| Figur E13 | Borhull Le-11, s_u -profil |
| Figur E14 | Borhull Le-11, OCR-profil |
| Figur E15 | Borhull Le-13, s_u -profil |
| Figur E16 | Borhull Le-13, OCR-profil |
| Figur E17 | Borhull Le-14 s_u -profil |
| Figur E18 | Borhull Le-14, OCR-profil |
| Figur E19 | Borhull Le-16 s_u -profil |
| Figur E20 | Borhull Le-16, OCR-profil |
| Figur E21 | Borhull Le-17 s_u -profil |
| Figur E22 | Borhull Le-17, OCR-profil |
| Figur E23 | Borhull Le-25 s_u -profil |
| Figur E24 | Borhull Le-25, OCR-profil |

Referanser

1. **Multiconsult AS.** 2013. Kvikkleiresone 199 Leira. Grunnundersøkelser, datarapport. 415655-RIG-RAP-001.
2. **Karlsrud, K., et al.** CPTU correlations for clays. *Proceedings, ICSMGE, Osaka.* 2005



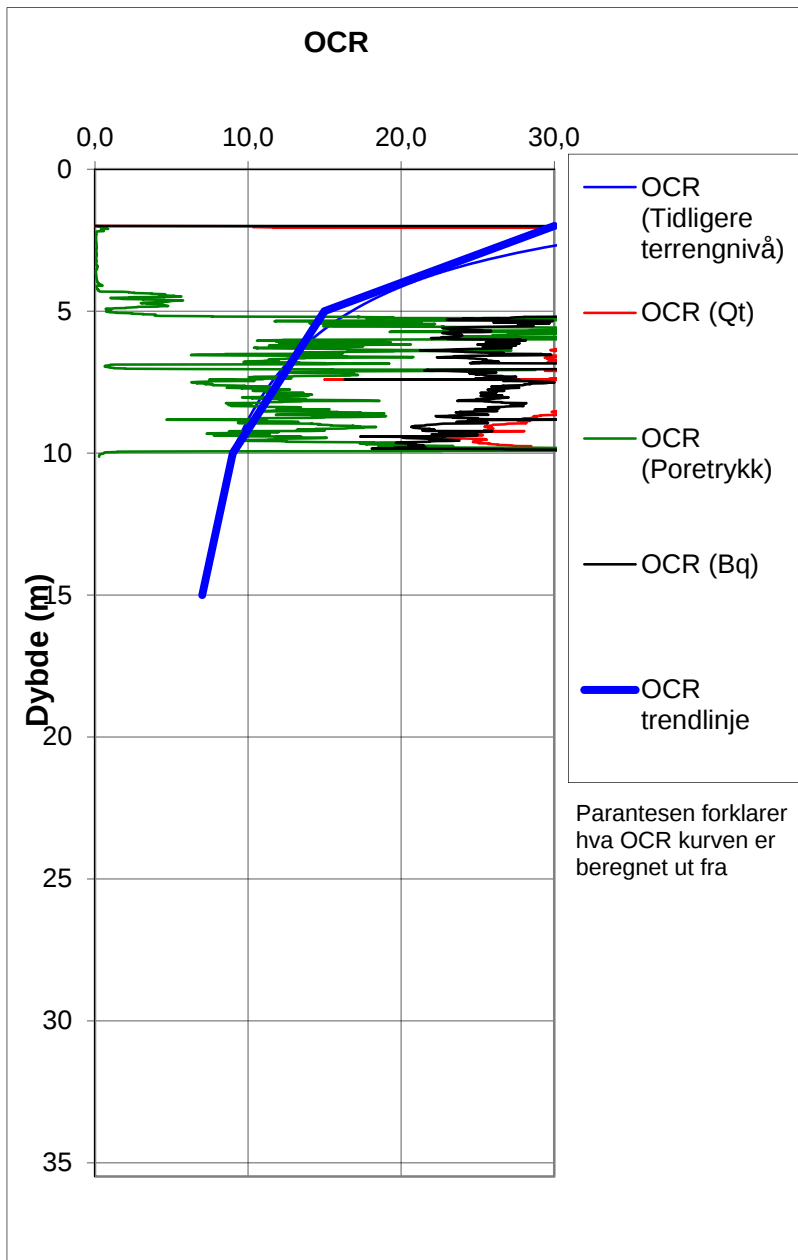
#VALUE!

Kvikkleiresoner Stjørdal - Lillemo


Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.

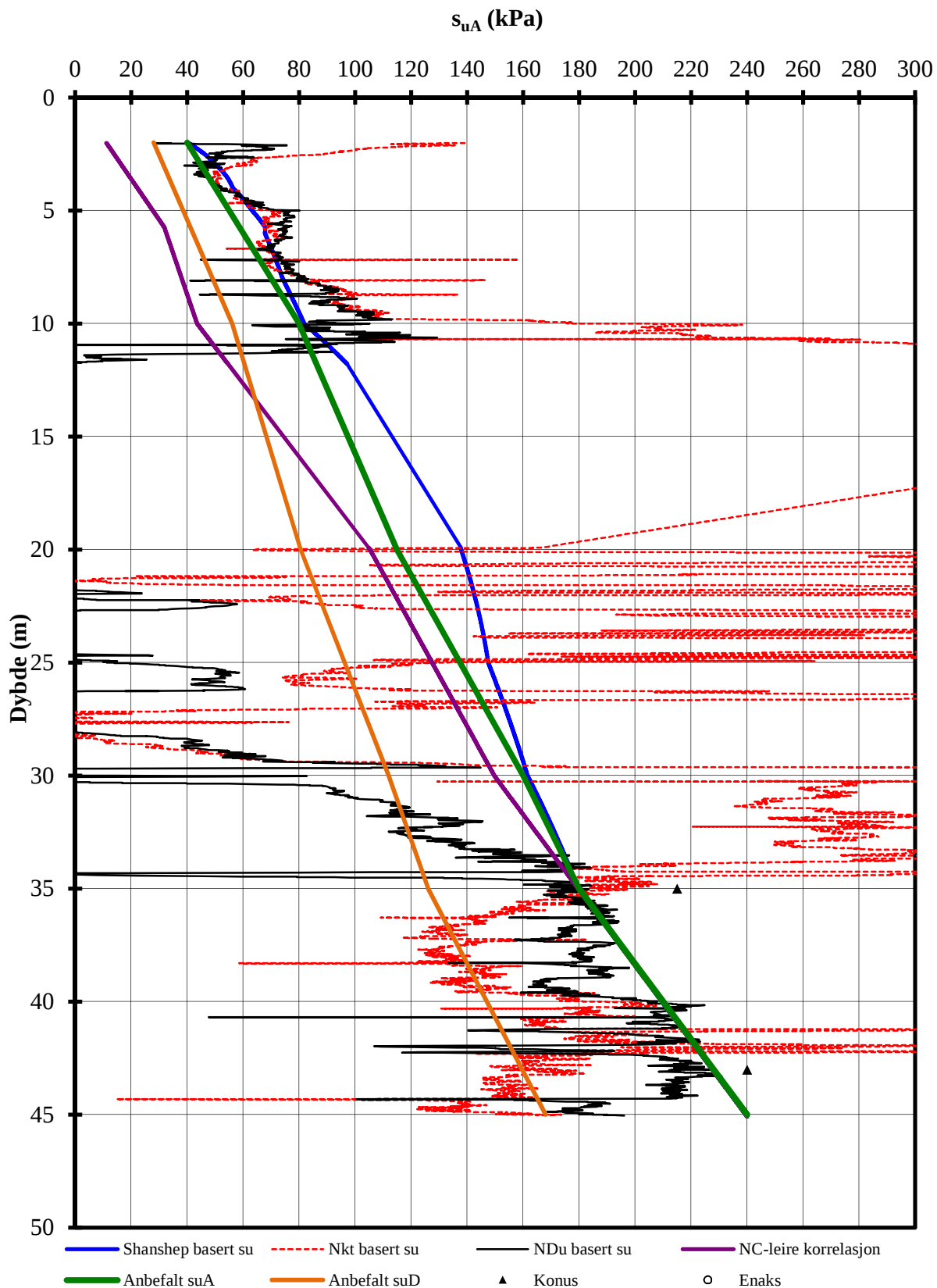
BorhullLe-3

| | |
|-------------|---|
| Rapport nr. | Figur nr. |
| 20120099 | E3 |
| Tegner | Dato |
| JSL | 15.06.2014 |
| Kontrollert |  |
| Godkjent | |
| KE | |



Terrengkote : 37,04 m

| | | |
|------------------------|--------------------------------|---|
| Prosjekt | Rapport nr. 20120099 | Figur nr. E4 |
| | Tegner JSL | Dato 15.06.2014 |
| OCR profil Le-3 | Kontrollert VG |  NGI |
| | Godkjent KE | |



Terrengkote : 115 m

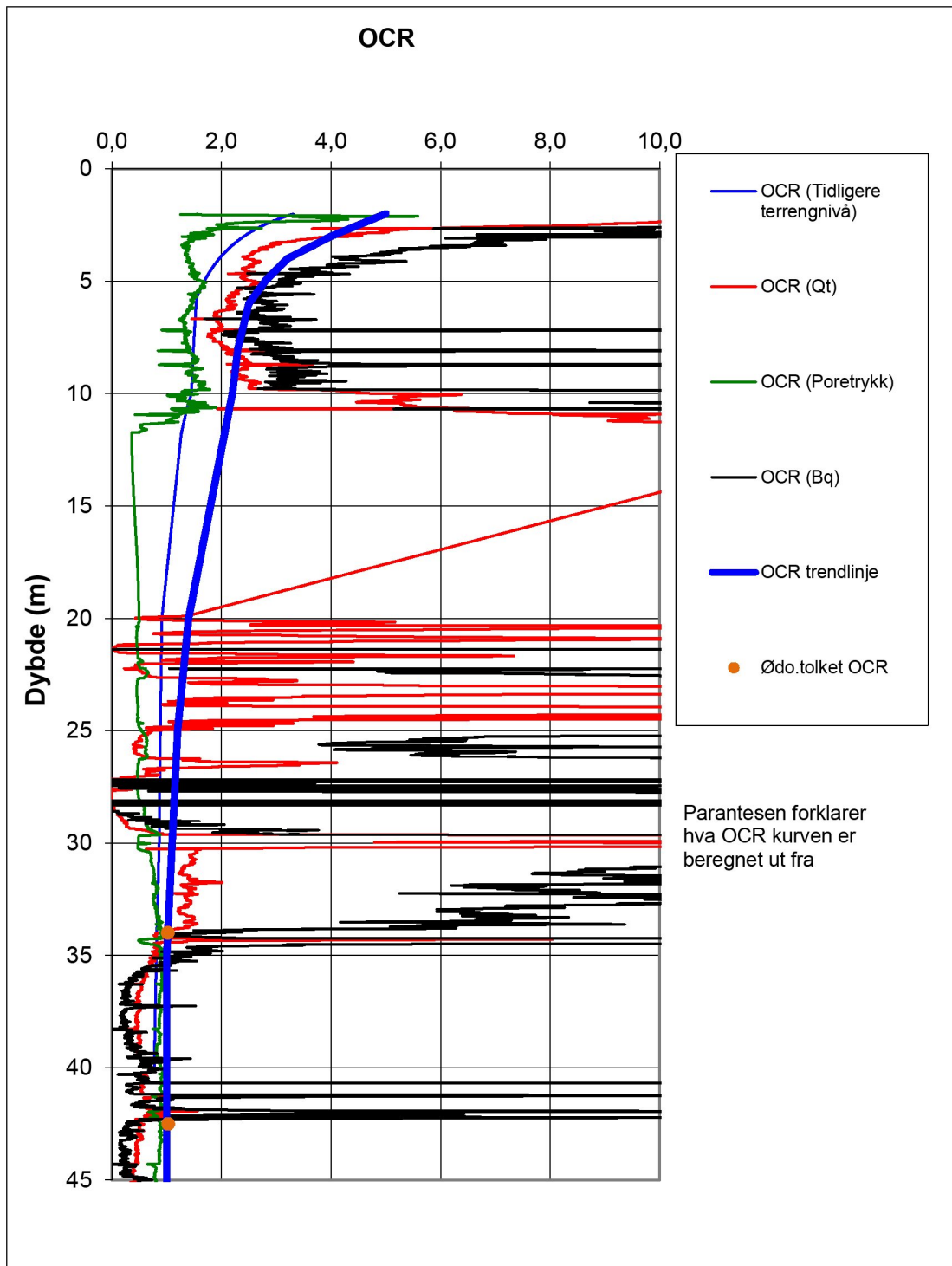
#VALUE!

Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal

Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.

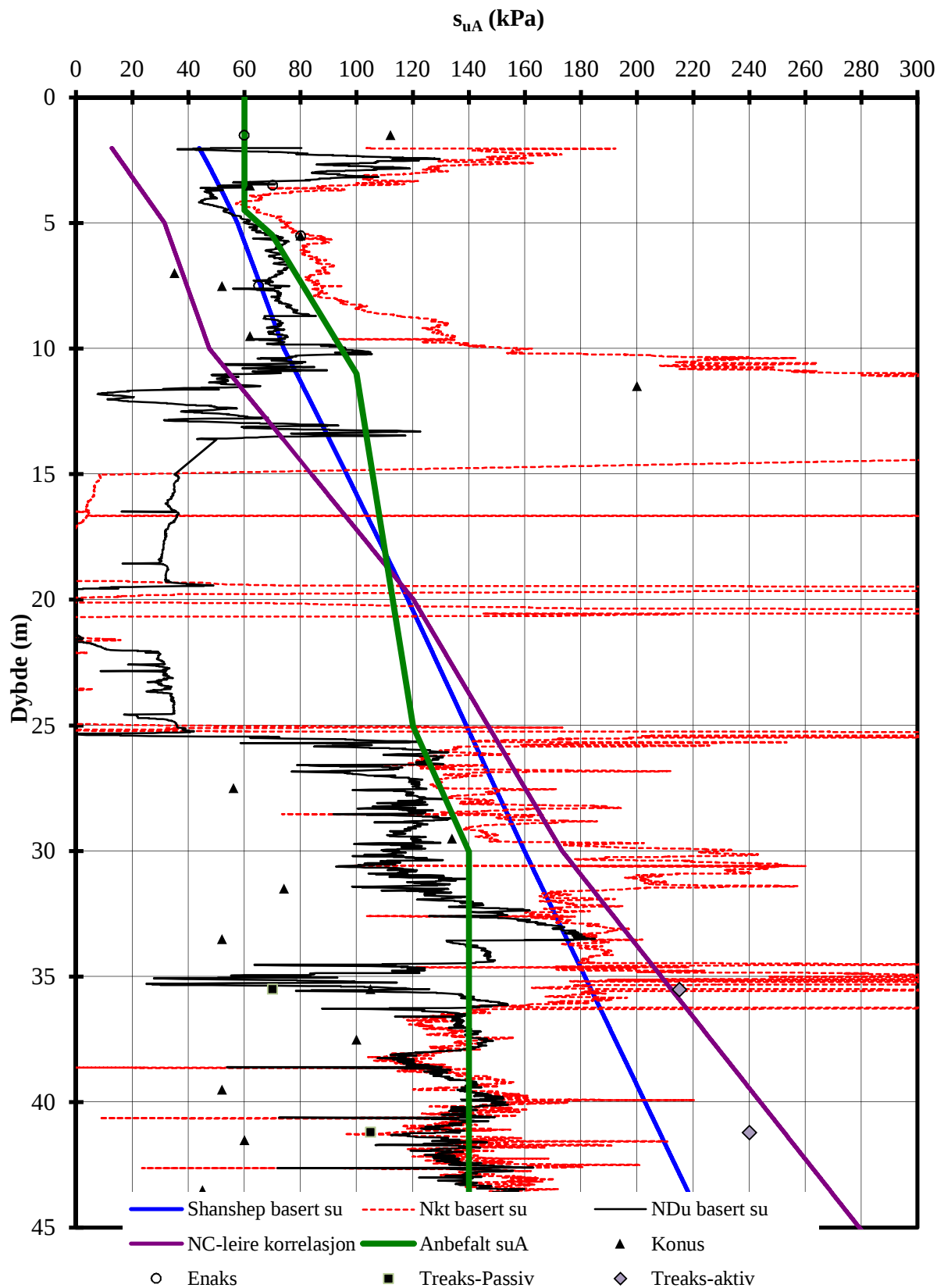
Borhull Le-4

| | |
|-------------------------|---|
| Rapport nr. 20120099 | Figur nr. E05 |
| Tegner JSL | Dato 15.06.2014 |
| Kontrollert VG |  |
| Godkjent KE | |



#VALUE!

| | | | | |
|--|--|--|-------------|---|
| | | | Rapport nr. | Figur nr. |
| Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal | | | 20120099 | E06 |
| | | | Tegner | Dato |
| OCR - profil | | | JSL | 15.06.2014 |
| | | | Kontrollert |  |
| Borhull Le-4 | | | VG | |
| | | | Godkjent | |
| | | | KE | |



#VALUE!

Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal

Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.

Borhull 6 Le-6

Rapport nr.
20120099

Figur nr.
E7

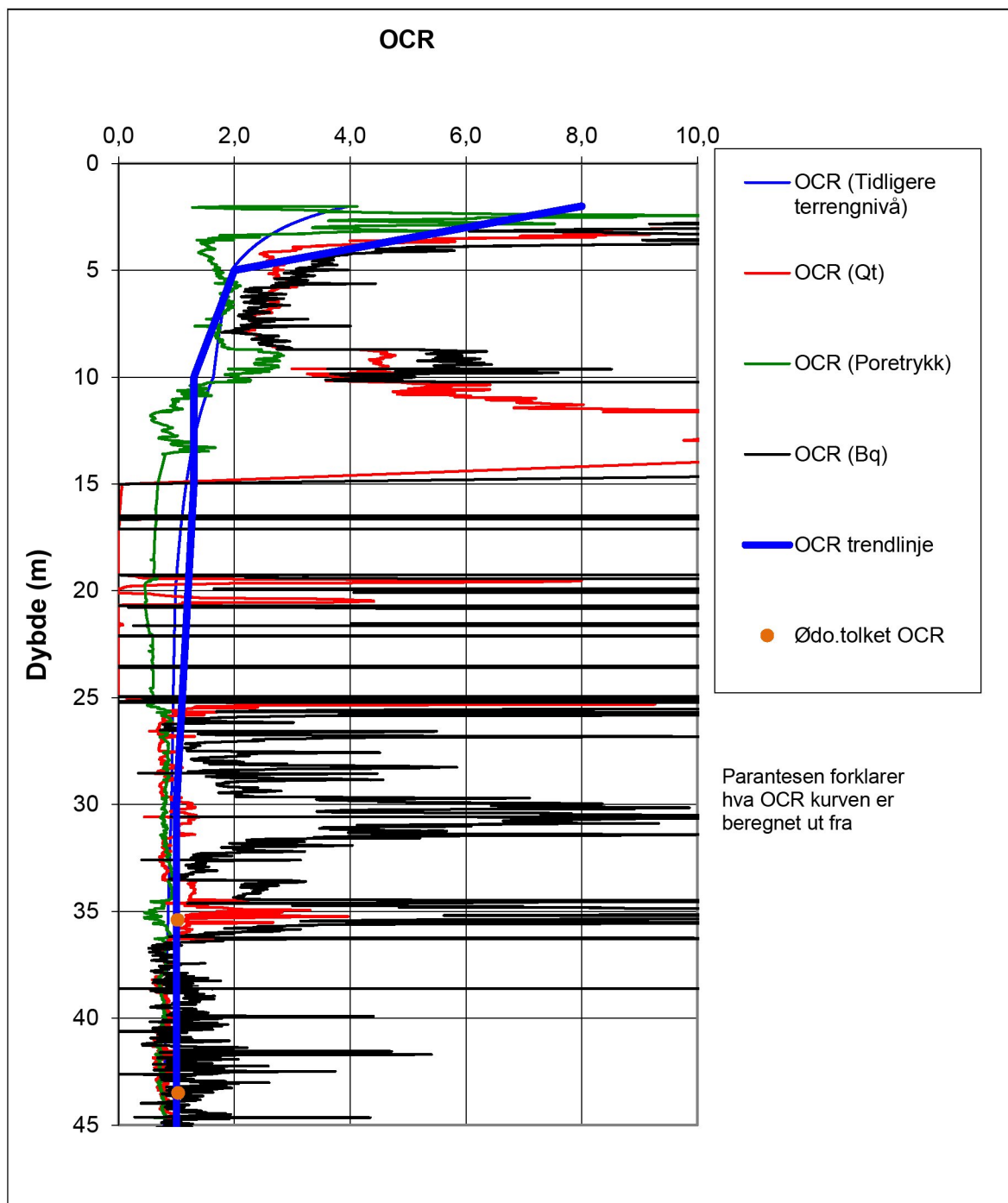
Tegner
JSL

15,06,2014

Kontrollert
VG

Godkjent
KE





####

Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal

Rapport nr.
20120099

Figur nr.
E8

OCR-profil

Tegner
JSI

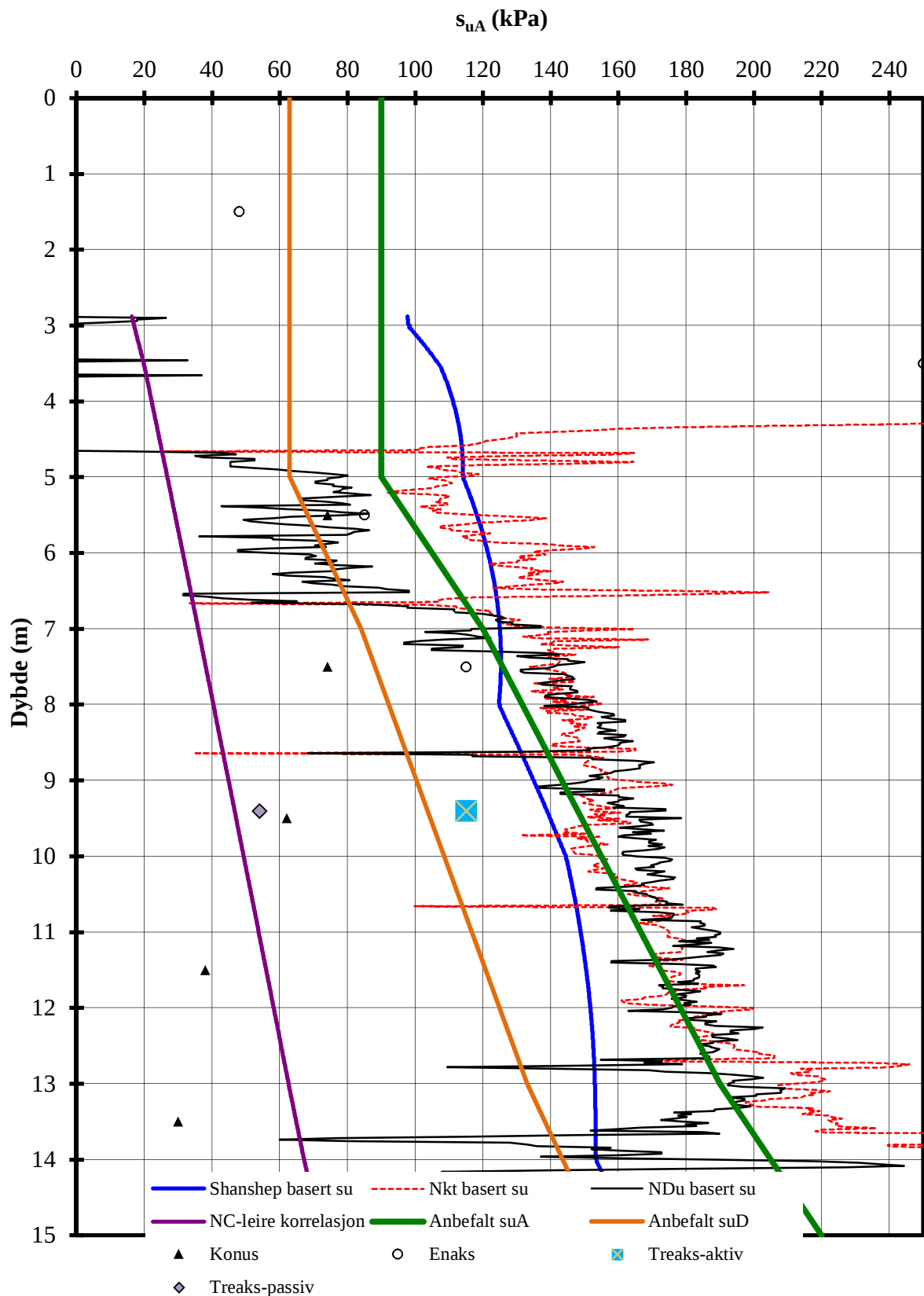
Dato
15,06,2014

Borhull: Le-6

Kontrollert
VG

Godkjent
KE





Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal

Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.

Borhull Le-7

Rapport nr.

20120099

Figur nr.

E09

Tegner

JSL

Dato

15.06.2014

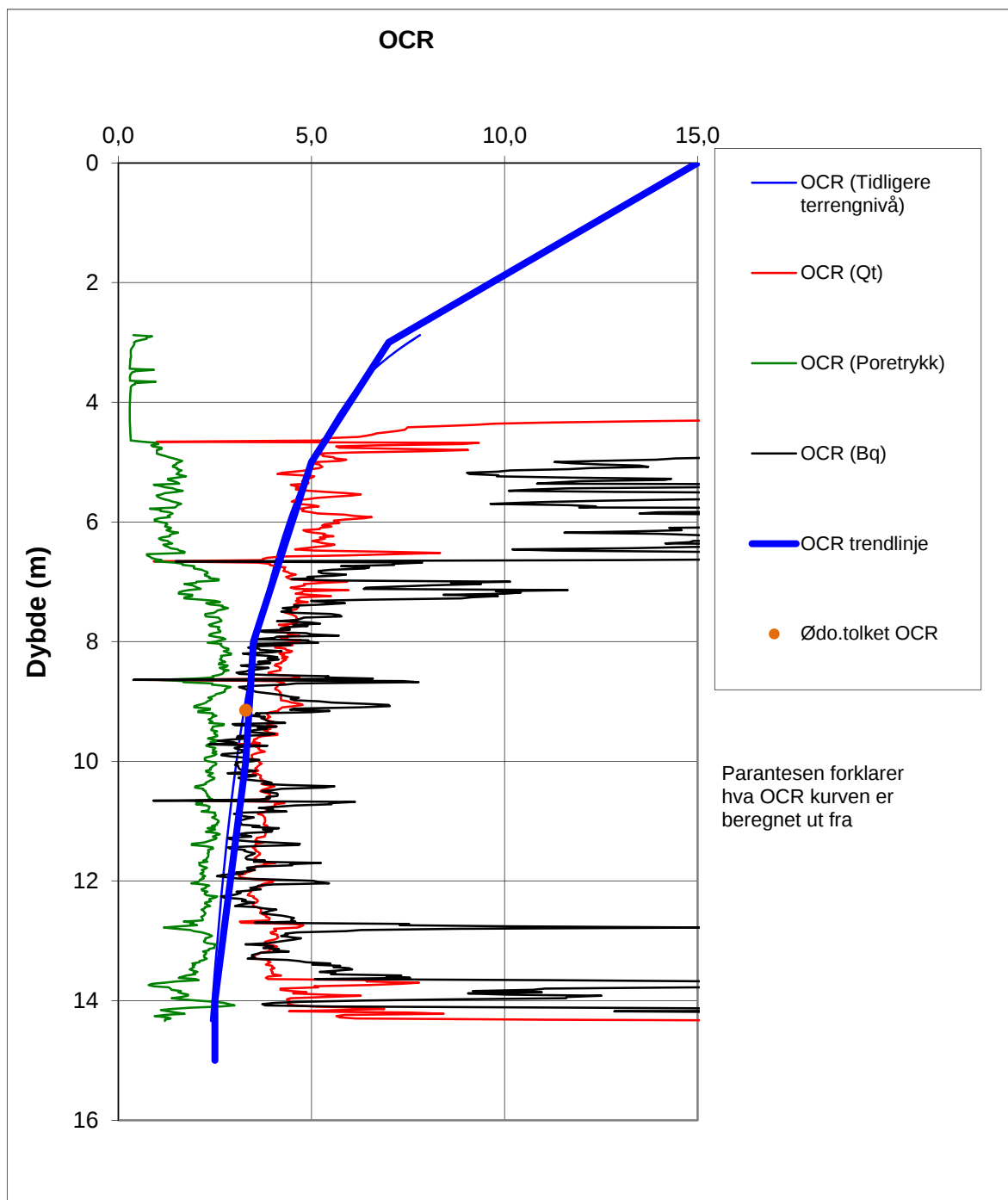
Kontrollert

VG

Godkjent


KE

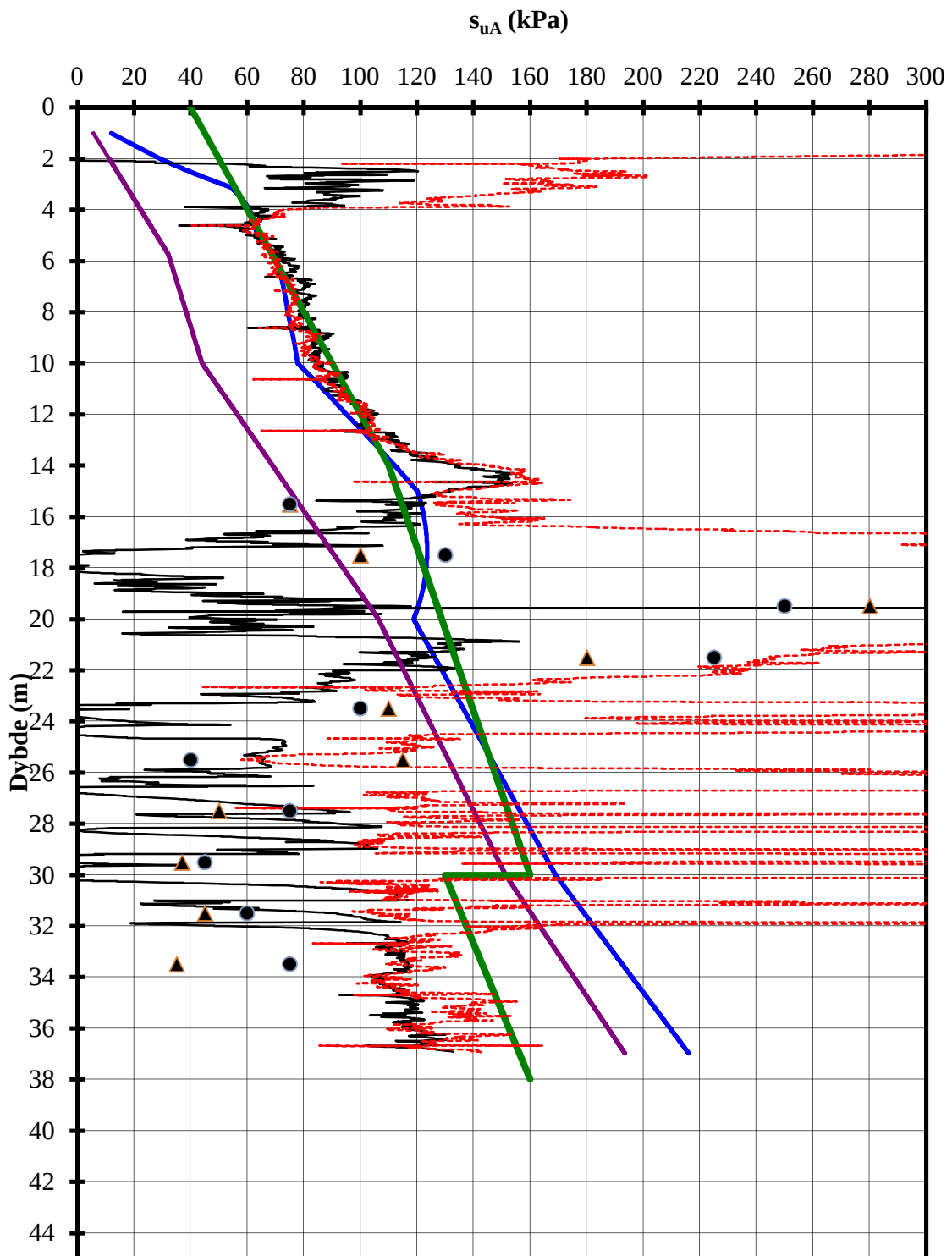




Terrengkote : 75,2 m

#VALUE!

| | | |
|---------------------------------------|-------------------------|---|
| Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal | Rapport nr. 20120099 | Figur nr. E10 |
| | Tegner JSL | Dato 15.06.2014 |
| OCR profil Borhull Le-7 | Kontrollert VG |  |
| | Godkjent KE | |



- Shanshep basert su
- Ndu basert su
- NC-leire korrelasjon
- Anbefalt su
- - - Nkt basert su
- ▲ Konus
- Enaks
- Treaks

Terrengkote : 112,9 m

Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal

Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep

BorhullLe-9

Rapport nr.
20120099-03-R

Figur nr.
E11

Tegner
JSL

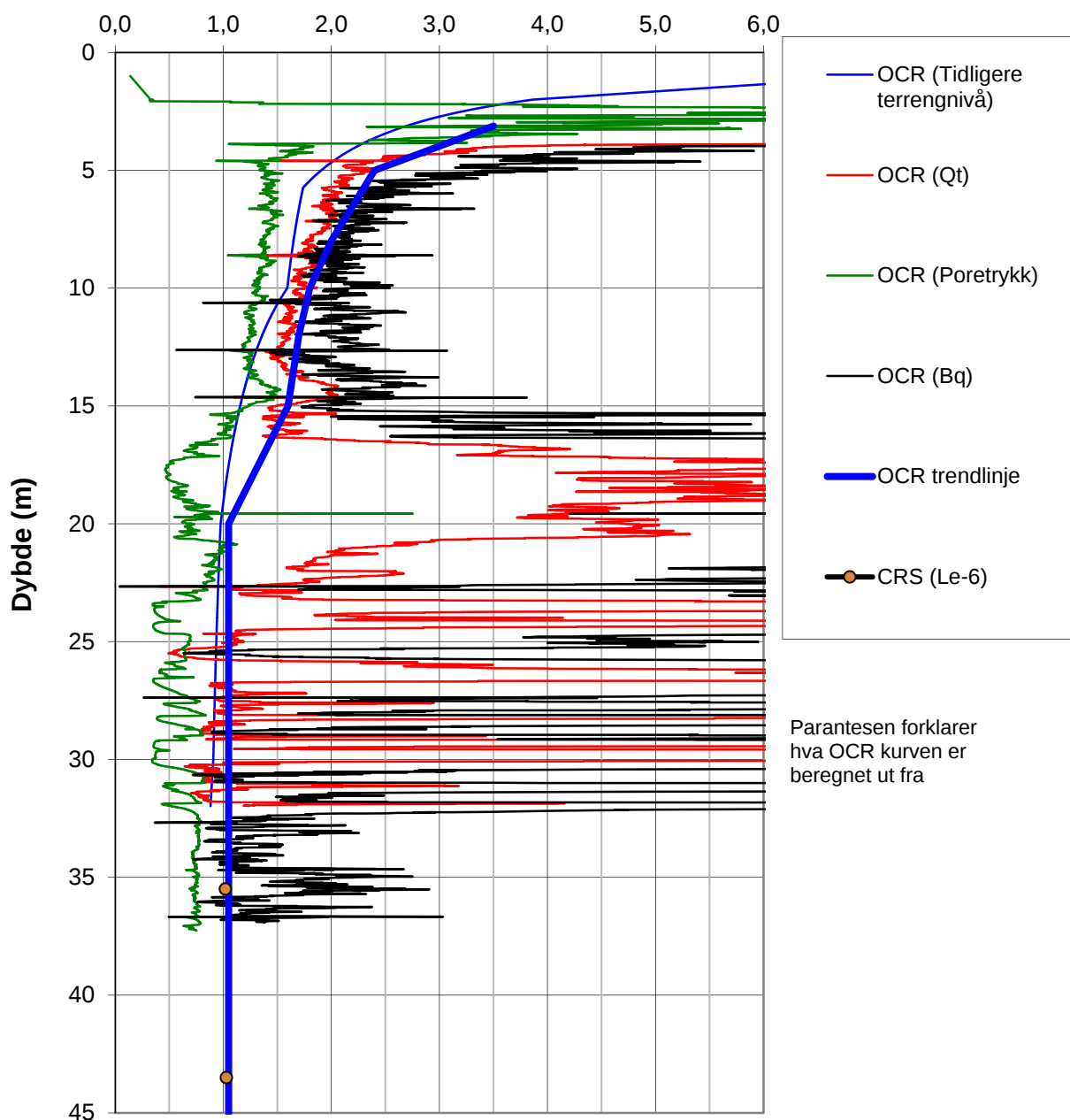
Dato
15.06.2013


Kontrollert
VG

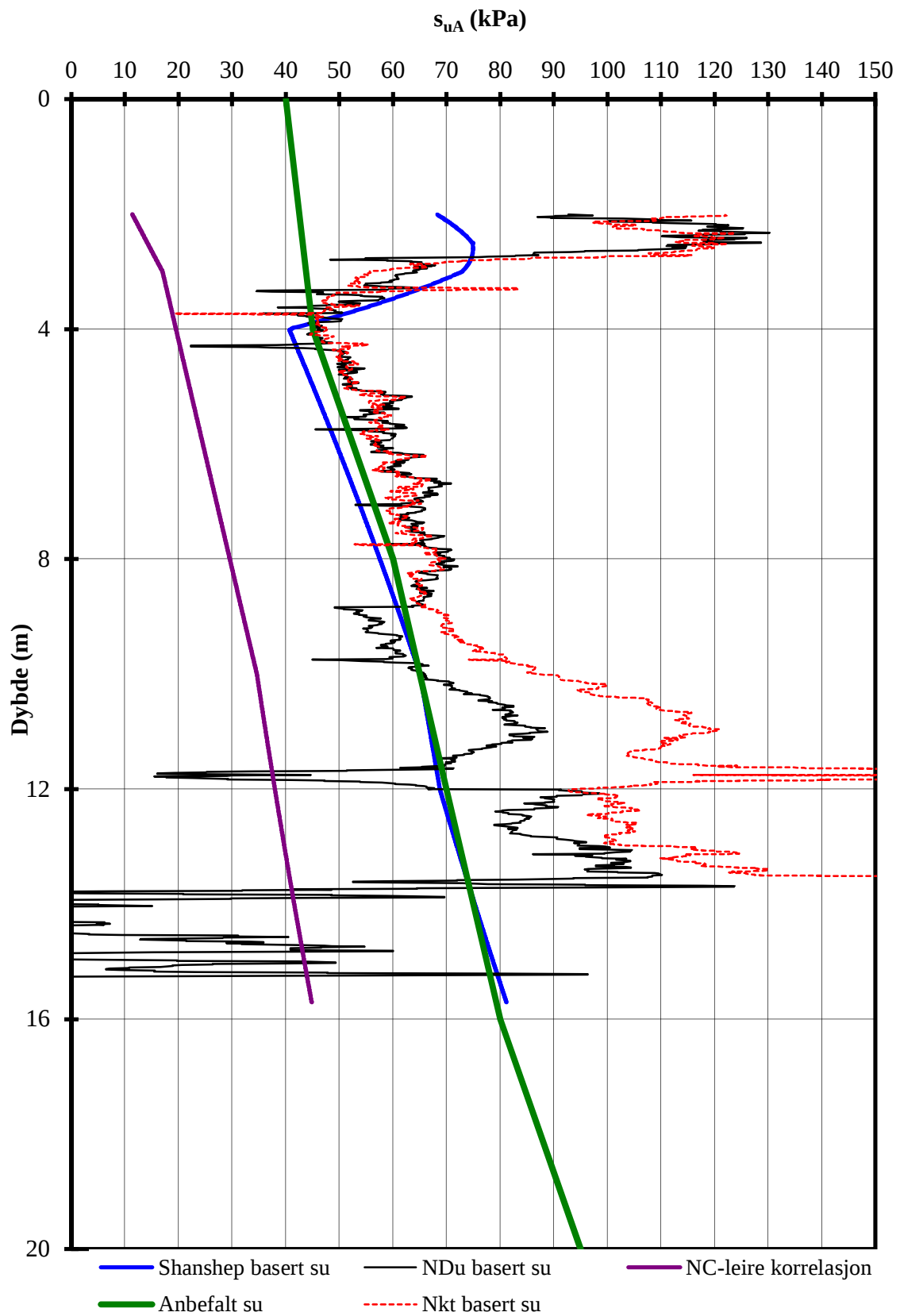
Godkjent
KE



OCR



| | | |
|--|------------------------------|---|
| Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal | Rapport nr. 20120099-03-R | Figur nr. E12 |
| | OCR-profil | Tegner JSL |
| LE-9 | Kontrollert VG |  |
| | Godkjent KE | |



Terrengkote : 111,2 m

Tidligere terreng:

125

Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal

Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.

LE 11

Rapport nr.
20120099-03-R

Figur nr.
E13

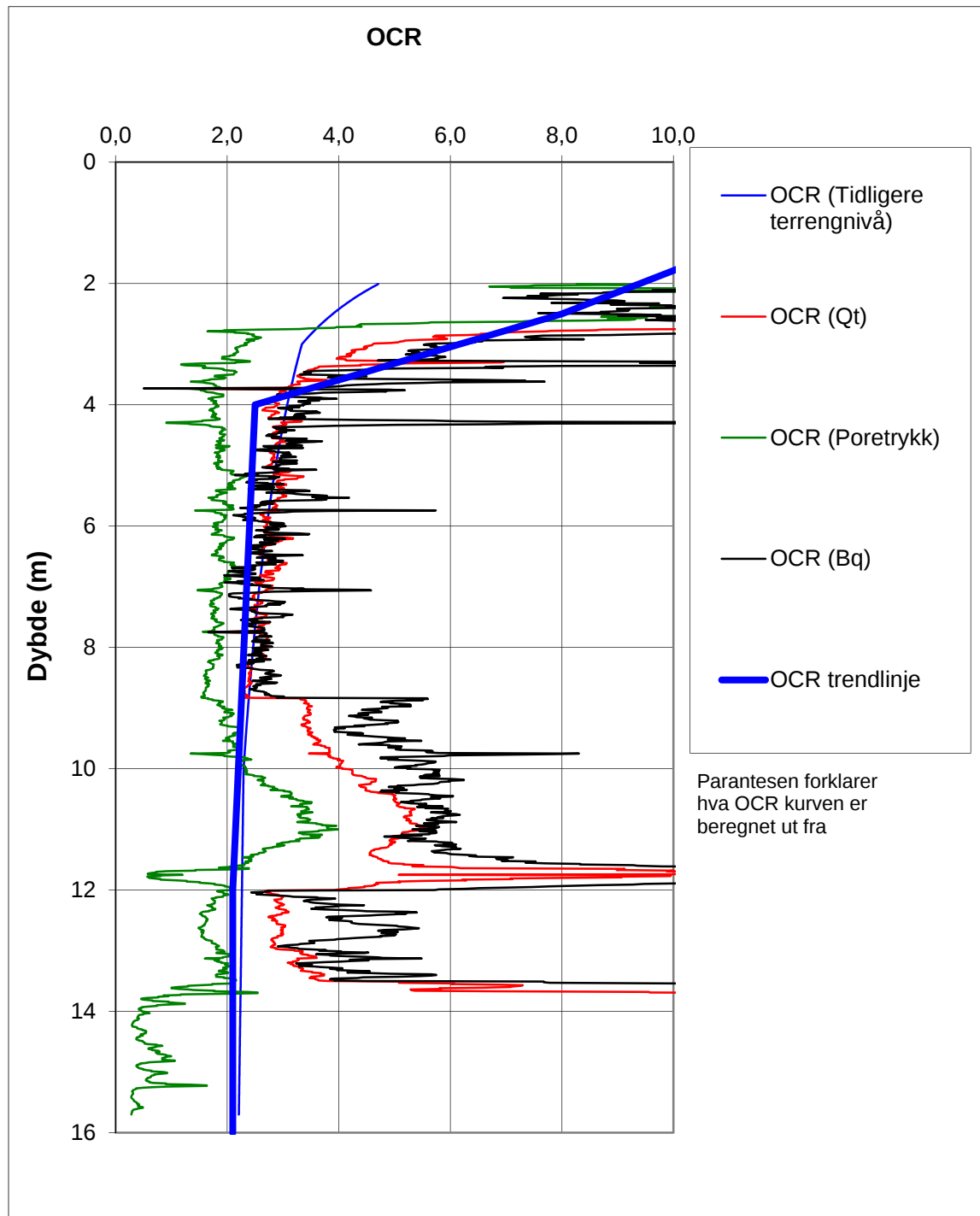
Tegner
JSL


Dato
15.06.2014

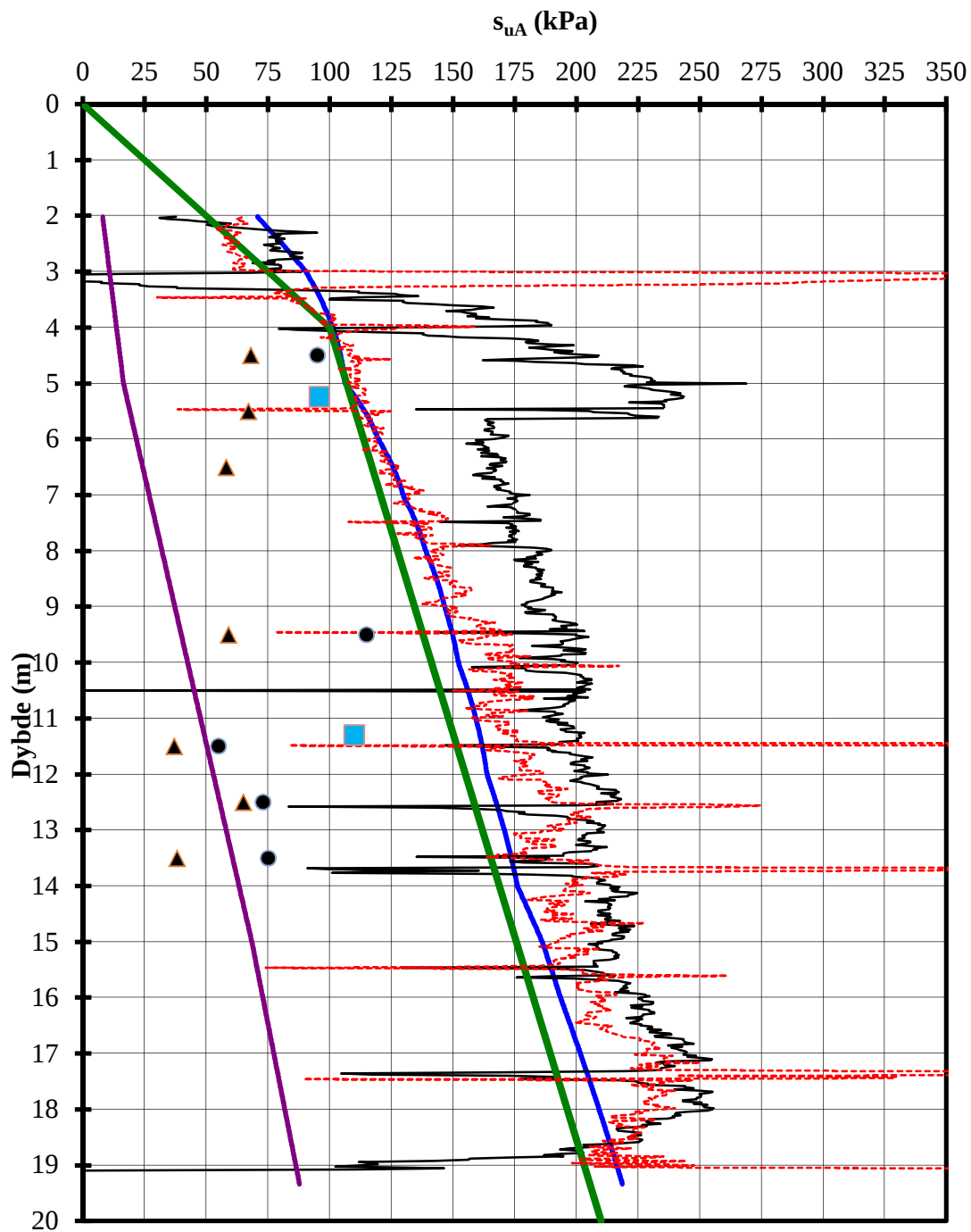
Kontrollert
VG

Godkjent
KE





| | | |
|--|------------------------------|---|
| Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal | Rapport nr. 20120099-03-R | Figur nr. E14 |
| | Tegner JSL | Dato 27.02.2014 |
| OCR-profil | Kontrollert VG |  |
| BorhullLe-11 | Godkjent KE | |




- Shanshep basert su
- NC-leire korrelasjon
- - - Nkt basert su
- Enaks
- NDu basert su
- Anbefalt su
- ▲ Konus
- Treaks - Aktiv

Terrengkote : 45.2 m

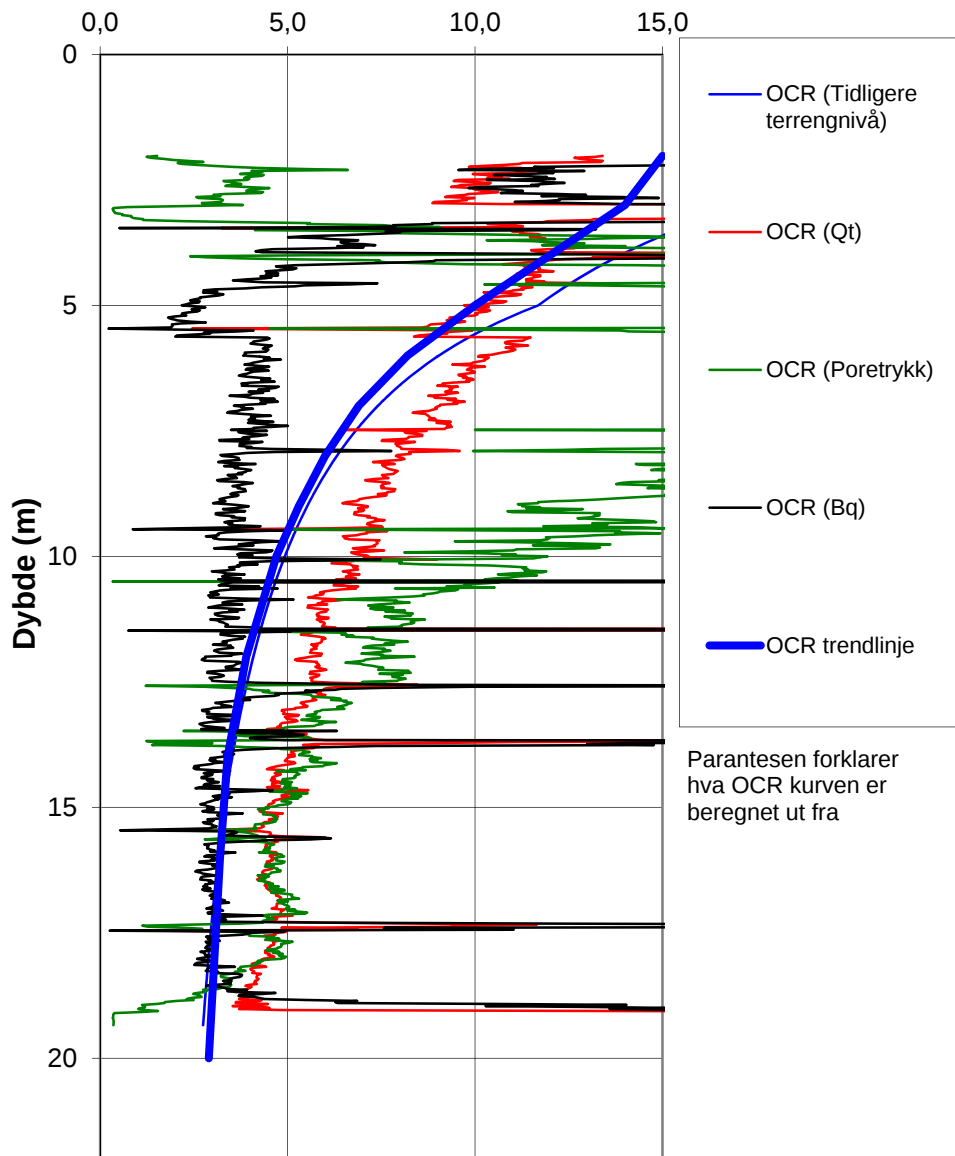
Tidligere terreng (m)

100

#VALUE!

| | | |
|--|---------------|---|
| Kvikkleirekartlegging, Trondheim kommune | Rapport nr. | Figur nr. |
| | 20120099-03-R | E15 |
| Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. LE-13 | Tegner | Dato |
| | JSL | 15.06.2014 |
| | Kontrollert |  |
| Godkjent | | |
| | KE | |

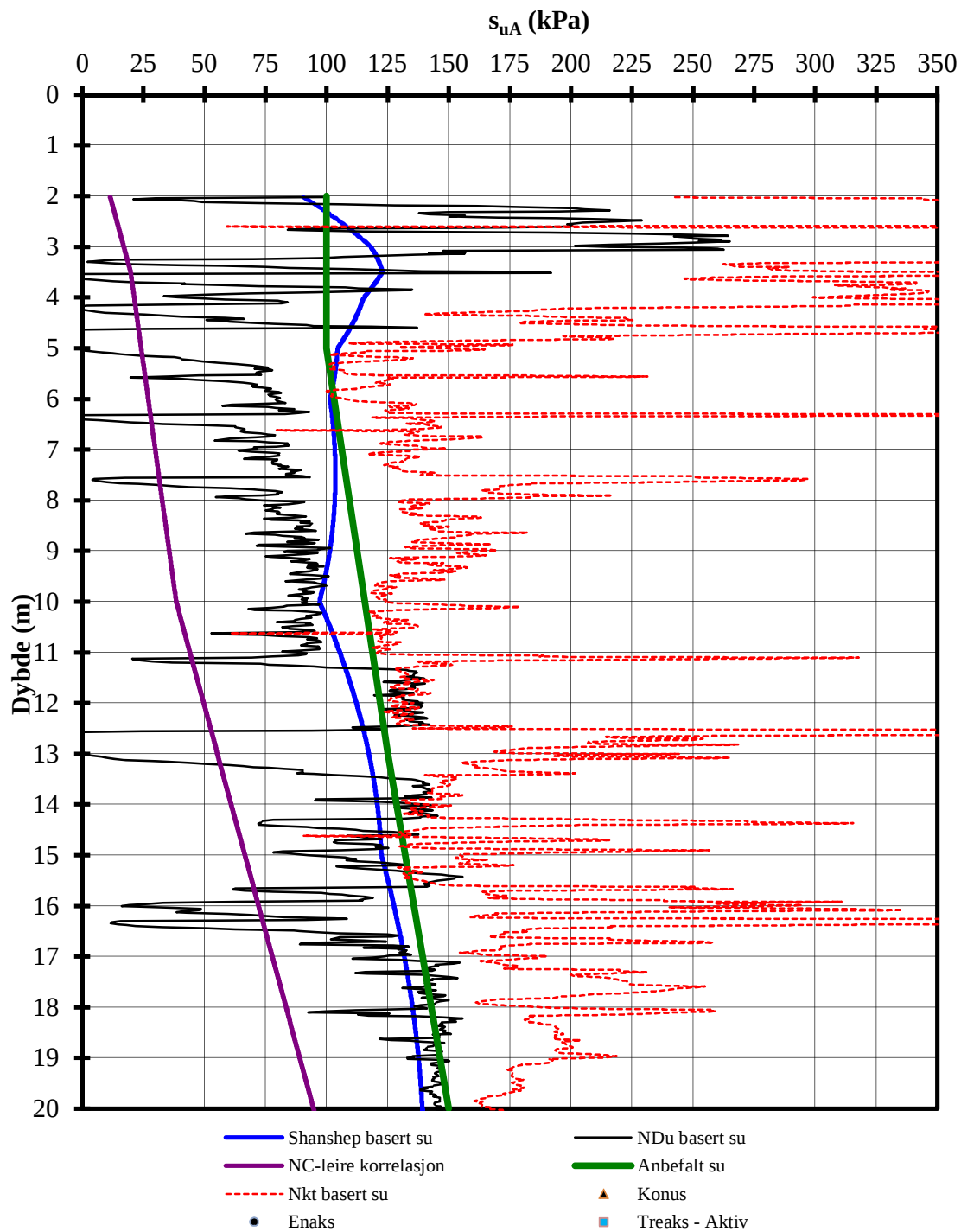
OCR




Terrengkote : 45.2 m
Tidligere terreng (m)

100

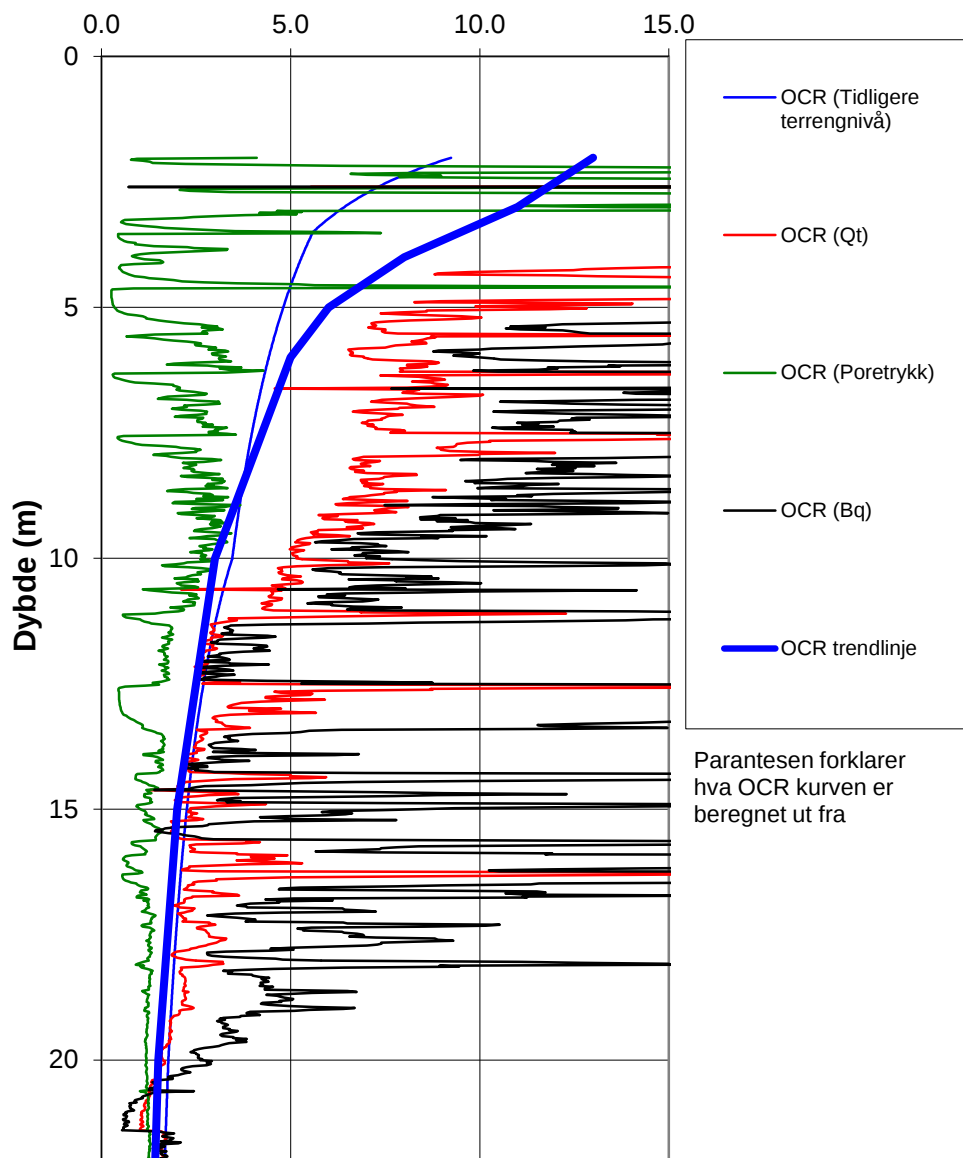
| | | |
|---|------------------------------|--------------------|
| Kvikkleirekartlegging, Trondheim kommune | Rapport nr. 20120099-03-R | Figur nr. E16 |
| | Tegner JSL | Dato 15.06.2014 |
| OCR-profil Le-13 | Kontrollert VG | |
| | Godkjent KE | |



Dagens kotenivå (m) **89,1**
Tidligere kotenivå (m) **120,0**


| | | |
|--|---------------|---|
| Kvikkleirekartlegging, Trondheim kommune | Rapport nr. | Figur nr. |
| | 20120099-03-R | E17 |
| Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. Le-14 | Tegner | Dato |
| | JSL | 15.06.2014 |
| | Kontrollert |  |
| Godkjent | | |
| | KE | |

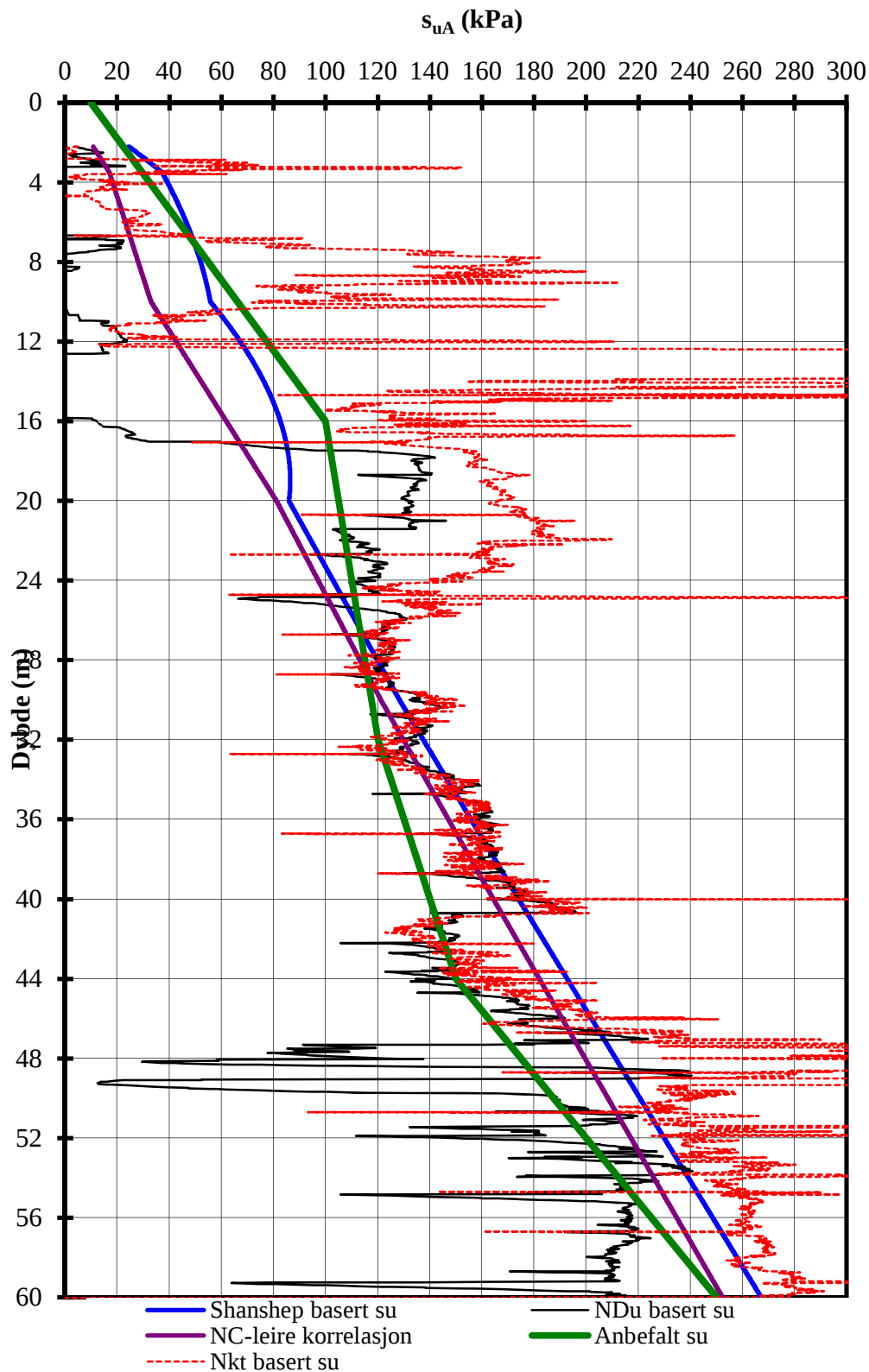
OCR



Dagens kotenivå (m)
Tidligere kotenivå (m)


89.1
120.0

| | | |
|--|------------------------------|---|
| Kvikkleirekartlegging, Trondheim kommune | Rapport nr. 20120099-03-R | Figur nr. E18 |
| | Tegner JSL | Dato 2014-06-15 |
| OCR-profil | Kontrollert VG |  |
| LE-14 | Godkjent KE | |

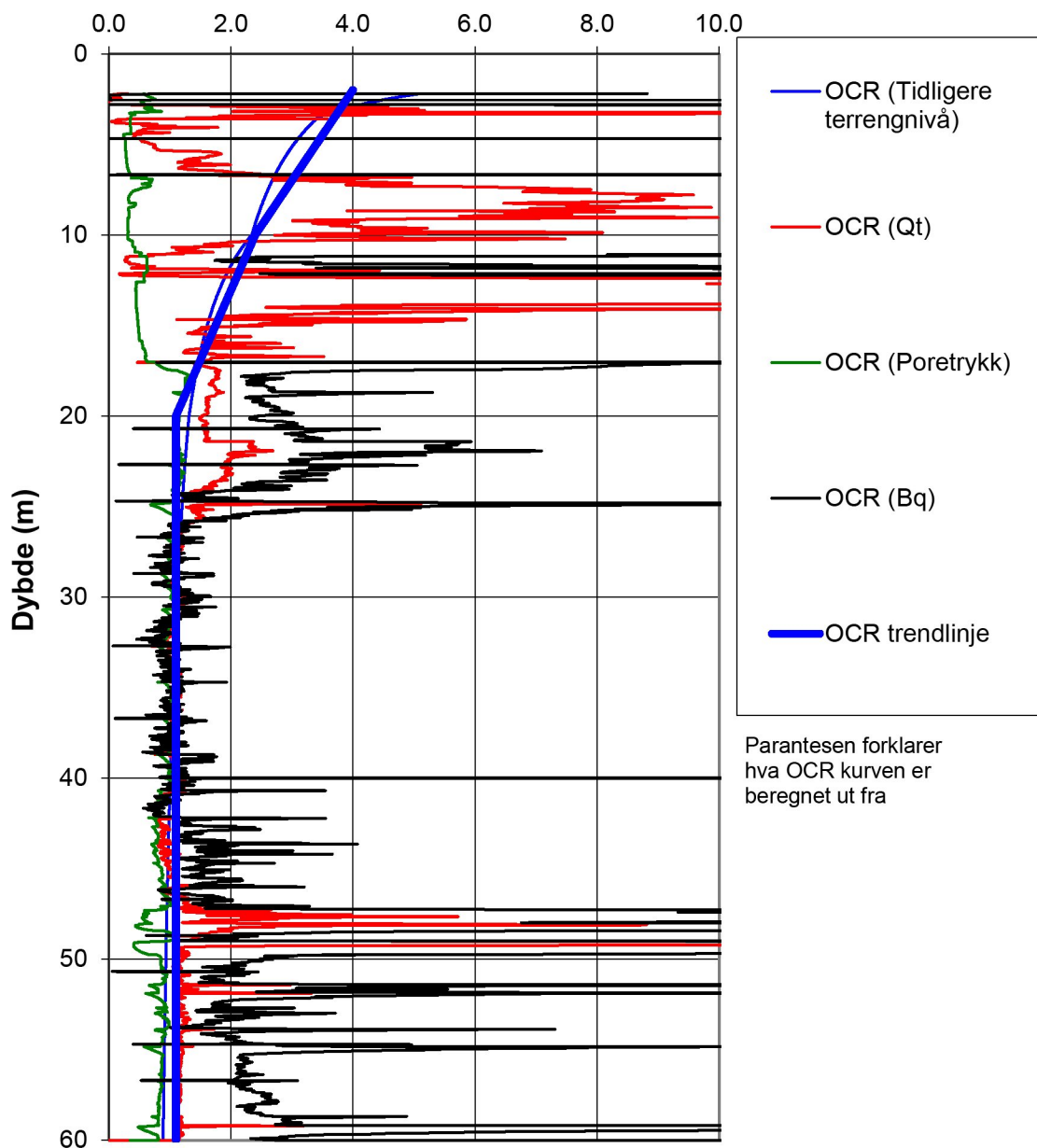


Terrengkote : 82.5 m


P:\2012\00\20120099\Tolkning\CPTU Leira\Tolkning CPTU Le-16.xls\sua profil

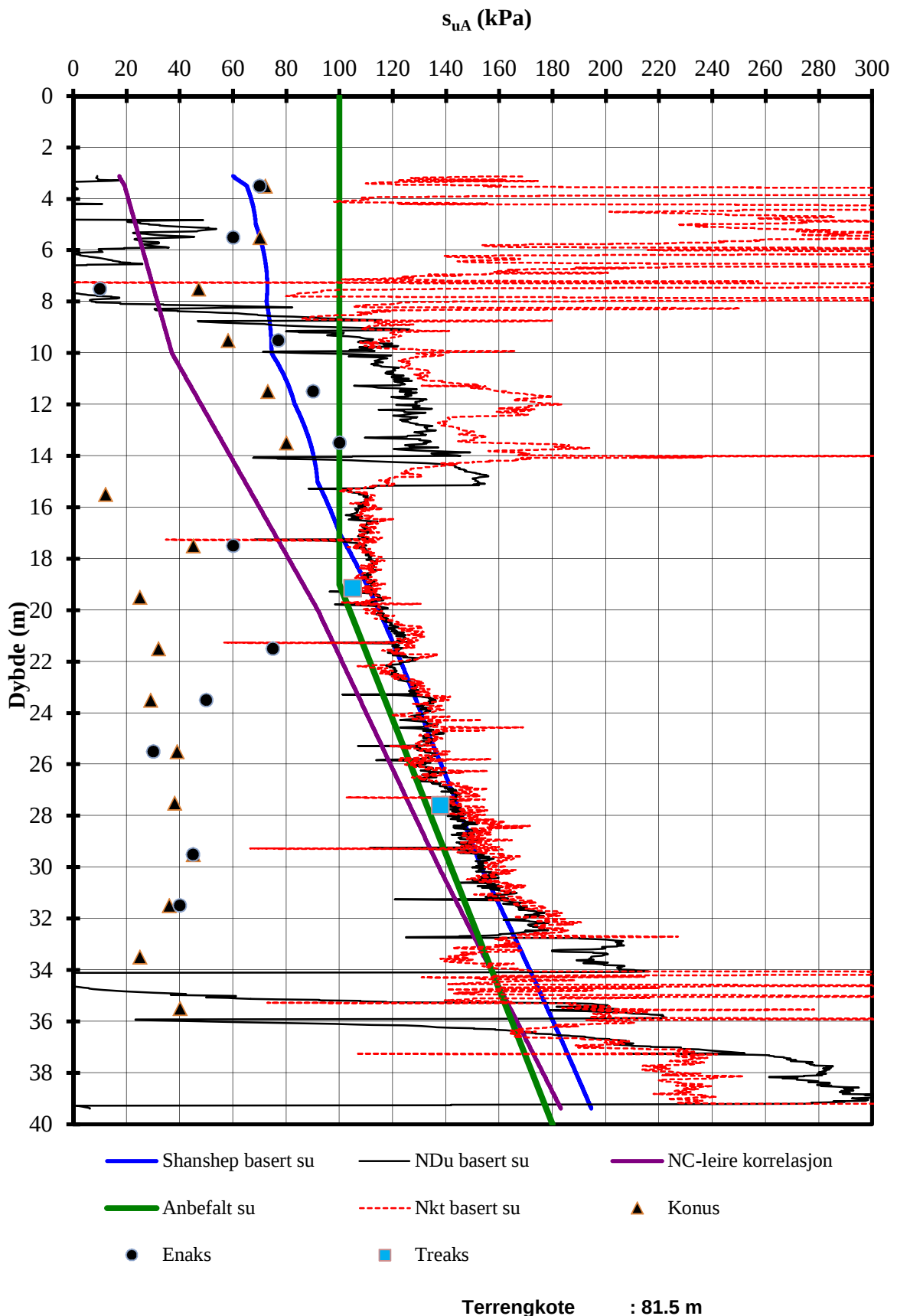
| | | |
|--|---------------|---|
| Kvikkleirekartlegging, Trondheim og Stjørdal | Rapport nr. | Figur nr. |
| | 20120099-03-R | E19 |
| Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. Borhulle-16 | Tegner | Dato |
| | JSL | 2014.06.15 |
| | Kontrollert |  |
| Godkjent | | |
| | VG | |
| | KE | |

OCR



P:\2012\00\20120099\Tolkning\CPTU Leira\[Tolkning CPTU Le-16.xls]OCR-plot

| | | |
|---|------------------------------|---|
| Kvikkleirekartlegging, Trondheim og Stjørdal | Rapport nr. 20120099-03-R | Figur nr. E20 |
| | Tegner JSL | Dato 2014.06.15 |
| OCR-profil | Kontrollert VG |  NGI |
| BorhullLE-16 | Godkjent KE | |



P:\2012\00\20120099\Tolkning\CPTU Leira[Tolkning CPTU Le-17.xls]sua profil

Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal

Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.
Borhulle-17

Rapport nr.
20120099-03-R

Figur nr.
E21

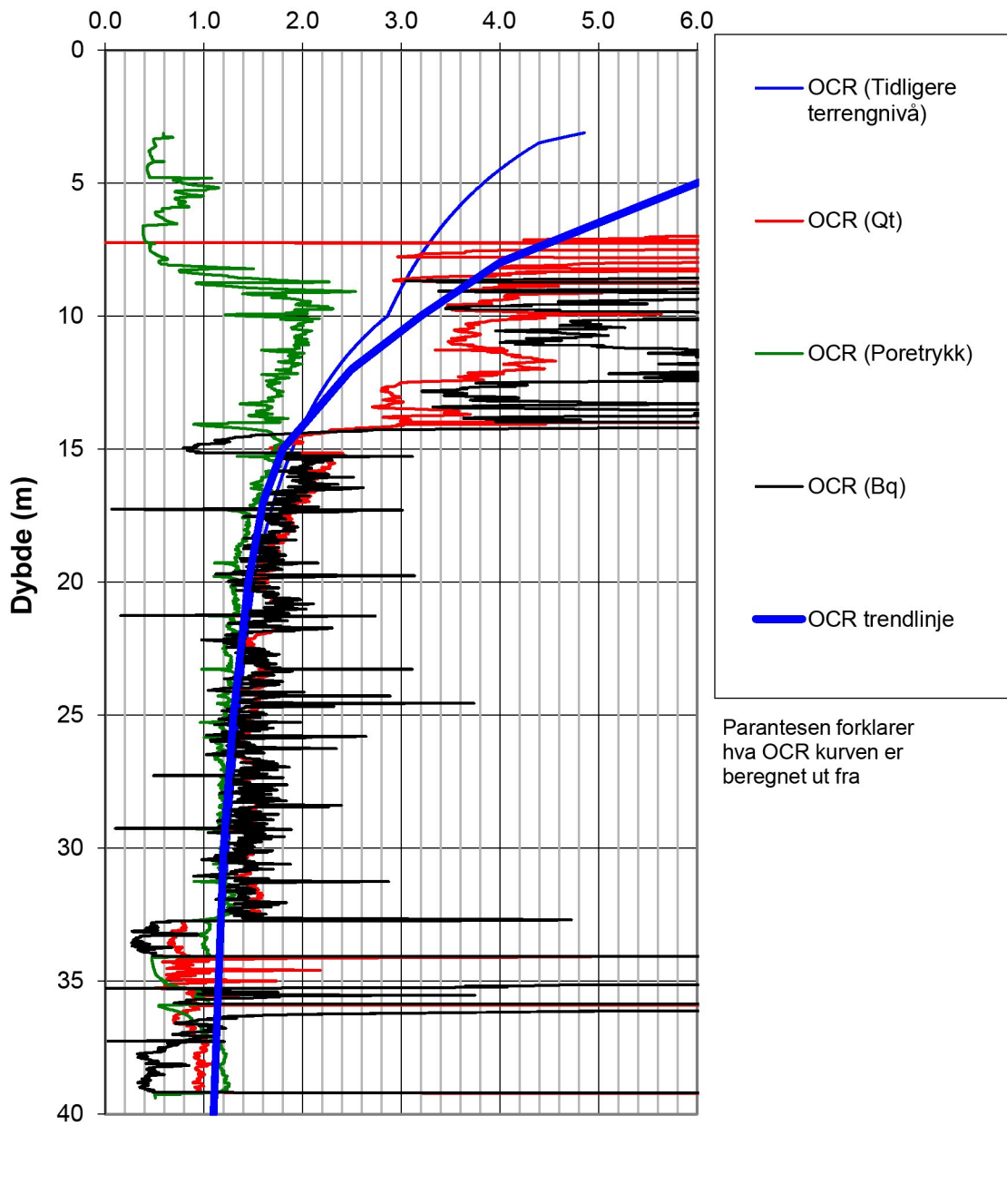
Tegner
JSL

Dato
2014-02-27

Kontrollert
VG
Godkjent
KE



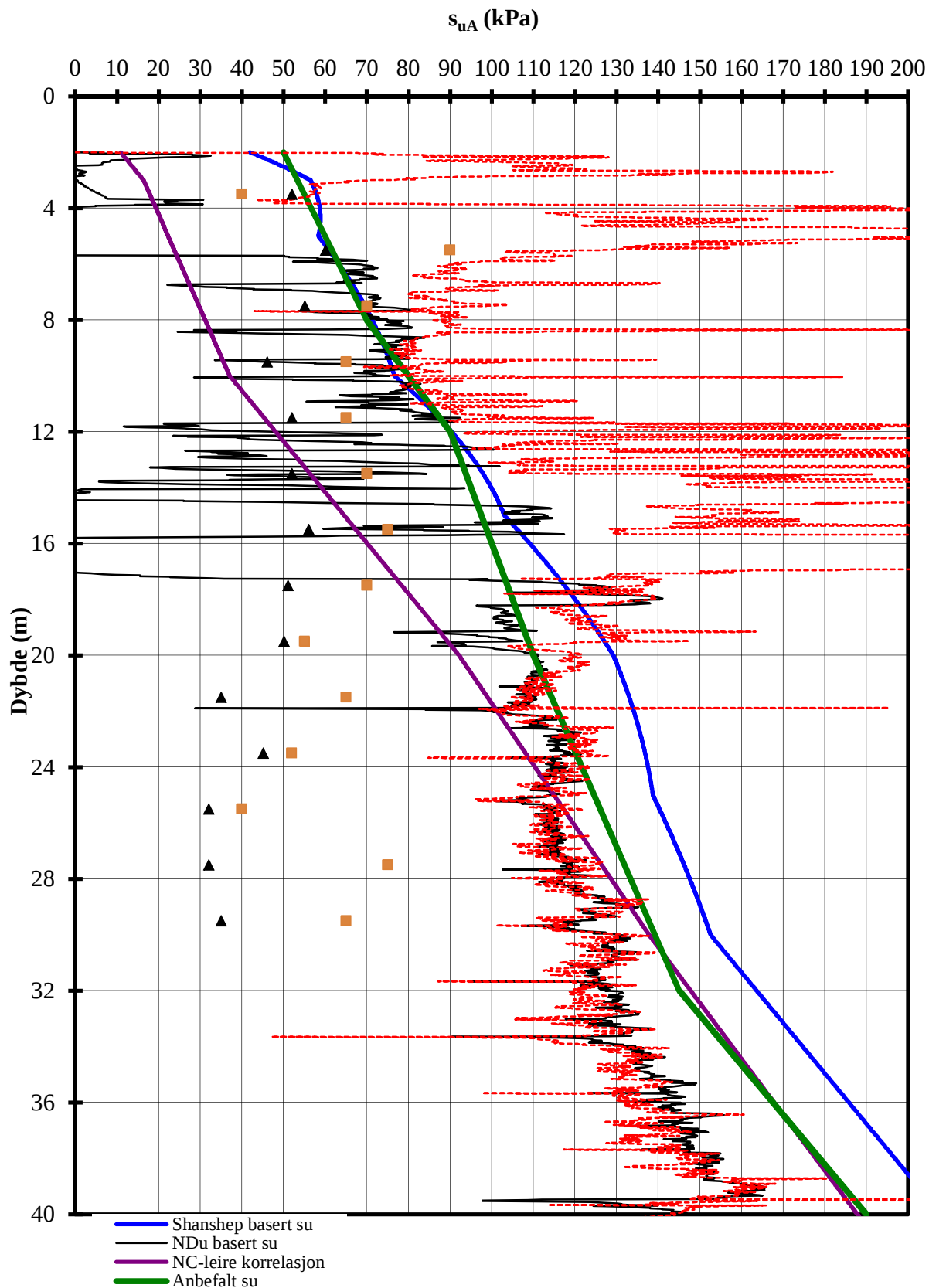
OCR



Terrengkote : 81.5 m

P:\2012\00\20120099\Tolkning\CPTU Leira\Tolkning CPTU Le-17.xls\OCR plot

| | | |
|--|-----------------------------|---|
| Kvikkleiresoner Trondheim og Stjørdal | Rapport nr. 20120099-03R | Figur nr. E22 |
| | Tegner JSL | Dato 2014-02-27 |
| OCR-profil Le-17 | Kontrollert VG |  |
| | Godkjent KE | |



#VALUE!

Kvikkleirekartlegging, Trondheim og Stjørdal

Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.

BorhullLe-25

Rapport nr.
20120099-03-

Figur nr.
E23

Tegner
JSL

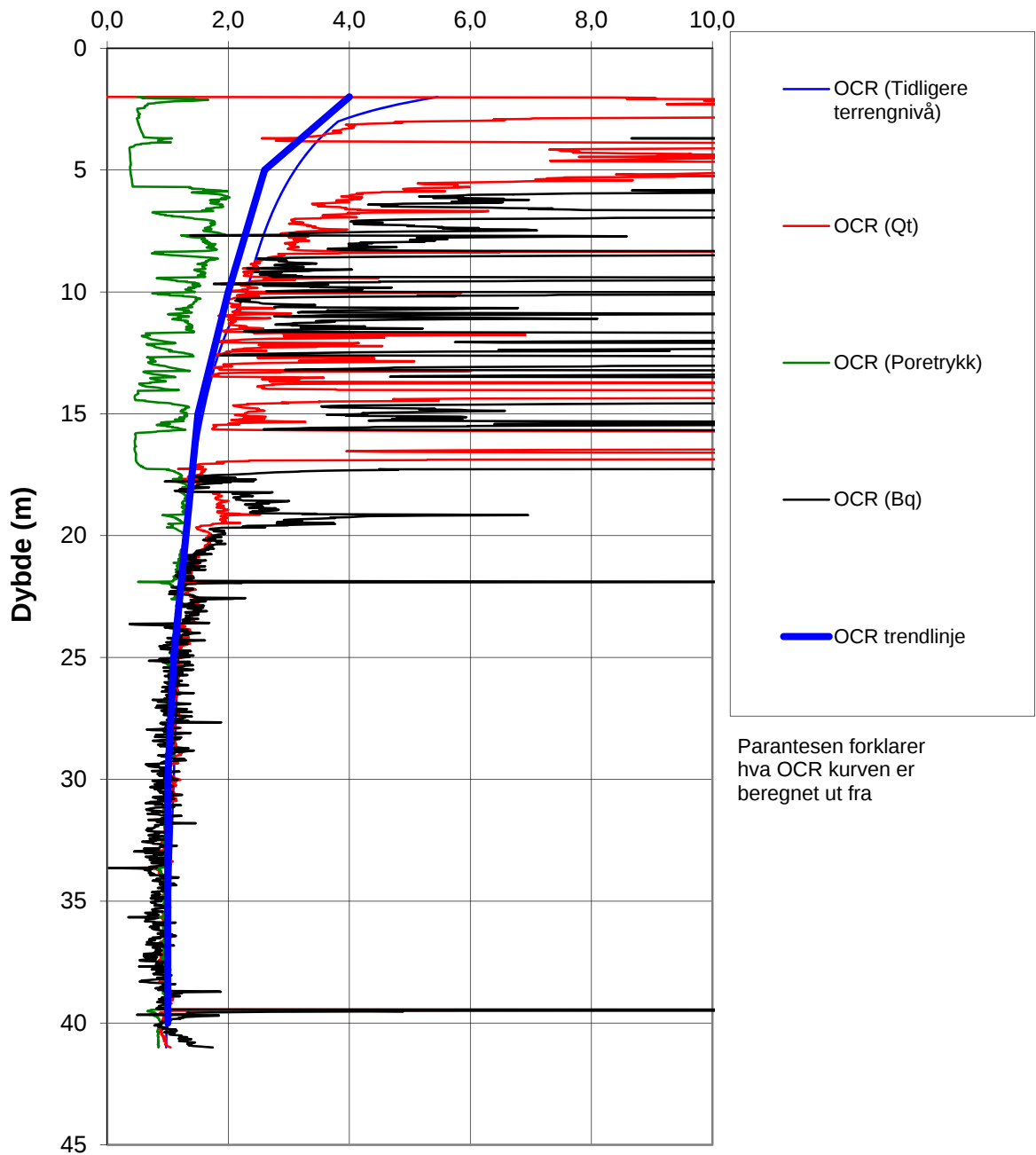
Dato
15.06.2014


Kontrollert
VG

Godkjent
KE



OCR



| | | |
|-------------------------|------------------------------|---|
| Prosjekt | Rapport nr. 20120099-03-R | Figur nr. E24 |
| OCR profil Le-25 | Tegner JSL | Dato 15.06.2014 |
| | Kontrollert VG |  |
| | Godkjent KE | |

| | | |
|--|--|---|
| Dokumentinformasjon/Document information | | |
| Dokumenttittel/Document title Kvikkleiresone 2164 Leira søndre – Vurdering av stabilitet og soneavgrensing | | Dokumentnr./Document no. 20190224-01-TN |
| Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical note | Oppdragsgiver/Client Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) | Dato/Date 2020-08-03 |
| Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/Proprietary rights to the document according to contract Oppdragsgiver / Client | | Rev.nr. & dato/Rev.no. & date 0 |
| Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees | | |
| Emneord/Keywords Leira søndre, kvikkleire, stabilitet | | |

| | |
|---|---|
| Stedfesting/Geographical information | |
| Land, fylke/Country Norge, Trøndelag | Havområde/Offshore area |
| Kommune/Municipality Trondheim | Felt navn/Field name |
| Sted/Location Leira | Sted/Location |
| Kartblad/Map | Felt, blokknr./Field, Block No. |
| UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: UTM32 Øst: 7029000 Nord: 570250 | 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 | 2020-08-03 Thi Minh Hue Le | 2020-07-29 Vidar Gjelsvik | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | |
|---|------------------------------------|---|
| Dokument godkjent for utsendelse/Document approved for release | Dato/Date 3. august 2020 | Prosjektleder/Project Manager Thi Minh Hue Le |
|---|------------------------------------|---|

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.

