



RAPPORT

GBV 2016 Bergmasseparametere fase 2

FUNDAMENTERING OG BYGGING I
SVARTSKIFER

DOK.NR. 20160090-01-R
REV.NR. 0/ 2016-12-21

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.

Prosjekt

Prosjekttittel: GBV 2016 Bergmasseparametere fase 2
Dokumenttittel: Fundamentering og bygging i alunskifer
Dokumentnr.: 20160090-01-R
Dato: 2016-12-21
Rev.nr. / Rev.dato: 0/

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: NFR
Kontaktperson:
Kontraktreferanse: GBV

for NGI

Prosjektleder: Kristine Thorsen Sæthern
Utarbeidet av: Elisabeth Tønnesen og Kristine Thorsen Sæthern
Kontrollert av: Arnstein Aarset

Sammendrag

Svarte leirskifre i Oslofeltet er dannet av sedimenter avsatt i oksygenfattige (anaerobe) miljø i de geologiske tidsperiodene Kambrium til Silur. Tungmetaller inkludert uran, anrikes i bunnsedimenter under anaerobe forhold og svarte leirskifre er rike på sulfidmineraler, uran og tungmetaller. De inneholder i tillegg en fraksjon med rester etter omdannet organisk materiale (varianter av kull, vanligvis som antrasitt). Omdannet organisk materiale registreres i våtkjemiske analyser som totalt organisk karbon (TOC). Sammensetning og oppbygging av sedimentene samt kjemiske forhold ved dannelse vil variere over tid som følge av variasjoner i avsetningsmiljøet. Dette reflekteres i variasjoner i mekaniske- og kjemiske egenskaper til ulike etasjer og horisonter i alunskifere og andre leirskifre. Det er også variasjoner internt i etasjene.

NGI har utviklet en metode for identifisering og karakterisere type svartskifer basert på kjemiske fingeravtrykk til de ulike skiferlagene, beskrevet i [1]. Metoden går ut på å sammenlikne relative konsentrasjoner av ulike grunnstoff i ulike trekantdiagram med datamateriale fra ulike etasjer samlet over flere år. Type svartskifer/etasje i lagrekken har betydning for både mekaniske egenskaper og deponialternativ.

Forvitring i svartskifer kan igangsettes ved tilgang på fukt og oksygen. Et overordnet mål ved bygging i svartskifer med svellende egenskaper er at det skal etableres en statisk situasjon. For å ivareta dette må en ha kontroll på vann i grunnen, samt hindre overflatevann å komme i kontakt med alunskifer. Forvitring og utvikling av svelletrykk i svarte leirskifre domineres av at sulfider oksideres til sulfater. Sulfatmineraler har et større volum enn sulfidmineraler. Alle volumutvidelser og forvitningsreaksjoner i leirskifre medfører redusert mekanisk styrke.

Oksidasjon av sulfid til sulfat forutsetter tilførsel av oksygen og fukt/vann. Dersom en kan kontrollere forvitningsprosessene ved å hindre tilførsel av både oksygen og fukt, vil en også kunne hindre forurensing og utvikling av svelletrykk fra den mest dominerende svellemekanismen i svarte leirskifre.

Q-verdier vil variere som funksjon av forvitningsgrad. I motsetning til andre bergarter der forvitring gjerne skjer langs sprekkeplan vil leirskifre og særlig svarte leirskifre forvitte gjennom «hele» volumet. Vurdering av Q-verdier i svake leirskifre må i tillegg til forvitningsomfang vurdere betydning av gjennomgående skjærdeformasjon, skifrihet og andre sprekkesett som skjærer skifrihet og foliasjon.

Grunnvann i svarte leirskifer beveger seg ikke primært langs definerte sprekker, men gjennom porer og mikroriss i bergmassen. Leirskifere kan oppleves som tette bergarter ved uttak av byggegroper og anlegg i grunnen. Overflaten på nye skjæringsflater er først tørre, men over tid blir flatene ofte fuktige ved at det etableres gradienter med vannsig gjennom skifervolumet ut mot frie flater og tørre luft. For å oppnå vellykket forinjeksjon kreves avansert utstyr og fagkompetanse med erfaring fra tilsvarende arbeider. Injeksjon må utføres med et trinnvis økende trykk, for å kontrollere trykk opp mot hydraulisk splitting under injeksjonsutførelsen.

Alunskifer er på grunn av de syredannende egenskapene en problematisk bergart når det gjelder potensiell forurensing, miljøbelastninger og korrosjon på infrastruktur i grunnen og betong.

Ved bygging i og på alunskifer og svarte leirskifre stilles det krav til helhetlige løsninger som krever samhandling med andre prosjekterende fag (ARK, RIB, RIM, RIV), slik at dette blir hensyntatt også i deres prosjektering.

HMS-forhold som det må tas spesielt hensyn til er støv, radon, H₂S-gass og fare for uteskader i kontakt med surt vann/forvitningsmineraler.

Innhold

1	Innledning	7
2	Svarte leirskifere	7
2.1	Oslofeltet	8
2.2	Gneisområder	13
2.3	Den kaledonske fjellkjeden	14
3	Forvitring av svartskifer/alunskifer	14
3.1	Svellepotensiale	15
4	Egenskaper til ulike etasjer av svarte leirskifre	18
4.1	Alunskifer	18
4.2	Galgebergskifer	20
4.3	Hagabergskifer	20
4.4	Elnes	20
4.5	Arnestad	21
4.6	Nakkholmen	21
4.7	Venstøp	21
5	Bergmasseparametere	22
5.1	Grunntrykk	22
5.2	Bergmassekvalitet - Q-verdi	22
6	Geologisk kartlegging	23
6.1	Ingeniørgeologisk kartlegging	24
7	Geofysiske undersøkelser	26
7.1	Resistivitetmålinger (ERT)	26
7.2	Airborne Electromagnetics (AEM)	27
7.3	Seismikk	28
7.4	Naturlig gammastråling	28
8	Identifisering og karakterisering av svarte leirskifer	28
8.1	Kjerneboring	29
8.2	Prøvetaking og analysering	29
8.3	Våtkjemisk analyse, ICP-MS	30
8.4	Håndholdt XRF	31
8.5	Anbefalt rutiner for XRF	32
8.6	Vannprøver	32
9	Deponering og miljøhensyn	33
9.1	Vann fra anleggsdrift	34
9.2	Vurdering av radioaktivitet	34
9.3	Syredannende potensiale	35
10	Driveforhold	37
10.1	Boravvik	37
11	Bergsikring	38
11.1	Dimensjonering av bergsikring	39
11.2	Bolting	39
11.3	Sprøytebetong	40
11.4	Innsprøyting og overdekning- armerte sprøytebetongbuer og gitterdragere	41
12	Hydrogeologi og injeksjon	42

12.1	Hydrogeologi og permeabilitetsegenskaper	42
12.2	Forinjeksjon	42
13	Forsegling av bergflater i svarte leirskifer	43
13.1	Vanntettingsmembran av EVA	44
13.2	Bitumenpolymer-membran	45
14	HMS	46
14.1	Støvende arbeider – indre og ytre miljø	46
14.2	Forvitret skifer, fare for etseskader og sur avrenning.	46
14.3	Radon	47
14.4	H ₂ S-gass	47
15	Fundamentering ved bygging i svarte leirskifer	48
15.1	Byggegroper	49
15.2	Tunnel/bergrom	49
15.3	Bergskjæring	50
15.4	Fundamenter for bru/veg	50
15.5	Karakteristiske skader på konstruksjoner	50
16	Rehabilitering av kjellerarealer i svartskifer	51
17	Erfaringer fra anlegg i alunskifer	52
17.1	Romeriksporten (1994-1999)	52
17.2	Nye Nationaltheateret stasjon (1995-1999)	52
18	Referanser	54

Vedlegg

Vedlegg A	Mekaniske egenskaper til svartskifer
Vedlegg B	Kalibrering og bruk av XRF til identifisering av type svart leirskifer
Vedlegg C	Korrelasjon mellom uran og total aktivitet og kalibreringskurver
Vedlegg D	XRF Prinsipp for sprøytebetong og membran
Vedlegg E	Erfaringer fra rehabilitering av kjeller

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Formålet med dette GBV-prosjektet er å systematisere og tilgjengeliggjøring av erfaringsdata fra bygge- og anleggsprosjekter i svarte leirskifere, spesielt alunskifer. Disse erfaringene danner grunnlag for prosedyrer for prosjektering, håndtering og innsamling av relevante bergmasseparametere.

IB er for tiden involvert i flere prosjekter med kompliserte beregninger knyttet til bergmassers bæreevne og egenskaper, og ser at det er en økende oppdragsmengde innen dette fagfeltet. Dette prosjektet søker å videreføre datainnsamling, metodeutvikling og håndtering av bergmasseparametere. IB har gjennom oppdragsrettet FoU virksomhet i 2015 fått spesielt stor tilgang på data knyttet til håndtering og bygging i alunskifer, og vil i dette prosjektet sammenstille og tilgjengelig gjøre disse erfaringene

Miljødirektoratet har gitt ut en veileder [1] som har som formål å gi retningslinjer for å identifisere og karakterisere potensielt syredannende bergarter slik at prosjektering og håndtering og tiltak skal kunne foregå på en hensiktsmessig måte.

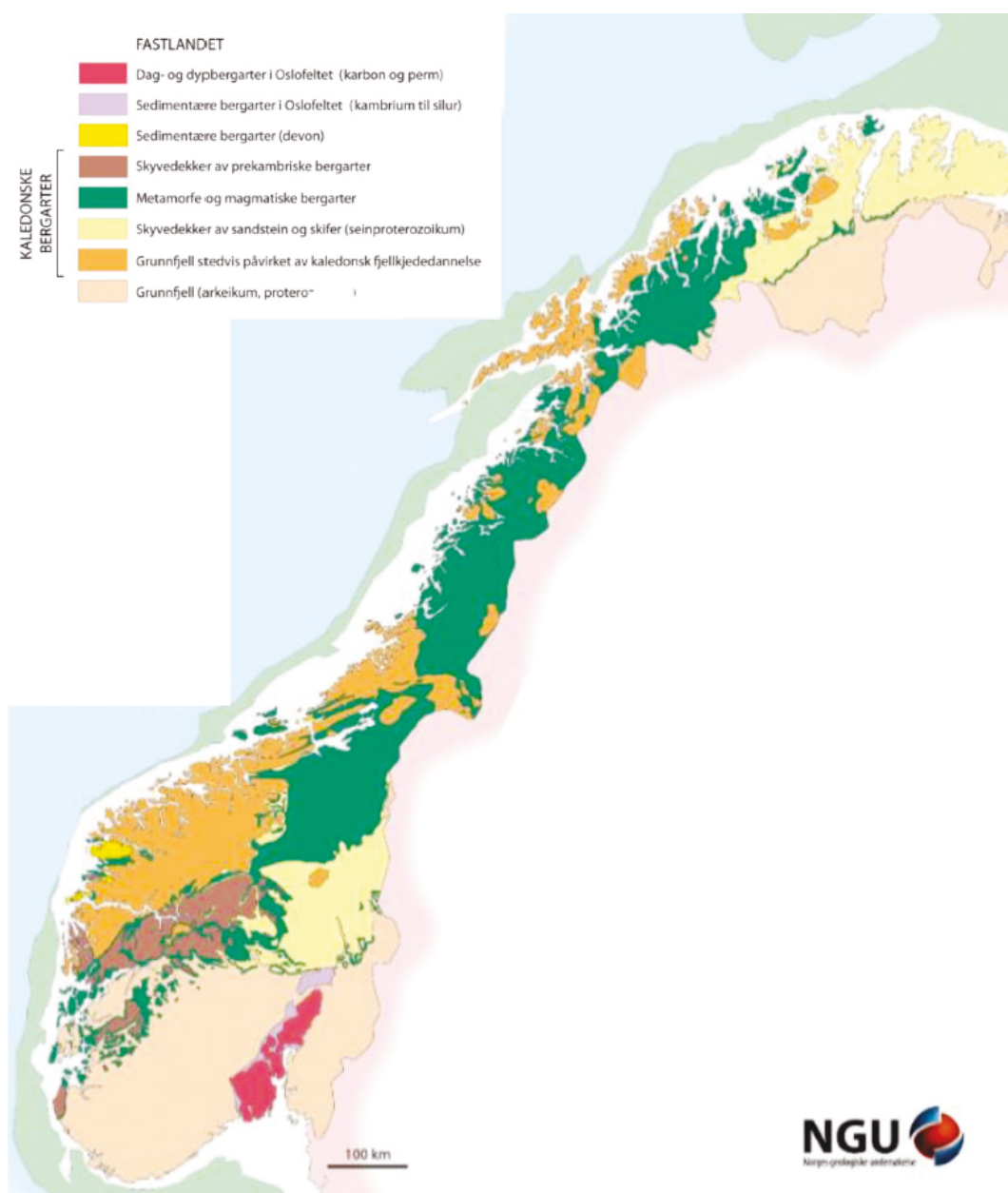
Målsetningen med dette dokumentet er at det skal gi råd og støtte knyttet til utfordringer ved bygging i svarte leirskifre og spesielt alunskifer, uten at det kan regnes som en komplett veileder.

For prosjektering og bygging i alunskifer er det en viktig forutsetning at geofaglig kompetanse trekkes inn i samarbeid med rådgiver på byggeteknikk og vann- og avløp så tidlig som mulig.

2 Svarte leirskifere

Berggrunnen i Norge har store variasjoner i bergartstyper, se Figur 1. Den samme skiferen vil ha ulike egenskaper avhengig av geografisk forekomst [1]. For eksempel har Alunskiferformasjonen på Gran på Hadeland halve innholdet av sulfider i forhold til Oslo/Slemmestad. Dette skyldes at den geologiske historien er forskjellig i ulike områder av landet.

De grønne arealene i kartet i Figur 1, omtalt som metamorfe og magmatiske bergarter, kan inneholde store mengder omdannede leirskifre som kan være sulfidførende. Se [1] for detaljer.



Figur 1: Norgeskartet (www.ngu.no) viser de viktigste enhetene i norsk berggrunn. Det er arealer med lilla farge der det forekommer svart leirskifer i grunnen. De grønne arealene viser områder der det kan forekomme svarte leirskifre. Potensielt syredannende berggrunn kan forekomme i hele landet [1]

2.1 Oslofeltet

Oslofeltet er et nedsunket område av jordskorpen som utgjør en ca. 30-60 km bred sone som strekker seg fra Mjøstraktene i nord til ytre Oslofjord og videre i sør. Innenfor dette feltet var det i karbon-perm tiden (295-245 mill. år siden) stor geologisk aktivitet med

kraftige horisontale strekkspenninger, forkastninger, nedsynkning av området (graben-dannelse), vulkanisme (bl.a. basalt- og rombeporfyr-lavaer), kalderadannelser (større, sirkulære innsynkninger), smale intrusjoner (diabas- og syenittganger) og inntrengning av store magmamasser som størknet på dypet (bl.a. granitter og syenitter).

I øst og vest er feltet begrenset av forkastninger med retning N-S som skiller feltets hovedsakelige kambrosiluriske og permiske bergarter fra eldre grunnfjellsbergarter.

Tabell 2-1 viser oppbygging av leirskiferlagrekken fra kambrium til silur i Oslofeltet. I denne lagrekken veksler svarte leirskifre, grå leirskifre og kalkrike leirskifere. Denne vekslingen forteller at det var store endringer i sedimentasjonsforhold i denne perioden. Der lagrekken ikke er forstyrret vil en finne rekkefølgen som oppgitt i Tabell 2-1. Geologiske hendelser gjennom historien har stedvis stokket om på rekkefølgen. Man kan derfor forvente flere steder å finne at rekkefølgen kan være omvendt eller at deler av lagrekken mangler eller er repetert. Tektonisk påvirkning har medført ulike bruddmønstre og omrokking av lagrekken. Forekomsten av alunskifer viser at sub-horisontale overskyvninger er utbredt. Mektigheten på lagpakken som utgjør alunskifer er anslått til ca. 80 meter. Helningsvinkelen på lagrekken er i erfaringsvis mellom 30° og 60° mot NV, se også [2]. Med en slik orientering må en forutsette tektoniske overskyvninger for å forklare utbredelsen av alunskifer fra nær Deichmann Hovedbibliotek (ring 1) og videre mot Oslo havn.

Svarte leirskifre i Oslofeltet er dannet av sedimenter avsatt i oksygenfattige (anaerobe) miljø i de geologiske tidsperiodene Kambrium til Silur. Tungmetaller inkludert uran, anrikes i bunnsedimenter under anaerobe forhold og svarte leirskifre er rike på sulfidmineraler, uran og tungmetaller. De inneholder i tillegg en fraksjon med rester etter omdannet organisk materiale (varianter av kull, vanligvis som antrasitt). Omdannet organisk materiale registreres i kjemiske analyser som totalt organisk karbon (TOC). Sammensetning og oppbygging av sedimentene samt kjemiske forhold ved dannelse vil variere over tid som følge av variasjoner i avsetningsmiljøet. Dette reflekteres i variasjoner i mekaniske- og kjemiske egenskaper til ulike etasjer og horisonter i alunskifere og andre leirskifre. Det er også variasjoner internt i etasjene.

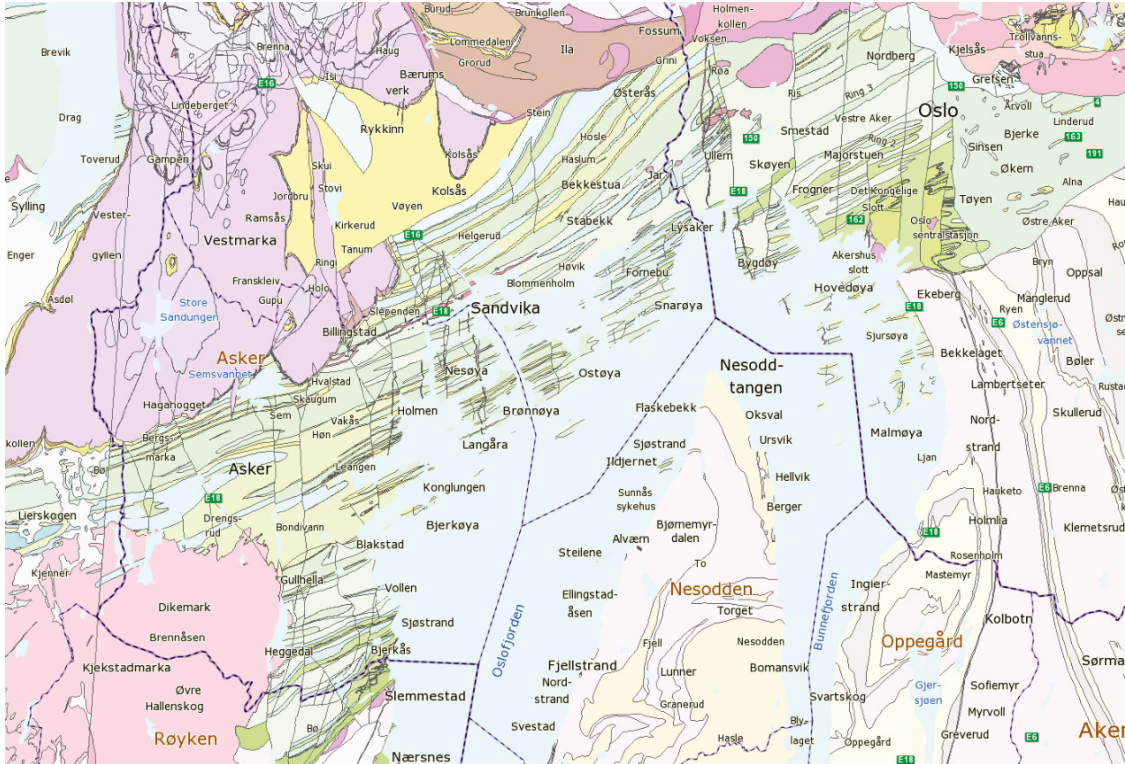
Leirskifre har et opprinnelig høyt innhold av leirmineraler som ikke er særlig påvirket av trykk og temperatur etter avsetning, og dermed ikke omvandlet til nye mineraler (metamorfose). Det betyr at mineralskorpene dels er leirmineraler (lavtemperaturmineraler) fra opprinnelig sediment og dels nydannede mineraler (leirmineraler, glimmere, kvarts, karbonater, sulfidmineraler).

Tabell 2-1. Modifisert etter Owen et al. 1990 [3]. Lagrekken i kambro-silur skiferne, svarte leirskiferhorisonter er markert med mørk grå. Mulig forekomst av svart leirskifer er merket med lyse grå. Kapittel 4 gir en nærmere beskrivelse av disse. Eldre skifere enn kambro-silur og som tilhører Biri og/eller Brøttum formasjonene er også inkludert [1].

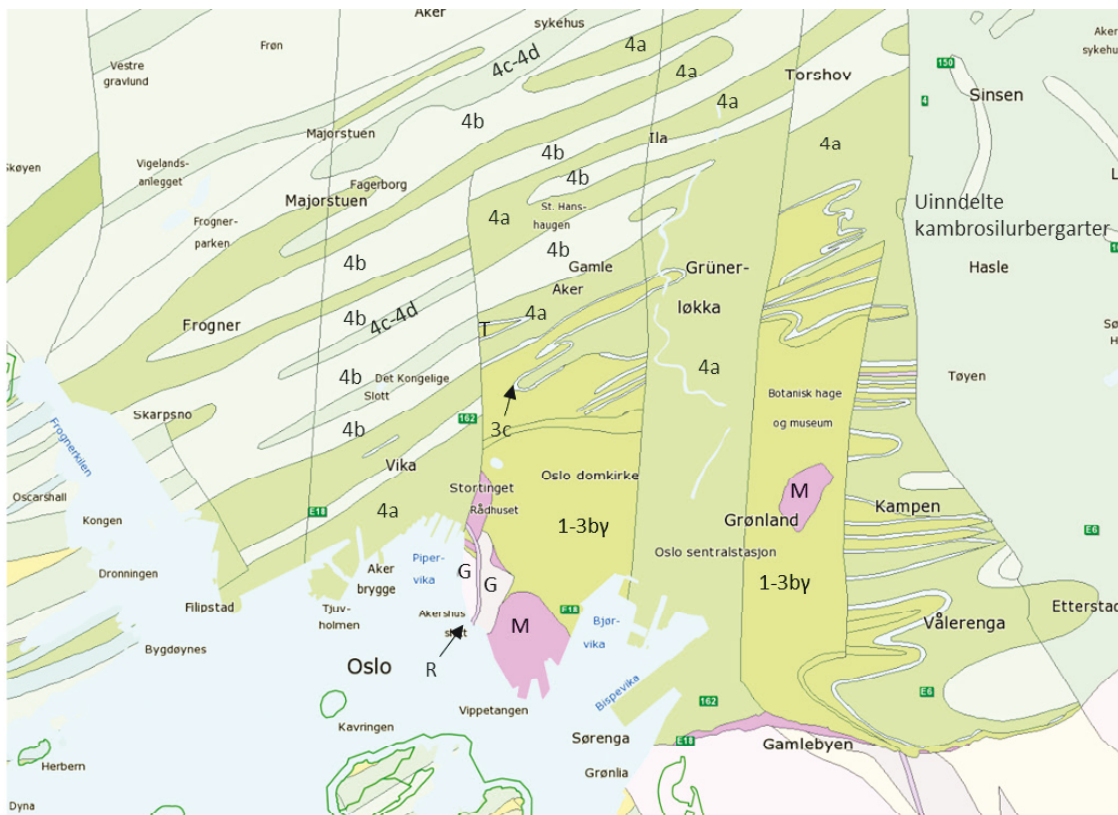
Etasje	Oslo-Asker Formasjon	Hadeland Formasjon	Hamar Formasjon	NGU inndeling på kart	Mektighet (m)	Alder	
4d				Oslo		Sen ordovicisk	471-443 mill. år
4cα	Venstop	Lunner*		Oslo	Oslo 7-10m Lunner fm <185m	Midt ordovicisk	
4bδ	Solvang			Oslo	12-20		
4bγ	Nakkholmen			Oslo	13-20		
4bβ	Frognerkilen			Oslo	10-20		
4bα	Arnestad	Arnestad/Furuberg	Arnestad/Furuberg	Oslo	22-40		
4aβ	Vollen		Vollen/Hovins holm	Oslo	> 45		Tidlig Ordovicisk
4aα	Elnes	Elnes	Elnes/Bjørge	Oslo	60-80		
3c	Huk3	Huk3	Svartodden Herran/Stein	Røyken	2-5 m		
3cβ	Huk2	Huk2		Røyken	2-5 m		
3cα	Huk1	Huk1		Røyken	2-5 m		
3bβ	Galgeberg	Galgeberg	Galgeberg	Røyken	5-10 m		
3bα	Hagaberg	Hagaberg	Hagaberg	Røyken	3-8 m		
3aγ	Bjorkåsholmen	Bjorkåsholmen	Bjorkåsholmen	Røyken	1-2 m		
3aα, 3aβ	Alunskifer-3	Alunskifer-3	Alunskifer-3	Røyken	~80 m men stor variasjon	Sen kambrium	501-488
2a-2e	Alunskifer-2	Alunskifer-2	Alunskifer-2	Røyken			
1	Alunskifer-1	Alunskifer-1	Alunskifer-1	Røyken			
	-	-	Biri Brøttum	Biri Brøttum	1500 m	Eokambrium	<542

Det er særlig to viktige geologiske perioder som preger opptreden, utseende og bergmekaniske egenskaper til leirskiferbergartene i Oslo-feltet.

Under dannelsen av den *kaledonske fjellkjeden* (ca. 400 millioner år siden), ble kambro-silurlagrekken komprimert i NV-SØ retning som følge av kontinentkollisjon mellom Grønland og Skandinavia. Komprimeringen utsatte leirskifrene for en skjærdeformasjon med utvikling av en gjennomsettende skiffrighet i tillegg til opprinnelig lagdeling. Skjærsoner med knusning og lokal folding er også et resultat av denne skjærdeformasjonen. Figur 2 og Figur 3 gir en oversikt over orientering til kambrosilurbergartene i Oslo-området. Strøk til skiffrigheten er normalt NØ-SV [2] [4] med fallvinkel 30° - 60° mot nordvest. Foldeaksen er vanligvis ca. 90° på kompresjonsretningen. Skiffrigheten gir slike bergarter en anisotropi. Siden deformasjonen har skjedd ved lave temperaturer < 200°C vil det kunne være soner med leirmineralisering og svekkete mekaniske egenskaper.



Figur 2: Utsnitt fra NGU.no sitt berggrunnskart 1:50.000. De Kambro-silurske avsetningene/lys grønt og lys gult har generelt et strøk NØ-SV, men dette kan variere lokalt. "Sterke" lilla, rød- og brunlige farger viser til magmatiske bergarter fra Perm. Duse rosa- og gulffarger som ved Nesodden og Oppegård er prekambrisk grunnfjell.



Figur 3: Utsnitt fra NGU.no sitt berggrunnskart 1:50.000 Oslo sentrum. De Kambro-Silurske avsetningene (grønt/lys grå) har generelt et strøk NØ-SV, men dette kan variere lokalt. Bokstaver viser til NGUs tilhørende bergartsbeskrivelse for de ulike bergartene/-gruppene, i Tabell 2-2.

Tabell 2-2: Bergartsbeskrivelser fra papirversjon av berggrunnsgeologisk kart fra NGU [2] til et utvalg av grupperinger i Figur 3. Se [2] for mer detaljert info.

- G: Granittisk til granodiorittisk gneis, migmatittisk og biotittrik med grå øyne av kalifeltspat (1-2 cm)
- M: Mikrosyenitt med albitt (mænaitt)
- R: Rombefyr
- 1-3by: Røykengruppen: Skifer, svart og grønn, i lagvis veksling (Tøyenformasjonen 3b). Kalkstein med dolomitt i toppen av formasjonen (Bjørkåsholmenformasjonen 3aγ). Skifer, karbonholdig med konkresjoner av stinkkalk og tynne kalk- og sandsteinslag. Bunnlag av konglomerat og sandstein (Alunskiferformasjonen 1-3aβ)
- 3c: Kalkstein, knollekalk og skifer, massiv kalkstein i toppen og bunnen av formasjonen, knollekalk og skifer i midten (Hukformasjonen et. 3c).
- 4a: Knollekalk (Vollformasjonen et. 4aβ) og skifer (Elnesformasjonen et. 4aα)
- 4b: Skifer og kalkstein i veksling (Solvangformasjonen et. 4bδ). Skifer, gråsvart, med spredte kalksteinslinser (Nakkholmenformasjonen et. 4by). Knollekalk, forholdsvis massiv (Frognerkilenformasjonen et. 4bβ). Skifer, brunlig med lag av kalksteinknoller (Arnestadformasjonen et. 4bα)
- 4c-4d: Skifer siltig til sandig, med lag av kalkstein og sandstein (et 4d)

I den geologiske perioden *Perm* (ca. 270 millioner år siden) ble Oslo-riften dannet. Denne perioden er preget av oppsprekking i jordskorpen og vulkansk aktivitet. Steile gjennomsettende sprekesett og svakhetssoner/skjærplan, samt magmatiske intrusjoner av mænaitt, se Figur 4, (ultrafinkornet lys bergart med syenittisk sammensetning) kan knyttes til denne hendelsen. Mænaitten kan forekomme som linser eller lag som er mer utholdende langs skifriheten. Den kan også følge svakhetssoner i bergmassen. I forbindelse med driving av Fjellinjen ble det registrerte horisontale lag av vekslende mænaitt og alunskifer.



Figur 4. Mænaittgang. Bildet er hentet fra [5].

Smeltebergartene er ca. 200 millioner år yngre enn leirskifrene. Varmen fra smelten har påvirket nærliggende leirskifre lokalt både mekanisk og kjemisk (kontaktomvandling/-metamorfose). Omfang av påvirkning er avhengig av volumene på smelten som kommer i kontakt med leirskiferen. Kontaktomvandlet alunskifer i forbindelse med magmatiske intrusiver fremstår ofte mer massiv enn uomvandlet alunskifer.

2.2 Gneisområder

I Aust- og Vest-Agder kan sulfider finnes som sulfidrike tynne bånd i ulike gneisvarianter. Disse finnes som anrikninger i ganger og oppkonsentrert i mørke bergarter, da spesielt amfibolitter. Gneisområder på Sørlandet kan inneholde sulfider i

så høye konsentrasjoner at de kan forårsake lave pH-verdier i sigevann. Disse båndene er vanskelige å oppdage uten en tilstrekkelig geologisk kartlegging.

2.3 Den kaledonske fjellkjeden

Bergartene som utgjør den norske fjellkjeden viser stor variasjon. Store arealer utgjøres av leirskifer av samme opprinnelse som Oslofeltets leirskiferlagrekke.

3 Forvitring av svartskifer/alunskifer

Forvitring i svartskifer kan igangsettes ved tilgang på fukt og oksygen. Et overordnet mål ved bygging i svartskifer med svellende egenskaper er at det skal etableres en statisk situasjon. For å ivareta dette må en ha kontroll på vann i grunnen, samt hindre overflatevann å komme i kontakt med alunskifer.

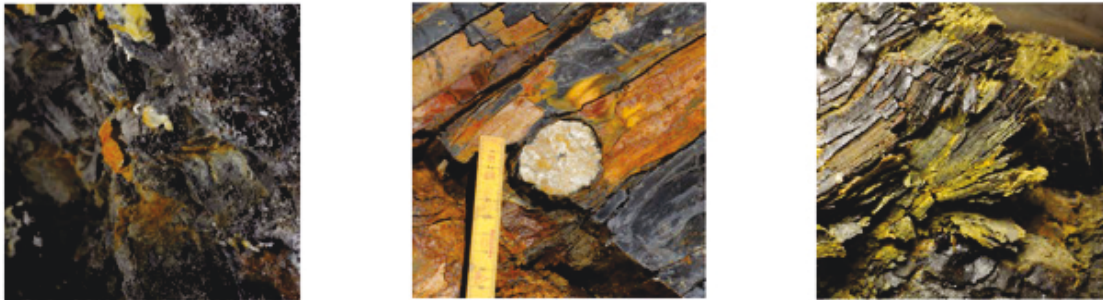
Forvitring og utvikling av svelletrykk i svarte leirskifer domineres av at sulfider oksideres til sulfater. Sulfatminerale har et større volum enn sulfidminerale. Alle volumutvidelser og forvitningsreaksjoner i leirskifer medfører redusert mekanisk styrke.

Oksidasjon av sulfid til sulfat forutsetter tilførsel av oksygen og fukt/vann. Dersom en kan kontrollere forvitningsprosessen ved å hindre tilførsel av både oksygen og fukt, vil en også kunne hindre forurensing og utvikling av svelletrykk fra den mest dominerende svellemekanismen i svarte leirskifer.

Leirskifer med relativt høye andeler med leirminerale og TOC vil ha en laminert struktur (fissile texture) og kan spaltes i millimeter tynne flak. Svarte leirskifer kalles derfor ofte "fliseberg", og kan ha et betydelig raskere forvitningsforløp enn andre bergarter. Ved spenningsavlastning kan de utvide seg. Størst volumutvidelse vil skje i retning normalt på orienteringen av lamineringen.

Oppflaking, form, størrelse og fordeling til sulfidminerale styrer kontaktareal mellom sulfidminerale og fukt/oksygen i skiferen. Jo mindre mineralkorn skiferen består av desto større total kontaktareal mot fukt/oksygen. Forvitningshastigheten øker med økt kontaktareal. Dette sammen med tettheten på lagdelingsplan/skifrihet styrer derfor forvitnings-, svelletrykks- og forurensende potensiale. Forvitringen kan akselerere slik at bergmekaniske egenskaper endres betydelig i løpet av 10-30 år. Det er derfor viktig å velge løsninger som hindrer at det igangsettes forvitring.

Ulike svartskifer har ulikt potensiale for forvitring, svelletrykk og forurensing, der alunskifer erfaringsvis utvikler de høyeste svelletrykk og størst forurensning ved forvitring, se eks i Figur 5. Alunskifer har større svellepotensiale og kan utvikle større svelletrykk enn f.eks Galgebergskifer og Elnesskifer. Dette skyldes en større spaltbarhet, tetthet av spalteplan og finfordeling av sulfidminerale.



Figur 5. Omfang av syredannende forvitningsprosesser i Elnesskifer, Galgebergskifer og alunskifer, respektivt fra venstre [6].

Ved spenningsavlastning kan svarte leirskifre utvide seg, mest i en retning normalt på orienteringen av lamineringen. Frigjorte flater i svarte leirskifere forandrer fysiske egenskaper over tid (dager og uker) fra en fast skifer til en mekanisk svakere skifer. Maskinførere har registrert at alunskifer som opprinnelig var tung å pigge, var betydelig lettere å pigge 50 cm til etter 2 uker. Det er derfor viktig å forsegle skiferflaten så raskt som mulig etter at flater er frigjort.

Det er oksidasjon av sulfid til sulfat som er årsak til at pH-verdien i sigevann i kontakt med forvitret skifer kan være meget lav. Når pH synker til <4 skjer en kraftig akselert forvitring. Da vil de aller fleste mineraler gå i oppløsning mye raskere enn de ville gjort under pH-nøytrale forhold.

Kjennetegn på forvitring i svarte leirskifre kan være fargeskiftninger i gult-orangerustbrunt. Fargeskiftninger vil imidlertid ikke alltid være tilstede. Vannanalyser vil kunne påvise pågående forvitring i svarte leirskifere. Vannet kan farges av jernutfellinger eller forbli klart. Dette avhenger av pH og omfang av forvitring. Det forurensende potensialet er derfor avhengig av flere forhold.

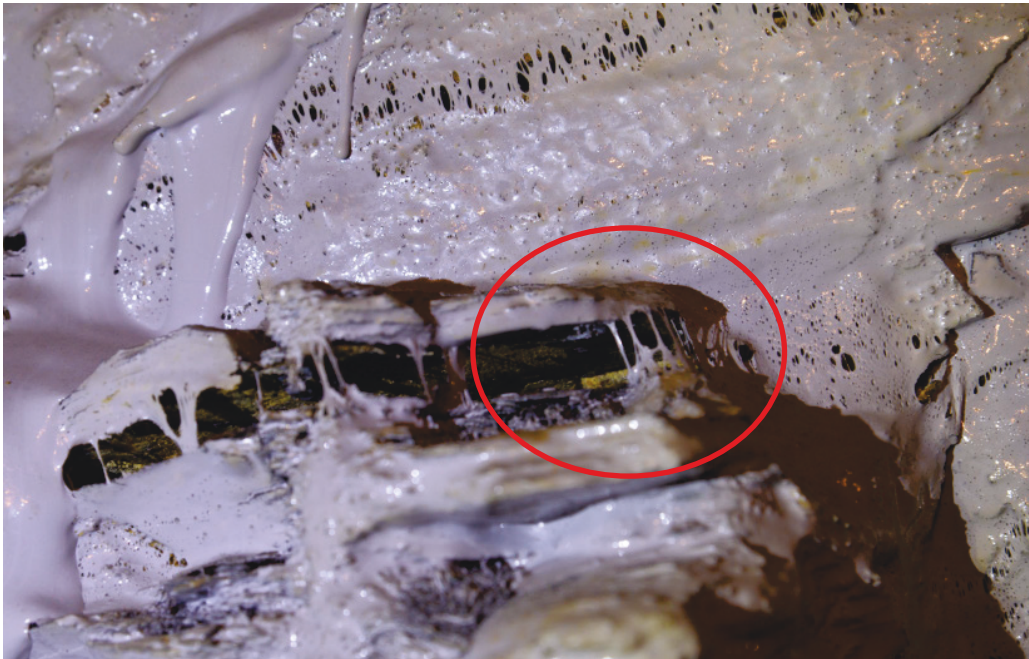
3.1 Svellepotensiale

Svelletrykk skyldes volumutvidelser i bergmassen som resultat av ny mineralvekst (som krever større plass) og/eller mineraler som tar opp vannmolekyler i krystallstrukturen (Figur 7). I umettet sone (over grunnvannsspeil) kan begge disse svellemekanismene foregå, ofte i samvirke. Ny mineralvekst er ikke reversibel, mens opptak av vannmolekyler i leirmineraler er reversibel og styrt av blant annet relativ fuktighet.

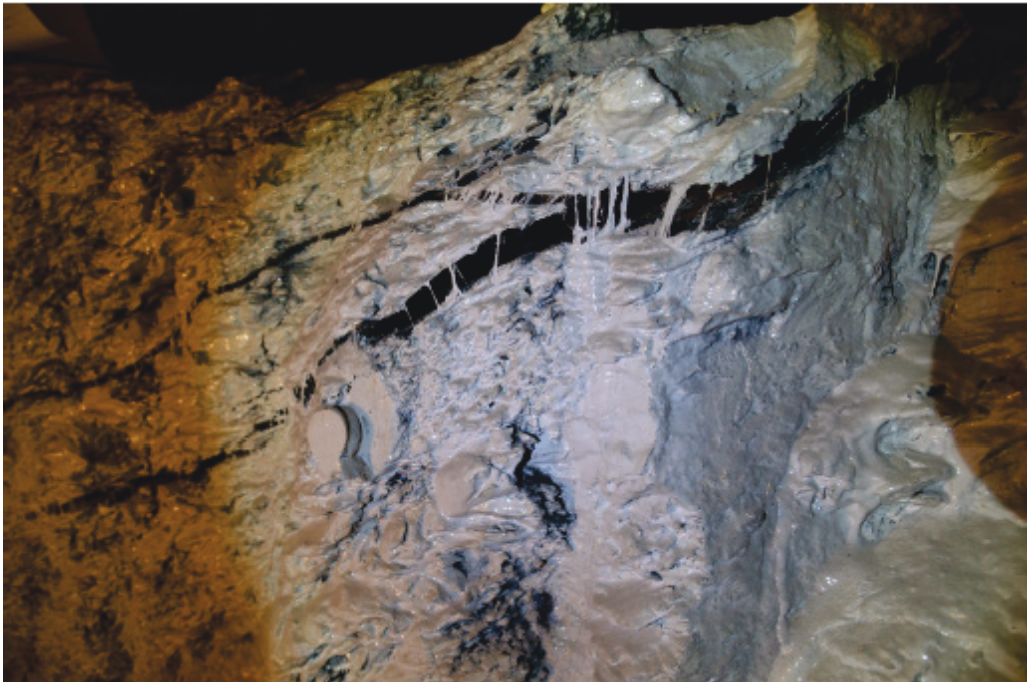
Det er fire mekanismer som alle kan bidra til utvikling av svelletrykk:

- Sulfid omdannes til sulfat (som er et større mineral) og sulfat kobler seg til kalsium og danner gips (Figur 6).
- Leirmineraler tar opp vannmolekyler i krystallstrukturen (dette er en reversibel prosess), mengde leirmineraler er avgjørende for svellepotensialet (Figur 7).

- ↗ CaSO₄ (anhydritt) tar opp vann og omdannes til gips CaSO₄·2H₂O.
- ↗ I tillegg dannes jernsulfater. Disse har også større volum enn sulfidene de er dannet fra. Det er usikkert i hvilken grad disse bidrar til utvikling av svelletrykk.



Figur 6. Svelling i svart leirskifer ved dannelse av gips. Membran ble påført skiferoverflaten i 2008. Bildet er tatt i 2016. Strekk i membran viser at svellingen har skjedd etter at forsegling var utført.



Figur 7. Svelling av svart leirskifer, trolig forårsaket av svellende leirmineraler. Sprekken er åpen og det er ikke registrert noen fylling av gips etc.

Omdanning av sulfid til sulfat er en red-oks relasjon og er kvantitativt den mest dominerende mekanismen i svarte leirskifre. Sulfatmineralene som utvikles har et større volum enn de opprinnelige sulfidmineralene og man vil kunne få heving av skiferen. Mineraler som kan gi svelletrykk ved sulfat og gipsdannelse har både oksygen- og vannmolekyler i mineralstrukturen, og forutsetter tilførsel av luft og fukt. Fuktighetsnivået har betydning for vekst av sulfatmineraler [6]. Sulfatmineraler er vannløselige og dersom fuktighetsnivået er for høyt vil ikke nye mineraler vokse, men forbli løst i vannfasen. Ved en relativ luftfuktighet på 20 – 70/80%, vil forholdene ligge til rette for svelling i leirskiferen. Kapillært sug kan gi ideelt fuktighetsnivå for ny mineralvekst.

Potensialet for å danne gips er avhengig av CaO-innhold. Horisonter med et høyt innhold av CaO har et større svelletrykkspotensiale enn horisonter med lavt innhold av CaO. Etasje 3a i Alunskiferformasjone har et betydelig lavere innhold av CaO og svovel enn etasje 2 i Alunskiferformasjone, og dermed et lavere svelletrykkspotensiale.

Når en betrakter hvor stort volum de ulike sulfatmineraler krever i forhold til det opprinnelige sulfidmineralet, kan en få et vurderingsgrunnlag for en potensiell nødvendig volumutvidelse ved nyvekst av sulfatmineralene. Volumendringen (ΔV) inngår i beregningen av den frie Gibbs energi (fysikalsk kjemi) for slike mineralreaksjoner. Det er størrelsen på den frie Gibbs energi som forteller hvor «villig» en kjemisk reaksjon er. I utvikling av svelletrykk (dannelsen av gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)) er det således størrelsen Gibbs energi for en reaksjon som bestemmer dette.

Utvikling av svelletrykk ved anhydritt eller leirmineraler som smektitt og vermikulitt, krever kun tilførsel av fukt, og kan dermed ikke kontrolleres ved forsegling alene. Omfang og betydning av svellende leirmineraler og anhydritt i svarte leirskifre er imidlertid lite omtalt/ikke kjent. Anhydritt skal være registrert i alunskifer, men det er liten kjennskap til omfang og betydning for svelling. Undersøkelser ved XRD – mineralanalyse kan benyttes for å påvise svellende leirmineraler og anhydritt.

Leirskifer kan utvikle svelletrykk på ca. 2 MPa (~ 200 t/m²) [1]. Typiske skader på konstruksjoner er fundamentskader, løft i vegger, knusing av infrastruktur i grunnen. For en mer detaljert beskrivelse, se kapittel 15.5.

4 Egenskaper til ulike etasjer av svarte leirskifre

Begrepet leirskifer forteller at sedimentet kun har vært påvirket av svært lav metamorfosegrad. Metamorfosegrad har tre parametere; trykk, temperatur og vanntrykk (P_{H2O}). Dette innebærer at leirmineraler ikke er fullstendig omdannet til glimmermineraler og at kornstørrelsen er svært liten. I tillegg har disse leirskifrene vært utsatt for mekaniske påkjenninger i form av skjærkrefter. Disse mekaniske påkjenningene medfører at det er flere gjennomsettende sprekkese, og at det er utviklet en skifrihet med tett avstand mellom skifrihetsplanene.

Tabell 4-1 gir en oversikt over egenskaper og potensielt skadeomfang for utvalgte svarte leirskifere som kan påtreffes i Oslofeltet.

Tabell 4-1. Egenskaper og potensielt skadeomfang for utvalgte svarte leirskifere som kan påtreffes i Oslofeltet [1].

Leirskifer	Lav pH	Svelleskade	Radon	Uran	Styrke
Alunskifer	****	****	****	***(*)	*
Galgeberg Oslo	*(*)	*(*)	***	**	**
Galgeberg Gran	*	(*)	***	**	*(*)
Elnes Oslo	*	*(*)	*(*)	*	**
Elnes Hamar	*	*(*)	*(*)	*	*

Under følger en beskrivelse av særtrekk for de ulike svarte leirskifrene, som er uthevet i Tabell 2-1 i motsatt rekkefølge.

4.1 Alunskifer

Alunskifer er en svart leirskifer bestående av marine sedimenter avsatt i et oksygenfattig miljø på havbunnen. Kjemiske analyser har vist at alunskifer har de høyeste målte verdier av sulfidmineraler og innhold av TOC (blant annet mineralet antrasitt) blant

svarte leirskifre. Alunskifer er også den av svartskifrene som er rikest på uran og tungmetaller [1]. I alunskifer er sulfidmineralene fordelt som små mineralkorn (ned til 2-3 μ), som gir en større kontaktflate for reaksjon mellom sulfidmineraler og luft og fukt og dermed et større forvitnings-, svelletrykks- og forurensningspotensiale enn de andre svarte leirskifrene.

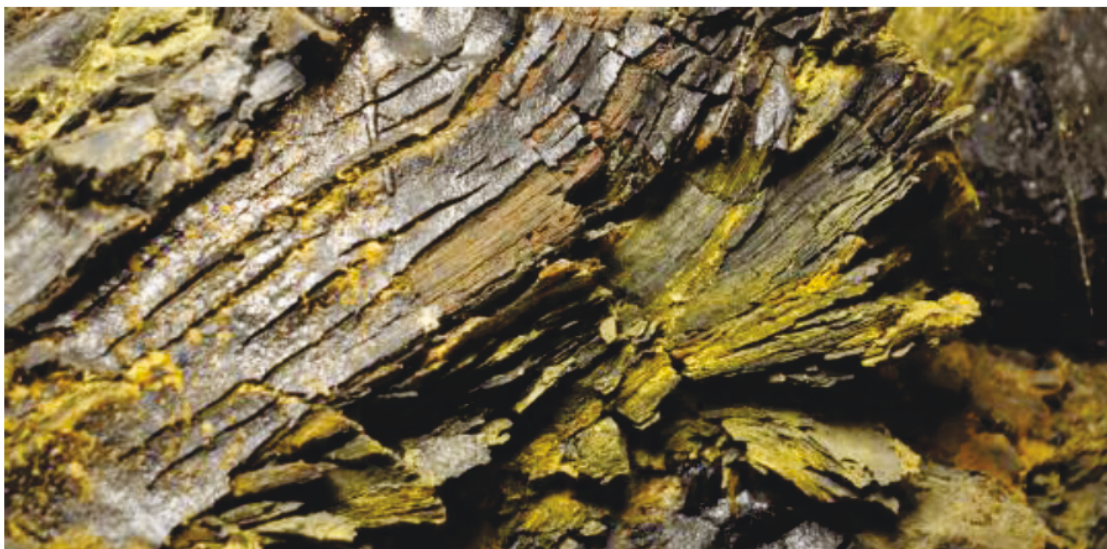
Alunskiferens egenskaper varierer noe basert på hvilken etasje man befinner seg i. Etasje 3a har bl.a. lavere innhold av svovel og kalk og dermed mindre svelletrykkspotensiale.

Forurensning skjer enten direkte ved vannsig gjennom alunskiferen eller ved at vannløselige sulfater løses i vann i kontakt med forvitret alunskifer. Vann i kontakt med forvitret alunskifer kan være helseskadelig for organismer og påføre etseskader på hud og slimhinner på grunn av en svært lav pH-verdi.

Erfaringer fra ulike byggegroper/bergrom viser at frigjorte flater i alunskifer forandrer fysiske egenskaper over tid (dager og uker) fra en fast skifer til en mekanisk svakere skifer. Det er derfor viktig å forsegle alunskiferoverflaten så raskt som mulig etter at skiferflater er frigjort.

Alunskifer er på grunn av de syredannende egenskapene en problematisk bergart når det gjelder potensiell forurensing, miljøbelastninger og korrosjon på infrastruktur i grunnen og betong.

Ved kartlegging av alunskifer er det viktig å være oppmerksom på at "Sort strek" ikke er en sikker identifisering av alunskifer da det er flere leirskifertyper som kan ha sort strek [1]. Alunskifer med høyt kalkinnhold eller grad av omvandling vil kunne gi lys-grå/grå strek.



Figur 8: "Alunskifer som forvittrer ved tilgang på fuktig luft vil svulle til et volum som kan være 2-3 ganger større enn opprinnelig volum (høyden på bildeutsnittet er ca. 5 centimeter). Gule utfellinger er $Fe_2(SO_4)_2$ mineraler (jarositt eller koptitt)" (fra [1]).

4.2 Galgebergskifer

Tøyenformasjonen som er 15-30 meter mektig består av Galgeberg- og Hagaberg leddene. Svart leirskifer fra Galgebergheten er av utseende svært lik alunskiferen. De mekaniske egenskapene og forvitringsegenskapene er forskjellige fra alunskiferen. Ved forvitring vil potensiell forurensning være mindre enn for alunskifer. Den har heller ikke samme syredannende potensiale eller svelletrykkspotensiale. Dette skyldes at mineralaggregatene til sulfider er større og ikke så jevnt fordelt i bergarten som i en alunskifer og at innhold av leirmineraler er noe lavere.

Galgebergskifer kan ha et annerledes bruddmønster enn alunskifer. Ofte kan Galgebergskifer utvikle et kubisk (terningsmønster) i sprekkesystemene. Den kan derfor ha dårlig stabilitet ved etablering av høydesprang og vertikale flater.

4.3 Hagabergskifer

Hagabergskifer er en grønn-grå mer massiv leirskifer. Denne inneholder runde aggregater av pyritt. Disse ligger spredt i skiferen. Ved forvitring forvandles den grønn-grå farge til rustbrun farge. Knust Hagabergskifer forvittrer relativt raskt. Hagabergskifer har svake bergmekaniske egenskaper (svakere enn alunskifer).

4.4 Elnes

Elnes-formasjonen er hovedsaklig en skifer med lag av siltstein (noe grovere partikler enn i skiferen), men oppover i formasjonen kommer det inn stadig mer kalkstein i form av knoller

og etterhvert kontinuerlige lag. Elnes-skiferen er en svart skifer og kan være vanskelig å skille fra andre svarte skifere som Galgeberg- og alunskiferen.

Elnesskifer kan ha et svellepotensiale, den har lav mekanisk styrke og den har moderate radonproduserende potensial ([1] og Tabell 4-1).

Ved Ankerskogen svømmehall på Hamar har Elnesformasjonen forårsaket skader i lette konstruksjoner på bygninger [6]. Her var et ca. 20 -30 cm tykt pukklag av Elnesskifer benyttet som avrettingslag.

4.5 Arnestad

Arnestad-formasjonen er en skifer med spredte kalkknoller og enkelte kontinuerlige kalksteinslag mot toppen. I Oslo-området fremstår skiferen som mørk – lys grå, mens den vest i Asker og på Ringerike er grønn-grå. Horisontene innen denne formasjonen har vanligvis en mektighet på 30-40 meter, med en største mektighet på 70 meter [3]. Formasjonen er ganske rik på fossiler, bl.a. trilobitter, brachiopoder og snegler.

4.6 Nakkholmen

Nakkholmen-formasjonen fremstår som en mørk leirskifer med mektighet på ca.40 m i vest 12 m i østlig del av Oslo-Asker [4]. Svarte kalkknoller opptrer spredt. I nedre del av formasjonen er kalkknollene opp mot 30 cm tykke, isolerte og ellipseformede. I øvre del av formasjonen er kalkknollene tynnere og fremstår som horisonter. Pyritt kan finnes i hele formasjonen. I vestlig del av Oslo-Asker er formasjonen mer kalkholdig og skiferen har mindre mektighet og er blekere i fargen [3].

4.7 Venstøp

Venstøp framstår som en massiv til svakt skifrig mørk gråblå finkornet pyrittrik formasjon. Pyrittinnholdet gir bergarten en mørk brun forvitningsfarge og der bergarten er impregnert av pyritt og lite blottet kan det være vanskelig å skille formasjonen fra en diabasgang. Skifriheten skriver seg fra nyvekst av glimmer(biotitt). Registrert mektighet på denne formasjonen er fra 11 meter og opptil ca. 25 meter [4].

5 Bergmasseparametere

I vedlegg A er det gitt en oversikt over resultater fra utførte bergmekaniske tester for ulike etasje svarte leirskifere.

5.1 Grunntrykk

Grunntrykk på berggrunn bestemmes vanligvis på grunnlag av erfaringer med tilsvarende bergarter. Det meste av berggrunnen i Norge har så høy bæreevne at tillatt grunntrykk bestemmes skjønsmessig. Ofte er fastheten av betong bestemmende.

Leirskiferen, og spesielt alunskifer, kan imidlertid være så svak at tillatt grunntrykk må beregnes ut fra flere parametere som angir bergmassens styrke. Se vedlegg A for eksempel på beregning av tillatt grunntrykk i svarte leirskifere.

5.2 Bergmassekvalitet - Q-verdi

Q-verdier vil variere som funksjon av forvittringsgrad. I motsetning til andre bergarter der forvitring gjerne skjer langs sprekkplan vil leirskifre og særlig svarte leirskifre forvitte gjennom «hele» volumet. Vurdering av Q-verdier i svake leirskifre må i tillegg til forvittringsomfang vurdere betydning av gjennomgående skjærdeformasjon, skifrihet og andre sprekkesett som skjærer skifrihet og foliasjon.

Bergmassekvaliteten til spesielt alunskifer kan innenfor få meter veksle mellom å være relativt massiv og småfallen/svært oppsprukket med mer plastiske egenskaper og /eller rik på leire. I tillegg til lokal skjærdeformasjon har også lokal sammensetning og grad av metamorfose en betydning. Leirrike skifermasser har ofte et tett oppsprekkingsmønster mens kalkrike lag/skifermasser er stivere og kan fremstå mer massive med færre og tydeligere sprekkesett med større avstand mellom sprekker.

I tillegg til mænaitt opptrer ofte innslag av hardganger som kan være kvartsrike med kalsittbånd, se kapittel 2.1. Disse er forventet å gi bl.a. høyere boreslitasje og rystelser. Kontaktmetamorfose i forbindelse med magmatiske intrusiver har i mange tilfeller en mer massiv mindre oppsprukket bergmasse, med større avstand mellom sprekkene og innfylling av f.eks. kisminerale.

Alunskifer har erfaringsvis Q-verdier varierende mellom hovedsakelig 0.1 – 2, men soner med $Q=0.01$ og lokale leirsoner forekommer og må hensyntas.

Orientering til skifrihet/lagdeling kan ofte variere mye innenfor et par meter som følge av folding. Dette er normalt fordelaktig med tanke på stabiliteten, men avhenger av størrelsen på folding i forhold til anlegget.

I Oslo sentrum har alunskiferen erfaringsvis 3-4 sprekkesett som kan avløse hverandre.

- ↗ Skifriheten med stedvis veldig varierende orientering. Hovedsakelig med strøk ca. NØ-SV/ØNØ-VSV og fall mellom 30-60° mot NV.
- ↗ 1-2 nær vertikale sprekkesett med strøk ca. N-S eller NØ – SV, hovedsakelig med fall mot V.
- ↗ 1 sprekkesett med strøk ca. NØ-SV og fall ca. 40-70° mot SØ.

Alunskifer spesielt har ofte undulerende glideplan langs skifriheten, stedvis med velutviklet glidespeil (slickensides). De nær vertikale N-S gående sprekkesettene har erfaringsvis glatte og plane sprekkeflater.

Ved vurdering av J_a og J_r , bør en ta hensyn til at evt. ujevnheter ikke nødvendigvis representerer like stor grad av stabiliserende effekt som hos sterkere bergarter (ved skjærbevegelse brytes de lettere ned. Sprekkeoverflaten forventes å omdannes/forandre egenskaper relativt raskt. J_a kan derfor som tommelfingerregel settes til 2 selv om det ikke er observert omvandling på sprekkeoverflaten.

6 Geologisk kartlegging

Geologiske kart gir informasjon om hvilke bergarter en kan forvente å påtreff i grunnen. Det er to viktige kartserier som ligger til grunn, 1:50.000 serien og 1:250.000 serien. Nettstedet www.ngu.no informasjon om berggrunnen og digitale kart. Der kan en velge visning av ulike typer kartlag (under "Kart" og "lag kart"). Det anbefales bruk av papirutgavens bergartsbeskrivelser, da disse gir en mer korrekt og detaljert beskrivelse enn www.ngu.no.

I tillegg til forkastningssoner/dypsrenner bør en være spesielt oppmerksom og bergartsgrenser med store aldersspenn, som f.eks. tilgrensing til prekambriske grunnfjellsbergarter, da dette viser til store vertikale bevegelser og potensielle skjær-/svakhetssoner.

Type svartskifer som er representert er ikke lett å avgjøre kun basert på observasjoner i felt. Om en betrakter en naturlig terrengflate, en nylig utsprengt og uforvitret bergoverflate og på hvilken skala en gjør observasjonene har stor betydning. En forvitret overflate gir tydeligere indikasjon på type svartskifer enn en uforvitret flate. Visuelle trekk alene anbefales ikke som dokumentasjon av leirskifertype, men bør kombineres med karakterisering ved hjelp av kjemisk signatur i en laboratorie- eller XRF-analyse (se kapittel 8.2). For å skille på f.eks etasje 2 og 3a i Alunskiferformasjonen er en slik karakterisering nødvendig. Det er imidlertid noen observasjoner som gi indikasjoner på hvilke av de svarte leirskifrene som er representert - se kapittel 4.

Miljødirektoratets veileder [1] anbefaler følgende for å sikre et godt grunnlag for identifisering av svart leirskifer i felt:

- ↗ Kartlegging av orientering til skiferlagene

- Kjenne tykkelse på aktuelle skiferhorisonter/bergartslag. Det er stor variasjon i tykkelse på de forskjellige formasjonene (Tabell 2-1).
- Geologisk befaring sammen med kjennskap til geologisk historie vil gi grunnlag for å vurdere skiferens utbredelse.
- Kjemisk karakterisering

6.1 Ingeniørgeologisk kartlegging

En ingeniørgeologisk kartlegging i felt/på byggeplass skal avklare hvordan ulike bergarter opptrer i grunnen og danne grunnlag for vurdering av behov for prøvetaking og hvordan prøvetaking bør gjennomføres.

Mektigheten på de ulike bergartstyper/skiferhorisonter kan være for liten til at de kan vises på berggrunnsgeologiske kart. Kartlegging i felt bør derfor inngå som en del av vurderingsgrunnlaget. Ved en ingeniørgeologisk kartlegging må man være klar over at det er store variasjoner og at man på 10-15 m kan gå igjennom mange etasjer. Det er viktig å være oppmerksom på at det i forbindelse med skjærbevegelser har foregått en forkastning.

Ved ingeniørgeologisk kartlegging er det viktig å være oppmerksom på at skiferlagene viser varierende grad av skjærdeformasjon (se kapittel 5.2).

Det kan tidvis være utfordrende å identifisere individuelle sprekkesett (sprekker med lik orientering og egenskaper). Leirrike skifermasser av alunskifer har ofte et tett oppsprekkingsmønster med flere sprekkeretninger som kan gjøre det vanskelig å identifisere individuelle sprekkesett. Sprekkesett kan ofte "ligge skjult" og først være tydelig i stivere bergmasser. Mer kalkrike lag/skifermasser er stivere og kan ofte fremstå som mer massiv med færre sprekkeretninger, men med tydeligere sprekkesett og større avstand mellom sprekkeene. Skifrihet og lagdeling kan ofte variere mye innenfor et par meter som følge av folding. Kap 5.2 oppgir erfaringer rundt sprekkesett i alunskifer, Oslo sentrum.

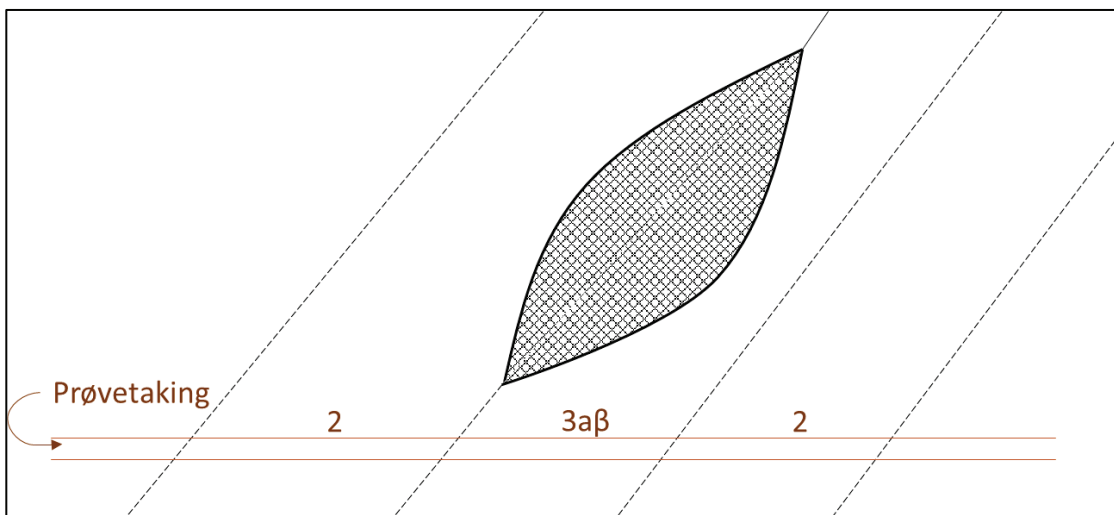
En bør spesielt forvente (større) knusningssoner og skjærdeformasjon ved observasjon av:

- Kantete fragmenter i mykere materiale, ofte i kombinasjon med diskordans (Figur 9) - tegn på knusning og skjærdeformasjon.
- Flekker av kalsitt.
- Store alderssprik mellom bergmasser (eks: grunnfjellsgneis – leirskifer).
- Omrokking av skiferetasjer ved f.eks. identifisering av kjemisk signatur. Dette innebærer en forskyvning av bergmassene i forhold til hverandre. Trenger ikke nødvendigvis å være synlig i en kjerne, se Figur 10.

For nærmere beskrivelser av bergmasseparametre til svarte leirskifer og spesielt alunskifer, se kapittel 0.



Figur 9. Eksempel på diskordans. Orientering til lagdeling er markert med oransje spray



Figur 10: Eksempel på overskyvning av lag med knusningssone som ikke påtreffes av prøvehull.

7 Geofysiske undersøkelser

7.1 Resistivitetsmålinger (ERT)

ERT (elektroresitiv tomografi) er en kost- og tidseffektiv undersøkelsesmetode sammenliknet med andre geofysiske forundersøkelser for tunnel/bergrom. Metoden benytter likestrøm til å måle grunnens resistivitetsfordeling. Det sendes strøm igjennom jorden ved hjelp av korte stålelektroder som installeres 10-20 cm ned i bakken, og ved å måle potensialforskjellene imellom injeksjonspunktene beregnes resistansverdier for alle elektrodepunktene. Ved å prosessere dataene og kjøre en inversjonsalgoritme får man til slutt en to- eller tredimensjonal resistivetsmodell av grunnen.

Resistivitetsfordelingen i grunnen varierer vanligvis mye, og bestemmes hovedsakelig av sedimentene og bergartene i området. ERT gjør oss derfor i stand til å skille mellom forskjellige typer materialer, alt fra ledende leire til resistivt grunnfjell. Ladbarhet (chargeability), som fremkommer fra IP-målinger (Indusert polarisasjon), er en kompletterende fysikalsk parameter som er nyttig i forbindelse med kartlegging av forurensning, mineralforekomster eller grunnvannsforhold.

Et generelt anslag for undersøkelsesdybden er 10-20% av profillengden avhengig av jordens resistivitetsfordeling.

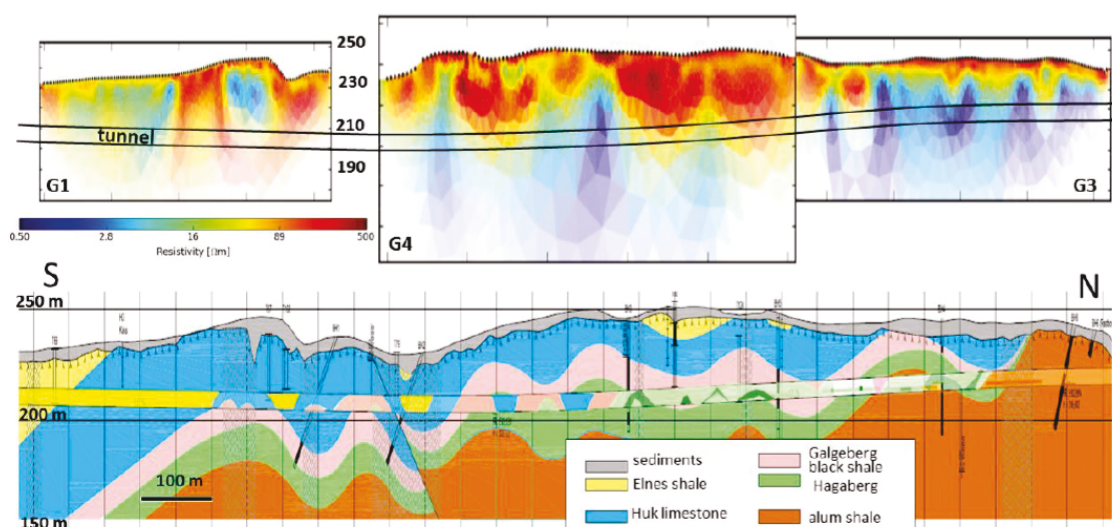
Ved å integrere geoteknisk informasjon (CPT, totalsondering, dreietrykkssondering) med ERT-data kan grunnfjellsdybden kartlegges presist og kontinuerlig. I tillegg fremkommer informasjon om karakteren til løsmassene.

De svarte leirskiferne Alun og Galgeberg, har svært lav resistivitet ($< 1 \Omega\text{m}$) [7] (Tabell 7-1). Elnesskiferen har noe høyere resistivitet. Alunskifer og Galgebergskifer har høyt innhold av sulfidmineraler (særlig pyritt) og det er dette som gir den lave resistiviteten i bergarten. Denne egenskapen gjør ERT til en godt egnet metode for å kartlegge tilstedeværelse av særlig Galgeberg- og Alunskifer.

Tabell 7-1. Resultater fra resistivitetsmålinger utført i laboratoriet for ulike horisonter av svart leirskifer. Tabellen er hentet fra [7].

	Elnes	Huk	Galgeberg	Hagaberg	Alun
Max. resistivity (Ωm)	84	540	0.54	240	0.13
Min. resistivity (Ωm)	44	43	0.25	110	0.025

Figur 11 viser en sammenstilling av kartlagt og tolket svartskifer ved hjelp av ERT (øverst) og faktisk registrert geologi i tunnel (nederst) fra Grantunnelen i Jevnaker. Resultatene viser god korrelasjon mellom kartlagt og faktisk geologi.

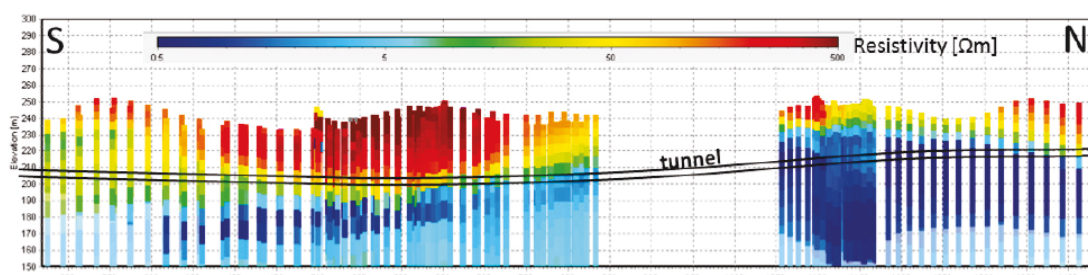


Figur 11. En sammenstilling av resultater fra ERT-undersøkelser (øverst) og kartlagt geologi under driving av Grantunnelen [7].

7.2 Airborne Electromagnetics (AEM)

AEM er en metode for grunnundersøkelse hvor en elektrisk strøm induseres i grunnen ved hjelp av en luftbåren antenne [7]. Dette skaper et sekundært magnetisk felt som kan måles. Fordelen med denne metoden er at man kan "scanne" store områder på relativt kort tid. ERT-målinger gir en bedre oppløsning, men har større begrensninger i dybde enn AEM.

Av sikkerhetsgrunner er ikke AEM egnet i tett befolkede områder og datakvalitet kan forringes noe av eksisterende infrastruktur.



Figur 12. Resultater fra AEM-målinger utført for Grantunnelen [7].

7.3 Seismikk

Seismiske hastigheter i forskjellig geologisk materiale varierer og er avhengig av blant annet elastiske egenskaper og tetthet. I tillegg kommer en bergarts oppsprekkingsgrad. I en oppsprukket bergart med høyt vanninnhold vil bergartens seismiske hastighet minke og ut fra målt seismisk hastighet kan en kvalitetsbedømme bergarten med hensyn på stabilitet. Undersøkelser har vist at svartskifer ikke skiller seg særskilt fra andre sedimentære bergarter i seismisk hastighet [8]. Typiske seismiske hastigheter (P-bølge) for sedimentære bergarter er 4000-6000 m/s. I studien utført i forbindelse med [8] ligger Alunskifer i det nedre sjikt i dette intervallet, med hastigheter på ca. 4000 m/s.

7.4 Naturlig gammastråling

Naturlig gammastråling kartlegges med en gammalogg i et borhull. Forandringer i gammastråling er knyttet til endringer i geologien og den mineralogiske sammensetningen i bergartene. Det er i hovedsak grunnstoffene kalium, uran og thorium som gir gammastråling. Alunskifer har høy stråling, >1000 cps, da den inneholder mye uran [8]. Til sammenlikning har granitt og granittisk gneis en stråling på 200-500 cps. Måleenheten cps kan omregnes til bq/g.

8 Identifisering og karakterisering av svarte leirskifer

NGI har utviklet en metode for identifisering og karakterisere type svartskifer basert på kjemiske fingeravtrykk til de ulike skiferlagene, beskrevet i [1]. Metoden går ut på å sammenlikne relative konsentrasjoner av ulike grunnstoff i ulike trekantdiagram med datamateriale fra ulike etasjer samlet over flere år. Type svartskifer/etasje i lagrekken har betydning for både mekaniske egenskaper og deponialternativ.

Metoden bygger på prinsippet at det er leirskiferhorisonten som er informasjonsbærer, og all informasjon aggregeres om hver leirskiferhorisont. Denne informasjon kan da gjenbrukes i nye prosjekter i de samme leirskiferformasjoner andre steder. Det er derfor mulig å sammenlikne egenskaper for de ulike leirskiferhorisonter fra ulike plasser i Osloområdet. Metoden er basert på karakteristiske trekk (kjemiske fingeravtrykk) og et datamateriale samlet over flere år. I tillegg benyttes karakteristiske geologiske trekk for de ulike leirskiferhorisontene til å tegne opp orientering av bergartsgrenser og beregne volumer av de ulike leirskifertypene.

Trekantdiagrammer gir grunnlag for å sammenlikne resultater fra våtkjemiske analyser/XRF fra prosjektet med referanseprøver fra kjente lokaliteter og identifisert leirskifer. Denne metoden mindre sårbare for målefeil og lokale høye konsentrasjoner av et grunnstoff. Det må påpekes at det vil være noe overlapp mellom trendene til de ulike leirskiferformasjonene. En pålitelig identifisering krever derfor at en kombinerer

resultater fra flere trekantdiagrammer med ulike sammensetninger av parametere. Metoden er beskrevet nærmere i [1].

8.1 Kjerneboring

Ved kjerneboring kan man få informasjon om oppsprekking, svakhetssoner, bergart etc. Denne metoden er særlig aktuell ved bygging av tunneler/bergrom der det er indikasjoner på krevende bergforhold ettersom man kan få informasjon om bergmassen på samme nivå som for planlagt tunnel/bergrom.

Ved orienterte kjerner kan man også få informasjon om sprekkenes strøk og fallvinkel.

Ved kjerneboring gjennom sterkt oppsprukket berg/svakhetssoner anbefales det å benytte "trippeltube". Ved bruk av trippeltube blir kjernen under boring beskyttet av en ekstra hylse, dette medfører større sannsynlighet for å bevare kjernematerialet selv om det er sterkt oppknust.

Ved kjerneboring i sterkt oppsprukket bergmasse må det forventes behov for utstøping av borhullet under boring for å hindre kollaps av borhullet.

Etter logging av kjernene kan disse benyttes for ulike tester, f.eks XRD, XRF, bergmekaniske tester osv. For bergmekaniske tester er det viktig å være oppmerksom på at disse krever at prøvene har en viss størrelse. Dette kan medføre at det utføres bergmekaniske tester på kun de sterkeste partiene i skiferen.

Det må vurderes om boreslammet må samles opp og deponeres.

8.2 Prøvetaking og analysering

For å identifisere hvilken etasje/type svart leirskifer som er representert bør kjemisk sammensetning undersøkes. Dette har betydning for bergmassens mekaniske egenskaper og for massehåndtering og deponialternativer.

Prøver kan tas ved:

- Borekaks fra håndholdt slagdrill: Viktig å bore litt inn i skiferflaten før oppsamling av borekaks for å redusere mengde forvitret skifer.
- Borekaks fra borerigg: oppsamling hver meter. Prøven bør splittes for representativt materiale.
- Skiferprøver
- Kjerneboring: på prøvestykker, knust kjernemateriale eller borekaks fra punkt langs kerne
- Vannprøver

Veilederen [1] gir mer detaljert informasjon.

Prøvene kan analyseres ved bruk av f.eks. følgende metoder [1]:

Tabell 8-1. Oversikt over aktuelle prøvemetoder

Analysemetode	Beskrivelse	Tid
Røntgenfluorescens (XRF)	<p>Bestråle prøve med røntgenstråler – registrere signaler som kan relateres til spesifikke grunnstoff.</p> <p>Erfaringsvis gode resultat på spesielt uran-konsentrasjon. Enkel og kjapp. Ved trekant-diagram: mindre sårbart for målefeil.</p> <p>Måleusikkerhet. Ikke like nøyaktige. Mindre presist på lettere grunnstoff – eks. svovel mtp syredannende potensiale. Kontroll av drift Må kalibreres på type materiale. Prosedyrer for ekskludering personlige feil.</p>	1-2 t
Mineralidentifikasjon	<p>Røntgendiffraksjon (XRD): vurdering av type og omtrentlig mengde av mineraler leirskiferen består av.</p> <p>Info om innhold av f.eks svellende leirminerale, anhydritt, sulfatinnhold</p>	Avhengig av pågang. 1-4 uker.
Vannanalyser	<p>Prøve av filtrert og ufiltrert vann.</p> <p>Kan vise om vann er i kontakt med forvitret alunskifer</p>	2-3 uker
Våtkjemiske laboratorieanalyser (ICP-MS)	<p>Totalinnhold av grunnstoff og oksider</p> <p>Mer nøyaktig enn XRF. Innhold av TOC og TIC (uorganisk karbon)</p>	1-2 uker
Total aktivitet til radioaktive nukleider	Måler aktivitet i Bq/g	4 uker

8.3 Våtkjemisk analyse, ICP-MS

For påvisning av type leirskifer kan det benyttes våtkjemiske analyser av type ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry). Analysen skal inkludere hoved- og sporelementer, uorganisk karbon (TIC), organisk karbon (TOC), uran (U) og thorium (Th).

Se Miljødirektoratets veileder [1] for detaljer.

8.4 Håndholdt XRF

Våtkjemiske laboratorieanalyser er mer nøyaktige enn XRF. Ved bruk av et kalibrert håndholdt instrument basert på (XRF), kan analyseresultatet av konsentrasjoner til ulike grunnstoff foreligge i løpet av 1-2 timer. Det muliggjør en identifisering av deponikategori underveis i uttak, ved prøvetaking under boring for salve, og preparering og analysing før salve skal flyttes.

Røntgenfluorescence (XRF) er en analysemetode for å bestemme konsentrasjoner av ulike grunnstoff i en prøve av fast stoff. Det innebærer å bestråle en prøve med røntgenstråler for å så registrere signaler som kan relateres til spesifikke grunnstoffer.

Analyseprinsippet kan beskrives på følgende måte:

1. Instrumentet sender ut en røntgenstråle.
2. Røntgenstrålen slår løs et elektron fra et av de lavere energinivåene (elektronskall nærmest kjernen).
3. Et elektron fra et høyere energinivå (elektronskall lenger vekk fra kjernen) faller tilbake til den ledige plassen i det lavere energinivået.
4. Det frigjøres energi (stråling / fluoresens) tilsvarende energiforskjellen mellom det høyere og det lavere energinivået.
5. Denne energien har en bølgelengde som er unik for et spesifikt grunnstoff.
6. Den frigjorte energien registreres av detektoren i instrumentet og relateres til tilhørende grunnstoff.
7. Intensiteten innenfor en spesifikk bølgelengde blir utgangspunktet for beregning av konsentrasjonen til de enkelte grunnstoffene.
8. Tyngre grunnstoff gir mer pålitelige resultater enn lettere grunnstoff.

Håndholdt XRF har ikke samme målenøyaktighet som en laboratorieanalyse. Den kan gi både systematiske og usystematiske måle- og utførelsesfeil.

Instrumentet må kalibreres mot sikre våtkjemiske analyser av typen prøver det skal analyseres på. NGI har tidligere utført en kalibrering mot borekaks av svarte leirskifte fra etasje 2, 3a og 3b. XRF-resultater med kalibrert instrument er sammenliknet med laboratorieanalyser fra samme prøvemateriale (splittet), se vedlegg B.

Vedlegg B og [1] beskriver bruk og kalibrering mer detaljert. Inkludert minimalisering av ulike feilkilder som tilfeldige feil, måleusikkerhet, reproducerbarhet ved parallelle målinger, variasjoner innad i en prøve og optimalisering av analysetid.

8.5 Anbefalt rutiner for XRF

- Alle som skal bruke instrumentet må gjennom en opplæring
- Instrumentet må kalibreres.
- Grunnstoff med tilfredsstillende målenøyaktighet velges ut.
- Etablering av fast prosedyre for prøvepreparering sikrer lik preparering uavhengig av utførende. Prosedyren skal etterstrebe mest mulig representative analyser og hindre forurensing mellom prøver.
- Det må benyttes tørre prøver.
- Knust prøvemateriale som er preparerte er mer representative enn et fast stykke.
- Skiferprøven splittes ved hjelp av en løsmassesplitter.
- Borekaks knuses ned til samme maksimumsfraksjon og blandes. I [1] ble kornstørrelser <250 µm benyttet. Denne kan evt. optimaliseres ved å undersøke nøyaktighet til grovere materiale.
- Morter vaskes og tørkes med lofritt papir mellom hver prøve, og sikt tørkes med litt fuktig papir. Erfaringsmessig er utstyret tørt nok og klart til bruk etter 2-3min.
- Bruk av stativ og fjernstyring av instrument fra PC sikrer at det måles i ett og samme punkt gjennom hele måletiden, samt en optimal avstand og plassering av prøven i forhold til instrumentets målevindu.
- Analysetid: minimum 30 sek. per filter. Det anbefales 60 sek for "light filter" og "main filter".
- Stativ med fjernstyring fra PC anbefales, da det kan være utfordrende å holde XRF helt i ro i 2-3 minutt
- Benytt "mining mode" ved bergprøver, og sjekk at riktig kalibreringsfaktor brukes. Sjekk også at elementene er i den rekkefølgen og inkluderer alle grunnstoff som er ønskelig.
- XRF-apparatet bør jevnlig kontrolleres for drift, dvs. at samme prøve gir et resultat innenfor usikkerheten til metoden.
- Jevnlig kontroll av XRF-resultater mot ICP-MS.

8.6 Vannprøver

Vann i kontakt med skifer vil gi informasjon om skifertype og skiferens forvitningsgrad og –forhold. Vannanalyser kan dermed gi en indikasjon på omfang av forvitring og endringer i bergmassens mekaniske egenskaper som ikke er så lett å observere. Dette er spesielt tydelig når vann er i kontakt med Alunskifer som forvitrer. Vannet kan se klart ut, men pH kan være < 3 og konsentrasjoner av tungmetaller, aluminium og uran kan være svært.

Det bør foretas analyse av både filtrerte og ufiltrerte vannprøver. Der det er forskjell mellom ufiltrert og filtret prøve, er ioner/grunnstoffer bundet til partikler som filtreres vekk. Løste grunnstoffer med tilnærmet like verdier viser at disse er løst i vannet (går gjennom filteret). Vannkjemiske analyser gir grunnlag for en tilstandsvurdering av

skiferen samtidig som de gir grunnlag for å identifisere om det er grunnvann og/eller overflatevann. Da kan en se hvilke grunnstoffer som er bundet i partikler og hvilke som er enten ioner eller komplekser. Dette kan ha betydning for valg av metode for rensing av vann som skal slippes ut på offentlig nett.

Svarte leirskifre vil forvitre ulikt ved ulike pH verdier. Forvittringshastigheten er sterkt avhengig av pH verdien.

Den kjemiske sammensetning i vannanalysene kan gi informasjon om ved hvilke pH-verdier oppløsning av mineralene skjer. Ved nøytrale pH-verdier vil eksempelvis karakteristiske tungmetaller som Ni, Zn, U og Mo løses i vann fra mineralene i alunskifer. Ved lave pH-verdier løses langt flere tungmetaller i vannet. Aluminium løses også i vannet ved lave pH-verdier.

Jernsulfater med to-verdig jern (Fe^{2+}) dannes ved nøytrale pH-verdier og kan sees som blågrønne mineraler på overflaten til alunskiferen.

Dersom vannprøvene inneholder mye klorider og nitrater, kan dette indikere at vannkilden kan være overflatevann. Kilden til nitrat er vanligvis humus. En kan derfor slutte at kilden for vannsig kan være overflatevann infiltrert i grunnen.

9 Deponering og miljøhensyn

Dagens deponeringsalternativer er definert i deponiforskriften [9]. Grenseverdier for innhold av uorganiske grunnstoffer som kan medføre skader på omgivelsene er gitt i vedlegg til forskriften. Regelverket med vedlegg er i utgangspunktet skrevet for menneskeskapt forurensning og ikke for naturlige forekommende bergarter. Det er derfor for bergarter (som de svarte leirskifre) viktig å avklare i hvilket omfang disse kan forvitre. Det må også avklares hvilke tiltak og metoder som bør benyttes slik at forvitring kan reduseres/hindres.

De svarte leirskifrene har ulikt forurensende potensiale med hensyn på blant annet tungmetaller og svovelinnhold. Spesielt svovelinnhold (syredannende og forurensende potensiale) og uraninnhold har betydning for valg av deponeringsalternativ.

Oksidering av sulfid til sulfat danner syre og er årsak til at pH-verdien i sigevann i kontakt med forvitret svart leirskifer kan være meget lav. Ved lave pH-verdier øker forurensingspotensialet da de fleste mineraler går i oppløsning, og konsentrasjoner av blant annet aluminium, tungmetaller og uran kan bli meget høye. Det er slike forvittringsprosesser som medfører at det i forurensningsforskriftens [10] kapittel 2, §2.3a med veileder [11] er stilt spesifikke krav til håndtering av masser fra bergarter som kan danne syre i kontakt med luft og/eller vann. ”Grunn som danner syre eller andre stoffer som kan medføre forurensning i kontakt med vann og/eller luft (reaktiv jord og berggrunn)”.

En syredannende bergart som også har et høyt nøytraliserende potensial slik at syredannelsen fra forvitrende sulfider utlignes, vil ved forvitring kunne lekke ut tungmetaller som er mobile ved nøytrale pH-forhold (As, Cd, Co, Mo, Ni, Sb, U og Zn) [1]. Dette forutsetter et høyt sulfidinnhold i den opprinnelige bergarten. I tillegg vil mobiliteten til tungmetallene være avhengig av kjemiske forhold i bergarten og grunnvannet.

For deponier som kan ta imot svarte leirskifre med et syredannende potensiale gjelder bl.a. krav om bunntetting og kontroll på eventuelt vannsig gjennom et kontrollerbart utlekkasjepunkt. Deponering bør skje fortrinnsvis i et deponi/celle for uorganisk materiale. Avhengig av arealbruk ved avsluttet deponi, vil det være ulike funksjonskrav til tildekking. Da ulike svarte leirskifre inneholder ulike konsentrasjoner uran, kan det være ulike krav til at tildekkingen skal ivareta radon og eventuell radioaktiv stråling, se [1].

9.1 Vann fra anleggsdrift

Vannkjemiske analyser bør utføres rutinemessig. Se kapittel 8.6. Metoder for å fjerne løste tungmetaller og uran fra vannet som skal ut av anlegget vil også avhenge av pH ved forvitring.

Partikler fra sprengning, pigging og knusning fra anleggsarbeider kan være så små at det er fare for at et sedimentasjonsbasseng ikke vil virke etter hensikt. Det kan da være behov for flokkulering eller bruk av andre metoder for fjerning av partikler fra vann som skal ut fra anlegget. Tid som går fra alunskiferflater eksponeres til de tildekkes har betydning for vannkjemien og håndtering av vann som skal ut av anlegget.

9.2 Vurdering av radioaktivitet

Avfall med innhold av radioaktive nuklider med total aktivitet større eller lik 1Bq/g er definert som radioaktivt avfall ifølge Forskrift om radioaktiv forurensning og avfall, 1. november 2010 nr. 1394 [12]. Svarte leirskifre inneholder naturlig forekommende radioaktive nuklider (uran, kalium, thorium), der Uran (^{238}U) er den viktigste av dem. Konsentrasjonen av uran er den enkeltfaktor som i praksis påvirker aktiviteten i svarte leirskifre og dermed om masser skal karakteriseres som radioaktivt avfall eller ikke. Tabell 9-1 viser eksempler på urankonsentrasjoner i utvalgte leirskifere. *"Det er Alunskifer som har de høyeste konsentrasjonene av uran. Der nest følger Galgebergskifer. Enkelte lag i Alunskiferen kan ha >200 mg uran per kg faststoff. Korrelasjoner mellom uraninnhold og stråling tyder på at leirskifere med uraninnhold < 50 mg/kg, har tilnærmet neglisjerbar stråling"* [1].

Slam av forvitret alunskifer kan ha svært høye konsentrasjoner av uran (500-600 mg/kg). Dette kan gi «problemer» med hensyn på konsesjon for mottak av radioaktivt avfall.

Tabell 9-1 Innholdet av uran (mg/kg) i enkelte leirskifertyper.

Skifer	Uraninnhold
Alunskifer	60 – 200
Galgeberg	Ca. 40
Elnes	< 15

NGI har ved 2 ulike prosjekter bidratt til å skille "ikke-radioaktive" alunskifermasser og "radioaktive" alunskifermasser. Det er flere mottak som i utgangspunktet kan ta imot alunskifer definert som ikke radioaktive enn alunskifer definert som radioaktive masser.

Da det er en omstendelig og tidkrevende målemetode å måle bequerell (Bq), har NGI kalibrert aktivitet i Bq/g mot konsentrasjon av uran i mg/kg, for å kunne skille skifermassene på aktivitet større eller mindre enn 1Bq/g. Identiske prøvemateriale ble analysert våtkjemisk ved ICP-ms og analysert for radioaktivitet hos IFE (Institutt for energiteknikk på Kjeller). Korrelasjon mellom de to analyse viste at en urankonsentrasjon på 97mg/kg fra ICP-ms gir en aktivitet på 1Bq/g, se vedlegg B og C.

Samme korrelasjon ble utført for ICP-ms og målinger fra håndholdt XRF, se vedlegg B. Det ga utgangspunktet for en grenseverdi på 85mg/kg. Denne grenseverdien er satt konservativt basert på statistisk usikkerhet mellom resultater fra et kalibrert XRF-instrument og ICP-MS analyser.

Erfaringsmessig har etasje 2 urankonsentrasjoner stort sett godt over 85mg/kg, mens etasje 3aβ har urankonsentrasjoner godt under 85 mg/kg. Mellom disse er det i Oslo sentrum registrert et lag med liknende kjemisk fingeravtrykk som 3aβ, men med uranverdier større enn 85mg/kg. Denne horisonten er tolket som etasje 3aα, men er ikke korrelert med ledefossiler. En horisont med forhøyede verdier av Barium kan ofte observeres nær overgangen mellom etasje 2 og 3a.

Prøvene bør være et representativt utvalg, se [1]. En skal være forsiktig med å kun benytte konsentrasjoner fra enkelte grunnstoff uten å se disse i en sammenheng med andre grunnstoff i et trekantdiagram for å identifisere etasjetilhørighet, se [1]. I etasje 2 ofte opptrer kalkrike horisonter på om lag 1m tykkelse. Er prøven man tar fra en slik horisont og man kun ser på urankonsentrasjoner kan det gi helt feil resultat. Enkeltprøver med lave urankonsentrasjoner kombinert med høye kalk-konsentrasjoner (ofte >100.000) og lave vanadium-konsentrasjoner (< ca 1000 mg/kg – ofte i størrelsesorden 200-500 mg/kg) indikerer en slik kalkhorisont.

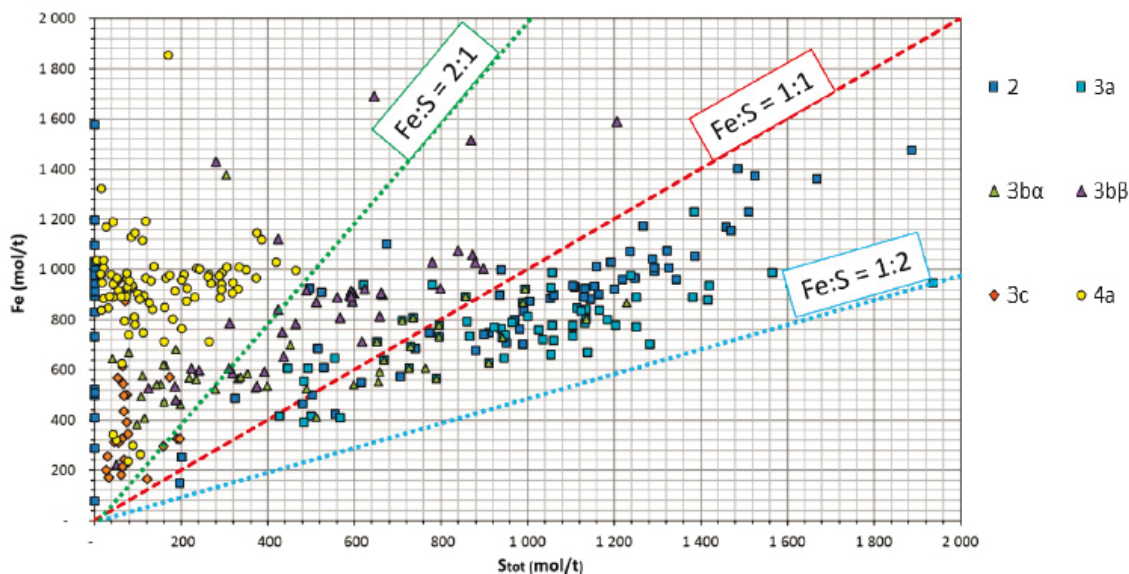
9.3 Syredannende potensiale

Syredannende potensiale er den egenskap som bestemmer forurensende egenskaper for sulfidførende bergarter. Det er kjent at syredannende potensiale er særlig høyt for

alunskifer. Forvittringsreaksjoner danner da jern-aluminiumsulfater eller en oppkonsentrasjon av sulfat, aluminium, tungmetaller og uran i en vannfase.

Ved vurdering av syredannende potensiale er det hensiktsmessig å benytte et AP-NP diagram, der AP (acidification potential) er det syredannende potensiale og NP (neutralisation potential) er det nøytraliserende potensiale. Når en benytter kalsium (Ca) som proxy (substitutt med antatt tilsvarende opptreden som karbonatet) for karbonat (CO_3^{2-}), må en også vurdere i hvilken grad kalsium kan være tilstede som kalsiumsulfat (gips og/eller anhydritt). Man må også vurdere syredannende potensiale ut i fra forholdet mellom jern (Fe) og svovel (S) for å se om det kan være balanse mellom antall molekyler jern og antall molekyler svovel mellom disse. Forhold mellom jern (Fe) og svovel (S) er plottet i Figur 13. Analyser som ligger ned mot linjen for Fe:S = 1:2 (blå stiptet linje) har overskudd av svovel i forhold til jern. Svovel er da bundet i andre forbindelser enn sulfid, og det syredannende potensialet er derfor lavere enn det som fremkommer i AP-NP diagrammet.

Se Miljødirektoratets veileder [1] for detaljer.



Figur 13. Forholdet mellom Fe (jern) og S (svovel) i mol/t [1]. Denne figuren indikerer i hvilke grupper av mineraler jern og svovel er bundet. Plasseringen av referanseprøver fra Alunskiferformasjonen (2 og 3a), Hagabergformasjonen (3b α), Galgebergformasjonen (3b β), Hukformasjonen (3c) og Elenesformasjonen (4a) er også vist.

10 Driveforhold

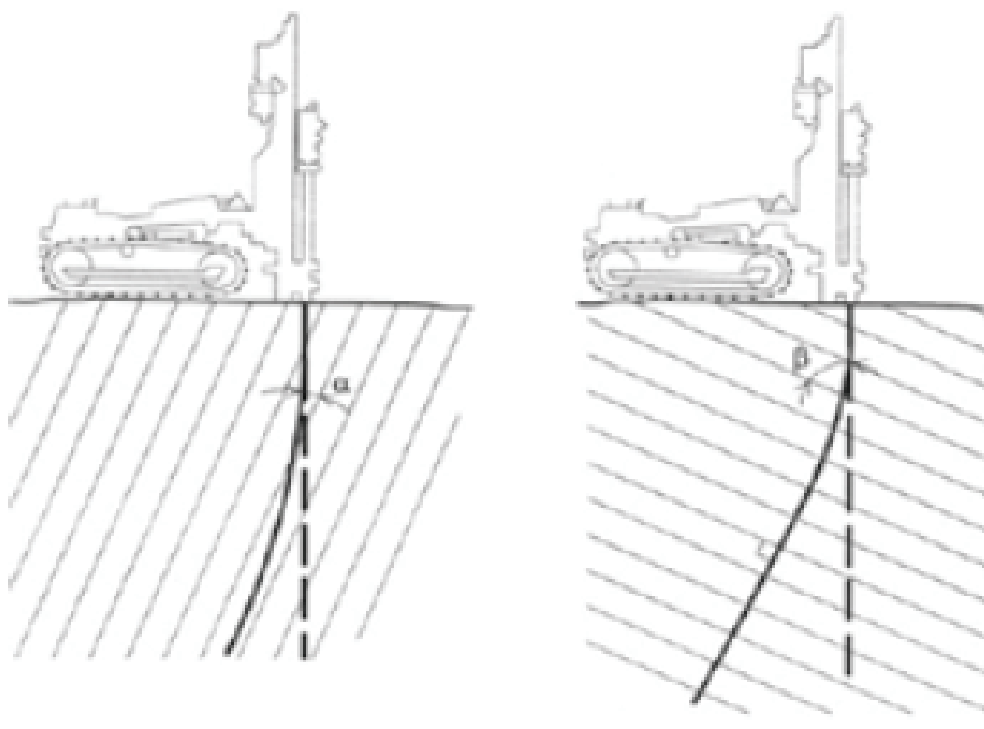
Variierende sammensetning kan gi variierende driveforhold. Spesielt i alunskifer opptrer hardganger ofte med kalsittbånd, antagelig rike på kvarts i tillegg til mænaitt.

Alunskifer har generelt god borsynk og lav slitasje. Sprengbarheten til alunskifer defineres som middels god. Leirskifre har generelt god borebarhet, sprengbarhet og piggbarhet. Hardganger som diabasganger og mænaitt kan gi opphav til høy borslitasje og lavere borsynk, samt at de kan bidra bedre forplantning av sprengningsrystelser. I slike tilfeller blir ofte målte verdier for rystelser høyere enn forventet.

Ved pallsprengning for byggegroper bør undersprengning og skader på gjenstående bergmasse i sidevegger og bunn begrenses. All boring bør f.eks. avsluttes 20 cm over teoretisk sprengningsprofil. Videre berguttak ned til teoretisk sprengningsprofil bør utføres med pigging eller med annet mekanisk utstyr. I veggene anbefales sømboring og nærmeste rast med lading 1-1,5 meter fra sømmen.

10.1 Boravvik

Skifrige bergarter kan gi betydelig boravvik, Figur 14. Ved en liten vinkel mellom borhull og skifrihet vil borstrengen ha en tendens til å følge skifrihetsplanet. Ved stor vinkel mellom borhull og skifrihet vil borhullet "dras" vinkelrett på skifriheten.



Figur 14. Illustrasjon av sammenheng mellom skifrihet og borhullsavvik.

For å minimere borhullsavvik forårsaket av bergmassens skifrihet bør det bores med redusert matetrykk, slagtrykk og rotasjonshastighet. Ved større borhulldiameter øker stivheten på borstrengen og avvik kan reduseres. Redusert lengde på borhull vil også bidra til mindre borhullsavvik.

Det bør utføres avviksmålinger spesielt i kontur-/sømhull for å ha kontroll på utført boring.

11 Bergsikring

Erfaringer fra ulike anlegg viser at frigjorte flater i alunskifer forandrer fysiske egenskaper over tid (dager og uker) fra en fast skifer til en mekanisk svakere skifer. Det er derfor viktig å forsegle alunskiferoverflaten i sider og i bunn av byggegrøp så raskt som mulig etter at flater er frigjort og tatt ned til riktig nivå (se kap 13 for forsegling).

Generelt gjelder at bergoverflater i alunskifer bør tas ut så skånsomt som mulig for å redusere ytterligere oppsprekking og potensielt økt forvitningsareal som følge av sprengning.

11.1 Dimensjonering av bergsikring

For dimensjonering av bergsikring kan modellering være godt egnet. Bergmassen bør betraktes som plastisk, og programmet Phase 2 er velegnet da det er en kontinuummodell.

Erfaringsvis har systematisk sikring i alunskifer i henhold til Q-systemet vist seg å være tilstrekkelig, da konvergensmåliger ikke har vist tegn til deformasjon.

En bør være spesielt oppmerksom på anleggets geometri og orientering i forhold til sprekkegeometri, og spesielt skifrihetens orientering. Utstikkende hjørner er spesielt kritiske og kan gi potensialet for omfattende ustabilitet ved uttak. Ved ugunstig orientering av anlegget i forhold til oppsprekking er forbolting spesielt nødvendig.

11.2 Bolting

Bolter bør fortrinnsvis festes med skive utenpå sprøytebetong for å sikre samvirke mellom bolter og sprøytebetong slik at «sammenliming av skiferfragmenter» og god heft mellom berg og sprøytebetong blir ivarettatt.

Følgende anbefales/skal benyttes:

- Sulfatresistent ekspanderende boltemørtel.
- Korrosjonsbeskyttelse av bolt, som et minimum varmforsinket og pulverlakkert.
- Vertikale vegger: Fullt inngyst bolt med helning 10° for å sikre full omslutning av gysemassen.
- Heng: f.eks kombinasjonsbolt der hull gyses fra bunn av boltehull.
- Injiserbar bolt av type Thorbolt benyttes ved vannsig (synlig vannbevegelse) i boltehull.
- Ved fare for kollaps av borhull: Selvborende bolt/stag.

11.2.1 Vannsig i boltehull og bruk av injiserbar bolt

Vannsig i alunskifer kan ha svært lav pH – og selv om boltemørtel er sulfatresistent er den ikke syre-resistent. Ved vannsig vil mørtel kunne "spises opp"/løses opp av det sure vannet. Det er derfor viktig å hindre utvasking før boltemørtel har herdet, da utvasking under herding vil gi begrenset innfesting og at bolten mister sin effekt.

Det er viktig å kommunisere bruk av injiserbar bolt tydelig i beskrivelse og ved oppstart av arbeidene. Under bygging er det viktig å følge opp at injiserbare bolter benyttes der det påtreffes vann ved bolteboring. Ved injeksjon kan ekspanderende sulfatresistent boltemørtel benyttes. Prinsipp for injeksjon i svartskifer følges – det skal benyttes lave trykk og lang tid for en langsom inntrengning i bergmassen for å ivareta tetting av små porer og mikroriss.

Dersom forholdene (grunnvann og fremdrift) tillater det kan en med fordel avvente injeksjon og gysing av injiserbar bolt slik at de kan stå åpne som midlertidig drenering mens omkringliggende tetting gjennomføres.

11.2.2 Utvasking eller kollaps av borehull

Bergmassen kan lokalt være oppknust slik at bergmasse vaskes ut ved spyletrykket eller at borehull kolliderer. Ekstra medgått tid og masser til gysing av bolt kan forventes lokalt.

11.3 Sprøytebetong

Surt vann fra forvitring av svartskifer angriper både betong og metaller. Svovelsyra som dannes ved forvitring angriper både betong og metaller. Ved bruk av fiberarmert sprøytebetong i slike miljø bør det benyttes plastfiber fremfor stålfiber.

Generelt anbefales det å tilstrebe mest mulig vanntette løsninger for å hindre strømning av vann og/eller grunnvannsenkning. Etter påføring av sprøytebetong og montering av bolter kan det påføres en vanntett, fleksibel membran, se kapittel 13. I berganlegg eller byggegrøper under grunnvannstand må en vanntett løsning dimensjoneres for vanntrykket som vil oppstå bak konstruksjonen.

I følge [13] har sprøytebetong (sulfatresistent) en levetid på 20-45 år ved kontakt med nøytralt alunskifervann. I kontakt med surt alunskifervann er levetiden mindre enn 20 år.

11.3.1 Syreangrep

Betong framstilt av Portlandsement har generelt en dårlig motstandsevne mot syrer (lav pH). En god betongkvalitet vil imidlertid motstå svake syrer. Forskjellige syrers aggressivitet overfor betong varierer imidlertid kraftig.

Nedbrytingen skjer ved at betongens bindestoffer (sementlimet) omdannes til nye, ikke bindene kjemiske forbindelser. Tilslaget vil da blottlegges og angrepet betong vil kunne minne om en sandblåst betongoverflate. Dersom de nydannede forbindelsene har stor løselighet vil nedbrytningshastigheten økes vesentlig i miljøer med strømmende vann hvor reaksjonsproduktene raskt vil fjernes og dermed eksponere nye overflater for angrep.

For betongfundamenter, rørledninger mm. i aggressiv grunn hvor vanntransporten er meget liten, vil den aggressive væsken kunne nøytraliseres etter kort tid.

For betong som utsettes for middels til sterke syreangrep må betongen ha et så lavt v/c-tall at kapillærporene blokkeres ($v/c < 0,45$). God herding før betongen eksponeres for syreangrep er viktig for å oppnå gode resultater, dette er imidlertid vanskelig å kontrollere ved påføring av sprøytebetong i berganlegg.

Tilsetningsstoffer som silika, flyveaske og ”slag” medfører at betongen blir tettere, og det har en positiv effekt ved at det reduserer effekten av syreangrep.

11.3.2 Sulfatangrep

Betong som utsettes for høye belastninger fra sulfater vil kunne sprenge i stykker. Sulfatangrep forårsakes blant annet av naturlige aggressive grunnforhold (alunskifer Oslo-området),

Vann fra forvitret alunskifer som inneholder sulfater og 2-verdig jern trenger inn i betongen. Sementen vil reagere med denne vannløsningen og danne mineralet ettringitt. Dette fører til en volumutvidelse på ca. 330 % og videre til at betongen delvis sprenge i stykker og delvis omdannes til et pulver [14].

Det bør benyttes sulfatresistent betong. Sulfatresistent betong vil imidlertid med tiden svekkes grunnet dannelse av Thaumasitt. Thaumasitt dannes ved en kjemisk reaksjon mellom sement, karbonater fra tilslag og sulfater. I begynnelsen vil reaksjonsproduktene kun fylle opp poresystemet, og dermed gi en viss fasthetstilvekst. Etter hvert vil imidlertid reaksjonsproduktene gi et kraftig trykk som vil føre til en indre oppsprekking, og en fullstendig disintegrering av betongen over tid.

Hovedparametrene ved sprengningskorrosjoner:

- Løselige sulfater/nitrater
- Sementtype (mengde C3A). Betongens tetthet (v/c-tall, silikastøv)
- Nødvendig fukttilgang

11.4 Innsprøyting og overdekning- armerte sprøytebetongbuer og gitterdragere

Betongoverdekning skal normalt være minimum 5cm. I kontakt med alunskifer/syredannende bergarter bør den med fordel være mer (5-10 cm). Det er spesielt viktig med god innsprøyting og komprimering fra flere sider for å unngå sprøyteskygger.

Ved foten av armeringsbuen og langs sålen samles det mye leiraktig slam som følge av oppknust skifer kombinert med prelltap av lav fasthet. Dette må renskes bort før permanent innsprøyting av armeringsjernene.

12 Hydrogeologi og injeksjon

12.1 Hydrogeologi og permeabilitetsegenskaper

Grunnvann i svarte leirskifer beveger seg ikke primært langs definerte sprekker, men gjennom porer og mikroriss i bergmassen [6]. Leirskifere kan oppleves som tette bergarter ved uttak av byggegrop og anlegg i grunnen. Overflaten på nye skjæringsflater er først tørre, men over tid blir flatene ofte fuktige ved at det etableres gradienter med vannsig gjennom skifervolumet ut mot frie flater og tørre luft [6].

Lugeonverdier gjenspeiler erfaringsvis ikke lekkasjenivå/hvor tett en svart leirskifer er. En utlekkingstest der man måler utlekking fra et hull over tid kan være mer egnet.

12.2 Forinjeksjon

For å oppnå vellykket forinjeksjon kreves avansert utstyr og fagkompetanse med erfaring fra tilsvarende arbeider. Dette er et krav som bør beskrives klart og følges opp ved evaluering av utførende entreprenør. En skal sikre at de utførende hos entreprenøren har tilstrekkelig kompetanse og holdning til dette arbeidet. Det bør stilles funksjonskrav til utstyret i beskrivelsen: pumpekapasitet, riktige manometer som registrerer mottrykk, logging og registreringsenheter for dokumentasjon av utførelsesdata, pumping ved lave trykk.

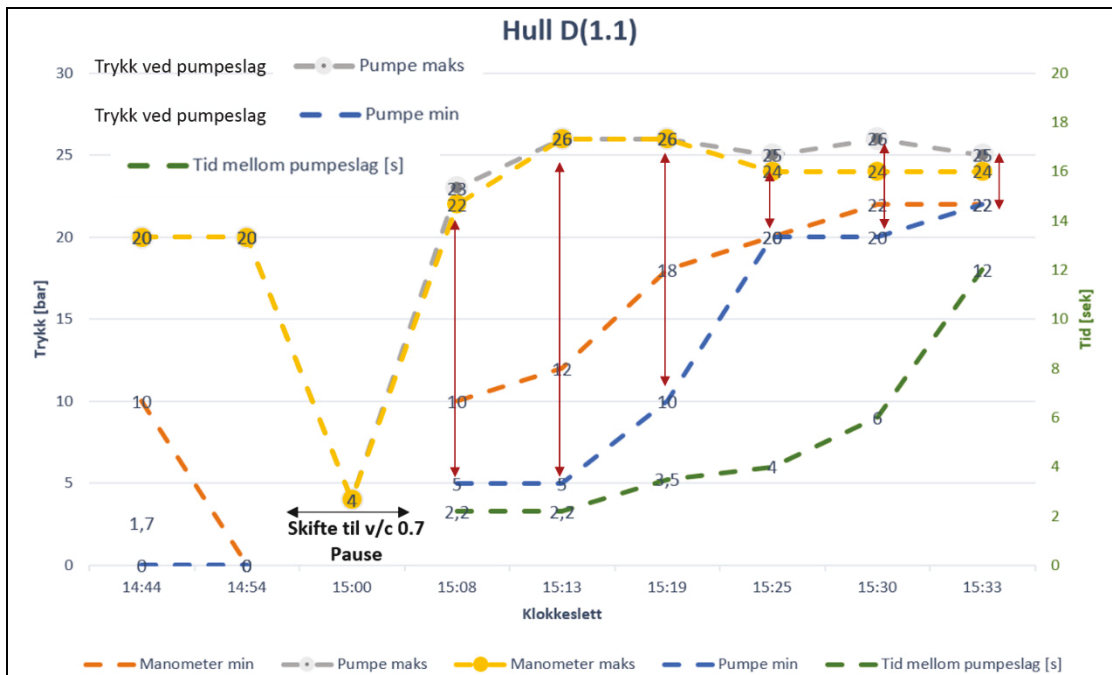
Det er erfart at et trykktap ved injeksjon kommer langsommere ved slike skiferbergarter enn i andre bergarter med mer distinkte sprekkesett. Vanntapsmålinger bør utføres slik at en har en tilstrekkelig lang ventetid etter at overtrykk er etablert. Stoppkriterier må også ta hensyn til at særlig alunskiferen kan være full av mikroriss. Injeksjon av slike skiferbergarter utføres best med injeksjonsmaterialer med lav viskositet og god inntrengningsevne.

Svarte leirskifre har få store sprekker og vanligvis tett med små sprekker. Dette må det tas høyde for i valg av injeksjonsstrategi og ved formål for injeksjonen. Her vil både stabilitetsforbedrende formål og lekkasjereduserende formål være viktige. Valg av injeksjonsmiddel må vurderes ut fra hvilke forhold som skal tettes. Det er oppnådd gode resultater med bruk av microsemeneter, kolloidal silika til forinjeksjon mens polyuretan og epoxy kan være gode alternativer ved etterinjeksjon.

Man kan imidlertid ikke utelukke bruddsoner og sprekkesett som kan medføre innlekkasjer og kommunikasjon mellom injeksjonshull og redusert stabilitet. Det kan være aktuelt å benytte en hydraulisk pakker med utførelse av injeksjon i flere nivåer i injeksjonshull. Spesielt egnet kan dette være nedenfor områder vanntapsmåling gir indikasjoner på større lekkasjesoner, for å få tettet mikroriss også her.

Injeksjon med mikrosemeter vil kunne tette sprekkesett og kunne stanse potensielle lekkasjer på større sprekker og samtidig bedre bergmassens stabilitet. Newtonske væsker gir bedre impregnering/forsegling av mikroriss og tynne sprekker.

Injeksjon skal utføres med et trinnvis økende trykk, for å kontrollere trykk opp mot hydraulisk splitting under injeksjonsutførelsen. Dersom det observeres plutselige trykkfall i manometeret skal injeksjonstrykket reduseres med 5 bar. Figur 15 viser en ønsket trykkoppbygging.



Figur 15. Registrering av pumpetrykk (injeksjonstrykk) og tid mellom pumpeslag (frekvens) under utførelse av injeksjon. Under injeksjonsforløpet vil manometeret svinge mellom den blå kurven (pumpe min) og den grå kurven (pumpe maks). Når den blå kurven nærmer seg den grå kurven opparbeides det mottrykk.

13 Forsegling av bergflater i svarte leirskifre

Ved forsegling av bergvegger i en byggegrop under grunnvannstand, må den kontaktstøpte konstruksjonen som kommer på innsiden dimensjoneres for opptredende vanntrykk. Ved bruk av forsegling av skiferoverflater i tunneler og bergrom vil den sprengningspåvirkede sonen fungere som drengsjikt slik at det ikke får bygget seg opp vanntrykk bak forseglingen. Dersom det bygges udrenerte berganlegg gjelder samme forhold med dimensjonering for fullt vanntrykk som for byggegropen.

Ved forsegling må man ha kontroll på forvittringsomfanget i skifervolumene som forsegles, samt eventuelle konsekvenser endringer forseglingen kan medføre [6]. Forvitret skifer som ikke kan fjernes må vurderes impregnert.

Forsegling kan legges enten direkte på skiferflaten eller et lag med utjevningssprøytebetong. Sistnevnte kan være fordelaktig ved sprøytbar membran, da resultatet blir bedre med en jevnere overflate. Sprøytbare membraner har ulike materialegenskaper som styrke, strekkeegenskaper, heftegenskaper/evne til inngå i en monolittisk pakke med tilgrensende betong, kvalitet og muligheter for reparasjoner ved skade.

For å unngå vannlekkasjer trykkoppbygging av vann under påføring/herding av vanntett membran kan det være nødvendig å etablere midlertidige drenehull i bergmassen.

For membranen er strekkeegenskaper/rissoverbyggende egenskaper en viktig egenskap i tillegg til at den skal være rask å påføre. Membranløsningen må også kunne repareres/utbedres i tilfelle skader/lekkasjer avdekkes underveis.

Etappevis påføring må påregnes og det må sikres en solid membranskjøt/overlapp, både mellom etappevise skjøter og i overgang mellom horisontale og vertikale flater. Ved byggegrop skal, om mulig, forsegling trekkes ut over uttaksområdet.

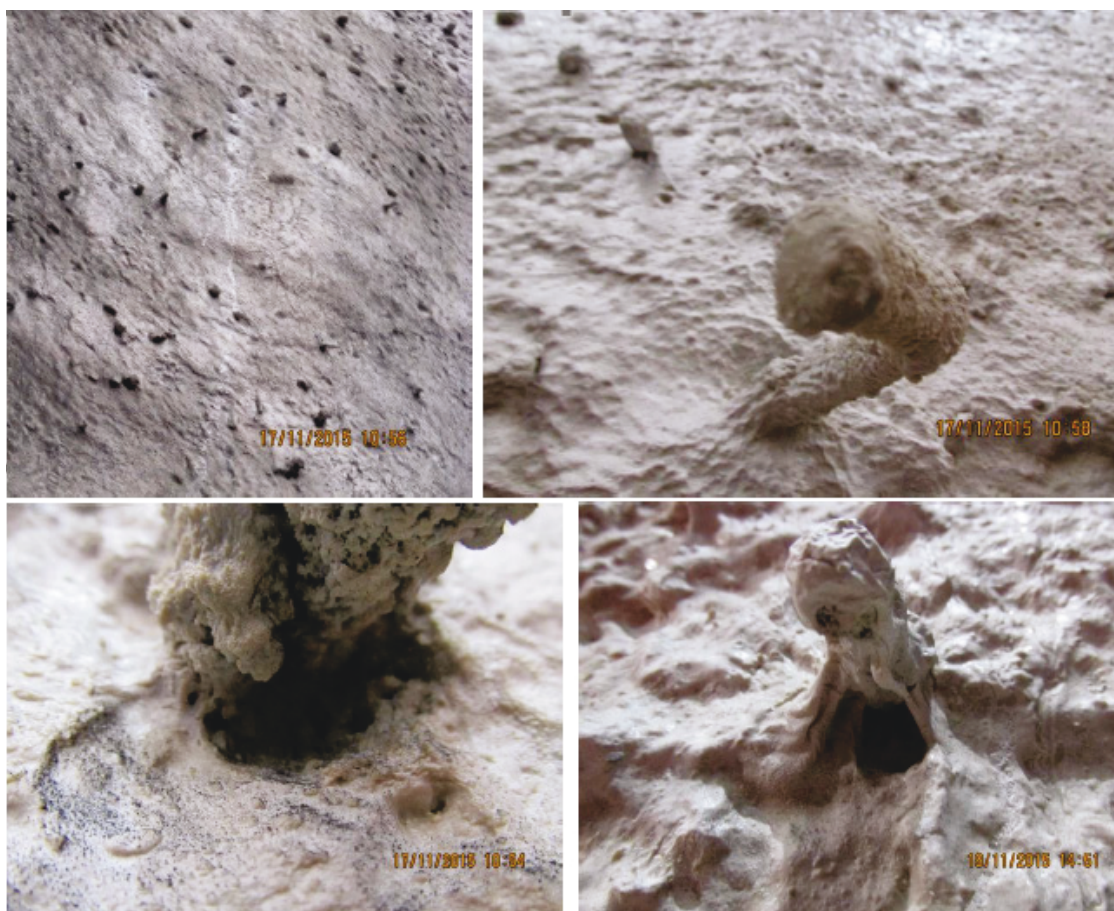
Gjennomføringer etter forsegling er påført bør unngås. Der det skal boltes bør forsegling komme etter bergsikring.

Overflate må være godt rensket og uten synlige vannlekkasjer ved påføring. Produsents beskrivelse bør følges.

13.1 Vanntetningsmembran av EVA

På vertikale flater kan det benyttes en sprøytbar vanntetningsmembran av typen etylvinyl-acetat kopolymer (EVA) og fiberarmert sprøytebetong med spesifiserte vanntetnings-, elastisitets- og fasthetsegenskaper i samvirke med sprøytebetong. Sprøytbar vanntetningsmembran tillates ikke utført direkte på vannlekkasjer og fuktområder uten at temporære drenstiltak er iverksatt.

Det er viktig med liten ruhet på utjevningsslag < 4mm, for å unngå sprøyteskygger. Det stilles også store krav til sprøyteoperatør og at han gjør seg flid med overflaten. Det anbefales å benytte mikrofiber fremfor macro plastfiber i utjevningsslaget for å få en overflate med liten ruhet, Figur 16.



Figur 16. Ujevn overflate ved bruk av plastfiber i utjevningsslag.

13.2 Bitumenpolymer-membran

Som forsegling av horisontale skiferflater i bunn av byggegrøper og berganlegg er det gode erfaringer med bruk av bitumen- polymerbasert membran. Disse membranene skal være dokumentert radontett (SINTEF godkjent). Andre krav som bør stilles til slike membraner er:

- minimum 4mm tykkelse
- elastisk med strekkforlengelse 300%

Disse membranene kan sprøytes direkte på bergoverflate eller utjevningsslag av betong.

Et tiltak for å redusere materialforbruk kan være å legge ut en fiberduk, spesielt dersom overflaten er våt, ujevn eller dårlig rengjort. Ulempen med denne løsningen er at det kan medføre dannelsen av et drensikt under membran som er lite ønskelig.

En egen membranvariant for reparasjoner herder mye langsommere enn den som blir sprøytet. Å sprøyte litt ekstra bitumenpolymer på en fiberduk og skjære av biter som kan legges over hull og evt. suppleres med smørbar utgave av membranen er løsninger som blir benyttet ved punktlekkasjer.

14 HMS

14.1 Støvende arbeider – indre og ytre miljø

Svarte leirskifre genererer mye fint støv ved boring, sprengning, pigging, opplasting og forflytning. Støv som genereres kan ha betydning for arbeidsmiljø, særlig i lukkede rom, og omgivelsene rundt anleggsområdet. Spesielt for lukkede rom er det behov for tilpasset ventilasjonssystem for å håndtere støv og luftforurensning.

Det er erfart irritasjon i slimhinner ved kontakt med støv fra svarte leirskifre. Generelt gjelder også aktsomhet overfor silikose ved skiferbergarter.

Metoder for å redusere støv kan være flere. Det kan være aktuelt med støvbinding med vann. Effekten av slik støvbinding og vannforbruk avhenger av dråpestørrelsen ved vanntåke. Vanntåke blir mest effektivt når dråpestørrelsen tilpasses størrelsen på partiklene i støvet. Et alternativ kan være fukting av skiferoverflater og fukting av sprengsteinen. Salting av veier binder støvet og reduserer oppvirket støv fra anleggstrafikken.

Støvutvikling må vurderes med hensyn på ytre miljø.

14.2 Forvitret skifer, fare for etseskader og sur avrenning.

Forvitret skifer kan gi etseskader på hud (gjelder særlig der det er klare gule farger).

Vann i kontakt med forvitret alunskifer kan være helseskadelig for organismer og påføre etseskader på hud og slimhinner på grunn av en svært lav pH-verdi.

Alunskifer er på grunn av de syredannende egenskapene en problematisk bergart når det gjelder potensiell forurensing, miljøbelastninger og korrosjon på infrastruktur i grunnen og betong.

Frisk alunskifer vil ikke umiddelbart generere et forvitringstilstand med $\text{pH} < 3$. Utlekkingstester på frisk skifer vil gi betydelig lavere konsentrasjoner på de fleste måleverdier enn for utlekkingsstester på forvitret svart skifer. Verdier fra utlekkingsstester kan ha betydning for valg av tiltak i deponi, se [1].

14.3 Radon

Radon er en radioaktiv gass som produseres i en rekke bergarter. Gassen er et nedbrytningsprodukt av uran og thorium, og er derfor vanlig å finne i sammenheng med bergarter som er rike på naturlige radioaktive nuklider, som for eksempel alunskifer. Ettersom uran og thorium er kildene til radongassen er disse en viktig faktor, men gassen må også kunne transporteres ut av bergarten for å bli frigitt til omgivelsene, så faktorer som overflate, kornstørrelse og sprekkesystemer er også betydelige.

Innånding av radongass øker risikoen for lungekreft, og det har blitt estimert at radon er årsak til mellom 100 og 300 av totalt omtrent 1700 årlige tilfeller av lungekreft [15]. Bygg som blir bygget på grunn med uran- og thoriumholdige bergarter, eller med lignende fyllmasser, risikerer å få innlekking av radongass. I de store luftvolumene ute fortynnes denne gassen raskt, men hvis den får anledning til å oppkonsentreres i begrensede luftvolum, utgjør den en helserisiko [16].

Med hensyn til potensial for dannelse av radongass kreves det at aktiviteten til radium-226 i tilkørte masser, som skal brukes under eller rundt bygninger, ikke overstiger 0,3 Bq/g [1].

14.4 H₂S-gass

I bergmasser av spesielt Alunskifer bør en være oppmerksom på at H₂S-gass (lukt av råtne egg) vil kunne oppkonsentreres i forsenkninger, da den er tyngre enn luft. Gassen er giftig i store konsentrasjoner, men ubehaget (hodepine, kvalme etc.) ved å være i slik luft vil oppstå lenge før det er farlig. God sirkulasjon er imidlertid viktig.

15 Fundamentering ved bygging i svarte leirskifer

Bergmekaniske egenskaper er grunnlag for dimensjonering, valg av løsninger og logistikk i byggeprosjekter. Normalt er bygging med fundamentering direkte på berg ikke beheftet med begrensninger knyttet til bæreevne. For bygging i og på alunskifer og andre svake leirskifre representerer de bergmekaniske egenskapene en begrensning i forhold til dimensjonerende laster. Volumutvidelser og forvitningsreaksjoner i alunskifer medfører reduserte mekanisk styrke og kan medføre skader på konstruksjoner.

Alunskifer og svarte leirskifre stiller krav til løsninger for fundamentering, radon, håndtering av grunnvann og overflatevann. Helhetlige løsninger krever samhandling med andre prosjekterende fag (ARK, RIB, RIM, RIV), slik at dette blir hensyntatt også i deres prosjektering [17]. RIG må komme med innspill til RIB slik at de ikke overvurderer bæreevnen eller prosjekterer drenert løsning. Uheldig geometri som høydesprang og pidestaller av skifer under bærende konstruksjoner bør unngås. Det er vanlig å prosjektere frittstående dekker som gir rom for svelling i områder med svarte leirskifere med fare for svelling. Det skal heller ikke etableres pumpesumper ved bygging i og på svarte leirskifere, da dette kan medføre punktforurensning på ledningsnett i tillegg til strømning av vann igjennom den svarte leirskiferen.

RIV: Vann som produseres i bygget bør legges i rørføringer helst i bunnplate og over et diffusjonstett sperresjikt. Rørføringer bør plasseres over diffusjonstett sjikt og f.eks støpes inn i bunnplate. Fordrøyningsbasseng i grunnen og kummer uten bunntetting skal unngås. Prosjekterte løsninger bør ivareta at grunnvann holdes i ro og at overflatevann og grunnvann ikke blandes [6].

RIM: Ved bygging i og på svarte leirskifere må det tas hensyn til forurensningspotensiale fra de aktuelle bergmassene. Det må tas hensyn til forurenset/surt vann fra anleggsperioden, masser må deponeres i henhold til deponiforskriften, etc. Radon må også hensyntas.

Tillatt grunntrykk bør vurderes ut fra forventet variasjoner i bergmassekvaliteten i alunskifer. Se vedlegg A for eksempel på beregning av tillatt grunntrykk. Det innebærer blant annet knusningssoner, varierende grad av oppsprekking, glidespeil etc. som ikke er jevnt fordelt i bergmassen. Generelt gjelder også at laster skal føres ned til nivå for graveplan for å unngå / minimalisere skjærkrefter i alunskifervolumer under fundamentene. Dette er føringer for RIB.

Forvitring i svarte leirskifre er drevet av red-oksreaksjoner som forutsetter tilgang på oksygen og fukt/vann. Det er også den svellemekanismen som er dominerende i svarte leirskifre. Vann i bevegelse gjennom svartskifer vil gi sur avrenning med høy konsentrasjon av tungmetaller. Kappilærsug kan gi fukttransport til områder med lavere luftfuktighet og bidra til svelling. Senking av grunnvann må også unngås, også mtp svelling i tillegg til løsmassesetninger. Løsninger ved bygging i alunskifer bør derfor være udrenert, med vanntett og diffusjonstett forsegling av skiferflater for å unngå

forvitring og tilførsel av fukt og vann [6]. En diffusjonstett membran skal også fungere som en radonsperre. Forsegling bør etableres kort tid etter uttak for å hindre forvitring. Ferske flater kan ofte virke tørre, men en fuktgradient fra berget mot den tørrere luften/overflaten vil kunne gi en vanntransport ut på flatene over tid. Områder med forvitring skal fjernes før forsegling, og forvitret skifermasse som ikke kan fjernes skal vurderes impregneret/injisert i tillegg til at de forsegles.

Det er et hovedprinsipp at det skal etableres en vanntett løsning ved bygging i og på alunskifer. En slik løsning krever at innvendige konstruksjoner dimensjoneres for vanntrykk som oppstår.

Ved bygging i og på svart leirskifer er det også viktig å ta hensyn til hvilke konsekvenser planlagte og utførte tiltak får for naboeiendommer. Det kan være nyttig å etablere et fysisk vanntett og diffusjonstett skille mellom eiendommer.

15.1 Byggegroper

Drenerte løsninger vil kunne medføre forvitningsreaksjoner i svarte leirskifer og må derfor unngås. Det bør prosjekteres vanntette og diffusjonstette løsninger som også skal hindre at grunnvannsspeilet senkes i permanent situasjon.

Etablering av et vanntett og diffusjonstett sperresjikt kan utføres på flere måter avhengig av funksjonskrav. For vertikale flater kan det være fordel med en sprøytemembran som skal gi en monolittisk binding til sprøytebetong, med tanke på heft. På horisontale flater i bunnen av byggegropp kan f.eks en bitumenpolymer basert membran benyttes, med gode strekkegenskaper. Se vedlegg D for eksempel på hvordan dette kan utføres i samvirke med sprøytebetong.

En skal være spesielt oppmerksom på hvordan naboeiendommer er fundamentert, kotehøyder for fundamenter, alder på fundamentering og eventuelle rehabiliteringer. Endringer i laster eller i kotehøyder kan ha konsekvenser på kort sikt eller lang sikt. Det er ikke uvanlig at infrastruktur som f.eks. fjernvarme, sprinkler, bruksvannsavløp og grunnvannsdrenering kan krysse eiendomsgrenser. Dette er sårbare punkt dersom det ikke er en helhetlig forvaltning av VA infrastruktur. Skader her kan medføre at bygningen ikke kan benyttes helt eller delvis i korte eller lengre perioder.

Ved uttak av høydesprang vil flatene ofte bli fuktige over tid, selv om de fremstår tørre ved uttak [6]. Hyller og utstikkende hjørner kan gi utfordringer med vannlekkasjer grunnet trykkavlasting.

15.2 Tunnel/bergrom

Drenerte løsninger vil kunne medføre forvitningsreaksjoner i svarte leirskifer og må derfor unngås. Det bør prosjekteres vanntette og diffusjonstette løsninger som også skal

hindre at grunnvannsspeilet senkes i permanent situasjon. Ved prosjektering av vanntette løsninger må konstruksjoner dimensjoneres for å tåle vanntrykket som da oppstår.

Vertikale flater og i heng og vederlag i bergrommene kan tettes tilstrekkelig med systematisk forinjeksjon i kombinasjon med en sprøytemembran som gir en monolittisk binding til sprøytebetong, mtp heft. Se vedlegg D for eksempel på hvordan dette kan utføres i samvirke med sprøytebetong.

15.3 Bergskjæring

For bergskjæringer langs veg er det vanligvis lite hensiktsmessig med vanntett løsning som følge av frostsprengning og oppbygging av vanntrykk. I bergskjæringer kan det være hensiktsmessig å vurdere løsninger som ikke krever bruk av sprøytebetong. Der bør skjæringer legges slake for å redusere sikringsmengder. Alternativt kan det etableres en tilstrekkelig stor fanggrøft kombinert med bolt og nett. For bolter bør anbefalinger i kap 11.2 følges. Nett må være korrosjons beskyttet og tåle det aggressive/sure miljøet. Som følge av korrosjon på bolt og nett og potensiell oppløsning av bolttemørtel forutsettes hyppigere vedlikeholdsfrekvens enn normalt.

15.4 Fundamenter for bru/veg

Ved nedføring av store konsentrerte laster på berggrunn av alunskifer anbefales det at hele flaten som er sprengt ut forsegles og utformes slik at det forebygges forvittringsprosesser rundt selve brufundamentet. Dersom skiferflatene rundt fundamentet får forvitte fritt kan det over tid medføre redusert bæreevne for hele fundamentet.

15.5 Karakteristiske skader på konstruksjoner

Karakteristiske skader i bygninger som er fundamentert på svartskifer kan være sprekker og riss i veggflater og/eller i overgang bæresystemer/veggflater. Dersom det skjer løft eller setninger knyttet til fundamentet/bærende konstruksjoner kan dette medføre skjærkrefter. Riss og sprekker kan oppstå. Geometrien på slike riss og sprekker vil vise relative bevegelser i bygningen. Svelletrykk på dekker som grenser mot kan observeres som riss og sprekker i gulvflater. Er det løft i dekket som følge av kontakt med alunskifer som utvikler svelletrykk, vil dette ofte observeres som stjerneformede riss på flatene. Det kan også skje at det skjer løft over støpeskjøter. Dette vil da observeres som høydesprang i dekke. Sideveisbevegelser kan medføre riss med en geometri som viser dette.

Riss og sprekker kan observeres også ved sot-/støvavleiringer, luftstrøm (trekk) og ved at det er utført sparkling/lapping av slike over tid. Normalt vedlikehold som innvendig oppussing, maling av flater med mer gir innblikk i når det har skjedd bevegelser.

Der riss og sprekker legger til rette for luftinntrengning med radon, kan dette medføre forhøyede radonkonsentrasjoner i rom i bygninger. Der det er balansert ventilasjon håndteres dette ofte av den mengde luft som skiftes ut. Der det ventileres med undertrykk kan radon fra grunnen suges inn i bygningen. Riss og sprekker og utette rørgjennomføringer bør også kontrolleres ut fra branntekniske krav.

Skader som kan oppstå som følge av forvittringsreaksjoner i alunskifer. Slike skader kan eksempelvis være riss, at vegger er ute av lodd og at gulv ikke er i plan. Lettvegger står på dekker og vil vise skader dersom det er løft eller setninger i dekket. Riss eller andre skader i bærende konstruksjoner kan skyldes sideveistrykk og/eller løft eller setninger i grunnen. Det henvises til plantegninger for oversikt over lettvegger og bærende konstruksjoner (veggliv og søyler). Videre registreres også fuktgjennomslag. I pumpe-sumper tas det vannprøver og en visuell vurdering av pumpe-sumpen.

Teglstein i kontakt med alunskifer gjenkjennes ved utfelling av sulfater [6]. For å redusere skadeomfang må man kjenne til hvilke sulfatmineraler som dannes da det er behov for ulike tiltak knyttet til ulike sulfater [6].

16 Rehabilitering av kjellerarealer i svartskifer

I urbane områder vil bygningsmassen med ulike tidsintervaller rehabiliteres. I vurderingsgrunnlaget inngår derfor geometri knyttet til nedføring av laster for naboeiendommer som må med i dimensjonering av stabiliserende tiltak og en vurdering av risiko knyttet til svelletrykksutvikling i skifer på tilstøtende eiendommer. Stabiliserende tiltak skal i størst mulig grad gjennomføres innenfor eiendomsgrensen. Dette kan for eksempel være innvendig, midlertidig avstivning, seksjonsvis støp av pilastere under vegg-liv eller andre egnede metoder. Løsninger utarbeides vanligvis av RIB med innspill av RIG. Bergsikring kan også være aktuelle tiltak for å bevare stabilitet både i gjennomføringsfase og permanentfase.

Tilstandsvurdering gir informasjon om viktige forhold vedrørende et mulig forvittringsomfang, fundamenteringsskader og risikoforhold knyttet til naboeiendommer. Det er særlig tre forhold som skal vurderes i tilstandsvurdering av bygg på svart leirskifer; svelletrykk, vannsig og radoninntrengning.

Ved fjerning av gulv og eventuell senkning av kotehøyde for skiferflaten skal en være spesielt oppmerksom på å ikke etablere pidestaller av skifer under bærende konstruksjoner.

17 Erfaringer fra anlegg i alunskifer

17.1 Romeriksporten (1994-1999)

Romeriksporten går mellom Oslo og Lillestrøm, og er med sine ca 14,5 km Norges lengste jernbanetunnel. Den er mest kjent for de store vannproblemene under drivingen, men det var stedvis også stabilitetsproblemer som førte til tung sikring. Første sted var den såkalte Brynsonen, som er hovedforkastningen mellom kambrosilurbergartene i Oslofeltet, og grunnfjellsgneisene i Østmarka. Forkastningen krysser tunnelen der Ring 3 går på bru og rett inn i Brynstunnelen.

På forhånd ble det utført grundige undersøkelser med kjerneboringer og omfattende bergkontrollboringer. Minste overdekning var ca. 2,5 meter, og med antatt svært dårlig bergmassekvalitet ble flere alternativer for passering av sonen vurdert, bl.a. frysing. Over tunnelen var det ca. 15 meter løsmasse, i hovedsak leire. Der går både Alnaelva, og Ring 3 på bru, og ved eventuelt ras ville man kunne fått elva inn i tunnelen, med påfølgende erosjon oppover mot Alna, utrasning av veier og kollaps av brua på Ringveien. Metoden som ble valgt var basert på 2 meter salver, delte tverrsnitt, og sikring med sprøytebetong og bolter før utstøpning. Det skulle m.a.o. aldri være mer enn 2 meter av tunnelen som ikke var utstøpt. Bergmassen var som forutsatt, med sterkt oppsprukket og oppknust gneis i blanding med alunskifer som kunne graves ut med hendene.

På det mest kritiske raste det ut ca. 1 meter alunskifer i hengen slik at overdekningen i realiteten bare var ca. 1,5 meter. Dette ble stoppet med sprøytebetong, og passering og sikring gikk som forutsatt. Andre steder i tunnelen med markerte svakhetssoner hvor bergmassen var oppknust og leirinfisert, og det i tillegg var mye vann, ble det sikret med full utstøpning. Begrunnelsen var at det var vanskelig å få utført sprøytebetong på en god måte, og at det dermed var vanskelig å oppnå en solid nok konstruksjonen i det store profilet (110 m² sprengningsprofil).

17.2 Nye Nationaltheateret stasjon (1995-1999)

Nye Nationaltheatret stasjon har en total lengde på 966 meter, derav 829 meter i berg. Tunneltverrsnittene, inkludert sjakter, adkomsttunneler og nødutganger, varierer fra 20 til 300 m². Bergartene består av skifer og knollekalk, og typiske Q-verdier varierer mellom 1-10. Svakhetssoner og de partiene med kun noen få meter bergoverdekning har lavere Q-verdier.

I dyprennen under Arbins gate ble det benyttet armerte sprøytebetongbuer som permanent stabilitetssikring der spennvidden var 22 meter og bergoverdekningen var ned mot 3 meter. I utgangspunktet var det planlagt vanntett sikringsstøp på stuff for å tilfredsstille de strenge kravene til å opprettholde grunnvannsstanden. Det var lite erfaringer med bruk av buer slik at det ble foretatt omfattende instrumentering for

kontroll og dokumentasjon av deformasjoner og sikringstrykk. Disse dataene har i ettertid blitt benyttet for å etterberegne dimensjonerende kapasitet på sprøytebetongbuer.

Tunnelen på 200 m² ble drevet ut ved å dele tverrsnittet i 4 deler, se figur 33. For takskiven ble det satt igjen en stabbe i midten av profilet og drevet ”pilot” på hver side. Det ble benyttet 6 meter lange Ø32mm forbolter c/c 0,3 meter og overlapp med 4 meter. Etter sprenging og maskinell rensk ble det påført fiberarmert sprøytebetong, avrette groper + 10 cm tykkelse. Det ble montert radielle bolter med c/c 1,5 meter som tverrjernene ble festet på med vanlige boltemuttere. Deretter ble 6 stk Ø16mm armeringsjern bøyd inn og festet til tverrjernene slik at profilet ble fulgt. Avstanden mellom armeringsstengene var mellom 5 og 10 cm, og det hele ble sprøytet inn med sprøytebetong. Ved uttak av midtstabben ble buene i pilotene montert sammen i til en bue over hele tunneltverrsnittet.

18 Referanser

- [1] NGI, «Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter. Veileder for miljødirektoratet.» Miljødirektoratet, 2015.
- [2] O. Graversen, J. Naterstad, J., O. Nilsen, Ø. Nordgulen og O. Lutro, *Berggrunnskart OSLO 1914 IV M 1:50.000, foreløpig utgave.*, Norges geologiske undersøkelse, 2009.
- [3] e. a. Owen, «The Ordovician succedions of The Oslo Region, Norway.» NGU, 1990.
- [4] Norges Geologiske Undersøkelse, «www.ngu.no,» [Internett].
- [5] NGF, «http://foreninger.uio.no/ngf/boka/kapittel_05/pages/image/imagepage41.html,» [Internett].
- [6] E. Endre, *Ingeniørgeologiske/geologiske løsninger og grensesnitt mot andre prosjekterende fag for å unngå skaller og uheldige miljøkonsekvenser ved bygging i og på alunskifer og beslektede svarte leirskifer*, Oslo: Fjellsprengningsteknikk Bergmekanikk/Geoteknikk 2014, 2014.
- [7] S. Bazin, A. Lysdahl, A. Viezzoli, H. Anschütz, J. Scheibz, A. Pfaffhuber og H. Fjermestad, «Resistivity and chargeability survey for tunnel pre-investigation: a case study on toxic black shales in Norway».
- [8] Statens vegvesen, «Sammenstilling av geofysiske data fra borehull. Resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling. Rapport nr. 124,» 2012.
- [9] www.lovdata.no, «Forskrift om deponering av avfall. FOR-2002-03-21-375,» [Internett].
- [10] www.lovdata.no, «Forskrift om begrensnings av forurensning. FOR-2004-06-01-931,» [Internett].
- [11] Klima- og forurensningsdirektoratet, «Veileder til forurensningsforskriften, kapittel 2. TA 2913/2012.,» 2012.
- [12] www.lovdata.no, «Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall, FOR 2011-11-01-1394,» [Internett].
- [13] P. Hagelia, «Detoriation Mechanisms and Durability of Sprayed Concrete for Rock Support in Tunnels,» 2011.
- [14] Statens vegvesen, Vegdirektoratet., «Vern av betong mot alunskifer,» 2000.
- [15] www.ife.no, [Internett].
- [16] www.nrpa.no, [Internett].
- [17] E. Endre, *Dynamisk prosjekterin; en suksessfaktor ved rehabilitering av verdifulle bygårder fundamentert på avlunskifer*, Oslo: Fjellsprengningskonferansen Bergmekanikk/Geoteknikk 2011, 2011.

- [18] NGI, «Karl Johans gate 14, Kirkegaten 23/25. Oppsummering valg av løsninger for fundamentering på og forsegling av alunskifer i Karl Johans gate 14. 20081294-00-14-R,» 2010.
- [19] Arbeidstilsynet, «Veiledning om stråling fra radon på arbeidsplassen. Arbeidstilsynets publikasjoner best.nr. 605.,» 2014.
- [20] NFF, «Håndbok nr.1 Berginjeksjon,» 2002.

Vedlegg A

MEKANISKE EGENSKAPER TIL
SVARTSKIFER

Prosjektering av bygg på svartskifer

1 Mekaniske egenskaper av berggrunnen

1.1 Grunnundersøkelser

Egenskapene for berggrunnen er bestemt ut fra undersøkelser utført på tilsvarende skifre som på det aktuelle byggestedet i Oslofeltet. Det er ikke utført bergmekaniske undersøkelser på prøver fra berggrunnen på det aktuelle byggestedet.

Fra berggrunnen i det aktuelle byggestedet er det tatt ut et stort antall prøver for geokjemiske analyser. Resultatene fra disse analysene viser variasjon i geokjemiske egenskaper for skiferlagene innenfor byggegropa. De mekaniske egenskapene vil også variere mellom skiferlagene.

1.2 Bergmekaniske egenskaper av kjerneprøver

Bergmekaniske egenskaper for de aktuelle skifertypene er nylig blitt undersøkt, [1]. Undersøkelsen omfatter kjerner fra fem borehull, til sammen 59 kjerner. Undersøkelsen omfatter fem bergmekaniske parametere: densitet, lyd hastighet, E-modul, Poissons's tall og trykkfasthet. Tabell 1 gir et sammendrag av prøvearbeidet.

Tabell 1 Sammenndrag av prøving av svartskifer [1]

Borehull	Etasje	Antall kjerner	Brudd under preparering	Prøving etter standard	Prøving utenom standard
ANK	4a	16	10	1	3
BH2	4c/3b	15	4	4	9
BH1	3b α	7	0	4	4
BH4	3b α	14	5	1	7
KBH03	2	7	1	0	6
Tilsammen		59	20	10	29

Prøvematerialet inneholder også prøver fra forvitret skifer for å dokumentere egenskaper i forvitret sone. Resultatene demonstrerer tydelig utfordringer med prøving av svake skifre, og spesielt prøver fra forvitret sone. Det er for det første en begrenset del av kjernene som er lange nok til at det kan lages prøvestykker av dem. Av de utvalgte prøvestykkene er det 39 av 59 (66 %) som er sterke nok til at de kan prepareres for å kunne trykkprøves. Av de 39 prøvene er det 29 (74 %) hvor lengden på prøven tilfredsstillende prøvestandarden. Prøveresultatene som er benyttet gjelder derfor den beste halvparten av prøvematerialet. Dette er vektlagt ved bestemmelse av karakteristisk styrke.

Geologisk tilhører berggrunnen i bunn av byggegropa etasje 2 i Oslofeltets skiferlagpakke. Derfor er det naturlig å fokusere på resultatene fra borehull KBH03.

Imidlertid viser de geokjemiske prøvene fra berggrunnen i byggegrøpa at den ligner mye på berggrunnen ved borehullene BH1 og BH4, begge fra etasje 3bα. Resultatene fra disse borehullene er brukt til støtte for resultatene fra KBH03. I tabell 2 er gitt middelerdi og standardavvik for de fem undersøkte parameterne.

Tabell 2 Mekaniske parametere av svartskifer; middelerdi og standardavvik

Borehull	Densitet	Lydhastighet	E-modul	Poisson's tall	Enaksial trykkfasthet
	kg/m ³	m/s	GPa	1	MPa
BH1	2725	4811	40.3	0.30	31.8
	18	902	24.2	0.07	30.3
BH4	2706	3786	34.4	0.16	49.6
	32	1397	24.4	0.07	29.4
KBH03	2644	4597	44.3	0.21	55.2
	22	639	11.6	0.03	35.5

1.3 Karakteristiske egenskaper av kjerneprøver

Karakteristiske verdier for de bergmekaniske egenskapene er bestemt i henhold til EC7, pkt. 3.3 Evaluering av geotekniske egenskaper.

Densitet og tyngdetetthet

Det er lite spredning i dataene for densitet av svartskifer i etasje 2. Middelerdien fra KBH03 legges til grunn:

$$\text{Densitet, karakteristisk: } \rho = 2645 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Tyngdetetthet, karakteristisk, } \rho \cdot g = 2645 \cdot 9.82 = 26 \text{ kN/m}^3$$

Lydhastighet

Lydhastigheten er teoretisk en funksjon av modul og densitet:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

hvor c lydhastighet (L/T)

K kompresjonsmodul (F/L²)

ρ densitet (M/L³)

I praksis betyr imidlertid mikrosprekker og riss mye mer for lydhastigheten enn modul og densitet. Lydhastigheten kan derfor brukes som en indikasjon på mengden

av riss og mikrosprekker i berg. Som figur 1 viser er det ingen korrelasjon mellom densitet og lydhastighet.

For beregning av bølgeforplantning i intakt berg (rystelser) anbefales følgende verdier:

Lydhastighet, middelverdi:	4600 m/s
Lydhastighet øvre grense:	6000 m/s
Lydhastighet nedre grense:	2000 m/s

E-modul

Som lydhastigheten viser e-modulen stor variasjon. Figur 2 viser at de to parameterne er godt korrelert. For beregning av deformasjoner i intakt berg anbefales følgende verdier:

E-modul, karakteristisk, permanente laster:	20 GPa
E-modul, karakteristisk, kortvarige laster:	40 GPa

Poisson's tall

Poisson's tall varier i prøvematerialet mellom 0,16 og 0,30. For beregninger av deformasjoner i intakt berg anbefales:

Poisson's tall:	0,20
-----------------	------

Enaksial trykkfasthet

Den enaksial trykkfastheten viser stor spredning. For de fleste bergarter er det en tilnærmet lineær sammenheng mellom trykkfasthet og E-modul. Som figur 3 viser er det dårlig korrelasjon i dette tilfellet. For prøvene fra KBH03, etasje 2, er det antatt at et forholdstall mellom trykkfasthet og E-modul på 610 kan anvendes.

Et statistisk plott viser at trykkfastheten er normalfordelt, se figur 4. Øverst på figuren er det vist resultatet fra prøvene tatt i BH2 og BH4, etasje 3b α og nederst prøvene fra KBH03, etasje 2. Vi har skjønnsmessige vurdert prøvematerialet slik at dataene fra etasje 2 skal tillegges større vekt enn dataene fra etasje 3b α .

Den store spredningen i trykkfasthet maner til forsiktighet i bestemmelsen av karakteristisk verdi. Som vist på figur 4, anbefales at karakteristisk verdi settes lik middelverdi minus ett standardavvik. Det er bl.a. i samsvar med praksis for betong. For beregninger på intakt berg anbefales følgende verdier:

Trykkfasthet, middelverdi:	44 MPa
Trykkfasthet, karakteristisk:	15 MPa

1.4 Sammendrag

Tabell 3 gir et sammendrag av parameterne fra prøving av kjerner, intakt berg.

Tabell 3 Svartskifer, mekaniske parametere fra prøving av kjerner

Parameter	Enhet	Verdi
Densitet	kg/m ³	2645
Tyngdetetthet	kN/m ³	26
Lydhastighet, middelerdi	m/s	4600
Lydhastighet øvre grense	m/s	6000
Lydhastighet nedre grense	m/s	2000
E-modul, karakteristisk, permanente laster:	GPa	20
E-modul, karakteristisk, kortvarige laster:	GPa	40
Poisson's tall	1	0,20
Trykkfasthet, middelerdi	MPa	44
Trykkfasthet, karakteristisk	MPa	15

2 Mekaniske egenskaper av berggrunnen

De mekaniske egenskapene som er målt på kjerneprøver reflekterer ikke innflytelsen av sprekker og strukturer i berggrunnen som er større enn kjerneprøvene. For beregning av konstruksjoner må den innflytelsen tallfestes. Til den prosessen benyttes et empirisk grunnlag som bygger på bruddkriteriet til Hoek & Brown, [3] og [4].

Inngangsparameterne til prosessen er gitt i tabell 4. Beregningene av egenskapene for bergmassen er utført i et regneark, se Vedlegg A1 og A2. Tabell 4 viser inngangsparameterne til å bestemme egenskapen til bergmassen. Tabell 5 viser resultatet av prosessen. Det er disse parameterne som skal benyttes ved prosjektering av konstruksjoner i kontakt med berggrunnen.

Tabell 4 Inngangsdata til mekaniske egenskaper av berggrunnen

Parameter	Symbol	Enhet	Uforstyrret berggrunn	Forstyrret av sprenging
Trykkfasthet, intakt berg	q_{uk}	MPa	15	15
Hoek & Brown parameter	m_i	1	8	8
Geologisk styrkeindeks	GSI	1	50	50
Forstyrrelsesfaktor	D	1	0	0.7
Modulforhold	MR		610	400

Tabell 5 Mekaniske egenskaper av berggrunnen med sprekker og stikk etter Hoek & Brown. Til bruk ved prosjektering av konstruksjoner

Parameter	Symbol	Enhet	Uforstyrret berggrunn	Forstyrret av sprenging
Densitet	kg/m ³	ρ	2645	2600
Tyngdetetthet	kN/m ³	ρg	26.0	25.5
Hoek & Brown bruddkriterium	m _b	1	1.34142	0.51283
	s	1	0.00387	0.00071
	a	1	0.50573	0.50573
Bergmasse, trykkfasthet	q _{um}	MPa	0.903	0.384
Bergmasse, strekkfasthet	T _{rm}	MPa	0.043	0.021
Bergmasse, global fasthet	q _{rm}	MPa	2.369	1.422
Bergmasse, modul	E _{rm}	MPa	2811	1208
Bergmasse, Poisson's tall	ν	1	0.2	0.15

3 Bæreevne

3.1 Bæreevne etter EC7, vedlegg G [6]

Dette vedlegget har sin opprinnelse i British Standard. Metoden er preget av grunnforholdene i Storbritannia som har mange felles trekk med den aktuelle byggetomten. Metoden gir bæreevne på svak og middels sterk berggrunn hvor setningen skal være mindre enn 0,5 % av fundamentbredden.

Legges bredden på vouten under søylene inn som fundamentbredde, b=4.0 m blir maksimal setning dette tilfellet:

$$\delta_{\text{maks}} = 0,005 * 4.0 = 0,020 \text{ m}$$

Den aktuelle svartskiferen kan tolkes å tilhøre gruppe 3, skifer, (slate or schist) med steil kløyv eller gruppe 4, usementert leirstein og leirskifer (mudstone and shale). Med en karakteristisk trykkfasthet på 15 MPa og en sprekkeavstand på 200 mm blir tillatt grunntrykk ca. 2.0 MPa for gruppe 3 og 1.0 MPa for gruppe 4.

3.2 Bæreevne etter Peck et.al. (1974) [6]

Etter Peck et.al. finnes bæreevnen som en funksjon av RQD, Rock Quality Designation. Siden vi ikke har egne kjerneboringer på stedet, er RQD anslått å ligge mellom 25 og 40.

Det gir etter denne metoden et tillatt grunntrykk i bruksgrensetilstand mellom 3 og 5 MPa.

3.3 Bæreevne etter Canadian Geotechnical Manual (2006) [7]

Etter CGM beregnes tillatt grunntrykk ved en funksjon av enaksial trykkfasthet, sprekkeavstand og sprekkeåpning:

$$q_a = K_{sp} q_{u \text{ core}}$$

$$K_{sp} = \frac{3 + c/b}{10 \sqrt{1 + 300 \delta/c}}$$

hvor	q_a	tillatt grunntrykk
	K_{sp}	empirisk koeffisient som inkluderer en sikkerhetsfaktor på 3.
	q_u	midlere enaksial trykkfasthet av borekjerner
	c	sprekkeavstand
	b	fundamentbredde
	δ	sprekkeåpning

Uttrykket for K_{sp} er gyldig innen grensene:

$$0.05 < c/b < 2,0$$

og

$$0 < \delta/c < 0.02$$

For en fundamentbredde, $b= 4.0$ m, sprekkeavstand, $c = 0,2$ m og sprekkeåpning, $\delta= 0,002$ mm blir tillatt grunntrykk i bruksgrensetilstand, $q_a = 2.3$ MPa

3.4 Bæreevne etter Carter & Kulhawy (1988) [8]

Etter Carter & Kulhawy's metode beregnes ved grunnbrudd under et fundament ut fra Hoek & Brown bruddkriterium:

$$q_{ult} = q_u \left(\sqrt{s} + \sqrt{s + m_b \sqrt{s}} \right)$$

hvor q_{ult} kapasitet ved brudd
 q_u enaksial trykkfasthet
 s Hoek & Brown parameter
 m_b Hoek & Brown parameter.

Med denne metoden kan tillatt grunntrykk beregnes på to måter, enten ved å beregne kapasiteten ved brudd eller å innføre en dimensjonerende verdi for trykkstyrken etter EC7. Tillatt grunntrykk må i førstnevnte måte finnes ved å dividere med en konvensjonell sikkerhetsfaktor. I den sistnevnte måten finner man bæreevnen i bruddgrensetilstand.

Med Hoek & Brown parameterne, $s = 0,0039$ og $m_b = 1,34$, og en karakteristisk enaksial trykkfasthet, blir bruddkapasiteten, $q_{ult} = 5,37$ MPa. Innføres en materialfaktor etter EC7, $\gamma_{qu} = 1,4$ blir dimensjonerende bæreevne i bruddgrensetilstand 3,83 MPa.

3.5 Sammendrag

Grunntrykk på berggrunn bestemmes vanligvis på grunnlag av erfaringer med tilsvarende bergarter. Det meste av berggrunnen i Norge har så høy bæreevne at tillatt grunntrykk bestemmes skjønnsmessig. Ofte er fastheten av betong bestemmende.

I dette tilfellet er skiferen så svak at grunntrykket må bestemmes ut fra fastheten av berggrunnen. Det er utført beregning av tillatt grunntrykk, alternativt kapasitet ved brudd etter fire anerkjente metoder, se tabell 6:

Tabell 6 Sammendrag av metoder og resultat for beregning av grunntrykk på berggrunn

Metode	Inngangs-parameter	Resultat	Verdi
EC7, Vedlegg G	geologisk gruppe enaksial trykkfasthet, q_{uk} sprekkeavstand	Tillatt grunntrykk	1.0 til 2.0 MPa
Peck et. al. (1974)	RQD	Tillatt grunntrykk	3 til 5 MPa
Canadian Geotechnical Manual (2006)	enaksial trykkfasthet fundamentbredde sprekkeavstand sprekkeåpning	Tillatt grunntrykk	2.3 MPa
Carter & Kulhawy (1988)	enaksial trykkfasthet Hoek & Brown Parameter, m_b og s	Dimensjonerende grunntrykk	3.83 MPa
		Kapasitet ved grunnbrudd	5.37 MPa

På grunnlag av disse beregningene og våre erfaringer fra tidligere prosjektering av bygg på svartskifre vil vi anbefale et grunntrykk i bruksgrensetilstand (SLS) på 2.3 MPa og i bruddgrensetilstand (ULS) på 3.0 MPa. I ulykkgrensetilstand (ALS), dvs. kortvarige belastninger uten krav til begrensning av forskyvinger kan berggrunnen belastes opp til 10 MPa.

4 Referanser

1. Prøvningsrapport; Bergmekaniske egenskaper; Bestemmelse av bergmekaniske egenskaper til 59 borkjerner.
SINTEF Byggeforsk; Infrastruktur; 2014-01-28
2. Hoek, E. & M.S. Diederichs (2006)
Empirical estimation of rock mass modulus
Int. Jour. Rock Mechanics & Mining Science, Vol. 43, pp 203-215
3. Marinos, P. & E. Hoek (2001)
Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch
Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 60, pp 85-92
4. Eurocode 7: Geoteknisk prosjektering; Del 1: Allmenne regler
Norsk Standard; NS-EN 1997-1:2004+ NA:2008
5. Peck, R.P., W.E. Hanson & T.H. Thorburn (1974)
Foundation Engineering
Wiley New York; 2. utgave.
6. Canadian Geotechnical Manual (2006)
Canadian Geotechnical Society; 4. utgave, 488 p.
7. Carter, J.P. & F.H. Kulhawy (1988)
Analysis and design of Foundations socketed into rock
Report No. EL-5918 Empire State Electric Engineering Research Corporation
& Electric Power Research Institute, New York, 158 p.

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in 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 oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no

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

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

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

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



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Sluppen
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr. 5096 05 01281/IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989

Vedlegg B

KALIBRERING OG BRUK AV XRF TIL IDENTIFISERING AV TYPE SVART LEIRSKIFER

Innhold

B1 Prøvetaking / prinsipper	2
B1.1 Nivåer av radioaktivitet i svarte leirskifre	2
B1.2 Prøvetaking med håndholdt slagboremaskin	3
B1.3 Prøvetaking av borekaks fra borerigg	3
B1 Bruk av XRF til karakterisering	3
B2 Nøyaktighet og usikkerhet for XRF	4
B1.4 Potensielle feilkilder	4
B1.5 Håndtering av måleusikkerhet	5
B1.6 Parallelle målinger for å dokumentere reproduserbarhet	5
B1.7 Variasjoner innad i preparerte prøver	6
B1.8 Optimalisering av analysetid	7
B1.9 Kornstørrelsens påvirkning av analyseresultater	7
B3 Kalibrering av XRF for leirskiferprøver	8
B4 Uran	9
B5 Metode for karakterisering av svarte leirskifre med XRF	11
B1.10 Prøvepreparering	11
B1.11 Måling med XRF	12
B1.12 Tolkning av data	13
B1.13 Rutiner for kontroll	16
B6 Referanser	17

B1 Prøvetaking / prinsipper

Tidligere utførte analyser viser at det er variasjoner i kjemisk sammensetning innad i Alunskiferformasjonen. Det er også ulikt kjemisk fingeravtrykk for de ulike svarte leirskifre. En må derfor forvente at det vil være variasjoner i det kjemiske innholdet i svarte leirskifre. Prøvetakingen skal ha en tilstrekkelig detaljeringsgrad til å kunne karakterisere type skifer/deponikategori og mengden av de ulike typer som er i salven. Dette danner grunnlaget for en bulkkarakterisering av sprengsteinen (massene som tas ut). Det samme prinsipp gjelder ved andre metoder for uttak som pigging og krafising med gravemaskin.

Prøvetaking skal sikre at uttak av volumer med svart leirskifer identifiseres og karakteriseres slik at deponikategori er avklart før uttransport til deponi. Prøvetaking må være representativ for salven. Variasjoner i salven skal også dokumenteres. Ved uttak av masser ved sprengning, vil det ikke være praktisk gjennomførbart å følge bergartsgrenser. Det forventes derfor også at salver kan bestå av blandprøver (ulike andeler av flere kategorier). Mengder av hver kategori kvantifiseres for massene i en utsprengt salve. Ved pigging vil de samme prinsipper gjelde.

Prøver tatt ut fra større volumer splittes med en prøvesplitter for å sikre at materialet som tas ut til analyse er representativt.

Beregning av bulksammensetning i en salve baseres på borekaks som er analysert i forkant av boring av salve og borekaks samlet i forbindelse med boring for salve. Prøvene er hovedsakelig borekaks fra borerigg ved salveboring med oppløsning på 1 meter.

Det bør også tas vare på referansemateriale for hvert analysepunkt.

B1.1 Nivåer av radioaktivitet i svarte leirskifre

Uran anrikes i svarte leirskifre. Oppkonsentrering av uran skyldes avsetningsmiljøet ved dannelse av sedimentet på havbunnen. Ved oksygenfattige / oksygenfrie forhold vil uran felles ut fra sjøvannet i faste forbindelser nede i sedimentet. Jo mindre oksygen til stede, jo større kan konsentrasjonene bli i sedimentet. Oppkonsentrering av uran i sedimentet varierer også over tid. Dette forklares ved at grad av oksygeninnhold varierer over tid. Videre er det store variasjoner i avsetningsmiljø over geografiske avstander. Derfor vil urankonsentrasjoner ikke være de samme for eksempel på Slemmestad, Jevnaker, Gran på Hadeland, Hamar og Oslo sentrum. Flytter en seg i Oslo sentrum, vil også urankonsentrasjonene i alunskifer variere.

NGI har tidligere vist ved detaljanalyser av kjerneprøver at det er store sprik i urankonsentrasjoner i slike skifre. Uran knyttes til mineraler og vil forekomme som punktkonsentrasjoner i alunskifervolumet. Dette må en være bevisst på ved prøvetaking, spesielt av alunskifer, for å avklare om Strålevernforskriften kommer til gyldighet.

For karakteriseringen av alunskifer kan det gjøres et skille mellom alunskifer med aktivitet < 1 Bq/g og alunskifer = 1 eller > 1 Bq/g for summen av naturlig forekommende radioaktive nuklider.

Det er i noen prosjekter gjennomført en kalibrering av urankonsentrasjon og radioaktivitet. Bakgrunnen for dette er at målinger for aktivitet av naturlig forekommende radioaktive nuklider tar fire uker, mens en kjemisk analyse tar ca. en uke. Ved målinger med et kalibrert håndholdt XRF-instrument, kan resultatet foreligge i løpet av 15 til 20 minutter. Ved uttak av masser i et byggeprosjekt kan en ikke vente fire uker på et resultat, ei heller en uke når det er produksjon og uttak av masser. Alternativt må en gjøre konservative vurderinger.

B1.2 Prøvetaking med håndholdt slagboremaskin

For små volumer kan håndholdt slagboreutstyr benyttes. Det samles borekaks fra de siste ca. 150 mm for å unngå overflateforvitring.

B1.3 Prøvetaking av borekaks fra borerigg

Maskinen er blåst ren i forkant av oppstart boring ved hvert punkt. Prøvematerialet som tas til analyse utgjør ca. 1 kg. Dette splittes ned til egnet volum for videre analyse.

B1 Bruk av XRF til karakterisering

X-ray Fluorescence (XRF) er en analysemetode for å bestemme konsentrasjoner av grunnstoffer i en prøve av fast stoff. Metoden går ut på å bestråle en prøve med røntgenstråler for å så registrere signaler som kan relateres til spesifikke grunnstoffer. Analyseprinsippet kan mer detaljert beskrives på følgende måte:

1. Instrumentet sender ut en røntgenstråle.
2. Røntgenstrålen slår løs et elektron fra et av de lavere energinivåene (elektron skall nærmest kjernen).
3. Et elektron fra et høyere energinivå (elektron skall lenger vekk fra kjernen) faller tilbake til den ledige plassen i det lavere energinivået.
4. Det frigjøres energi (stråling / fluoresens) tilsvarende energiforskjellen mellom det høyere og det lavere energinivået.
5. Denne energien er unik for et spesifikt grunnstoff.
6. Den frigjorte energien registreres av detektoren i instrumentet og relateres til tilhørende grunnstoff.

Det er store fordeler med å bruke håndholdte XRF-instrumenter, siden de kan brukes til å måle konsentrasjoner av en rekke grunnstoffer in-situ, altså direkte i felt. Samtidig er det store usikkerhetsmomenter og begrensninger knyttet til slike målinger.

Dersom en måler på en steinprøve vil instrumentet kun registrere signaler fra de øverste millimeterne av prøven, og en måler dermed kun konsentrasjonen i det ytterste laget av prøven. Dette punkt kan være både forvitret og/eller oksidert. I tillegg er en slik måling en punktmåling som registrerer signaler fra et lite punkt med diameter 8 mm. Resultatet vil derfor være sensitivt for små variasjoner i materialet det måles på. Måleusikkerheten vil også være høyere for målinger i felt, ettersom det kan være utfordrende å holde instrumentet lenge nok i ro og tilstrekkelig nær prøvematerialet.

Signalet som XRF-instrumentet måler forstyrres av omgivelsene rundt grunnstoffene som det måles på. Slike forstyrrelser vil variere i grad og karakter for de ulike grunnstoffene basert på om de sitter i jord, vannholdig jord, mineraler, legeringer etc. Derfor er det viktig å kalibrere instrumentet for typen prøver det skal analyseres på (se kapittel 5).

En optimalisert måling oppnås ved å kalibrere XRF-instrumentet på forhånd mot typen prøvematerialet som skal brukes og ved å gjøre målingen ex situ; på et forbehandlet prøvemateriale under kontrollerte forhold. Det må da tas prøver som blandes, knuses ned og prepareres i en egnet prøvebeholder. Målingen gjøres så i et stativ hvor det håndholdte XRF-instrumentet monteres og fjernstyres med faste måleparametere.

B2 Nøyaktighet og usikkerhet for XRF

B1.4 Potensielle feilkilder

B1.1.1 Eliminering av tilfeldige feil

Tilfeldige feil søkes minimert ved bruk av stativ til instrumentet, fjernstyring av instrument fra PC og fast prosedyre for prøvepreparering. Stativ og fjernstyring fra PC sikrer at det måles i ett og samme punkt gjennom hele måletiden, i tillegg til optimal avstand og plassering av prøven i forhold til instrumentets målevindu. Prosedyren for prøvepreparering er lagt opp for å hindre kontaminering mellom prøver og for at hver prøve blir preparert på nøyaktig samme måte, uavhengig av hvem som utfører prepareringen.

B1.1.2 Minimalisering av systematiske feil

Systematiske feil skyldes begrensninger i måleinstrumentet og prøvematerialet det måles på. Disse feilene kan ikke unngås, men kan minimaliseres gjennom kalibrering og optimalisering av analyseforhold. I tillegg skal systematiske feil kvantifiseres og

vrurderes som en del av måleresultatet. Systematiske feil er dokumentert i kapittel 4.2, 4.3 og 4.4.

B1.5 Håndtering av måleusikkerhet

Resultatet av en måling er basert på signalet instrumentet registrerer. Variasjonene i dette signalet beskrives gjennom et standard avvik. Måleusikkerheten er definert som to ganger dette standard avviket. Måleusikkerheten varierer avhengig av sammensetningen til prøven det måles på og vil derfor variere noe mellom forskjellige leirskifer typer. Tabell 1 viser den gjennomsnittlige måleusikkerheten til ulike grunnstoffer i ppm (mg/kg), basert på totalt målinger fra 26 ulike leirskiferprøver. Den relative usikkerheten basert på gjennomsnittlig målt konsentrasjon vises også.

Tabell 1 Gjennomsnittlig måleusikkerhet (ppm) og relativ måleusikkerhet (%) for ulike grunnstoffer fra 26 forskjellige leirskiferprøver.

Grunnstoff	Al	As	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K
Usikkerhet (ppm)	1272	5	50	741	36	11	247	462
Relativ usikkerhet (%)	2	9	3	2	44	10	1	1
Grunnstoff	Mn	Mo	Nb	Ni	Pb	S	Si	Sr
Usikkerhet (ppm)	55	2	1	20	4	273	1162	3
Relativ usikkerhet (%)	23	2	11	13	12	1	1	1
Grunnstoff	Th	Ti	U	V	Y	Zn	Zr	
Usikkerhet (ppm)	4	119	6	63	2	10	2	
Relativ usikkerhet (%)	25	3	6	5	4	4	2	

B1.6 Parallele målinger for å dokumentere reproduserbarhet

Hvor reproduserbar en måling er, kan testes ved å gjøre parallelle målinger i samme punkt i samme prøve. På grunn av begrensninger i instrumentet og analyseprinsippet vil en måling aldri være 100% reproduserbar, og det vil derfor være en viss usikkerhet knyttet til spriket mellom parallelle målinger.

Det ble målt 3 ganger i samme punkt i 7 forskjellige prøver og regnet standard avvik for målingene i hver prøve. Gjennomsnittet av standard avvikene i de 7 forskjellige prøvene beskriver her usikkerheten knyttet til parallelle målinger. Tabell 2 viser denne usikkerheten i ppm (mg/kg), i tillegg til en relativ usikkerhet basert på den gjennomsnittlige konsentrasjonen av grunnstoffene i de 7 prøvene.

Tabell 2 Usikkerheten knyttet til parallelle målinger (ppm) beskrevet som gjennomsnittlig standard avvik til 3 målepunkter innad i 7 forskjellige prøver. Relativ usikkerhet beskrevet som fraksjonen av usikkerhet og gjennomsnittlig konsentrasjon i de målte prøvene.

Grunnstoff	Al	As	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K
Usikkerhet (ppm)	762	3	51	164	10	7	203	132
Relativ usikkerhet (%)	1	7	1	1	7	7	1	0,3
Grunnstoff	Mn	Mo	Nb	Ni	Pb	S	Si	Sr
Usikkerhet (ppm)	41	1	1	15	2	170	958	2
Relativ usikkerhet (%)	7	2	6	9	5	1	0,4	2
Grunnstoff	Th	Ti	U	V	Y	Zn	Zr	
Usikkerhet (ppm)	2	52	3	26	1	10	2	
Relativ usikkerhet (%)	14	1	7	2	5	3	2	

B1.7 Variasjoner innad i preparerte prøver

En skiferprøve som splittes, knuses ned og blandes anses å være homogen, slik at innholdet av ulike mineraler vil være jevnt fordelt utover prøven. Det er likevel mulig at det kan være variasjoner innad i et prøvemateriale, grunnet forskjeller i fordelingen av mineralkorn. En kan undersøke usikkerheten knyttet til variasjoner innad i en prøve ved å gjøre målinger på ulike punkter i prøven og beregne avvik i måleresultatene.

For å undersøke om det er variasjoner innad i preparerte prøver av leirskifer, ble det målt på tre ulike punkter innad i 26 forskjellige prøver. Standard avvik ble beregnet for de tre målingene fra hver prøve. Gjennomsnittet av standard avvikene innad i de 26 prøvene ble så beregnet for å beskrive den gjennomsnittlige usikkerheten knyttet til variasjoner innad i prøver av leirskifre. Denne usikkerheten er vist for hvert grunnstoff i ppm i Tabell 3, sammen med en relativ usikkerhet basert på den gjennomsnittlige konsentrasjonen av grunnstoffene i de 26 prøvene.

Tabell 3 Usikkerheten innad i en prøve (ppm) beskrevet som gjennomsnittlig standard avvik til 3 målepunkter innad i 26 forskjellige prøver. Relativ usikkerhet beskrevet som fraksjonen av usikkerhet og gjennomsnittlig konsentrasjon i de målte prøvene.

Grunnstoff	Al	As	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K
Usikkerhet (ppm)	925	3	48	931	14	6	352	190
Usikkerhet (%)	2	6	2	1	9	9	1	1
Grunnstoff	Mn	Mo	Nb	Ni	Pb	S	Si	Sr
Usikkerhet (ppm)	31	1	1	10	3	367	1408	3
Usikkerhet (%)	8	2	11	7	10	1	1	1
Grunnstoff	Th	Ti	U	V	Y	Zn	Zr	
Usikkerhet (ppm)	4	51	3	18	1	6	4	
Usikkerhet (%)	32	1	3	2	4	5	4	

B1.8 Optimalisering av analysetid

Analysetid er omvendt proporsjonal med usikkerhet i målingene; lengre analysetid gir lavere usikkerhet. Usikkerheten vil imidlertid flate ut på en verdi når en viss lengde på analysetiden er nådd, og en vil da kun oppnå minimale forbedringer i usikkerheten ved å øke analysetiden. Optimal analysetid vil derfor være et kompromiss mellom ønsket nivå av måleusikkerhet og praktiske hensyn i forhold til tilgjengelig tid til gjennomføring av analysen.

Instrumentet har fire ulike filtre som det måles gjennom etter tur (Tabell 7). De fire filterne fokuserer på ulike grupper av grunnstoffer. Analysetiden kan stilles individuelt for hvert filter, men leverandøren av instrumentet anbefaler en analysetid på minimum 30 sek. per filter for å oppnå en tilstrekkelig lav måleusikkerhet.

Målinger med ulike analysetider for de fire filterne ble gjort for å bestemme den optimale analysetiden. Etter gjentatte målinger med 30 og 60 sekunders analysetid på de ulike filterne, ble det observert rundt 30 % nedgang i måleusikkerhet for de fleste grunnstoffene ved å doble måletiden. Da måleusikkerheten (kapittel 4.2) ble sammenlignet med usikkerhet i parallelle målinger (kapittel 4.3) og usikkerhet innad i prøven (kapittel 4.4) kunne en se at det å redusere måleusikkerheten ikke vil være til vesentlig nytte for noen tyngre grunnstoffer, ettersom en ikke ville få en lavere usikkerhet totalt. For noen av de lette elementene derimot, som svovel, aluminium og silisium, ga økt måletid og lavere måleusikkerhet en lavere usikkerhet totalt. Samtidig var det ønskelig å oppnå så lav måleusikkerhet som mulig for uran. Derfor ble det valgt 60 sekunders måletid på filteret til uran (*main filter*) og filteret til de lette grunnstoffene (*light filter*), mens det ble valgt standard 30 sekunder for de øvrige filterne.

B1.9 Kornstørrelsens påvirkning av analyseresultater

Borekaks forekommer som oppknust berg, med både finstoff og grovere korn. Det forventes at en prøve bestående av fine kornfraksjoner vil kunne homogeniseres til en større grad enn en prøve av en grovere fraksjon og dermed gi et analyseresultat som er mer representativt.

Det ble det undersøkt om det er forskjell i analyseresultatene fra den fine fraksjonen av borekakset (<250 μm) sammenlignet med en prøve av borekakset hvor både finstoff og grove korn ble knust ned til en og samme fraksjon (<250 μm). Resultatene er oppsummert i Tabell 4, hvor en kan se at konsentrasjonene ikke er identiske for flere av grunnstoffene. Dette betyr at en ikke kan måle direkte på finstoffet i borekakset, men at en må knuse ned borekakset til ønsket finfraksjon.

Tabell 4 Analyseresultater (ppm) ± måleusikkerheten (ppm) for prøvemateriale knust ned til fraksjon <250 µm og prøvemateriale siktet ut for <250 µm.

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Mo
Nedknust <250 µm (ppm)	958 ± 107	178 ± 39	253 ± 43	98 ± 18	180 ± 15	47 ± 8	283 ± 6	30 ± 3
Siktet <250 µm (ppm)	800 ± 125	192 ± 43	394 ± 49	106 ± 21	200 ± 17	38 ± 9	376 ± 7	22 ± 3
	Nb	Th	U	Ba	S	As	Al	
Nedknust <250 µm (ppm)	14 ± 2	9 ± 3	15 ± 3	9937 ± 158	31146 ± 431	41 ± 8	76964 ± 2967	
Siktet <250 µm (ppm)	15 ± 2	8 ± 4	13 ± 3	17139 ± 261	24505 ± 275	31 ± 9	71363 ± 1744	
	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Zr	Si	
Nedknust <250 µm (ppm)	35004 ± 528	38485 ± 830	4462 ± 204	820 ± 99	39902 ± 440	130 ± 5	281998 ± 2029	
Siktet <250 µm (ppm)	34784 ± 528	36365 ± 811	4323 ± 239	1210 ± 119	39292 ± 473	135 ± 5	269131 ± 1660	

B3 Kalibrering av XRF for leirskiferprøver

For å tilpasse XRF-instrumentet til leirskiferprøver og gjøre målingene mere nøyaktige kalibreres instrumentet med prøvemateriale som på forhånd har blitt analysert for totalinnhold av grunnstoffer med ICP-MS hos ALS Laboratory Group Norge AS (ALS).

Det ble valgt ut 26 prøver av svarte og grå leirskifer med kjent innhold av grunnstoffer. Disse prøvene representerer typiske spenn, fra lave til høye konsentrasjoner, av de ulike grunnstoffene som det skal måles på. De 26 prøvene ble preparert og analysert med XRF etter rutinen beskrevet i kapittel B1.10 og B1.11.

Konsentrasjonene av et grunnstoff målt med XRF ble plottet mot konsentrasjonene av det samme grunnstoffet fra laboratorieanalysene, for å lage en kalibreringskurve. En slik kalibreringskurve relaterer en konsentrasjon målt med XRF til en konsentrasjon målt i laboratoriet, og korrigerer dermed for eventuelle feil ved XRF-målingen. Ligningen til kalibreringskurven for hvert grunnstoff ble lagt inn i XRF-instrumentet, slik at målingene korrigeres automatisk. Tabell 5 viser stigningstall (a), skjæringspunkt (b) og korrelasjonskoeffisient (R^2) til kalibreringskurvene for de ulike grunnstoffene. Grunnstoffene er rangert som god (grønn farge), begrenset (gul) og dårlig (rød), basert på korrelasjonen mellom XRF-analyser og laboratorieanalyser. Kalibreringskurvene er vist i Vedlegg C.

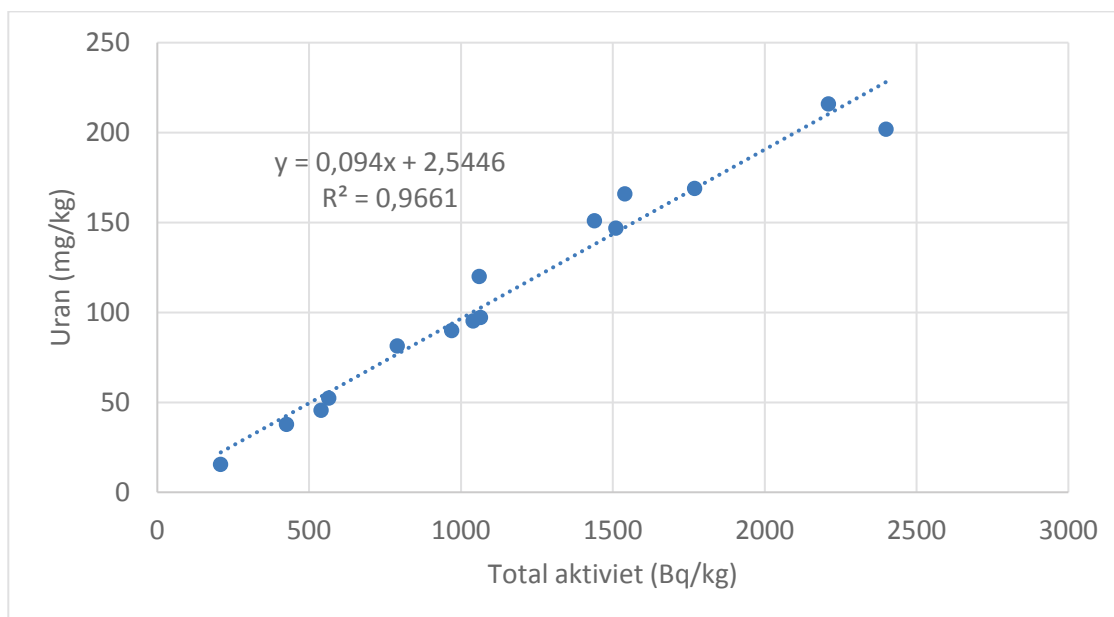
Tabell 5 Stigningstall, a , og skjæringspunkt med y -aksen, b , for kalibreringskurvene, $y=ax+b$ til grunnstoffer kalibrert for leirskiferanalyser med XRF (se Vedlegg C for kalibreringskurver).

Grunnstoff	a	b	R ²
V	1,0381	-128,04	0,9759
Cr	0,9216	-51,244	0,8416
Ni	0,9333	14,981	0,6855
Cu	1,1524	2,8272	0,9587
Zn	1,2434	3,6896	0,9896
Pb	1,071	1,8857	0,8889
Sr	1,4779	-1,2535	0,9734
Zr	1,1857	11,611	0,8343
Nb	0,8818	6,6005	0,7364
Th	0,9842	1,206	0,9022
U	0,9029	-5,8441	0,989
Ba	1,3457	-257,75	0,9957
S	0,8896	1636,6	0,9097
As	0,8889	0,2362	0,9774
Mo	1,3185	-0,759	0,9819
Al	1,4622	-6190,7	0,922
Si	1,108	-12585	0,9521
K	1,1841	-4311,9	0,9353
Ca	0,8005	-165,92	0,9895
Fe	0,7971	2445,1	0,6028
Ti	1,134	-464,02	0,9324
Mn	0,8214	38,171	0,8914
Y	1,3011	1,8067	0,9745

B4 Uran

Ettersom urankonsentrasjon er en parameter som vil bli brukt til å skille mellom radioaktivt avfall og ikke-radioaktiv avfall, var det nødvendig med en vurdering av relasjonen mellom uraninnhold og total aktivitet, samt en vurdering av den totale usikkerheten i måling av urankonsentrasjon med XRF.

Urankonsentrasjon fra våtkjemiske analyser (ICP-ms) av skiferprøver ble kalibrert mot målinger for aktivitet av naturlig forekomne nukleider. Kalibrering ble utført med 15 leirskiferprøver. Dette gjorde det mulig å skille mellom radioaktive og ikke-radioaktiv alunskifer basert på urankonsentrasjon.



Figur B.1 Korrelasjon mellom total aktivitet (oppgitt i Bq/kg) og uran (mg/kg) i 15 prøver av svarte leirskifre.

Korrelasjonen viste at en urankonsentrasjon på 97 ppm gir en aktivitet på 1000 Bq/kg, tilsvarende grenseverdi for radioaktivt avfall. Usikkerheten i stigningstallet til regresjonslinjen på 5,2% (av 97 ppm) representerer en korrelasjons-usikkerhet mellom uran og aktivitet av naturlig forekomne nuklider. Basert på en konservativ vurdering av denne (opprunding til 7%) ble grenseverdien for uran tilsvarende aktivitet 1 Bq/g, satt til 90 ppm.

Total usikkerhet i målte konsentrasjoner av uran med XRF ble estimert ved å måle 10 prøver med XRF etter kalibreringen (Tabell 6). Urankonsentrasjonen i disse 10 prøvene er bestemt gjennom laboratorieanalyser hos ALS. Differansen mellom XRF-resultatet og laboratorieresultatet ble så kalkulert. Den gjennomsnittlige differansen, i underkant av 5 %, utgjør et estimat for den totale usikkerheten i målingen av urankonsentrasjonen med XRF. Merk at i 7 av 10 tilfeller målte XRF-instrumentet høyere urankonsentrasjoner enn de mer eksakte laboratorieanalysene.

Tabell 6 Urankonsentrasjoner målt med XRF og i laboratorium.

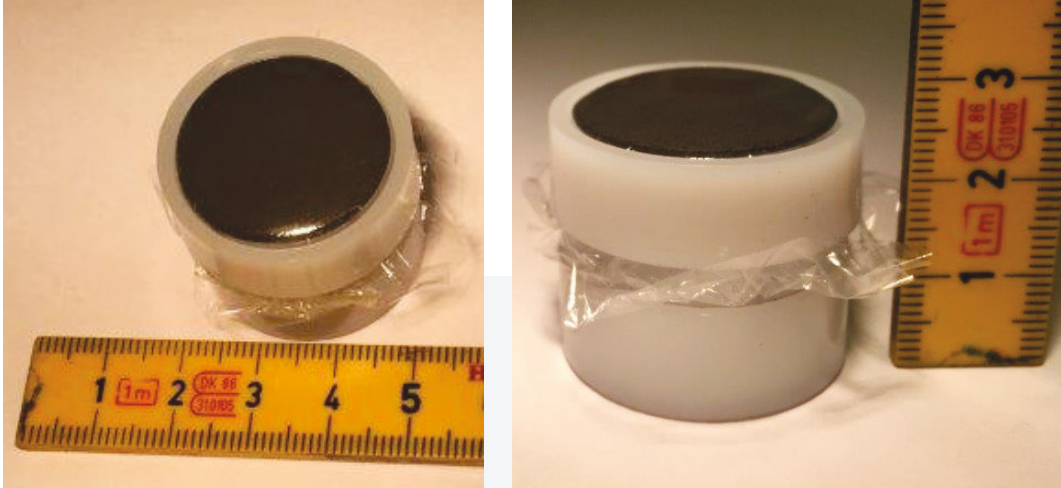
Prøver	XRF-resultat (ppm)	Laboratorieresultat (ppm)	Differanse (%)
BUE 1	158	169,0	6,4
BUE 2	190	202,0	6,0
BUE 3	148	147,0	-0,7
BUE 4	93	81,4	-14,5
BUE 5	217	216,0	-0,3
BUE 5s	169	166,0	-1,9
BUE 6	101	95,3	-5,9
BUE 7	159	151,0	-5,5
BUE 8	44	45,7	3,8
BUE 9	92	89,9	-2,0
Gjennomsnitt	-	-	5

En usikkerhet på 5 % utgjør 4,5 ppm av grenseverdien for uran på 90 ppm. Grenseverdien for måling av uran med XRF for karakterisering av radioaktivt avfall settes derfor konservativt til 85 ppm.

B5 Metode for karakterisering av svarte leirskifre med XRF

B1.10 Prøvepreparering

Prøvematerialet splittes med en prøvesplitter ned til det gjenstår ca. 5-8 g og knuses ned til <math><250\ \mu\text{m}</math> ved bruk av morter og pistill. Materialet blandes godt og pakkes så til analyseprøver på ca. 6 cm³ materiale (se Figur 1). Morter, pistill og doseringsskje vaskes med varmt vann og tørkes forsiktig med lofritt papir. Sikt tørkes med fuktig lofritt papir. Alt utstyr lufttørkes før neste preparering, og har vist seg å være tilstrekkelig tørt etter ca. 1-2 minutter.



Figur 1 Eksempel på ferdig preparert prøve.

B1.11 Måling med XRF

Til XRF-analysene benyttes en *Niton® XL3t GOLDD+ Series x-ray fluorescence*.

Instrument plasseres i et tilpasset stativ og analysene fjernstyres fra datamaskin. Avstand fra sensor til prøvematerialet og analysetid blir dermed konstant og optimalisert. XRF-instrumentet gjør en punktmåling innenfor et område på 8 mm. Analysene kjøres i Mining Mode, som er en fabrikkstandard tilpasset mineralske prøver. Tabell 7 angir elementer som registreres i de ulike filtrene og analysetid per filter.

Tabell 7 De fire ulike filtrene, tilhørende analytter og analysetid for *Niton® XL3t GOLDD+* instrumentet.

	Main Filter	Low Filter	High Filter	Light Filter
Analysetid [s]	60	30	30	60
Grunnstoff	Sb, Sn, Cd, Pd, Ag, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Bi, As, Se, Au, Pb, W, Zn, Cu, Re, Ta, Hf, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Th*, U*, Y*, Ba	Cr, V, Ti, Ca, K	Ba, Sb, Sn, Cd, Pd, Ag	Al, P, Si, Cl, S, Mg
*Lagt til etter ønske fra NGI				

B1.12 Tolkning av data

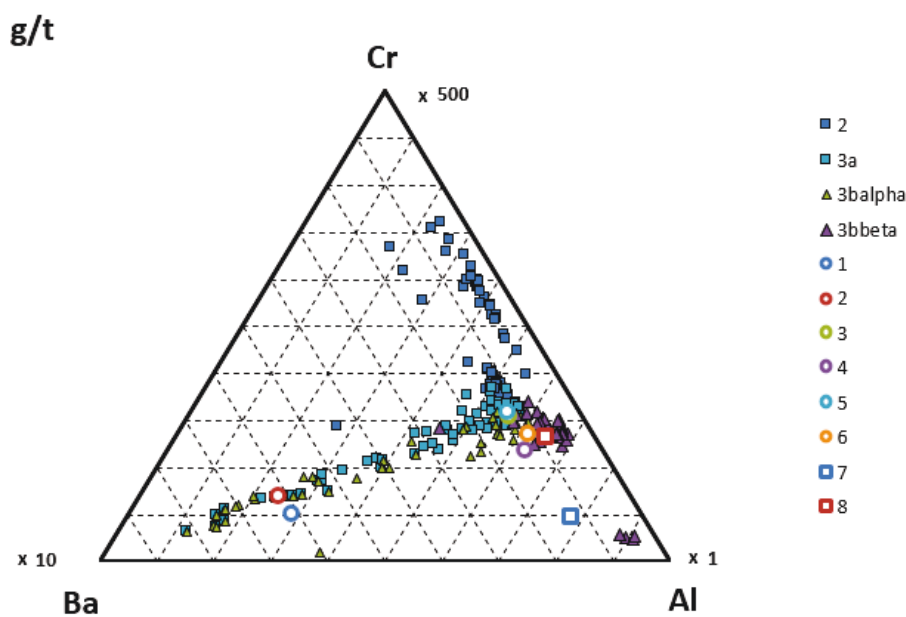
B1.1.3 Beskrivelse av datatolkningsmetoden

Svarte leirskifre blir karakterisert gjennom geologisk kartlegging og NGIs egenutviklede metode for identifisering og karakterisering av syredannende bergarter [1].

Det anbefales å bruke bli brukt grunnstoffer i trekantdiagrammene hvis korrelasjon i kalibreringen var høyere enn 90% (merket grønn i Tabell 5). Enkelte av disse grunnstoffene har forholdsvis høy individuell usikkerhet, som for eksempel krom, mangan og thorium, men det vil ikke bli avgjørende i tolkningen av data og klassifisering, ettersom en vil bruke de relative forholdene mellom flere av grunnstoffene i en rekke trekantdiagrammer for å identifisere riktig skiferhorisont.

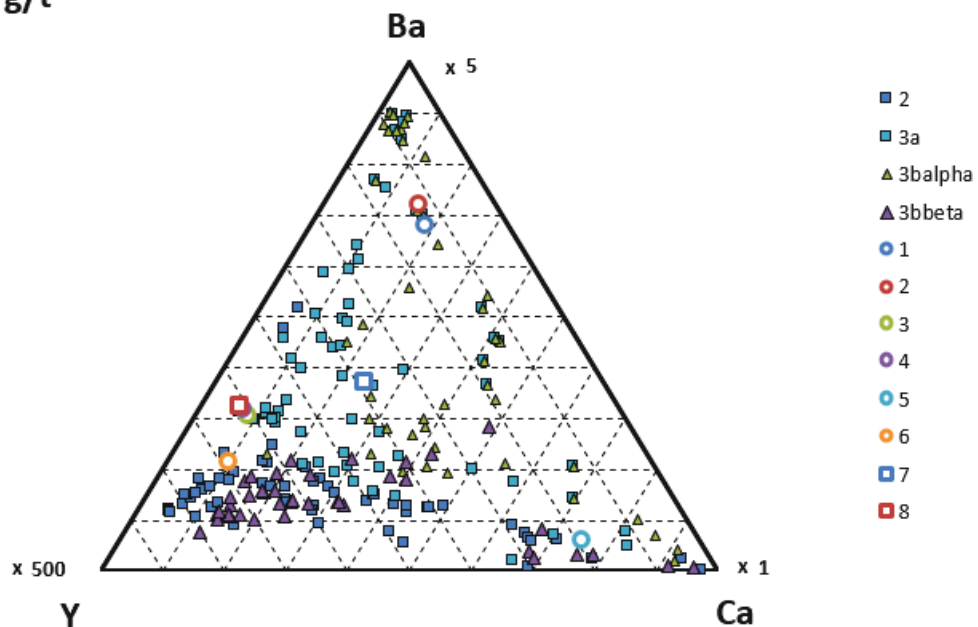
B1.1.4 Utprøving av datatolkningsmetoden

Etter kalibrering av instrumentet ble 8 kontrollprøver analysert, hvis etasje var kjent på forhånd, for å dokumentere metodens presisjon. Blant de 8 kontrollprøvene som ble valgt ut, hørte 2 av prøvene til hver av de fire etasjene 2, 3a, 3b α og 3b β . Samtidig representerte flere av prøvene utypiske prøver fra sin etasje, som normalt er vanskelige å identifisere. Prøvene ble anonymisert og analysert med en måling i ett punkt. Figur 2, Figur 3, Figur 4, Figur 5 og Figur 6 viser trekantdiagrammer hvor prøvene (1-8) er plottet sammen med referanseprøver fra etasjene 2, 3a, 3b α og 3b β . Tabell 8 viser de målte urankonsentrasjonene i kontrollprøvene.



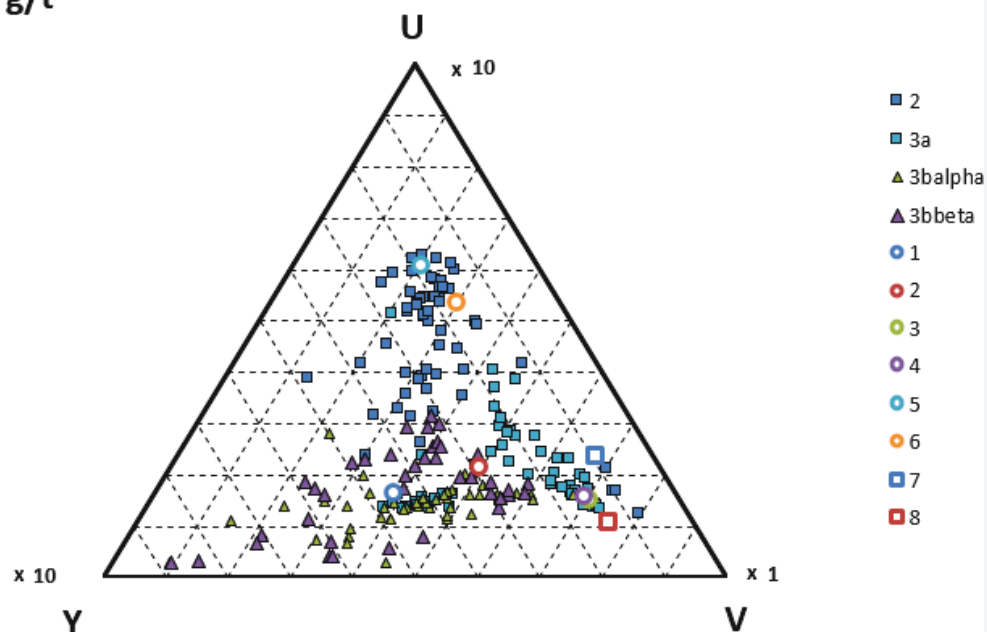
Figur 2 Trekantdiagram med Barium (Ba), aluminium (Al) og krom (Cr), kontrollprøvene 1-8 og referanseprøver fra etasjene 2, 3a, 3b α og 3b β .

g/t

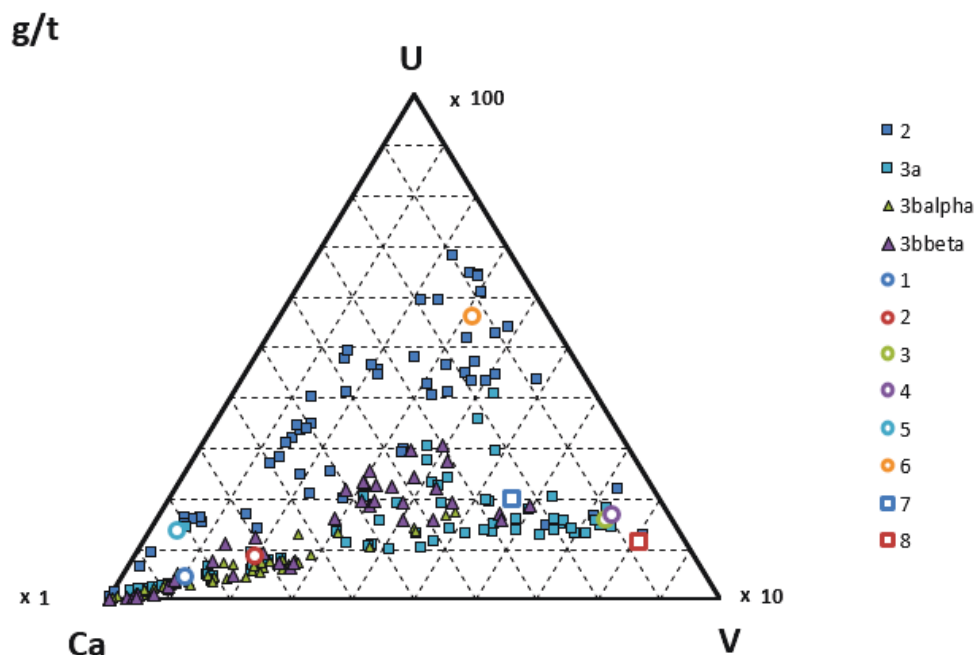


Figur 3 Trekantdiagram med Barium (Ba), kalsium (Ca) og yttrium (Y), kontrollprøvene 1-8 og referanseprøver fra etasjene 2, 3a, 3b α og 3b β .

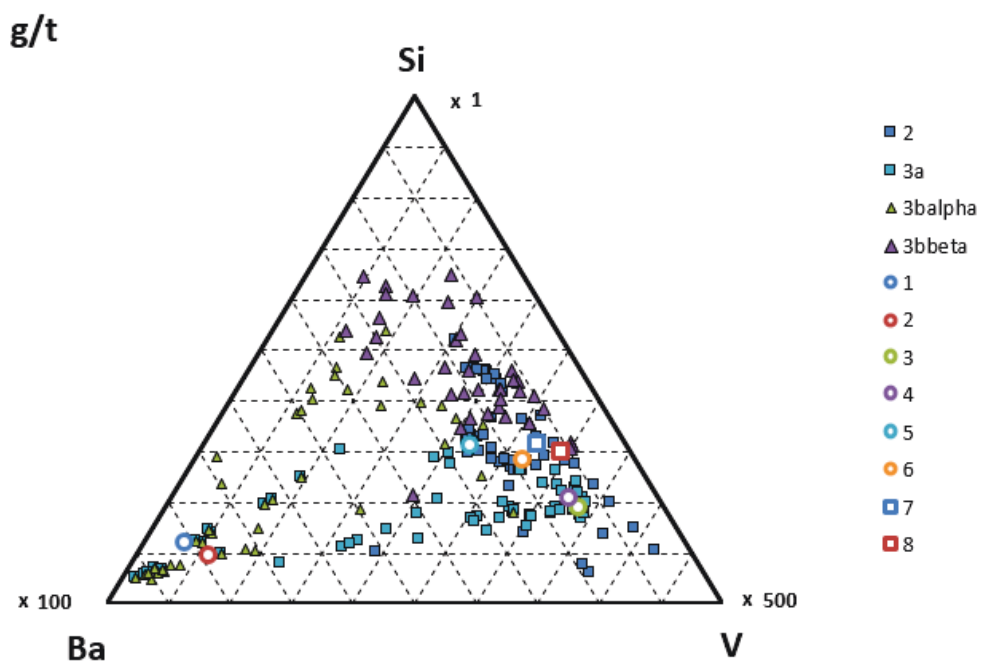
g/t



Figur 4 Trekantdiagram med yttrium (Y), vanadium (V) og uran (U), kontrollprøvene 1-8 og referanseprøver fra etasjene 2, 3a, 3b α og 3b β .



Figur 5 Trekantdiagram med kalsium (Ca), vanadium (V) og uran (U), kontrollprøvene 1-8 og referanseprøver fra etasjene 2, 3a, 3b α og 3b β .



Figur 6 Trekantdiagram med barium (Ba), vanadium (V) og silisium (Si), kontrollprøvene 1-8 og referanseprøver fra etasjene 2, 3a, 3b α og 3b β .

Tabell 8 Urankonsentrasjoner (ppm) målt med XRF i kontrollprøvene (1-8).

Prøve	Uran (ppm)
1	13
2	27
3	40
4	37
5	147
6	166
7	31
8	16

Tabell 9 oppsummerer tolkningen kontrollprøvenes etasje (2, 3a, 3b α og 3b β) basert på trekantdiagrammene i Figur 2, Figur 3, Figur 4, Figur 5 og Figur 6, samt fasitsvaret og potensiell avfallskategori (1-3).

Tabell 9 Tolkning av etasjetilhørighet (2, 3a, 3b α eller 3b β) for kontrollprøvene (1-8) gjennom trekantdiagrammene i Figur 1-5 og urankonsentrasjoner Tabell 8.

Prøve	Figur 2	Figur 3	Figur 4	Figur 5	Figur 6	Uran	Konklusjon	Fasit	Avfalls-kategori
1	3b α /3a	3b α /3b β	3b α /3b β	3b β	3b α	3b α /3b β	3b α /3b β	3b α	1
2	3b α /3a	3b α /3b β	3b β	3b α /3b β	3b α	3b α /3b β	3b α /3b β	3b α	1
3	3a/3b β	3a	3a	3a	2/3a	3a/3b β	3a	3a	2
4	3b β	3a	3a	3a	2/3a	3a/3b β	3a	3a	2
5	3a/3b β	2/3a/3b β	2	2/3a	2	2/3a	2	2	3
6	3b α /3b β	2	2	2	2/3a	2/3a	2	2	3
7	3b β	3a/3b α	3a	3a/3b β	2/3b β	3b α /3b β	3b α /3b β	3b β	1
8	3b α /3b β	3a	3a	3a	2/3b β	3b α /3b β	3b α /3b β	3b β	1

Konklusjonen i Tabell 9 samstemmer tilfredsstillende med fasiten for hver prøve. Etasje 3b α og 3b β er ofte vanskelig å skille mellom, spesielt for noen av de atypiske prøvene som var med i denne kontrollen. Det vil imidlertid ikke nødvendigvis å skille mellom disse to etasjene siden de plasseres i samme avfallskategori.

B1.13 Rutiner for kontroll

Kontrollanalyser av total kjemisk innhold og radioaktivitet bør gjøres ved å sende prøver jevnlig til ALS og IFE. Hyppighet bør vurderes i samråd med miljøavdelingen.

B6 Referanser

Klima og miljødepartementet (2004)
Forurensningsforskriften FOR-2004-06-01-931.

Klima og miljødepartementet (2010)
Forskrift om radioaktiv forurensning og avfall. FOR-2010-11-01-1394.

Miller og Miller (1993)
Statistics for Analytical Chemistry 3rd ed. Ellis Horwood PTR Prentice Hall.

Vedlegg C

KORRELASJON MELLOM URAN OG
MÅLT AKTIVITET FOR RADIOAKTIVE
NUKLIDER OG KALIBRERINGSKURVER
FOR XRF-KALIBRERING

Innhold

C1	Korrelasjon mellom uran og målt aktivitet for radioaktive nuklider	2
C2	Kalibreringskurver Laboratorieanalyser – XRF	3

C1 Korrelasjon mellom uran og målt aktivitet for radioaktive nuklider

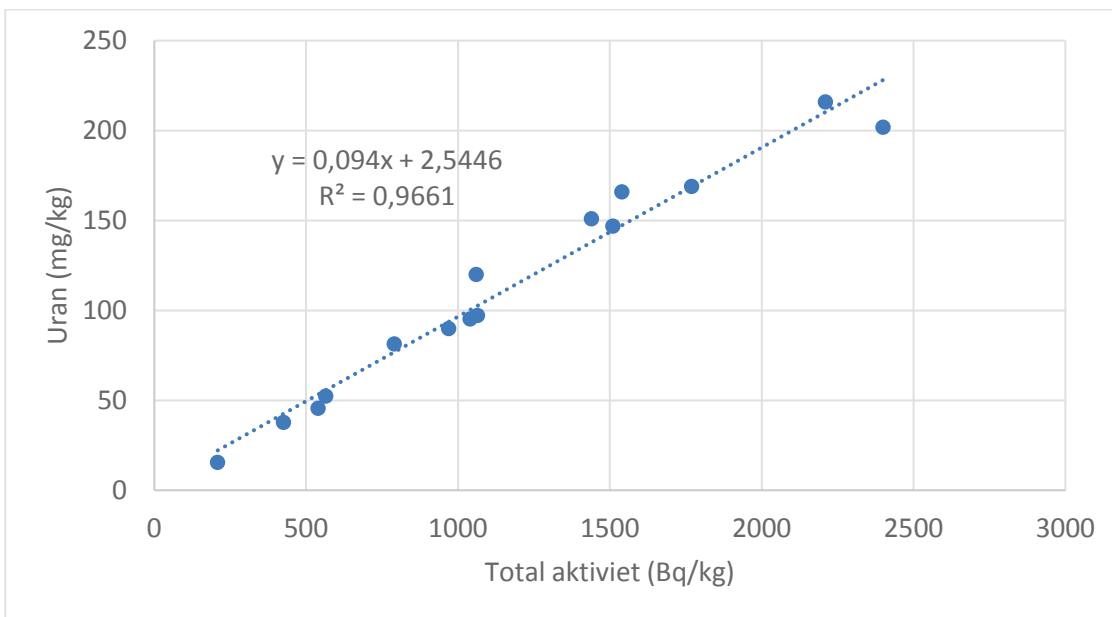
Svarte leirskifre inneholder naturlig forekommende radioaktive nuklider, og uran (^{238}U) er den viktigste av dem. Den totale aktiviteten til de radioaktive nuklidene er derfor styrt av uraninnhold. Tabell C.1 viser konsentrasjoner av uran (målt med ICP-MS) og total aktivitet (målt av *Institutt for energiteknikk*) for 15 prøver av svarte leirskifre.

Tabell C.1 Uran (U) konsentrasjoner (mg/kg TS) og total aktivitet (Bq/kg) i prøver av svarte leirskifre fra etasje 3b β , 3a og 2 i kambro-silurlagrekken.

Prøve	Etasje	U	Total aktivitet
		mg/kg TS	Bq/kg
BH4-02-4-20	3b β	37,8	426
BH4-07-4-50	3a	97,3	1065
BH4-08-5-90	3a	15,6	209
BH4-10-3-50	3a	52,4	565
Bue 01	2	169	1770
Bue 02	2	202	2400
Bue 03	2	147	1510
Bue 04	2	81,4	790
Bue 05	2	216	2210
Bue 05 S	2	166	1540
Bue 06	2	95,3	1040
Bue 07	2	151	1440
Bue 08	2	45,7	540
Bue 09	2	89,9	970
Bue 10	2	120	1060

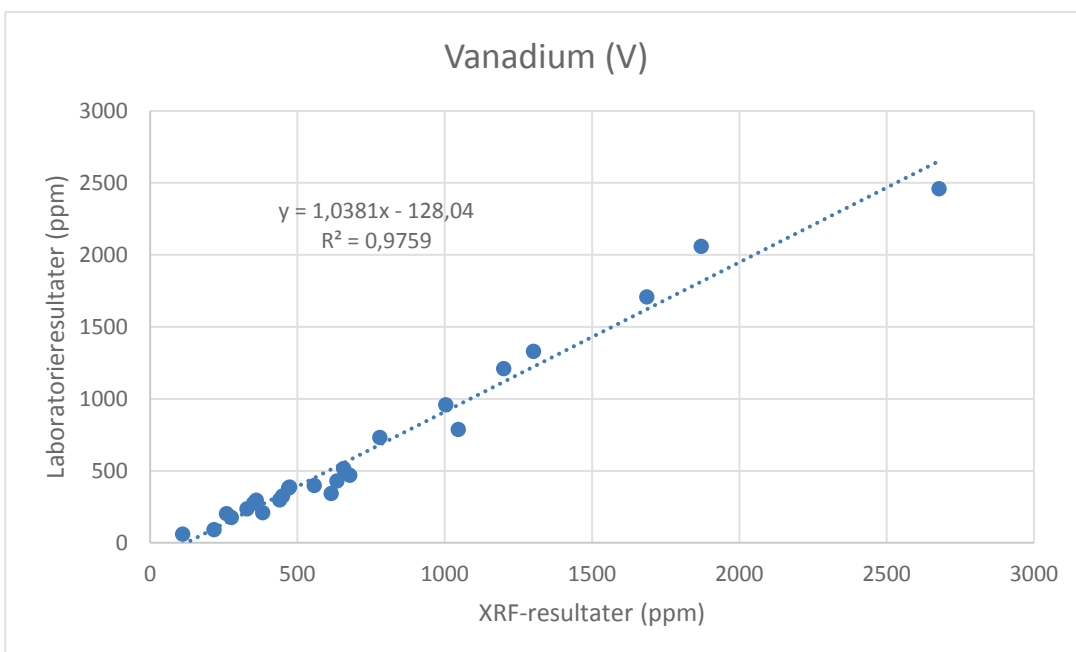
* Prøver merket "Bue" stammer fra byggegrøp RKV (NGI, 2014).

Korrelasjonen mellom uran og total aktivitet er vist i Figur C.1. Korrelasjonskoeffisienten (R^2) viser at 96,6% av totale aktivitet kan relateres til urankonsentrasjon. Dersom en bruker ligningen til regresjonslinjen ($y = 0,094x + 2,5446$), og setter inn grenseverdien for total aktivitet (1000 Bq/kg), får man en urankonsentrasjon på 97 mg/kg. Dette betyr at en konsentrasjon på 97 mg/kg uran tilsvarer grenseverdien for radioaktivt avfall på 1000 Bq/kg.

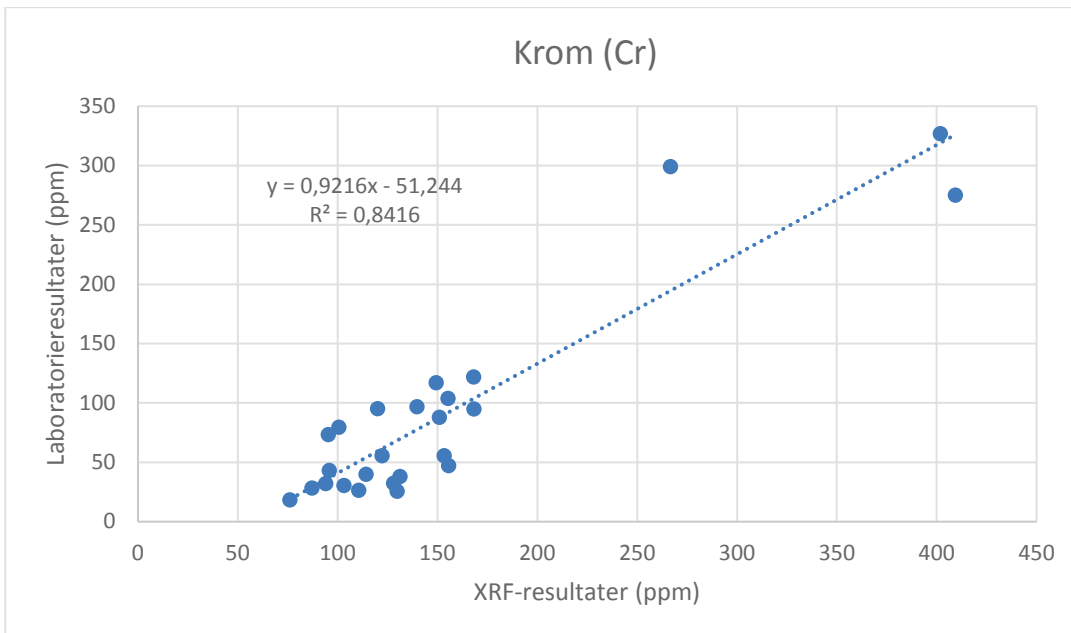


Figur C.1 Korrelasjon mellom total aktivitet (Bq/kg) og uran (mg/kg) i 15 prøver av svarte leirskifre.

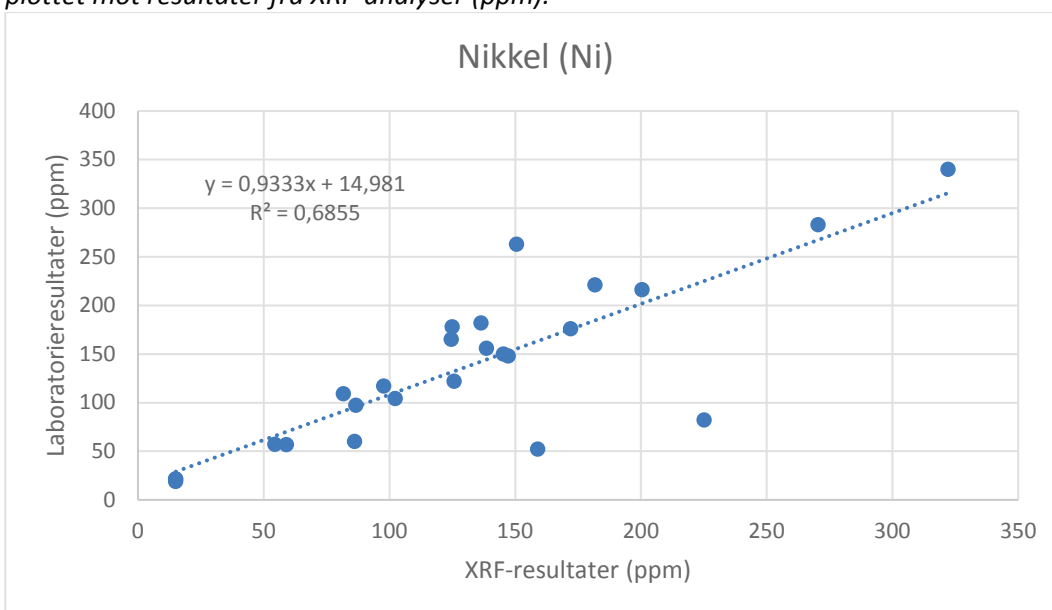
C2 Kalibreringskurver Laboratorieanalyser – XRF



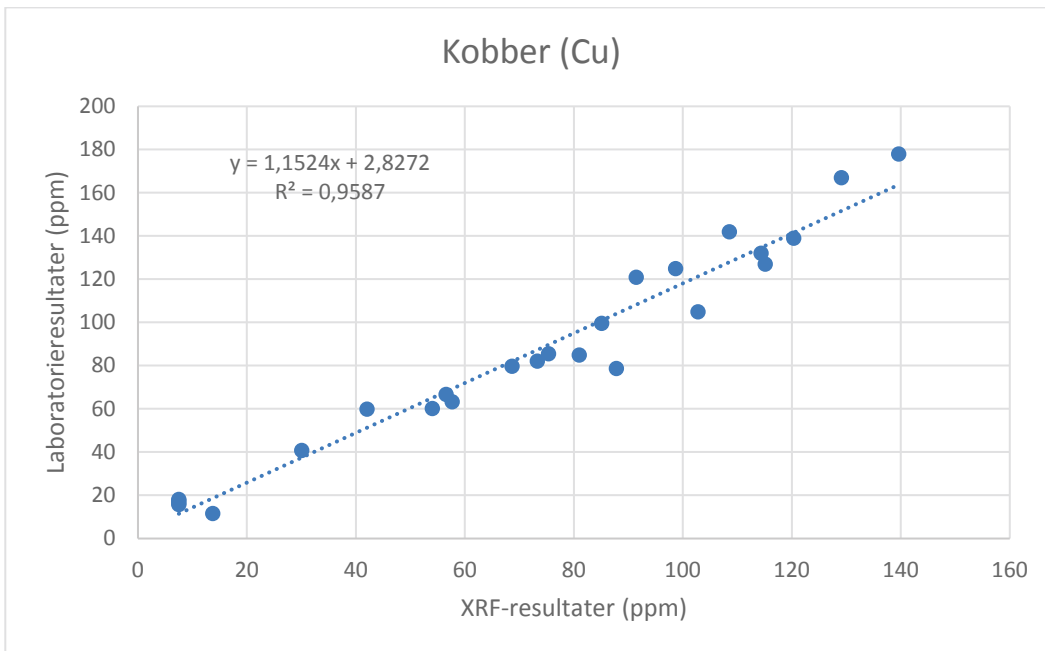
Figur C.2 Kalibreringskurve for vanadium (V), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



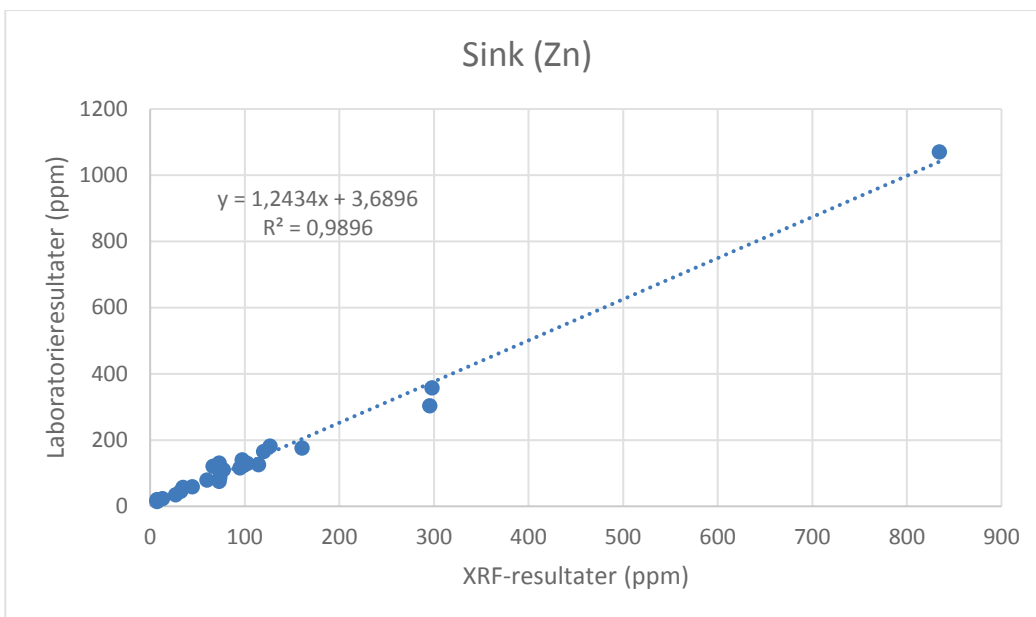
Figur C.3 Kalibreringskurve for krom (Cr), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



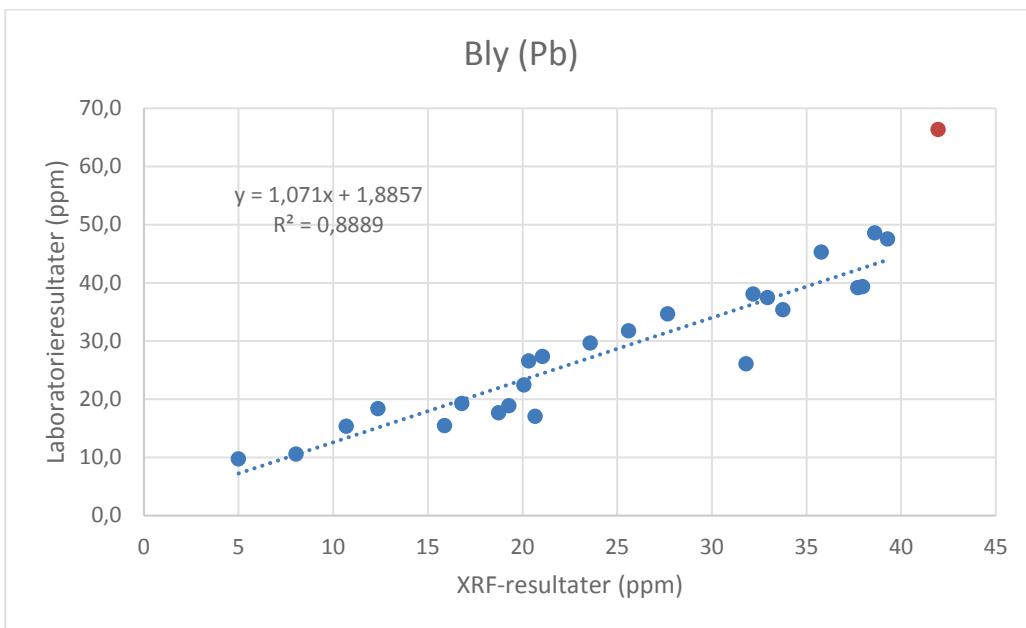
Figur C.4 Kalibreringskurve for nikkel (Ni), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



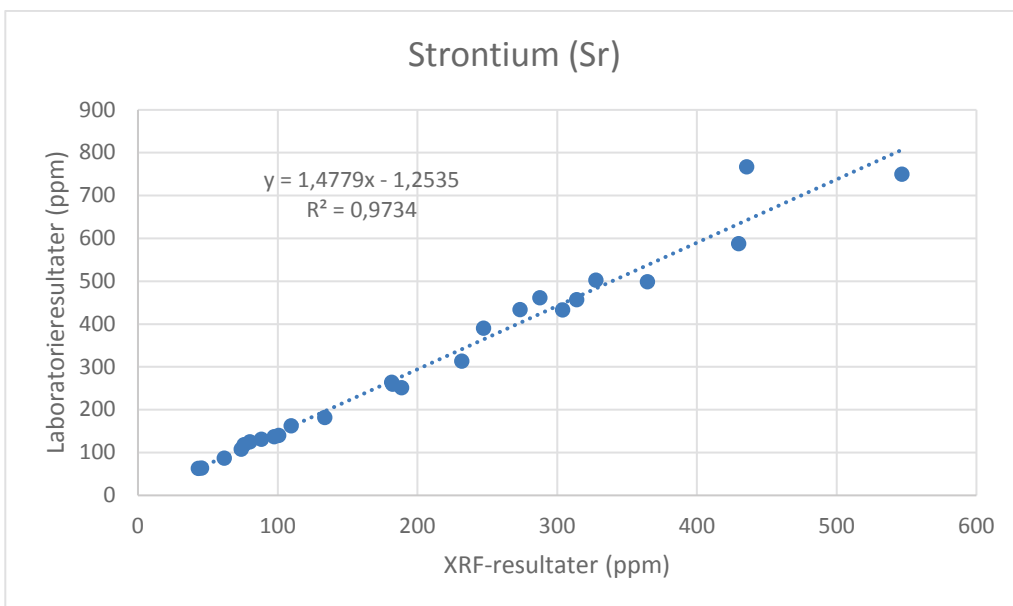
Figur C.5 Kalibreringskurve for kobber (Cu), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



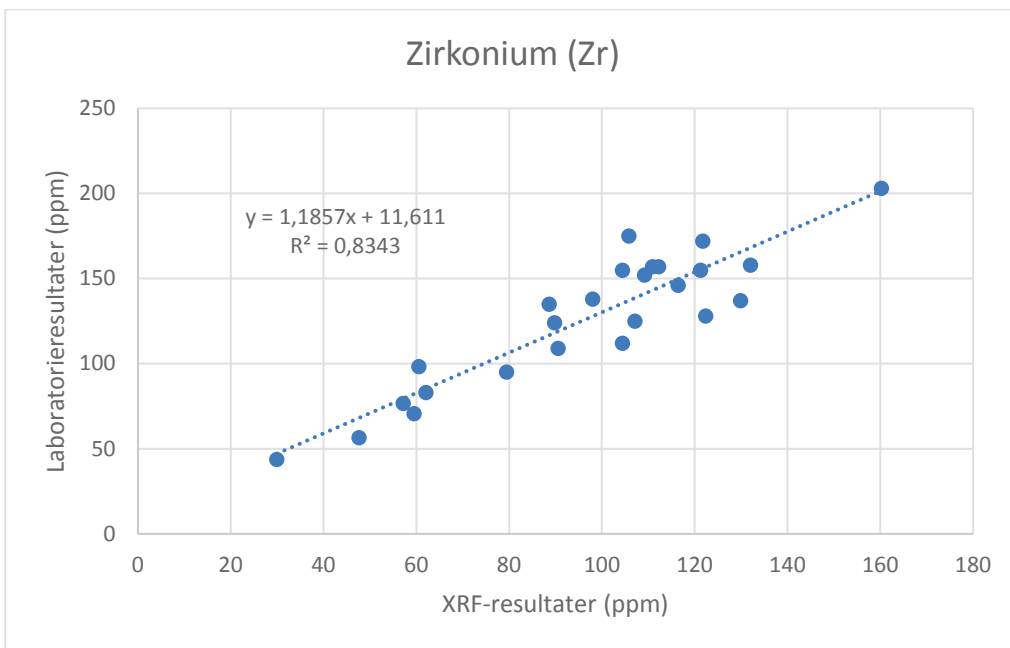
Figur C.6 Kalibreringskurve for sink (Zn), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



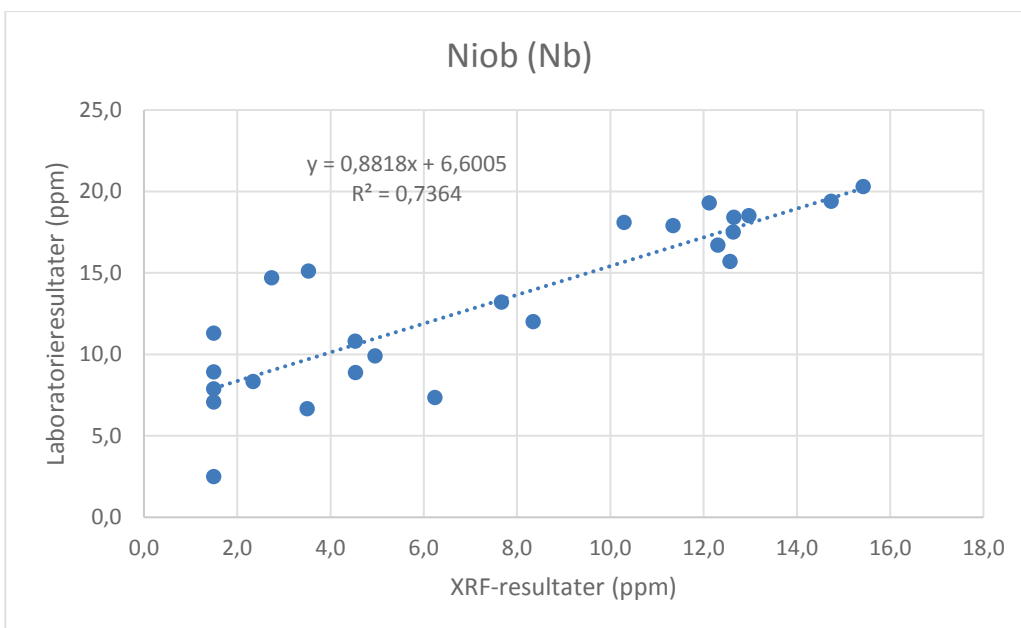
Figur C.7 Kalibreringskurve for bly (Pb), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm). 95% av observasjonene er inkludert i regresjonsanalysen (rødt punkt ekskludert).



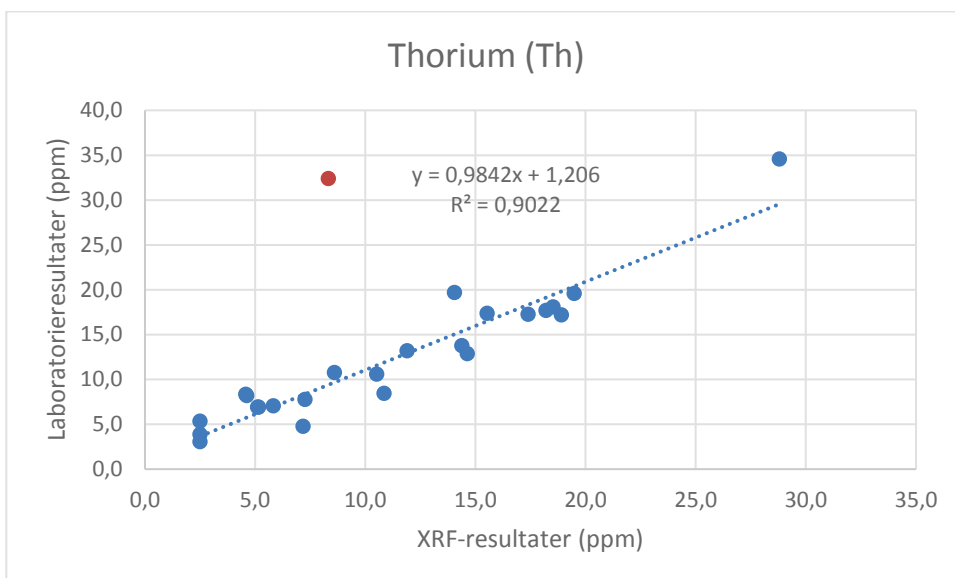
Figur C.8 Kalibreringskurve for strontium (Sr), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



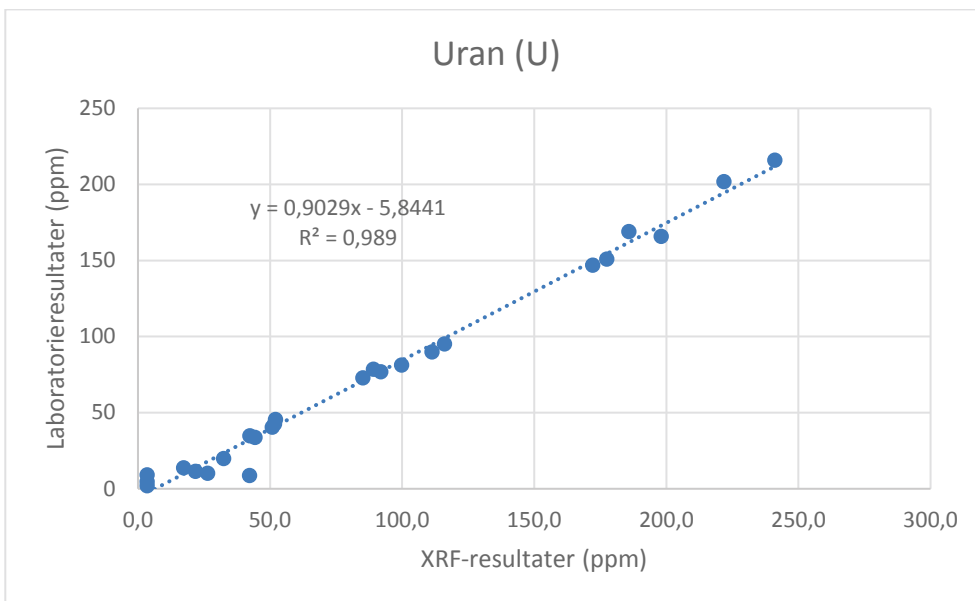
Figur C.9 Kalibreringskurve for zirkon (Zr), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



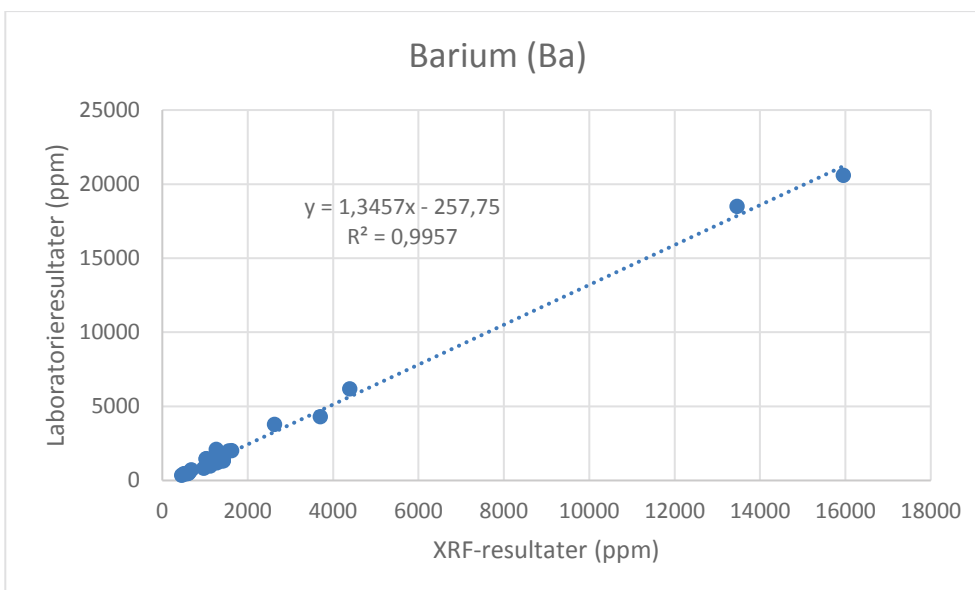
Figur C.10 Kalibreringskurve for niob (Nb), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



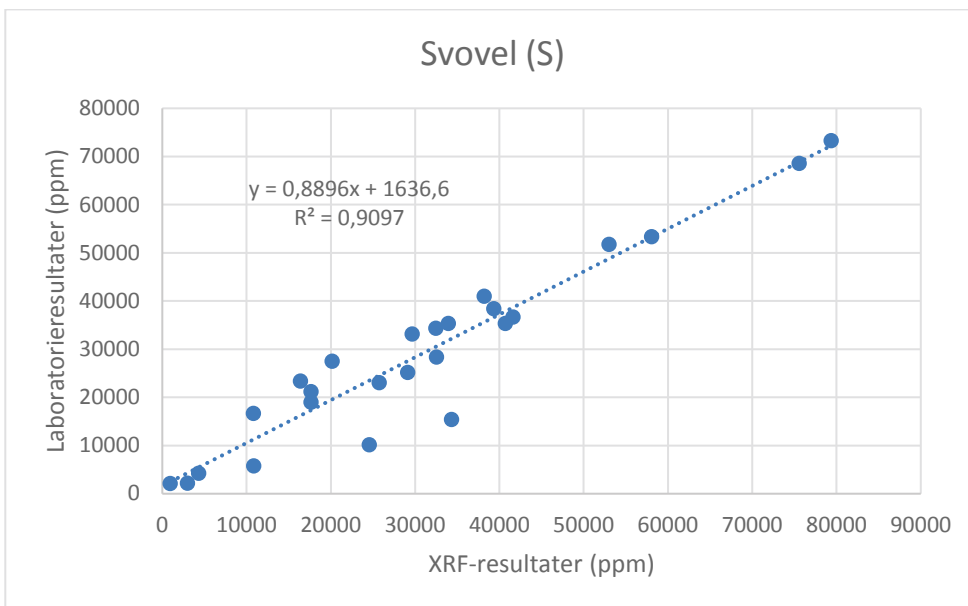
Figur C.11 Kalibreringskurve for thorium (Th), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm). 95% av observasjonene er inkludert i regresjonsanalysen (rødt punkt ekskludert).



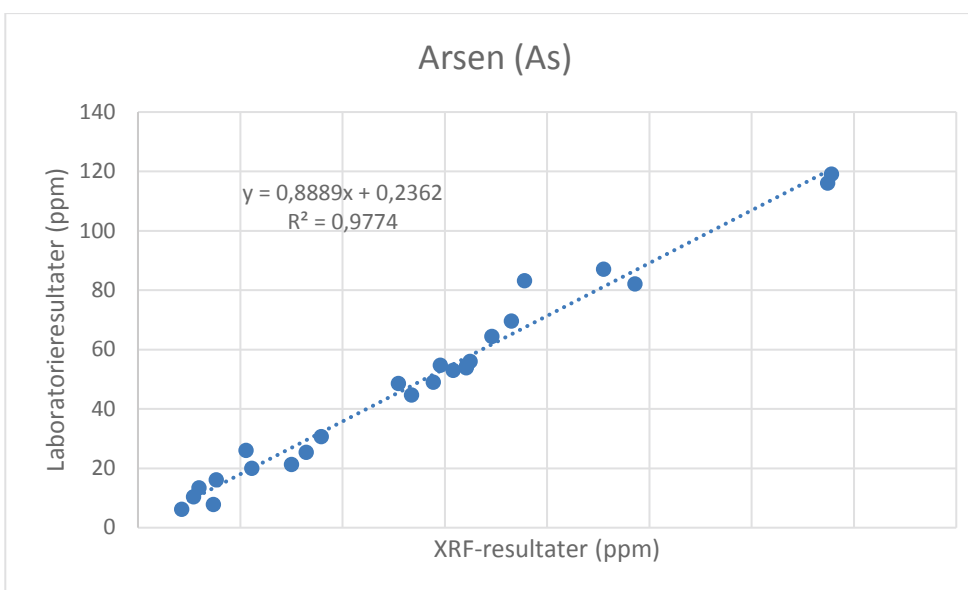
Figur C.12 Kalibreringskurve for uran (U), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



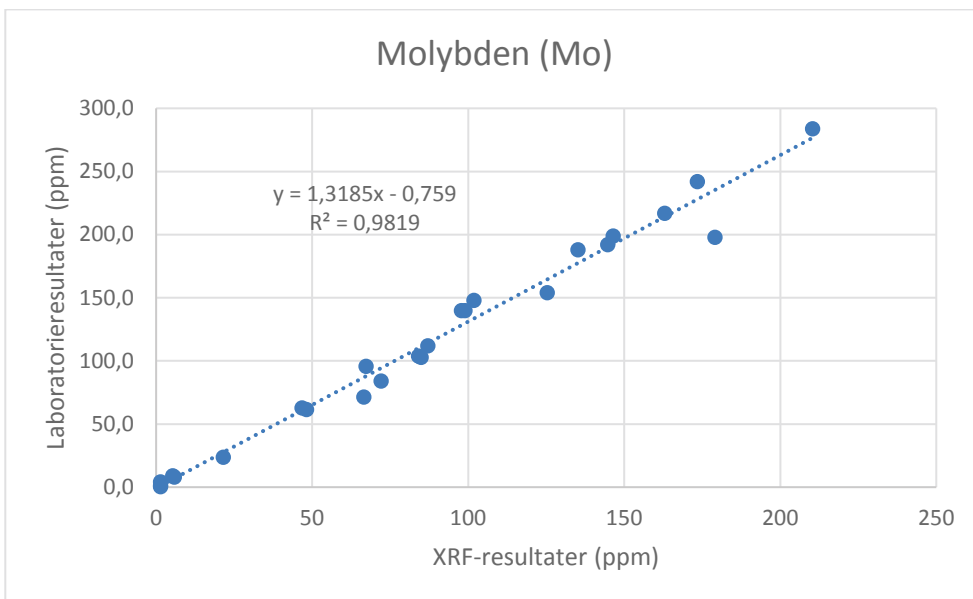
Figur C.13 Kalibreringskurve for barium (Ba), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



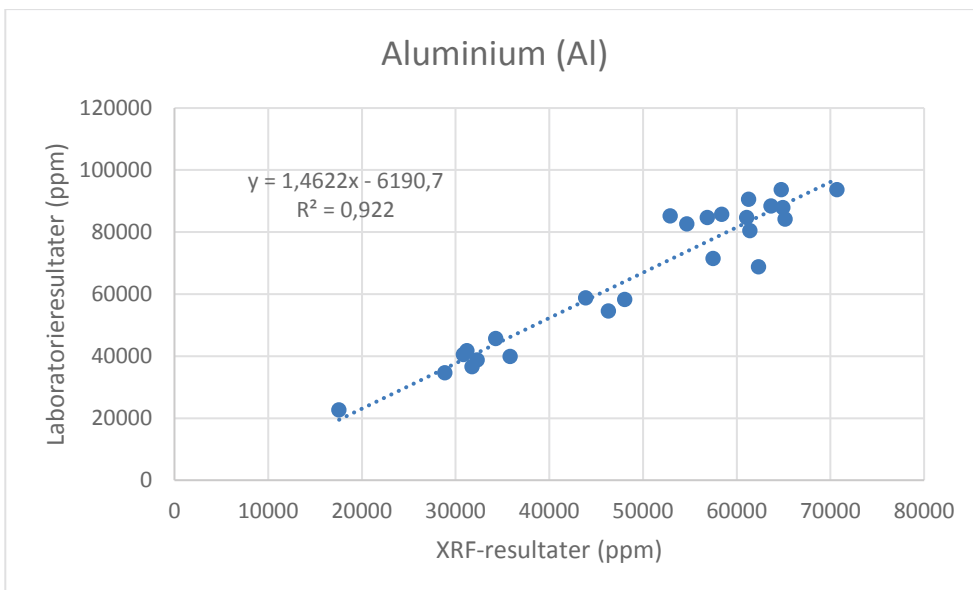
Figur C.14 Kalibreringskurve for svovel (S), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



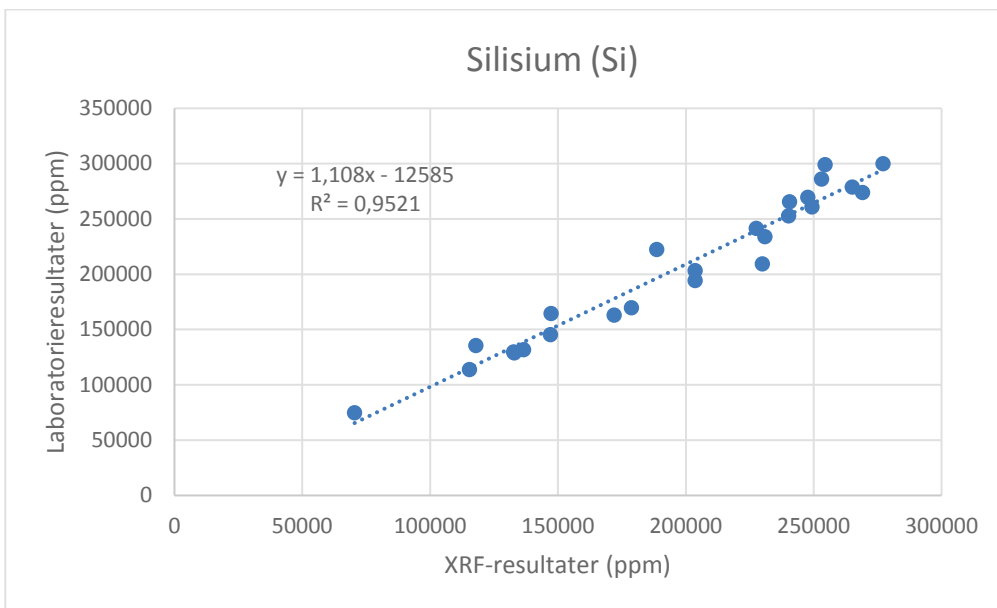
Figur C.15 Kalibreringskurve for arsen (As), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



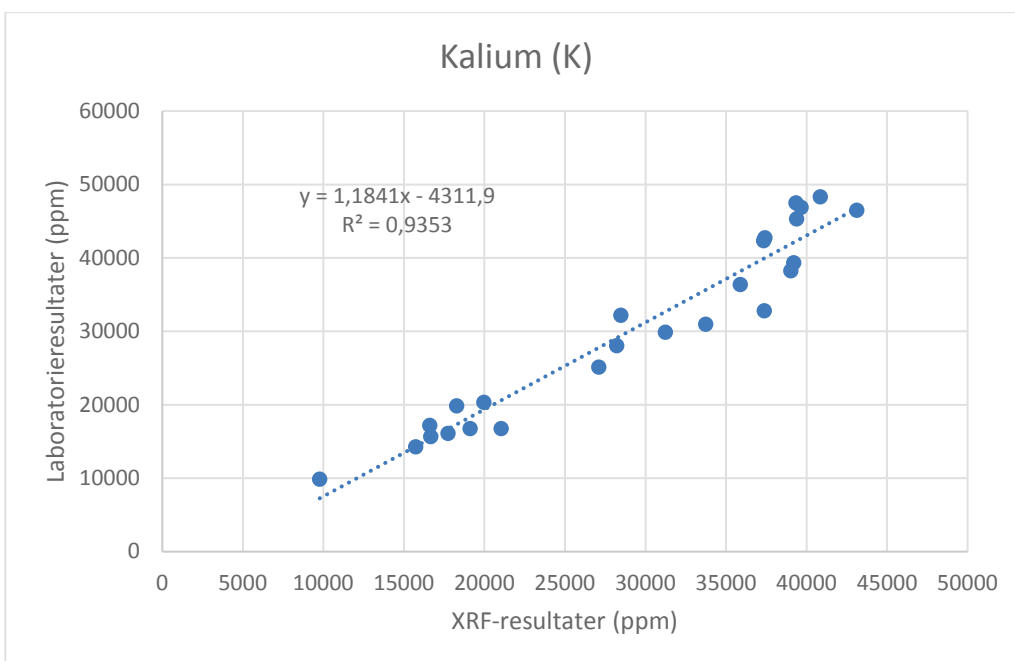
Figur C.16 Kalibreringskurve for molybden (Mo), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



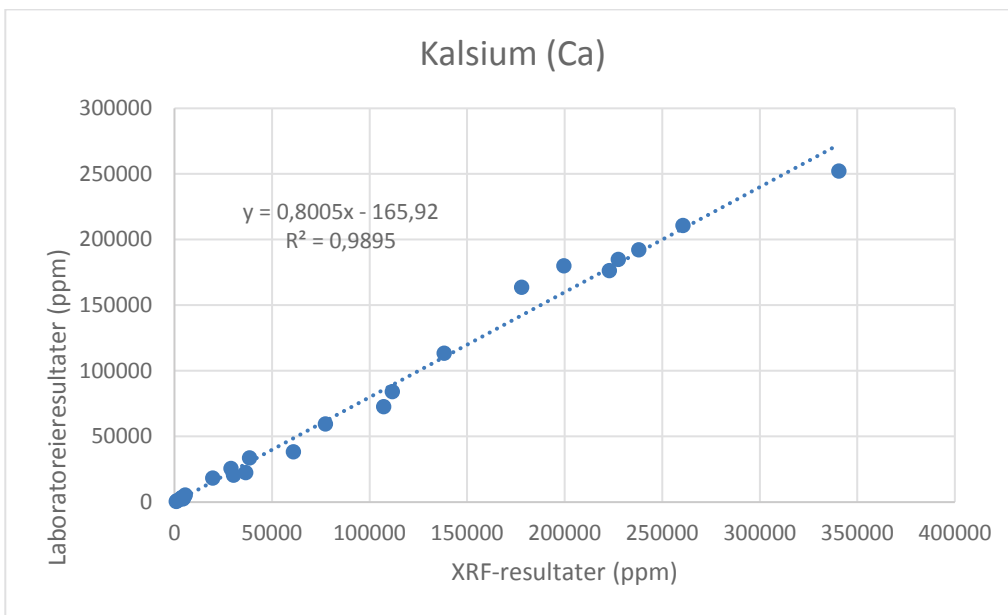
Figur C.17 Kalibreringskurve for aluminium (Al), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



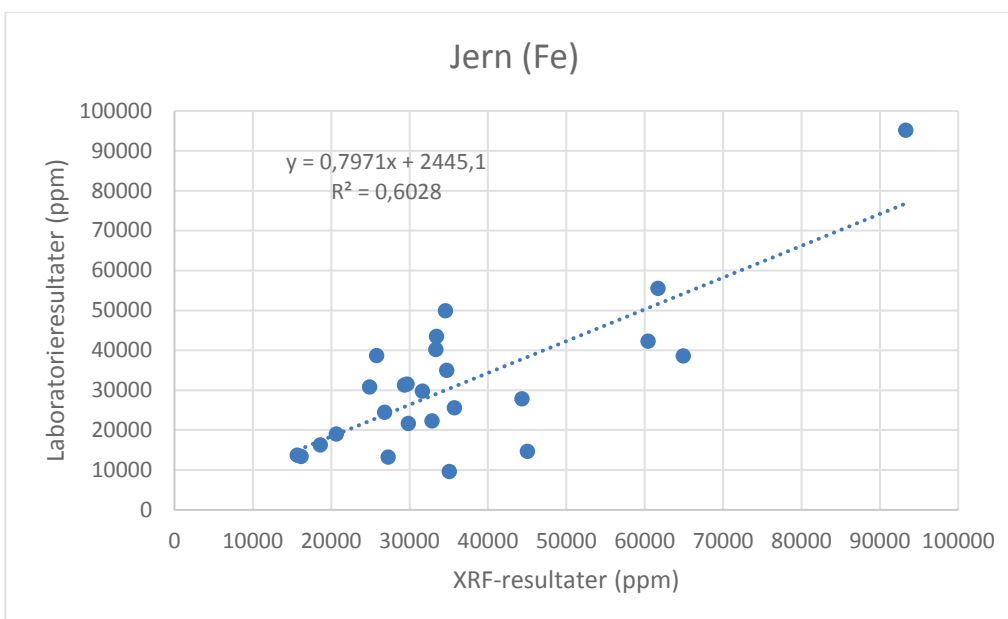
Figur C.18 Kalibreringskurve for silisium (Si), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



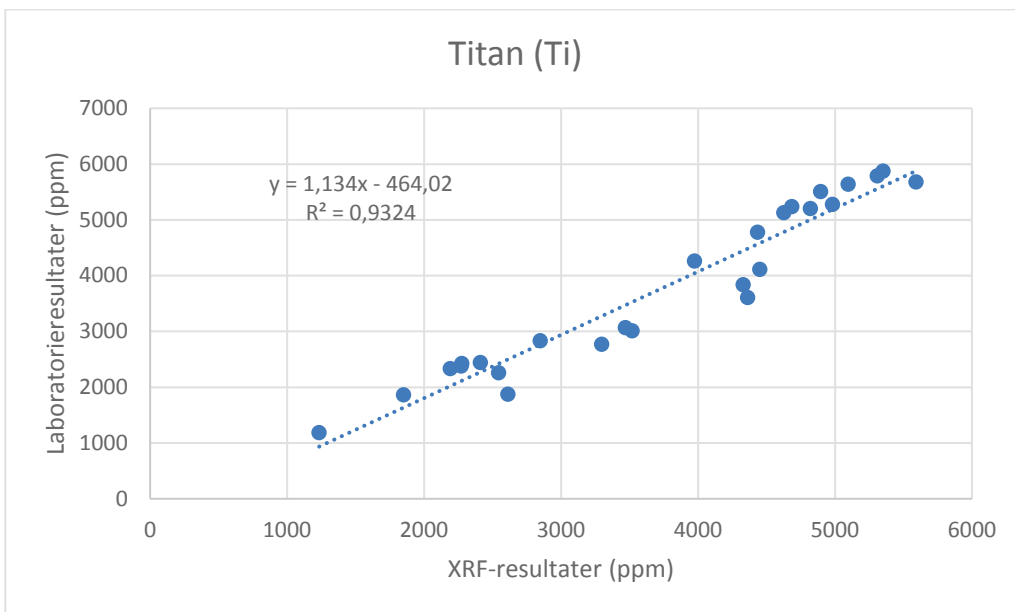
Figur C.19 Kalibreringskurve for kalium (K), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



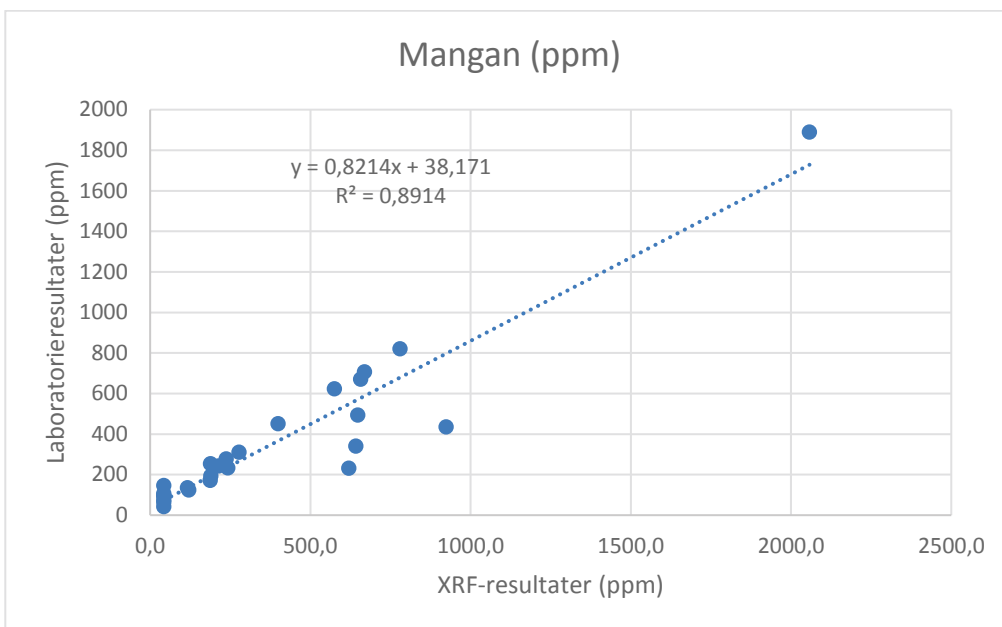
Figur C.20 Kalibreringskurve for kalsium (Ca), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



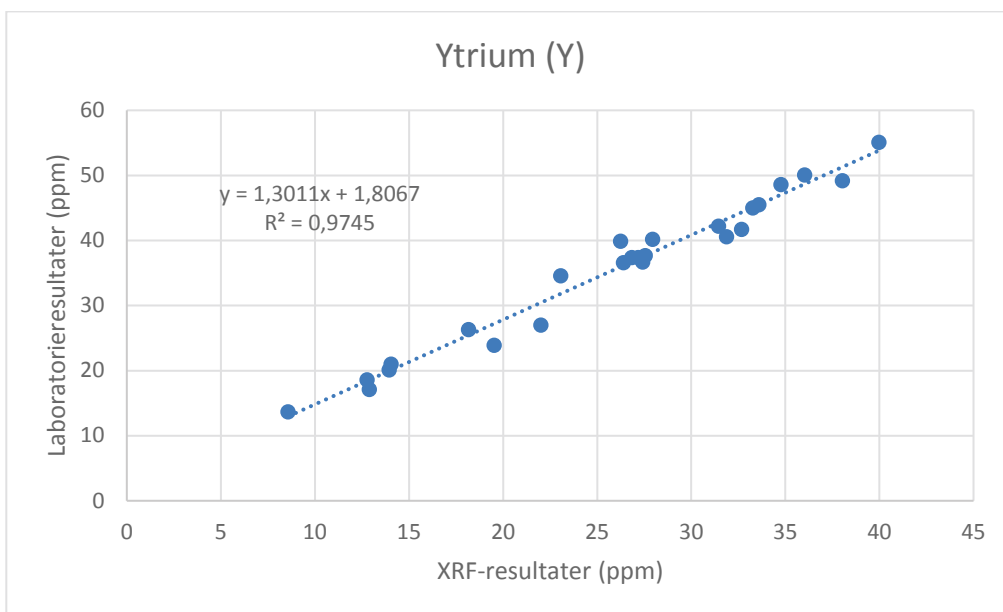
Figur C.21 Kalibreringskurve for jern (Fe), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



Figur C.22 Kalibreringskurve for titan (Ti), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



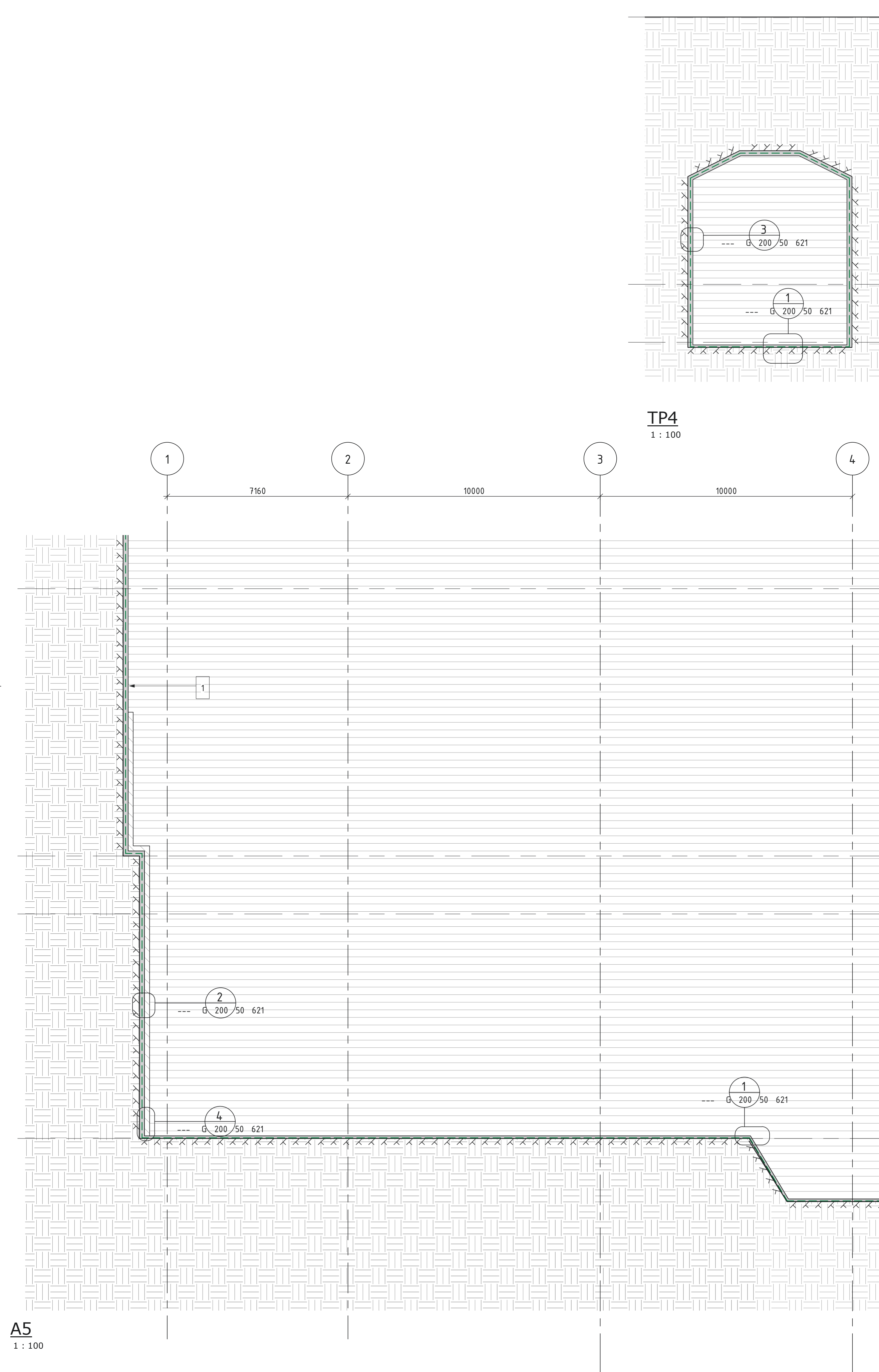
Figur C.23 Kalibreringskurve for mangan (Mn), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).



Figur C.24 Kalibreringskurve for ytrium (Y), som viser resultater fra laboratorieanalyser (ppm) plottet mot resultater fra XRF-analyser (ppm).

Vedlegg D

MEKANISKE EGENSKAPER TIL
SVARTSKIFER



A5
1 : 100

DAGENS NIVÅ I BYGGEGROP ▼

AVSATS ▼

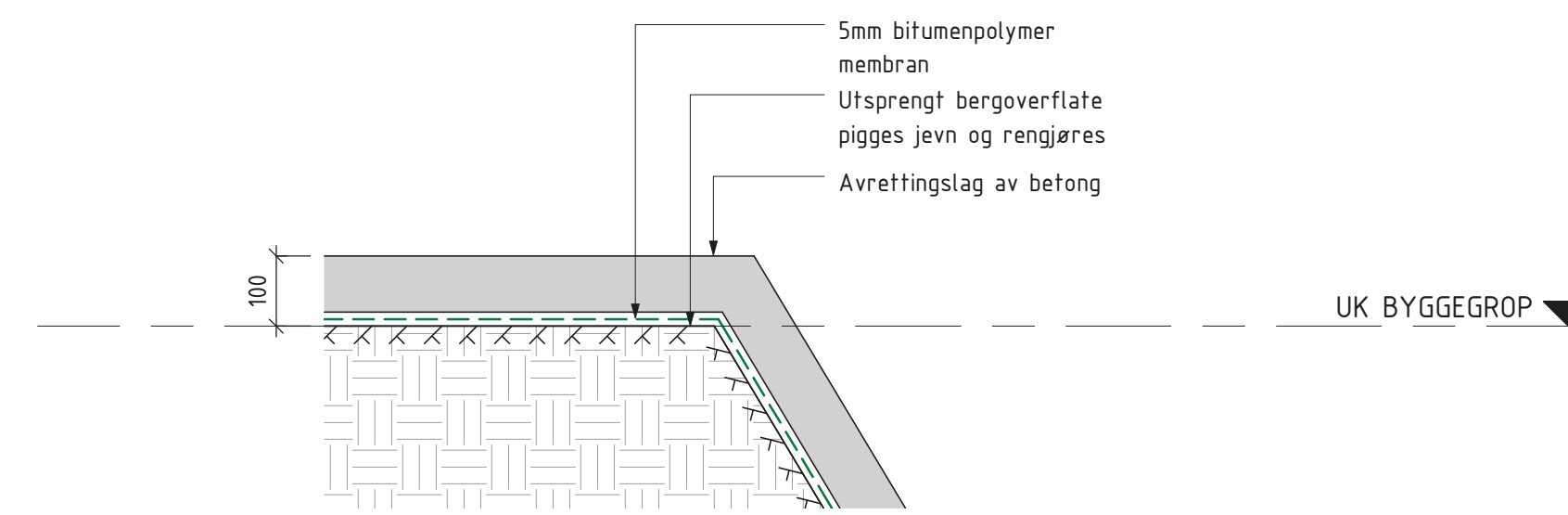
UK BERGROM (CA, VAR.) ▼

DAGENS NIVÅ I BYGGEGROP ▼

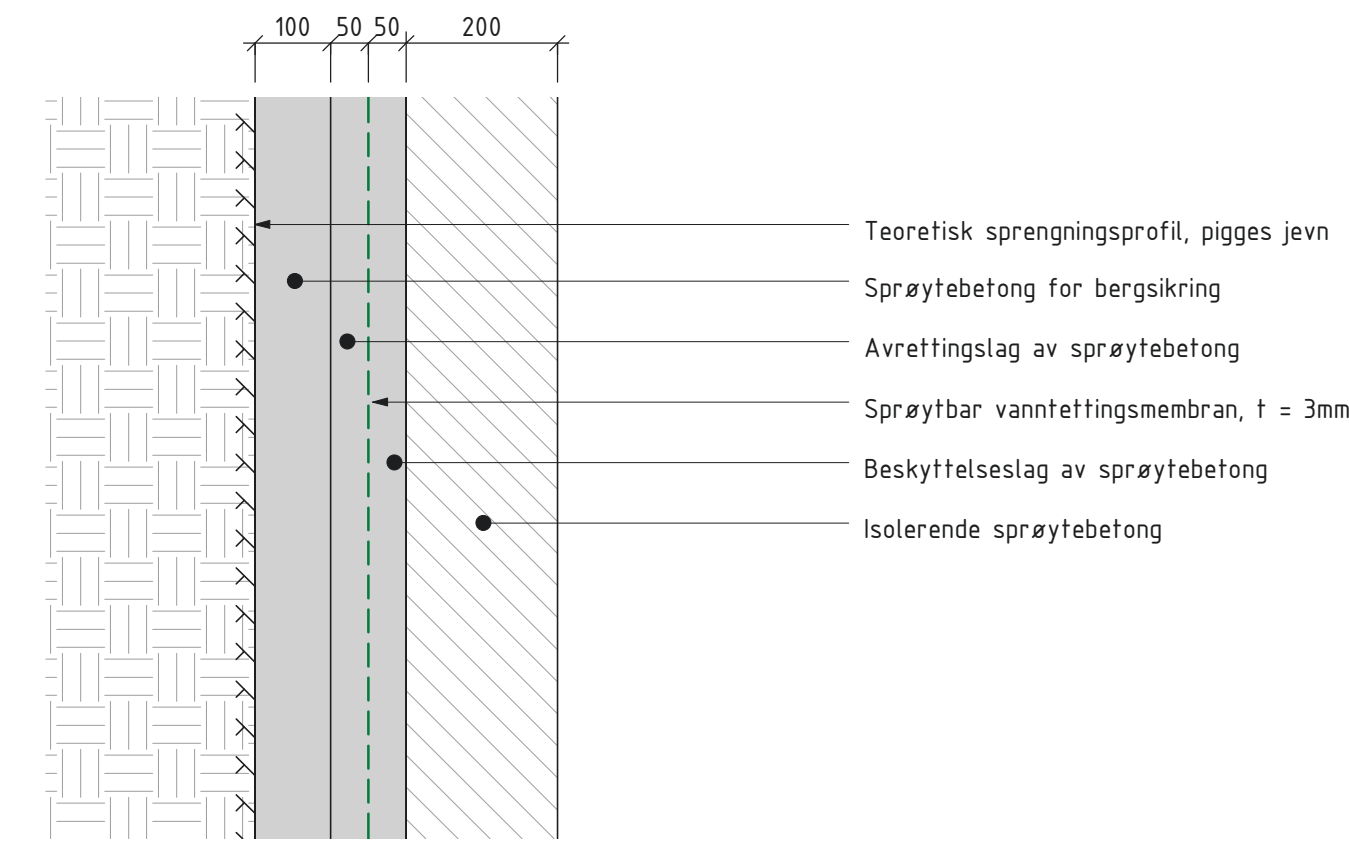
AVSATS ▼

UK BERGROM (CA, VAR.) ▼

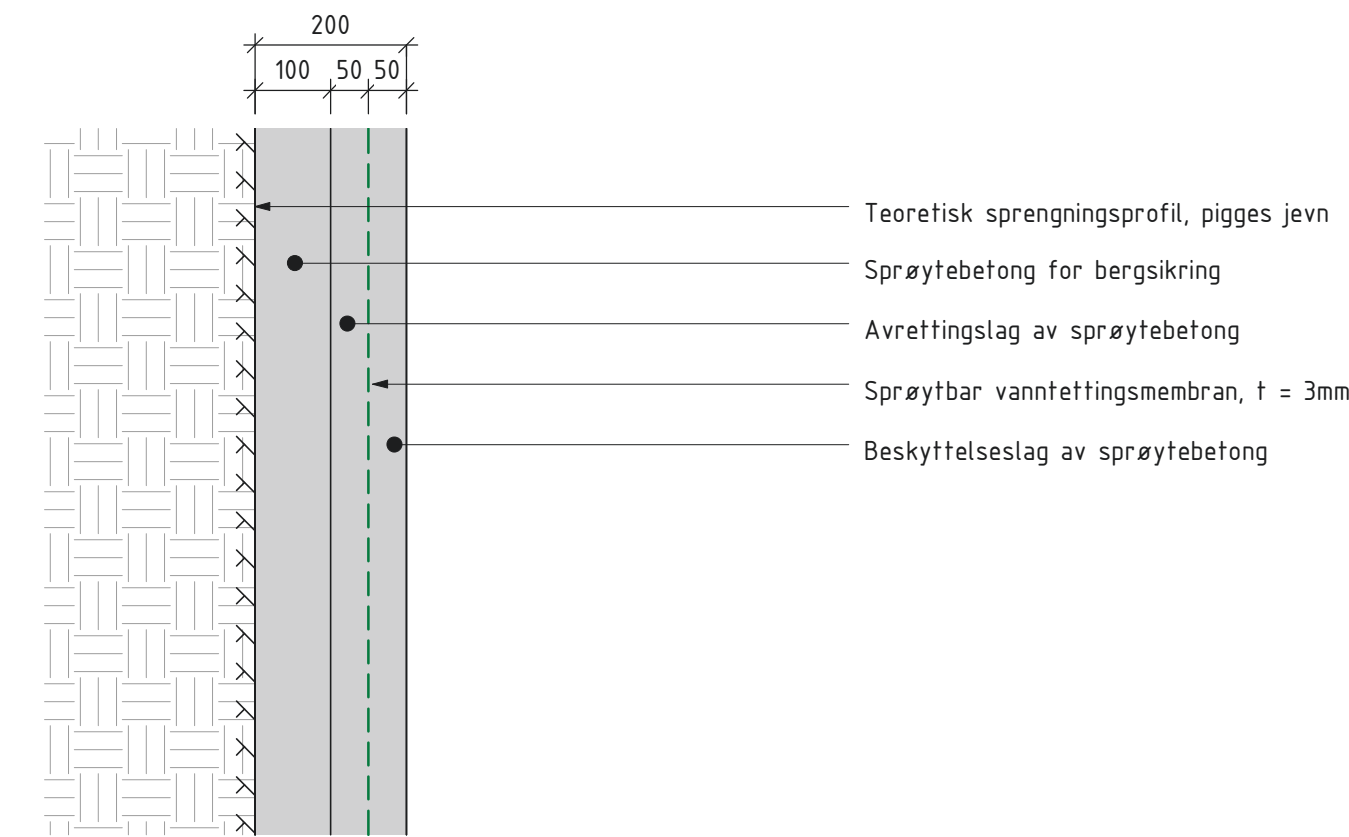
UK BYGGEGROP ▼



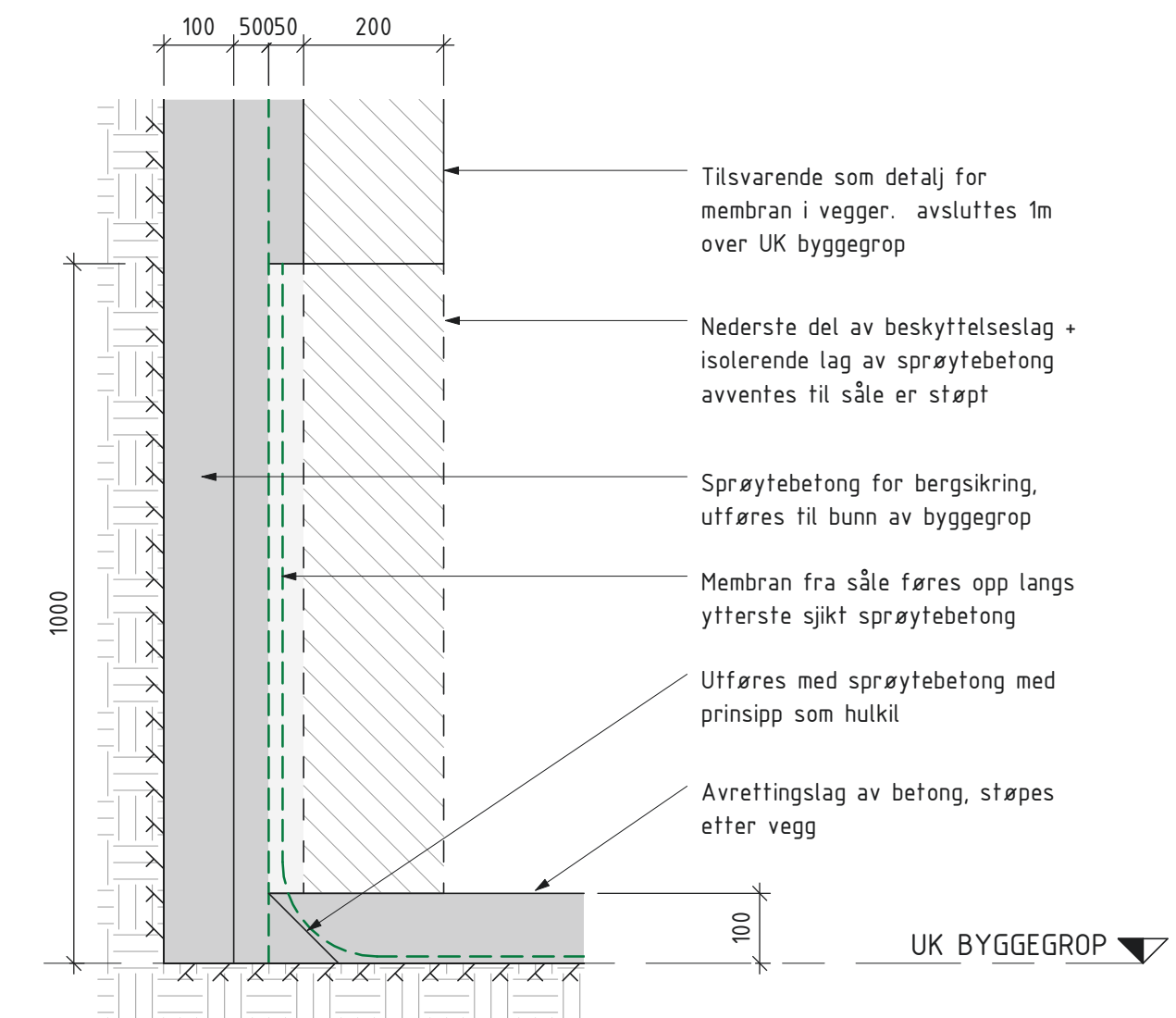
1 Smøremembran og avrettingsstøp i såle
1 : 10



2 Sprøytbar membran i vegger
1 : 10



3 Sprøytbar membran i tunnelvegger
1 : 10



4 Overgang såle/vegg
1 : 10

Anmerkninger:

Generelt:

Teoretisk sprengningsprofil

1 Det isolerende laget av sprøytebetong avsluttes ved. kt. +5.0, prinsipp for sprøytbar membran i tunnelvegger benyttes fra kt. +5.0 til OK berg

Masser som skal fjernes
Berg

Toleranser for sprøytebetong:

Sprøytebetong for bergsikring	+0/-200
Sprøytebetong for avretting	+100/-100
Sprøytebetong beskyttelseslag	+20/-20
Sprøytebetong isolerende	+10/-10
Avrettingsstøp i såle	+10/-10

Vedlegg E

ERFARINGER FRA REHABIITERING AV
KJELLER

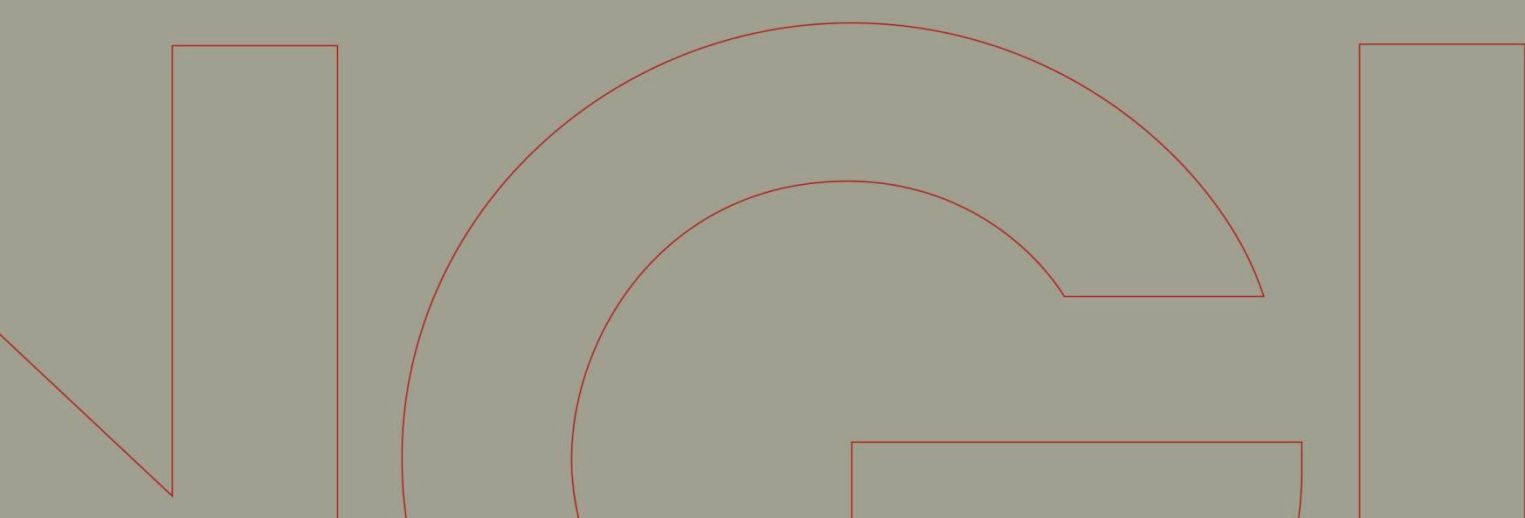


Rapport / Report

Karl Johans gate 14, Kirkegaten 23/25

**Oppsummering valg av løsninger
for fundamentering på og
forsegling av alunskifer i Karl
Johans gate 14**

20081294-00-14-R
15. januar 2010



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 NGL.

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 NGL.



Prosjekt

Prosjekt: Karl Johans gate 14, Kirkegaten 23/25
Dokumentnr.: 20081294-00-14-R
Dokumenttittel: Oppsummering valg av løsninger for
fundamentering på og forsegling av
alunskifer i Karl Johans gate 14
Dato: 11. august 2009

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pirsenteret
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Rambøll Norge AS
Oppdragsgivers
kontaktperson: June Wold-Dufseth
Kontraktreferanse:

For NGI

Prosjektleder: Roger Olsson
Rapport utarbeidet av: Erik Endre

Sammendrag

Karl Johans gate 14 og tilgrensende eiendommer er fundamentert på alunskifer. Eiendommen er ombygget og refundamentert ved flere anledninger, sist på slutten av syttitallet. Den gang ble det valgt en forsegling av asfalt på vertikale flater samt en tildekking av horisontale flater med plastfolie. For å holde plastfolien i kontakt med skiferoverflaten ble plastfolien dekket med ca 10-15 centimeter sand. Over tid har ikke disse løsningene ivaretatt den nødvendige barriere for å hindre oksygen og fuktighet i å forvitte alunskiferen.

Grunnvannsnivået står ca 20 centimeter over bunnen av grøft rundt garageanlegget. Det er et grunnvannssig gjennom alunskiferen ut i grøften. Dreneringen var gått tett gjennom flere år med forvitring og det sto et vannspeil under gulvet til garasjeanlegget. Dette ga et vesentlig bidrag til fuktighet i luftrommet over skiferen

BS EN ISO 9001
Serifisert av BSI
Reg. No. FS 32989

De foreslåtte og gjennomførte tiltak omfatter tildekking av alunskiferflater med en fleksibel membran av polyuretan (Resflex, Rescon-Mapei) samt forsterkning av skiferen under fundamenter. I forsterkningen inngår både forsterkning av alunskiferen samt en impregnering for å redusere oksygeninntrengning og oksygentransport i skiferen ytterligere.

Instrumentering ble benyttet som beslutningsstøtte for valg av løsninger og gjennomføring av disse. For to fundamenter (ved B3) ble det montert lastceller for å sikre at bæreevne ikke ble svekket under rehabiliteringsarbeidet. Temperatur og luftfuktighet ble også målt. Registreringene ga viktig informasjon om tilstanden til skiferen under fundamentene og for løsningsvalg.

De her foreslåtte og gjennomførte tiltak forventes en levetid på 50 år. For å sikre denne levetiden forutsettes et tilpasset oppfølgingsprogram med inspeksjoner og instrumentering for målinger av svelletrykk, volumendringer, temperatur samt fuktighet i alunskiferen der dette kan påvirke bygningsmassen negativt. Bakgrunn for dette er at det vil være mineralkjemiske restreaksjoner i alunskiferen selv etter tildekking. Oppfølgingsprogrammet vil gjøre det mulig å treffe enkle tiltak før skader oppstår. En vil således også få viktige kunnskaper (beslutningsstøtte) om grunnvannspeilets betydning for forvitring i alunskiferen. Instrumenteringen anbefales utført med sensorer som kan fjernovervåkes. NGI vil utarbeide et kostnadsoverslag for et slikt program.

Oppfølgingsprogrammet gjelder også for de arealer der det ikke er gjennomført tiltak, og vil gi et bedre beslutningsgrunnlag for tidfesting av eventuelle videre tiltak.

Det anbefales å sette opp en permanent kurs for lys, instrumenter og eventuelle elektriske verktøy for ettertiden.

Løsningen med grøft mot garasjeanlegget er sannsynligvis valgt rundt hele garasjekjelleren. Det anbefales å gjennomføre en tilstandsvurdering av alunskifer, fundamenter og drenering rundt hele garasjekjelleren.

Punktvis oppsummering oppfølging:

- Forvitring i alunskifer vil gi volumutvidelse. Volumutvidelse kan medføre svelletrykk og/eller svekkelse av styrke.
- Det monteres måleinstrumenter for å kunne registrere effekten av gjennomførte tiltak og eventuelle endringer i skiferen som kan medføre skader på fundamenter. Instrumentering vil gi viktig beslutningsstøtte ved vurdering av tiltak i fremtiden. Måleinstrumentene kan fjernovervåkes.
- Det gjennomføres visuelle inspeksjoner for å overvåke tilstand også på arealer der det ikke er vurdert nødvendig med tiltak på kort sikt.
- Dreneringen kontrolleres som del av FDV rutiner for bygget. Endringer gir viktig informasjon om eventuell forvitring.

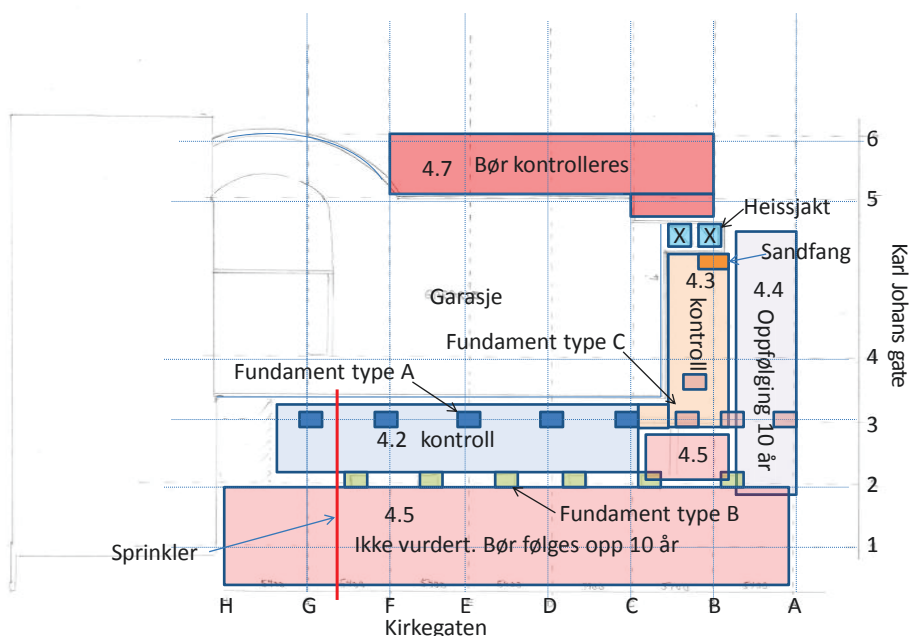
1	Innledning	6
2	Alunskiferen i Karl Johans gate 14	7
2.1	Hva er alunskifer	7
2.2	Alunskiferen under Karl Johans gate 14 (KJ14)	9
2.3	Spesielle forhold	11
2.4	Hva tilfører Black Shale prosjektet KJ14	13
3	Valg av løsninger – generelt	13
3.1	Forvitret skifer	14
3.2	Svellesone	14
3.3	Forsegle ny (frisk) alunskiferoverflate	14
3.4	Fundamenter - tilstandsvurdering og forsterkning	14
3.5	Vedlikehold	15
3.6	Grunnvann	15
4	Omtale av avgrensede arealer – utførte tiltak	15
4.1	Beskrivelse av arealene, foreslåtte tiltak og hva som er utført	15
4.2	Areal 4.2 (blått): Hovedrom (C2 – G3)	16
4.3	Areal 4.3 ”rundt hjørnet”, ”nordre vegg” (C3 – B5), samt forlengelsen langs akse 3 (C3 – B3)	21
4.4	Areal 4.4 mot Karl Johans gate	24
4.5	Areal 4.5 mot Kirkegata	26
4.6	Fundamenter.	26
4.7	Areal 4.7 Karl Johans gate 16/Kongens gate 24	32
4.8	Drenering/lokk/tettesjikt	32
5	Oppfølging	33
5.1	Bakgrunn for oppfølging	33
5.2	Areal 4.2 Hovedrom	35
5.3	Areal 4.3 C2-B5	35
5.4	Areal mot Karl Johans gate	37
5.5	Areal 4 mot Kirkegata	37
5.6	Fundamenter	37
5.7	Drenering	38
5.8	Sprinkler	38
5.9	VA-rør	38

1 Innledning

NGI ved Roger Olsson og senere Erik Endre ble engasjert av Rambøll i forbindelse med refundamentering av et bevaringsverdig kapphvelv i Karl Johans gate 14 (KJ14). Det var registrert bevegelse i grunnen under hvelvet. Bevegelsene hadde pågått en tid og det var kjent at det var alunskifer i grunnen. Det var frykt for at alunskiferforvitring kunne påføre bygningskonstruksjonene store skader.

Adkomst til alunskiferen var begrenset på grunn av vanskelig tilgang til kryperom under frittstående gulv som følge av husets konstruksjon og av at alunskiferen var ganske kraftig forvitret (svullet). Bygningen er søylefundamentert ved at laster fra bygningen overføres til punktlaster mot grunnen. Gulv mot alunskifer er frittstående for å unngå skader som følge av forvitring og volumutvidelser. Alunskiferen sto nå flere steder i kontakt mot underkant av gulvet og VA-rør var defekte.

Det er etablert et referansesystem for bygget med akser A-H og 1-6. Omtale av arealer og punkter i rapporten refererer til dette aksesystemet (figur 1-1, 4.1-1, kap. 4).



Figur 1-1 (og 4.1-1): Plan kjeller. Areal som er vurdert og areal som bør vurderes. Arealene har nummer tilsvarende inndeling av kapittel 4. Areal med samme farge hører sammen. Areal 4.2 var opprinnelig avgrensning av oppdraget. Aksene (1-6 og A-H) benyttes som referanser i teksten.

Fundamenter i akse 3 (figur 1-1, kap. 4) står i nær avstand til grøft mot garasjeanlegget. Grøften var delvis fylt med masse. Fundamentene (C3 – G3) i akse 3 ble forsterket før utgraving av grøft for å redusere risiko for skjærbrudd ut mot grøften i skiferen under fundamentene.

Ved nærmere undersøkelser av grøften fra C3 til B3 anbefalte NGI å inkludere dette arealet samt fortsettelsen langs garasjeanlegget B3 til B5 i rehabiliteringsarbeidet (areal 4.3). Dette sikrer en forlenget levetid for de rehabiliterte arealene samtidig som det utsetter tidspunkt for rehabilitering av de arealer som ikke er gjort noe med.

Det var trange arbeidsforhold slik at løsningsvalg måtte tilpasses utførelse med håndholdt utstyr. Det ble fra alle parter vektlagt å finne gode løsninger.

2 Alunskiferen i Karl Johans gate 14

2.1 Hva er alunskifer

Alunskifer er en sedimentær bergart avsatt i grunne havområder for ca 500 millioner år siden. I disse havområdene var det mangel på oksygen (anaerobt miljø). Det var også lite tilførsel av sedimenter fra elver, slik at det som synker ned til bunnen er for en stor del det som små partikler av mineralkorn som svever i vannet av ulike partikler samt organisk materiale. I tillegg kan partikler fra kosmisk stråling utgjøre en del av det sedimenterte materialet. Når disse sedimentene komprimeres som følge av tyngden fra materiale som legger seg over, dannes en lagdeling (primær lagdeling). Det har tatt 10.000 – 100.000 år med sedimentasjon å bygge opp kun centimeter av alunskiferen slik vi finner den i dag. I de påfølgende geologiske tidsperioder Ordovicium (510-440 mill. år) og Silur (440-410 mill. år) økte sedimentasjonsomfanget av leirpartikler og kalkrike skallfragmenter.

Den kaledonske fjellkjededannelsen (ca 400 millioner år siden) har foldet og komprimert alunskiferen ved ca 200⁰ C. Oppsprekking av jordskorpen førte til dannelsen av Oslo-riften med vulkanisme og forkastninger i perm (ca 270 millioner år siden). Denne vulkanske perioden påvirker alunskiferen med lokale variasjoner som varmer opp alunskiferen (kontaktmetamorfose). Alunskifer som er varmet opp av gjennomsettende eruptive gangbergarter (bergartssmelte) kan kjemisk sett være svært ustabil på grunn av endringer i mineralinnhold.

Navnet alunskifer har en historisk bakgrunn fra utvinning av **alun**, betegnelse på en del aluminiumsulfater. Den mest vanlige er kalium-aluminiumsulfat ($KAl(SO_4)_2 \times 12H_2O$). Har vært brukt til garving av lær og i papir- og tekstilindustrien (Caplex.no).

Engelsk betegnelse er Black Shale. På bakgrunn av fossiler i alunskiferen er det mulig å datere lagene i alunskiferen. En kan således trekke erfaringer fra en lokalitet til en annen lokalitet



Figur 2.2-1 Alunskifer har i tillegg til ordinære sprekkssystemer i bergarter en mengde mikroriss som følge av tektonisk påvirkning og mineralsammensetning. Alunskifer er gjennom tektonisk påvirkning blitt deformert. Alunskifer har lavere styrke enn kalkrike lag, og vil virke som "smøring" mellom stivere (mer kompetente) lag. Det utvikles en mengde mikrosprekker og riss i bergarten som følge av mineralinnhold, med mer. Transportmekanismer for vann/fukt vil være både drevet av et vanntrykk og av kapillære krefter samt diffusjon. Et fliset utseende viser sprekkfrekvens. Brun farge viser forvitring på sprekker.

I tillegg til å være en bergart må alunskifer betraktes som et kjemisk system med kjemiske reaksjoner mellom mineraler, fluider som påvirker mineraler, rester av karbon (fossilt organisk materiale), svovelbakterier, oksygen og fuktighet. Enkelte mineraler som dannes som følge av forvitring er vannløselige. Tungmetaller frigjøres gjerne i disse vannløselige mineralene. Alunskifer inneholder også et høyere innhold av uran, som resulterer i et innhold av radioaktive nuklider. Det er særlig α -partikler og radon gass det fokuseres på ved arbeider og ved bruken av bygget.

Radon (^{222}Rn) er en radioaktiv edelgass som dannes i berggrunn og løsmasser ved nedbrytning av det naturlige stoffet uran (^{238}U). Når radon brytes ned, dannes nye radioaktive stoffer som vi kaller for radondøtre (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po). Radon og flere av radondøtrene avgir alfastråling. Alfastråling kan skade celler i luftveiene slik at de kan utvikle seg til kreftceller. Radon er den nest viktigste årsak til lungekreft ifølge Verdens helseorganisasjon (WHO). Bare røyking representerer en større risiko. Risikoen for lungekreft øker ved en kombinasjon av radoneksponering og røyk (ref.: Statens strålevern).

Ved *forvitring* vil alunskifer gjennomgå flere forandringer med volumutvidelse, utvikling av svelletrykk, svekket bæreevne, utvikling av korrosivt surt grunnvann,

utfelling av svovelforbindelser og frigjøring av giftige metallforbindelser og radioaktive elementer.

Volumutvidelse i alunskiferen kan forårsake skader på bygninger. Får alunskiferen utvide seg uten motstand kan volumutvidelsen være betydelig (Fig. 2.2-1, 4.3-3). Det er en allmenn oppfatning i dag at det er nedbrytning av jernsulfider (FeS_2 , FeS_{1-x}) med dannelse av kalsiumsulfatmineralene gips og anhydritt ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSO_4) som er viktigste årsak til svelling. Kan ikke alunskiferen svulle fritt, dannes et svelletrykk.

Svelletrykk og volumutvidelse kan påvirke fundamentenes funksjon. Ved prosjektering av fundamenter på alunskifer dimensjoneres det per i dag med et svelletrykk på 2 MPa (200 tonn/m²). Svelletrykket er størst normalt på den opprinnelige lagdelingen. For prosjektering av byggetekniske løsninger bør denne orientering være kjent. Når skiferen får svulle med mindre mottrykk/laster vil bæreevne reduseres som følge av volumutvidelsen. Dette avhenger av utformingen/ geometrien i en byggegrop. Når lastene i et fundament er lavere enn dimensjonerende svelletrykk må en i prosjekteringen beregne strekkrefter ved forankring av fundamentet og prosjektere en løsning som ivaretar risiko for at fundamentet løftes.

Spesielle HMS hensyn må være ivaretatt ved arbeider i alunskifer. Riktig verneutstyr må benyttes og det må være tilpasset ventilasjon. Arbeider i alunskifer gir mye støv/mikropartikler i luften som også irriterer fuktige flater som øyne og slimhinner. Støvet kan inneholde radioaktive partikler bundet til støvet. Radonpartikler fester seg lett til støvpartikler med økt risiko for inhalering.

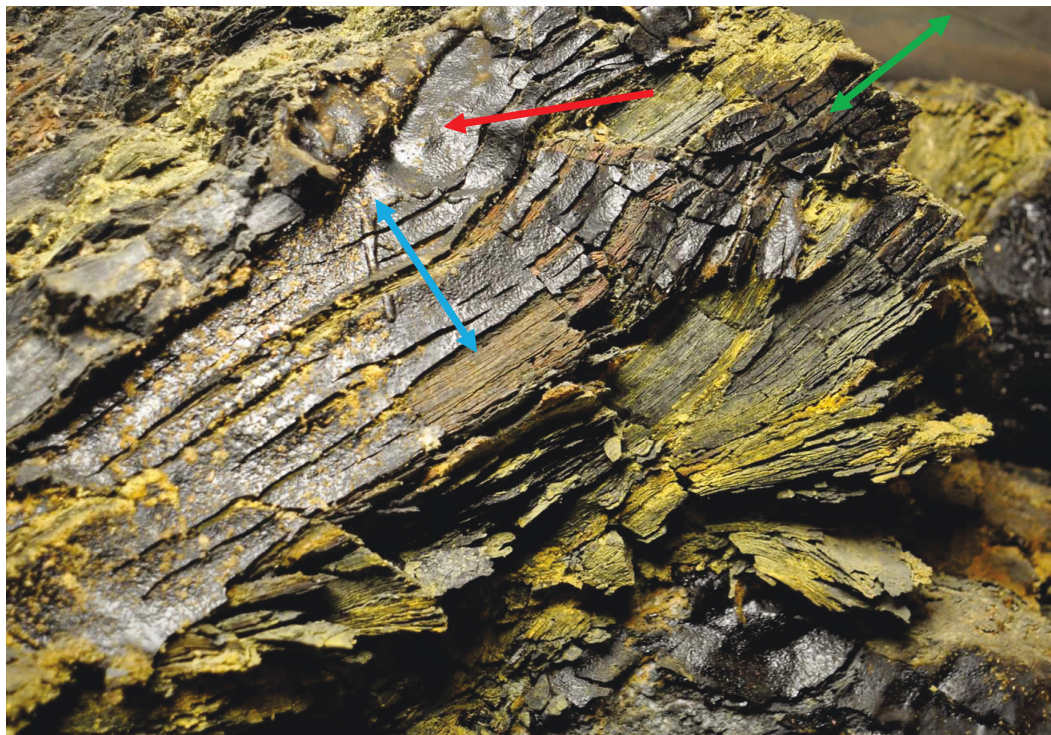
2.2 Alunskiferen under Karl Johans gate 14 (KJ14)

Tildekking. Alunskiferen under KJ14 ble ved forrige refundamentering tildekket med asfalt på vertikale flater og med plast og 10-15 cm sand på horisontale flater. Sanden skulle holde plasten i kontakt med alunskiferflaten. Med tiden ble effekten av disse tiltak redusert. Asfaltmembranen påført vertikale flater blir med tiden sprø. Den har liten strekkstyrke og sprekker opp i takt med volumutvidelsen i skiferen. Plastfolien har ikke tilstrekkelig kontakt mot alunskiferen, og luft får tilgang til skiferen under plasten.

Forvitring. Alunskiferen under KJ14 viste etter tretti år kraftig forvitring, noe som indikerer tilgang på oksygen og fuktighet. Det er et vannsig gjennom alunskiferen ut i grøften langs garasjelegget (fig 5.1-1). Toppen av det fuktige sjiktet indikerer grunnvannsnivået. Skiferen viser forskjellig forvitring over og under grunnvannspeilet (fig. 2.2-2, 2.2-3).

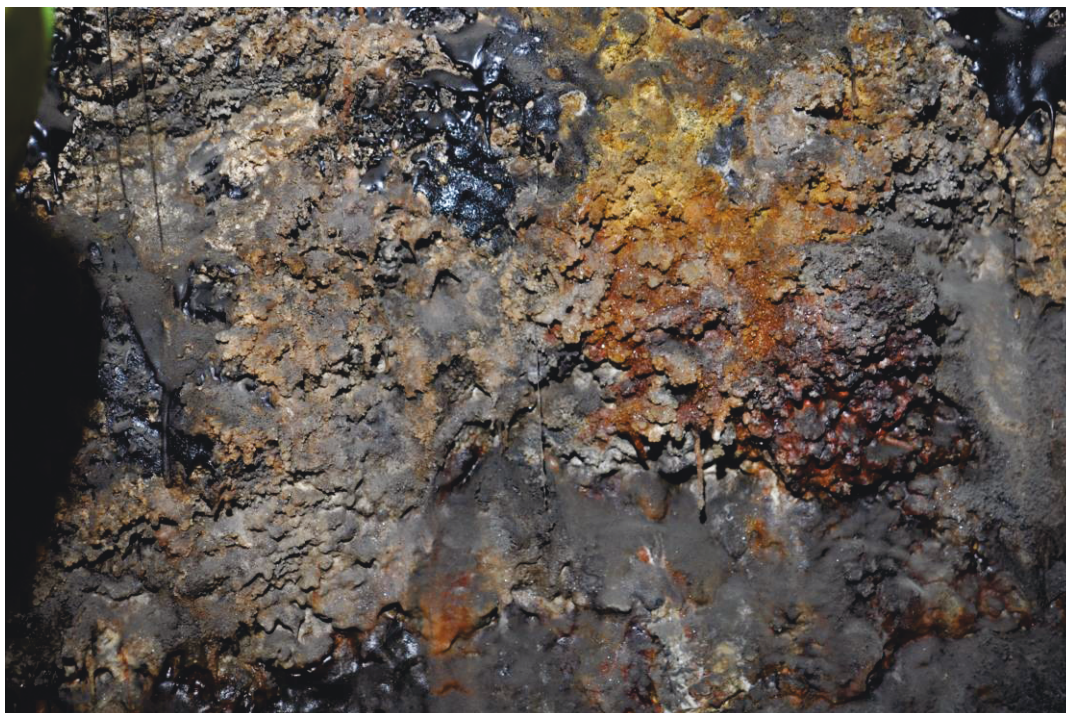
Over grunnvannsspeilet sprekker skiferen opp. Oppsprekkingen medfører økt tilgang til oksygen. Kilder til oksygen er luft og vann som er i kontakt i med overflaten og dermed inneholder noe oksygen. Over grunnvannsspeilet ekspanderer alunskiferen betydelig, og en rekke nye typer mineraler dannes. Flere

av disse lar seg løse i vann. Forvitringen indikerer at relativ luftfuktighet har stor betydning på forvitningsforløpet. Alunskiferer under grunnvannspeilet ekspanderer langt mindre (ved gjennomfuktete forhold) og forvitrer til et meget finkornet sediment. Det er sannsynlig at dette har tettet dreneringen over tid.



Figur 2.2-2: Svelling over grunnvannsspeil. Skiferen spaltes og langs den primære lagdelingen (grønn pil). Volumutvidelsen er størst normalt på primær lagdeling (blå pil) Den etter hvert sprø asfaltmembranen (rød pil) mister sin funksjon. Sprekkene åpner seg over tid og forvitringen går dypere inn i skiferen. Forvitningsmineralene har større volum. Heften mellom asfaltmembran og skifer blir kraftig redusert. Skinnende svarte flater er rester av asfaltmembranen.

Orienteringen på primær lagdeling varierer som følge av tektonisk påvirkning. Lagdelingen har et fall (helning på flaten) inn mot garasjeveggen ca 30-40°. Den sikreste metoden for å fastslå orienteringen til denne primære lagdelingen var her å registrere orienteringen til kalklinser (diskosformede legemer) som ligger spredt i skiferen med lengste akser i planet til primær lagdeling. På forvitret flate (fig 2.2-2) kan fargeforskjeller fortelle orientering på den primære lagdelingen. I tillegg til den opprinnelige lagdelingen skiferen fikk da den ble dannet som sediment, er det tektonisk (mekanisk) dannede flater som utgjør sprekkeflater i skiferen. Samlet vil disse sprekkesett svekke skiferens mekaniske styrke. Hyppighet og orientering på disse sprekkesettene har betydning for stabilitet og bæreevne til skiferen under fundamenter type A og type C (fig 1.1 og fig 4.1-1)



Figur 2.2-3: Overflate under grunnvannsspeil i grøften ved akse 4. Utfelte mineraler er mer kompakte. Svart glinsende flate er rest av asfaltmembran. Overflaten her viser utfelling av mineraler fra en vannfase på alunskiferoverflaten.

Alunskiferen sto mange steder opp under himlingen (gulvene i første etasje). De tretti centimeter som var prosjektert som kryperom/svellesone ved siste rehabilitering ca 1980, var ikke tilstrekkelig til at skader kunne unngås. Asfaltmembranen som ble benyttet som forseglingsmetode på vertikale flater (fig. 2.2-2) har over tid ikke virket etter hensikt. Over tid blir asfaltmembranen sprø og klarer ikke ta opp strekk som følge av volumutvidelsene i skiferen. Volumutvidelsen var større på de horisontale flatene enn på de vertikale flatene. De vertikale flatene var mer preget av forvitring og utfall i grøften. Utfall i grøft skyldes forvitring på gjennomsettende sprekkeflater (se figurene 2.2-1, 4.3-1 og 4.3-2)

2.3 Spesielle forhold

Under grunnarbeidene var det merkbart høy relativ luftfuktighet (vannmetning) i luften i tillegg til temperatur rundt ca 25⁰ C. Det var fukt i bunn av grøft langs garasjeveggen. I tillegg kunne en observere et vannspeil under gulvet til garasjeanlegget. Slike forhold optimaliserer forvitningsreaksjoner i alunskifer. Dette antyder at dreneringen under garageanlegget ikke fungerte etter hensikt.

Det ble observert grunnvannsig ut i bunn av grøften. Nivå på grunnvann ble målt til ca 20 centimeter over bunn grøft mot garasjeanlegget. I grøften ved B3 går grunnvannsnivået opp i en spiss. (figur 2.3-1) Det er sannsynligvis kapillærkrefter som er årsak til at grunnvannsnivået står høyere her. Dette kan forklares ved at lagene her ligger i et foldekne (lagene er bøyd og rotert). Alternative forklaringer kan være en punktlekkasje i skjulte rørsystemer.



Figur 2.3-1: Grunnvannsspeilet står opp i en spiss i veggen i grøft ved C3-B3. Vannanalyse følger i vedlegg. Dette hjørnet vil naturlig være mer utsatt for forvitring siden vannspeilet står så nær overflaten.

Grunnvannsprofil. Kilen (mørk grå farge) viser at vannet i skiferen her står 1,40 m over det generelle grunnvannsnivået. Dette kan skyldes kapillærkrefter.

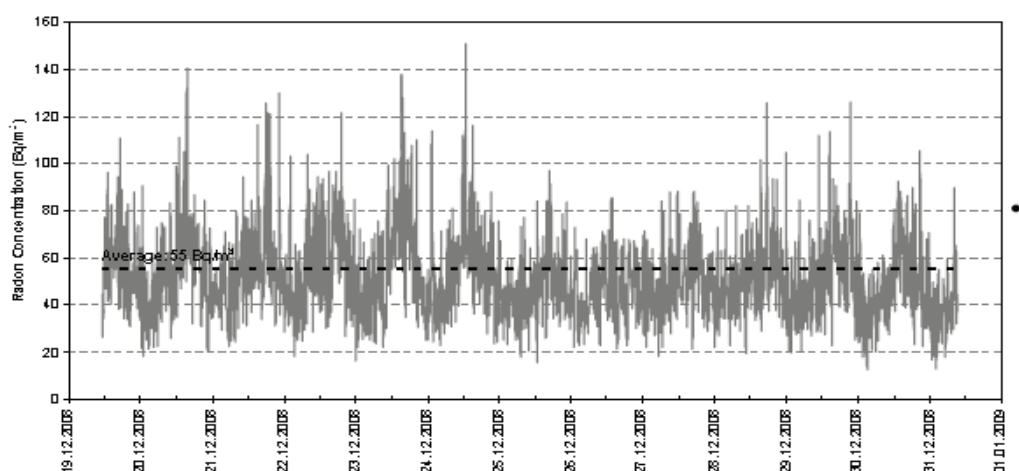
Generelt grunnvannsnivå.

Se også fig 4.3-1

Arbeidsforholdene er ofte utfordrende ved rehabiliteringsarbeider som refundamentering og fundamentforsterkninger under eksisterende bygninger. Det kan være trangt, og spesialisert erfaring og utstyr er ofte nødvendig. Fleksibilitet i løsningsvalg må tilpasses gitte funksjonskrav og rammene for hva og hvordan arbeidet kan utføres. Der skiferen er forvitret, må den vanligvis fjernes for å få en tilstrekkelig klaring mellom himling/gulvet til første etasje og alunskiferoverflaten. Mineralene i forvitret skifer er ofte dannet i svært surt miljø (lav pH). Det kan gi økt risiko for etseskader på øyne, hud og slimhinner.

Radonmålinger ble utført med kontinuerlig måling over en periode på ca 2 uker. Svingningene i konsentrasjoner var innenfor lovpålagte krav. Disse svingningene samsvarte med styringen av viftesystemene i bygningen.

Statens strålevern anbefaler fra 2009 at radonnivåer holdes så lave som mulig i alle bygninger, og at tiltak alltid bør utføres når radonnivået i ett eller flere oppholdsrom overstiger 100 Bq/m³. Strålevernet fremhever at tiltak også kan være aktuelt under 100 Bq/m³ dersom man med enkle tiltak kunne fått radonnivået vesentlig lavere. Videre anbefaler Strålevernet nå at radonnivåer alltid skal være lavere enn en maksimumsgrense på 200 Bq/m³. Strålevernet vurderer at bygninger som arbeidsplasser, skoler, barnehager, forretningsbygg og utleieboliger bør pålegges å ha forsvarlige radonnivåer gjennom regelverk (ref.: Statens strålevern).



Figur 2.3-2: Radonkonsentrasjoner i luft i byggefasen. Målinger utført med Safe Guard måleinstrument. Variasjonene over tid samsvarer med styringen av vifteanlegget i bygningen.

2.4 Hva tilfører Black Shale prosjektet KJ14

Det pågående Black Shale prosjektet er et prosjekt finansiert av industrien og Norsk forskningsråd (NFR) finansiert BIP (Bruker Interessestyrt Prosjekt). Hver deltaker bidrar med sin kompetanse. Hovedmål med prosjektet er å øke kunnskapene om alunskifer med hovedfokus på å utvikle bedre rutiner og bedre løsninger for bygg- og anleggsbransjen.

Forvitringen av alunskifer under KJ14 var av et slikt omfang at vi her kunne etablere en referanselokalitet. Videre studier av forvitring og omfang av kjemiske endringer i skiferen utføres på prøver tatt herfra. Instrumenteringen som ble utført er hittil belastet Black Shale prosjektet.

Sluttrapport (Guidelines for Sustainable Solutions for foundations on Black Shale) for Black Shale prosjektet vil være ferdig ved årsskiftet 2009/2010.

3 Valg av løsninger – generelt

Valg av løsninger bør være en omforent forståelse av byggeiers ønsker, kost/nytte, og levetidsbetraktninger. Løsninger bør velges ut fra faglige gjennomførbare råd fra fagperson samt rammer for gjennomføring sett fra entreprenørens ståsted. I rehabiliteringsprosjekter som her hvor valg av løsninger må tilpasses de stedlige forhold blir denne dialogen enda viktigere. Det har vært et svært godt samarbeid mellom partene i dette prosjektet.

Funksjonskrav er ideelt å stoppe de kjemiske prosesser i alunskiferen, der forvitringen medfører skader, utgifter eller andre begrensninger for bruken av bygget. Tiltak vurderes mot kostnader ved å gjennomføre alternative tiltak. Risikovurderinger for alternative valg bør også inngå.

3.1 Forvitret skifer

Vanlig prosedyre er at forvitret skifer fjernes. En pigger seg ned til frisk flate og forseglar denne. Situasjoner der en ikke fjerner all forvitret skifer kan være der en oppnår tilstrekkelig fritt volum slik at svelling ikke utgjør noen risiko. Andre tilfeller kan være at det vil oppstå en høyere risiko ved å fjerne forvitret skifer.

3.2 Svellesone

Når skiferen forvittrer øker volumet. Risikoreducerende tiltak skal redusere skader som følge av svelling. Det er vanlig å prosjektere frittstående gulv slik at en får en "svellesone" mot flater som ikke har tilstrekkelig motvekt for å redusere risiko for skader som følge av svelling. Frittstående gulv er en del av filosofien med punktlaster (se 3.4), særlig når alunskiferflater er over grunnvannsspeilet. Det vil da være større risiko å støpe gulvflater direkte mot alunskifer.

3.3 Forsegle ny (frisk) alunskiferoverflate

Frisk alunskifer vil reagere i kontakt med oksygen (sulfider oksyderes til sulfater). De kjemiske prosessene må reduseres/stanses ved å legge et oksygensperresjikt på alunskiferflater. I valg av løsning må en vurdere risiko ved fortsatt svelling, og behov og mulighet for inspeksjon/oppfølging mot kostnader og forventet levetid for den valgte løsning.

Funksjonskrav til membran til forsegling av alunskifer

- Diffusjonstett
- Behov for fleksibel membran
- Styrke- og Strekkegenskaper tilpasset svelling i alunskiferen
- Levetid 50 år
- Enkel å fjerne om behov for rehabilitering
- Anerkjent produsent med produktkunnskaper som også er tilgjengelig

3.4 Fundamenter - tilstandsvurdering og forsterkning

Ved fundamentering på alunskifer må en ved prosjektering av løsninger vurdere muligheten for svelletrykk som kan føre til løfting av fundamentet og mulige volumutvidelser som kan føre til svekking av fundamentet. I tillegg vurderes vanlige bergmekaniske forhold som orientering og frekvens av sprekkesett og bruddstyrke. Det er den geometriske utformingen på plassen som avgjør hvilke hensyn som må ivaretas i prosjekteringen sammen med den dimensjonerende last på fundamentet.

Det er vanlig å dimensjonere fundamenter for et potensielt svelletrykk tilsvarende 2 MPa (200 tonn/m²). Om fundamentene ikke har tilstrekkelig last, prosjekteres en løsning der fundamentet forankres med stålkjernepel eller stag/bolter slik at strekkrefter virker som motkrefter til en eventuell svelling.

Når det er usikkerhet om langtidsstabilitet av alunskifer, bør løsningsvalg søke å redusere risiko for svikt i bærende fundamenter. Risikoreduserende tiltak kan være å bedre bæreevne gjennom å forsterke alunskifermassen, redusere videre forvitring og/eller refundamentere bygget.

Videre risikoreduserende tiltak er oppfølging av fundamenter ved instrumentering som registrerer svelletrykk, volumendringer, temperatur og relativ fuktighet samt inspeksjonsmulighet.

3.5 Vedlikehold

VA og tekniske installasjoner vil sannsynligvis ha en kortere levetid enn fundamenter og forseglinger. Om det i konstruksjonsvalgene tilrettelegges for adkomst til kryperom vil en få tilgang til installasjonene. Dette kan gi rimeligere vedlikehold. Sikrer en adkomst under gulv kan fundamenter og tekniske installasjoner under det frittstående gulvet inspiseres og vedlikeholdes etter behov.

3.6 Grunnvann

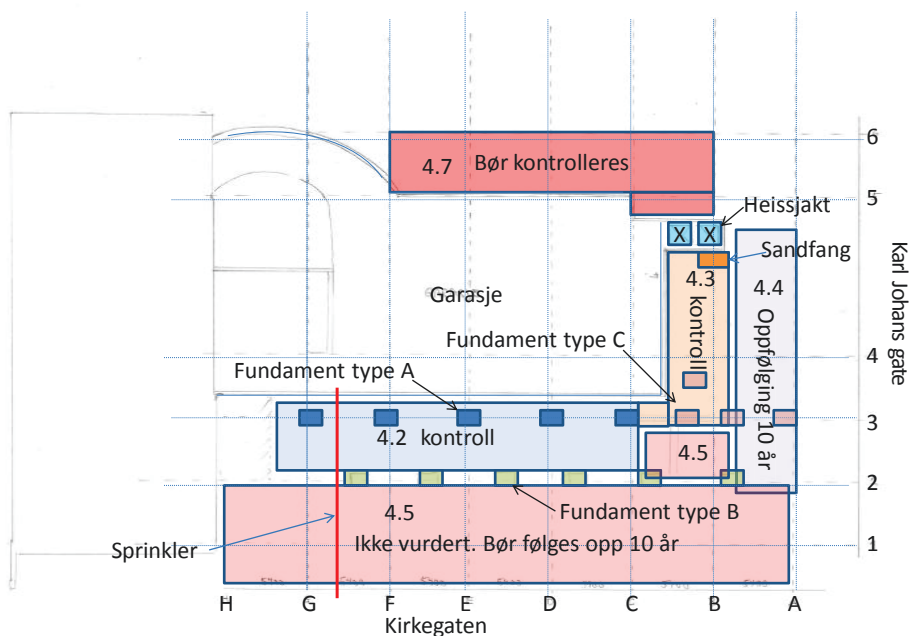
Grunnvannsnivået bør ikke senkes i alunskifer. Senkes grunnvannsnivået vil de vanntransporterende sprekker i skiferen over tid fylles med luft og fuktighet. Det vil være et ulikt forvitningsforløp under og over grunnvannsspeilet. En må i prosjekteringen være svært bevisst på at løsninger ikke forandrer grunnvannsnivået. Drenerte løsninger kan sette i gang et grunnvannssig. Om dette grunnvannssiget senker grunnvannsnivået kan skader oppstå også på tilgrensende eiendommer. Et grunnvannssig er et transportsystem for vannløselige mineraler (de fleste mineraler er mer eller mindre løselige) og for oksygen. Om overflatevann kommer i kontakt med grunnvann kan grunnvannet i skiferen som vanligvis er oksygenfattig anrikes på oksygen.

4 Omtale av avgrensede arealer – utførte tiltak

4.1 Beskrivelse av arealene, foreslåtte tiltak og hva som er utført

Det ble enkelte steder anbefalt ikke å fjerne all forvitret skifer. Bakgrunn for disse anbefalingene var enten at tilstrekkelig fritt rom for en eventuell videre svelling var etablert (areal 4.3) men mest at hensynet til bæreevne under bygningens fundamenter ville bli svekket utover akseptabel risiko om det ble fjernet mer skifer. Dette gjelder fundamenter langs akse 3 og spesielt fundament type C langs

den vertikale grøften mellom garasjeveggen (C3 – B3). Fundamenter er omtalt i kap. 4.6



Figur 1-1 (og 4-1): Plan kjeller. Areal som er vurdert og areal som bør vurderes. Arealene har nummer tilsvarende inndeling av kapittel 4. Areal med samme farge hører sammen. Areal 4.2 var opprinnelig avgrensning av oppdraget. Aksene (1-6 og A-H) benyttes som referanser i teksten.

4.2 Areal 4.2 (blått): Hovedrom (C2 – G3)

4.2.1 Beskrivelse:

Ved oppstart var hele arealet dekket med forvitret skifer. På horisontale flater var skiferen tildekket med plast og sand. I område C3-D3 var det skader (åpne sprekker på bygningen). Skiferen viste på horisontal flate betydelig volumutvidelse. Omfang av dypforvitring i alunskiferen langs grøften og dermed tilstanden til fundamentene langs akse 3 var usikker. Grøften var ved oppstart fylt av forvitret skifer. Det var knyttet stor usikkerhet til bæreevne under fundamenter i akse 3. Det var opplyst at det skulle være satt stålkjernepeler i disse fundamentene, men det var ikke tilgjengelig informasjon om hvor dypt disse gikk ned i skiferen under de eksisterende betongfundamenter er (fig.4.6.-2). Et foringsrør for sprinkler viser groptøring særlig i akse 3 (fig. 4.2-5a).

4.2.2 Vurdering:

Det var risiko for at alunskiferen ville presse garageveggen inn (fig. 4.2-1). Forvitret skifer fjernes ned til frisk flate og tilpasses den prosjekterte løsning. Overflaten bør forsegles, samtidig bør løsningen ivareta inspeksjonsmuligheter for tilstandsvurdering av alunskifer og adkomst for vedlikehold av VA-løsninger. En bør sikre at alunskifer under fundamenter i aksene 2 og 3 ikke forvittrer og fører til redusert bæreevne. Den prosjekterte løsning vil eksponere en 80 cm høy vertikal flate under fundamenter i akse 2.

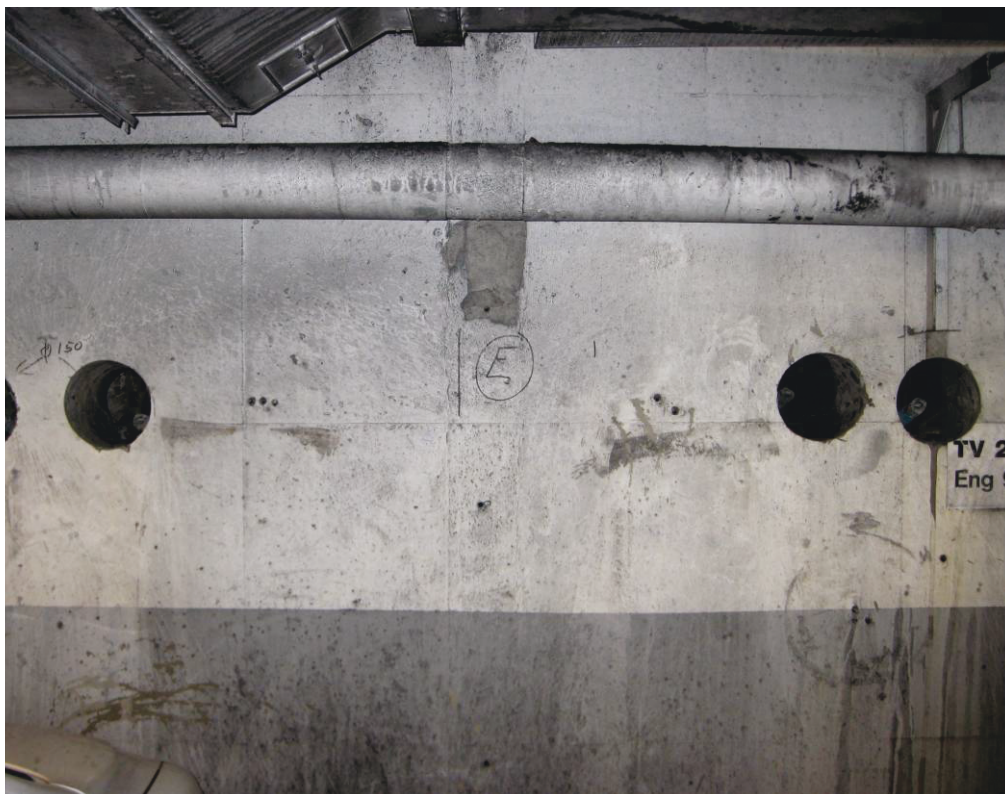
Alunskiferen under fundamenter i akse 3 (fig. 4.2-1, 4.6-1), er oppsprukket med flere sprekkeplan. Det er også observert åpne vertikale sprekker. Primær lagdeling har en helning ut mot grøften. Plassforholdene gjør det ikke mulig å sprøyte alunskiferflaten med sprøytebetong. For å redusere risiko for tap av bæreevne bør den vertikale grøfteveggen under fundamentene forsegles for å unngå videre forvitring innover i skiferen.



Figur 4.2-1: Grøft i akse 3 var ved oppstart (før tiltak) fylt med forvitret skifer. Grøften er på bildet halvveis fylt. Skiferen var forvitret til en finkornet masse. Skiferen vil ved volumutvidelse presse mot garasjeveggen. Blå bolter er Ischebeck stag 40/16. Foto: PEAB

Det var her risiko ved et sideveis trykk mot garasjeveggen på grunn av volumutvidelser i alunskiferen.

Det var usikkert om alunskifer under fundament var svekket. Før massene i grøften ble fjernet ble Ischebeck titan 40/16 ble benyttet.



Figur 4.2-2: Fra garasjen. Fundament E akse 3. Det ble boret hull gjennom vegg for adkomst til skiferen under fundamentene. Det ble montert fire Ischebeck titan 40/16 under fundamentene C3-G3 og to stag under H3 pga vanskelig adkomst.

Alunskiferen under fundamenter i akse 2 viser et forvittringsprofil med rustfarger i toppen og gradvis overgang til hvitt sprekkefyll ned i profilet.

Foringsrør for sprinkler er delvis frigjort ved at alunskiferoverflaten er senket (figur 4.2-3). Foringsrøret viste tydelig groptæring i akse 3 (figur 4.2-5) og det er et hulrom mellom rør og alunskifer. Foringsrøret er utsatt for videre korrosjon som følge av forvitring i alunskiferen. Det bør velges en løsning som forseglar foringsrøret fra kontakt med alunskifer

4.2.3 Tiltak overflater:

Hovedrommet areal 4.2 i figur 4-1 (restauranten) er pigget ned til frisk flate på horisontale flater. Det er også pigget ut for VA-rørøpplegg til nytt kjøkken.



Figur 4.2-3: Utpigget overflate før forsegling. Det er pigget ut ekstra for VA under nytt gulv. Foringsrør for sprinkler er delvis frigjort

Forvitret skifer er fjernet i grøften mot veggen mot garasjeanlegget. For å sikre bæreevne (200 tonn) på fundamenter i akse 3 er det ikke pigget inn til helt frisk flate. Bakgrunn for dette er økt risiko for skjærbrudd i skiferen under fundamentene (figur 4.6-1). Det var ikke dokumentert hvor lange stålkjernepeler som var ført ned i skiferen gjennom fundamentene (figur 4.6-2) ved forrige rehabilitering.

Horisontal og vertikal flate ble dekket med fleksibel polyuretanmembran (Resflex, Rescon Mapei, figur 4.2-4). Bakgrunn for dette valget er den svært gode strekkeegenskapen denne membranen har. Den har en lys grå farge og vil være lett å følge opp i ettertid. Dette gir en vesentlig fordel i forhold til å dekke flaten med 10 centimeter sprøytebetong. Oppfølging blir da svært komplisert. Resflex trenger en tørketid før den belastes. Når den er herdet ferdig er overflaten sterk.



Figur 4.2-4: Areal etter forsegling. Flaten er lett å inspisere, den er tett for vannlekkasjer og tåler strekk om skiferen under utvider seg. Foto: PEAB

4.2.4 Tiltak foringsrør sprinkler:

Det var foreslått i teknisk notat datert 2008-12-22 to alternative tiltak, uttrauing rundt foringsrøret eller injeksjon med epoksy mellom foringsrør og skifer. Uttrauing ville frigjøre foringsrøret fra alunskifer og samtidig gi tilgang/inspeksjonsmulighet til foringsrøret. En kunne da traue ut den resterende delen under 4.5 (se figur 4-1) ved en senere anledning.



Figur 4.2-5a: Levetid/funksjonstid for sprinkler vil forlenges om røret frigjøres. Alternativt injiseres rundt røret for å fylle alle hulrom (stanse tilgang på oksygen)



Figur 4.2-5b: Det anbefales å undersøke om fallet i avløp endrer seg som følge av svelling. Drenering anbefales fulgt opp regelmessig.

Epoksyinjeksjon reduserer de kjemiske forvittringsprosessene i alunskiferen ved at tilgang til oksygen mellom alunskiferen og foringsrøret stoppes. Byggeier ønsket epoksyinjeksjon av luftrommet mellom foringsrør og alunskifer. Inspeksjon av skiferen rundt sprinklerrør bør inngå i oppfølgingsprogrammet.

4.3 Areal 4.3 "rundt hjørnet", "nordre vegg" (C3 – B5), samt forlengelsen langs akse 3 (C3 – B3)

4.3.1 *Beskrivelse:*

Dette arealet var ikke med i opprinnelig plan for rehabilitering (begrensningen var hovedrommet, der restauranten skulle etableres). Alunskiferflaten i dette arealet var meget forvitret. Det var omfattende fri volumutvidelse helt opp i himlingen. Opprinnelig var det her en klaring på ca 30 cm mellom alunskiferflaten og den korrugerte himlingen. Et mindre fundament med usikker funksjon var knust og VA rør var klemt i stykker. To vertikalt monterte kamjern (kam 32) var tydelig bøyd. Det var merkbart høy fuktighet i luften og det luktet svovelforbindelser (svovelsurt). Det var stor variasjon i hvor dyp grøften var. Innerst ved sandfang var grøften mot garasjelegget fylt opp mer enn en meter. Det samme var tilfellet i akse 3 (C3-B3). Her var det også utfall av større blokker over et mer finkornet materiale.



Figur 4.3-1: Ref til figur 2.3-1

Grøft ved hjørnet av garasjevegg ved B3-C3.

Forvittringsmateriale fra skiferveggen har her fylt grøften med over en meter mektighet.

Det er i dette området grunnvannspeilet står opp i en spiss (fig 2.3-1).



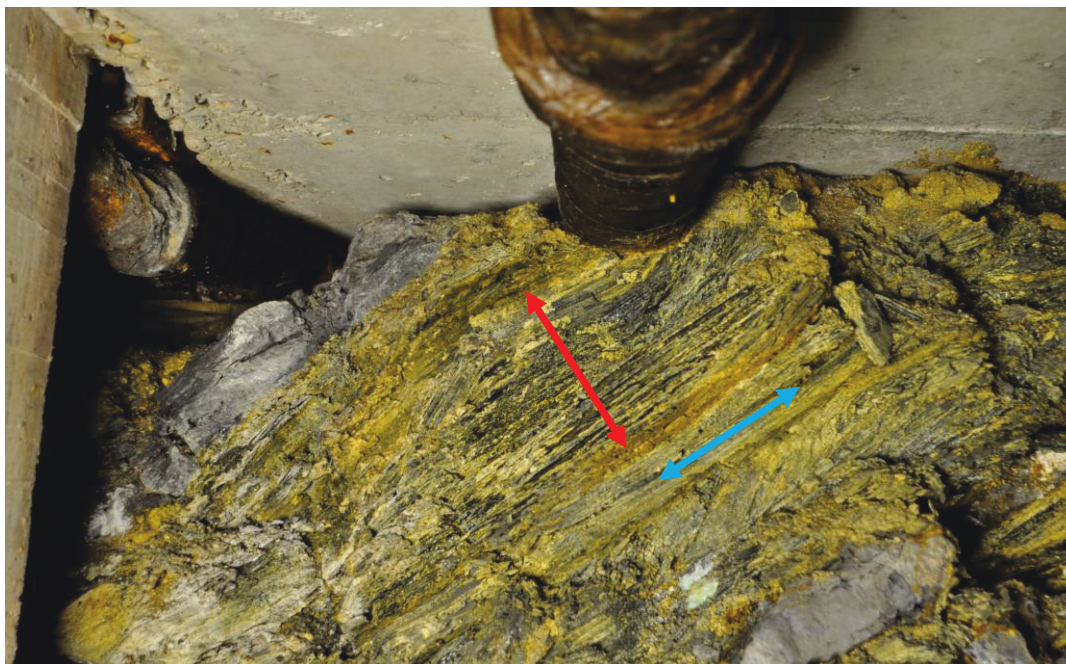
Figur 4.3-2 Utfall i grøft er en kombinasjon av utfall som skyldes sprekkesett og mikrosprekker i alunskiferen (se også figurene 4.2-1, 4.3-1 for variasjon). De grove blokker hviler på mer finkornet forvitret skifer.

4.3.2 Vurdering:

Forvitringen er omfattende. Forvittringsmateriale har bygget seg opp i grøften i C3-B3 og ved sandfang mellom C4 og C5. Det synes å være en sammenheng mellom tilgang til fuktighet og forvitring og utfall i grøft. Volumutvidelsen på horisontal flate er større enn på den vertikale flaten mot grøften. Dette samsvarer med at volumutvidelsen er størst normalt på flater som utgjør den primære lagdelingen (figur 2.2-1). Blokkutfall (fig. 4.3-2) i grøft skyldes orientering på sprekkesett i skiferen. Volumutvidelsen svekker styrken til alunskiferen. Tre fundamenter med oppgitt last 100 tonn står på svært forvitret skifer i (C3 – B3). Det var utfall av skifer i grøft i C3-B3 under fundamenter type C. Skiferen sto opp under himlingen/gulvet til etasjen over

Tiltak skifer under fundament C (se 4.6 Fundamenter)

Sandfang (betongkloss med inn- og utgående VA-rør) vegg i vegg med heissjakt (B5) viste tydelig merker etter lekkasjer. Deler av rørene inn i sandfanget var klemt i stykker som følge av svelling (hovedsakelig fri svelling). Det lå sedimentasjonsbassenger under sandfanget som viser at det var til tider en del lekkasjer der VA rør gikk inn i betongklossen.



Figur 4.3-3: Sandfang (vertikal betongflate) til venstre i bildet. Ved sandfanget var skiferen svellet opp i kontakt med himlingen. VA rør er klemt i stykker av skiferen. Rød pil viser retning for størst volum utvidelse vertikalt på lagdelingen (blå pil). Det er sannsynlig at lekkasjer ved sandfanget har bidratt til den omfattende forvitringen og svellingen. Gul forvitningsfarge skyldes metallsulfater (nydannende svovelmineraler).



Figur 4.3-4: Etter fjerning av skifer. Ved rehabiliteringen kunne en grave ut

skiferen ut for hånd fra himlingen/undersiden av gulvet i etasjen over og ned til flaten som vist i bildet. Det er fortsatt forvitret skifer i flaten, men tilstrekkelig fri klaring er etablert. Sandfanget er koblet fra for å unngå lekkasjer. Røret oppe til venstre er det samme røret som er klemt i stykker i figur 4.3-3. Figur 4.3-3 viser situasjonen før fjerning av skifer.

Ved sandfang er det to heissjakter. Det er sand under kassene til heissjaktene. Sanden i grøften mot garasjelegget er fuktig grunnet grunnvannssig (fig 4.3-4).

Vurdering

Lekkasje fra sandfanget er en medvirkende årsak til at alunskiferen under sandfanget har forvitret ganske voldsomt. En kunne observere terrasserte små sedimentasjonsbasseng under sandfanget som forteller om lekkasje og forvitring. I grøften mot garasjelegget var her betydelige mengder forvitret alunskifer som også viser omfanget av forvitring her.

Det er fuktighet i sanden på grunn av kapillærkrefter. Det er sannsynlig av det her skjer samme type forvitring som er avdekket for andre arealer. Det er tilgang på oksygen og fuktighet som avgjør omfang av forvitring

Tiltak

I arealet 4.3 (B3 mot B5) er ikke all forvitret skifer fjernet. Det er allikevel etablert et tilstrekkelig kryperom som ivaretar adkomst/ inspeksjonsmulighet og til at en videre mindre omfattende svelling ikke vil medføre særlige konsekvenser.

Fortsettelsen videre under heissjakter er ikke undersøkt. En må regne med at forvitringen har fortsatt videre. Omfang av forvitring bør kartlegges.

4.4 Areal 4.4 mot Karl Johans gate

Beskrivelse: Dette arealet er avgrenset av aksepunktene A2-B5. Den opprinnelige tildekking med plastfolie og sand er ikke fjernet. Det er skader på VA-rør i arealet A2-B3. Sandflaten her er mer kupert enn i A3-B5, der den observerbare sandflaten er ganske jevn. Det er noe korrosjon på vertikale kamjern som er festet (opprinnelig understøtting) i de korrugerte stålplatene. Den vertikale avstand mellom sandoverflate og korrugerte plater øker i retning mot Karl Johans gate. Det er kondens under plastfolien der den kan observeres langs akse B.

Vurdering: Overflaten på sandlaget indikerer omfang av forvitring i alunskiferen. En jevn overflate indikerer mindre forvitring enn en kupert overflate. I akse B er forvitringen stor og skiferoverflaten er nesten i kontakt med himling. Fukt under plastfolien langs akse B kan skyldes den høye luftfuktigheten generert av vannspeilet under garasjelegget.

I arealet A2-B3 er VA rør koblet fra. Det er en forhøyelse under avløpsrøret der det er ført gjennom det frittstående gulvet. Dette kan indikere lekkasjer langs

røret. Er den beskrevne utførelsen med plastfolie og sveisede skjøter fulgt, indikerer dette at skiferen har svullet uten tilførsel av fukt fra overflaten. Et tredje alternativ er at skiferens svelling har revet opp plastfolien. Dette muliggjør fukt fra lekkasjer å komme ned i skiferen.

Tiltak: Det er ikke nødvendig med tiltak ved nåværende situasjonen. Det bør følges opp, for å registrere eventuelle endringer. For arealet A2-B3 er oppfølgingen viktigere, siden topografien indikerer volumutvidelser under plasten og sandlaget.



Figur 4.4-1: Bildet er tatt fra sandfang i retning mot Karl Johans gate. Flaten er ganske jevn. En oppfølging her vil med større sikkerhet fastslå når en bør vurdere tiltak. Arealet mellom akse B og akse A har en klaring på ca 10 cm til vinkeljern under PVR platene. Mellom PVR himlingen og sandlaget er det ca 20 cm. Det vil ikke bli skader på himlingen de neste 10 år. Svellingen er mest markant ved akse B og avtar i retning av akse A. Dette understøtter vurderingen av at fuktigheten er større ved akse B enn ved akse A, jfr. også observasjoner om fuktig skifer under plasten ved akse B.



Figur 4.4-2: Areal 4.4 mellom A2-B3. Rørene ligger i klem som følge av svelling. Opphengspunkter er også påvirket. Det er ikke tilstrekkelig fri åpning til å kripe inn her. Dette er det eneste røret som er observert ved lokalitet 3. Det kommer ned omtrent halvveis mellom akse B og akse A. Akse 3 til venstre for bildet. Rørene er koblet fra.

4.5 Areal 4.5 mot Kirkegata

Beskrivelse:

Dette arealet ble besluttet ikke vurdert.

Vurdering:

Dette arealet sidestilles med areal 4.4. Forvitringen her var mer omfattende enn for 4.4.

Tiltak:

Anbefales fulgt opp i et oppfølgingsprogram

4.6 Fundamenter.

4.6.1 Fundament type A (akse 3, areal 4.2):

Beskrivelse: Ved oppstart kjente en ikke tilstanden til alunskiferen under fundamentene. En kunne observere forvitret skifer, men ikke omfanget av forvitring. Grøften langs akse 3 mot garasjelegget var halvveis fylt med forvitret skifer som var løst fra den vertikale alunskiferveggen under fundamentene. Det ble besluttet å gå inn gjennom veggen i garasjelegget med stag av type Ischebeck Titan 40/16. (figur 4.2-1) for å sikre fundamentene mot utglidning når massene i grøften skulle fjernes.

Vurdering: Etter skifer er fjernet ned rundt fundamentene ned til prosjektert flate og forvitret skifer fjernet fra grøft, er den eksponerte nye flaten ca 40 cm fra fundamentet. Det er fortsatt rester av forvitret skifer i den vertikale flaten. Grøften

er ca 180 cm dyp. I fundamentet skal det være satt ned en stålkjernepel, men det var ikke dokumentert hvor lang denne pelen er. De fire stagen som er satt fra garasjen har tilstrekkelig strekkstyrke. Om forvitringen fortsetter, vil kontakten mellom skifer og stag svekkes. Alunskiferen bør forsterkes slik at den opprettholder styrke i den vertikale flaten under fundamentene

Tiltak fundament: Normalt ville en ved slike geometriske forhold forsterket den vertikale flaten med sprøytebetong og bolter. Det var ikke mulig her på grunn av avstanden til garageveggen. I stedet ble det valgt en tilpasset løsning der alunskiferveggen under fundamentene ble forsterket ved at det settes 40 cm lange fordyblere med kamstål 16 mm innstøpt i epoksy. Borhullene ble injisert med epoksy under trykk. Stoppkriteriet for injeksjon var når epoksy kommer ut via sprekkesett på alunskiferoverflaten. Injeksjonstrykket måtte ikke føre til hydraulisk splitting. Etter injeksjon ble injeksjonspakker fjernet. Kamstålet ble deretter skjøvet inn. Hullene ble satt i et 20 x 20 cm rutemønster. Denne løsningen forsterket alunskifermassen (se fig 1.2-1) og samtidig vil epoksyen som ble injisert under trykk impregnere skiferen og fylle en mengde av de åpne sprekkevolumene i alunskiferen. Alunskiferen forsterkes og oksygentransporten forsinkes samtidig vesentlig.

Fundamentets bæreevne må sikres. Kjemisk forvitring må forhindres. Den vertikale flaten og skiferen under fundamentet impregneres (rød ramme) for å styrke skiferen og redusere oksygen tilgang best mulig.

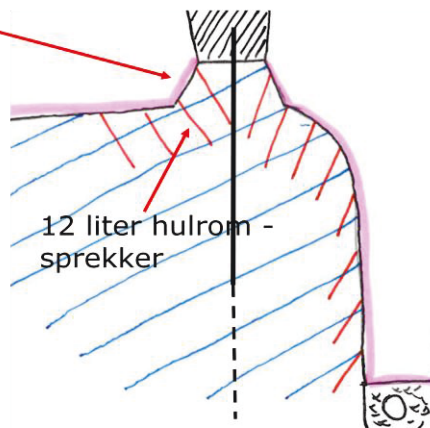
Rutemønster viser hvor injeksjon skal skje



Figur 4.6-1: Grønn linje viser risiko for eventuelt skjærbrudd ved svekking av foten av kilen som følge av forvitring i foten av grøften. Gule felt på den vertikale flaten viser forvitret skifer. Det ble ikke anbefalt å fjerne mer skifer.



**Redusere diffusjon inne i skiferen,
Styrke bergartsvolumet**



Fundament-forsterkning ved epoksyinjeksjon sammen med diffusjonstett belegg. Injeksjonshull settes ideelt slik at de krysser orientering på lagene i skiferen.

Epoksy styrker "limer" skiferen. Alternativ f.eks der andre løsninger er praktisk "umulig"

Figur 4.6-2: Fundament type A. Stålkjernepel har usikker lengde. Epoksy lar seg injisere ved moderat trykk. Dette dokumenterer at skiferen er gjennomslutt av mikrosprekker.

4.6.2 Fundament type B (akse 2, areal 4.2):

Beskrivelse: Den prosjekterte løsningen frigjør en ca 80 cm vertikal flate under fundamentene. Det er synlig et forvittringsprofil i den vertikale flaten. De øverste 10 centimeter er rustfarget med en gradvis overgang til gult og hvitt fyllmateriale på sprekkeflater ned til ca 25 cm (fig. 4.6-3).

Vurdering: Den vertikale flaten er utsatt for forvitring. Videre forvitring vil svekke alunskiferen med fare for utfall. Den frigjorte flaten bør forsegles, slik at ikke får kontakt med luft. Fundamentet er kun tilgjengelig fra det reetablerte arealet.

Tiltak: Den vertikale flaten forsegles med epoksy. Videre injiseres alunskifervolumet for å redusere inntrengning av oksygen fra luft inn i skiferen. Stoppkriteriet er når epoksy siver ut på fri flater Etter injeksjon armeres skiferen med kamstål 16 mm. Plattformen fundamentet står på injiseres med epoksy i et rutemønster ca 20 x 20 cm. Injeksjonshullene er ca 40 cm. (se fig. 4.6-1 og 4.6-2)

Figur 4.6-3: rød firkant markerer arealet som epoksyinjiseres. Legg merke til forvittringsprofil (fargesjatteringer) i øvre del av alunskiferflaten.

Vurderingen er at fundamentets funksjon er avhengig av at alunskiferen har tilstrekkelig styrke.

Videre kjemisk forvitring må unngås.

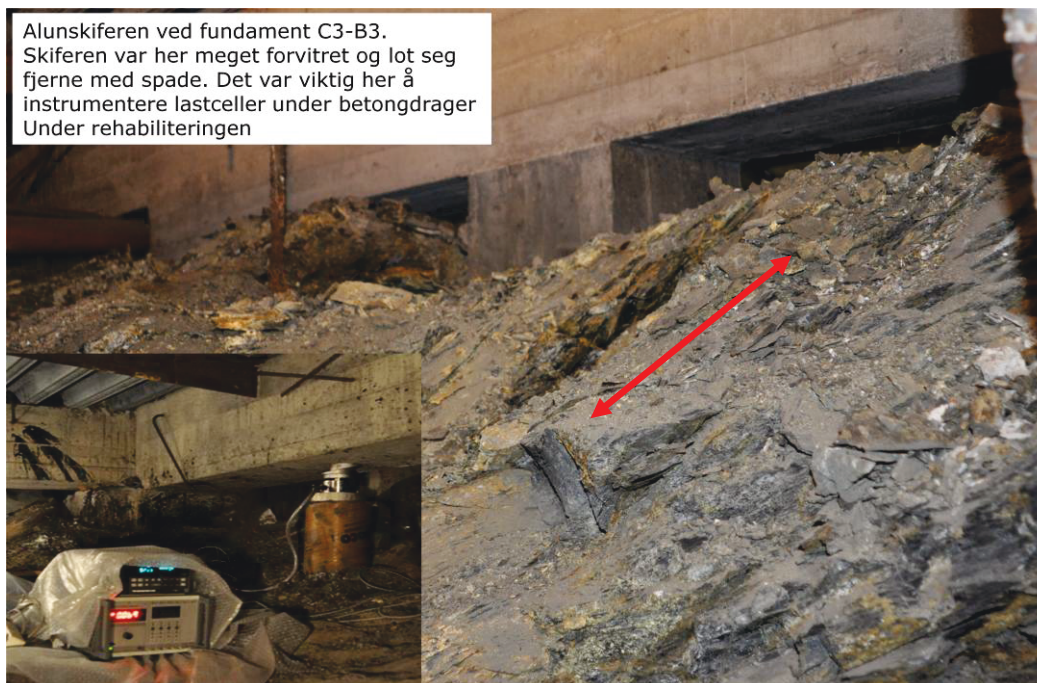
Epoksyinjeksjon forsterker alunskiferen og fyller hulrom der oksygen kan slippe til



4.6.3 Fundament type C (akse 3, areal 4.3)

Beskrivelse: Tilstanden til skiferen under to av disse fundamentene var svært dårlig (kap. 4.3). For å sikre at bæreevne ikke ble kritisk redusert ved fjerning av forvitret skifer og reetablering av grøft mot garasjeveggen, ble det her montert lastceller under betongdrageren i akse 3 for overvåking av bæreevne (fig 4.6-4). Trykket på disse cellene steg i løpet av fire uker til ca 40 tonn/m² (0,4 MPa). Fall i trykk på lastcellen vil indikere at skiferen sklir ut langs et eller flere bruddplan ut med helning (fall) ut mot grøft (se pil fig. 4.6-4). Entreprenør ble fulgt opp spesielt ved fjerning av forvitret skifer for å reetablere grøft under disse fundamentene. Det ble opplyst at vekt på fundamenter skulle være 100 tonn. Arealet til disse fundamentene er ca 0,5 m². Trykket på flaten under fundamentet blir da 2MPa.

På den kritiske lengden under to av disse fundamenter ble pigging og fjerning av alunskifer for å reetablere grøften langs garasjeanlegget anvist presist. Det ble her montert tre lastceller under betongdrageren i akse 3. Hensikten med denne instrumenteringen var å registrere eventuelt svelletrykk i fundamentene og i tillegg registrere eventuelle endringer i dette trykket ved fjerning av forvitret skifer for å reetablere grøften mot garasjeanlegget. I tillegg til lastcellene ble det registrert temperatur og luftfuktighet.

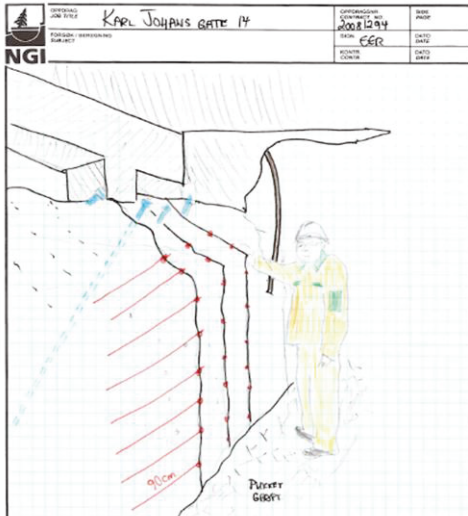


Figur 4.6-4: Gjennomgripende forvitring av alunskiferen under fundamentene C3 og B3. Se også 2.3-1, 4.3-1 og 4.3-2. Rød pil viser orientering på lagdelingen. Det var viktig å hindre glidning langs lagdelingen.

Vurdering: En må her fjerne løs skifer med løpende vurdering.

Tiltak:

Skiferen var gjennomforvitret og måtte forsterkes ved å bedre bæreevne for skifervolumet. Dimensjonerende last for fundamentene ble opplyst til 100 tonn. Den prosjerterte løsning består av tre Ischebeckstag 30/11 under hvert fundament. På grunn av de trange plassforholdene måtte ischebeckstagene bores i 40 cm lengder og skjøtes med muffe. Konvensjonelt borutstyr ble først forøkt. Dette ga mye heft når borkronen skulle trekkes ut. Dette var hovedgrunn for å benytte Ischebeckstag med engangskrone. I tillegg er det satt inn 16 mm kamstålbolter i 80 centimeter lengde i et ca 20x 20 cm rutemønster (fig. 4.6-5, 4.6-6). Disse ble injisert med epoksy. Stoppkriteriet ved epoksyinjeksjonen var når epoksy kom ut på sprekkeflater i vegg mot grøft. Epoksyinjeksjon ble utført i flere runder.



- Boring 90 cm dype hull med 20 cm avstand
- Pakkere innfestes 20 cm ned i hull
- Epoksyinjeksjon ved lavt trykk.
- Stoppkriterier enten stort volum eller synlig epoksy i skiferveggen
- Innsetting av 80 cm 16 millimeter stål etter injeksjon. Passiv forsterkning



Figur 4.6-5: Forsterkning av fundament under C-fundamenter i akse 3. Skiferen ga liten motstand under meislingen. Frisk skifer er til sammenlikning vanskeligere å pigge. Informasjon og erfaringsutvekslinger med utførende entreprenør ga viktig informasjon om forvittringsgraden i skiferen og valg av løsning for å sikre stabilitet under fundamentet.



Figur 4.6-4: Blå Ischebeckstag med engangskrone montert under fundamentene. Disse ble kappet i ca 40 cm lengde på grunn av plassforholdene. De ble skjøtet med skjøtemuffer. Boring ble utført med engangskrone. Stagene er epoksyinjisert.



Fig. 4.6-5 Forseglet skifer under fundament. Grå flate er Resflex membranen.

4.7 Areal 4.7 Karl Johans gate 16/Kongens gate 24

Beskrivelse: Dette arealet inngår ikke i rehabiliteringsarbeidet. Det er sannsynlig at tilsvarende fundamentering og tildekking av alunskifer med asfalt ble utført på andre siden av garasjeanlegget (akse 5 mot Karl Johans gate 16) ved rehabiliteringen rundt 1980.

Vurdering: Det bør her avklares plassering av fundamenter og tilstand til grøft mot veggen til garasjeanlegget.

Tiltak: Dette arealet inngår ikke i prosjektet. Det anbefales å gjennomføre en tilstandsvurdering samt en risikovurdering knyttet til tilstand for dette arealet.

4.8 Drenering/lokk/tettesjikt

Beskrivelse: I grøften mot garasjeanlegget lå en drensledning. Det var usikkert om denne var koblet opp til dreneringsnettet under bygningen. Høy temperatur sammen med høy metningsgrad av fuktighet i luften indikerte at her var fuktige flater/vannspeil med fordamping som ga så høy luftfuktighet i luften i rommet. Da grøften ble rensket, kunne en observere nivået på grunnvannet. Det er grunnvannssig gjennom alunskiferen som kontinuerlig vil bidra til fukt under garasjeanlegget.

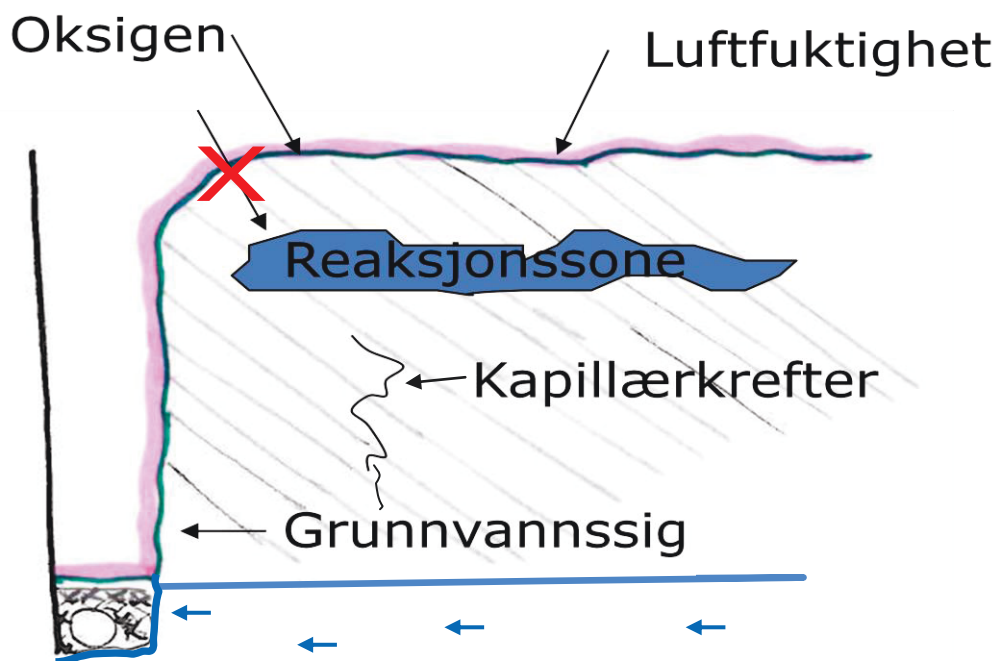
Vurdering: Luft med høyt vanninnhold gir gode betingelser for forvitring i alunskifer. Grunnvannspeilet under garasjeanlegget har bidratt til dette. En kan ikke utelukke videre problemer med dreneringen.

Tiltak: For å hindre vannmettet luft under garageanlegget å komme til luftvolumet over alunskiferen i de omtalte arealer, ble Resflexmembranen videreført ned til en støpt betongplate i bunnen av grøften. Betongplaten legges over grunnvannssiget gjennom den vertikale alunskiferflaten. I tillegg forbedres dreneringen i grøft med pukk og fiberduk rundt et drenerør slik at grunnvannssig transporteres til dreneringssystemet under garageanlegget KJ14. Tettsjiktet etableres i bunn grøft på en flate som pukkes opp til ca overkant grunnvannspeil.

5 Oppfølging

5.1 Bakgrunn for oppfølging

Alunskiferen må betraktes som et kjemisk system. Er dette kjemiske systemet i likevekt skjer det ingen endringer. Er systemet ikke i likevekt, vil det skje endringer. Den kjemiske forvitringen i alunskiferen under KJ14 var omfattende.



Figur 5.1-1: Prinsippkisse ved overflatebelegg (rosa farge) på kontaktflaten mellom alunskifer og luft. Oksygen og fuktighet fra luften vil ikke trenge inn i skiferen. Forseglingen videreføres som vist på støpt plate over grunnvannsnivået og drenerledning, slik at ikke luften mettes med vanddamp.

Det er indikasjoner på at det skjer forvitring dypere ned i skiferen og ikke kun

fra overflaten og inn i skiferen. Om så er tilfelle, er det sannsynlig at kapillærkrefter suger fuktighet fra grunnvannsspeilet opp i skiferen slik en får en reaksjonssone som vist i figuren. Dette bør avklares ved å montere ekstensometere sammen med temperatur- og fuktighetsfølere på ulike nivåer i skiferen.

Det vil være restreaksjoner i skiferen også etter tiltakene. Omfanget av restreaksjoner (forvitring og svelling) er ikke mulig å fastslå. Det er sannsynlig at reaksjonshastigheten er vesentlig redusert ved de valgte løsninger. Det er knyttet usikkerhet til grunnvannsspeilet og eventuelle kapillærkrefter som trekker vannet opp mot overflaten. Bøyde kamjern på i C3 og B4 kan tyde på at volumutvidelsen ikke bare skjer som følge av diffusjon av oksygen og fuktighet fra luften fra skiferoverflaten og inn i skiferen. Det er mye sulfat i grunnvannet. Det tilsier at det skjer en transport av oksygen i vannet. Vanligvis er denne oksygenkilden mye mindre enn oksygenet fra luft.

Figur 5.1-2: Svelling i alunskifer. Kamstålbolten på bildet er bøyd på grunn av at skiferen har utvidet seg (svullet) ikke bare i overflaten men i en reaksjonssone nede i skiferen (figur 5-1.1.) Dette er dokumentasjon på at det skjer en volumutvidelse i skiferen, og at det er riktig med et fleksibelt materiale til forsegling av overflaten til alunskiferen.

I dette området C3 er det registrert skader på bygget som følge av svelling i skiferen.



Forseglingen som er valgt er fleksibel med høy bruddforlengelse og -styrke nettopp for ikke å gå til brudd ved en eventuell volumutvidelse.

Ved fundamenter er det spesielt viktig å sikre at det ikke skjer endringer som kan endre bæreevne til fundamenter eller føre til skader på bygningen. Endringer ut mot grøft vil redusere bæreevne. Ved å registrere svelletrykk under drager ved B3 (fundamenter av type C), vil se hvordan bæreevnen i disse fundamentene endrer seg.

Ved et overvåkingsprogram vil eventuelle endringer oppdages tidlig, og tiltak gjennomføres før det skjer skader på bygningen.

Et oppfølgingsprogram vil følge opp svelletrykk, volumendringer, temperatur og relativ fuktighet. Instrumentene kan fjernovervåkes og målinger sendes dit en måtte ønske. Visuelle inspeksjoner bør gjennomføres jevnlig for å identifisere eventuelle endringer, særlig volumutvidelser, slik at enkle mottiltak kan gjennomføres.

Sprinkler og avløpsrør anbefales fulgt opp med måling av helning på rørene over tid. Svelling/forvitring kan endre helningsvinkelen på rørene og samtidig gi informasjon om forvitring. Korrosjon av foringsrør bør også følges opp

Adkomst er etablert gjennom garasjelegget. Skal det være en fjernovervåking vil det være behov for strøm. Det samme gjelder for eventuelle mindre arbeider.

5.2 Areal 4.2 Hovedrom

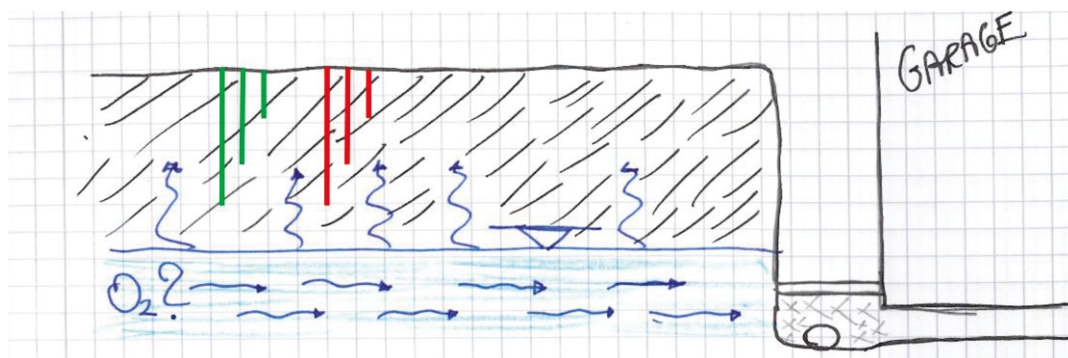
Viktig funksjoner for materialet som skal forsegle alunskiferoverflaten var her at det er diffusjonstett, høy bruddstyrke, tøyningsegenskaper samt evne til å motstå mulige sure kjemiske miljøer. Arealet er tildekket med Resflex (Rescon Mapei) polyuretanmembran (PUM). Bakgrunn for å anbefale denne løsningen er den store fleksibiliteten (700 % forlengelse) og styrke dette materialet har. Den opprinnelige foreslåtte løsningen med sprøytebetong som er en stiv forsegling ble forlatt. En heftprimer av epoksy ble påsprøytet før Resflex. Påføringen av Resflex skjer ved trykkluft og en traktsprøyte som kaster materialet på overflaten som ved mørtel.

Et annet viktig fortrinn ved Resflexmembranen er at tilstandsvurderingen er enkel å gjennomføre, membranen er enkel å vedlikeholde med for eksempel punktforsterkninger eller mindre reparasjoner. En visuell kontroll er langt enklere enn om det var lagt sprøytebetong som forsegling.

Oppfølging/etterkontroll påført membran: Etterkontroll viser behov for en ekstra forsegling. Dette er enkelt å utføre med enkelt utstyr (kost og bokser med mindre kvanta).

5.3 Areal 4.3 C2-B5

Avgrensningen mot Karl Johans gate. Polyuretan membranen er avsluttet mot akse B. Oppfølging her over tid for visuell vurdering sammen med enkle metoder for å registrere volumutvidelser, vil gi nyttig informasjon om forvitningsomfanget de kommende år. Dette er en forutsetning for de anslåtte levetidsvurderinger



Figur 5.3-1: Det er usikkert i hvilken grad grunnvann og kapillærkrefter bidrar til forvitring og svelling i skiferen. Ved å registrere eventuelle volumendringer sammen med temperatur og relativ fuktighet i skiferen, vil en få viktig beslutningsstøtte for videre tiltak. Disse kan monteres sammen med lastceller som registrerer svelletrykk. (Grønn: ekstensometer, rød: temperatur og fuktighetsmålere).

Bergartsvolumet under fundamenter er forsterket. Særlig for fundament type C vil registrering av svelletrykk ved hjelp av lastceller gi viktig informasjon om eventuelle endringer i alunskiferen under fundamentene og eventuelle bevegelser ut mot grøften.

Oppfølging: Arealet kontrolleres for restforvitring i overflaten. Det anbefales å montere ekstensometere med ulik lengde som vist i fig 5.3-1 og 5.6-1. Det monteres også temperaturfølere og følere for relativ fuktighet i skiferen på høyde med ekstensometrene. En vil således registrere kjemiske reaksjoner som utvikler varme (eksoterme reaksjoner). I tillegg anbefales å montere lastceller under drager i akse 3 ved C3-B3. Instrumenteringen vurderes som svært viktig for å kunne fange opp eventuelle endringer i skiferen så tidlig som mulig

Figur 5.3-2: Sandputen under heissjakt virket ikke påvirket av forvitringen. Dette bør allikevel være et oppfølgingspunkt for å avklare forvitningsomfanget i grøften videre. Det kan være horisontale krefter som virker mot garasjeveggen. Det kan også være forvitring som svekker fundamenteres bæreevne.. Vannsiget gjennom skiferen fukter sanden. Rehabiliteringsarbeidet avgrenses ved heissjakten.



5.4 Areal mot Karl Johans gate

Usikkerheten i videre utvikling over tid knyttes til usikkerheten om det er diffusjon av oksygen og vann fra grunnvannsspeilet og opp til overflaten. Denne vil anrikes under plastfolien. Den største volumutvidelsen og ujevnheten ble registrert ved akse 3 mot akse 2. Oppfølgingstiltak beskrevet i 5.3 vil gi informasjon også for dette arealet.

5.5 Areal 4 mot Kirkegata

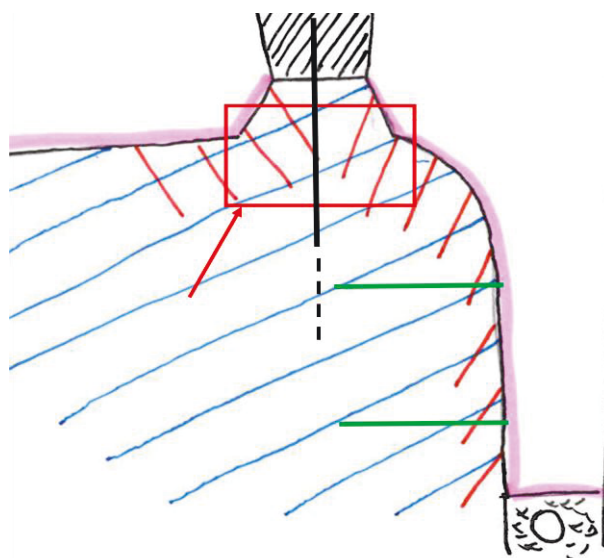
Dette arealet er ikke vurdert.

Oppfølging: Det anbefales å følge opp dette rutinemessig i forbindelse med fastsatte inspeksjonsintervaller for de andre arealene.

5.6 Fundamenter

Oppfølging:

Fundament type A bør følges opp med instrumentering som vist i figur 5.6-1. Det er den kjemiske forvitringen som kan svekke skiferen og dermed fundamentet. Montering av ekstensometere sammen med fuktighets- og temperaturmålere gir viktig informasjon tidlig om eventuelle endringer av betydning for bæreevne.



Figur 5.6-1: Forslag til instrumentering fundamenter type A i akse 3. Grønne horisontale streker: ekstensometre. Grøften var ved oppstart halvveis fylt med forvitret materiale. Overflateforseglingen sammen med epoksyimpregnering skal redusere denne forvitringen best mulig. Siden det er grunnvannssig ca 20 cm over grøftebunn, og skiferoverflaten har vært eksponert i mange vil oppfølging med instrumentering være nødvendig.

Fundament type B er innkapslet og ikke tilgjengelige for inspeksjon

Fundament type C forutsettes fulgt opp med lastceller under drager i C3-B3. Alunskiferveggen under type C fundamentene instrumenteres med samme opplegg som for type A fundamentene.

5.7 Drenering

Dreneringen var tett under garageanlegget. Dette var en sannsynlig katalysator til den voldsomme forvitringen ved at luften i kontakt med skifer hadde høy relativ fuktighet. Oppfølging og kontroll av drenering og drensvann vil være viktig for å unngå økt forvitring.



Figur 5.7-: Fargen i pumpekummen er farget av jernoksider og viser høyt jerninnhold i vannet. Dreneringen må være intakt, ellers vil risiko for skader øke.

5.8 Sprinkler

Oppfølging: Visuell inspeksjon av foringsrør der det er tilgjengelig. Eventuell forvitring/groptæring registreres.

5.9 VA-rør

Oppfølging: Ved drift av bygget vil det over tid kunne oppstå problemer med avløpsrør. Disse bør inspiseres for lekkasjer med jevne mellomrom. Hovedavløpet går under gulvet i restauranten (hovedrommet) og ut i Kirkegata (fig. 4.2-5). Det ligger fritt fram til akse 2. Herfra går rørene i en uttrauet grøft, der det er fylt opp med sand rundt rørene. Ved inspeksjon av rør ut mot Kirkegata, bør fallet måles. Endringer i fall kan indikere volumutvidelser i skiferen under rørene.



Dokumentnr.: 20081294-00-14-R
Dato: 2009-08-11
Side: 39

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in 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 oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirseneteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281/IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr/Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Fundamentering og bygging i alunskifer		Dokumentnr./Document no. 20160090-01-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Oppdragsgiver/Client NFR	Dato/Date 2016-12-21
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract Oppdragsgiver / Client		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 0 /
Distribusjon/Distribution ÅPEN: Skal tilgjengeliggjøres i åpent arkiv (BRAGE) / OPEN: To be published in open archives (BRAGE)		
Emneord/Keywords Alunskifer, fundamentering, bergmasseparametere		

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

Dokumentkontroll/Document control Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
0	Originaldokument	2016-12-20 Kristine T. Sæthern Elisabeth Tønnesen	2016-12-20 Arnstein Aarset		

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 21. desember 2016	Prosjektleder/Project Manager Kristine Thorsen Sæthern
--	---------------------------------------	--

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 datterselskaper 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 laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

