



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 60 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Forståelse av miljøutfordringer knyttet til bygging av vei i områder med svartskifer med potensial for sur avrenning

Understanding environmental challenges during
road construction in areas containing potentially
acid producing black shale

Tonje K. Strømø

Master i miljø- og naturressurser, geologi

Forord

Denne masteroppgaven (60 stp) inngår i et toårig masterstudie i Miljø-og Naturressurser (MINA) ved Norges Miljø- og biovitenskapelige Universitet (NMBU), og er et samarbeid med Skanska og earthresQue (SFI).

Først og fremst vil jeg rette en takk til veilederene mine Helen K. French, Andreas O. Harstad og Gudny Okkenhaug. Tusen takk for alle gode råd både i forbindelse med felt og underveis i skrivingen!

Tusen takk til Solfrid Lohne og Pia Frostad som har utført analyser og kommet med gode tips når det gjaldt bearbeiding av analysedata. Takk til Christian Solheim som utførte XRD-analysene og til Pierre-Adrien Rivier ved NIBIO som hjalp meg med pXRF-analysene.

Jeg vil også rette en stor takk til familie og venner som har støttet meg i stressende tider av prosessen! Tusen takk til min forlovede, Vaik, som har vært tålmodig og støttet meg på denne reisen.

Sammendrag

Noen typer svartskifer har et høyt innhold av sulfidmineraler og tungmetall, og kan utgjøre en potensiell miljørisiko dersom de blir utsatt for forvitring. I sammenheng med bygging av den nye veitraseen E16 Eggemoen-Olum skal det tas ut store mengder svartskifer ved Kleggerudkrysset på Jevnaker. Uttak av svartskifer i forbindelse med veibygging fører til flere miljøutfordringer.

Dersom svartskiferen som tas ut klassifiseres som syreproduserende eller har for høyt innhold av radionuklidet uran, må den kjøres til spesialdeponi. Slik dagens situasjon er, holder deponiene på å fylles opp og må finne mer bærekraftige måter å håndtere svartskiferen på. I denne oppgaven beskrives de ulike uttaksmetodene som Skanska har anvendt for å redusere uttaket mest mulig, og tiltak som er gjort for å minimere avrenningen fra anlegget både ved uttak og ferdigstilt vesikjæring.

Det ble tatt vannprøver i felt både før, under og etter ferdigstilling av veiskjæringen for å evaluere avrenningen av tungmetalleme Cd, Ni og U da disse metallene er mobile i miljøet. Uran utgjør i tillegg en kilde til radioaktiv stråling. For å si noe om mulig fremtidig avrenning fra veiskjæringen ble det satt opp ett kolonneforsøk med tre forskjellige svartskifertyper fra området.

Data fra feltmålingene tilsier at avrenningen var høyest i uttaksperiodene tilsvarende tilstandsklasse «moderat» for Cd og Ni og «dårlig» for U. God overflatevannshåndtering har gjort at lite vann kommer i kontakt med svartskifer flatene. Et unntak er veiskjæringen som er eksponert i dagen og som viser litt forhøyede konsentrasjoner, men ikke over grenseverdien for U.

Alunskiferen har syreproduserende potensiale, men den kalkrike svartskiferen har god bufferkapasitet. Den forvitrede svartskiferen er fullstendig forvitret og inneholder svært lite sulfid og karbonat. Alle kolonnematerialene hadde urankonsentrasjoner som overskrider grenseverdien U i radioaktivt avfall, men det er stor forskjell i utlekkingen. Alunskiferen har høyest utlekking av Cd, Ni og U tilsvarende grenseverdiene «svært dårlig». Bjørkåsholmformasjonen har en mye lavere utlekking av Cd, Ni tilsvarende «god» til «moderat» og en U-konsentrasjon som er på grensen til «dårlig».

Kolonneforsøket indikerer at overflatearealet påvirker avrenning fra svartskifer, da avrenningen fra finkornet svartskifer er omtrent dobbelt så høy som grovkornet.

Kolonneforsøket viser en betydelig høyere avrenning enn det som er målt avrenning fra veiskjæringen. Dette skyldes trolig at veiskjæringen er bratt og ikke vil eksponeres for like mye vann.

Abstract

Some types of black shale have a high content of sulfur minerals and heavy metals, and can pose a potential environmental risk if they are exposed for weathering. In relation to the construction of the road E16 Eggemoen-Olum large amounts of black shale will be extracted by Kleggrudkrysset in Jevnaker. The extraction of black shale in relation to road construction leads to several environmental challenges.

If the extracted black shale classifies as acid producing or have a high content of radionuclide uranium it has to be driven to a special landfill. Today the landfills are filled up and more sustainable ways of handling the black shale should be explored. In this project the extraction methods are described as Skanska has applied to reduce the extraction, and measures which are conducted to minimize the run-off from the facility both with extraction and finished road cut.

Water samples were taken before, during, and after the completed road cut to evaluate the run-off of heavy metals Cd, No, and U as these metals are significantly mobile in the environment. Uranium additionally poses a source for radioactive radiation. To say something about future run-off from the roadcut, column experiments with three types black shale from the area.

The data from field work shows the run-off was highest in the extraction periods equivalent to the condition class “moderate” for Cd and Ni, and “bad” for U. Good surface water handling made sure little water came in contact with the black shale surfaces. An exception is the road cut which are exposed in the day and which shows little increased concentrations, but not above the threshold limits of U.

Alun shale have acid production potential, but the black shale contains large quantities of lime has good buffer capacity. The diminishing black shale is completely weathered and contains little sulfidic and carbonate. All column material had uranium concentration which exceeds threshold of U in radioactive waste, but there are differences in the leak. The alum shale has highest leak of Cf, Ni and U equivalent to the threshold “very bad”. Bhørkåsholm formation have a much lower leak of Cd, Ni equivalent to “good” to “moderate” and U

The column test indicates that the surface area explains much of the run of from black shale, as the run-of from the fine-grained black shale is twice as high as for the coarse-grained

The column test shows a significantly higher of run of than what is measured from the run of. This can be explain as the run of is steep and will not be exposed for as much water.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
1 Innledning.....	1
1.1 Regelverk for håndtering av svartskifer	3
1.2 Bærekraftig anleggsvirksomhet	3
1.3 Problemstilling og hypoteser	4
1.4 Vitenskapelig tilnærming	5
2 Teori	5
2.1 Svartskifer.....	5
2.1.1 Dannelse av svartskifer i Oslofeltet.....	5
2.1.2 Mineralogi og geokjemisk sammensetning.....	6
2.1.3 Oksidasjon av sulfidmineraler og nøytralisering	9
2.1.4 Tungmetall	11
2.1.4.1 Kadmium.....	11
2.1.4.2 Nikkel.....	11
2.1.4.3 Uran.....	11
2.2 Mulige vannveier i felt	13
3 Områdebeskrivelse	15
3.1 Grunnforhold (berggrunn og løsmasser)	15
3.2 Værforhold og vannføring	26
3.3 Anvendte teknikker ved uttak av svartskifer	28
3.3.1 Skraping og pigging i trau	28
3.3.2 Sprengning av veiskjæring	29
3.3.3 Gjenbruk eller deponering av løsmasser	31
3.3.4 Håndtering av overflatevann i anleggsområdet.....	31

4	Metoder	34
4.1	Prøvelokaliteter/Feltarbeid	34
4.1.1	Geofysiske undersøkelser (ERT & GPR).....	35
	ERT	36
	GPR.....	37
4.1.2	Prøvelokaliteter/Feltarbeid	38
4.1.3	Vannprøver av overflatevann i felt.....	39
4.1.4	Infiltrasjonstest i løsmasser	39
4.2	Labarbeid/Kolonnestudie.....	40
4.2.1	Prøvepreparasjon	40
	4.2.1.1 Knusing og fraksjonering/sikting.....	40
4.2.2	Kolonneoppsett og fysiske betingelser.....	42
	4.2.2.1 Vannings- og prøvetakingsprotokoll.....	44
4.2.3	Mineralogi og totalkjemi	45
	4.2.3.1 XRD	45
	4.2.3.2 pXRF.....	46
	4.2.3.3 Dekomponering av totalprøver (Ultra Clave).....	46
	4.2.3.4 TIC og TOC	47
4.2.4	Vannprøver.....	47
	4.2.4.1 Turbiditet.....	47
	4.2.4.2 pH & elektrisk ledningsevne (E.C.).....	47
	4.2.4.3 Alkalinitet	48
	4.2.4.4 ICP-MS (filtrert)	48
	4.2.4.5 IC og DOC	49
4.2.5	Innstillinger for Visual Minteq.....	49
5	Resultater.....	49
5.1	Geofysiske grunnundersøkelser.....	49

5.1.1	ERT	51
5.1.2	GPR	52
5.1.3	Areal av eksponerte svartskiferflater.....	53
5.1.4	Vannkjemi overflatevann i anleggsområdet.....	53
5.1.4.1	pH og E.C.....	54
5.1.4.2	Hovedkationer og -anioner	56
5.1.4.3	Spormetaller (Cd, Ni og U).....	60
5.1.5	Massetransport	63
5.2	Kolonneforsøk	64
5.2.1	Kornfordeling og overflateareal	64
5.2.2	Porevolum	65
5.2.3	Porevann.....	66
5.2.4	Mineralogi	67
5.2.4.1	Totalkjemi (pXRF og ICP-MS)	68
5.2.5	Utlekking fra kolonneforsøk	75
5.2.5.1	pH og E.C.....	75
5.2.5.2	Hovedkationer og -anioner	78
5.2.5.3	Spormetaller (Cd, Ni og U).....	81
5.2.6	Massetransport	84
5.2.6.1	Turbiditet.....	84
5.2.6.2	Partikkeltransport.....	85
5.2.7	Metallenes tilstandsform/speciering (modellert med Visual Minteq).....	87
6	Diskusjon.....	88
6.1	Metoder for svartskiferuttak	88
6.1.1	Grunnundersøkelser (ERT & GPR)	88
6.1.2	Uttaksmetoder	90
6.2	Annleggsarbeidets innvirkning på overflatevannets vannkvalitet.....	93

6.3	Kolonnestudie	95
6.3.1	Svartskiferens sammensetning	95
6.3.2	Mineralogi	98
6.3.3	Syreproduserende potensiale	100
6.3.4	Sulfatproduksjonsrate (SPR) og forbruk av karbonat	102
6.3.5	Faktorer som påvirker utlekkingen	105
6.3.6	Mobilitet & biotilgjengelighet (speciering).....	107
6.3.7	Grenseverdier og tilstandsklasser for U, Cd og Ni.....	108
7	Kolonneforsøket som indikator for fremtidig avrenning fra veiskjæringen	110
6	Konklusjon	112
7	Referanser.....	114
	Vedlegg 1	118
	Vedlegg 2	118
	Vedlegg 3	119
	Vedlegg 4	120
	Vedlegg 5	121
	Vedlegg 6	122
	Vedlegg 7	122
	Vedlegg 8	125
	Vedlegg 9	128
	Vedlegg 10	129
	Vedlegg 11	130
	Vedlegg 12	130
	Vedlegg 13	131

Figurliste

- Figur 1: Prosentvis fordeling av U(VI)-specier med hensyn på pH(a), og Eh-pH diagram for uranium-specier (b) (hentet fra Xie et al. (2019)). 12
- Figur 2: Illustrasjon av umettet og mettet sone og potensialforskjellen mellom dem (figur hentet fra grunnvann.no). 13
- Figur 3: Typisk retensjonskurver for drenering av ulike sedimenttyper (figur etter Richards og Weaver (1944) hentet fra Bear (2012)) 13
- Figur 4: Mulige vannveier i en bergskjæring (modifisert etter Statens Vegvesen (2020)). Piler for nedbør viser hvordan vind kan påvirke fallretningen til regndråpene, 14
- Figur 5: På kartet er den planlagte traseen E16 Eggemoen-Olum markert med en rød senterlinje og tilhørende på- og avkjøringsramper. Veitraseen krysser den gamle Fv241. Norgeskartet oppe til venstre indikerer omtrentlig geografisk plassering (norgeskart.no). 15
- Figur 6: Berggrunnskart (NGU). Oransje linje markerer vegtraseen i omrpdet. Dette kartet er ikke oppdatert basert på funn gjort ved forundersøkelser i forbindelse med planlegging av vegtraseen. Omkringliggende utsnitt av svartskiferlag 2-3a, 3b-3c og 4 indikerer hva man kan forvente å finne i de «ukjente» områdene som er dekket av svartskifer. 16*
- Figur 7: Oversiktskart over løsmasser i området og vannets strømningsveier basert på terrengets morfologi i området. Lokalt nedbørsfelt markert i blått..... 19
- Figur 8: Det øverste bildet viser tverrsnitt av elvekanal med grove avsetninger i mai 2020 før avdekking helt ned til alunskifer. Skrå lag med godt sortert medium sand til venstre for elvekanalen er karakterisert som pont bar avsetning. Bildet nedenfor viser samme område i juni 2020 etter avdekking, stabilisering av løsmasseskråning og pigging ned til traubunn. Overgangen fra breelvavsetninger til den underliggende alunskiferen (2-3α). Alunskiferen er skifrig og skrå svakt mot NV. 20
- Figur 9: Skisse av de opprinnelige grunnforholdene ved lokalitet U2 (trau). Breelvavsetninger (gul og oransje). Medium sand m/pointbar (gul) og grove elvekanalavsetninger (oransje). Tynt lag med forvitret svartskifer (brun) og svakt skrående alunskifer (2-3α) i retning NV. 21
- Figur 10: Alternerende lag med sand og silt i skråningen på vestsiden av bekk V2. 22
- Figur 11: Veiskjæring i profil. Svartskiferen har svakt skrående, sedimentær laginndeling, mens mænaittgangen (lysgrå) til høyre i bildet er massiv (uten laginndeling). Svartskiferen er også gjennomført av flere små mænaittganger. 23
- Figur 12: Tverrsnitt av veiskjæring før sprenging (a). Svartskiferen (svart) og mænaitten (grå) er overlatt av fin-medium sand (gul) med tynne lag av silt. I overgangen mellom løsmasser og

svartskifer er det et 0,5 m tykt lag med forvitret svartskifer (brun). Bekken til venstre i profilet er svært grunn (3-4 cm) og renner delvis over løsmasser og delvis over svartskifer. Veiskjæring i uttaksperioden (b med sandvoller som filtrerer avrenning). Ferdigstil veiskjæring (c). Veibanen skrår svakt mot vest, slik at vannet vil drenere ned mot bekk V3a (Figur 7)	24
Figur 13: Aeoliske avsetninger (a) og myr (b) markert med oransje firkant i oversiktskart (c) VSV i feltområdet.	25
Figur 14: Værdata for perioden svartskiferuttaket ved Jevnaker pågikk. Nebørsmenge per døgn (mm) er illustrert som søyler og temperatur som kurver. Jevnaker har ikke egen værstasjon, og dermed er det anvendt værdata fra nærmeste værstasjon nord (Gran) og sør (Hønefoss) for Jevnaker. Grønne punkter angir målt vannføring ved lokalitet V3 (Skanska), og stiplet linje antyder mulig vannføring basert på enkeltmålingene.	27
Figur 15: Bilde fra lokalitet U2 hvor det ble utført pigging av svartskifer i trau ved hjelp av gravemaskin utstyrt med pigg og bulldosere. For å beskytte bekken (V2) vest for uttaksområdet fra svartskiferpartikler ble det laget sandbanker og bekken ble lagt i rør.	28
Figur 16: Fordeling av sprengstoffhull ved pallsprenging inn til mænaittgang (a). Kontursømmen langs sørlige veiskjæringsflate er indikert med røde piler. Nærbilde av tett kontursøm (b).	30
Figur 17: Maskinelt uttak av siste 1-1,5 m med svartskifer inn til mænaittgangen (rustrød). Omtrentlig grense mellom mænaitt og svartskifer markert med blå strek.	31
Figur 18: Bekk (V2) i rør. Fuktige løsmasser og små "renner" med vann indikerer at noe vann også renner utenfor røret. Lokalitet U1 er vest for bekken og U2 i øst.	32
Figur 19: Dronefoto (a) fra anleggsområdet som viser vannansamling (markert med pil) i veiskjæringen (lok. U1), og nærbilde av manganutfelling i vanddammen (b).	33
Figur 20: Kart med oversikt over alle prøvelokaliteter. Bergartsprøvene er hentet fra de skraverte feltene U1 og U2 (henholdsvis veiskjæring og trau). Vannprøvene er tatt fra lokalitetene markert med røde stjerner. Bekken er markert med stiplet linje hvor den forsvinner ned i grunnen.	34
Figur 21: Alunskifer (SS) pigget fra trau (lok. U2), kalkrik svartskifer (KS) fra veiskjæring (lok. U1.2), B; forvitret svartskifer (FS) fra veiskjæring (U1.1).	38
Figur 22: Kolonneoppsett. Erlenmeyerkolbene ble byttet ut med plastbeholdere og lokk med hull til slangen. Ut ifra bildet er det tydelig at FS(Grov) er betydelig mørkere på farge enn de andre prøvene.	42
Figur 23: Oversikt over vanningsregimet til kolonnene. Vannmengde tilsatt er høyere i starten og etter lengre tørkeperioder (uke 3-7, rødt).	44

Figur 24: Oversikt over anleggsområdet og profilene for ERT (A-A') og GPR (B-B')-målingene ble utført.	50
Figur 25: ERT-målinger ved profil A-A' (se kart i Figur X). Svart linje illustrerer kontaktsonen mellom svartskifer med lav resistivitet i grunnen (blå) og løsmasser (rød). De grønne vertikale linjene markerer området hvor mænaittgangen er (obs – vertikal orientering av mænaittgangen kan ikke bestemmes nøyaktig ut i fra dette profilet). Den oransje pilen i IP-profilet peker på den forvitrede svartskiferen med høy ladbarhet.	51
Figur 26: GPR-målinger fra profil B-B' (se kart, Figur 24). De grønne linjene representerer yttersidene av mænaittgangen. De reflekterte lagene til høyre i profilet indikerer et lag med løsmasser over svartskiferen. Det grå er svartskifer.	53
Figur 27: Variasjoner i pH over tid ved de ulike lokalitetene i bekken (se kart i Figur 7). Grønn linje markerer oppstart av svartskiferuttak 15. juni.	54
Figur 28: Variasjoner i alkalinitet over tid ved de ulike lokalitetene i bekken (se kart i Figur 7). Grønn linje markerer oppstart av svartskiferuttak 15. juni.	55
Figur 29: Variasjoner i konduktiviteten (mS/m) over tid ved de ulike lokalitetene i bekken (se kart i Figur 7): Grønn strek markerer oppstart av svartskiferuttak.	56
Figur 30: Konsentrasjonen av Ca i bekken ved de ulike lokalitetene ved Kleggerudkrysset. Grønn strek markerer start av svartskiferuttak.	57
Figur 31: Viser variasjon i SO_4^{2-} konsentrasjonen ved de ulike lokalitetene i bekkene (se kart, Figur 7). Grønn strek markerer oppstart av svartskiferuttak.	58
Figur 32: Korrelasjonsdiagram mellom Ca og SO_4^{2-} , viser at de følger omtrent samme utlekkings-trend.	59
Figur 33: Konsentrasjonen av nitrat (NO_3^-) i overflatevann/bekk ved de ulike prøvetakingslokalitetene i felt. Grønn linje markerer oppstart av svartskiferuttak.	60
Figur 34: Utvikling av Cd, Ni og U- konsentrasjonene ($\mu\text{g/L}$) over tid ved de ulike lokalitetene i felt (se kart i Figur 7). Punktene uten fyll er skanskas data (SK), og punktene med fyll er prøver tatt i forbindelse med dette studiet. Lilla linje markerer oppstart av svartskiferuttak.	62
Figur 35: Massetransport for Cd, Ni og U per døgn (mg/døgn) er angitt som søyler. De oransje punktene er målt Cd konsentrasjon ($\mu\text{g/L}$) og målt vannføring (L/s) er angitt med grønne punkt.	63
Figur 36: Kornfordelingskurver for kolonnematerialet.	64
Figur 37: Akkumulert porevann (og/eller evaporert vann) i de ulike kolonnetyperne.	66
Figur 38: Innhold av total organisk karbon (TOC) og total uorganisk karbon (TIC) i de ulike kolonneprøvene. Søylen uten fyll er fra kolonne 5.	70

Figur 39: Scatterplot for Ca:S-forholdet i kolonneprøvene (fylte punkt og kryss) plottet sammen med driftsdata fra Skanska (punkter uten fyll). Kolonneprøvene har samme farge som de respektive uttakslokalitetene.	73
Figur 40: pH-variasjoner i de ulike kolonnetypene. Blå søyler indikerer vanningsmengde....	76
Figur 41: Variasjon i konduktivitet for de ulike kolonnetypene	77
Figur 42: Boksplot som viser den totale variasjonen i E.C. gjennom hele kolonneforsøket. Legg merke til at kolonne 4 (SS(Grov)) har en lavere E.C. enn de to andre triplikatene.	78
Figur 43: Variasjon i utlekking av hovedkationene Ca, Mg, K, Na, Al, Fe _{tot} fra kolonneforsøket over tid.....	79
Figur 44: Kurvene viser endringer i konsentrasjonen av SO ₄ ²⁻ i de ulike kolonnetypene over tid.	80
Figur 45: Kurvene viser endringer i konsentrasjon av Cl ⁻ , NO ₃ ²⁻ og DOC i de ulike kolonnetypene over tid. Blå søyler viser vann tilsatt (mL).	81
Figur 46: Plottene som viser utlekking av Cd, Ni og U fra de ulike kolonnematerialene. Alunskiferprøvene (SS) er plottet til venstre, og FS og KS er plottet til høyre. De blå søylene viser vannmengde tilsatt ved hver vanning og gjelder for alle plottene ovenfor.	83
Figur 47: Kurvene viser variasjoner i tubiditet for de ulike kolonneprøvene over tid.....	84
Figur 48: Sammenligning av total- og filtrert (0,45µm) i kolonneprøvene over tid.	86
Figur 49: Fe:S-plot for å undersøke hvilke mineraler tungmetallene er bundet til. Fe:S > 2:1, silikater og oksider; Fe:S 1:1, pyrrhotitt; Fe:S 1:2 pyritt; Fe:S < 1:2, sulfat og/eller organisk S. Punktene uten fyll er fra Skanskas driftsdata (Vedlegg 10).....	99
Figur 50: Kartlegging av potensialet for syreproduksjon i de ulike svartskiferprøvene.....	101
Figur 51: Kurvene viser forholdet mellom sulfatproduksjonsrate (SPR) og karbonatproduksjonsrate basert på Ca (Ca PR). Vann tilsatt (mL) er angitt som søyler.	104
Figur 52: Utlekkingsdata for Cd, Ni og U sett i forhold til grenseverdiene for de ulike tilstandsklassene for ferskvann definert i Miljødirektoratets veileder M-608 (2020).....	109
Figur 53: Infiltrasjonstest for sandig silt v/lokalitet "Inf1" (se kart, Figur 7).	128
Figur 54: Infiltrasjonstest for breelvavsetninger (grove elvekanalavsetninger) ved lokalitet "Inf2" (se kart, Figur 7).	128
Figur 55: Infiltrasjonstest for vindavsetninger ved lokalitet "Inf3" (se kart, Figur 7).	128
Figur 56: Kart som viser vannveiene i felt etter ferdigstilling av veitraseen. V3a mottar vann fra veiskjæringen. V2 er lagt i rør gjennom under veibanen og er lagt om slik at den kommer ut ved V2* og ikke V3a som tidligere (se kart i Figur 7 for «før» situasjon).	130

1 Innledning

Oslofeltet, den geologiske provinsen som strekker seg fra Langesund i sør til Mjøsa i nord (NGU, 2011) er kjent for en tilnærmet komplett sekvens av sedimentære bergarter fra Kambrium til Silur. I den nederste delen av lagrekken fra Kambro-Silur forekommer det en rekke formasjoner som delvis eller helt består av svarte leirskifere (Bjørlykke, 1974). Svartskiferene kan være utfordrende når de påtreffes i store infrastrukturprosjekter, da de er mekanisk svake og kjemisk svært reaktive (Åstebøl et al., 2011). Noen svartskifere, eksempelvis alunskiferformasjonen, er kjent for høyt innhold av radionuklidet uran (utslipp av radongass), tungmetaller og sulfider. Forvitring av sulfider kan føre til forurensning i form av utlekking av tungmetall og forsuring av vann som er skadelig for terrestrisk og akvatisk miljø (Skipperud et al., 2016). Svartskiferen kan også føre til byggetekniske/fysiske utfordringer da bergarten sveller i kontakt med vann og kan over tid føre til setningskader i bygningsfundament (Bastiansen et al., 1957). I denne oppgave vil det bli lagt vekt på utfordringer knyttet til forurensning i forbindelse med bygging av E16 Eggemoen-Olum, både i forbindelse med selve uttaket og de ferske bergskjæringene som eksponeres.

På grunn av det høye forurensingspotensialet til flere av svartskiferbergartene, stilles det strenge krav til håndtering av svartskifer i bygg- og anleggsprosjekt. Forurensingsforskriften, kapittel 2 slår fast at selv om svartskifer er naturlig forekommende, skal utgravde løsmasser av svartskifer behandles som forurensende avfall. Dette innebærer at svartskiferen kun kan mellomlagres ved anleggsområdet i en kort periode før det transporteres videre til et godkjent spesialdeponi for å forhindre unødig forurensning. Dette kan medføre utfordringer knyttet til midlertidig oppbevaring og transport av store mengder svartskifer, samt at det medfører store kostnader knyttet til transport og deponeringsavgift.

Denne oppgaven skrives i samarbeid med Skanska og earthresQue som er et senter for forskningsdrevet innovasjon. Bedriftene har en felles målsetning om å finne bedre løsninger for bærekraftig håndtering og bruk av overskuddsmasser og avfall (earthresQue, 2021). Slik dagens situasjon er, fylles avfallsdeponiene for spesialavfall raskt opp, og Langøya som er ett av hoveddeponiene er snart fullt. Anleggsbransjen er en stor bidragsyter til deponering av store mengder svartskifer, forurenset jord, slam og bygg- og rivingsmateriale (bl.a. betong). I løpet av 2020 ble det deponert 98 810 tonn alunskifer, noe som tilsvarer 18% av alt ordinært avfall som deponeres på Langøya (NOAH, 2020). Statens strålevern har satt en grense på 100 000

tonn/år (gj.snitt av 5 kalenderår) for deponi av radioaktivt avfall (NOAH, 2018). For å løse denne utfordringen, kreves det at anleggsbransjen handler bærekraftig i møte med forurensende masser som eksempelvis svartskifer. I henhold til Miljødirektoratets massedisponeringshierarki er førsteprioritet å forhindre unødige overskuddsmasser, anvende eventuelle overskuddsmasser som byggeråstoff og erstatte bruk av nye masser med overskuddsmasser slik at minst mulig til deponi. Dette er en utfordring med svartskifer som anses som forurensende masser.

I forbindelse med byggingen av E16 Eggemoen-Olum ble det ved hjelp av geofysiske målinger (AEM) anslått at det kunne bli aktuelt å ta ut 70 000 m³ (98 000 tonn) svartskifer ved Kleggerudkrysset som måtte kjøres til deponi (Bazin & Lysdahl, 2014). Det opprinnelige estimatet var basert på at alle bergarter var deponipliktige, og tok ikke hensyn til at det kunne forekomme partier med berg som ikke er deponipliktige. Som et resultat av utvidede forundersøkelser, detaljert planlegging og tett oppfølging av berguttaket endte Skanska opp med å ta ut 65 000 tonn, som er betydelig lavere enn først anslått (personlig meddelelse, Andreas O. Harstad). Dette tilsvarer 3300 færre lastebillass (10 tonn pr. lass) med svartskifer kjørt til deponi.

Graden av forurensing fra svartskifer i et anleggsområde vil avhenge av hvilken type svartskifer som er i området. Alunskifer anses som den mest forurensende, mens de mer kalkholdige svartskiferne som eksempelvis Galgebergskifer utgjør en lavere risiko. Eksponert overflateareal til forekomsten vil også ha betydning for reaksjonsraten og spredning i miljø. Svartskifer er en sedimentær bergart som opptrer lagvis. De ulike lagene kan ha varierende innhold av sulfider, karbonater og tungmetall og dermed også varierende grad av syreproduserende potensiale og utlekking av tungmetall. Svartskiferen er i tillegg ofte gjennomvannet av intrusive, magmatiske gangbergarter av typen mænaitt. Dette anses som godt fjell som kan brukes som byggeråstoff. NGI har utarbeidet en veileder for bergarter med forsuringspotensiale (NGI, 2015) som kan være et nyttig verktøy når det gjelder å skille mellom syreproduserende og ikke-syreproduserende svartskifer. Dersom en svartskifer klassifiseres som lite syreproduserende og har lav utlekking av tungmetall og uran, kan det allikevel stilles krav til deponi på grunn av det høye totalinnholdet av det radioaktive stoffet uran. Hvis svartskiferen har et totalinnhold av uran som er høyere enn 80 ppm må den deponeres.

I noen tilfeller kan for eksempel sprengning føre til at man tar ut mer svartskifer enn hva som er nødvendig, og man bør da vurdere å ta i bruk mer skånsomme teknikker for uttak. Et annet viktig aspekt av bærekraftig anleggsarbeid er å påse at man ikke forurenser omkringliggende vannforekomster. Det stilles derfor også krav til jevnlig

overvåkning/prøvetaking av bekker i nærområdet før, under og etter uttak for å påse at vannkvaliteten i området ikke forringes (). I tillegg kreves det også utslippstillatelse fra DSA, da et slikt uttak kan føre til spredning av radionukleider i miljø. Også her spiller det inn hvilke uttaksmetoder som er valgt. Jo mer finpartikler som skapes i forbindelse med uttaket, jo større fare er det for at svartskifer mobiliseres av nedbør og fraktes til nærmeste bekk/resipient. Det rettes mye fokus mot hvordan man skal håndtere frigjort svartskifer og andre svartskiferholdige masser. Lite fokus på de etablerte veiskjæringene og hvor mye avrenning man kan regne med fra disse.

1.1 Regelverk for håndtering av svartskifer

Forurensningsforskriften, kapittel 2, omhandler opprydding i forurenset grunn ved bygge- og gravearbeid. Ifølge forskriften, §2-3, defineres forurenset grunn som «grunn som danner syre eller andre stoffer som kan medføre forurensing i kontakt med vann og/eller luft, regnes som forurenset grunn dersom ikke annet blir dokumentert». Svartskifer regnes dermed som forurenset avfall da de ofte har et syreproduserende potensiale og på grunn av sitt høye innhold av tungmetaller.

I 2011 ble forurensningsloven endret slik at også radioaktivitet inkluderes i definisjonen av forurenset grunn. §1 Saklig virkeområde «Forskriften gjelder forurensningslovens anvendelse på stråling fra radioaktive stoffer som er eller kan være til skade eller ulempe for miljøet...». Statens strålevern har angitt en grenseverdi på 1 Bq/g for radioaktivt avfall, og dersom den overskrides er avfallet deponipiktig. Dette tilsvarer et totalinnhold av uran på 80-100 ppm, og uraninnholdet i svartskifer (eller alunskifer?) kan variere mellom 50-200 ppm. I motsetning til de andre tungmetallene er ikke uran er ikke bundet til sulfidmineral, men lekker ut likevel.

1.2 Bærekraftig anleggsvirksomhet

En bærekraftig anleggsvirksomhet er viktig for å ivareta klima, ytre miljø og ressurser og på den måten redusere klimagassutslippet. På prosjektet E16 Eggemoen-Olum opererer Skanska i henhold til miljøsertifiseringsordningen CEEQUAL som skal være med på å sikre en mest mulig bærekraftig prosess som har minst mulig negativ påvirkning på miljø. Viktige bærekraftsmål for prosjektet har vært å redusere svartskiferuttaket mest mulig, da det reduserer mengden svartskifer som må kjøres til deponi. Det er både plassbesparende for deponiene, økonomisk gunstig og reduserer CO₂-utslippet. Gode grunnundersøkelser sfor å skille mellom godt og dårlig fjell. Gjenbruk av overskuddsmasser av god kvalitet.

I forbindelse med svartskiferuttak vil svartskiferen knuses opp. Støv og partikler er svært reaktive og kan forårsake avrenning til bekker i nærheten av anleggsområdet (Fjermestad et al., 2018; Skipperud et al., 2016). Det ble derfor også gjort tiltak i felt ved Kleggerudkrysset for å redusere avrenningen fra svartskifer til bekken i området både underveis i anleggsfasen og etter ferdigstilt veiskjæring. Disse metodene vil bli evaluert i denne oppgaven.

1.3 Problemstilling og hypoteser

I forbindelse med Skanskas prosjekt på Jevnaker, vegtraseen E16 Eggemoen-Olum, etableres det en veiskjæring gjennom et område med svartskifer. Når det gjelder utfordringer relatert til svartskifer har fokuset vært rettet mot på deponering av berg som tas ut. Det her derimot vært lite fokus på de gjenværende eksponerte flatene med fersk svartskifer, i dette tilfellet en veiskjæring, og hvilken effekt ulike uttaksmetoder vil ha på mengden forurensing.

Målet med denne oppgaven er dermed å:

- Undersøke utlekking av tungmetaller i bekkene ved anleggsområdet før, under og etter uttaket (ved hjelp av egen innsamlet data og data fra Skanskas overvåkningsprogram). Det er forventet at konsentrasjonen av tungmetall og sulfat vil øke i uttaksperioden.
- Vurdere ulike uttaksmetoder av svartskifer basert på felt og kolonnestudier.
- Å undersøke hvor mye Cd, Ni og U som lekker ut fra tre ulike typene svartskifer funnet i området: fersk Alunskifer, forvitret svartskifer og kalkrik svartskifer (ekv. Bjørkåsholmen FM). Det antas at svartskiferene vil ha ulik grad av utlekking, selv om totalinnholdet kan være nokså likt.
- Måle utlekking fra ulike kornstørrelsesfraksjoner av de tre svartskifertypene ved hjelp av kolonneforsøk. Totalt tilgjengelig overflateareal og vannets oppholdstid er viktig for reaksjonsrate og utlekking. Denne informasjonen kan muligens være nyttig for å si noe om potensiell fremtidig avrenning fra veiskjæringen.

1.4 Vitenskapelig tilnærming

Det ble tatt vannprøver i forbindelse med feltarbeid og Skanskas eget overvåkningsprogram for å undersøke i hvor stor grad bekkene i området ble påvirket under selve svartskiferuttaket. For å kartlegge sammensetningen av berget i dypet der veiskjæringen skulle etableres, ble det anvendt GPR- og ERT-målinger. Infiltrasjonstester ble utført i de stedegne løsmassene for å si noe om de hydrogeologiske forholdene i anleggsområdet. Det ble også foretatt feltobservasjoner av byggeprosessen for å vurdere hvordan de ulike tiltakene kan påvirke vannkvaliteten. For å si noe om de mulige langsiktige effektene ble det satt opp et kolonneforsøk med tre ulike typer svartskifer. Mineralogien til svartskiferprøvene analysert med XRD. Totalkjemien til svartskiferprøvene ble analysert ved hjelp av pXRF- og ICP-MS, og ble brukt til å si noe om potensiale for syreproduksjon og totalinnhold av tungmetall. Kjemien til utlekkingsvannet ble analysert for hovedkationer og tungmetall ved hjelp av ICP-MS, utlekking av anioner ble målt ved ionekromatografi (IC).

2 Teori

2.1 Svartskifer

2.1.1 Dannelse av svartskifer i Oslofeltet

Svartskifer er en sedimentær bergart som hører til den kambrosiluriske lagrekken i Oslofeltet ble avsatt i et grunt hav for 500 millioner år siden (Ordovisium) (Owen et al., 1990). På den tiden lå Baltika på den sørlige halvkulen. Havet var preget av dårlig vertikal sirkulasjon og anaerobe bunnforhold. I den øvre delen av vannsøylen var det aerobe forhold og god lystilgang som gjorde det mulig for alger å bedrive fotosyntese, og døde alger sank til bunns. Nedbrytning av organisk materiale forbruker oksygen, og på grunn av den dårlige sirkulasjonen i vannsøylen ble bunnforholdene anaerobe (Bjørlykke, 1974). Dette førte til en sakte nedbrytning, og man fikk en opphopning av organisk materiale. Sulfatreduserende bakterier kan bruke SO_4^{2-} som elektronakseptor ved nedbrytning av organisk materiale, noe som førte til utfelling av sulfidmineraler (Jeng, 1992).

Sulfidmineralene i svartskifer inneholder ofte tungmetaller som Cd, Co, Cu, Ni, As, Ni, Zn, V, Mo, Ba og U som har en tendens til å felles ut og anrikes i reduserende miljø (Alloway, 2013). På grunn av de anaerobe bunnforholdene skjedde det også en opphopning av uran, da dette felles ut i reduserende miljø som UO_2 . Tilførselen av uran kan stamme fra atmosfæren og erosjon av erosjon av bergarter med naturlig forekommende uran (Gavrilescu et al., 2008). Uran kan også ha blitt transportert ut i havet bundet til løst organisk materiale.

Under riftingen i Perm ble den sedimentære kambrosiluriske lagrekken senket ned i forkastningsgrabener som forhindret dem fra å senere bli fullstendig erodert bort (Nakrem & Worsley, 2013). En av hovedforkastningene fra riftingen ligger parallelt med den østlige siden av Randsfjorden med en NØ-SV orientering som tenderer mot en NV-SØ orientering. Magmaintrusjoner fra samme rift-event dannet sills og dikes bestående av mænaitt og camptonitt i den kambrosiluriske lagpakken (Scott & Middleton, 1983). Ved Kleggerudkrysset er svartskiferen gjennomført av en 25m tykk dike av mænaitt med NV-SØ orientering. Det er også observert et par dikes ved siden av som har en bredde på 20-50 cm.

2.1.2 Mineralogi og geokjemisk sammensetning

Svartskifer er en generell betegnelse for finkornede, klastiske sedimentære bergarter som er svart/sort på farge (Swanson, 1961). Den svarte fargen skyldes et høyt innhold av organisk materiale (kerogen) på 2-10% (Swanson, 1961; Tourtelot, 1979). Partiklene er i størrelsesorden leire og silt, og består hovedsakelig av kvarts, leirmineralene illitt, muskovitt og kloritt, feltspat, sulfider som pyritt og pyrrhotitt og karbonater som kalsitt (Bjørlykke, 1974; Lavergren et al., 2009; Swanson, 1961). Svartskiferene er også kjent for sitt høye innhold av tungmetaller som As, Cd, Cu, Mo, Ni, Zn, Pb, V og U (Owen et al., 1990). I

Tabell 1 er det gitt en oversikt over total kjemien til svartskifere fra tidligere studier, og konsentrasjonen av tungmetallene er ofte flere ganger høyere enn den gjennomsnittlige konsentrasjonen i jordskorpen..

Alunskifer er en type svartskifer med relativt høyt innhold av organisk materiale (10-15%, i ekstreme tilfeller 40%). Sulfidinnholdet pleier å ligge rundt 5-7% og kjennetegnes ved svart strek i motsetning til andre svartskifere som gir hvit strek (Nakrem & Worsley, 2013). Flere av tungmetallene (Cd, Cu, Ni, Zn og Pb) er bundet til sulfidene, mens Mo, U og V kan forekomme bundet til organisk materiale (kerogen).

Tabell 1: Totalkjemi av svartskiferprøver fra tidligere studier i Gran, Oslo, Sverige og Estland. Tabell modifisert etter Erstad (2017). Gjennomsnittlig innhold i jordskorpen.

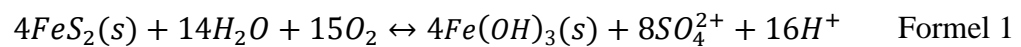
	Gj. snitt	Jordskorpen									
		Jords.	Gran ¹	Gran ²	Billingen ³	Oslo ⁴	Oslo ⁵	Billingen ⁶	Degerhamn ⁷	Kvarntorp ⁸	Maardu ⁹
		NO	NO	SE	NO	NO	SE	SE	SE	Estland	SE
Al	g/kg	81	78	52							
Ba	g/kg		0,73								
Ca	g/kg	36	10,9	71							
Fe	g/kg	50	32,5	24							
K	g/kg	25,9	40,5								
Mg	g/kg	20,9	9,1								
Mn	g/kg	0,95	0,3	0,60							
Na	g/kg	28	3,3								
S	g/kg	0,26	31,5	14		25,9	38		65,2		
V	g/kg	0,16	3,0		0,68	0,48	1,02	0,75	1,15	0,65	0,90
As	mg/kg	1,50	84,5	21				106	121	79	121
Cd	mg/kg	0,11	11,6	4,7				2,5	5,81		5,50
Co	mg/kg	20	22,7	11					24,6		
Cr	mg/kg	100	128,5		94	140	135	320	80,8		
Cu	mg/kg	50	143,5	94	190	104	157	110	157	125	117
Li	mg/kg	20	31,7								
Mo	mg/kg	1,5	245,5	21				340	97	163	210
Ni	mg/kg	80	402	78	160	98	201	200	163	70	95
Pb	mg/kg	14	47	46			33	14	27,10		120
Sb	mg/kg	0,20	19,6								
Sn	mg/kg	2,20		2,7							
Sr	mg/kg	370	164								
Zn	mg/kg	75	539	300	150	86	137	130	297	125	277
226 Ra	kBq/kg		1,2								
232 Ra	ng/kg	0,60	32,5								
232 Th	kBq/kg		0,1								
238 Th	mg/kg	12	14,5	13		10,2					
238 U	kBq/kg		1,36								
238 U	mg/kg	2,40	108,5	22	206	150	114	300	72,4	235	120

¹Wærsted (2019), ²Fjermestad (2013), ⁴Bjørlykke (1974), ⁵Abraham (2007), ⁶Allard et al. (1991), ⁷Lavergren et al. (2009), ⁸Bäckström og Sartz (2015), ⁹Puura et al. (1999), ¹⁰Falk et al. (2006)

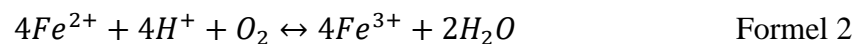
2.1.3 Oksidasjon av sulfidmineraler og nøytralisering

Svartskifere har ofte et høyt sulfidinnhold, og når disse forvitrer vil det produseres syre og flere tungmetall frigis. De vanligste sulfidene i svartskifer er pyritt (FeS_2) og pyrrhotitt ($\text{Fe}_{(x-1)}\text{S}$). Pyrrhotitt er kun observert i metamorfosert svartskifer (Antun, 1967). Andre sulfider som kan være tilstede i mindre grad er eksempelvis sinkblende, kopperkis, pentlanditt og greenockitt (Fjermestad et al., 2017; Lavergren et al., 2009).

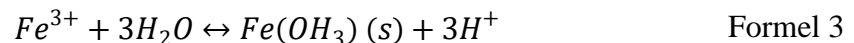
Totalreaksjonen for oksidering av pyritt i kontakt med vann og oksygen er beskrevet nedenfor (Garrels & Thompson, 1960; Singer & Stumm, 1970):



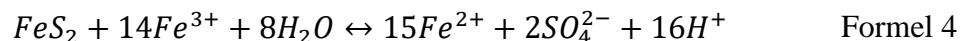
Denne formelen kan deles inn i flere delreaksjoner. Fe^{2+} oksideres til Fe^{3+} ved oksiderende forhold:



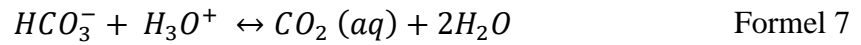
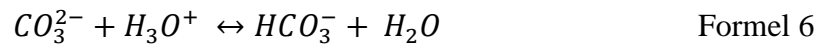
Under oksiderende forhold med nøytral til basisk pH er løseligheten til jern svært lav og felles ut i form av jern(III)oksihydroksid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$):



Fe^{3+} kan fungere som en elektronakseptor, særlig under anoksiske forhold og lav pH (<4), og bidra til økt forvitring av pyritt:



Det høye karbonatinnholdet i svartskifer er med på å buffe syreproduksjonen som oppstår ved forvitring av pyritt. Dersom karbonatmineralene brukes opp eller ikke er tilgjengelig, vil pH-en synke. Ved oppløsning av kalsitt dannes det fritt Ca^{2+} -ion og karbonat (CO_3^{2-}). Karbonat vil buffe syren ved å binde til seg H^+ og danne bikarbonat (HCO_3^-). Formlene for oppløsning av kalsitt og karbonatlikevekt er beskrevet ved hjelp av formelene nedenfor (vanLoon & Duffy, 2017).



Oksidasjonsraten til pyritt kan estimeres ut ifra produksjonsraten til sulfat (SPR) (Formel 9) (Morin & Hutt, 2001). Den samme formelen ble benyttet for å beregne produksjonsraten av karbonat (Ca PR).

$$SPR (mmol Kg^{-1}uke^{-1}) = \frac{\text{Konsentrasjon} \left(\frac{mmol}{L} \right) \times \text{Volum utlekking (L)}}{\text{Vekt av prøve (kg)} \times \text{vanningsintervall (uke)}} \quad \text{Formel 9}$$

2.1.4 Tungmetall

Flere av tungmetallene som lekker ut fra svartskifer kan være mobile selv ved nøytral-basisk pH, blant annet Cd, Ni og U (Lavgren et al., 2009; Wærsted, 2019). Nikkel (Ni) og kadmium (Cd) er hovedsakelig bundet til sulfidminerale i svartskifer (Falk et al., 2006), og løses dermed lett ut ved oksidasjon av sulfider (Fjermestad, 2013). Uran er ofte bundet til organisk materiale i svartskifer (Gautneb & Sæther, 2009), og løses ikke like lett.

2.1.4.1 Kadmium

Kadmium kan foreligge i sulfidet greenockitt (CdS), sinkblende eller erstatte Ca i karbonater (Appelo & Postma, 2005; Børresen, 2017; Lavgren et al., 2009). Ved pH lavere enn 8 vil Cd foreligge som fritt Cd^{2+} -ion, men ved $\text{pH} > 8$ vil Cd foreligge som CdCO_3 (aq). Kadmium er et B-metall og danner derfor sterke bindinger med $\text{S} > \text{I} > \text{Br} > \text{Cl} > \text{N} > \text{O} > \text{P}$ (Duffus, 2002; vanLoon & Duffy, 2017). Dersom det er SO_4^{2-} til stede i vannet, vil den dominerende tilstandsformen til kadmium være CdSO_4 (aq). I anaerobt miljø hvor det er S til stede, vil kadmium felles ut som et sulfid og ikke være mobilt i miljø.

2.1.4.2 Nikkel

Nikkel kan forekomme som pentlanditt ($(\text{FeNi})_9\text{S}_8$), men kan også være bundet til silikater som kloritt eller bundet til organisk materiale (Bjørlykke, 1974). I oksiderende miljø med $\text{pH} < 9$ vil nikkel hovedsakelig foreligge som fritt ion.

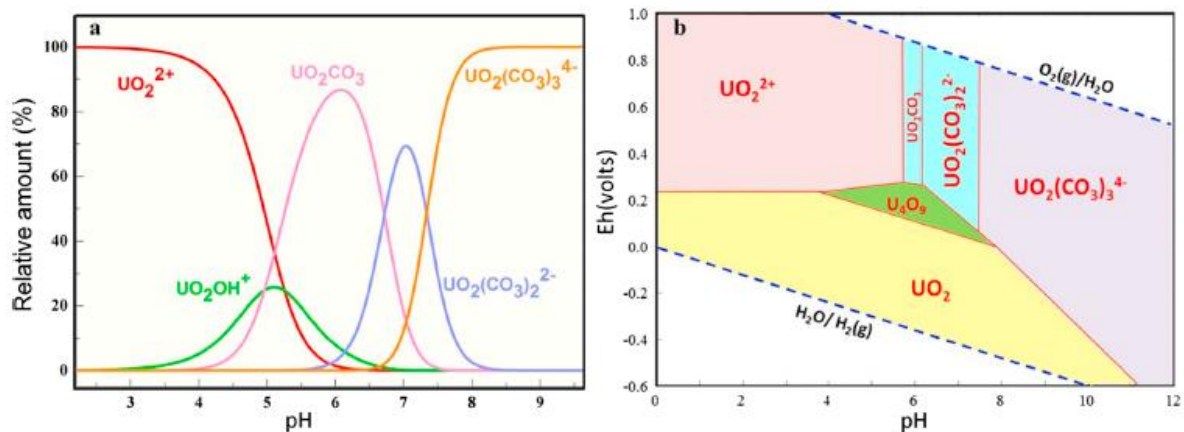
2.1.4.3 Uran

Uran er et aktinoid/radioaktivt metall som forekommer naturlig i jordskorpen, bergarter og jordsmonn med en konsentrasjon på 1-4 ppm (NORM). Uran forekommer hovedsakelig i form av 3 ulike isotoper hvor U-238 er den vanligste og utgjør 99 %, dernest U-235 med 0,72% og resterende med U-234 (EPA, u.d.). Ved nedbrytning av disse radioaktive isotopene dannes det blant annet radongass (vanLoon & Duffy, 2017). Radongass (Ra-226) er den nest vanligste årsaken til lungekreft i Norge (Kreftforeningen, u.d.). Hus bygget i områder med naturlig forekommende radioaktivitet i berggrunnen kan få problemer med radongass, spesielt i kjellere. Toksisiteten til uran avhenger av om det foreligger som partikkel, kolloid, LMM(kompleks og/eller ioneform) (Salbu & Lind, 2020).

Mobiliteten til uran

Uran kan forekomme i 5 ulike oksidasjonstrinn (0, 2+, 3+, 4+ og 6+), hvor kun 4+ og 6+ er stabile. Av disse to er det 6+ som er mest stabilt, etterfulgt av 4+. Uran er et pH- og redox

sensitivt metall. Det betyr at tilstandsformen og mobiliteten styres av pH og oksiderende/reduserende forhold (Figur 1). I et oksiderende miljø vil uran forekomme som U(VI) i form av et uranylion (UO_2^{2+}). Dette er et mobilt ion som kan transporteres rundt i miljøet. Ved lav pH vil uranylionet forekomme i sin enkle form (UO_2^{2+}), men ved høy pH vil uranylionet binde seg til karbonat (CO_3^{2-}) og danne anioner som $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ og $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ (Xie et al., 2019). De negativt ladde uranyl-karbonat-kompleksene binder seg dårlig til den negative overflaten av jordpartikler og har dermed en større affinitet for vannfasen (Elless & Lee, 1998).



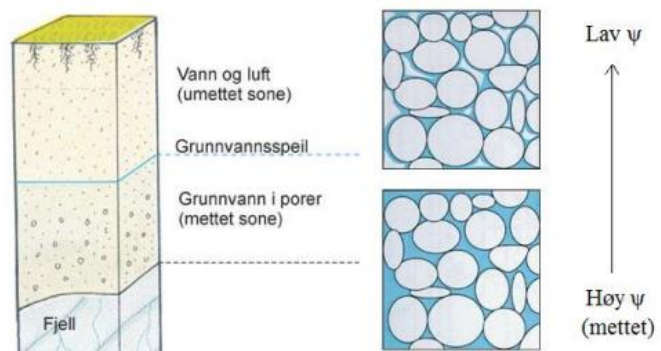
Figur 1: Prosentvis fordeling av U(VI)-spesier med hensyn på pH(a), og Eh-pH diagram for uranium-spesier (b) (hentet fra Xie et al. (2019)).

Mobiliteten til uran avhenger også av hvilken type mineral uran er bundet til (Elless & Lee, 1998). Uran (VI) kan danne mineraler med fosfat, karbonater og silikater. Dersom uran (VI) er bundet i karbonatmineraler som eksempelvis rutherfordin (UO_2CO_3) eller silikathydratet uranofan ($\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3)_2(\text{OH})_2 \times 5\text{H}_2\text{O}$) som er lett løselig, kan uran mobiliseres lett. Men dersom uran(IV) er bundet til andre mineraler som er mindre løselige ved lav pH og reduserende forhold som eksempelvis uraninitt (UO_2) og koffinitt, vil uran være tilnærmet immobilt.

2.2 Mulige vannveier i felt

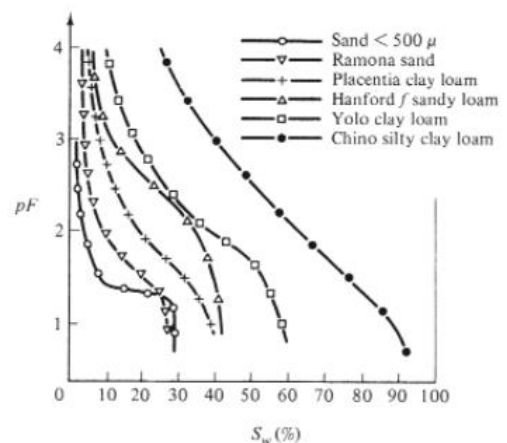
Gjennom løsmasser

Løsmasser kan deles inn i umettet og mettet sone (Figur 2) avhengig av vanninnhold. I umettet sone er porene fylt med både luft og vann og i mettet sone er alle porene fylt med vann (grunnvannssonen). I nedbørsperioder vil vann infiltrere i umettet sone. Vannets strømming i umettet sone drives av potensialforskjeller (ψ), som er et mål på trykkforskjeller forårsaket av sedimentets vanninnhold (Brooks et al., 2013).



Figur 2: Illustrasjon av umettet og mettet sone og potensialforskjellen mellom dem (figur hentet fra grunnvann.no).

Til å begynne med vil vannet holdes tilbake ved kapillarkrefter (retensjon), men når feltkapasiteten er nådd vil vannet kunne dreneres fritt vertikalt. Feltkapasiteten (Figur 3) er et mål på maks vanninnhold en jordart kan holde på under påvirkning fra gravitasjon. Grove, godt sorterte løsmasser har lavere feltkapasitet og dermed en høyere hydraulisk konduktivitet enn fin sand, silt og leire (Bear, 2012). I et område med god hydraulisk konduktivitet vil man kunne ha en hyppigere utskiftning av vannet og på den måten får grunnvannet tilført oksygenrikt vann.



Figur 3: Typisk retensjonskurver for drenering av ulike sedimenttyper (figur etter Richards og Weaver (1944) hentet fra Bear (2012))

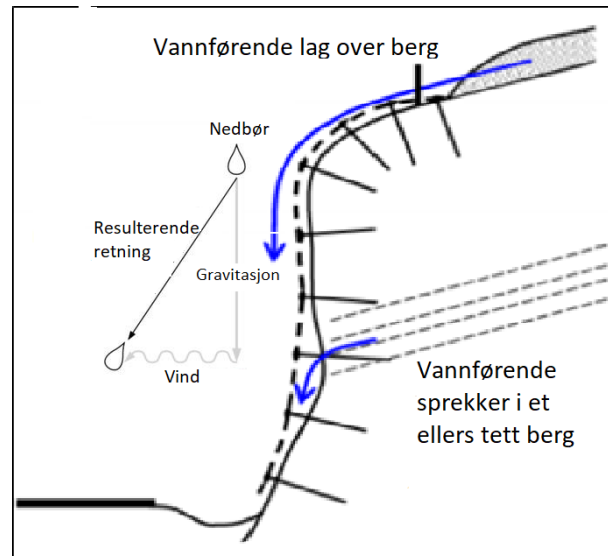
Løsmassene i området kan i noen tilfeller fungere som et filter og holde tilbake forurensende partikler av eksempelvis svartskiferpartikler. Enten ved at partiklene avsettes eller at ioner løst i vannet kompleksere/adsorberes til sedimentets overflate (Appelo & Postma, 2005; Salbu & Lind, 2020; Walker et al., 2005).

Mettet strømming er ofte tilnærmet «horisontal» og følger bergets overflate og har som regel en jevnere strømningshastighet enn vann i umettet sone.

I et grunt grunnvannssystem med god kontakt mellom atmosfæren og mettet sone kan evapotranspirasjon i varme perioder (French et al., 1999), samt dreneringsevne, gjøre at mettet sone reduseres kraftig. Den underliggende berggrunnen vil dermed komme i kontakt med oksygen.

Veiskjæring

En veiskjæring vil foreligge i umettet sone og kommer i kontakt med både luft og vann og vil dermed utsettes for forvitring. Skjæringen kan komme i kontakt med vann på flere ulike måter (Figur 4). Alle veiskjæringer eksponert i terrenget vil utsettes for vann i form av nedbør. Helningsvinkelen til veiskjæringen vil ha noe å si for hvor mye vann som treffer veiskjæringen samt oppholdstiden til vannet på overflaten, og bestemmes ofte med hensyn til de dominerende sprekkestrukturene og

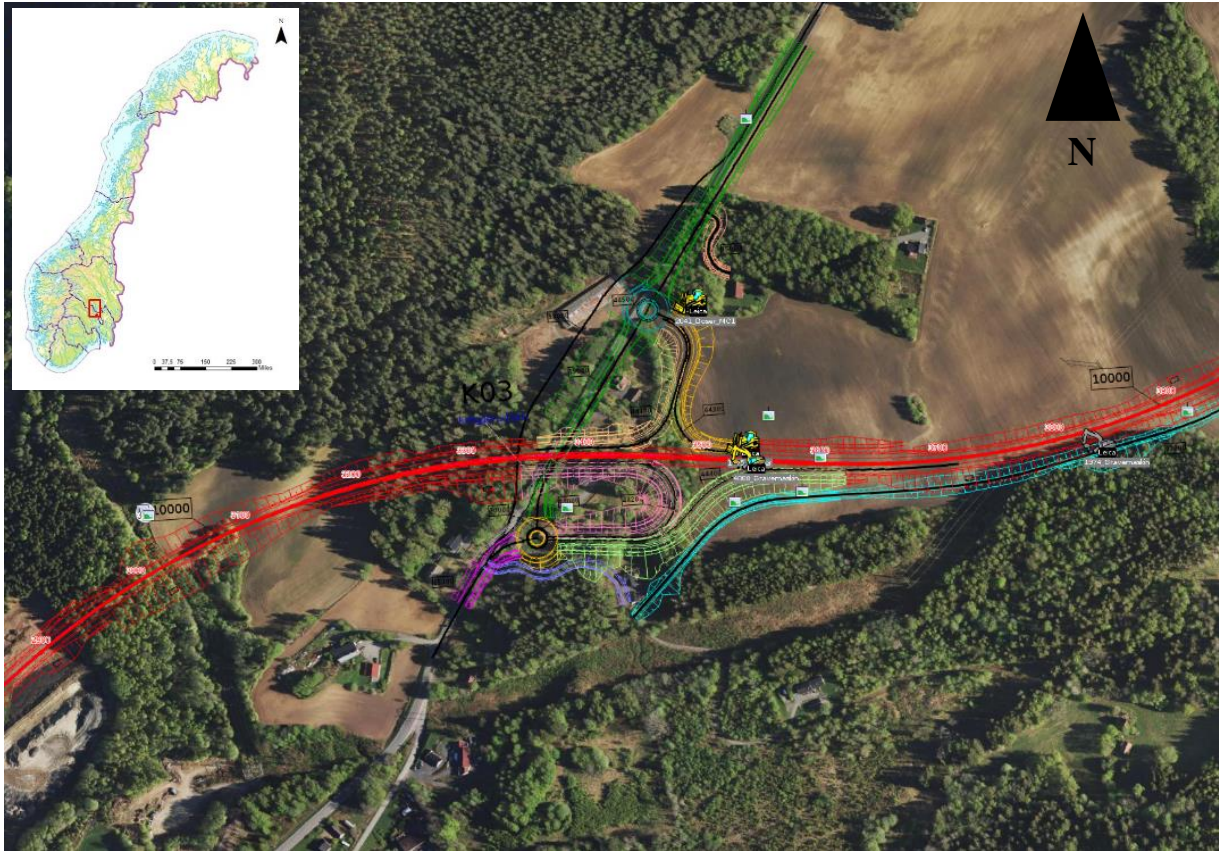


Figur 4: Mulige vannveier i en bergskjæring (modifisert etter Statens Vegvesen (2020)). Piler for nedbør viser hvordan vind kan påvirke fallretningen til regndråpene,

stabiliteten til berget (Statens Vegvesen, 2020). En bratt veiskjæring vil fuktes i mindre grad enn en skrå veiskjæring med lav helningsvinkel. Dersom grunnvannsspeilet er midt i veiskjæringsprofilet kan vannet renne ut gjennom sprekker/laginndelinger i veiskjæringen. Overflatevann kan også renne som en bekk fra oversiden og ned over veiskjæringen.

3 Områdebeskrivelse

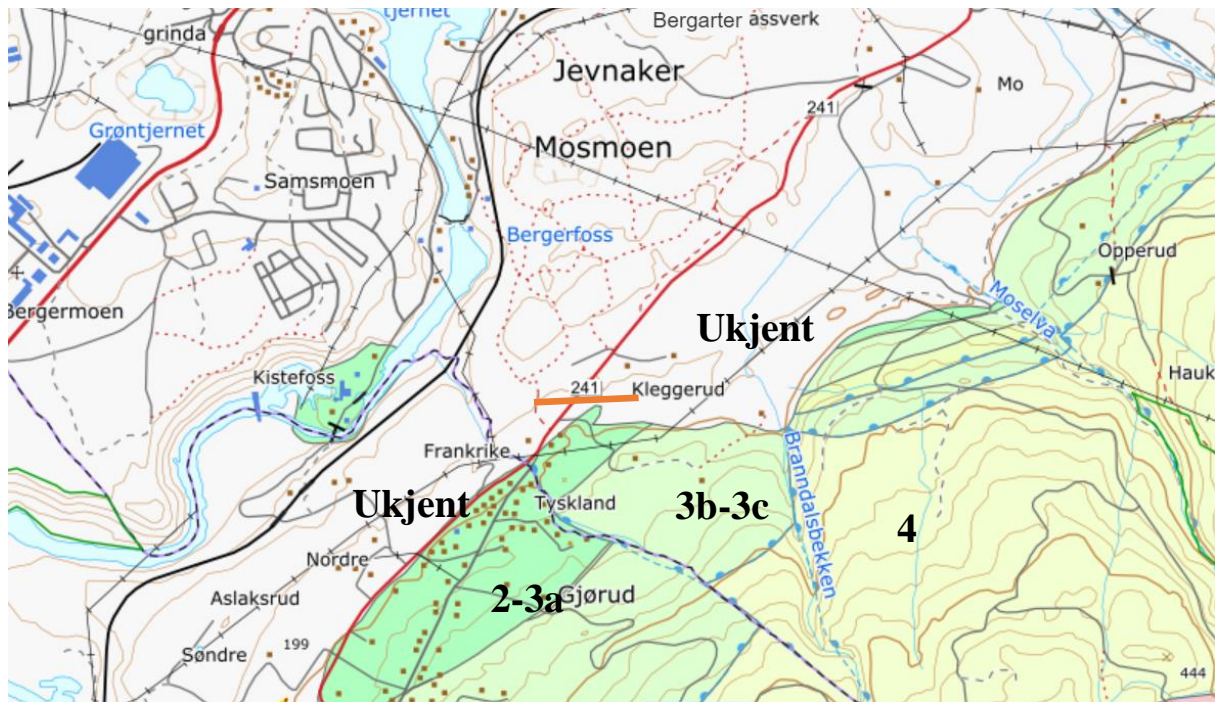
Den nye veitraseen E16 Eggemoen-Olum er lokalisert på Kleggerud som ligger i Jevnaker Kommune (Viken) ved den sørlige enden av Randsfjorden (Figur 5).



Figur 5: På kartet er den planlagte traseen E16 Eggemoen-Olum markert med en rød senterlinje og tilhørende på- og avkjøringsramper. Veitraseen krysser den gamle Fv241. Norgeskartet oppe til venstre indikerer omtrentlig geografisk plassering (norgeskart.no).

3.1 Grunnforhold (berggrunn og løsmasser)

Ved Kleggerudkrysset har NGU kartlagt flere typer sedimentære bergarter som tilhører ulike laginndelinger i den Kambrosiluriske lagrekken (Figur 6) (Bjørlykke, 1974). Lagrekkene er navngitt etter hvilken rekkefølge de er avsatt i, hvor det laveste tallet representerer de eldste bergartene og det høyeste representerer de yngste bergartene (Tabell 2).



Figur 6: Berggrunnskart (NGU). Oransje linje markerer vegtraseen i området. Dette kartet er ikke oppdatert basert på funn gjort ved forundersøkelser i forbindelse med planlegging av vegtraseen. Omkringliggende utsnitt av svartskiferlag 2-3a, 3b-3c og 4 indikerer hva man kan forvente å finne i de «ukjente» områdene som er dekket av svartskifer.

Store deler av Kleggerudkrysset var opprinnelig dekket av breelavsetninger fra Randselva, men analyse av borekjerner (Børresen, 2017) og ERT/AEM-målinger utført av (Bazin & Lysdahl, 2014; Lysdahl & Bazin, 2014) og avdekking ned til berggrunn i forbindelse med veibyggingsprosjektet har gitt en bedre oversikt. Undersøkelsene tyder på at man går fra eldst til yngst etter hvert som man beveger seg fra ØNØ til VSV i vei-profilet (personlig meddelelse, Andreas O. Harstad, 2021).

Lengst ØNØ i profilet (område U2/ «trau») finner man Alunskifer FM (2e) som ble avsatt i sein-kambrium/tidlig ordovicium (2-3a). Denne formasjonen kjennetegnes ved at den har et høyt innhold av uran og sulfider og har et syredannende potensiale. Alunskiferen har en sub-horisontal skifriighet og heller lett i nord-vestlig, og har innslag av stinkkalkboller og tynne linser/isolerte lag av kalkstein. Mektigheten til dette laget er ikke kjent ved Kleggerudkrysset da området er påvirket av tektoniske skyvedekker og permiske intrusjoner (mænaitt). Lenger sør er det observert at Alunskifer FM har en mektighet på 60-80 meter (NGI, 2015).

Tabell 2: Oversikt over den kambro-siluriske lagrekken(NGI, 2015). Lagene som inneholder svarte leirskiferhorisonter (mørkegrå) og mulig forekomst av svartkifer (lysegrå) er markert. Biri og Brøttumformasjonen er inkludert i tabellen selv om de er eldre enn kambro-silur.

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		
4bδ	Solvang			Oslo	12-20		
4by	Nakkholmen			Oslo	13-20		
4bβ	Frognerkilen			Oslo	10-20		
4bα	Arnestad	Arnestad/Fu ruberget	Arnestad/Furu berget	Oslo	22-40		
4aβ	Vollen		Vollen/Hovins holm	Oslo	> 45		
4aα	Elnes	Elnes	Elnes/Bjorge	Oslo	60-80		
3c	Huk3	Huk3	Svartodden	Røyken	2-5 m	Tidlig Ordovicisk	
3cβ	Huk2	Huk2	Herran/Stein	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	Bjørkåsholmen	Bjørkåsholmen	Bjørkåsholmen	Røyken	1-2 m		
3aα, 3aβ	Alunskifer-3	Alunskifer-3	Alunskifer-3	Røyken	~80 m men stor variasjon		
2a-2e	Alunskifer-2	Alunskifer-2	Alunskifer-2	Røyken		Sen kambrium	501-488
1	Alunskifer-1	Alunskifer-1	Alunskifer-1	Røyken		Midt kambrium	513-501
	-	-	Biri Brøttum	Biri Brøttum	1500 m	Eokambrium	<542

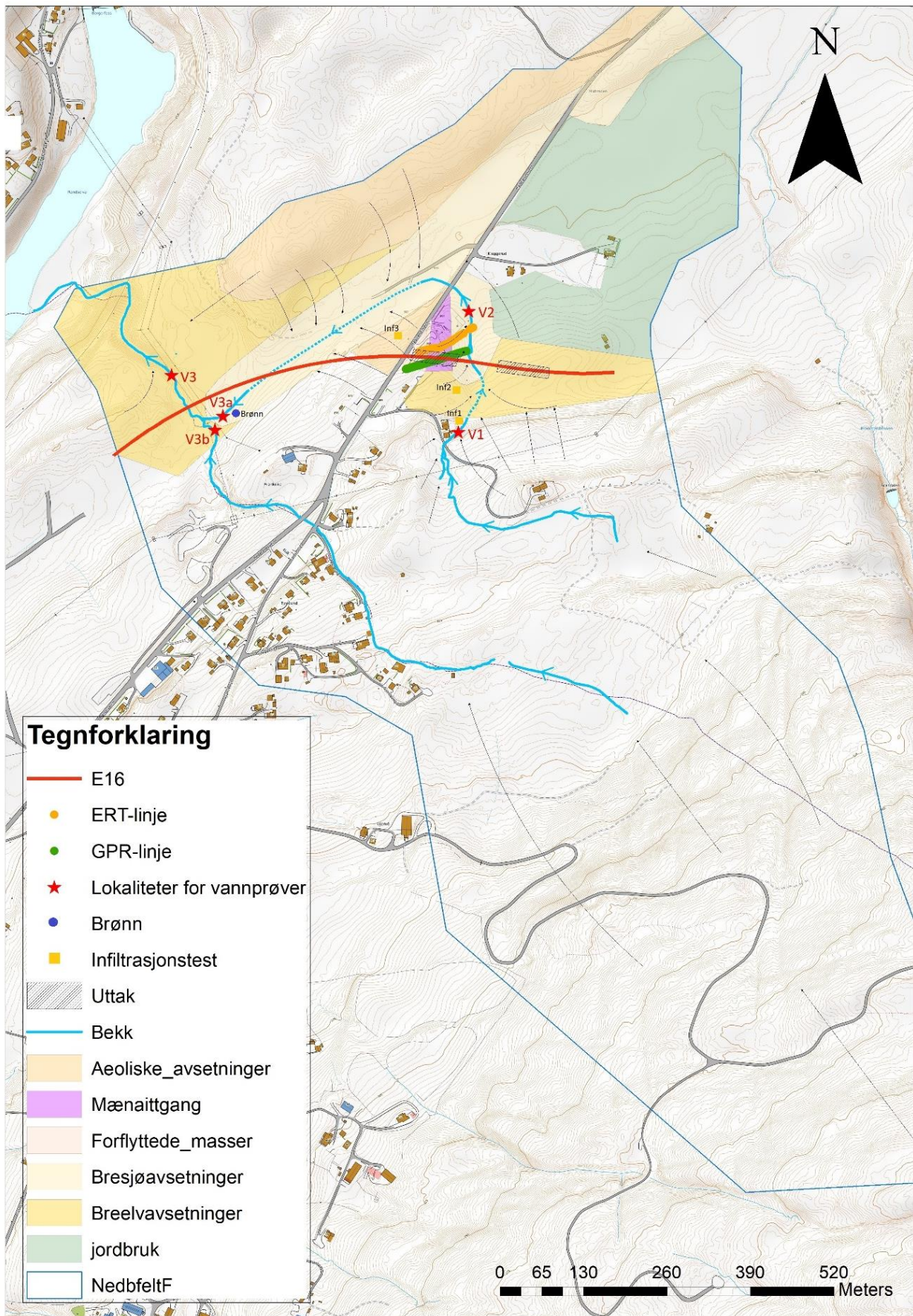
Midtveis i profilet (uttaksområde U1), i øvre del av veiskjæringen, støter man på det som trolig er en lokal utvikling av Bjørkåsholmen FM som ble avsatt tidlig i ordovicium (3aγ), og som senere er blitt gjennomslått av permiske intrusjoner (mænaitt dikes). Bjørkåsholmen FM ble avsatt under aerobe bunnforhold, og kjennetegnes ved at den består av svartkifer og leirskifer med lag av kalkstein og er omtrent 1 m tykk. I veiskjæringen kan man observere at svartkiferen har mer kalk i grunnmassen, samt innslag av kalklag. Sulfidene er hovedsakelig lokalisert i svakhetssoner/årer og er nokså velutviklet (euhedral) i den ellers massive matriksen. Lengst VSV i profilet støter man på en svartkifer som trolig er en del av Tøyen FM. Denne har et høyt svovelinnhold.

Løsmasser og hydrologi

Alle bekkene studert i denne oppgaven faller innenfor det samme lokale nedbørsfeltet og har samme opphav oppstrøms i fjellskråningen (Figur 7). Terrenget i nedbørsfeltet er utformet slik at vannstrømmen forgreiner seg i to bekkeløp. Det østlige bekkeløpet (V1-V2-V3a) renner gjennom anleggsområdet. Grensebekken (V3b) skjermes fra anleggsområdet på grunn av en rygg i terrenget, og er av den grunn trolig en god referansebekk. Nedstrøms for anleggsområdet renner bekken fra anleggsområdet inn i Grensebekken og renner videre ut i Randselva i nordvest.

Bekken i anleggsområdet er delvis influent og effluent og er indikativ for grunnvannsnivå i området. I områder hvor bekken er influent, er bekken grunnvannsmatet (tilsig fra grunnvann til bekk) og effluent vil si at bekken er grunnvannsmatende (taper vann til grunnvannet) (Bear, 2012). De stiplede linjene i bekkeløpet (Figur 7) indikerer områdene hvor bekken er influent. I perioder med høyere vannføring vil bekken være mer influent enn effluent.

Mellom prøvetakingspunkt V1 og V2 følger bekken konturene av berggrunnen og renner ned i en breelavsetning bestående av grove sedimenter før den kommer ut i dagen lenger nedstrøms, midt i anleggsområdet. Her renner bekken i en forsenkning i terrenget mellom de to uttaksområdene U1 (vest) og U2 (øst), og kommer derfor ikke i direkte kontakt med ferske svartskiferoverflater.



Figur 7: Oversiktskart over løsmasser i området og vannets strømningsveier basert på terrengets morfologi i området. Lokalt nedbørsfelt markert i blått.

Trau (lok. U2)

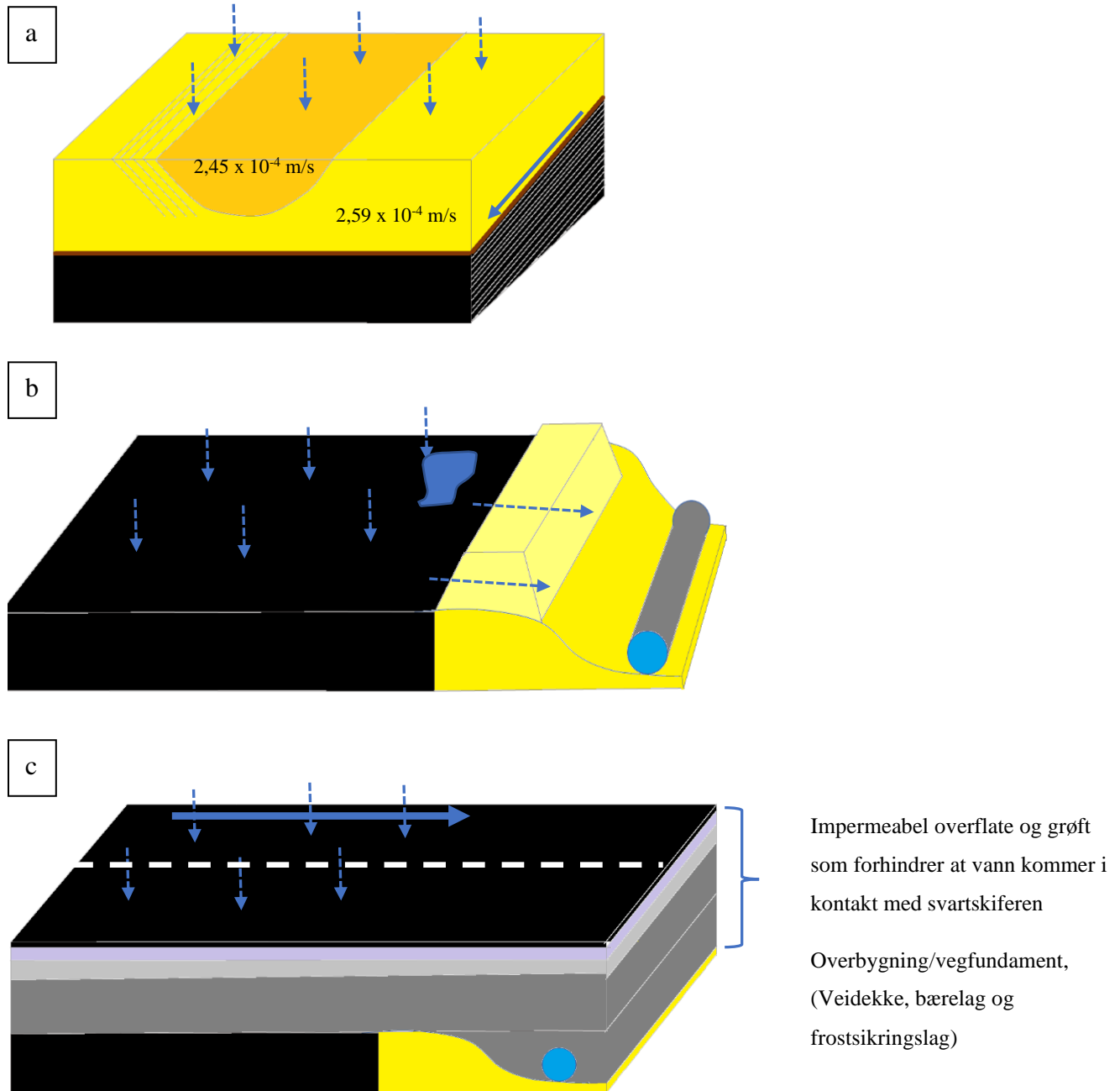
Svartskiferen var i dette området opprinnelig dekket av et 4-5m tykt lag med breelveavsetninger (Figur 8) som trolig ble avsatt i Kwartær i forbindelse med siste istid for 10 000 år siden (Nordahl-Olsen, 1994). Generelt er det observert fem ulike sedimenttyper i området: grove elvekanalavsetninger, sandige elvebanker, elvesletteavsetninger, aeoliske avsetninger og bresjøavsetninger (Figur 8). I følge løsmassekartet til NGU (Vedlegg 1) var store deler av området dekket av forvittringsmasser, men ved avdekking ned til svartskifer viste det seg å være elvekanalavsetninger.

Elvekanalen (Figur 8) ligger helt oppe i dagen og har en sør-østlig orientering. Den har en dybde på ca. 1-1,5 m og en bredde på 2-3 m. Størrelsen på blokkene/steinene varierer fra et par cm til 10-20 cm. Til venstre for den grove elvekanalen ble det observert skrå lag bestående av medium sand som trolig er pointbar avsetninger som avsettes i innersvingen i en meanderende elv. Stedvis ble det også observert tynne horisontale lag med silt/leire som muligens representerer flomsletteavsetninger (Nichols, 2009).



Figur 8: Det øverste bildet viser tverrsnitt av elvekanal med grove avsetninger i mai 2020 før avdekking helt ned til alunskifer. Skrå lag med godt sortert medium sand til venstre for elvekanalen er karakterisert som point bar avsetning. Bildet nedenfor viser samme område i juni 2020 etter avdekking, stabilisering av løsmasseskråning og pigging ned til traubunn. Overgangen fra breelavsetninger til den underliggende alunskiferen (2-3a). Alunskiferen er skifrig og skrår svakt mot NV.

Det antas at det er god drenering av vann i grunnen ved lokalitet V2 da de grove breelvavsetningene har god hydraulisk konduktivitet og terrenget er svakt skrående i NV-retning (Figur 9a). Den underliggende svartskiferen hadde en subhorizontal laginndeling og skrået i NV-rening.



Figur 9: Skisse av de opprinnelige grunnforholdene ved lokalitet U2 (trau). Breelvavsetninger (gul og oransje). Medium sand m/pointbar (gul) og grove elvekanalavsetninger (oransje). Tynt lag med forvitret svartskifer (brun) og svakt skrående alunskifer (2-3a) i retning NV.

Etter å ha fjernet det øverste laget av elvekanalavsetninger, forvitret svartskifer og 1-1,5 meter av den ferske svartskiferen, ble det eksponert en fersk svartskiferflate i felt (Figur 9 b), hvor det i nedbørsperioder ble observert små vannansamlinger på overflaten. Svartskifer

forvitret lett i kontakt med luft og vann, så i den korte perioden flaten var eksponert forekom det forvitring, men det var lite vann som drenerte fra den horisontale overflaten. Vann som drenerte fra overflaten ble først filtrert gjennom en sandvoll for å redusere partikkeltransport og rant deretter ned mot bekken som var lagt i rør. Ved konstruksjon av veien ble svartskiferen dekket av stabiliserende masser (frostsikringslag, bærelag, veidekke, etc.) (Figur 9 c). Bekken i området (V2, Figur 7) ble lagt i rør og hevet fra bakkenivå. Overflaten er impermeable med asfalt og grøfter av betong som forhindrer vannet i å drenere ned til svartskiferen i bunn av traue. Grøftene fanger også opp eventuelt tilsig fra grunnvann i skråningen oppstrøms for veitraseen.

Veiskjæring (lok. U1)

Veiskjæringen ligger på vestsiden av bekken i anleggsområdet (U1) (Figur 7). Den nordøstvendte skråningen ned mot bekken var dekket av alternerende lag med fin-medium sand og silt (Figur 10 & Figur 12a) som muligens representerer elvebankeavsetninger. Siltavsetningene kan være flomsletteavsetninger. Løsmassene er altså finere ved veiskjæringen (lok. U1) enn ved traue (lok. U2).



Figur 10: Alternerende lag med sand og silt i skråningen på vestsiden av bekk V2.

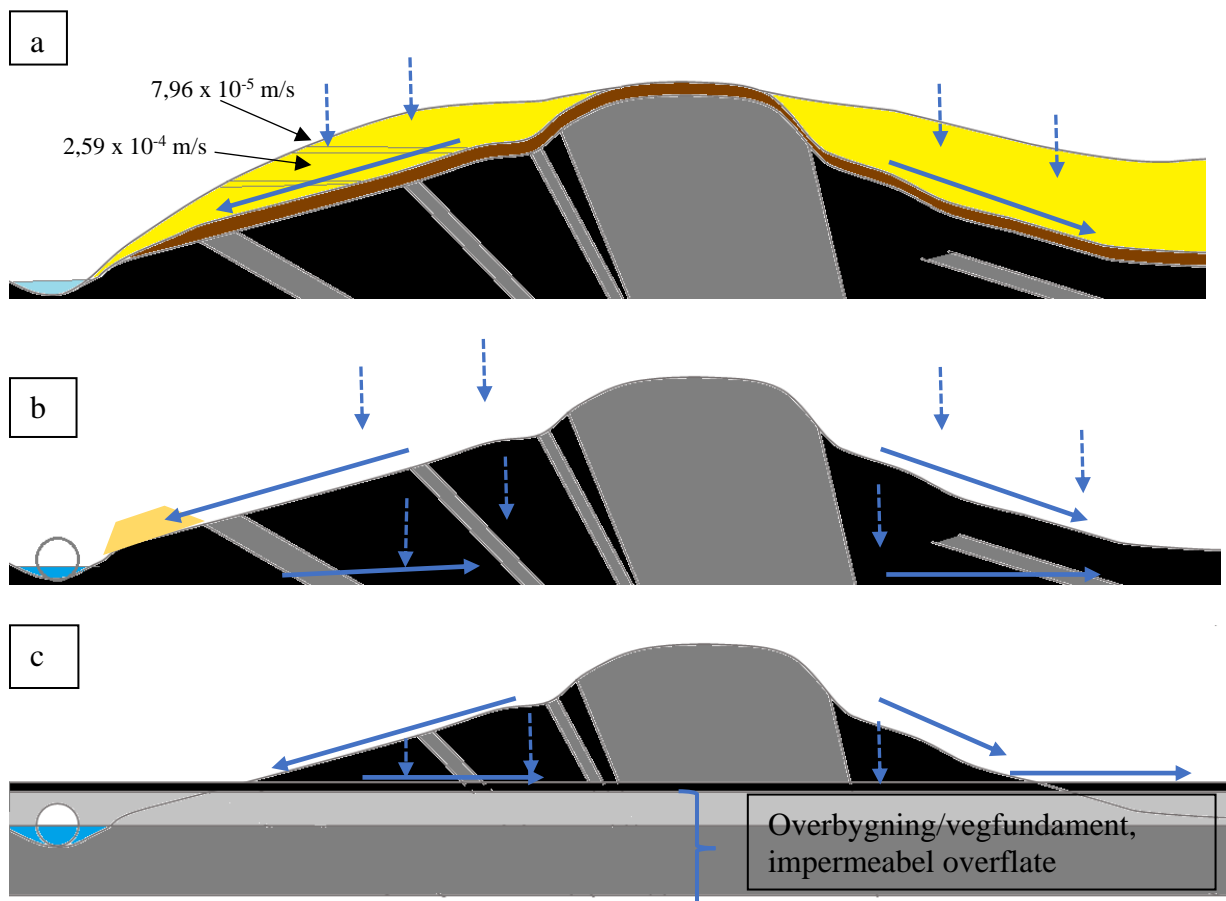
Bekken (V2) og de fuktige sedimentene rundt indikerer grunnvannsnivå i felt (Figur 13). Lenger opp i skråningen indikerer de tørre løsmassene og nylig eksponerte fjellflater både ved lok U1 og U2 at feltområdet ligger i umettet sone hvor det er tilgang på oksygen. I overgangen mellom løsmasser og svartskifer var det et 0,5-1 m tykt lag med forvitret svartskifer (Figur 12 & Figur 21), noe som vitner om god oksygentilgang i denne sonen. På terrengoverflaten til veiskjæringen ble det blant annet observert et rustfarget horisontalt bånd som vitner om fluktuerende vannstand i området gjennom tiden. Tatt kvartærgeologien i betraktning, kan forvitringen av svartskiferoverflaten pågått i flere tusen år. Svartskiferen har en

subhorisontal skifrihet som skråer i NV-retning og danner en impermeabel overflate. De grove løsmassene i området har god hydraulisk ledningsevne og det skrående terrenget og god hydraulisk konduktivitet kan føre til at vannet dreneres raskt fra dette området, og på den måten kan det tilføres nytt oksygenrikt vann i nedbørsperioder som bidrar til forvitring. I perioder med mye tørke vil grunnforholdene være relativt tørre. Det ble også boret en grunn brønn (1,5 m dyp) i løsmassene nedstrøms for uttaksområdet (Figur 7) hvor det ble målt at grunnvannet stod 30 cm over svartskiferen.

Ved utformingen av veiskjæringen ble de overliggende sedimentene fjernet, og svartskiferen ble dermed eksponert for direkte kontakt med atmosfæren både på overflaten og i tverrsnitt (Figur 11 & Figur 12b). Veidekket vil dekke deler av skjæringen, slik at totalt areal som eksponeres reduseres (Figur 12c). Ved ferdigstilling av veiskjæring skal terrengoverflaten dekkes til med løsmasser og vegetasjon for å magasinere nedbøren i området. Vann som drenerer gjennom løsmassene på toppen av veiskjæringen vil til slutt renne ned langs veiskjæringen. Svartskiferen har en sedimentær, svakt skrående laginndeling og er gjennomvannet av en stor dike av mænaitt og flere små sub-vertikale dikes og sills (Figur 11 & Figur 12) som også er med på å redusere eksponert svartskifer. Veibanen heller mot vest, og grøftevannet vil dreneres gjennom løsmasser og ut ved lok. V3a (Figur 7).



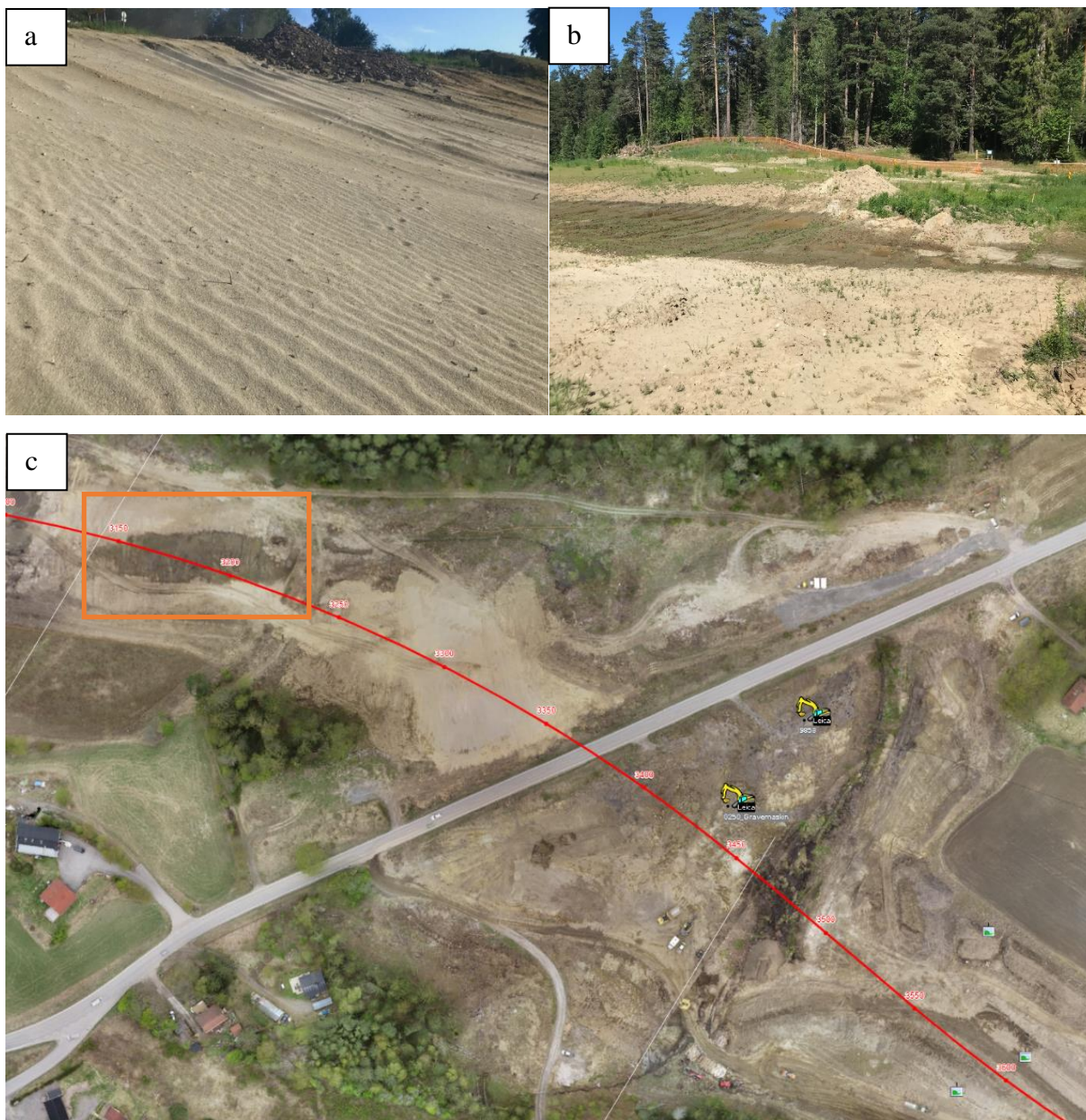
Figur 11: Veiskjæring i profil. Svartskiferen har svakt skrående, sedimentær laginndeling, mens mænaittgangen (lysgrå) til høyre i bildet er massiv (uten laginndeling). Svartskiferen er også gjennomvannet av flere små mænaittganger.



Figur 12: Tverrsnitt av veiskjæring før sprenging (a). Svartskiferen (svart) og mænaitten (grå) er overlatt av fin-medium sand (gul) med tynne lag av silt. I overgangen mellom løsmasser og svartskifer er det et 0,5 m tykt lag med forvitret svartskifer (brun). Bekken til venstre i profilet er svært grunn (3-4 cm) og renner delvis over løsmasser og delvis over svartskifer. Veiskjæring i uttaksperioden (b med sandvoller som filtrerer avrenning). Ferdigstil veiskjæring (c). Veibanen skrår svakt mot vest, slik at vannet vil dreneres ned mot bekk V3a (Figur 7)

Nedstrøms for svartskiferuttak

Mellom prøvetakingspunkt V2 og V3a forsvinner bekken på ny ned i løsmassene i et vannmettet område før den kommer ut ved lokalitet V3. Det vannmettede området ligger i en forsenkning i terrenget med tilsig fra både anleggsområdet og omgivelsene rundt og impermeabel svartskifer i bunn. Ved utgraving ble det identifisert som torv i en sandkropp. Myren ble gravd ut og stabilisert med fyllmasse. Løsmassene i dette området er ifølge NGU (Vedlegg 1) klassifisert som bresjøavsetninger, men det ble også observert aeoliske avsetninger (Figur 13a). Disse avsetningene ble dannet ved vinderosjon av breelvavsetninger kort tid etter at isen smeltet, før vegetasjonen fikk etablert seg i området. Består hovedsakelig av meget godt sortert medium til fin sand. Dette stemmer godt overens med kornstørrelsen som finnes i breelvavsetningene som er opphavsmaterialet (Nordahl-Olsen, 1994). Vannet fra veiskjæringen vil delvis dreneres gjennom de stedegne aeoliske avsetningene og en gruspute (pukk pakket inn i fiberduk) og videre til lok. V3a i bekken (se kart for overvannshåndtering i Vedlegg 11).



Figur 13: Aeoliske avsetninger (a) og myr (b) markert med oransje firkant i oversiktskart (c) VSV i feltområdet.

3.2 Værforhold og vannføring

Jevnaker ligger 142 m.o.h.. Klimaet i Jevnaker er preget av kalde vintre. Somrene er varme med lite nedbør i dalførene, mens fjellområdene opplever en kjøligere sommer med hyppigere nedbør. Den gjennomsnittlige årstemperaturen for Jevnaker er 3,8 °C (perioden 1971-2000), og den gjennomsnittlige årsnedbøren er på 660 millimeter (Klimaservicesenter, 2021).

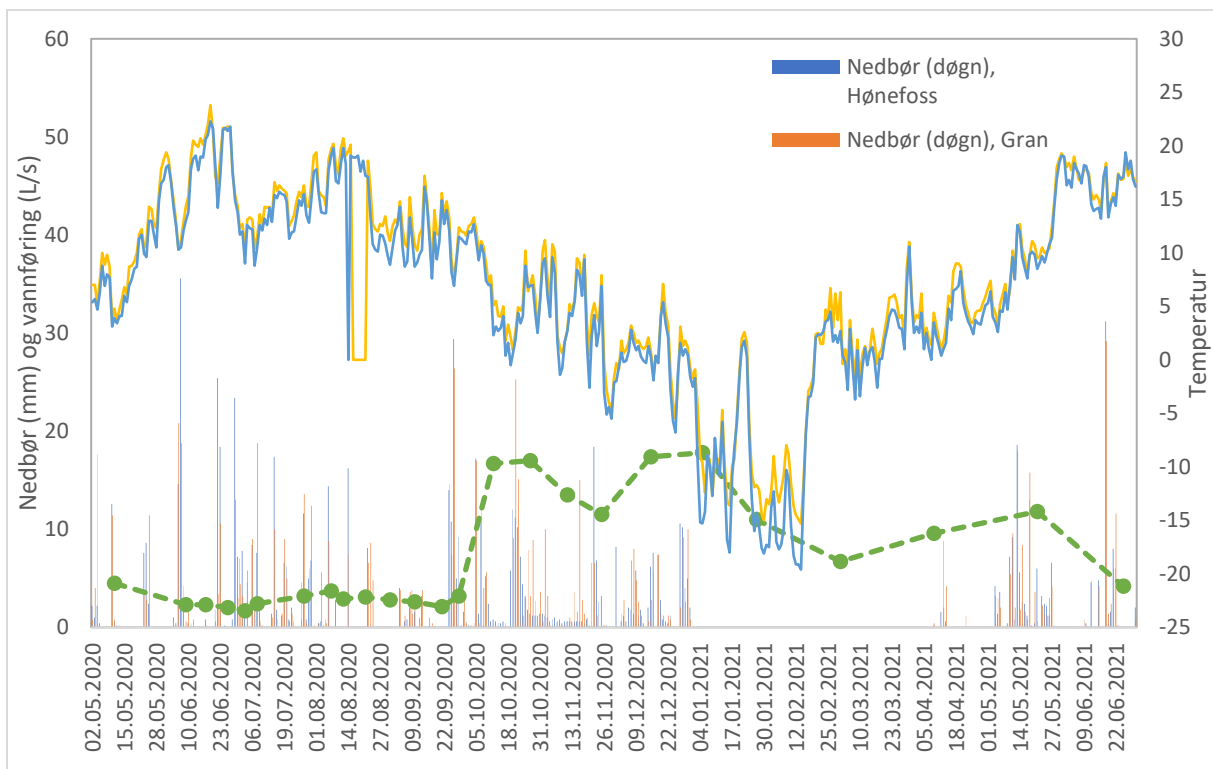
Nedbør kan påvirke mobiliteten av tungmetallene i anleggsområdet. I perioder med mye nedbør øker vannføringen og hastigheten i bekken og dermed vannets evne til å transportere svartskiferpartikler til nærmeste bekkeløp og videre ut fra anleggsområdet (Hjulström, 1935). Økt vannføring som følge av nedbør vil også føre til økt massetransport ut av området. Andre årsaker til økt vannføring kan være snøsmelting lenger oppe i Nordmarka.

Svartskiferuttaket pågikk i perioden 15. juni-september. Juni 2020 var juni preget av høy temperatur og få, men kraftige nedbørsbyger, etterfulgt av juli som var måneden med flest nedbørsdager. August og september hadde få nedbørsdager, men mot slutten av september økte nedbøren betraktelig og temperaturen sank.

Svartskiferuttaket pågikk i perioden juni-september(?). Perioden var preget av omtrent 11-12 dager med nedbør >10 mm/døgn. I perioden 15.juni til 30. juni var den gjennomsnittlige nedbørsmengden 1,9 mm i Gran og 4,9mm i Hønefoss. Den høye gjennomsnittsverdien i Hønefoss i juni skyldes 2 dager med >20 mm nedbør. Måneden med flest nedbørsdager og mest nedbør totalt var juli (sett bort ifra Hønefoss i juni), med en gjennomsnittlig nedbør på 3,4 og 3,5 i henholdsvis Gran og Hønefoss. August er måneden med minst nedbør, færrest nedbørsdager og lavest nedbørintensitet av alle med en gjennomsnittlig nedbør på 1,4 i Gran og Hønefoss og totalt 8 dager med nedbør. I september øker nedbørsmengden/nedbørsdagene til det dobbelte sammenlignet med august, med et gjennomsnitt på 2,45 i Gran og 2,9 i Hønefoss og totalt 14-16 dager med nedbør.

Det er i hovedsak juni og september som har de kraftigste nedbørsbygene med >20 mm/døgn. Vann fra nedbør og/eller tilsig fra grunnvann kan også føre til vannansamlinger i forsenkninger i overflaten av svartskiferen. Da vil vannet få tid til å reagere med den ferske svartskiferen, og ved pumping/drenering av dette vannet ut i bekken kan føre til utslipp av tungmetaller som Cd, Ni og U.

Vannføringen ved lokalitet V1 ble ikke målt, da bekken hadde svært lav vannføring og ofte var tørr -særlig i de varme sommermånedene med lite nedbør. Vannføringen midt i anleggsområdet (V2) lå mellom 0,1-1,7 L/s, hvor den laveste vannføringen ble målt i juni 2020 som var preget av tørt vær og den høyeste vannføringen ble målt i april-mai 2020 hvor snøsmeltingen kan påvirke vannføringen (seklima.no). Det ble ikke utført kontinuerlige målinger da vannføringen generelt var lav og tidvis for lite vann til å foreta en god måling av umettet strømming. Sedimentene nært bekken (V2) var fuktige selv i «tørre» perioder, noe som indikerer mettet grunnvannsstrømming i området. Mettet vannstrømming har en betraktelig lavere hastighet enn bekker på overflaten, og vil øke vannets oppholdstid i området. Lokalitet V3a lenger nedstrøms hadde litt høyere vannføring på 0,1 - 4,1 L/s, men dette området får også tilsig fra et større område. Videre renner vannet fra Kleggerudbekken inn i Grensebekken (V3) hvor vannføringen er høyest med 1,7 – 17,8 L/s (Figur 14). Det vil føre til en fortykning av massetransporten fra Kleggerudbekken. Det er lokalitet V3 som er viktigst med tanke på transport ut av anleggsområdet.



Figur 14: Værdata for perioden svartskiferuttaket ved Jevnaker pågikk. Nebørmengde per døgn (mm) er illustrert som søyler og temperatur som kurver. Jevnaker har ikke egen værstasjon, og dermed er det anvendt værdata fra nærmeste værstasjon nord (Gran) og sør (Hønefoss) for Jevnaker. Grønne punkter angir målt vannføring ved lokalitet V3 (Skanska), og stiplet linje antyder mulig vannføring basert på enkeltmålingene.

3.3 Anvendte teknikker ved uttak av svartskifer

Borekjerner, AEM, ERT og vannprøver ble utført av NGI (2014) i forkant av prosjektoppstart. Godt forarbeid i form av grunnundersøkelser, tilpasning av vegtraseen og egnede uttaksmetoder kan være med på å redusere mengden svartskifer som tas ut fra anleggsområdet. Et tiltak for å redusere svartskiferuttaket er å skille godt fjell fra dårlig fjell. God kjennskap til vannveiene i felt og forebyggende tiltak kan være med på å redusere avrenningen underveis. De ulike teknikkene er beskrevet nedenfor.

3.3.1 Skraping og pigging i traue

I dette området ble det i første omgang fjernet et lag med elveavsetninger med en mektighet på ca. 4 meter for å komme ned til svartskiferen. Et tynt dekke av kompaktert sand ble etterlatt for å beskytte svartskiferen mot unødig forvitring frem til oppstart av svartskiferuttak. For å beskytte mot avrenning fra svartskiferen i nedbørsperioder, ble det utformet en sandvoll for å redusere transport av svartskiferpartikler med vannet før det renner videre ut i bekken (V2) (Figur 7 & Figur 15).



Figur 15: Bilde fra lokalitet U2 hvor det ble utført pigging av svartskifer i traue ved hjelp av gravemaskin utstyrt med pigg og bulldosere. For å beskytte bekken (V2) vest for uttaksområdet fra svartskiferpartikler ble det laget sandbanker og bekken ble lagt i rør.

Skraping

Under løsmassene/elveavsetningene ble det avdekket et 0,5-1 m tykt lag med forvitret svartskifer. Forvitret svartskifer kjennetegnes ved at det er rustrødt på farge, mykt/oppsmuldret og med en leiraktig konsistens. På bakgrunn av pXRF-prøver utført av Skanska ble det avklart at den forvitrede svartskiferen ikke hadde syredannende potensial eller forhøyede uran-konsentrasjoner og kunne derfor gjenbrukes som fyllmasse. Det forvitrede laget ble skrapet bort med forsiktighet for å unngå å rive løs underliggende fersk svartskifer. Den forvitrede svartskiferen ble gjenbrukt som fyllmasse under gresset i midten av på-/avkjøringsramper.

Pigging

Ved uttakslokalitet U2 behøvdtes kun å ta ut et 0,5-1m tykt lag med svartskifer ned til traubunn. Arealet på området var omtrent 5387 m². Det ble besluttet å pigge løs dette tynne laget med svartskifer da sprengning kunne føre til at man tok ut mer svartskifer enn nødvendig. Gravemaskinene som er utstyrt med GPS som er kalibrert i forhold til terrengoverflaten og ønsket traudybde og har en presisjon på 1-2cm. Ved pigging utstyres gravemaskinene med en «pig» som benyttes til å hakke løs svartskiferen. På grunn av de skifrige og glatte egenskapene til svartskifer er det vanskelig for en gravemaskin å få tak i materialet med en vanlig skuff. Derfor ble det anvendt to bulldosere som jobbet i «vaffelmønster» for å skrape bort den løse svartskiferen i hauger. Denne metoden ble valgt da pigging regnes som mer skånsomt enn sprengning som kan gå for dypt og fjerne unødvendig mye svartskifer fra grunnen.

Pigging og skraping kan derimot føre til mye støv-forurensing. Både hamringen i seg selv og beltevognene som beveger seg over svartskiferen vil bidra til dette. Prøvemateriale hentet ut fra steinrøysen i dette området indikerer at svartskiferen i stor grad består av mye finmateriale. Støvet kan transporteres med vind og nedbør ut i den nærliggende bekken og videre ut i miljøet. Av hms-hensyn ble det satt opp en støvmåler på nærmeste eiendom for å undersøke luftkvaliteten.

3.3.2 Sprengning av veiskjæring

Mænaittgangen ble observert i felt (Bazin & Lysdahl, 2014)men ble ikke kartlagt med de geofysiske målingene. Basert på grunnundersøkelsene ble det bestemt at man skulle heve veilinjen og ta ut minst mulig svartskifer fordi den viste seg å ha et høyt sulfid- og uraninnhold. Ved veiskjæringen ble det besluttet å ved hjelp av sprengning skille svartskifer fra mænaittgangen («godt fjell»). Hvordan dette ble utført og hvilke konsekvenser det hadde for støv, vannets strømningsveier og vannkvalitet er beskrevet i resultatdelen.

Sprengningen av svartskiferen i veiskjæringen ble gjort i flere omganger (5 små salver) da det også her var fokus på å ikke fjerne mer svartskifer enn høyst nødvendig.. Den skifrige og sprø egenskapene til svartskifer gjør at den lett pulveriseres og man må ta høyde for at svartskiferen pulveriseres 0,5 m under boreddybde. Dermed ble borehullene underboret 0,5 m. Ved første sprengningsrunde ble borehullene plassert med en avstand på 1,5 m fra mænaittgangen. Det ble boret en kontursøm (Figur 16) på hver side av veiskjæringen som skulle sprenges ut. En kontursøm er med på å definere/avgrense området som skal sprenges ut (langs kontursømmen vil energien fra sprengladningen beveger seg oppover i stedet for ut til sidene), samtidig som det vil bidra til å skape jevnest mulig overflate i fjellveggen. Med bakgrunn i tidligere erfaringer ved sprengning av svartskifer, ble det her brukt en lavere dose sprengstoff. Sprengningen var vellykket og svartskiferen løsnet i store blokker parallelt med mænaittgangen, men med god margin (1 m inn til mænaittgang, 1,5m dypt).



Figur 16: Fordeling av sprengstoffhull ved pallsprenging inn til mænaittgang (a). Kontursømmen langs sørlige veiskjæringsflate er indikert med røde piler. Nærbilde av tett kontursøm (b).

Den siste meteren med svartskifer inn mot mænaitten ble fjernet forsiktig ved hjelp av gravemaskin. Deretter ble den store mænaittgangen sprengt ut (4 salver) og separert fra svartskiferen. Mænaittgangen hadde en bredde på 20-30 m og en høyde på 3—5 m. Da mænaitten regnes å være god stein, resulterte dette i en betydelig reduksjon i mengde materiale som må kjøres på deponi. De tynne intrusive dikene som går gjennom svartskiferen på nord-østlig side av veiskjæringen var det derimot ikke mulig å skille fra svartskiferen rundt.



Figur 17: Maskinelt uttak av siste 1-1,5 m med svartskifer inn til mænaittgangen (rustrød). Omtrentlig grense mellom mænaitt og svartskifer markert med blå strek.

3.3.3 Gjenbruk eller deponering av løsmasser

De overliggende sedimentene og den forvitrede svartskiferen ble gjenbrukt som fyllmasse på prosjektet. Det samme gjelder mænaitten, som er stein som egner seg godt som byggemateriale.

Ellers ble både svartskiferen fra Alunskifer FM og Bjerkåsholm FM mellomlagret ved lok U2 i noen få døgn før det ble kjørt til deponi på grunn av sitt høye innhold av uran.

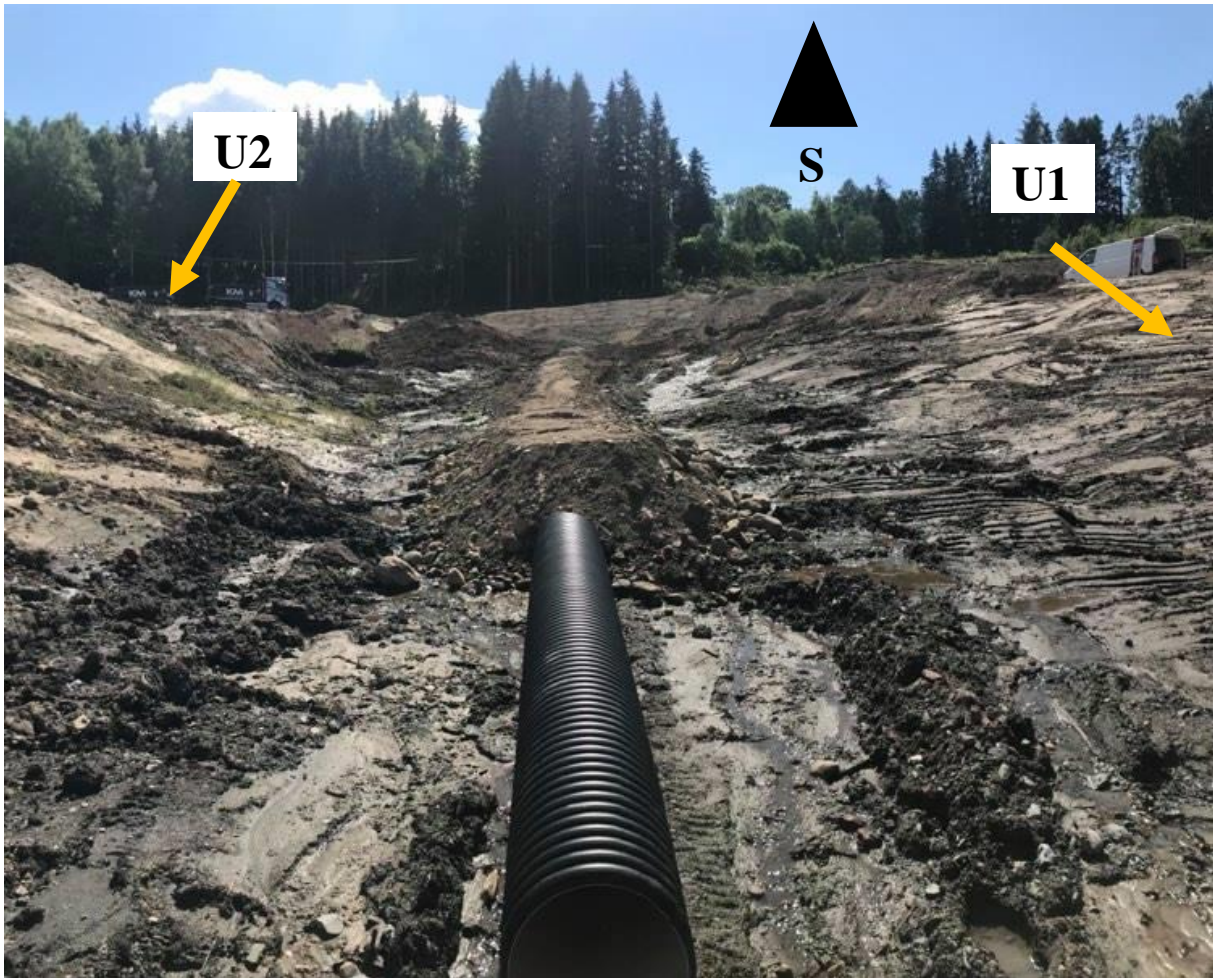
Gravemaskinene er i stand til å fjerne det meste av oppknust svartskifer, men de siste restene av finstoff er vanskelig å få opp fra bakken. Dermed vil det ligge finstoff av svartskifer igjen, gjerne tilsvarende kornstørrelsene som er brukt i dette kolonneforsøket.

3.3.4 Håndtering av overflatevann i anleggsområdet

Bekk

For å unngå tilslamming av bekkevannet som kom oppstrøms fra skråningen (V1) ble den lagt i rør gjennom anleggsområdet (Figur 18). Røret så ikke ut til å fungere optimalt i perioden svartskiferuttaket pågikk da bekken er stedvis influent og effluent. Bekkevannet oppstrøms for røret ble infiltrert ned i løsmassene før det nådde frem til røret, og nedstrøms for røret rant mesteparten av vannet ut fra løsmassene under/langs sidene av røret. Dermed kan noe

av vannet komme i kontakt med svartskiferstøv fra anleggsområdet. Sommeren var preget av høy temperatur, lite nedbør og lav vannføring. Lavere vannmetning i sedimentene. Vannet drenerte dermed ned i den umettede sanden og kom ut lenger nede i terrenget i stedet for å følge røret. I perioder med mer nedbør og høyere vannføring vil røret trolig fungere optimalt. Som beskrevet i kapittel 3.1 ble denne bekken lagt fullstendig i rør og dekket til av veien.



Figur 18: Bekk (V2) i rør. Fuktige løsmasser og små "renner" med vann indikerer at noe vann også renner utenfor røret. Lokalitet U1 er vest for bekken og U2 i øst.

Vannansamlinger

I løpet av perioden for utgraving av svartskifer oppstod det vannansamlinger i noen forsenkninger i den ferske svartskiferoverflaten – en stor dam ved U1 (Figur 19a), og en liten dam ved U2. Disse dammene kan ha oppstått som følge av nedbør og/eller tilsig fra grunnvann. Det er ikke gunstig å la vannet stå og reagere med svartskiferen over lang tid, så disse dammene ble drenert og naturlig filtrert av de stedege massene i området.

På vannoverflaten kunne man observere manganutfelling fra svartskiferen (Figur 19, b). Manganutfelling kjennetegnes ved at det danner en «oljelignende» hinne på vannoverflaten som «sprekker opp» dersom man rører i det i motsetning til olje.



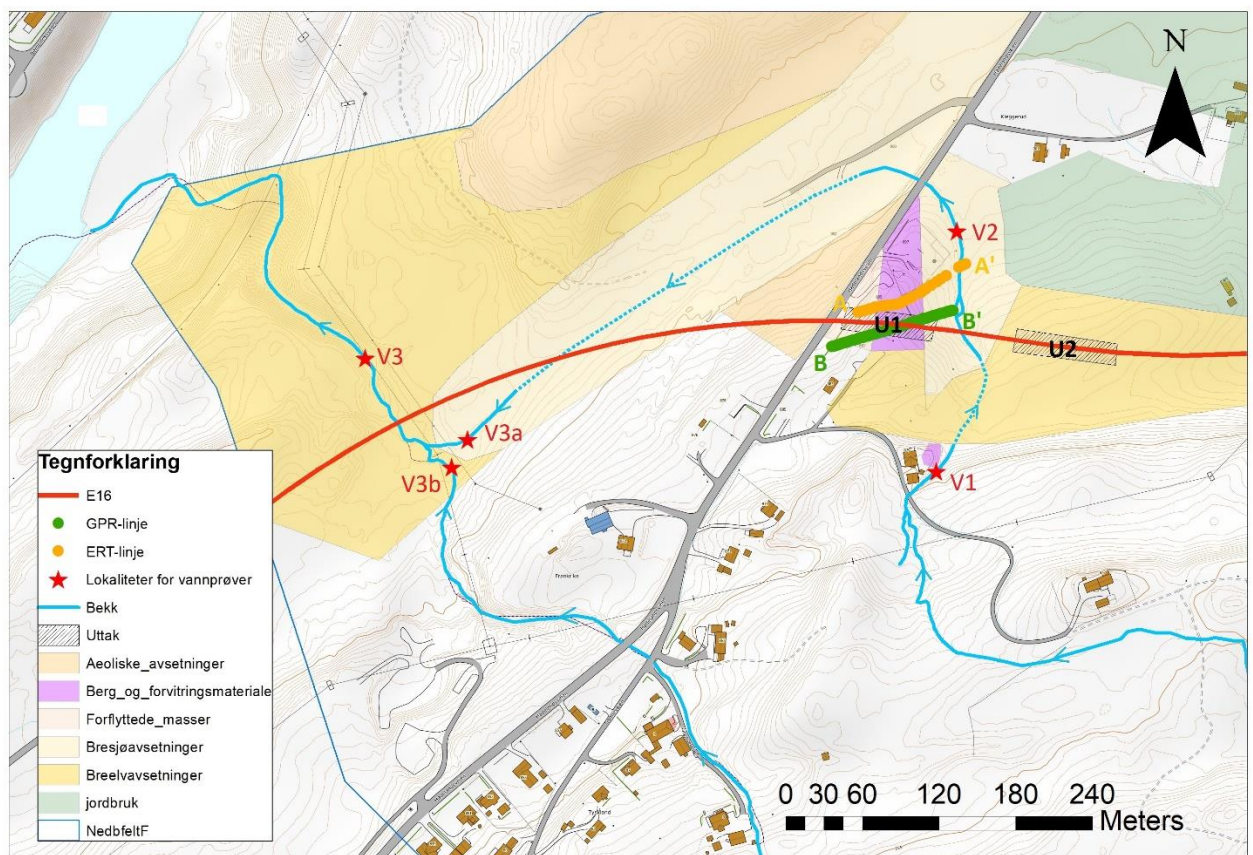
Figur 19: Dronefoto (a) fra anleggsområdet som viser vannansamling (markert med pil) i veiskjæringen (lok. U1), og nærbilde av manganutfelling i vanddammen (b).

4 Metoder

Kapittelet om metoder er inndelt i to deler. Første del beskriver metoder anvendt i feltarbeid som geofysiske målinger, uttak av svartskiferprøver og vannprøver i bekk. Del to omhandler labarbeid i forbindelse med analyse av vannprøver og kolonneforsøket.

4.1 Prøvelokaliteter/Feltarbeid

I Figur 20 er de ulike prøvetakingslokalitetene markert i et kart over feltområdet, og angir datoer for diverse målinger og observasjoner i felt.



Figur 20: Kart med oversikt over alle prøvelokaliteter. Bergartsprøvene er hentet fra de skraverte feltene U1 og U2 (henholdsvis veiskjæring og trau). Vannprøvene er tatt fra lokalitetene markert med røde stjerner. Bekken er markert med stiplet linje hvor den forsvinner ned i grunnen.

Tabell 3: Oversikt over tidspunkt for diverse målinger og observasjoner i felt.

Dato	Vannprøver	Andre målinger og observasjon i felt
06.05.2020	V1, V2	Løsmassedekket før uttak
15.06.2020 -		Forebyggende tiltak før uttak (bekk i rør, sandvoller, etc.) Oppstart av pigging ved lok. U2
21.06.2020-22.06.2020		ERT & GPR. Boring av brønn.
24.06.2020	V2	Infiltrasjonstester
26.06.2020		Avdekking ned til fjell ved lok U1. Fjerning av forvitret svartskifer.
01.07.2020		Sprengning av første salve i veiskjæring (øst)
02.07.2020	V1(tørr), V2, V3a(tørr), V3b, V3	
12.08.2020	V1, V2, V3a, V3b, V3, Brønn, Vanndam v/lok U1	Bygging av oppsamlingskum/dam og V3a lagt i gruspute Observerte vanndam ved veiskjæring
17.09.2020	V1 (tørr), V2 (ikke mulig), V3a, V3b, V3, Brønn	
12.10.2020		Hele V2 lagt i rør
18.12.2020		Veiskjæring åpnet helt opp

4.1.1 Geofysiske undersøkelser (ERT & GPR)

Geofysiske metoder gir indirekte informasjon om geologisk lagdeling, dybde til fjell, m.m. I studiet ble det benyttet ERT og GPR og spesifikke valg for metodene er beskrevet nedenfor, men mer inngående forklaringer kan leses i Reynolds (2011) og/eller Binley og Slater (2020). Formålet med de geofysiske målingene var å kartlegge dyp til fjell, lagdelinger i svartskiferen, om man kunne skille svartskifer fra mænaittgangen.

ERT- og GPR- profilene ble satt opp parallelt med hverandre for å kunne sammenligne data og se hvilken metode som egnet seg best for å kartlegge svartskiferforekomsten og den intrusive mænaittgangen (Figur 24). ERT-målingene ble utført ved profil A-A' og GPR-

målingene ved profil B-B'. Profilet for GPR-målingene er forskjøvet litt mer sørvest i forhold til ERT-profilet for å unngå interferens med den pågående ERT-målingen.

ERT

Elektrisk resistivitets tomografi (ERT) er en geofysisk metode som brukes for å identifisere stratigrafien i et gitt område basert på endringer i de bergartenes elektriske ledningsevne. Som navnet indikerer, måler ERT et materials evne til å motstå en elektrisk strøm (Ohm) (tilsynelatende resistivitet). Det er altså det motsatte av elektrisk ledningsevne (Siemens), som beskriver hvor lett et materiale leder en elektrisk strøm. Ulike materialer har ulik evne til å lede strøm.

Dipol-dipol metoden ble brukt, da den er sensitiv til horisontale variasjoner og dermed seg best til deteksjon av vertikale strukturer, i dette tilfellet en mænaitt dike (Okpoli, 2013). Oppsettet består av sett med 4 elektroder i en serie bestående av maks 96 elektroder. To elektroder sender strøm ned i bakken (Am), mens 6 elektroder måler potensial (V).

ERT-kabelen ble lagt ut i samarbeid med Sara J. Ayad (MSc-student), Leif V. Jakobsen (overingeniør) og Andreas O. Harstad (geolog, Skanska). Det ble plassert ut 96 elektroder (48 elektroder på hver side av ERT-instrumentet (SYSCAL Pro)) hamret ned i sedimentene med 1 meters avstand. Deretter ble elektrodene festet til kabelen som er koblet til instrumentet for ERT-målinger, Syscal Pro (Iris instruments, Frankrike). For å unngå at senter av ERT-linjen/profilet stod midt på mænaittgangen som skulle kartlegges, ble ERT-instrumentet (senter) forskjøvet ca. 18 meter øst for mænaittgangen.

I forkant av målingene ble det utført en såkalt «RS-sjekk» for å sjekke at kontakten mellom elektrodene og sedimentet var tilstrekkelig. Verdier ≥ 20 KOhm indikerte dårlig kontakt, og disse elektrodene ble derfor forsøkt hamret lenger ned i bakken og/eller fuktet med vann. Til tross for at den siste RS-sjekken var god, viste sluttresultatet at kontakten til flere av elektrodene var utilstrekkelig da avvikene var ganske høye. Dette skyldes trolig de tørre sedimentene i området og tynt dekke på midten av linjen.

Målingen ble utført med settingen: Save energy, og maksimal spenning, $V_{AB-max} = 800V$. Strømsyklusen (evs. Veksling mellom + og – på strøminjeksjonselektrodene) ble satt til 2 sekunder. Målingene ble gjentatt med to ganger der strøminjeksjon og spenningselektrodene ble byttet (normal and reciprocal), disse sammenliknes for å sikre best mulig kvalitet på målingene, målinger med stort avvik ble fjernet fra datasettet før de ble invertert i programmet Res2Dinb (Loke, ref. år). I tillegg til resistivitet ble, ble induert polarisasjon (IP, Induced

Polarization) målt, det vil si hvor lang tid den elektriske ladningen henger igjen i sedimentene. Dette er avhengig av partikkel overflater, jo større overflatene er i sedimentene jo lengre tid tar det før ladningen er tilbake til utgangspunktet.

Prosessering av data ble utført av Helen K. French i programmet Res2Dinv. Et stort avvik mellom første (normal)- og andregangsmålingen (resiprokal? Invers?) indikerer dårlig kontakt og usikre data.

GPR

Georadar (ground-penetrating radar (GPR)), er en geofysisk metode som danner et bilde av grunnforholdene ved hjelp av elektromagnetiske impulser som sendes ut. Bølgene beveger seg nedover i grunnen helt til de støter på en endring i de elektromagnetiske egenskapene til berggrunnen eller et objekt som forårsaker en refleksjon av bølgen tilbake til overflaten. Den reflekterte bølgen vil da registreres av en mottakerantenne. Dataene lagres i en feltdatamaskin med et display hvor man kan se målingene/linjen som er utført.

Georadar utstyr fra Sensors & Software ble brukt til å analysere berggrunnen i området. Instrumentet består av en sender og en mottaker og en felt-datamaskin som viser det skannede området. Senderen og mottakeren er laget av fiberoptiske kabler, noe som reduserer støyen i datasettet. Normalt sett er instrumentet festet på en vogn/tralle med hjul, men på grunn av en ujevn terrengoverflate i feltområdet var det nødvendig å utføre målingen manuelt i stedet. Dette forhindret også artefakter forårsaket av interferens mellom de elektromagnetiske bølgene før de nådde tilbake til overflaten.

Et målebånd ble brukt til å markere hvor linjen skulle gå (100 m lang), samtidig som det var nyttig i forbindelse med manuell bruk av instrumentet. Linjen ble lagt parallelt med ERT-kabelen, men med tilstrekkelig avstand ($\cong 10\text{m}$) for å forhindre støy fra ERT-målingene. Ettersom støysignalene fra ERT-instrumentet er kjent, var det mulig å ekskludere disse ved senere databehandling. Under målingen ble sender og mottaker holdt manuelt med en avstand på 2 m, og forflyttet med et «scanne intervall» på 0,5 m. Senderen ble stilt inn på en lav frekvens, 50 MHz, for å få best mulig dybderekkevidde.

Stor spesifikk overflate og metaller og salter i bergarten vil gjøre til at bølgene dispergerer og man får dårlig signal. Dette er forventet, da svartskifer har høy ledningsevne på grunn av høyt metallinnhold.

4.1.2 Prøvelokaliteter/Feltarbeid

Prøvene ble tatt den 25. juni og 12. august fra traug og veiskjæring ved Kleggerudkrysset (Tabell 4). Grunnen til at prøvene ble tatt her var at de representerer to ulike typer svartskifer skulle tas ut fra området som antas å ha ulike egenskaper. Svartskiferen ved lok U2 ble identifisert som alunskifer, mens den ved lok U1 ble kategorisert som en mer kalkholdig svartskifer. Maskinelt uttak av svartskifer hadde allerede startet da prøvene skulle tas, så svartskiferen ble hentet fra en haug med utgravde masser (Figur 21). Forvitret svartskifer ble observert i den øverste 0,5-1 meteren av bergoverflaten ved lokalitet og ble hakket løs fra overflaten der hvor veiskjæringen skulle gå (lok. U1, Figur 20). Den kalkrike skiferen ble hentet fra massive blokker som ble sprengt ut fra selve veiskjæringen.

Tabell 4: Oversikt over bergartstyper, hvilke prog. tidspunkt for prøvetaking.

Uttaks-lokalitet	Prøvenavn	Mengde	Dato	Kommentar
U2	SS	Ca. 40 L (4 bølter)	25. juni 2020	Hentet fra en haug med utgravde masser fra traubunn. Fersk alunskifer. Ingen synlig forvitring.
U1.1	FS	10 L bølte	12. august 2020	Hentet fra overflaten av veiskjæringen. Sterkt forvitret svartskifer (rustrød og leiraktig konsistens)
U1.2	KS	10 L bølte	12. august 2020	Hentet fra massive blokker sprengt ut av veiskjæring. Ekvivalent til Bjerkåsholmen Formasjonen.



Figur 21: Alunskifer (SS) pigget fra traug (lok. U2), kalkrik svartskifer (KS) fra veiskjæring (lok. U1.2), B; forvitret svartskifer (FS) fra veiskjæring (U1.1).

4.1.3 Vannprøver av overflatevann i felt

Vannprøvene ble tatt fra Kleggerudbekken om renner gjennom anleggsområdet. Prøvene ble tatt ved tre lokaliteter; oppstrøms fra anleggsområdet (V1), midt i anleggsområdet (V2), nedstrøms for anleggsområdet (V3a). Kleggerudbekken renner ut i Grensebekken. Dermed ble det også tatt prøver fra Grensebekken oppstrøms (V3b) og nedstrøms for knutepunktet mellom Kleggerudbekken og Grensebekken (V3).

Ved innhenting av vannprøver ble en 0,5L flaske holdt på skrå under vannoverflaten motstrøms der hvor vannstrømningen var høyest. Flasken ble fylt helt opp til korken for å unngå luftbobler i flasken. Ved noen lokaliteter var vannføringen svært lav noe som gjorde det vanskelig å fylle flasken helt opp. I disse tilfellene ble korken brukt til å fylle flasken helt opp. Det ble også tatt ut 15 mL filtrerte prøver til ICP og IC i felt ved bruk av en sprøyte og et 0,45 µm filter.

Vannprøvene ble oppbevart i kjøleskap ved 4 grader frem til videre behandling/analyse dagen etter. På lab ble vannets pH, alkalinitet og konduktivitet målt. ICP-MS prøvene ble syrekonservert (total – og filtrert prøve).

4.1.4 Infiltrasjonstest i løsmasser

For å måle den hydrauliske ledningsevnen til løsmassene i felt ble det anvendt et Mariotte-infiltrometer i henhold til metoden beskrevet i en rapport fra Norsk Vann BA (2010).

På det tidspunktet infiltrasjonstestene ble utført var toppdekket/jordsmonnet fjernet, og testen ble utført direkte på de underliggende breelvvavsetningene i området.

Infiltrasjonsskapiteten (Q) ble målt helt til den stabiliserte seg - totalt 20-25 ganger ved hver lokalitet. Gjennomsnittet av de 4-5 siste målingene hvor infiltrasjonsskapiteten hadde stabilisert seg ble brukt til beregning av hydraulisk ledningsevne (K_s).

$$Q_{\text{ut fra kolonne}} = Q_{\text{inn i sediment}}$$

Formel for beregning av K_s :

$$Q = K \times A \times i = K(a^2 + 4ab) i \quad \text{Formel 10}$$

Hvor a = bredden på hullet/svampen som settes ned i jorden (25 cm), og b = konstant vannivå i hullet.

4.2 Labarbeid/Kolonnestudie

Hensikten med kolonneforsøket var å simulere utlekkingsforholdene som forekommer naturlig ved veiskjæringer i svartskifer når den utsettes for vann og luft, men under mer kontrollerte forhold. En veiskjæring vil typisk utsettes for nedbør etterfulgt av tørkeperioder. Dette vil føre til forvitring, og ved neste nedbørsperiode kan noe av det forvitrede materialet skylles av veiskjæringen og føre til en «first flush» av vann som inneholder mye tungmetall og sulfat. Disse forholdene ble forsøkt gjenskapt i lab ved hjelp av vanning av kolonner med god drenering slik at materialet ble fuktet og fikk en tynn vannfilm på overflaten, men ikke ble stående i vann over tid. Forsøket bestod av totalt tolv kolonner med fire ulike kolonnetyper, fin- og grovkornet alunskifer, samt grovkornet forvitret svartskifer og kalkrik svartskifer (ekv. Bjørkåsholm FM).

4.2.1 Prøvepreparasjon

4.2.1.1 Knusing og fraksjonering/sikting

Svartskiferen fra prøvelokalitet U2 var allerede ganske godt oppknust på forhånd på grunn av uttaksmetoden (pigging). Prøvematerialet ble knust ytterligere ved hjelp av en kjeftknuser for å oppnå ønsket kornstørrelse. Svartskifer er en lettknuselig/sprø bergart, og ved oppknusing ble det produsert en god del finstoff. Selv om finstoffet er å regne som typisk for svartskiferuttak (pigging/knusing), var det av ulike årsaker ikke ønskelig med for mye av dette i kolonnematerialet. Finstoffet kan forhindre god vann- og luftgjennomstrømning i kolonnene, samt at det kan tette utløpet/slangen i bunnen av kolonnen.

For å unngå for mye finstoff i kolonnene ble materialet siktet ytterligere for å sortere ut den fineste fraksjonen (<0,6 mm). Den ferske svartskiferen (SS) ble knust og siktet til fraksjonene 0,6-2mm og 2-6mm for å undersøke effekten av økt spesifikk overflate på oksidasjonsraten og utlekkingen. Forvitret svartskifer (FS) og den kalkrik skifer (KS), ble knust til fraksjonen 2-6 mm.

Selv om finstoffet ble fjernet fra SS (2-6mm), var det fremdeles denne fraksjonen som skilte ut mest finstoff i løpet av kolonneforsøket. Dette skyldes finstoff på overflaten av kornene som ikke ble fjernet under siktingen. Dersom man skulle unngått dette måtte man ha vasket materialet på forhånd. Ikke ønskelig da det ville gi et forsprang i forvitningsprosessen i forhold til de andre kolonnene. Og dessuten, vil det naturlig forekomme finstoff i naturen.

De oppknuste prøvene ble helt over i et siktetårn med fraksjonene 6 mm, 4 mm, 2 mm og 0,6 mm og plassert i en siktemaskin i 3 minutt. Prøvene ble siktet i relativt kort tid grunnet svartskiferens evne til å lett knuses opp til finere partikler. Deretter ble det veid opp hvor mye materiale det var av hver fraksjon. Det finkornede materialet som havnet i bunnpotten (<0,6 mm) ble fjernet fra prøvene. Kornfordelingen ble plottet kumulativt.

Spesifikk overflate til kolonnematerialet er beregnet ved bruk av formelen til Chapuis og Légaré (1992):

$$s_p = \frac{6}{\rho_s} \sum \frac{P_{No.D} - P_{No.d}}{d} \quad \text{Formel 11}$$

S_p = spesifikt overflateareal

ρ_s = tettheten til massen

$P_{No.D} - P_{No.d}$ = vektprosent av masse som ligger mellom to tilstøtende siktesatser med maskevidder D og d

I beregningen må man ta hensyn til partikler med en diameter som er mindre enn den minste maskevidden d_{min} (0,6 mm). Dette gjøres ved å regne ut en ekvivalent kornstørrelse d_{eq} som tilsvarer den gjennomsnittlige kornstørrelsen for partikler mindre enn d_{min} .

$$d_{eq} = \frac{1}{\sqrt{3}} d_{min} \quad \text{Formel 12}$$

En usikkerhet ved denne beregningen er at man ikke tar hensyn til formen til partiklene.

4.2.2 Kolonneoppsett og fysiske betingelser

Plexiglass-kolonnene (Figur 22) brukt i dette studiet er 25 cm høye og har en indre diameter på 12 cm. For å forhindre «stående vann» i bunnen av kolonnene, ble bunnen utformet med en konkav fasjon slik at vannet ledes ut av kolonnene. I bunnen av kolonnene ble det skrudd på 4 mm slangenipler i avsinkingsfri messing som slangene (4 mm) ble tredd på. Slangene ledet vannet ned i oppsamlingsbeholdere av plast med lokk. For å unngå at hullet skulle tettes av finpartikler, ble det lagt inn et filter av plastnetting (1-2 mm masker) og glassfiber i bunn av hver kolonne. Et stativ ble laget for å holde kolonnene på plass. Toppen av kolonnene var åpen slik at materialet kom i kontakt med luft og «regn» ved regelmessig vanning.

Det ble laget triplikater for hver prøvetype (Tabell 5). Svartskiferen ble delt inn i to ulike sett basert på kornstørrelser for å se om dette hadde en effekt på reaksjonsraten og utlekkingsforløpet. Da det også var ønskelig å kartlegge utlekking fra de ulike bergartstypene som befinner seg i felt, ble det i tillegg laget et kolonnesett med forvitret svartskifer og et sett med kalkrik skifer, alle med kornstørrelse 2-6 mm. Kolonnene ble fylt med 2,4 - 3 kg materiale, som utgjorde en høyde på 17 - 19,5 cm i kolonnene. Dette tilsvarer et volum på omtrent 2,2 dm³.

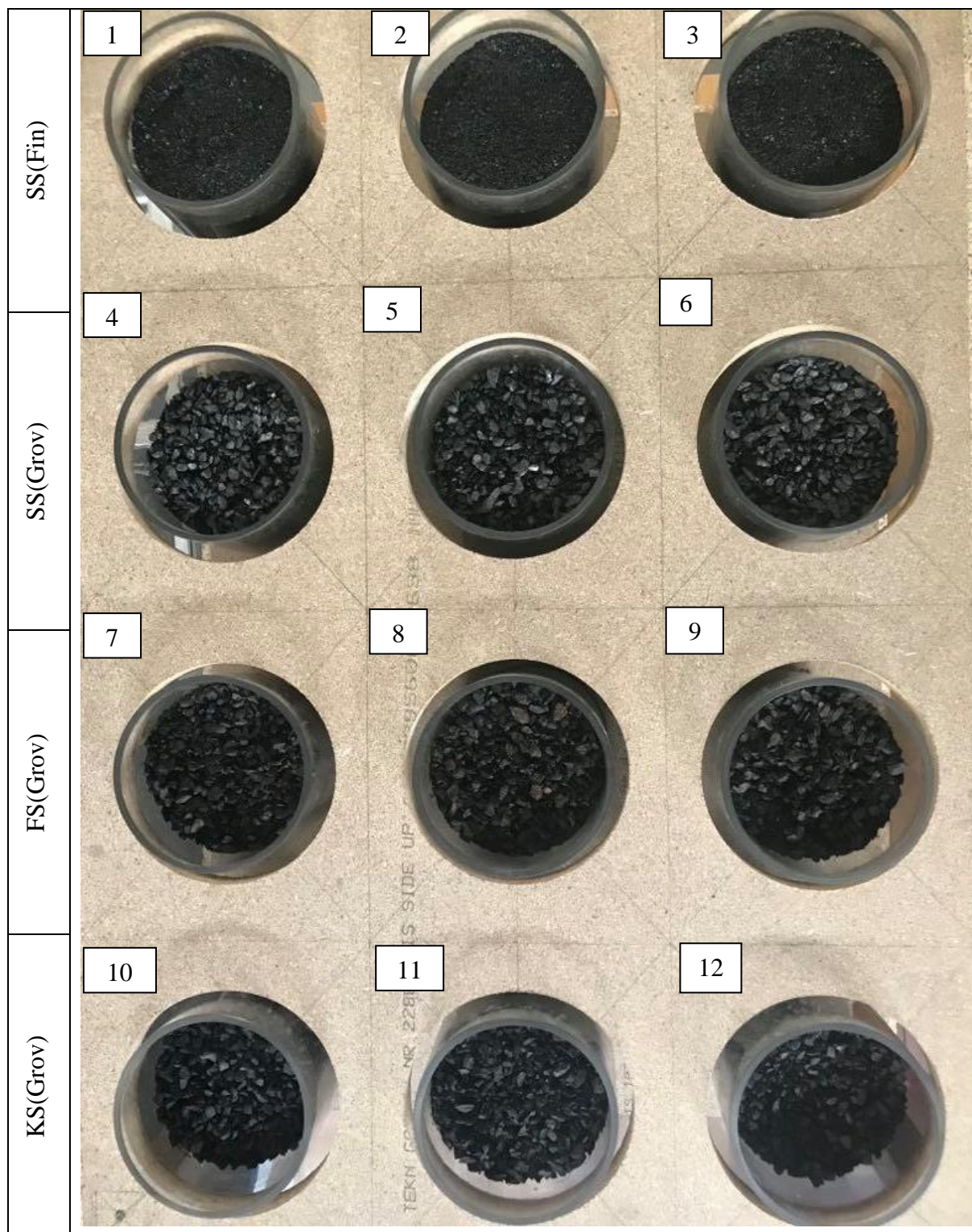
Temperaturen ble målt ved hjelp av en digital værstasjon (Netatmo) i perioden desember 2020- februar 2021, og den gjennomsnittlige temperaturen lå på 21,9°C (Vedlegg 5).



Figur 22: Kolonneoppsett. Erlenmeyerkolbene ble byttet ut med plastbeholdere og lokk med hull til slangene. Ut ifra bildet er det tydelig at FS(Grov) er betydelig mørkere på farge enn de andre prøvene.

Tabell 5: Oversikt over hvilken type svartskifer de ulike kolonnene inneholder, hvilken lokalitet de er hentet fra, hvilken kornstørrelse de har og temperaturen i rommet hvor forsøket ble utført.

Kolonnenr.	Kolonnenavn	Bergartsprøvens lokalitet	Forvitret?	Bergartstype	Kornstørrelse	Romtemp (°C)
1-3	SS (0,6-2 mm)	U2		Svartskifer	0,6-2 mm	~22
4-6	SS (2-6 mm)	U2		Svartskifer	2-6 mm	~22
7-9	FS (2-6 mm)	U1.1	Ja	«Svartskifer»	2-6 mm	~22
10-12	KS (2-6 mm)	U1.2		Kalkrik skifer	2-6 mm	~22

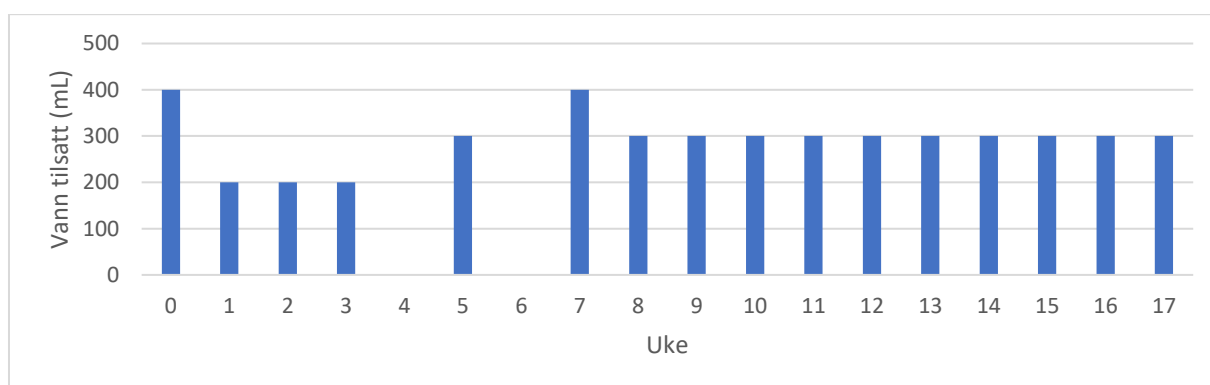


4.2.2.1 Vannings- og prøvetakingsprotokoll

Vanningsregimet for kolonnene er illustrert i Figur 23. Ved første vanning ble det tilsatt 400 mL for å fukte kolonnen tilstrekkelig til å få umiddelbar utlekking. En håndholdt sprayflaske ble anvendt slik at vannet ble fordelt forsiktig og jevnt i kolonnen uten å dra med seg for mye partikler. De resterende vanningsrundene ble utført ved hjelp av en bøtte med 92 hull med en diameter på 2-3 mm i bunnen som ble montert på toppen av kolonnene. Bøttene ble rotert for hver vanning for å unngå «preferential flow». Kolonnene ble tilsatt 200 mL/uke i tre uker. For å undersøke hva som skjer med svartskiferen i en lenger tørkeperiode (2 uker), ble det fra uke 3 til 7 ble det kun vannet annenhver uke. På grunn av lengre tørkeperiode ble vannmengden i denne perioden økt til 300-400 mL for å få ut nok vann fra kolonnene (særlig de finkornede kolonnene).

Fra og med uke 8 ble den opprinnelige vanningsrutinen gjenopprettet i henhold til protokollen, med én vanningsrunde per uke. Det ble bestemt å fortsette med å tilsette 300 mL på grunn av tilsynelatende økt evapotranspirasjon som følge av økning i romtemperatur vinterstid (Vedlegg 5). Alt vannet ble tilsatt kolonnen på omtrent 4 -5 min.

De første 4 ukene ble det tatt ut filtrert- og totalprøve ved hver vanning, og deretter ble prøvetakingsintervallet utvidet til annenhver uke (Tabell 6). Analyserte prøver er uthevet med fet skrift. pH og elektrisk ledningsevne (E.C.) ble målt direkte etter hver vanning. Alkaliteten ble kun målt i uke 15 og 17.



Figur 23: Oversikt over vanningsregimet til kolonnene. Vannmengde tilsatt er høyere i starten og etter lengre tørkeperioder (uke 3-7, rødt).

Tabell 6: Oversikt over prøvetakingsregimet til kolonnene for ICP-MS (filtrert + total), pH, elektrisk ledningsevne (E.C.) og alkalitet.

Uke	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Filtrert	X	X	X	X		X		X	X	X		X		X		X		X
Total	X	X	X	X					X									X
pH	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
E.C.	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Alkalitet																X		X

Estimert porevolum og feltkapasitet

Etter endt kolonneforsøk ble porevolumet ble estimert ved å undersøke hvor mye vann som kunne tilsettes for at kolonnematerialet skulle nå metningspunktet. Dette ble gjort ved å sette en klype på utløps-slangen slik at bunnen av kolonnen ble tett. En målesylinder (100 mL) ble brukt til å fylle kolonnene med vann opp til overflaten av kolonnematerialet. Volum tilsatt vann vil bare gi et omtrentlig estimat av porevolumet da det ikke er korrigert for filteret i bunnen av kolonnen og vann i slangenippel.

Ved to vanningsrunder ble kolonnene veid rett før og etter vanning for å gi et estimat på hvor mye vann som ble holdt tilbake ved feltkapasitet. Kolonnene ble veid igjen en uke senere for å undersøke hvor mye vann som hadde evaporert.

4.2.3 Mineralogi og totalkjemi

4.2.3.1 XRD

X-Ray Powder Diffraction (XRD) er en ikke-destruktiv metode som brukes for å studere den mineralogiske sammensetningen til en bergartsprøve. Hvert mineral har en spesifikk kystallstruktur som kan karakteriseres ved hjelp av røntgenstråler. En røntgenstråle treffer prøven i en bestemt vinkel og diffrakteres i krystallplanene i mineralet. Den reflekterte strålen vil avgi maksimum refleksjon (konstruktiv interferens) når de geometriske betingelsene definert i Bragg's lov er oppfylt (Dutrow & Clark, 2016). Diffraksjonsmønstrene som måles kan deretter sammenlignes med en database diffraksjonsmønster fra kjente mineraler.

$$n\lambda = 2d \sin\theta \text{ (Braggs' lov)}$$

En prøve fra hvert kolonnemateriale ble knust i agatmorter før de ble

4.2.3.2 *pXRF*

Powder X-Ray Fluorescence er en metode som brukes for å analysere hvilke grunnstoff bergartsprøvene består av. I dette studiet ble det anvendt et håndholdt pXRF-instrument som var montert i et stativ («stasjonær»). Prøven ble knust i en agatmortar i 3 min før analyse. Instrumentet sender ut en kortbølget røntgenstråle som treffer den preparerte prøven. De høyenergetiske røntgenstrålene fører til ionisering av atomene, som vil si at et elektron sendes ut fra den innerste orbitalen i atomene. Et ionisert atom er ustabilt, og et elektron fra et høyere orbital vil da redusere sin energitilstand for å ta plassen til det utsendte elektronet. Når et elektron reduserer sin energitilstand sendes det ut fluorescent-stråling. Alle grunnstoff har en karakteristisk fluorescent stråling, og på den måten kan man detektere ulike grunnstoff i prøven og konsentrasjonen oppgis i ppm (Wirth & Barth, 2020).

Skanska utførte pXRF-målinger av svartskifer i forbindelse med anleggsarbeidet, som i dette studiet er brukt som til sammenligning med målte pXRF og ICP-MS verdier i dette studiet. Det er usikkerhet knyttet til forskjeller i kalibrering av pXRF-instrumentet på lab og Skanskas eget instrument.

Til pXRF-analyse ble det veid ut 20 g av hvert kolonnemateriale knust i agatmorter. Hver prøve ble skannet fem ganger.

4.2.3.3 *Dekomponering av totalprøver (Ultra Clave)*

Knust 30-40 g kolonnemateriale ved hjelp av agat-mortar i 3 min.

For å kunne analysere totalprøver ved hjelp av ICP-MS må de være i homogen væskeform. Dette oppnås ved å dekomponere prøvene i en UltraClave under høy temperatur og høyt trykk.

Av det knuste kolonnematerialet ble det veid ut 220 mg prøve fra hver type over i teflonrør. For to av kolonnematerialene ble det tatt ut triplikater for å representere variasjonen i prøvematerialet. Det ble brukt et standard referansmateriale (

Vedlegg).

Til dekomponering av prøvene ble det brukt to ulike syrer, salpetersyre (HNO_3) og flussyre (HF). Disse syrene har ulike egenskaper som er viktige å ta hensyn til ved analyse av datasettet. HNO_3 er sterkt oksiderende, og danner få komplekser. HF-syren er sterkere og løser opp silikat, men er en kompleksbinder (eksempelvis kan fluor danne kompleks med Al, Ca, Fe og Mg).

Prøvene ble tilsatt 5 mL HNO₃- og 1 mL HF- syre før dekomponering.

Etter dekomponering ble prøvene overført til 50 mL sentrifugerør og fortynnet til 50 mL med ionefritt vann. Av denne blandingen ble 1 mL overført til et 15mL rør og fortynnet med ionefritt vann til 10 mL. (fortynnet 500 ganger).

4.2.3.4 TIC og TOC

Svartskiferprøvene ble sendt til ALS Laboratory Group AS for analyse av totalinnhold av karbon, både uorganisk (TIC) og organisk (TOC).

4.2.4 Vannprøver

4.2.4.1 Turbiditet

Turbiditeten til prøvene ble målt ved hjelp av et turbidimeter som sender ut lys med en bølgelengde på 860 nm. Lyset reflekteres av partikler i prøven, registreres av en sensor med en orientering på 90° i forhold til lyskilden. For at lyskilden i turbidimeteret skulle fungere best mulig, ble instrumentet skrudd på en halvtime i før analysen startet. En standard på 200 NTU ble brukt. Flasken med prøvemateriale ble ristet, deretter ble det pipettert ut 30 mL prøvemateriale som ble overført til en egnet glassbeholder. Prøvene FS7-9 hadde for høy turbiditet til at instrumentet kunne måle den, og måtte derfor fortynnes 10 ganger før måling (3mL prøve og 27 mL destillert vann). Prøvebeholderen plasseres i instrumentet med samme orientering for hver måling. Turbiditetsmålinger ble gjort for alle kolonnene (1-12).

4.2.4.2 pH & elektrisk ledningsevne (E.C.)

pH er et mål på surhetsgraden til vannet, og oppgis som den negative logaritmen til konsentrasjonen av H⁺ -ioner i prøven. Før måling ble pH-meteret kalibrert ved hjelp av to standarder med pH 4 og 7, etterfulgt av en kontroll med pH 6,87.

Konduktivitet beskriver en løsnings elektriske ledningsevne. Det gir også en indikasjon på ione-konsentrasjonen til en løsning da en løsning med et høyt innhold av ioner vil gi en høy konduktivitet (god ledningsevne), mens en løsning med færre ioner vil gi en lavere konduktivitet.

I felt ble konduktiviteten målt ved hjelp av et konduktivimeter (WTW LF330). Elektroden ble først rensert i vannet ved feltlokaliteten før den ble dyppet ned igjen for måling og resultatet ble avlest i ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Instrumentet viste ved flere anledninger tegn til at den var ustabil. Konduktiviteten til vannprøvene ble derfor målt på ny på laben samme dag eller en dag etter prøvetaking.

4.2.4.3 Alkalinitet

Alkalitet er definert som vannets evne til å nøytralisere syre. Det gir et mål på bufferkapasiteten til vannets dominante baser – bikarbonat og karbonat.

På bakgrunn av tidligere malinger ble det konstatert at vannet hadde god bufferkapasitet, og det ble derfor besluttet å ta ut 25 mL vann fra vannprøvene til titrering. Instrumentet som ble brukt til titrering var 665 Dosimat Metrohm. Vannprøvene ble titrert med 0,02M HCl-syre under omrøring med magnet til den nådde sluttpunktet på pH 4,5 hvor det antas at alt bikarbonat er brukt opp. Volum av syre som gikk med til titrering ble notert, og følgende formel ble brukt til å regne ut alkaliteten:

$$\text{mmol/L} = \text{Volum HCl (mL)} * 0.02\text{M} * (1000 / \text{prøve volum (mL)})$$

$$\mu\text{Eq/L} = \text{mmol/l} * 1000$$

4.2.4.4 ICP-MS (filtrert)

Oppsamlingsbeholderen ble ristet før 50 mL prøve ble tatt ut v.h.a. en sprøyte og overført til et sentrifugerør. Deretter ble prøvematerialet filtrert med 0,45 μm -filter (filteret ble skylt med 20 mL deionisert vann før filtrering). Vannprøvene fra kolonne 7-12 ble sentrifugert før filtrering for å lettere kunne filtrere dem.

Tilsetter 0,5 mL U.P. (ultra pure) salpetersyre (HNO_3) til 9,5 mL filtrert prøve. Lagres ved 4 grader i kjøleskap frem til analyse.

Ufiltrert prøve:

Tilsetter 0,5 mL U.P. (ultra pure) salpetersyre (HNO_3) til 9,5 mL ufiltrert prøve. Prøven ble lagret ved 4 grader i kjøleskap frem til analyse. Prøven ble tørket inn og deretter tilsatt flussyre (HF) og HNO_3 . HF kan føre til at Ca felles ut, men løser opp silikater. HNO_3 -syren er svært oksidativ.

4.2.4.5 IC og DOC

Prøvene til IC ble filtrert med 0,45µm filter. Ved ionekromatografi ble prøvene fortynnet 10 ganger på grunn av høyt innhold av SO_4^{2-} innholdet. Dette kan føre til en økt usikkerhet.

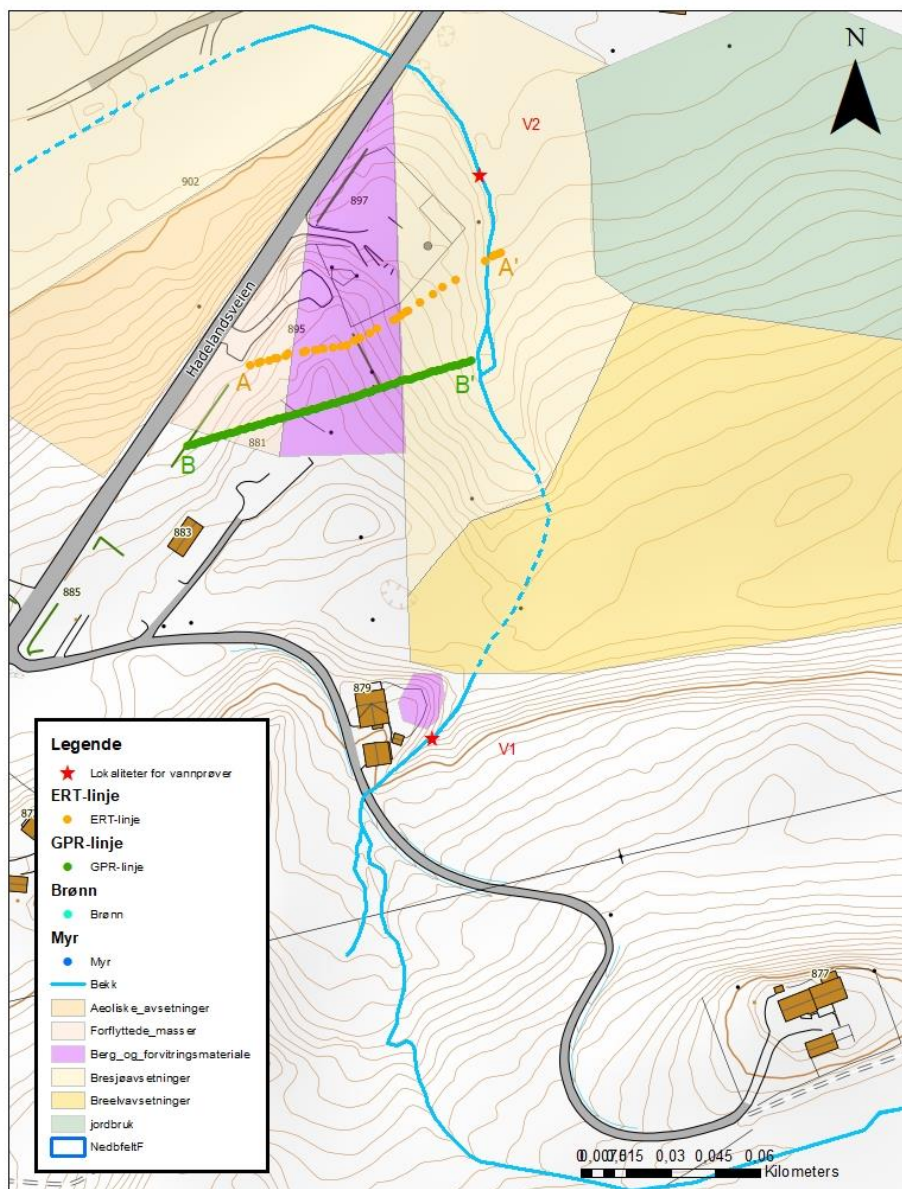
4.2.5 Innstillinger for Visual Minteq

Ved modellering av vannprøver i Visual Minteq ble pH-en spesifisert ut ifra målt pH på lab, og ionestyrken ble kalkulert av programmet. Mengde bikarbonat ble angitt basert på målt alkalinitet. For DOC ble det valgt å benytte Nica-Donnan da den har størst database. Tilstandsformen til metallene ble valgt med hensyn på hvilken form som er stabil under oksiderende forhold. Beregnet E.B. for prøvene var stort sett lavere enn 10%, bortsett fra KS som hadde en E.B. på 15%.

5 Resultater

5.1 Geofysiske grunnundersøkelser

Det ble utført to ulike geofysiske undersøkelser ved Kleggerudkrysset. Profilene ble satt opp parallelt med hverandre for å kunne sammenligne data og se hvilken metode som egnet seg best for å kartlegge svartskiferforekomsten og den intrusive mænaittgangen (Figur 24). ERT-målingene ble utført ved profil A-A' og GPR-målingene ved profil B-B'. Profilet for GPR-målingene er forskjøvet litt mer sørvest i forhold til ERT-profilet.



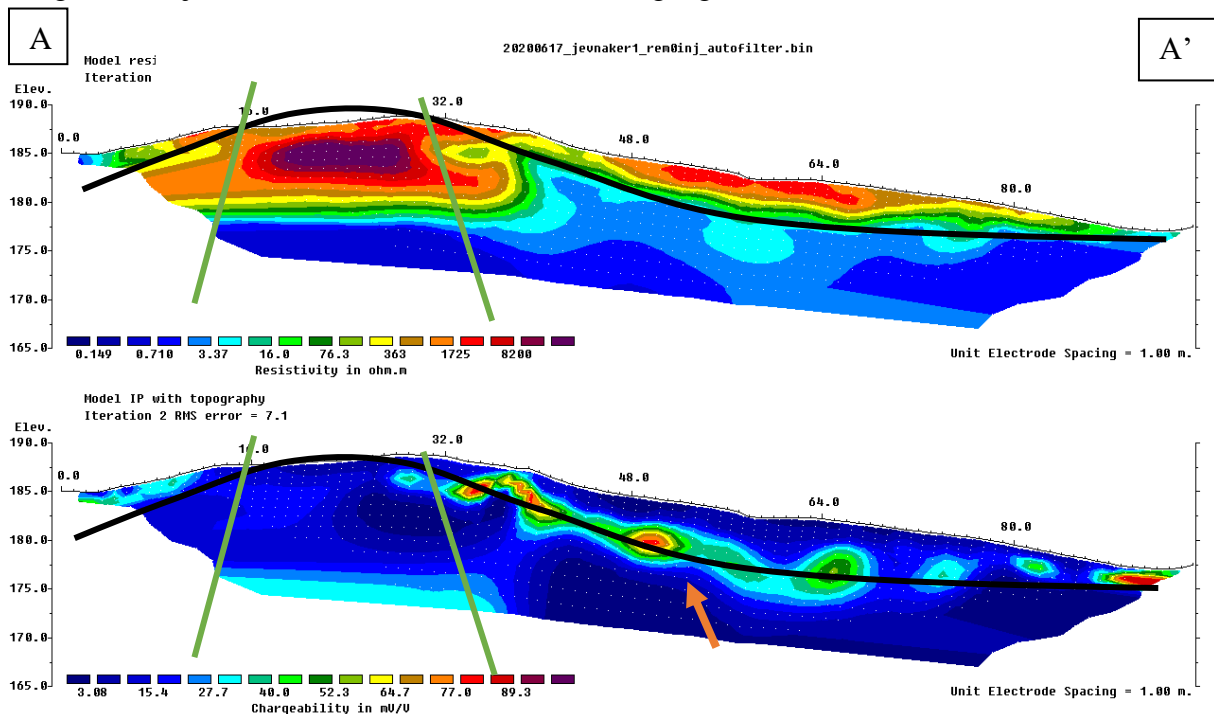
Figur 24: Oversikt over anleggsområdet og profilene for ERT (A-A') og GPR (B-B')-målingene ble utført.

5.1.1 ERT

Ut ifra ERT-profilen er det tydelig at området hovedsakelig preges av bergarter med svært lav resistivitet (blå) på 0,71 - 3,37 Ωm (Figur 25), noe som er typisk for alunskifer/svartskifer som har et høyt innhold av metaller og dermed god elektrisk ledningsevne. Lav resistivitet er et tegn på høyt sulfidinnhold.

Det røde og lilla feltet på toppen av berget vest i profilen indikerer et område med høy resistivitet, og sammenfaller med området hvor mænaittgangen forekommer og har en resistivitet på 1725-8200 Ωm . Dette feltet med høy resistivitet indikerer at mænaittgangen er omtrent 20 meter bred. Det kan knyttes noe usikkerhet til målingene på toppen her på grunn av tynt løsmassedecke og dermed dårlig kontakt mellom elektrodene og grunnen. Været var også tørt og varmt i perioden målingene pågikk, og lite vann i grunnen. Kontakten ville trolig vært bedre dersom man foretok målingene på et tidligere tidspunkt i byggeprosessen hvor mindre løsmasser var fjernet fra toppen og nedbør i de foregående dagene. Mønsteret som observeres kan allikevel i stor grad forklares ved fordelingen av bergarter i grunnen.

Det røde feltet øst i profilen sammenfaller med et ca. 2,5 m tykt lag med tørre løsmasser i form medium sand og silt. Den svarte linjen markerer overgangen fra løsmasser til svartskifer. De grønne linjene markerer området hvor mænaittgangen er observert.

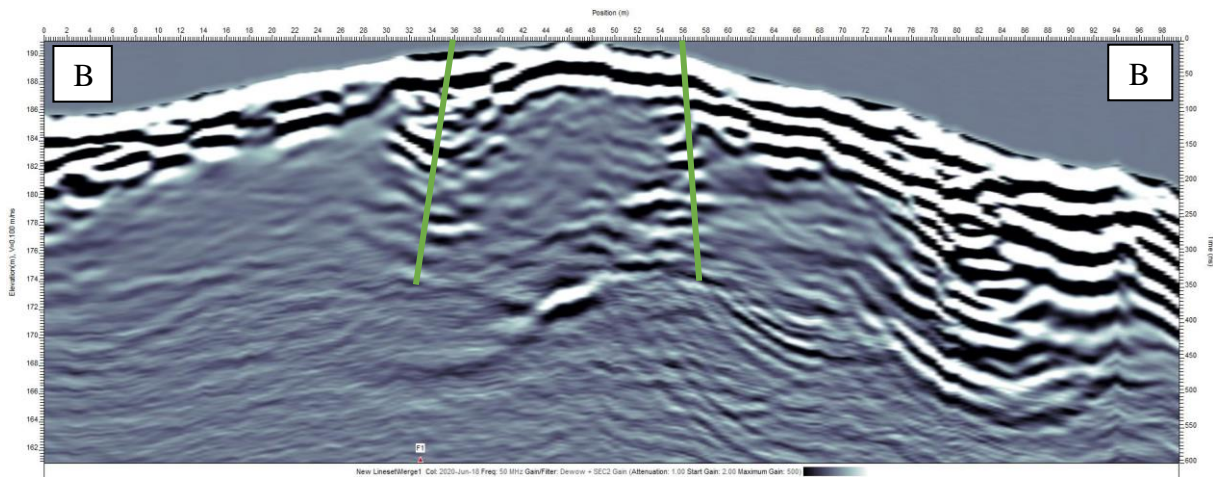


Figur 25: ERT-målinger ved profil A-A' (se kart i Figur X). Svart linje illustrerer kontaktsonen mellom svartskifer med lav resistivitet i grunnen (blå) og løsmasser (rød). De grønne vertikale linjene markerer området hvor mænaittgangen er observert (obs – vertikal orientering av mænaittgangen kan ikke bestemmes nøyaktig ut i fra dette profilet). Den oransje pilen i IP-profilen peker på den forvitrede svartskiferen med høy ladbarhet.

IP-målingene sier noe om massens evne til å holde på en elektrisk ladning («ladbarhet»). Denne øker med reaktive overflater, og kan være en indikasjon på forvitningsmateriale fra svartskiferen. Generelt viste både svartskiferen, mænaitten og løsmassene i området svært lave verdier. Sonen i overgangen mellom løsmasser og svartskifer skilte seg ut med høye IP-verdier. Ved fjerning av løsmassene ble det i denne sonen avdekket et 0,5-(1m?) tykt lag med forvitret svartskifer. Den forvitrede svartskiferen var myk og hadde stedvis en «leiraktig» tekstur, noe som kan gi forklaring til sonen med høy ladbarhet (IP).

5.1.2 GPR

Ut ifra GPR-profilet (Figur 26) ser man tydelig horisontale/svakt skrående reflekterte lag som representerer sedimentære avsetninger i skråningen på østsiden av profilet. Den sedimentære avsetningen har en tykkelse på ca. 3 m og består av medium sand, silt og forvitret svartskifer. Det er også et tynt sedimentdekke på vestsiden av profilet. Den øverste 1,5-2 meterne av profilet er preget av støy fra overflaterrefleksjon og man bør derfor se bort ifra denne sonen ved tolkning av profilet. Denne typen støy kan filtreres bort ved databehandling, men ved å gjøre det står man i fare for å filtrere bort annen viktig informasjon. De grå områdene med dårlig refleksjon lenger ned i grunnen representerer svartskiferen som har en energidempende effekt. I midten av profilet kan man se multipler som indikerer vertikale strukturer i berget. Disse strukturene skyldes trolig sprekker i berget på hver side av intrusjonen/mænaittgangen. Sprekkene har en avstand på omtrent 20 m, noe som samsvarer med den målte bredden av mænaittgangen i veiskjæringen. I forbindelse med forundersøkelser i et område med svartskifer, ville denne undersøkelsen kunne gi et hint om en vertikal struktur i en ellers sub-horisontal svartskiferforekomst – enten sprekker i svartskifer eller en intrusiv bergart. Refleksjonen er svak også i området hvor mænaittgangen er...



Figur 26: GPR-målinger fra profil B-B' (se kart, Figur 24). De grønne linjene representerer yttersidene av mænaittgangen. De reflekterte lagene til høyre i profilet indikerer et lag med løsmasser over svartskiferen. Det grå er svartskifer.

5.1.3 Areal av eksponerte svartskiferflater

Basert på dronebilder i 3D fra felt, har Skanska estimert overflatearealet til de eksponerte svartskiferflatene i felt (Tabell 7). Ved beregning av eksponert svartskiferareal må man trekke fra overflaten bestående av mænaitt. I veiskjæringen (U1) (tverrsnitt) er overflatearealet til svartskifer beregnet til 200 m², og 2000 m² i trau. Ved trau (U2) er det eksponert 5378 m². Svartskifer i trau er kun eksponert i uttaksperioden.

Tabell 7: Overflateareal av eksponerte svartskifer- og mænaittflater i anleggsperioden (basert på 3D-modell) (data fra Skanska).

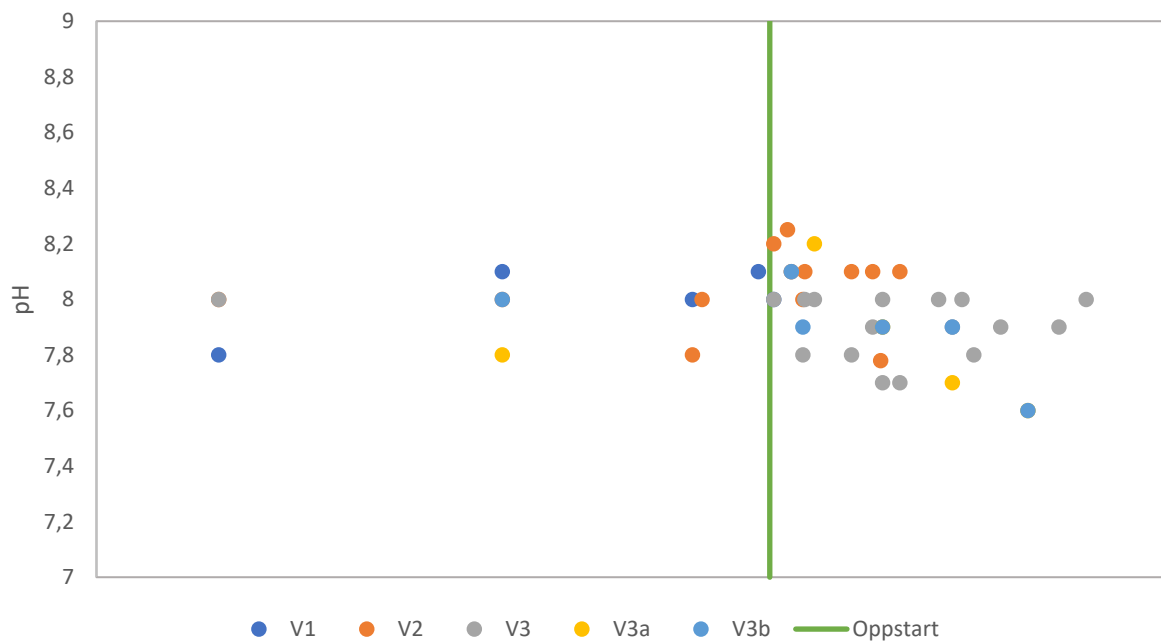
Lokalitet	Areal (m ²)
Veiskjæring, tot. tverrsnitt sør (U1)	280
Mænaitt, tverrsnitt sør (U1)	-80
Eksponert svartskifer, tverrsnitt (U1)	200
Veiskjæring, tot. trau (U1)	3500
Mænaitt, trau (U1)	-1500
Eksponert svartskifer, trau (U1)	2000
Eksponert svartskifer, trau (U2)	5378

5.1.4 Vannkjemisk overflatevann i anleggsområdet

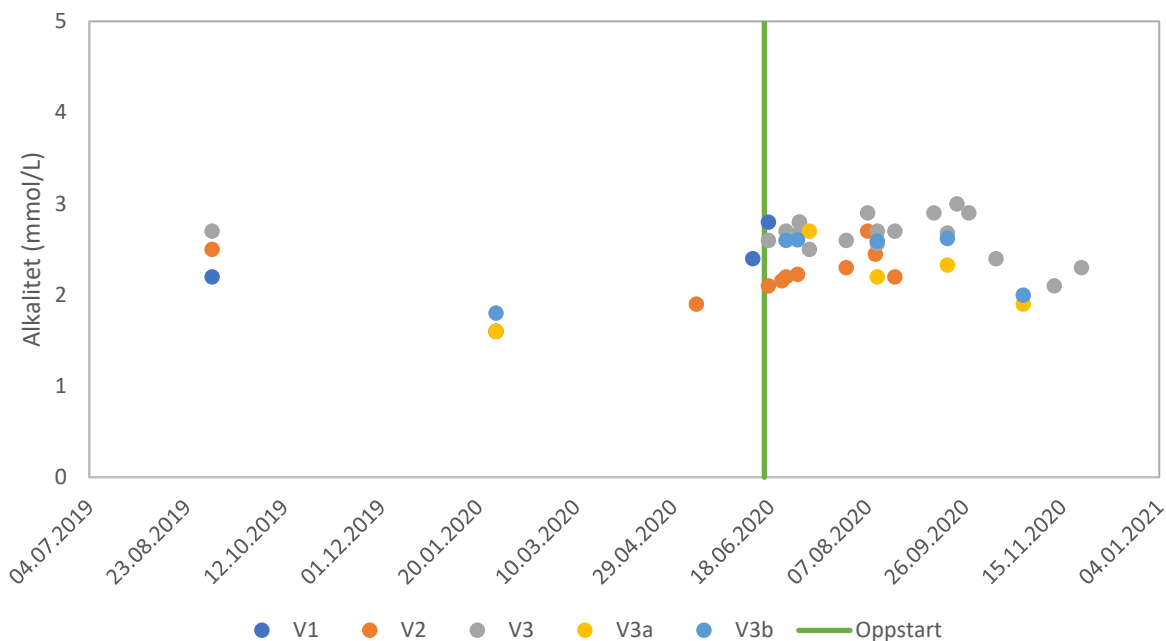
Vannprøvene som analyseres i dette kapittelet er hentet fra Skanskas eget overvåkningsprogram som innbefatter målinger fra tiden før, under og etter svartskiferuttaket, og supplert med egne målinger i felt. Dette er markert i diagrammene.

5.1.4.1 pH og E.C.

Basert på referanseprøvene lå den opprinnelige pH-en i bekkene mellom 7,8 (V3a) og 8,1 (lok. V1 & V3b). Vannprøver fra alle bekkene i feltområdet, inkludert den som er midt i anleggsområdet (V2), indikerer at pH-en fluktuerer mellom 7,6 og 8,25 i perioden hvor svartskiferuttaket pågår. Bekkevannet er altså nøytralt-basisk både før, og underveis i uttaket (Figur 27). Den høye pH-en skyldes trolig at vannet renner gjennom et område med kalkholdig grunn.



Figur 27: Variasjoner i pH over tid ved de ulike lokalitetene i bekken (se kart i Figur 7). Grønn linje markerer oppstart av svartskiferuttak 15. juni..



Figur 28: Variasjoner i alkalinitet over tid ved de ulike lokalitetene i bekken (se kart i Figur 7). Grønn linje markerer oppstart av svartskiferuttak 15. juni.

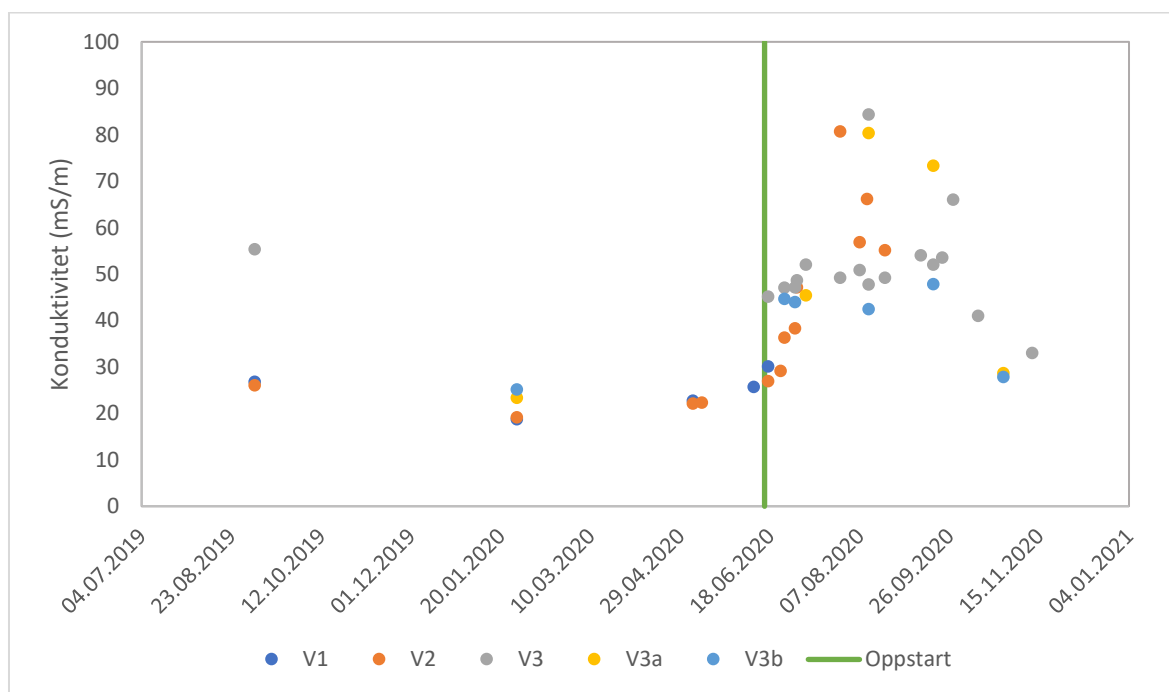
Før oppstart av svartskiferuttak var konduktiviteten i bekkene tilnærmet lik for alle lokalitetene (oppstrøms, midtstrøms og nedstrøms) V1, V2, V3a og V3b (Figur 29) med lave verdier mellom 18,7 - 26,8 mS/m, med unntak av V3 som utviste en noe høyere konduktivitet med 55,3 mS/cm. Dette indikerer at det kan forekomme naturlig variasjon i konduktiviteten, men verdiene er generelt lave før oppstart av svartskiferuttaket, noe som indikerer få salter løst i vannet.

Kort tid etter oppstart øker konduktiviteten betydelig ved lokalitet V2, V3a, V3b og V3, og skyldes trolig forvitring av fersk svartskifer i anleggsområdet. De høyeste verdiene ble målt 27. juli og 12. august med 80,3 – 84,3 mS/m.

Konduktiviteten viser en flat trend frem til midten av juni hvor det forekommer en kraftig økning og verdiene når en topp i juli-august. Deretter avtar konduktiviteten gradvis, og i september er konduktiviteten omtrent tilbake til referanseverdier.

Lokalitet V1 er referansebekk og hadde stabil E.C ved alle prøvetakinger 18,7-30,1 mS/m (sept. 2019, jan. & jun. 2020). Før svartskiferuttak hadde V2 en E.C. på 19-26 mS/m, men etter oppstart økte E.C målt til 80,7 mS/m i slutten av juli (27.07.20). Det er tre til fire ganger høyere enn verdiene målt i referansebekkene. Lok. V2 ble lagt i rør og dekket til i slutten av juli, og dermed opphørte prøvetakingen ved denne lokaliteten. Lokalitet V3a, nedstrøms for V2, er ikke målt like ofte, men ser ut til å vise samme trend som V2. Referansemålingen til V3a

indikerte en E.C. på 23,3 mS/m , og den høyeste verdien ble målt til 80,3 mS/m i midten av august (12.08.20). En ny måling på 73,3 mS/m i september tyder på at E.C. ved V3a fremdeles hadde forhøyede verdier, men i slutten av oktober var verdien nede i 28,6 mS/m. V3b er en referansebekk, men også her ble det registrert en endring i konduktivitet. I januar 2020 ble E.C. ved lokalitet V3b målt til 25,1 mS/m, i uttaksperioden juni-september økte E.C. til 42,4-47,8 mS/m, og i oktober var verdien tilbake til «normalen» med 27,8 mS/m. Ved lokalitet V3 ble det ikke registrert like tydelige endringer i E.C. Bakgrunnsmålingen ved V3 viste 55 mS/m, og i uttaksperioden lå verdiene stort sett på 45-53,5 mS/m, bortsett fra den 27.07.20 hvor E.C ble målt til 84,3 mS/m og er den høyeste verdien som er målt i hele perioden.. Den laveste verdien i V3 ble målt i november 2020 med 33 mS/m.

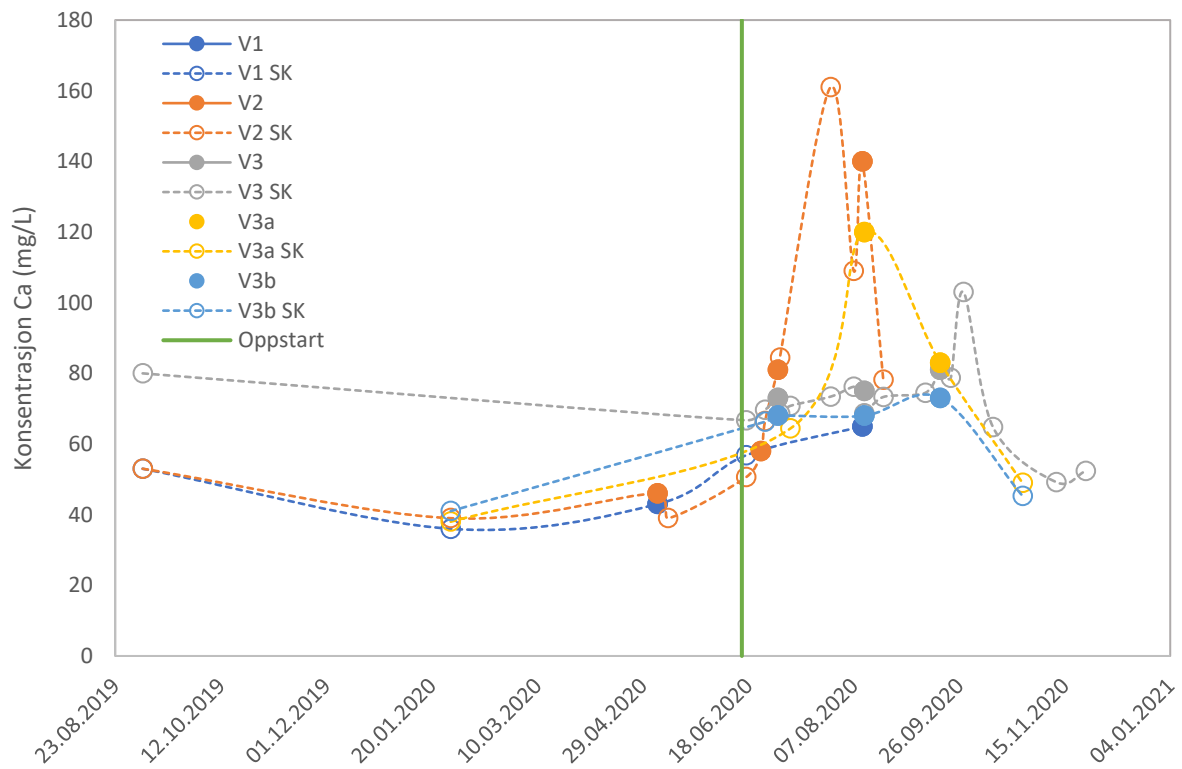


Figur 29: Variasjoner i konduktiviteten (mS/m) over tid ved de ulike lokalitetene i bekken (se kart i Figur 7): Grønn strek markerer oppstart av svartskiferuttak.

5.1.4.2 Hovedkationer og -anioner

Før oppstart av svartskiferuttak viser Ca-konsentrasjonen (Figur 30) en flat trend, men ved oppstarten av svartskiferuttaket i midten av juni øker konsentrasjonen betraktelig og når en topp i slutten av juli. Deretter avtar konsentrasjonen gradvis. Målingene viser at konsentrasjonen av Ca fremdeles er noe forhøyet i september 2020, men ikke i like stor grad som i juli, og i oktober er konsentrasjonen tilsynelatende tilbake til normalen.

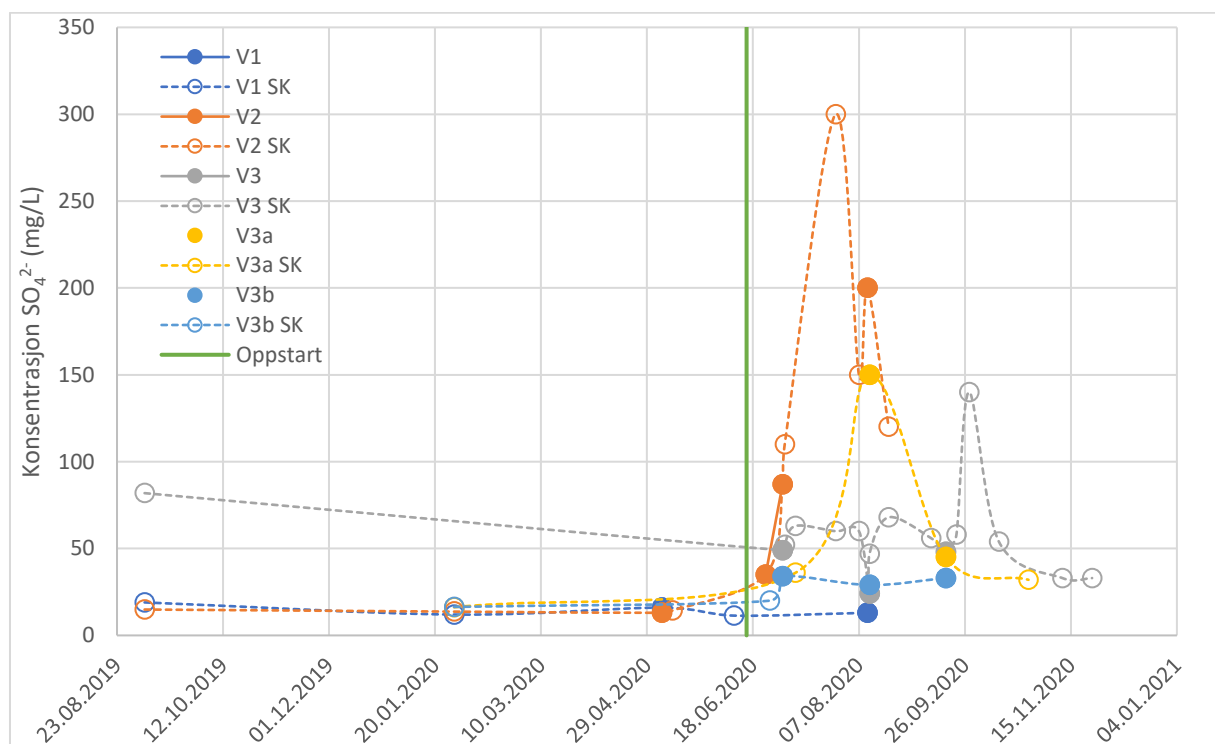
I perioden før oppstart var det V3 som hadde den høyeste Ca-konsentrasjonen med 80 mg/L, mens V2, V3a og V3b hadde omtrent lik konsentrasjon med verdier mellom 36 og 53 mg/L (Figur 30). Den kraftigste økningen i Ca-konsentrasjonen ble målt ved lokalitet V2 den 27. juli 2020 med en konsentrasjon på 161 mg/L, etterfulgt av V3a med 120 mg/L i midten av august. Det ble ikke registrert en nevneverdig økning i V3 før i slutten av september 2020, hvor konsentrasjonen var 103 mg/L. Det forekom også en økning i referansebekkene (V1 og V3b), men i mye mindre grad, med verdier mellom 56,8 og 73 mg/L.



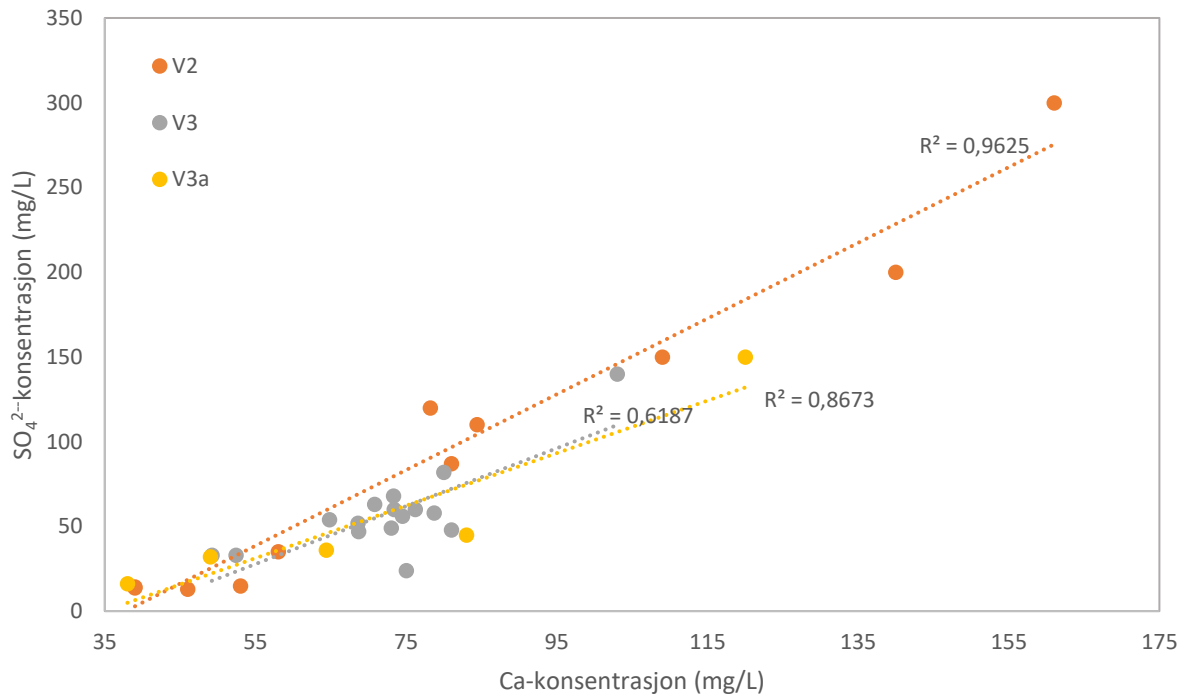
Figur 30: Konsentrasjonen av Ca i bekken ved de ulike lokalitetene ved Kleggerudkrysset. Grønn strek markerer start av svartskiferuttak.

Konsentrasjonen av SO_4^{2-} følger den samme trenden som Ca-konsentrasjonen. Før uttak av svartskifer var SO_4 -konsentrasjonen lav og stabil, men etter oppstart øker konsentrasjonen og når en topp i slutten av juli. Deretter avtar konsentrasjonen gradvis. Verdiene er fortsatt litt forhøyet i september, men i oktober er verdiene tilbake til normalen. Ved å plote Ca mot SO_4 kan man se at forholdet mellom dem er litt lavere enn 1:1 (Figur 32).

I likhet med Ca-konsentrasjonen før oppstart, er det V3 som hadde den høyeste SO_4^{2-} -konsentrasjonen med 81,9 mg/L, mens V2, V3a og V3b hadde omtrent lik konsentrasjon på omtrent 13-14 mg/L. Bare 8 dager etter oppstart hadde konsentrasjonen i V2 doblet seg til 35 mg/L. Den kraftigste økningen i SO_4^{2-} -konsentrasjonen ble målt ved lokalitet V2 den 27. juli 2020 med en konsentrasjon på 300 mg/L, etterfulgt av V3a med 150 mg/L i midten av august. Det ble ikke registrert en økning i V3 før i slutten av september 2020, hvor konsentrasjonen var 140 mg/L. Det forekom også en økning i referansebekken V3b, men i mye mindre grad med en konsentrasjon på 29 mg/L. Referansebekk V1 endret seg ikke og målte fremdeles 13 mg/L i august.



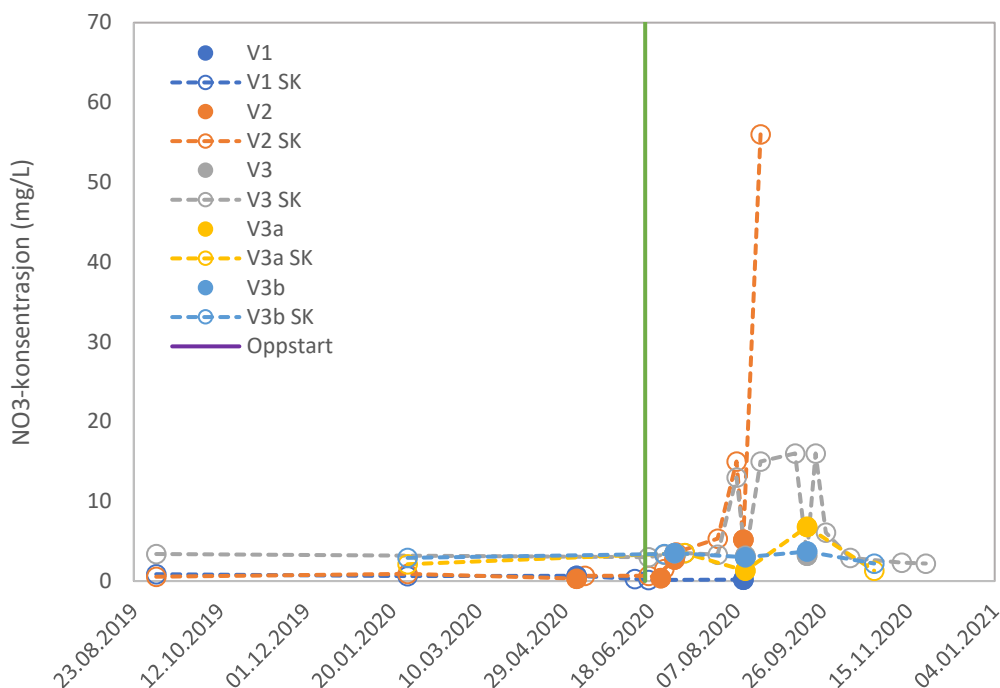
Figur 31: Viser variasjon i SO_4^{2-} -konsentrasjonen ved de ulike lokalitetene i bekkene (se kart, Figur 7). Grønn strek markerer oppstart av svartskiferuttak



Figur 32: Korrelasjonsdiagram mellom Ca og SO_4^{2-} , viser at de følger omtrent samme utlekkings-trend.

Nitratavrenningen (NO_3) (Figur 33) var lav og stabil før uttaket, men i perioden august til september økte konsentrasjonen. I slutten av august økte konsentrasjonen, og i slutten av september avtok konsentrasjonen igjen. I denne perioden foregikk det sprengningsarbeid ved veiskjæringen (lokalitet U1).

Også når det gjelder NO_3 -konsentrasjonen er det lokalitet V3 som har de høyeste referansemålingene med en verdi på 3,4 mg/L. Målingene ved referansebekk V3b utviste stabile NO_3 -konsentrasjoner gjennom hele perioden med verdier mellom 2,9-3,7 mg/L. Referansebekken oppstrøms for anlegget (V1) hadde en NO_3^- -konsentrasjon på 0,17 mg/L august da konsentrasjonene nedstrøms var forhøyede. Lokalitet V2 har betydelig lavere referanseverdier mellom 0,56-0,92 mg/L. Ti dager etter oppstart av uttaket økte NO_3^- -konsentrasjonen i V2 til 1,5 mg/L, og i slutten av august ble den høyeste konsentrasjonen i hele perioden målt til 56 mg/L. Lokalitet V3 hadde også en økning i konsentrasjon i denne perioden med verdier mellom 13-16 mg/L.



Figur 33: Konsentrasjonen av nitrat (NO_3^-) i overflatevann/bekk ved de ulike prøvetakingslokalitetene i felt. Grønn linje markerer oppstart av svartskiferuttak.

5.1.4.3 Spormetaller (Cd, Ni og U)

Både Cd, Ni, og U hadde en lav og stabil konsentrasjon før oppstart av svartskiferuttaket som samsvarte med verdiene i referansebekkene (Figur 34). Ved oppstart av svartskiferuttak i midten av juni, økte konsentrasjonen betraktelig ved lokalitet V2 og V3. De høyeste konsentrasjonene for Cd, Mo, Ni og U ble registrert ved lokalitet V2 midtstrøms i anleggsområdet den 27. juli 2020. For Cd og Ni ble det ved lokalitet V3 nedstrøms for anlegget registrert 3-4 topper (8.juli, 21. august og 28. september) med litt lavere konsentrasjoner enn V2. Grafene for U-konsentrasjonen viser ikke den samme trenden i den forstand at det er stor forskjell på den høyeste konsentrasjonen ved V2 og V3, med henholdsvis 425 $\mu\text{g/L}$ og 8,34 $\mu\text{g/L}$. Det er allikevel, i likhet med Cd og Ni, registrert tre «topper» for U ved lok V3.

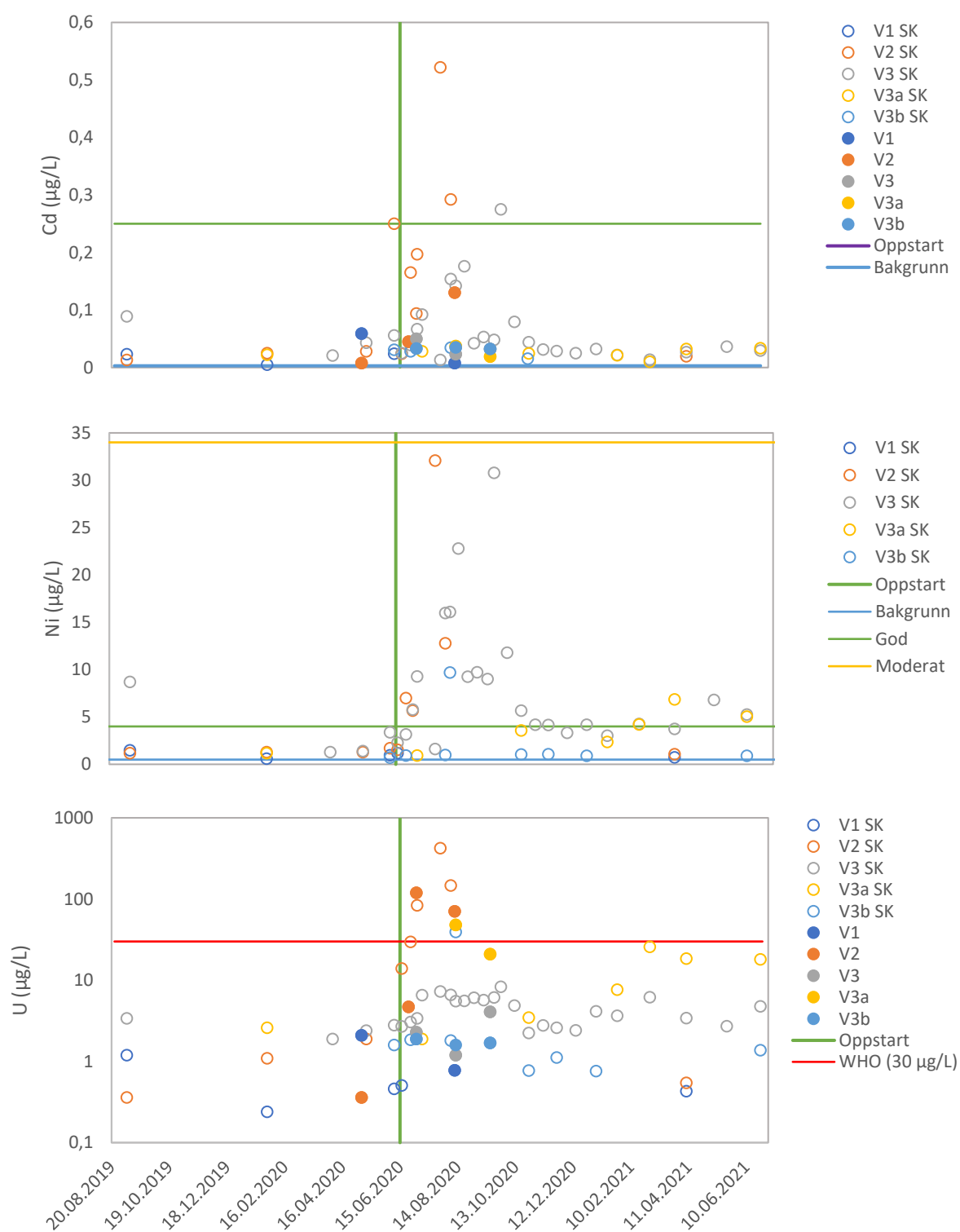
Konsentrasjonen av U i referansebekk V1 og V3b lå rundt henholdsvis 0,24 - 2,1 $\mu\text{g/L}$ og 0,78–1,9 $\mu\text{g/L}$. Lokalitet V2, V3 og V3a utviste omtrent samme konsentrasjon som referansebekkene før uttak og underveis i uttaksperioden. Etter oppstart av uttak, i perioden 2. juli til 21. august, økte U-konsentrasjonen ved lok. V2 til mellom 71-425 $\mu\text{g/L}$, og overskred dermed grenseverdiene for U på 30 $\mu\text{g/L}$ (WHO, 2005). Lokalitet V3a ble ikke målt like ofte, men i midten av august og september 2020 ble det målt forhøyede U-konsentrasjoner på 21-48 $\mu\text{g/L}$. Ved lokalitet V3, hvor bekken renner ut av anleggsområdet, ble det også registrert en

økning i U konsentrasjonen med verdier mellom 4,1 – 8,34 µg/L. Disse verdiene er innenfor grenseverdiene for U i ferskvann og drikkevann.

Konsentrasjonen av Cd i referansebekk V1 og V3b lå rundt henholdsvis 0,005 – 0,059 µg/L og 0,015 til 0,035 µg/L, og ble dermed kategorisert som tilstandsklasse «god» (0,003-0,25 µg/L). Lokalitet V2, V3 og V3a utviste omtrent samme konsentrasjon som referansebekkene før uttak. Etter oppstart, i perioden 3. juli til 21. august, økte Cd-konsentrasjonen ved lokalitet V2 til verdier mellom 0,13 – 0,52 µg/L. De høyeste Cd-konsentrasjonene ved V2 falt innenfor tilstandsklasse «moderat» (0,25-1,5 µg/L). Lokalitet V3a ble ikke målt like ofte som V2 og V3, og det ble ikke registrert en betydelig økning i konsentrasjonen her. Ved lokalitet V3 ble det også registrert en økning i Cd konsentrasjonen ved fire tidspunkt målt til henholdsvis 0,09, 0,15, 0,18 og 0,28 µg/L. De tre første toppene falt innenfor tilstandsklasse «god», men den siste toppen tilsvarer «moderat».

Utlekkingstrenden til Ni ligner på trenden for Cd. Konsentrasjonen av Ni i referansebekk V1 og V3b hadde en variasjon på henholdsvis 0,62 – 1,5 µg/L og 0,75 – 1,1 µg/L, og ble dermed kategorisert som tilstandsklasse «god» (0,5 - 4 µg/L). Lokalitet V2, V3 og V3a utviste omtrent samme konsentrasjon som referansebekkene før uttak og underveis i uttaksperioden. Etter oppstart, i perioden 3. juli til 21. august, økte Ni-konsentrasjonen ved lokalitet V2 til verdier mellom 5,7 – 32,1 µg/L. De høyeste Ni-konsentrasjonene ved V2 falt innenfor tilstandsklasse «moderat» (4 – 34 µg/L). Lokalitet V3a ble ikke målt like ofte som V2 og V3, og det ble ikke registrert en betydelig økning i konsentrasjonen her. Ved lokalitet V3 ble det også registrert en økning i Ni-konsentrasjonen ved tre tidspunkt målt til henholdsvis 9,3, 22,8 og 30,8 µg/L, og faller dermed innenfor tilstandsklasse «moderat». Etter den første toppen ved V3 går konsentrasjonen tilbake til «referansenivå» (1,63 µg/L), men mellom den andre og tredje toppen forblir konsentrasjonen svakt forhøyet (9,03-9,73 µg/L).

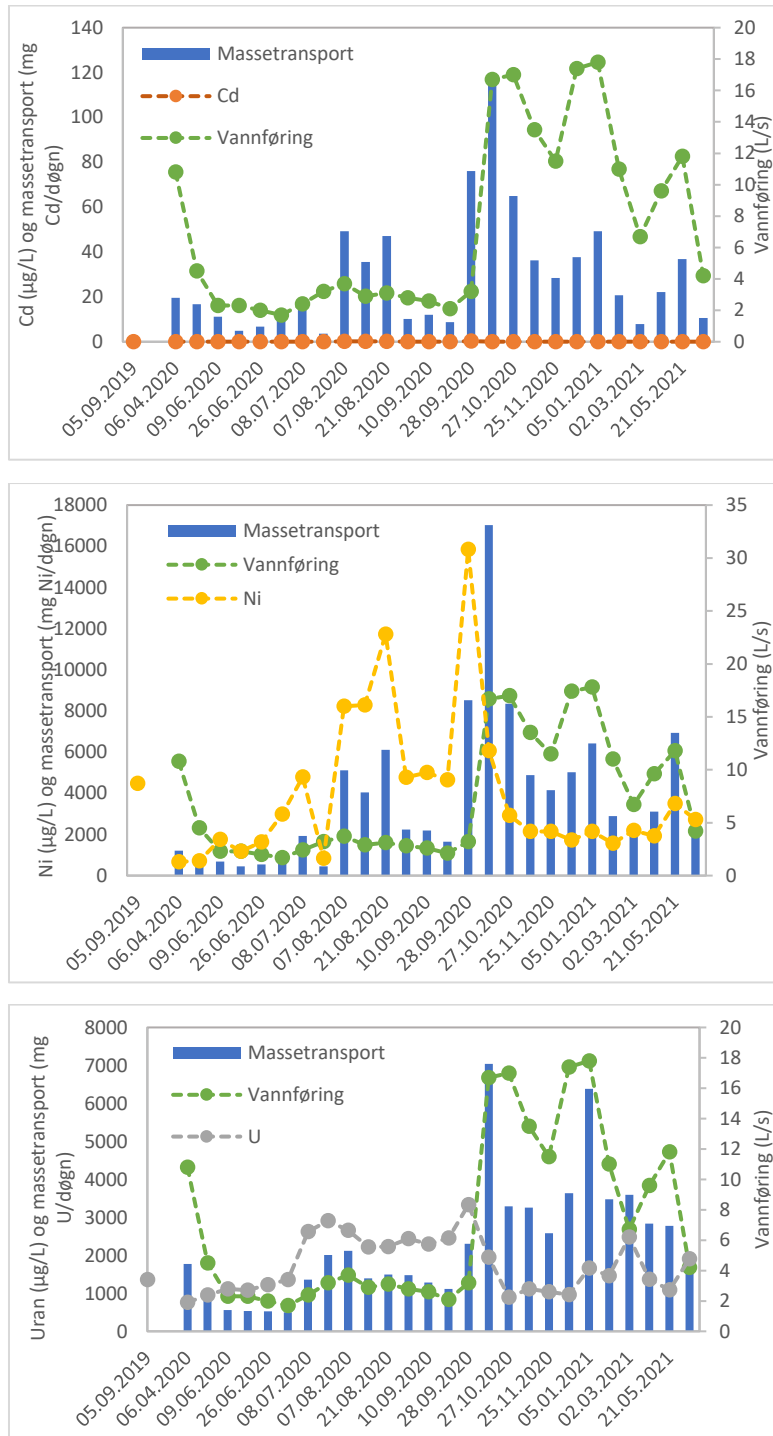
Vanndammen i trau ved veiskjæring (U1) (Figur 19, Vedlegg 12) hadde en Cd-konsentrasjon på 340 µg/L. Konsentrasjonen av Ni lå på 40 µg/L og U hadde en konsentrasjon på 120 µg/L.



Figur 34: Utvikling av Cd, Ni og U- konsentrasjonene (µg/L) over tid ved de ulike lokalitetene i felt (se kart i Figur 7). Punktene uten fyll er skanskas data (SK), og punktene med fyll er prøver tatt i forbindelse med dette studiet. Lilla linje markerer oppstart av svartskiferuttak.

5.1.5 Massetransport

Konsentrasjonen av Cd, Ni og U i bekk V3 var høyest sommeren 2020 hvor vannføringen var lavest og anleggsarbeidet pågikk (Figur 34). Fra høsten og utover økte nedbøren og konsentrasjonene avtok. Massetransporten (mg/døgn) av de ulike metallene ut av området var størst i periodene med høy vannføring.

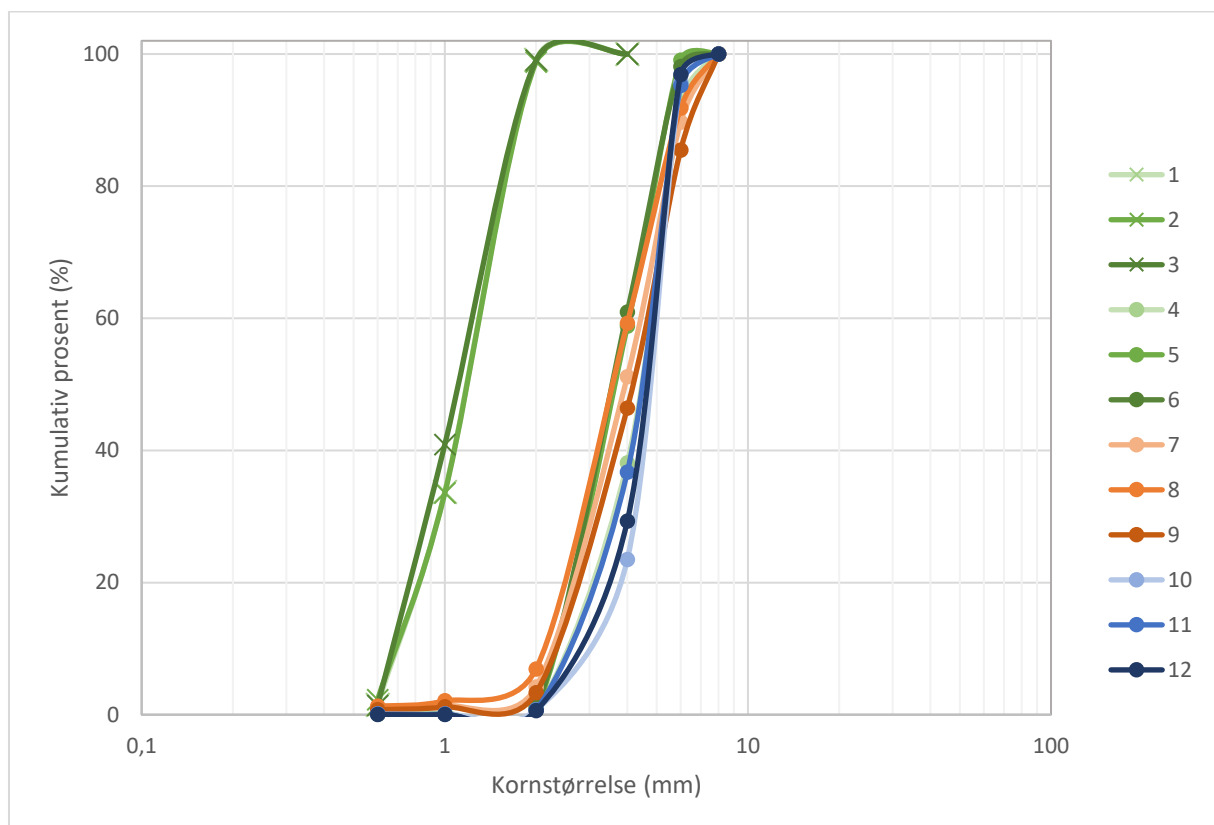


Figur 35: Massetransport for Cd, Ni og U per døgn (mg/døgn) er angitt som søyler. De oransje punktene er målt Cd konsentrasjon (µg/L) og målt vannføring (L/s) er angitt med grønne punkt

5.2 Kolonneforsøk

5.2.1 Kornfordeling og overflateareal

Kornfordelingskurvene (Figur 36) viser at det ved hjelp av selektiv sikting ble oppnådd to ulike kornstørrelser for alunskiferen som ønsket. SS(Fin) (kolonne 1-3) har en kornstørrelse på mellom 0,6-2 mm og SS(Grov) (kolonne 4-6) på 2-6mm. KS(Grov) og FS(Grov) har også en kornstørrelse i intervallet på 2-6 mm. Kornfordelingen til den forvitrede svartskiferen (7-9) og den kalkrike skiferen (10-12) sammenfaller omtrentlig med den grovkornede svartskiferen (4-6). I henhold til Udden-Wentworth skalaen (1914; 1922) klassifiseres SS(Fin) som grov til svært grov sand (0,5-2 mm), mens SS(Grov), FS(Grov) og KS(Grov) klassifiseres som svært fin til fin grus (2-8 mm). Graderingstallet (C_u) er <5 for samtlige prøver, og materialet kan dermed beskrives som ensgradert/godt sortert.



Figur 36: Kornfordelingskurver for kolonnematerialet.

Alle kolonnene hadde en vekt på 3 kg bortsett fra den forvitrede svartskiferen (kolonne 7-9) som hadde en vekt på 2,43 kg. Tettheten til kolonnematerialene ligger på 1,2-1,5 kg/L og det er dermed liten forskjell mellom de ulike kolonnematerialene. Det er størst forskjell i tetthet mellom SS(Fin) og SS(Grov).

Basert på kornfordelingen og tettheten ble spesifikt overflateareal for SS(Fin) beregnet å være mer enn dobbelt så stort som SS(Grov) med et gjennomsnitt på henholdsvis 687,39 og 288,61 m²/kg. SS(Grov) og FS(Grov) har omtrent like stort spesifikt overflateareal. Den kalkrike svartskiferen (KS(Grov)) derimot, har et noe høyere spesifikt overflateareal på 353,6 m²/kg.

Ved å gange spesifikt overflateareal med totalvekt av kolonnematerialet, er det beregnet at den finkornede svartskiferen har et gjennomsnittlig overflateareal på omtrent 2062,42 m², mens SS(Grov) har et betydelig lavere overflateareal på 865,86 m². Dette utgjør en betydelig forskjell for hvor mye svartskifer som kommer i kontakt med vann og dermed får mulighet til å reagere/forvitne. KS(Grov) har et overflateareal som er halvparten så stort som SS(Fin), med 1061 m². FS(Fin) har det laveste overflatearealet med 763 m².

Tabell 8: Gjennomsnittlig spesifikk overflate for de ulike kolonnematerialene.

Kolonne nr.	Type	Vekt (kolonne) (kg)	Volum (kolonne) Gj.snitt (L)	Tetthet Gj.snitt (kg/L)	Spesifikt overflateareal Gj.snitt (m ² /kg)	Overflateareal Gj.snitt (m ²)
1-3	SS (0,6-2)	3	2,1	1,36 ± 0,0001	687 ± 8,5	2062 ± 25,5
4-6	SS (2-6)	3	2,1	1,46 ± 0,02	289 ± 21,3	866 ± 64
7-9	FS (2-6)	2,43	2,1	1,17 ± 0,015	314 ± 11,7	763 ± 28,4
10-12	KS (2-6)	3	2,1	1,46 ± 0,07	354 ± 20	1061 ± 60

5.2.2 Porevolum

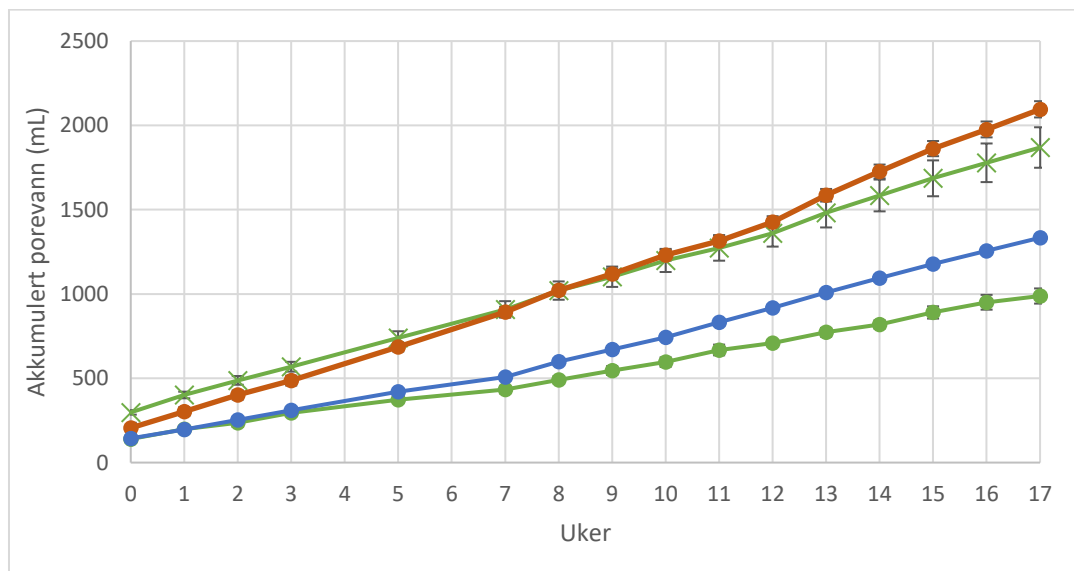
Kolonnematerialet har et gjennomsnittlig totalvolum på 2,1 L og rommer ca. 0,9-1 L vann. Porevolumet til alle kolonnene ble dermed beregnet til 40-55%, noe som indikerer høy porøsitet i kolonnene. Bra for god gjennomstrømning av luft og vann. Det finkornede kolonnematerialet SS(Fin) hadde lavest porevolum med et gjennomsnitt på 42,4%, etterfulgt av KS(Grov) med 49,9% og SS(Grov) med 50,6%. FS(Grov) hadde det høyeste porevolumet med 54,2%.

Tabell 9: Oversikt over de ulike kolonnetyperes gjennomsnittlige totalvolum, svartskifervolum og porevolum.

Kolonne nr	Type	Totalt volum Gj.snitt (L)	Svartskifervolum Gj.snitt (L)	Porevolum Gj.snitt (L)	Porevolum Gj.snitt (%)
1-3	SS (Fin)	2,2	1,27 ± 0,01	0,94 ± 0,01	42,4 ± 0,5
4-6	SS (Grov)	2,1 ± 0,03	1,02 ± 0,05	1,04 ± 0,02	50,6 ± 1,7
7-9	FS (Grov)	2,1 ± 0,03	0,95 ± 0,04	1,12 ± 0,02	54,2 ± 1,6
10-12	KS (Grov)	2,1 ± 0,1	1,03 ± 0,03	1,03 ± 0,1	49,9 ± 2,4

5.2.3 Porevann

Av alunskiferkolonnene har SS(Fin) mye mer akkumulert porevann enn SS(Grov) (Figur 37). I SS(Fin) blir det stående omtrent 200 mL vann etter hver vanning hvor omtrent 80 mL evaporerer i løpet av en uke (basert på vekt før og etter vanning). FS(Grov) har også høye verdier for akkumulert porevann på tross av at den er grovkornet – dette skyldes trolig den porøse tekturen til den forvitrede svartskiferen som lett trekker til seg vann. Det lave akkumulerte porevannet i SS(Grov) og KS(Grov) tyder på god drenering og at kolonnematerialet etterlates med en tynn vannfilm på overflaten. FS(Grov) har også høye verdier for akkumulert porevann på tross av at den er grovkornet – dette skyldes trolig den porøse tekturen til den forvitrede svartskiferen som lett trekker til seg vann.



Figur 37: Akkumulert porevann (og/eller evaporert vann) i de ulike kolonnetyper.

I Tabell 10 er det angitt omtrent hvor mye vann som holdes tilbake ved feltkapasitet i de ulike kolonnene og hvor mye som evaporerer i løpet av en uke. SS(Fin) holder omtrent 300 mL ved feltkapasitet, og i løpet av en uke fordampes omtrent 76 mL. SS(Grov) har en mye lavere feltkapasitet og holder tilbake 125 mL vann, og etter en uke har det fordampet 43 mL. Av de grove fraksjonene er det FS(Grov) som har den høyeste feltkapasiteten og holder omtrent 167 mL, hvorav 111 mL fordampes på en uke. KS(Grov) har litt lavere feltkapasitet enn SS(Grov) med 116 mL ved feltkapasitet og 64 mL evaporerer på 1 uke.

Tabell 10: Estimert vann ved feltkapasitet basert på vekt av kolonne rett før og etter vanning, og en uke etter (evaporasjon). Tallene er basert på gjennomsnitt av to vanningsrunder.

Kolonnetype	Vann v/feltkapasitet rett etter vanning (mL)	Vann etter 1 uke (mL)	Evaporert (mL/uke)
SS(Fin)	300 ± 14	224 ± 11	76 ± 8,4
SS(Grov)	125 ± 13	82 ± 9	43 ± 9
FS(Grov)	167 ± 8	56 ± 12	111 ± 11
KS(Grov)	116 ± 5	52 ± 7,4	64 ± 3

Alt vannet (ca. 300 mL) ble tilsatt kolonnene på omtrent 3-5 minutt, noe som tilsvarer at en gjennomsnittlig hastighet på 1-1,7 mL/s. I de fine kolonnene tar det gjennomsnittlig 2-3 min til første utlekking, men i den grove alunskiferen SS(Grov) og kalkrik skifer KS(Grov) tar det 12 -16 s. Den forvitrede svartskiferen tar 72 ± 28 s til første utlekking.

Tabell 11: Tid fra start av vanning til første utlekking.

	Sekund til første utlekking (sekund)			
	Gjennomsnitt	Std.avvik	Max	Min
SS(Fin)	155,4	33,1	205,3	54,5
SS(Grov)	12,0	1,4	20,0	10,2
FS(Grov)	72,1	27,7	177,3	18,3
KS(Grov)	16,4	3,1	29,3	10,0

5.2.4 Mineralogi

XRD-analysene (Vedlegg 3) indikerer at alunskiferprøven inneholder mest kvarts, kalsitt, pyritt, glimmermineralene fengitt og muskovitt, samt grafitt (

Tabell 12). Det er også innslag av despujolsitt som er et kalsium-mangan-sulfat-hydroksid som ofte dannes ved hydrothermal avsetning av mangan. SS(Grov) (kolonne 4) inneholder mest kalsitt, kvarts, pyritt, fergusonitt, berlinitt og fengitt. Denne prøven skulle i utgangspunktet representert grov alunskifer, men det høye innholdet av kalsitt i forhold til kvarts tyder på at det må ha skjedd en innblanding av mer karbonatholdig materiale i denne kolonnen (?). Fergusonitt er et oksidmineral bestående av flere sjeldne jordartsmetaller. Den forvitrede svartskiferen FS(Grov) inneholder mest kvarts, berlinitt, grafitt, moganitt (polymorf av kvarts) og glimmermineralet fengitt. Det er ikke registrert hverken pyritt eller kalsitt i denne prøven. I likhet med SS(Grov) inneholder den karbonatholdige svartskiferen KS(Grov) mest

kalsitt. Ellers bestod KS(Grov) av kvarts, aluminiumfosfatmineralet berlinitt, og feltspatmineralene albitt og oligoklas.

Tabell 12: Oversikt over mineralinnholdet i bergartsprøvene basert på XRD-analyser (Vedlegg 3).

Prøve-navn	Lok.	Mineraler og relative mengder basert på intensitet (usikkert)	Bergartstype
SS(Fin)	U2	Kvarts >> despujolsitt > kalsitt ≈ pyritt > fengitt ≈ grafitt ≈ muskovitt	Alunskifer, 2-3a
SS(Grov)	U2	Kalsitt > kvarts > pyritt > grafitt > fergusonitt>berlinitt> fengitt	Karbonatrik svartskifer (& alunskifer blandet?)
FS(Grov)	U1.1	Kvarts >> berlinitt > grafitt > moganitt > fengitt	Forvitret svartskifer
KS(Grov)	U1.2	Kalsitt >> kvarts > berlinitt > albitt > oligoklas	Karbonatrik svartskifer

5.2.4.1 Totalkjemi (pXRF og ICP-MS)

Svovel og jern

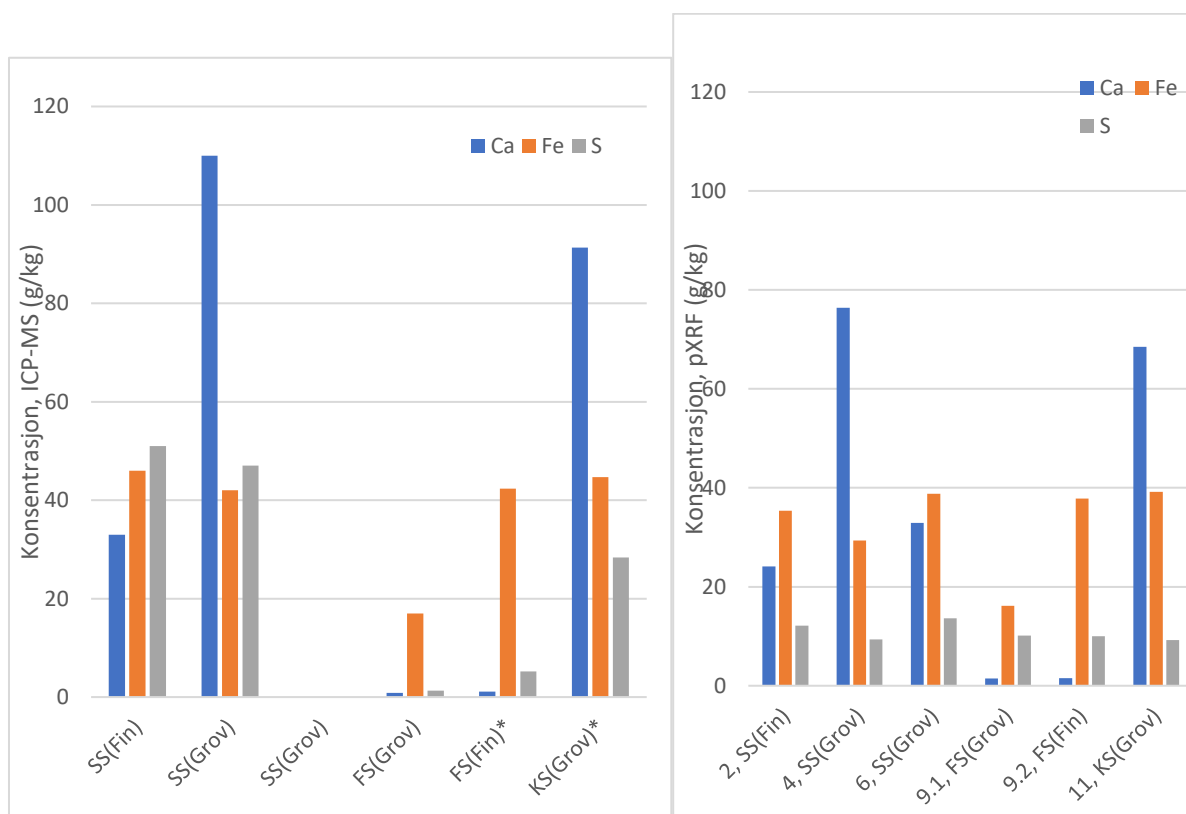
ICP- og XRF- analyser av totalprøvene tyder på at SS-prøvene inneholder mest svovel av alle kolonnetypene med en prosentandel på 47-51 mg/kg (Tabell 13). Både SS(Fin) og SS(Grov) inneholder litt mer svovel i forhold til jern. Det er liten forskjell i S og Fe konsentrasjon i SS(Fin) og SS(Grov), men SS(Fin) har litt høyere verdier. KS-prøvene hadde et litt lavere S-innhold med 28 mg/kg, altså 40-45% lavere enn SS-prøvene. FS-prøvene skilte seg ut med svært lavt S-innhold med 1,2-5 mg/kg, noe som er forventet da denne svartskiferen er forvitret. Alle prøvene inneholder omtrent like mye jern (42-46 g/kg), bortsett fra FS(Grov) som inneholder 17 g/kg.

Tabell 13: Totalinnhold av ulike grunnstoffer i svartskiferprøvene (målt med ICP-MS og ICP-OES). Dekomponeringsmetoden (HNO3 eller HF) varierer for de ulike stoffene avhengig av hva som egner seg best. Prøvene som er markert med stjerne (*) er gjennomsnitt av triplikater, med angitt standardavvik (±) for å vise variasjonen.

Kolonne nr:		Dekomp. metode	2	4	9.1	9.2	11
Element	Enhet		SS(Fin)	SS(Grov)	FS(Grov)	FS(Fin)*	KS(Grov)*
Al	g/kg	HNO3	52	38	68	68,67±0,47	34,33±0,047
Ca	g/kg	HNO3	33	110	0,85	1,10	91,33±4,78
Fe	g/kg	HNO3	46	42	17	42,3	44,7 ± 0,47
K	g/kg	HF	26	28	33	42,3 ± 1,25	25 ± 1,63
Mg	g/kg	HNO3	6,40	4,9	5	5,23 ± 0,047	4,90 ± 0,08
Mn	g/kg	HF	0,22	0,47	0,12	0,29	0,53
Na	g/kg	HF	2,5	1,9	4	3,7	11,3 ± 0,47
S	g/kg	HNO3	51	47	1,3	5,23 ± 0,047	28,3±0,5
Sr	g/kg	HF	0,14	0,34	0,03	0,04 ± 0,001	0,26 ± 0,01
Cd	mg/kg	HF	5,6	4,7	2,10	5,10 ± 0,1	4,07 ± 0,3
Cu	mg/kg	HF	140	100	120	353 ± 9	130 ± 10

Mo	mg/kg	HF	280	190	160	443 ± 5	207
Ni	mg/kg	HF	320	240	52	137 ± 5	253 ± 20
Pb	mg/kg	HF	36	29	29	127 ± 0,047	30 ± 2
U	mg/kg	HF	130	120	40	150	140 ± 10
Zn	mg/kg	HF	260	210	86	199 ± 5	177 ± 10

Alle kolonnematerialene har et relativt høyt innhold av Al og K, noe som kan skyldes innhold av leirmineraler som muskovitt og fengitt (mica). Spesielt FS-fraksjonene har et høyt innhold av Al og K. FS(Fin) inneholder dobbelt så mye jern og 25% mer K i forhold til FS(Grov), noe som kan indikere at prøvene inneholder mye jern- og aluminiumhydroksider.



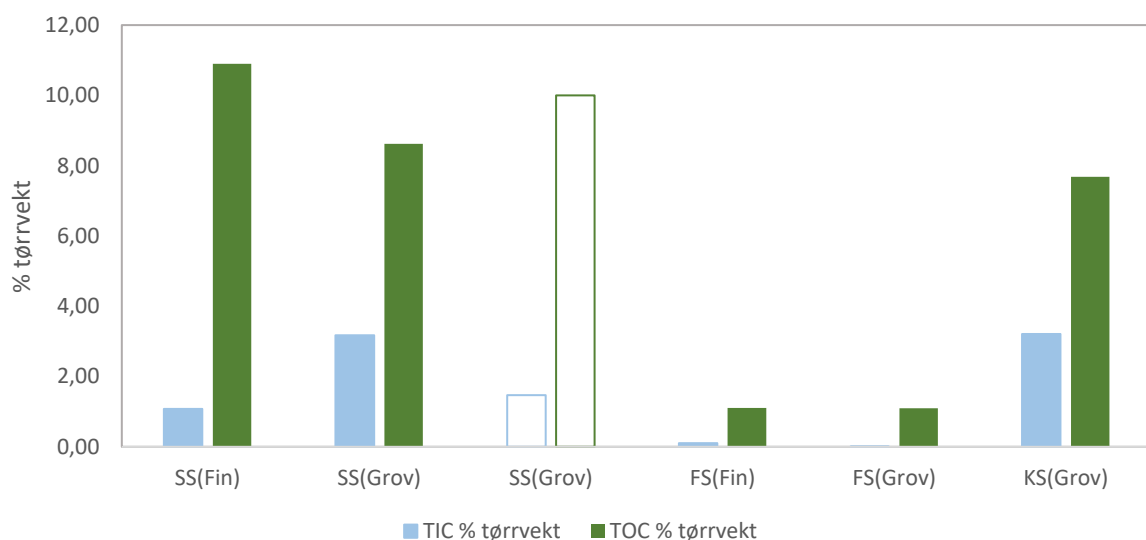
Plottet ICP-MS mot XRF for å se hvor stor forskjell det er. Ca, $R^2 = 0,997$; Fe, $R^2 = 0,8661$; S, $R^2 = 0,102$ (Vedlegg 3). Innholdet av S underestimeres ved bruk av pXRF.

Karbonater

SS(Grov) er den kolonnetypen med mest Ca (110 mg/kg) og TIC (3,2%), noe som indikerer høyest innhold av kalsiumkarbonat/kalsitt. Dette stemmer overens med XRD-analysene som indikerer at SS(Grov) har et høyt innhold av kalsitt (

Tabell 12). SS(Fin) inneholder 33 mg/kg Ca og 1,1% TIC, og har dermed et karbonatinnhold som er en tredjedel lavere enn i SS(Grov) og KS(Grov). KS-prøvene inneholder 91 mg/kg Ca og 3,2% TIC (omtrent like mye som SS(Grov), kolonne 4). Den forvitrede svartskiferen (FS) inneholder minst kalsiumkarbonat av alle prøvene med 0,085% Ca og 0,01% TIC. karbonater (Ca og TIC).

Målingene viser at det er SS-prøvene som har høyest innhold av TOC med 8,6-10,9%, etterfulgt av KS med 7,7%. FS-prøvene hadde det laveste innholdet av TOC med 1,1%.



Figur 38: Innhold av total organisk karbon (TOC) og total uorganisk karbon (TIC) i de ulike kolonneprøvene. Søylene uten fyll er fra kolonne 5.

Det syreproduserende potensialet (AP) og nøytraliserings potensialet (NP) til kolonneprøvene ble estimert ved hjelp av metoden beskrevet i kapittel X. Resultatene viser at AP og NP i stor grad varierer mellom de ulike kolonnematerialene. AP varierer fra henholdsvis 4,1 – 159 t CaCO₃/1000 t og NP varierer fra <0,83 – 268 t CaCO₃/1000 t.

Alunskiferprøvene (SS) har de høyeste AP-verdiene med 147-159 t CaCO₃/1000 t, hvorav SS(Fin) har høyere AP enn SS(Grov). Variasjonen i AP-verdiene for alunskifer er ikke stor, derimot viser NP-verdiene en stor variasjon med 90 - 264 t CaCO₃/1000 t. Det er de grove alunskiferprøvene som har høyest NP med 123 – 264 t CaCO₃/1000 t.

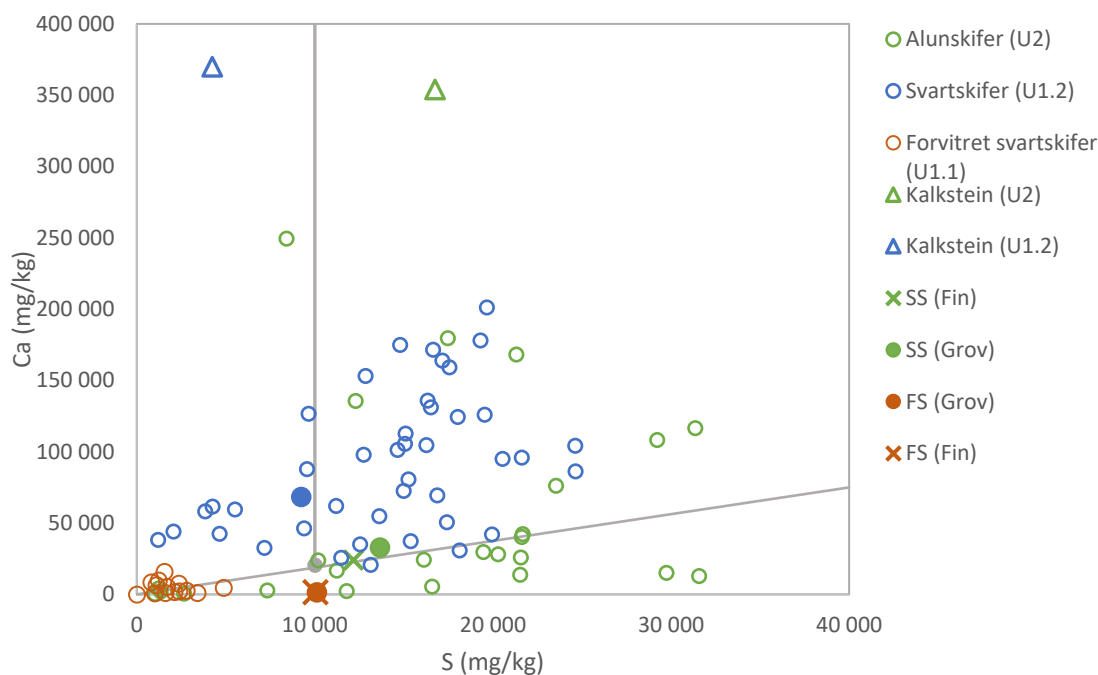
Den kalkrike svartskiferen (KS) har en litt lavere AP-verdi på 88,5 t CaCO₃/1000 t, og en høy NP-verdi på 268 t CaCO₃/1000 t.

De laveste AP og NP-verdiene er målt i den forvitrede svartskiferen (FS), med en AP mellom 4,06 – 16,34 t CaCO₃/1000 t og NP mellom <0,83 – 8,33 t CaCO₃/1000 t.

Tabell 14: Oversikt over de ulike kolonnenes syreproduserende potensiale (AP) og nøytraliseringspotensiale (NP).

Kolonne nr.	Kolonne-type	TIC	NP	S	AP	NNP (NP-AP)	NPR (NP/AP)
		(%)	(t CaCO ₃ /1000 t)	(%)	(t CaCO ₃ /1000 t)	(t CaCO ₃ /1000 t)	(t CaCO ₃ /1000 t)
2	SS(Fin)	1,08	90	5,10	159	-69,4	0,56
4	SS(Grov)	3,17	264	4,70	147	117	1,80
6	SS(Grov)	1,47	123	4,90	153	-30,6	0,80
9.1	FS(Grov)	<0,01	<0,83	0,13	4,06	-3,23	0,21
9.2	FS(Fin)	0,1	8,33	0,52	16,34	-8,01	0,51
11	KS(Grov)	3,21	268	2,83	88,53	179	3,02
						Negativ = syreprod Usikker sone = +20 til -20	<1 = syreprod >1<2,5 = usikkert >2,5 = ikke syreprod.

I Figur 39 er Ca:S-forholdet til kolonneprøvene plottet sammen med driftsdata fra Skanska i et scatter-plott utviklet av NGI (2015). Kolonneprøvene har samme farge som driftsdata fra de respektive uttakslokalitetene (Lok. U1: blå, gul og oransje og Lok. U2: grønn). Prøver med et S-innhold over 10 000 mg/kg og et Ca:S-forhold < 2 har syreproduserende potensiale (se linjer i Figur 39). Det er hovedsakelig alunskiferprøvene (SS) fra lokalitet U2 som plotter innenfor syreproduserende sone. Prøvene fra lokalitet U1 inneholder omtrent like mye S som lok. U2, men har et betydelig høyere innhold av Ca og plotter derfor i ikke-syreproduserende sone. Kalkstein fra lok U1 og U2 har desidert høyest Ca-innhold. Mønaitten har i følge



Figur 39: Scatterplot for Ca:S-forholdet i kolonneprøvene (fylte punkt og kryss) plottet sammen med driftsdata fra Skanska (punkter uten fyll). Kolonneprøvene har samme farge som de respektive uttakslokalitetene.

Innhold av tungmetallene Cd, Ni og U

Konsentrasjonen av Ni i SS(Grov) varierer mellom 0,24-0,32 g/kg og det er SS(Fin) som har den høyeste konsentrasjonen. I KS(Grov) er konsentrasjonen av Ni 0,25 g/kg, og det er dermed liten forskjell mellom konsentrasjonen i SS(Grov)- og KS(Grov)-prøvene. Den forvitrede svartskiferen (FS) har et mye lavere innhold av Ni med konsentrasjoner mellom 0,05-0,14 g/kg. FS(Grov) som ble brukt i kolonneforsøket har en betydelig lavere konsentrasjon av Ni enn FS(Fin) som ble siktet bort.

Det var liten variasjon i konsentrasjonen av Cd i svartskiferprøvene. Alunskiferen (SS) hadde en konsentrasjon på 0,005-0,006 g/kg, og kalkrik svartskifer (KS) hadde en konsentrasjon på 0,004 g/kg. FS(Grov) inneholdt en nokså lav konsentrasjon på 0,002 g/kg, mens FS(Fin) som ble siktet bort hadde en Cd konsentrasjon tilsvarende svartskiferen.

Alunskiferen (SS) og kalkrik svartskifer (KS) har et nokså likt innhold av U med konsentrasjoner mellom 0,12 – 0,14 g/kg. Det er KS som inneholder mest U, etterfulgt av SS(Fin) og til slutt SS(Grov). Den forvitrede svartskiferen FS(Grov) inneholder 0,04 g/kg. FS(Fin) hadde en høyere konsentrasjon av U, men ble ikke inkludert i kolonnen.

Kolonne- type	Mo	Ni	Cu	Zn	Cd	U
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Dekomp.:	HF	HF	HF	HF	HF	HF

SS(Fin)	0,28	0,32	0,14	0,26	0,006	0,13
SS(Grov)	0,19	0,24	0,10	0,21	0,005	0,12
FS(Fin)*	0,44 ± 0,005	0,14 ± 0,005	0,35 ± 0,009	0,20 ± 0,005	0,005 ± 0,0001	0,15 ± 0,008
FS(Grov)	0,16	0,05	0,12	0,09	0,002	0,04
KS(Grov)*	0,21	0,25 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,004 ± 0,0003	0,14 ± 0,01

5.2.5 Utlekking fra kolonneforsøk

5.2.5.1 pH og E.C.

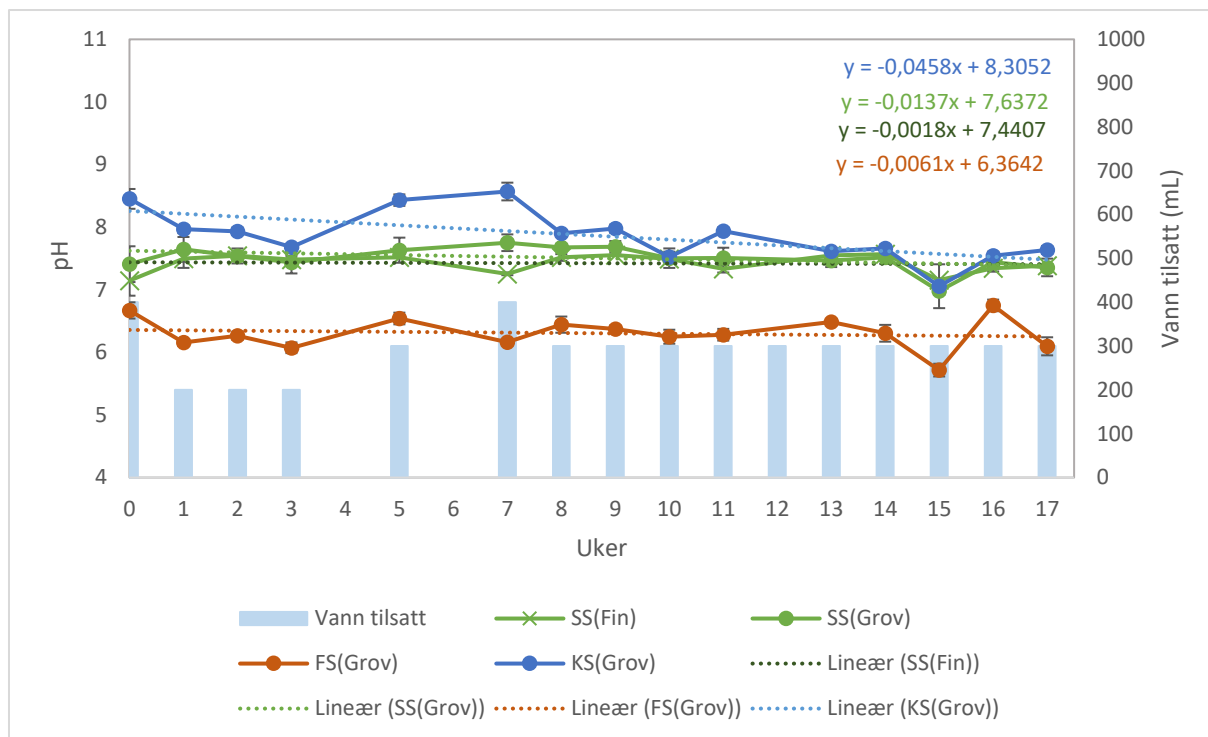
Alle kolonnetyperne hadde en relativt stabil og svakt basisk pH gjennom hele forsøket (Figur 40). KS(Grov) har hatt den høyeste pH-en gjennom hele forsøket, etterfulgt av SS (Grov) & (Fin) og til slutt FS (Grov) med den laveste pH-en. Standardavvikene er også forholdsvis lave, bortsett fra kolonnetype SS(Grov) hvor den ene kolonnen i triplikatserien, kolonne 4, utviste en noe lavere pH enn kolonne 5 og 6. Den 13. målingen viser en tydelig nedgang i pH-en som trolig skyldes en feil i kalibreringen, da alle prøvene viser den samme nedgangen uavhengig av kolonnemateriale.

KS(Grov) hadde en pH på 8,45 i starten av forsøket. I løpet av de fire første vanningene sank pH-en til 7,7. I forkant av vanning/måling nr. 5 og 6 hadde prøvene tørket i to uker, og pH-en i denne perioden økte til 8,43 og 8,57. Deretter fluktuerte pH-en mellom 7,9 og 7,5, og ved siste måling var pH-en 7,64. pH-en er nesten redusert med en enhet (0,81) i løpet av 17 uker.

pH-en for SS-kolonnene (Fin & Grov) er stabil gjennom hele forsøket, med en pH som fluktuerer mellom (6,98) 7,15 og 7,75. Det er heller ingen signifikant statistisk forskjell mellom pH-en i SS(Fin) og SS(Grov). Dette gi mening da begge kolonnene inneholder alunskifer. Ved start er pH-en 7,15 i SS(Fin) og 7,41 i SS(Grov), og ved slutten av forsøket var pH-en den samme i SS(Fin) og SS(Grov), 7,39 og 7,36. I etterkant av to ukers tørke, ble det ved vanning nr. 6 målt en reduksjon i pH-en fra 7,52 til 7,25.

Den laveste pH-en ble målt i FS(Grov), hvor pH-en fluktuerer mellom 5,72 og 6,75. I starten ble det målt en pH på 6,67, og i slutten av forsøket ble den målt til 6,10. (Lite basekationer og karbonat til stede i dette vannet, reaksjon med atmosfærisk CO₂).

I forkant av vanning 5 og 6 var det en 2-ukers tørkeperiode, måles den høyeste pH-verdien i KS(Grov). Ved samme tidspunkt måles det en reduksjon i pH-en ved SS(Fin) og FS(Grov). Ingen synlig endring i pH-en i SS(Grov).



Figur 40: pH-variasjoner i de ulike kolonnetypene. Blå søyler indikerer vanningsmengde.

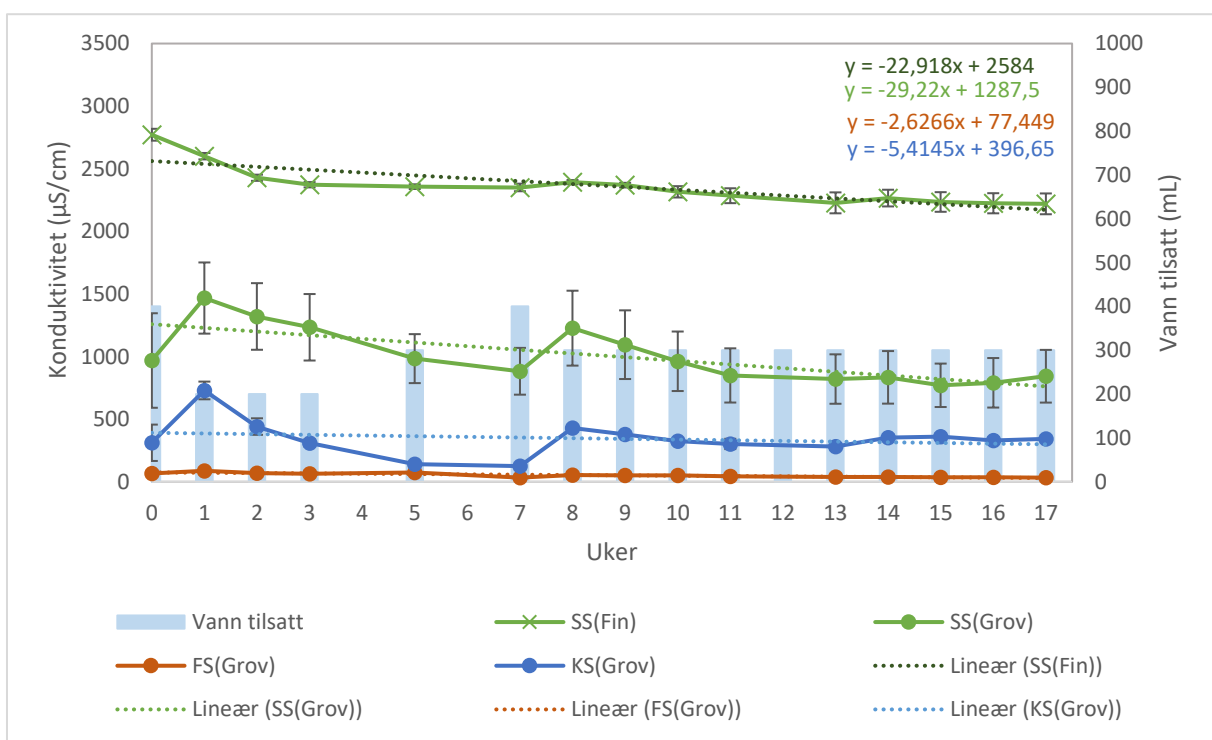
Av de ulike kolonnematerialene er det SS(Fin) som har den høyeste konduktiviteten, etterfulgt av SS(Grov), KS(Grov) og til slutt FS(Grov) med desidert lavest konduktivitet. SS(Fin) hadde omtrent dobbelt så høy konduktivitet som SS(Grov) (Figur 41). Ved oppstart viste SS(Fin) en forhøyet konduktivitet SS(Grov) i starten, etterfulgt av en reduksjon de fire første ukene før den stabiliserte seg. SS(Grov), KS(Grov) og FS(Grov) utviste høyest konduktivitet ved vanning nr. to

Ved oppstart viste SS(Fin) en forhøyet konduktivitet med $2772 \mu\text{S}/\text{cm}$, etterfulgt av en reduksjon de fire første ukene før den stabiliserte seg rundt $2220 \mu\text{S}/\text{cm}$. SS(Grov) utviste høyest konduktivitet ved vanning nr. to med $1467 \mu\text{S}/\text{cm}$, men de påfølgende fire vanningene forekom det en gradvis reduksjon. I periodene med to ukers tørking i forkant av vanning (vanning nr. 5 og 6) var konduktiviteten lav med 984 og $883 \mu\text{S}/\text{cm}$ (fortynning pga 300 - 400 mL vann i stedet for 200??). En uke senere (vanning nr. 7, med 300 mL) økte konduktiviteten til $1226 \mu\text{S}/\text{cm}$ etterfulgt av en gradvis reduksjon før den stabiliserte seg rundt 771 - $849 \mu\text{S}/\text{cm}$. Ganske lik utlekking fra alle SS(Fin) prøvene-lave standardavvik. Høyt standardavvik for SS(Grov) på grunn av kolonne 4 som har lavere konduktivitet enn 5 og 6. Forskjellen er illustrert ved hjelp av et boksplo (Figur 42). Den gjennomsnittlige konduktiviteten til kolonne 4 var $684 \mu\text{S}/\text{cm}$, og for kolonne 5 og 6 var konduktiviteten henholdsvis 1252 og $1276 \mu\text{S}/\text{cm}$.

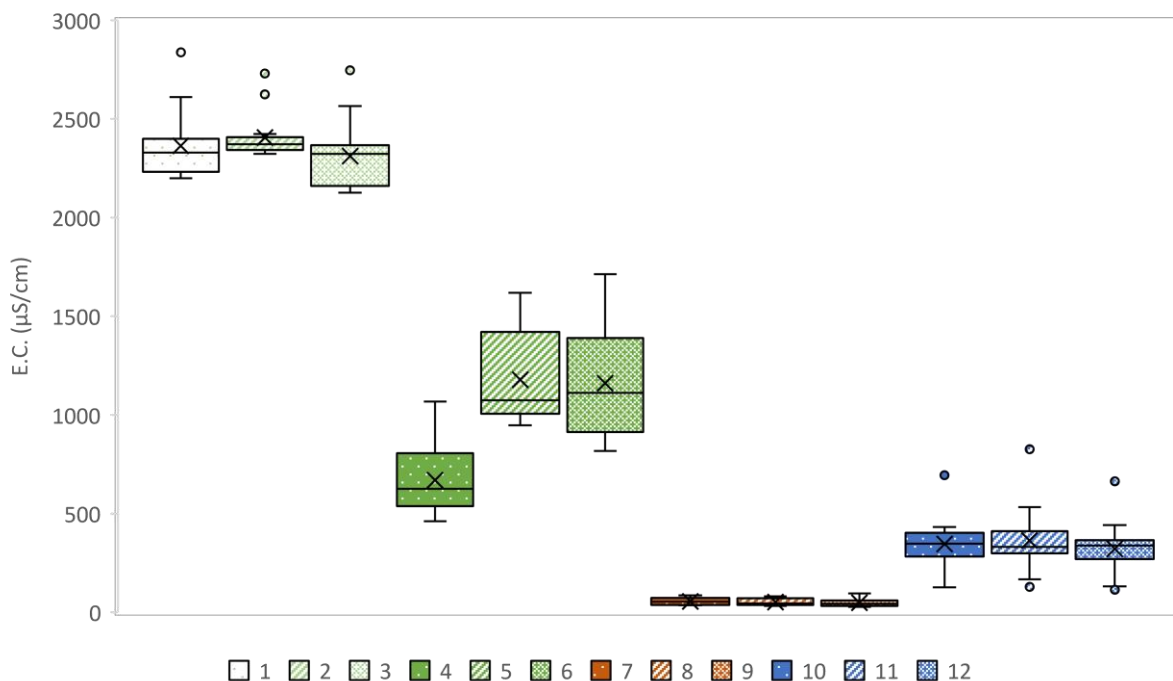
Konduktivetsmålingene i KS(Grov) følger det samme mønsteret som er beskrevet for SS(Grov), men med en markant lavere konduktivitet. Ved første vanning er konduktiviteten 311 $\mu\text{S}/\text{cm}$, men ved vanning nummer to måles den høyeste konduktiviteten for KS til 729 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Deretter avtar konduktiviteten gradvis ned til 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ved vanning nr. 6, før konduktiviteten igjen øker og stabiliserer seg med en konduktivitet mellom 282 – 429 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Den høyeste konduktiviteten i FS(Grov) ble målt til 88 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ved vanning nummer to, etterfulgt av en gradvis reduksjon til 33 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Synkende trend- ser ikke ut til å ha stabilisert seg helt.

De lave verdiene for SS (Grov) og KS (Grov) ved første vanningsrunde kan skyldes grovere masser og dermed kortere oppholdstid/ reaksjonstid og mindre kontaktflate mellom vann og kolonnemateriale.



Figur 41: Variasjon i konduktivitet for de ulike kolonnetyperne .



Figur 42: Boksploot som viser den totale variasjonen i E.C. gjennom hele kolonneforsøket. Legg merke til at kolonne 4 (SS(Grov)) har en lavere E.C. enn de to andre triplikatenene.

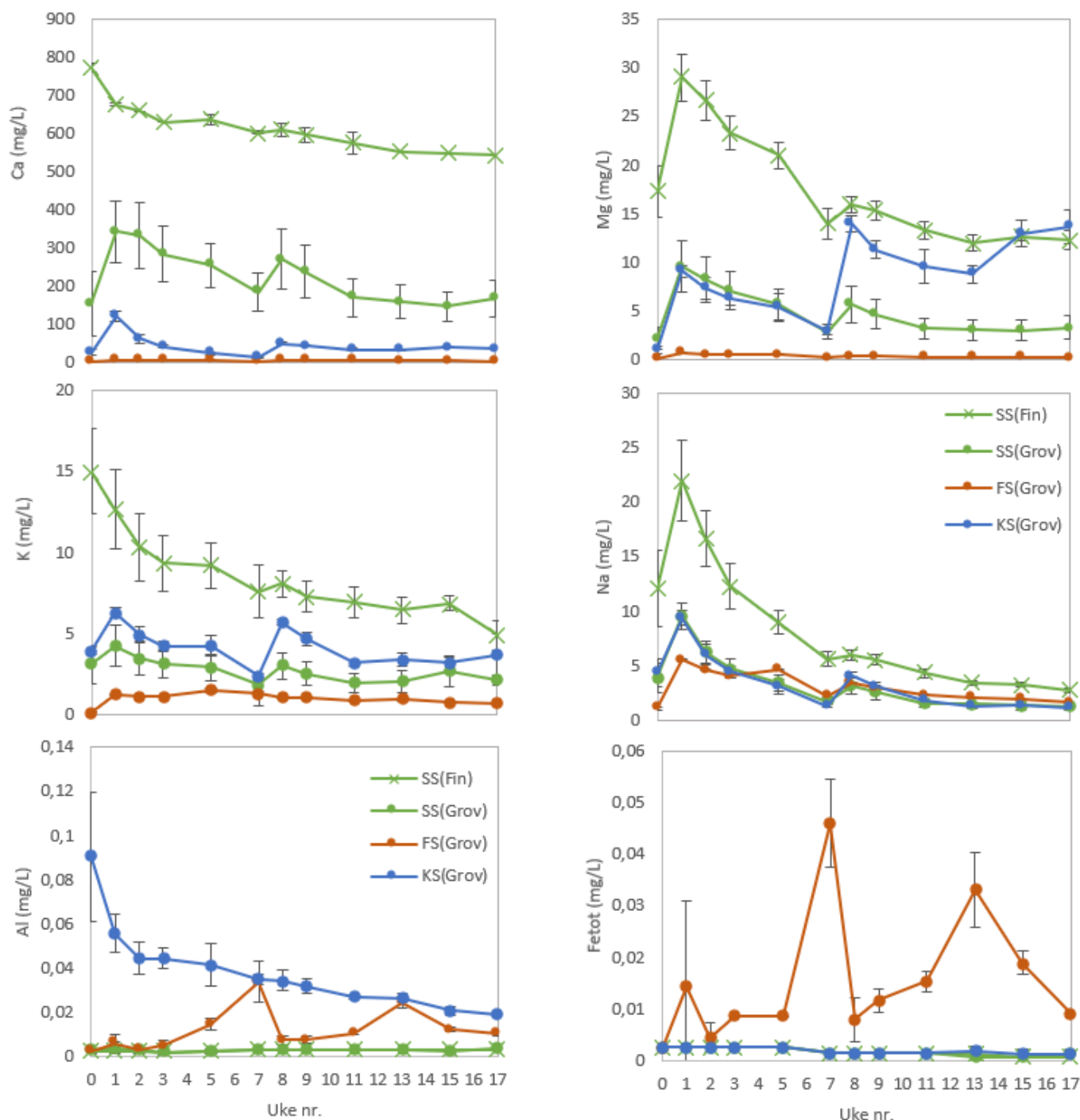
5.2.5.2 Hovedkationer og -anioner

Av hovedkationene var det Ca som hadde den høyeste utlekkingen i alle kolonnene (Figur 43), etterfulgt av Mg, K og Na. Generelt var utlekkingen av hovedkationer litt forhøyet i starten og i uke 8, men stabiliserte seg fra og med uke nr. 10. SS(Grov), KS(Grov) og FS(Grov) hadde lavere utlekking ved vanning nummer en enn nummer to.

Den høyeste utlekkingen av Ca ble målt i SS(Fin) med konsentrasjoner mellom 543-773 mg/L, etterfulgt av SS(Grov) med konsentrasjon mellom 153-343 mg/L, KS (Grov) med mellom 13,7-120 mg/L, og til slutt FS(Grov) som hadde svært lav utlekking med 1,3-6,1 mg/L.

Utlekkingen av magnesium er betydelig lavere enn kalsium, men følger hovedsakelig samme trend. Unntaket er KS(Grov) som i starten av forsøket har samme utlekkingskonsentrasjoner som i SS(Grov), men ved vanning nr. 7 øker konsentrasjonen fra 2 til 14.

Utlekkingen ser ut til å avta på dag 49, noe som trolig skyldes en foregående tørkeperiode etterfulgt av en vanning på 400 mL (fortynning?).



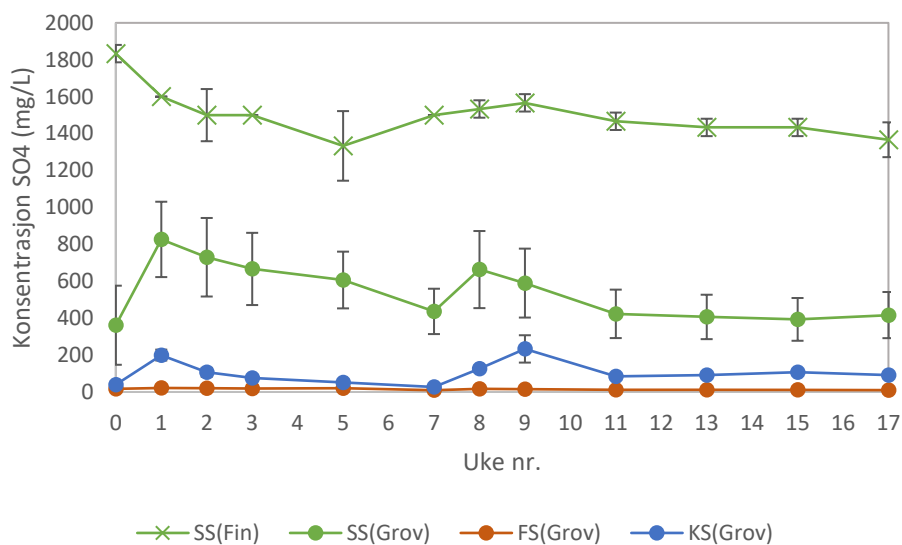
Figur 43: Variasjon i utlekking av hovedkationene Ca, Mg, K, Na, Al, Fe_{tot} fra kolonneforsøket over tid.

Av hovedanioner er det SO_4^{2-} som utgjør absolutt høyeste konsentrasjonen, og følger samme trend som utlekkingen av Ca. Cl^- , NO_3^- og DOC hadde en mye lavere konsentrasjon hvor alle kolonnetyper hadde en utlekking $<2,5$ mg/L (Vedlegg 7). PO_4^{3-} og F^- ble ikke målt.

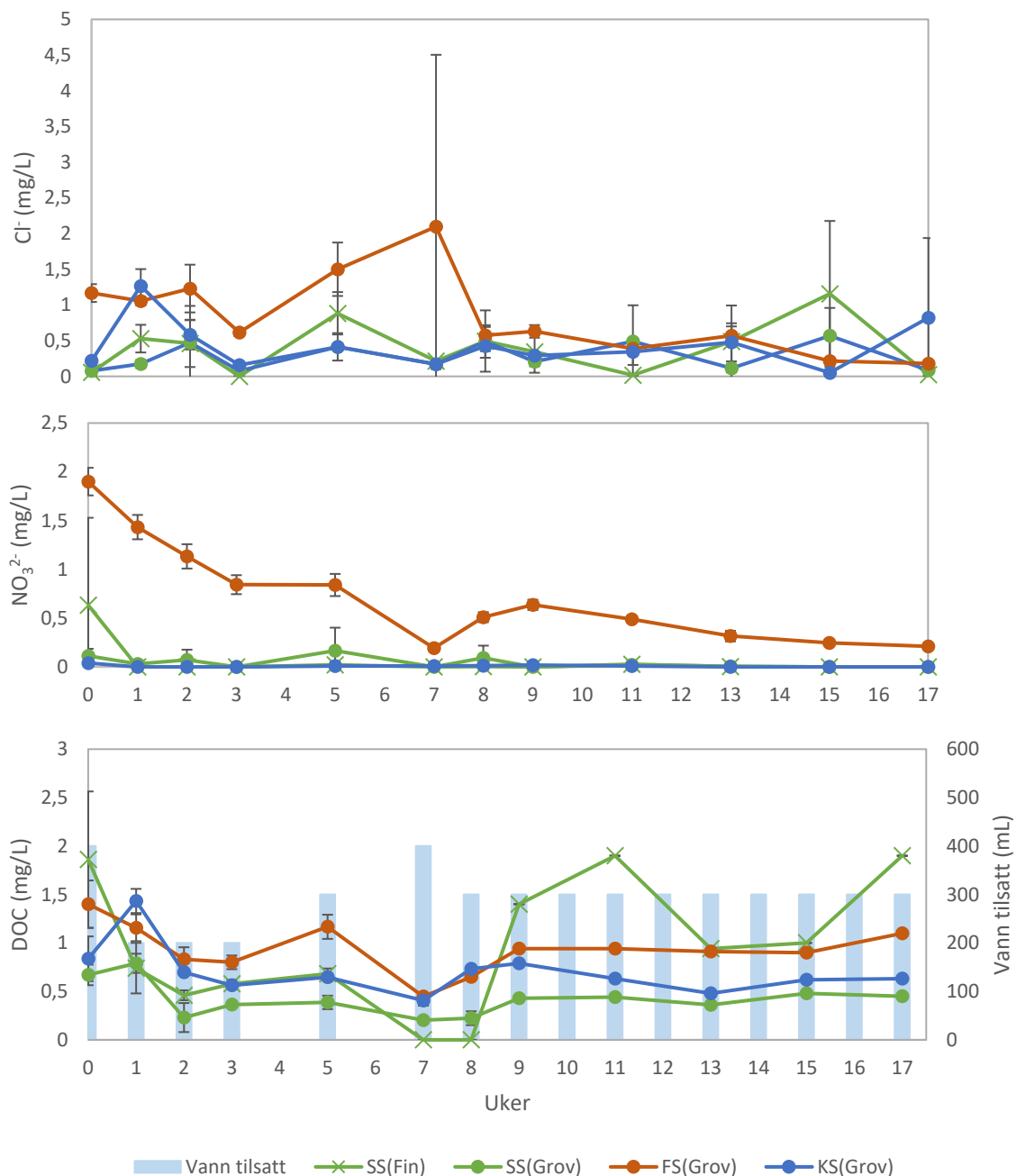
Det er i hovedsak alunskiferen (SS(Fin) & SS(Grov)) som utviser de høyeste konsentrasjonene av SO_4^{2-} (Figur 44), hvorav SS(Fin) har høyest konsentrasjon med verdier

mellom 1333-1833 mg/L og SS(Grov) med verdier mellom 362-827 mg/L. SS(Grov) har et høyt standardavvik på grunn av lavere utlekking i kolonne 4 (Figur X) med mellom 75-540 mg/L, i forhold til kolonne 5 og 6 som hadde en utlekking på henholdsvis 420-940 og 420-1000 mg/L. Nest etter alunskiferen er det den kalkrike svartskiferen KS(Grov) med konsentrasjoner mellom 27-233 mg/L. Også her var det lav utlekking ved første vanning med en konsentrasjon på 39,7 mg/L, men en uke senere økte utlekkingen til 200 mg/L med en påfølgende bratt reduksjon til 27 mg/L i uke nr. 7. En ny utlekkingstopp på 233 mg/L i uke 9 før konsentrasjonen stabiliserte seg på 85,3-107 mg/L. FS(Grov) hadde svært lav utlekking gjennom hele forsøket, med en konsentrasjon på mellom 9,5-21,7 mg/L SO_4^{2-} .

Utlekkingen av DOC i kolonnemateriale SS(Fin) viser også en interessant trend (Figur 45). I perioden uke 0-8 synker DOC-konsentrasjonen fra 1,86 - 0 mg/L. Deretter forekommer det en økning i uke 11 til en konsentrasjon på 1,9 mg/L, og fra uke 11-17 lå den mellom 0,94-1,9 mg/L.



Figur 44: Kurvene viser endringer i konsentrasjonen av SO_4^{2-} i de ulike kolonnetyperne over tid.



Figur 45: Kurvene viser endringer i konsentrasjon av Cl^- , NO_3^{2-} og DOC i de ulike kolonnetypene over tid. Blå søyler viser vann tilsatt (mL).

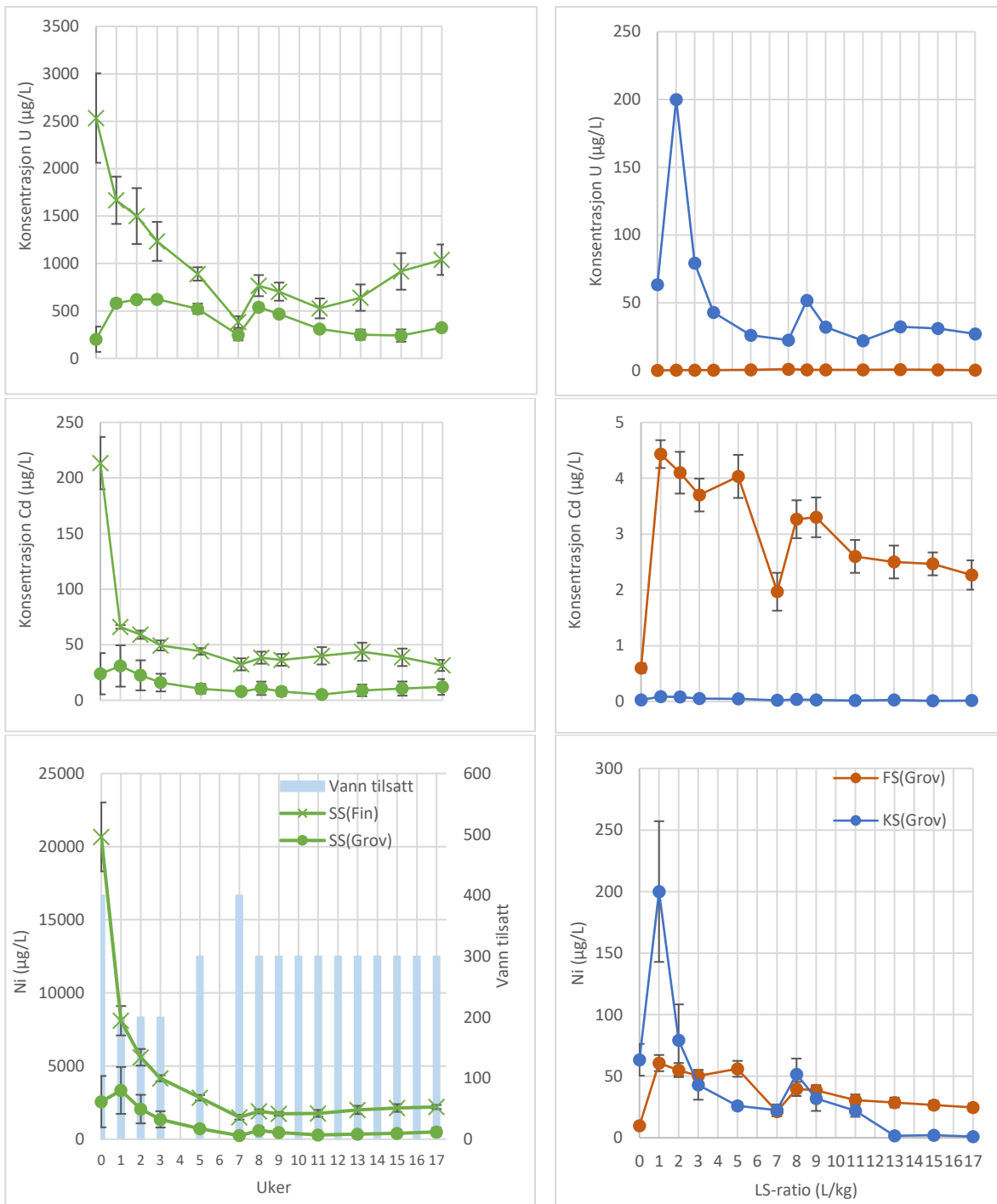
5.2.5.3 Spormetaller (Cd, Ni og U)

De fleste tungmetallene (Cd, Cu, Mn, Ni, Zn, U) som ble målt i kolonneforsøket utviste en forhøyet konsentrasjon i starten, etterfulgt av en bratt reduksjon før utlekkingen stabiliserte seg. Generelt er det SS(Fin) og SS(Grov) som har det høyeste utlekkingskonsentrasjonene av tungmetaller, etterfulgt av KS(Grov) og FS(Grov) med lavest konsentrasjon. Et unntak er konsentrasjonen av Cu hvor KS(Grov) hadde de høyeste konsentrasjonene. Ni, Zn, Mn og U var de tungmetallene med høyest utlekkingsverdier i starten av forsøket. Konsentrasjonene for

Cd, Ni og U er illustrert i Figur 46, og de resterende tungmetallene (Cu, Mn, Mo, Zn) er listet i Vedlegg 7.

I starten er utlekkingen av uran (U) fra SS(Fin) tolv ganger høyere enn utlekkingen fra SS(Grov) med en konsentrasjon på henholdsvis 2533 µg/L og 201 µg/L (Figur X). I løpet av de 6 første vanningene forekommer det en kraftig reduksjon i utlekkingen ned til 383 µg/L, og på dette tidspunktet i forsøket var konsentrasjonen i SS(Fin) bare 1,5 ganger større enn SS(Grov) som hadde en konsentrasjon på 247 µg/L. I uke 8 forekommer det en moderat økning i både SS(Fin) og SS(Grov) til henholdsvis 767 og 540 µg/L. Mot slutten av forsøket (uke 11-17) forekom det en svak økning i U-konsentrasjonen i SS(Fin) til 1040 µg/L, og en svak reduksjon i SS(Grov) til 323 µg/L. Utlekkingen av U fra KS(Grov) var mye lavere enn SS-kolonnene, og hadde en konsentrasjon på mellom 22-200 µg/L og følger det samme utlekkingsmønsteret som SO₄ og Ca, med størst utlekking ved vanning nr. 2 og 7. FS(Grov) utviser den absolutt laveste utlekkingen av U med konsentrasjoner ≤ 1µg/L.

I starten er utlekkingen av kadmium (Cd) fra SS(Fin) ni ganger høyere enn utlekkingen fra SS(Grov) med en konsentrasjon på henholdsvis 213,3 µg/L og 23,8 µg/L (Figur X). I løpet av de 6 første vanningene forekommer det en kraftig reduksjon i utlekkingen ned til 32,3 µg/L, og på dette tidspunktet i forsøket var konsentrasjonen av U i SS(Fin) fire ganger høyere enn SS(Grov) som hadde en konsentrasjon på 7,87 µg/L. Fra vanning nr. 7-10 forekom det en moderat økning i SS(Fin) til 43,7 µg/L, og deretter sank konsentrasjonen til 31,3 µg/L mot slutten av forsøket. Av alle kolonnematerialene er det KS(Grov) har lavest utlekking av Cd med konsentrasjoner <0,1 µg/L.



Figur 46: Plottene som viser utlekking av Cd, Ni og U fra de ulike kolonnematerialene. Alunskiferprøvene (SS) er plottet til venstre, og FS og KS er plottet til høyre. De blå søylene viser vannmengde tilsatt ved hver vanning og gjelder for alle plottene ovenfor.

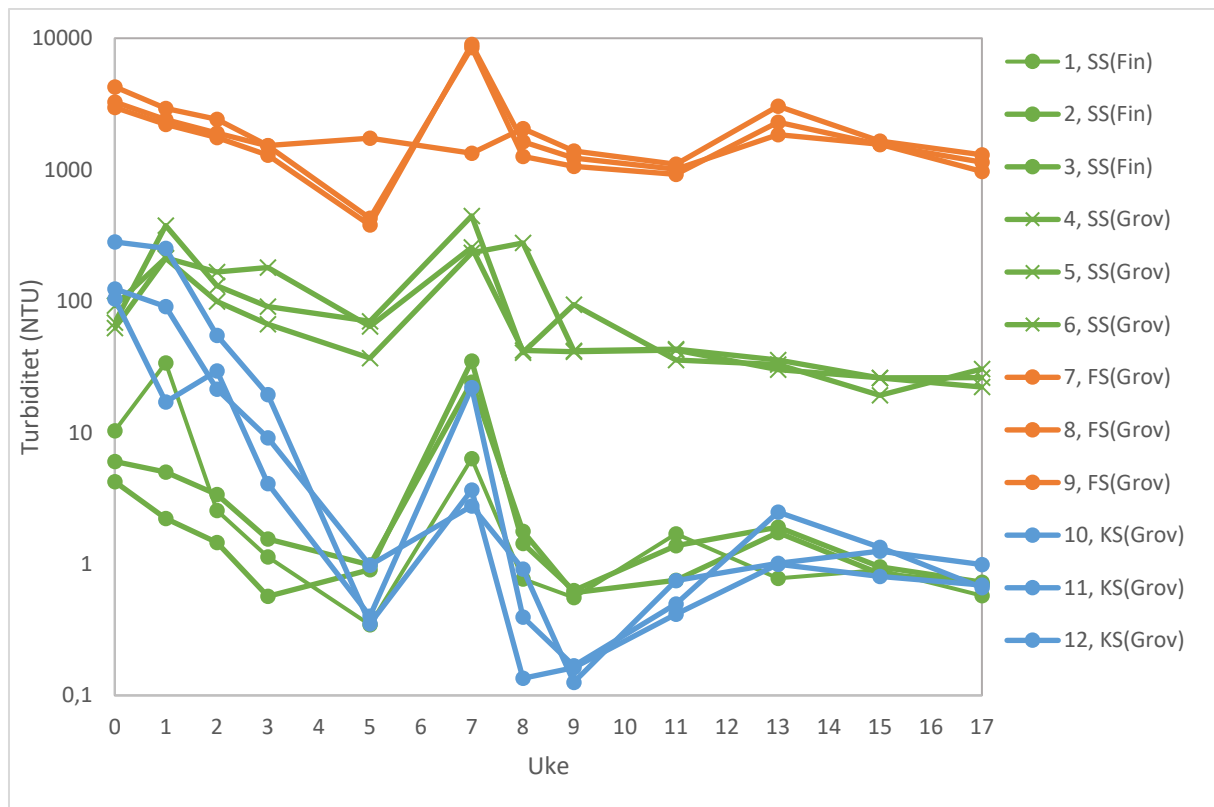
5.2.6 Massetransport

5.2.6.1 Turbiditet

Det forvitrede kolonnematerialet (FS) har den høyeste turbiditeten (Figur 47) gjennom hele forsøket sammenlignet med de andre kolonnematerialene, og hadde dermed størst partikkeltransport.

Alle prøvene starter med en relativt høy turbiditet, men hadde en gradvis nedgang over de fire første ukene grunnet utvasking av gjenværende støv fra oppknullingen. For SS(Grov) var turbiditeten lav ved første vanning, etterfulgt av en topp ved andre vanning, og deretter sank turbiditeten gradvis til utgangspunktet. KS(Grov) hadde svært høy turbiditet ved oppstart (104 NTU), men hadde en kraftig reduksjon i løpet av de fire første ukene til 1 NTU. SS(Fin) hadde den laveste turbiditeten til å begynne med, men fra og med uke fire ligger SS(Fin) og KS(Grov) relativt på samme nivå.

Toppen på dag 49 kan ses i alle kolonnene, sammenfaller med en to ukers lang tørkeperiode. I denne vanningsrunden ble det tilsatt 400 mL vann i stedet for 300 mL. En kombinasjon av lenger forvitringstid (2 uker), og hurtigere vanngjennomstrømming førte antakeligvis til at mer partikler ble transportert ut i oppsamlingsbeholderen.



Figur 47: Kurvene viser variasjoner i turbiditet for de ulike kolonneprøvene over tid.

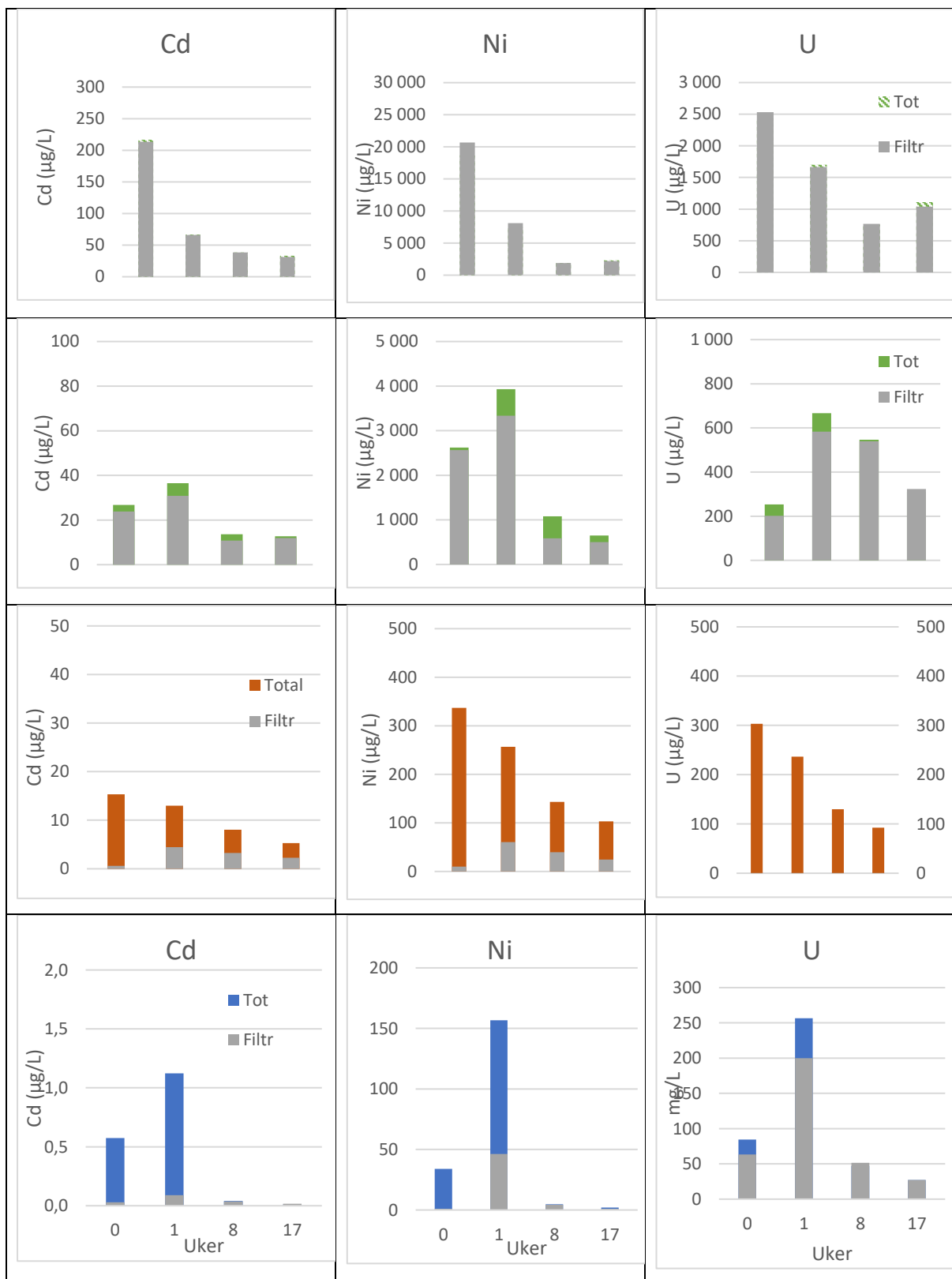
5.2.6.2 Partikkeltransport

Differansen mellom ufiltrert (total) prøve og filtrert prøve indikerer at mesteparten av Cd, Ni og U er løst i vannfasen i form av kation og/eller kompleks i vannprøvene fra SS (Fin & Grov). SS(Grov) hadde litt høyere partikkeltransport av tungmetaller enn SS(Fin). I FS og KS derimot, var hadde en høyere prosentandel bundet til partikler i vannprøven, spesielt i starten av forsøket.

I vannprøvene fra SS(Fin) var omtrent all Cd, Ni og U løst i vannfase ved alle målinger, og det var dermed svært lav partikkeltransport av tungmetaller fra dette kolonnematerialet. Cd 0-6% partikulært materiale, Ni 0-5,7% partikulært, U 2-6%. Partikkeltransporten var høyest mot slutten av forsøket.

Vannprøvene fra SS(Grov) hadde en litt høyere partikkeltransport enn SS(Fin). For Cd varierte partikkeltransporten mellom 5,5-20,6%, for Ni mellom 2-45,5% og U mellom 1,2-20,5%. Ni og Cd hadde høyest partikkeltransport midtveis i forsøket, mens U hadde høyest partikkeltransport i starten og mot slutten var all U løst i vann.

FS(Grov) var kolonnematerialet med prosentvis høyest partikkeltransport av Cd, Ni og U. Partikkeltransporten for Cd og Ni var høyest ved oppstart med 96 og 97% og avtok mot slutten av forsøket med henholdsvis 57,2 og 72,3%. For U varierte partikkeltransporten mellom 99,6-100%. Utlekkingen av uran fra FS(Grov) er betydelig høyere tatt totalprøvene i betraktning.



Figur 48: Sammenligning av total- og filtrert (0,45µm) i kolonneprøvene over tid.

5.2.7 Metallenes tilstandsform/speciering (modellert med Visual Minteq)

Modellering av SS-prøvene (Vedlegg 8) indikerer at 61-72% av totalt Cd innhold vil foreligge som fritt Cd^{2+} -ion og 17-36% vil kompleksere med SO_4^{2-} og danne kadmiumsulfat (CdSO_4 (aq)). SS(Fin) har en høyere konsentrasjon av SO_4^{2-} relativt til Cd^{2+} sammenlignet med SS(Grov), og danner dermed mer CdSO_4 -komplekser. De resterende prosentene (2-5%) danner komplekser med organisk materiale, nærmere bestemt karboksylgrupper (COO^-) på fulvosyrer (fulvic acid, FA). FS(Grov)-prøvene har også mest fritt Cd^{2+} med 77,5%, etterfulgt av 17% bundet til karboksylgrupper og i organisk materiale. Konsentrasjonen av sulfat i FS(Grov) er mye lavere enn i SS-prøvene, og dermed er det bare 7% av Cd som danner CdSO_4 -kompleks. I den kalkrike svartskiferen KS(Grov) foreligger 68% som fritt Cd^{2+} -ion, 23% kompleksere med karboksylgrupper i organisk materiale og 7% danner CdSO_4 -komplekser.

I likhet med kadmium, vil også mesteparten (66-80%) av nikkell foreligge som fritt Ni^{2+} -ion eller sulfatkompleks (15-28% NiSO_4) i utlekkingen fra alunskifer (SS-prøvene), og de resterende 2,6-4,4% er bundet til bikarbonat (NiHCO_3^+). Det er SS(Fin) som danner mest sulfat- og bikarbonatkompleks med Ni. I FS(Grov) foreligger 91% av nikkell som fritt Ni^{2+} -ion, 4,8% danner svake elektrostatiske bindinger til løst fulvosyrer ($\text{Ni}+2\text{D}$ (aq)), 1,7% NiSO_4 og 1,7% til karboksylgrupper. I den kalkrike svartskiferen KS(Grov) foreligger 83% av nikkell som fritt Ni^{2+} -ion, 7,6% som NiSO_4 , 3,3% som NiHCO_3^+ , 2% som NiCO_3 (aq) og totalt 3% til karboksyl og hydroksylgrupper i organisk materiale.

Uran vil foreligge som U(VI) ved redoksforhold pe 2-8. I SS-prøvene danner 75-88% av den totale urankonsentrasjonen nøytrale $\text{Ca}_2\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3$ (aq) -komplekser, og de resterende 12-24% danner komplekser med et mindre Ca^{2+} -atom og foreligger som $\text{CaUO}_2(\text{CO}_3)_3^{2-}$ -anioner. Det er SS(Fin) som danner mest nøytrale $\text{Ca}_2\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3$ (aq) -ioner. I utlekkingen fra FS(Grov) danner uran kun komplekser med organisk materiale. Ifølge modelleringen vil 84,5-87,8% kompleksere med karboksylgrupper og 12-15,5% med hydroksylgrupper. Ved pe 2 er mest U(VI) bundet til karboksylgruppene. KS(Grov) viser størst endring i kompleksing med hensyn på pe-forholdene. Ved pe 2-4 kompleksere U(VI) kun med organisk materiale, hvorav 65-67% er bundet til hydroksylgrupper og 33-35% til karboksylgrupper. Ved pe 8 reduseres komplekseringen til organisk materiale til totalt 24%, og domineres av kalsiumkarbonatkomplekser. Omtrent 43% er bundet til $\text{Ca}_2\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3$ og 30% av $\text{CaUO}_2(\text{CO}_3)_3^{2-}$ -anioner.

6 Diskusjon

6.1 Metoder for svartskiferuttak

6.1.1 Grunnundersøkelser (ERT & GPR)

Av ERT- og GPR-målingene som ble gjennomført ser det ut til at ERT egnet seg best til kartlegging av svartskifer og permintrusiver. ERT kan nemlig skille mellom ulike laginndelinger i svartskiferen med ulikt sulfidinnhold og mænaitt. GPR-profilen var nyttig for å kartlegge dyp til fjell og sprekkesoner/strukturer i området hvor mænaittgangen penetrerte svartskiferen. GPR kan ikke brukes til å detektere variasjoner innad i svartskiferen, da det høye metallinnholdet og silt/leir-partiklene i svartskiferen har en energidempende effekt som gir dårlig signal (grått og diffust) (Reynolds, 2011).

ERT-målingene i denne studien indikerte at svartskiferen ved Kleggerudkrysset hadde en elektrisk resistivitet mellom 0,71 - 3,34 Ωm . NGI (2014) målte at alunskiferen ved Kleggerudkrysset hadde en resistivitet på 0,1-1 Ωm (basert på ERT + borekjerner), og referansemålingene fra Tøyen viste at alunskifer etasje 2e og 3a α hadde en resistivitet på 1 - 6 Ωm (Lysdahl & Bazin, 2014). Ved Gran hadde alunskiferen en konduktivitet mellom 0,025 - 0,13 Ωm , og kalksteinen Huk hadde en høyere resistivitet på 43-540 Ωm (Bazin et al., 2018).

Resistivetsmålingene for alunskiferen i dette studiet er altså litt høyere enn hva NGI målte ved Kleggerudkrysset i 2014, men er innenfor resistivetsintervallet for referansemålingene fra Tøyen. I følge Palacky (1987) har skifer generelt en resistivitet mellom 5 – 30 Ωm , og massive sulfider mellom 0,1 – 5 Ωm . Etersom svartskifer inneholder svært mye sulfider som er med på å senke resistiviteten, stemmer de målte verdiene ved Kleggerudkrysset godt med Palackys definerte resistivetsintervall. Resistiviteten ved veiskjæringen i Kleggerudkrysset kan også påvirkes av de sub-horisontale, tynne mænaittgangene og mer kalkholdig svartskifer (Figur 11) som kan bidra til å øke resistiviteten.

Mænaittgangen målt i dette studiet har en resistivitet på 1725-8200 Ωm . Linjen ble lagt omtrent parallelt med veiskjæringen og perpendikulært i forhold til mænaittgangen. Denne knausen av mænaitt ble observert av Bazin og Lysdahl (2014) men ble ikke innlemmet i ERT-profilene da linjen ble lagt parallelt med FV241, og mænaitten lå litt øst for linjen. Typiske resistivetsverdier for intrusive, magmatiske bergarter kan ligge mellom 1000 – 100 000 Ωm , og det samme gjelder for dolomitt og kalkstein (Palacky, 1987). I følge Reynolds (2011) kan resistiviteten til syenitt variere mellom 10^2 – 10^6 . Løsmassene som hovedsakelig bestod av tørr, medium sand og noe silt viste en konduktivitet på 363 – 1725 Ωm .

Både tidligere AEM og ERT målinger utført av NGI (2014) og ERT-målingene utført i dette studiet indikerer at elektrisk resistivitetsmålinger egner seg til å skille mellom ulike typer svartskifer med svært høy elektrisk konduktivitet, og permintrusiver med lav konduktivitet. Områdene med høy/lav resistivitet i NGI sine profil sammenfaller med området med høy/lav resistivitet funnet i denne oppgaven. Det ble dermed ikke tatt med i beregningen av hvor mye fjellvolum som skulle fjernes. ERT-målingene utført av NGI ble satt opp parallelt med Fv241, og stoppet akkurat i kontaktsonen mellom svartskifer og permintrusiv i nord-østlig ende av profilet (F4) (Vedlegg X).

Mye tyder på at AEM og ERT-målinger er nyttig ettersom man på den måten kan skille godt fjell (mænaitt) fra dårlig fjell og på den måten redusere mengden løsmasser som må kjøres til deponi. ERT-målingen utført i dette studiet registrerer mænaittgangen ned til en dybde på 7,5 m. Veiskjæringen hadde en høyde på 5 meter på sørlig side, og 3 meter på nordlig side. Men verken AEM utført av NGI (mangelfullt datasett) eller ERT-målingene som ble utført i dette studiet gav detaljerte nok oppløsning til å si nok om den vertikale utstrekningen til mænaitten, bredden og orientering/vinkel i dypet.

I følge (Bazin et al., 2018) har alunskifer lav resistivitet ($0,1\Omega\text{m}$) og høy ladbarhet (IP), og kalkholdig svartskifer har litt høyere resistivitet og lav ladbarhet. Konduktiviteten målt i felt er høyere enn $0,1\Omega\text{m}$, og ladbarheten er lav (bortsett fra i overgangen mellom løsmasser og svartskifer som består av forvitret svartskifer (leire og jernhydroksider).

Det er flere årsaker til at ERT-målingene ved Kleggerudkrysset ikke gav optimale resultater. Tørre sedimenter og stedvis tynt sedimentdekke over berg, resulterte i dårlig kontakt mellom elektrodene og grunnen ved flere punkt. Dersom tiden tillot det, burde analysen vært utført en gang til.

Løsmasser og hydrologi

Både ERT-og GPR-målingene indikerer at den øst-vendte skråningen var dekket av et 2,5 - 3 m tykt lag med løsmasser bestående av alternerende lag av medium sand og silt. ERT-målingene viste at løsmassene hadde svært høy resistivitet, noe som tyder på at massene var tørre. Dersom det var vann til stede ville konduktiviteten vært høyere (Reynolds, 2011). GPR-resultatene indikerer at løsmassene har en sub-horisontal laginndeling. På grunn av kornstørrelsen til sedimentene antas at den hydrauliske konduktiviteten i området er relativt god

og at den skrå overflaten gjør at vannet skiftes ut relativt fort. I perioder med høy temperatur, vil også evapotraspirasjonen øke. Dermed ligger området i umettet sone, noe som kan forklare den velutviklede forvittringshorisonten i overgangen mellom løsmassene og svartskiferen.

Det faktum at svartskiferen i veiskjæringen ligger i umettet sone, og ligger høyere i terrenget enn bekk V2 indikerer at den hovedsakelig vil komme i kontakt med vann i nedbørsperioder. Veiskjæringen er ikke tildekket og vil komme i kontakt med vann i nedbørsperioder, men den er bratt og vertikal, så det er antakeligvis ikke så mye vann som vil treffe overflaten. Mænaittgangen utgjør også en stor del av overflatearealet, noe som er med på å redusere avrenningen betraktelig. Avrenningsvannet fra veiskjæringen renner via impermeabel grøft langs veien og ledes ned i en oppsamlingskum hvor vannet renses før det slippes ut i Grensebekken. Dermed vil Kleggerudbekken trolig ikke bli påvirket av avrenning fra den nyetablerte veiskjæringen.

Bekken er også lagt i rør under hele veikrysset. Trauet er dekket av et impermeabelt veidekke, og vil derfor ikke komme i kontakt med vann.

6.1.2 Uttaksmetoder

I Tabell 15 er det listet opp en oversikt over de ulike uttaksmetodene og de forebyggende tiltakene i felt og mulige fordeler/ulemper og begrensninger de kan medføre.

De geofysiske målingene gir et godt overblikk over ulike typer svartskifer i området og permintrusiver, og er nyttig i forbindelse med tidlig planlegging av uttak. Men metoden kan være tidkrevende dersom man er nødt til å gjøre justeringer av parameterne underveis for å få den best mulige målingen for det spesifikke området. I kombinasjon med boreprøver kan ERT-analysene ofte bidra til å si noe om utstrekningen til evt. ulike laginndelingene som observeres.

Ved hjelp av pigging og skraping har man god kontroll på hvor mye svartskifer som tas ut. Gravemaskinen er kalibrert i forhold til traubunn, og dette gir en god presisjon. En ulempe er at pigging og skraping, samt kjøring med beltedrevne maskiner fører til en god del finkornede partikler og støv under utgraving, lasting og transport av materialet ut av området.

Sprengningsteknikken beskrevet i grove trekk i kapittel 3.3.2 gjorde at man lyktes med å sprengte ut kontrollerte mengder svartskifer og skille mænaittgangen fra svartskiferen. Det var viktig med en tett kontursøm, 0,5 m underboring og flere små salver for å ha kontroll på

mengde svartskifer som ble tatt ut. Også her blir tidsaspektet viktig, da det tar tid å sprengte ut flere små salver enn en stor. Svartskiferen ble sprengt løs i større blokker, men i forbindelse med lastning og transport måtte blokkene knuses til mindre fraksjoner.

Uttaksmetodene er som anvendes ved utgraving av svartskifer har vist seg å være viktige for å redusere uttaket ved å suksessfullt skille godt fjell fra dårlig fjell og dermed redusere mengden svartskifer som må kjøres til deponi. Uttaket ved Kleggerudkrysset ble redusert med omtrent 33 000 tonn i forhold til opprinnelig estimat. Felles for pigging og sprenging er at det ser ut til at det er lastning og transport som forårsaker mest støvforurensning i prosessen.

Kleggerudbekken ble lagt i rør for å forhindre at støv og partikler fra svartskiferuttaket skulle forurense bekken. Dette fungerte bare til en viss grad da bekken både var influent og effluent, og i tørre perioder rant bekkevannet delvis gjennom røret og delvis ut langs siden av røret. I perioder med høyere vannføring vil røret trolig fungere bedre. Røret er lokalisert under veikrysset og i det ferdigstilte veikrysset og overflatevann fra veien ledes i et grøftesystem til en oppsamlingsskum. Dermed vil ikke lokalitet V2 motta avrenning fra veiskjæring etter ferdigstilling av veien. Gjenværende svartskiferpartikler i sedimentene under veien kan muligens remobiliseres/forvitre lekke ut på stedet i perioder med mye nedbør/høy grunnvannsstand (Salbu & Lind, 2020).

Sandvollene ble installert mellom uttaksområdene og bekken for å forhindre transport av svartskiferpartikler ut i bekken. Partikkeltransporten, partikler kan holdes tilbake i sedimenter, men kan forvitre på et senere tidspunkt (Salbu & Lind, 2020). Høyere partikkeltransport i perioder med høy vannføring (Nichols, 2009). Bekken er lagt i rør i dette området, så det vil trolig ikke komme i kontakt med så mye vann.

Det oppstod en vannansamling i trauet ved veiskjæringen underveis i anleggsperioden. I bunnen av vanddammen var det hovedsakelig mænaitt., noe som reduserte kontaktflaten med svartskifer. Vannprøven fra denne dammen hadde allikevel høye konsentrasjoner av blant annet Cd, Ni og U og det ble observert manganutfelling på vannoverflaten. Cd-konsentrasjonen lå på 0,032 µg/L, Ni-konsentrasjonen var 40 µg/L og U-konsentrasjonen var 270 µg/L. Det er altså ikke gunstig å ha stående vann i trau.

Tabell 15: Oversikt over uttaksmetoder og andre tiltak utført i felt og vurdering av fordeler/ulempene av disse.

	Fordele	Ulemper	Begrensninger
Geofysiske undersøkelser i forkant av uttak	Kartlegge svartskiferen i området. Skille mellom syreproduserende og ikke-syreproduserende svartskifer og godt fjell (mænaitt i dette tilfellet)	Tidkrevende. Krever ofte justeringer og målingene må gjerne kjøres flere ganger for å finne optimale innstillinger for områdets spesifikke geologi.	Krever god kontakt mellom grunnen og elektrodene. God nok oppløsning? Krever referansemålinger fra borekjerner til sammenligning/ «ground truthing».
Tildekke med kompaktert sand	Redusere oksygentilgangen til underliggende svartskifer og kan dermed redusere forvitring. Redusere partikkeltransport (?)		Ikke luft/ vanntett.
Pigging og skraping	Høy presisjon-bedre kontroll på hvor mye svartskifer som tas ut enn ved sprenging.	Tidkrevende. Skaper mer finkornede partikler og støv enn sprenging ved uttak (?)	Mer tidkrevende enn sprenging. Lasting og transport genererer mye støv.
Sprenging	Mer effektivt enn pigging(?) Større blokker. Mindre finstøv i selve uttaket.	Kan risikere å sprengte ut for mye svartskifer. Skifriheten til svartskifer gjør at den lettere kan pulveriseres.	Litt lavere presisjon og kontrollerbart uttak enn ved pigging. Lasting og transport av materialet fører til mye generering av støv.
Kortest mulig mellomlagring av masser	Reduserer eksponeringstid og utlekking	Fare for økt avrenning i nedbørsperioder dersom det ikke dekkes til (ble dekket av presenning). Varmeutvikling.	
Bekk i rør	Beskytte bekker mot tilslamming av svartskiferstøv fra anleggsområdet.	Forstyrrer de naturlige bunnforholdene i bekken.	Influent/effluent bekk kan ha en tendens til å renne utenfor røret i perioder med lav vannføring.
Sandvoller	Redusere partikkeltransport fra anleggsområdet		Partiklene som «fanges» i sandvollene kan forvitte og tungmetaller i LMM-form kan lekke ut på et senere tidspunkt
Deponering	Unngå sur avrenning og utlekking av tungmetall som kan være skadelig for miljø.	Høye kostnader knyttet til deponiavgift og transport. Mye tungtransport og høyt CO ₂ -utslipp.	Gryende plassmangel ved egnede deponier som f.eks. Langøya.

6.2 Annleggsarbeidets innvirkning på overflatevannets vannkvalitet

Vannprøvene viser at pH-en er nøytral-basisk både før og etter uttaksperioden begynte på tross av en tydelig økning i utlekking av SO_4^{2-} . Dette skyldes at forvitring av pyritt fører til oppløsning/forvitring av karbonatmineraler i svartskiferen som bufrer syren (Formel 6 i kapittel 2.1.3). Vannet i området hadde opprinnelig høy alkalinitet og forble uendret gjennom anleggsperioden. Konsentrasjonen av Ca^{2+} løst i vann øker i takt med SO_4^{2-} , og indikerer oppløsning av kalsitt. Dette er også registrert ved målinger av vannforekomster i forbindelse med tunellbyggingen i alunskifer på Gran (Fjermestad et al., 2018). Selv om pH-en var høy, ble det observert økt utlekking av flere tungmetall, deriblant Cd, Ni og U, sammenlignet med bakgrunnskonsentrasjonen i området.

De høyeste konsentrasjonene av U, Cd og Ni ble observert i perioden juni-september 2020. Av alle lokalitetene var det V2 i Kleggerudbekken (midt i anleggsområdet) som hadde de høyeste konsentrasjonene. Denne lokaliteten ble direkte påvirket av støv fra pigging/sprenging og avrenning fra svartskiferen i uttaksperioden. Vannføringen i V2 var tilgjengelig lav (Vedlegg 2), så den totale massetransporten ut fra området i denne perioden var allikevel lav.

Lenger nedstrøms, ved lokalitet V3a og V3, ser man også forhøyede konsentrasjoner, men ikke like høye som i V2. Dette skyldes trolig flere faktorer. Rett nedstrøms for lok V2 ble det blant annet lagt en duk under bekken som var med på å holde tilbake svartskiferpartikler. Mellom V2 og V3a strømmer vannet gjennom en sandkropp som kan ha hatt en filtrerende effekt på vannet. I tillegg kan konsentrasjonen fortynnes ved tilsig av vann fra omgivelsene rundt (Figur 7). Konsentrasjonen av Cd, Ni og U oppstrøms i Grensebekken (V3b) indikerer at vannet ved denne lokaliteten opprinnelig var upåvirket av svartskiferuttaket. Vannprøvene nedstrøms for knutepunktet mellom Kleggerudbekken og Grensebekken indikerer at Grensebekken ble påvirket av avrenning fra anleggsområdet i uttaksperioden.

I desember 2020 ble veiskjæringen åpnet slik at vannet fra veiskjæringen drenerte vestover mot lokalitet V3a (Vedlegg 11). Fra og med den tid og frem til juni 2021 er urankonsentrasjonen i V3a målt til 18-25 $\mu\text{g/L}$, som er forhøyet i forhold til bakgrunnskonsentrasjonen på $\sim 2\mu\text{g/L}$. Konsentrasjonen av Ni er også forhøyet til 5-6 $\mu\text{g/L}$ sammenlignet med bakgrunnskonsentrasjon på omtrent 1 $\mu\text{g/L}$. Til sammenligning er det rapportert en avrenning fra veiskjæringer nord for Gran (stasjon 7) en U-konsentrasjon på 7-8,6 $\mu\text{g/L}$, og en Ni-konsentrasjon på 15 $\mu\text{g/L}$ (Skipperud et al., 2016).

Den 9. april 2021 var konsentrasjonen av U, Cd og Ni ut av anleggsområdet (V2) lik konsentrasjonen i bekken oppstrøms for anleggsområdet (V1) (Figur 34), noe som tyder på at avrenningen fra selve anleggsområdet på det tidspunktet var tilbake til normalen. På dette tidspunktet var hele V2 lagt i rør og hele anleggsområdet tildekket av veikonstruksjonen. Impermeable veioverflater og grøftesystem sørger for at nedbør og grunnvann fra skråningen oppstrøms ikke kommer i kontakt med den ferske svartskiferen ved lok. U2.

De høyeste konsentrasjonene ble målt i periodene med lav vannføring (juni - september 2020), og de laveste konsentrasjonene ble målt ved høy vannføring (oktober 2020 – mai 2021). Dette kan tyde på at innholdet av tungmetaller ble oppkonsentrert i periodene med lav vannføring og fortynnet ved høy vannføring. Men selv om konsentrasjonen ble oppkonsentrert i sommermånedene, var det allikevel tegn til svakt forhøyede konsentrasjoner i perioden for hvor svartskiferuttaket pågikk (15. juni – 30. sept.). Periodene med høyest vannføring fører til størst total massetransport av tungmetall og uran ut av området selv om konsentrasjonene i denne perioden er lav.

De høyeste konsentrasjonene målt i felt kan påvirkes av nedbørsbyger i feltområdet (Figur 14). De høyeste konsentrasjonene i V2 ble målt den 27. juli (Figur 34), som sammenfalt med en nedbørsbyge på 13,6 mm/døgn og en moderat økning i vannføring (Vedlegg 2).

Tydelig økning sees i sammenheng med oppstart av ss-uttak:

- Økt konsentrasjon av tungmetall
- SO₄ (pyritt) og NO₃ (sprenging)
- Økt konduktivitet

6.3 Kolonnestudie

6.3.1 Svartskiferens sammensetning

Innhold av svovel og kalsium

Totalkonsentrasjonen av S i alunskiferprøvene SS(Fin) og SS(Grov) (4,7-5,1%) fra Kleggerudkrysset var ca. dobbelt så høy sammenlignet med tidligere studier av alunskifer på Gran og (Fjermestad, 2013; Helmers, 2013; Wærsted, 2019) og i Oslo (Abraham, 2007; Bjørlykke, 1974). Basert på gjennomsnittet av 25 prøver estimerte Bjørlykke (1974) at den gjennomsnittlige konsentrasjonen av S i kambrisk svartskifer er 2,6%. Svartskifer i Sverige har omtrent den samme gjennomsnittlige konsentrasjonen på 2,7%, med unntak av Degerhamn hvor Lavergren et al. (2009) målte en betraktelig høyere konsentrasjon på 6,5%. Verdiene fra Degerhamn er høyere enn S-innholdet målt i dette studiet. KS(Grov) hadde en noe lavere totalkonsentrasjon (2,8%) enn SS-prøvene og liknet mer på verdiene observert ved Gran og Oslo (Bjørlykke, 1974; Wærsted, 2019). Forvitret svartskifer (FS), hadde et svært lavt innhold av S da alt er forvitret bort, dette er forventet dersom forvittringsprosessen får pågå i lang nok tid. Dette i motsetning til prøvene av alunskifer og kalkrik svartskifer som er fersk/uforvitret,

SS(Fin) hadde et totalinnhold av Ca som var tre ganger høyere enn alunskiferprøvene til Wærsted (2019), og to ganger lavere enn Fjermestad (2013) sine prøver. SS(Grov) hadde det høyeste innholdet av Ca både sammenlignet med SS(Fin) (3 ganger høyere) og tidligere studier fra Gran (3 til 11 ganger høyere). Konsentrasjonen av Ca i svartskifer er stort sett knyttet til konsentrasjonen av CaCO₃ i prøvene. Prøvene med høyest innhold av Ca har også høyest innhold av uorganisk karbon (TIC). SS(Fin) og SS(Grov) er hentet ut fra samme uttakssone (U2), og skulle i utgangspunktet representere samme skifertype med ulik kornstørrelse. Det høye innholdet av Ca og uorganisk karbon (TIC) i SS(Grov) (kolonne 4), indikerer at denne kolonnen har et høyere karbonatmineraler enn SS(Fin). Det er ikke usannsynlig da svartskiferen er nokså heterogen bergart og har med innslag av kalkknoller og kalklinser (Bjørlykke, 1974). Svartskiferen var allerede ganske fragmentert og blandet usystematisk på grunn av uttaksmetoden (pigging). Det kan også ha oppstått en fraksjonering ved sikting som har gjort at sulfidene ble oppkonsentrert i SS(Fin) og at de mer «lettknuselig» karbonatene havnet i bunnpannen og ble fjernet fra kolonnematerialet. Det kan også være at denne prøven ikke var fullstendig representativ for kolonnematerialet. Men igjen, så viste kolonne 4 generelt en lavere utlekking enn kolonne 5 og 6. Den forvitrede svartskiferen hadde naturligvis et svært lavt innhold av Ca også ettersom karbonater løses ut ved forvitring av pyritt.

Innhold av Cd, Ni og U

Alunskiferen (SS-prøvene) og den kalkrike svartskiferen KS(Grov) har omtrent likt innhold av Cd (Tabell 13), men alunskiferen har litt høyere verdier enn KS(Grov). Konsentrasjonene av Cd som er målt stemmer godt med tidligere analyser (Flere av tungmetallene (Cd, Cu, Ni, Zn og Pb) er bundet til sulfidene, mens Mo, U og V kan forekomme bundet til organisk materiale (kerogen).

Tabell 1), med unntak av alunskiferprøvene til Wærsted (2019) som hadde dobbelt så høy konsentrasjon. Den forvitrede svartskiferen (FS(Grov)) hadde lavest innhold av Cd med 2,1 mg/kg. Finfraksjonen (FS(Fin)) som ble separert fra FS(Grov) ved sikting hadde en like høy konsentrasjon av Cd som alunskiferen og den kalkrike svartskiferen, noe som kan tyde på at en del Cd er bundet til aluminium- og jernhydroksider i forvittringsmassen.

Kolonneprøvene viste en noe større variasjon i innhold av Ni. De ferske svartskiferene (SS og KS) hadde en konsentrasjon mellom 240-320 mg/kg, hvorav alunskiferen (SS(Fin)) hadde høyest konsentrasjon. SS(Grov) og KS(Grov) hadde omtrent lik konsentrasjon. I tidligere studier er det målt Ni-konsentrasjoner mellom 70-402 mg/kg, og prøvene fra dette kolonneforsøket tolkes dermed til å ha et relativt høyt innhold av Ni. Ved tidligere studier av alunskifer fra Gran målte Wærsted (2019) en konsentrasjon på 402 mg/kg og Fjermestad (2013) 78 mg/kg og viser at konsentrasjonen kan variere i stor grad innenfor et område. Den forvitrede svartskiferen FS(Grov) hadde et betydelig lavere innhold av Ni med en konsentrasjon på 52 mg/kg. I likhet med Cd er også Ni-konsentrasjonen i FS-prøvene oppkonsentrert i finfraksjonen som ble siktet bort fra selve kolonnematerialet. Dette tyder på at også Ni kan være bundet til aluminium- og jernhydroksider i den forvitrede svartskiferen.

Konsentrasjonen av U i alle de ferske svartskiferprøvene varierte fra 120-150 mg/kg og dermed overskrider alle kolonnetyperne grenseverdien for deponi på 80 mg U/kg.

På tross av at alle prøvene hadde et høyt totalinnhold var det vesentlig forskjell i utlekkingen av U. Utlekkingen fra alunskiferen, SS(Fin) og SS(Grov), hadde en utlekking på mellom 201-2533 µg/L som var langt høyere enn grenseverdien på 30 µg/L. Den kalkholdige svartskiferen derimot, hadde en utlekking som lå akkurat i overkant av grenseverdien på 30 µg/L.

Totalinnhold av Cd i KS-prøvene var 4 mg/kg, altså omtrent det samme som for alunskiferprøvene (SS) som hadde 5-6 mg/kg, men det er stor forskjell i utlekking. Dette kan skyldes at KS har et tilsynelatende lavere innhold av sulfider. Cd, Ni, Cu og Zn hovedsakelig bundet til sulfid (Fjermestad, 2013). Det er også forskjell sulfidenes fordeling i bergarten. KS(Grov) har sulfidmineraler oppkonsentrert i svakhetssoner i bergarten, i motsetning til alunskiferen som har små framboidale korn i hele matriksen.

6.3.2 Mineralogi

Mineralogien til alunskiferprøvene stemmer relativt godt over ens med det som er beskrevet i litteraturen.

Hvilke mineraler tungmetallene er bundet til har mye å si for utlekkingspotensialet. Ved å plotte et Fe:S-diagram, kan man få en indikasjon på om tungmetallene er bundet til pyritt, silikater, oksider eller andre mineraler og forbindelser. Pyritt forvitrer lett, mens silikater forvitrer mye saktere og løses ikke opp før pH-en er <4.

Plottet er inndelt i ulike soner som indikerer følgende:

- Fe:S > 2:1 Fe og tungmetaller er bundet i silikater og/eller oksider.
- Fe:S 1:1 Fe og tungmetall er bundet til sulfider (Fe_xS_x)
- Fe:S 1:2 Fe og tungmetall er bundet til pyritt (FeS_2).
- Fe:S < 1:2 Mye mer S til stede enn Fe og at S dermed er bundet til andre komponenter, f.eks. som organisk S eller til sulfatmineraler.

I Figur 49 er prøvene fra kolonneforsøket plottet sammen med Skanskas pXRF-data i et Fe:S- diagram med ulik farge for de ulike lokalitetene i felt. Ut ifra diagrammet ser man at det er samsvar mellom prøvene anvendt i kolonneforsøket og lokalitetene de er hentet fra. Prøvene som er tatt fra uttakslokalitet U2 (Øst) plottes hovedsakelig mellom Fe:S-forhold 1:2 og 1:1, noe som indikerer at tungmetallene i denne bergartstypen er bundet til sulfider som pyritt og pyrrhotitt, noe som samsvarer godt med ICP-målingene av SS-prøvene fra samme lokalitet.

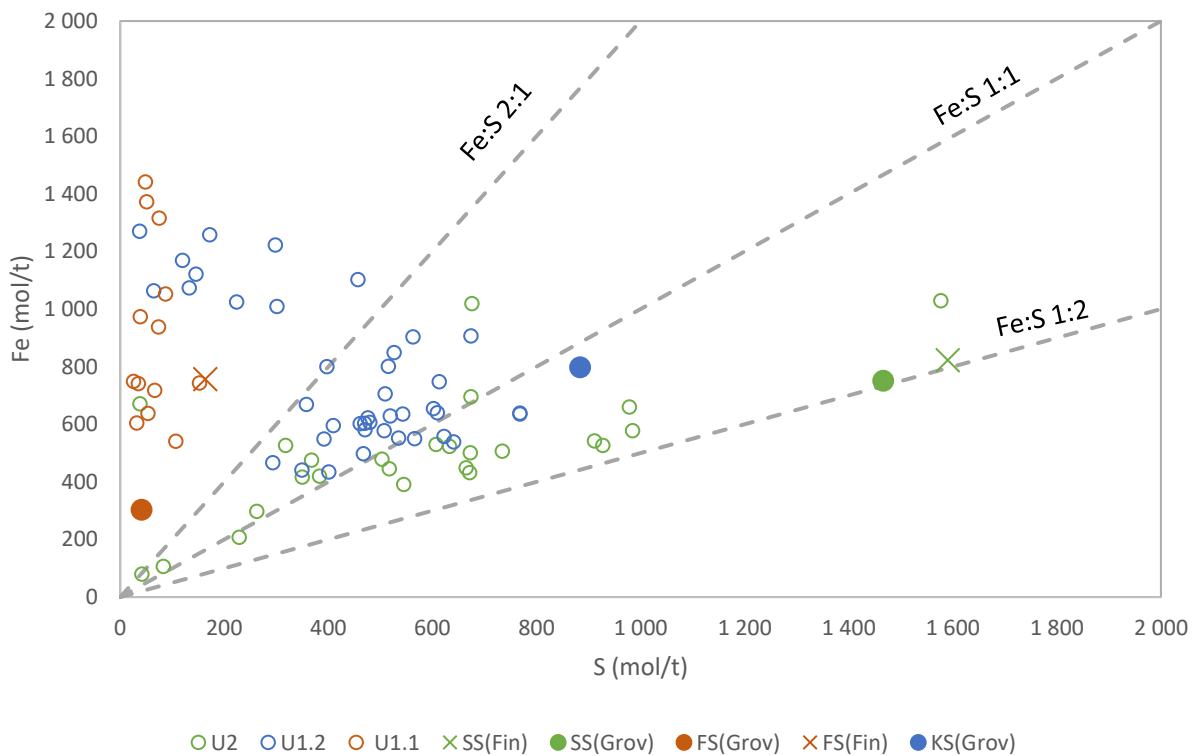
I vest (lok. U1 i kart) plottet de fleste prøvene mellom Fe:S-forhold 1:1 og >2:1, noe som indikerer at tungmetallene er bundet til sulfider, sulfider og oksider.

SS-prøvene har et Fe:S-forhold på 1:2 som indikerer at jern og tungmetaller hovedsakelig er bundet i form av pyritt (FeS_2), noe som stemmer godt overens med mineralogien til SS(Fin) og SS(Grov) (

Tabell 12). Pyritt forvitrer lett i kontakt med vann og tungmetallene kan på den måten lekke ut i miljø. Det er ikke detektert pyrrhotitt ved XRD-analyse, trolig på grunn av for høy deteksjonsgrense. SEM-EDX analyser av svartskiferprøver fra Kleggerudkrysset utført av Børresen (2017) og Erstad (2017) indikerer forekomst av pyrrhotitt.

KS-prøven har et Fe:S-forhold på omtrent 1:1 som tyder på at en del jern og tungmetaller er bundet til sulfider, silikater og oksider. SEM-analyser av svartskiferprøver fra Kleggerudkrysset indikerte at prøvene ikke bare inneholdt pyritt men også sulfider som sinkblende, kobberkis, utført av Børresen (2017)

Prøvene fra FS-materialet plotter i sjiktet $Fe:S > 2:1$, noe som indikerer at jern og tungmetaller også er bundet i silikater og/eller oksider. De forvitrede prøvene fra det øverste laget inneholder svært lite svovel og forholdsvis mye jern og plotter derfor i området med $Fe:S$ -forhold $> 2:1$, noe som indikerer at eventuelle tungmetall hovedsakelig er bundet til silikater og oksider. Dette stemmer godt overens med den mineralogiske beskrivelsen av FS-materialet som tilsier at kvarts og leirmineraler som fengitt («mica») utgjør en stor andel av prøven. De forvitrede prøvene fra det øverste laget inneholder svært lite svovel og forholdsvis mye jern og plotter derfor i området med $Fe:S$ -forhold $> 2:1$, noe som indikerer at eventuelle tungmetall hovedsakelig er bundet til silikater og oksider.



Figur 49: Fe:S-plot for å undersøke hvilke mineraler tungmetallene er bundet til. $Fe:S > 2:1$, silikater og oksider; $Fe:S 1:1$, pyrrhotitt; $Fe:S 1:2$ pyritt; $Fe:S < 1:2$, sulfat og/eller organisk S. Punktene uten fyll er fra Skanskas driftsdata (Vedlegg 10).

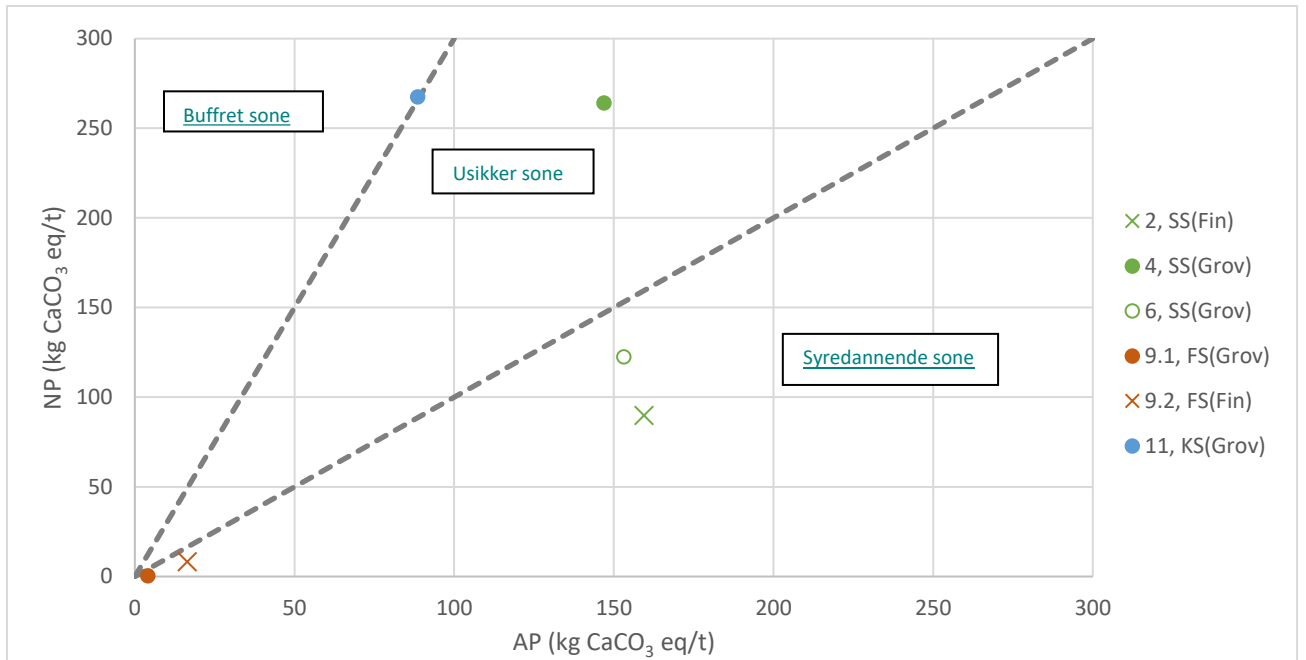
Karbonatinnhold

6.3.3 Syreproduserende potensiale

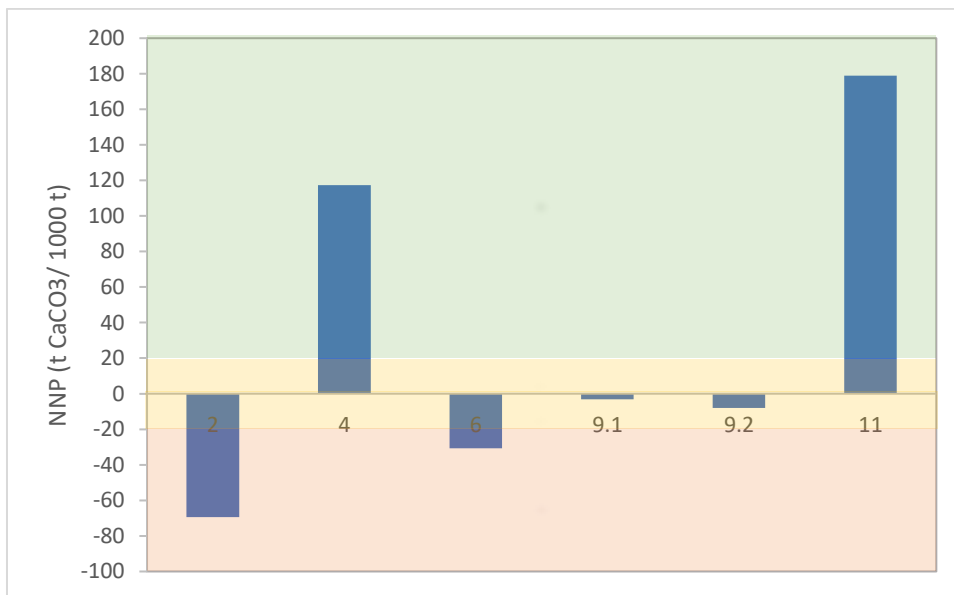
Svartskiferprøvene ble plottet i et AP:NP-diagrammet utviklet av Lawrence & Wang (1997) for å vurdere syreproduksjonspotensialet. Begge fraksjoner av alunskiferen (SS(Fin) og SS(Grov)) har $NPR < 1$ og plotter dermed i syreproduserende sone, hvor SS(Fin) (kolonne 2) har lavere nøytraliseringspotensiale enn SS(Grov) (kolonne 6). Syreproduserende potensiale er omtrent likt for både de fine og grove SS-prøvene (147-159 kg $CaCO_3$ eq/t). Nøytraliseringspotensialet for SS(Grov)-kolonnene viser en større variasjon mellom triplikatene (123 - 147 kg $CaCO_3$ eq/t). Dette skyldes at kolonne 4 har betydelig høyere nøytraliseringspotensiale enn kolonne 6 og plotter dermed i usikker sone ($NPR > 1 < 2,5$). Kolonne 5 og 6 har veldig like utlekkings-trender i kolonneforsøket i motsetning til kolonne 4 som generelt har en lavere utlekking. Den store variasjonen i SS(Grov)-kolonnene kan skyldes at alunskiferen i området var ganske heterogen ved utgraving ble det funnet innslag av tynne kalklinser- og knoller som vil gi et stedvis høyere TIC-innhold i prøvene og dermed høyere NP.

Den kalkrike svartskiferen (KS) har et syreproduserende potensiale (AP) som er omtrent 55% lavere enn SS-prøvene, og nøytraliseringspotensialet til KS er like høyt som kolonne 4(SS(Grov)). Dermed har KS-prøven $NPR \leq 3$, og plotter akkurat på grensen til bufret sone. Dersom NPR-grense er 2,5 vil KS-prøven regnes som bufret sone.

Forvitret svartskifer (FS) inneholder lite S og TIC da mesteparten av pyritt og kalsitt har forvitret. Disse prøvene har dermed et svært lavt syreproduserende- og nøytraliserende potensiale. SS(Fin) har et litt høyere syreproduserende potensiale enn FS(Grov). Forvitret svartskifer kan i teorien inneholde sulfatmineraler som er lettløslige, men det generelt lave innholdet av S tyder på at dette ikke er tilfellet her. Den lave pH-en som observeres i utlekkingen fra forvitret svartskifer skyldes sannsynligvis det faktum at kolonnene tilsettes ionefritt vann som ikke har noen bufringskapasitet. Vannet kan reagere med CO_2 fra luften og danne karbonsyre som er med på å senke pH-en i vannet. FS(Grov) har heller ikke så god bufferkapasitet da de fleste basekationene og karbonat er fjernet ved forvitring.



Figur 50: Kartlegging av potensialet for syreproduksjon i de ulike svartskiferprøvene.

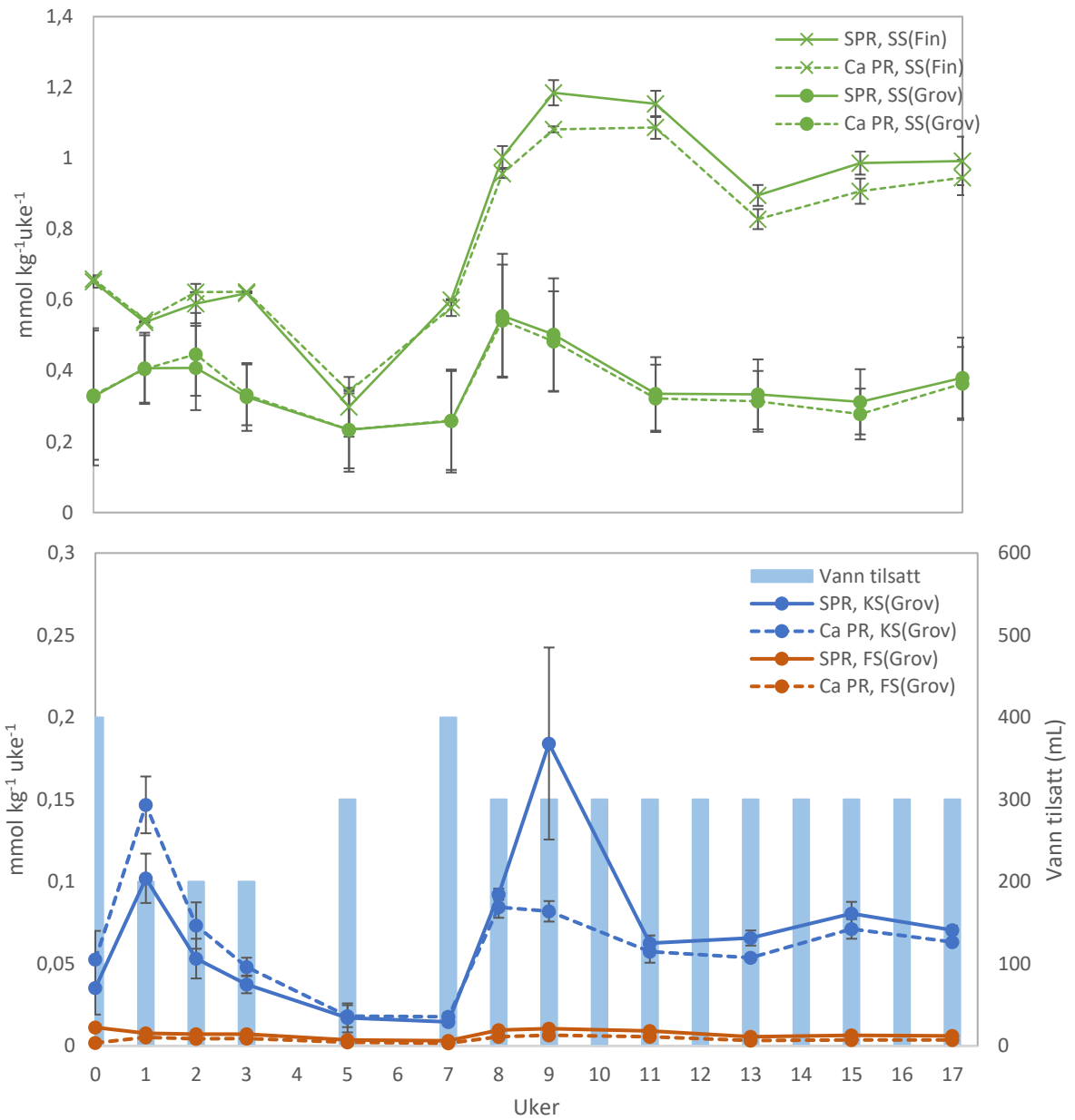


6.3.4 Sulfatproduksjonsrate (SPR) og forbruk av karbonat

Produksjonsraten for sulfat (SPR) og karbonat (uttrykt som Ca PR) ble beregnet ut ifra Formel 9 beskrevet i kapittel 2.1.3. Produksjonsraten er lav i perioder med lite vanning (uke 3-7), deretter øker den.

Det antas at SO_4^{2-} i løsning hovedsakelig stammer fra forvitring av pyritt, og at Ca stammer fra oppløst kalsitt hvor forholdet mellom Ca^{2+} og CO_3^{2-} er 1:1. Ved oksidasjon av 1 mol pyritt (FeS_2) dannes det 1 mol Fe^{3+} , 2 mol SO_4^{2-} og 4 mol H^+ (Formel 1-3). Kalsitt løses opp i kontakt med syre og danner Ca^{2+} og CO_3^{2-} . Ved pH 7-8 foreligger karbonat (CO_3^{2-}) hovedsakelig i form av bikarbonat (HCO_3^-) (vanLoon & Duffy, 2017), og kan dermed kun bufre 1 mol H^+ . For 1 mol SO_4^{2-} kreves det dermed 2 mol CO_3^{2-} for å nøytralisere all syren som produseres. Dersom all syren produsert ved forvitring av 1 mol pyritt ble bufret ville SPR:Ca PR-forholdet være 1:2. Ifølge Figur 51 er forholdet mellom SPR og Ca PR for samtlige kolonner omtrent 1:1 (mol), med en noe lavere Ca PR enn SPR. Hvis dette stemmer, vil det bety at 50% av syren som produseres ved forvitring av pyritt vil bufres av karbonat. Forbruket av karbonat er trolig høyere enn hva grafen gir uttrykk for. Modellering av vannprøvedata i programmet Visual Minteq indikerte at det var overmetning av gips (CaSO_4) noe som tyder på at noe Ca^{2+} og SO_4^{2-} felles ut/fjernes fra løsningen, og utlekkingsverdiene vil dermed være noe lavere enn hva som faktisk ble forbrukt ved forvitring. Men forholdet mellom Ca^{2+} og SO_4^{2-} i gips er 1:1, og forklarer derfor ikke nødvendigvis hvorfor forbruket av CaCO_3 er lavere enn forventet. Andre årsaker til lavere forbruk av karbonat enn teoretisk forventet, kan være fordelingen av mineralene i bergarten, og at kanskje ikke alt av kalsitten er umiddelbart tilgjengelig for forvitring på overflaten? Det kan også skyldes at det finnes andre karbonatmineraler i svartskiferen som eksempelvis dolomitt ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) som ikke er tatt hensyn til i denne beregningen, da dolomitt ikke ble detektert ved XRD-analysen. Som nevnt tidligere er det SS(Fin) som har den høyeste graden av forvitring og utlekking, og dette skyldes trolig at dette kolonnematerialet har størst både størst spesifikk overflate, høyest oppholdstid og høyest innhold av sulfider. Det høye spesifikke overflatearealet gjør at flere mineralkorn av pyritt er tilgjengelig for forvitring.

Ved oksidasjon av 1 mol pyritt (FeS_2) dannes det 2 mol H^+ per mol SO_4^{2-} , hvorav 1 mol H^+ går med til oksidering av Fe^{2+} til Fe^{3+} (Formel 3). Dersom Fe^{3+} forelår fritt i løsning og reaksjonen stoppet her, ville det i teorien være 1 mol H^+ til overs som kunne bufres av 1 mol CO_3^{2-} og danne bikarbonat (HCO_3^-) som er tilstandsformen til uorganisk karbon ved pH 7-8. Men vannprøvene har en pH på 7-8, og under slike forhold har Fe^{3+} en tendens til å reagere med OH^- og felles ut som jern(III)oksyhydroksid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) som fører til produksjon av mer syre i form av 3H^+ . Totalt ville det dermed produseres totalt 4 mol H^+ som potensielt kan bufres av karbonat, og dermed er trolig forbruket av CaCO_3 noe høyere enn hva grafene nedenfor indikerer. Modellering av vannprøvedata i programmet Visual Minteq indikerte at det var overmetning av gips (CaSO_4), noe som tyder på at noe Ca^{2+} og SO_4^{2-} felles ut/fjernes fra løsningen, og utlekkingsverdiene vil dermed være noe lavere enn hva som faktisk ble forbrukt ved forvitring. Men forholdet mellom Ca^{2+} og SO_4^{2-} i gips er 1:1, og forklarer derfor ikke nødvendigvis hvorfor forbruket av CaCO_3 er lavere enn forventet. Andre årsaker til lavere forbruk av karbonat enn teoretisk forventet, kan være fordelingen av mineralene i bergarten, og at kanskje ikke alt av kalsitten er umiddelbart tilgjengelig for forvitring på overflaten. Det kan også skyldes at det finnes andre karbonatmineraler i svartskiferen som eksempelvis dolomitt ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) som ikke er tatt hensyn til i denne beregningen, da dolomitt ikke ble detektert ved XRD-analysen. Som nevnt tidligere er det SS(Fin) som har den høyeste graden av forvitring og utlekking, og dette skyldes trolig at dette kolonnematerialet har størst både størst spesifikk overflate og høyest innhold av sulfider. Det høye spesifikke overflatearealet gjør at flere mineralkorn er tilgjengelig for forvitring. I tillegg dermed er det flere mineralkorn ti



Figur 51: Kurvene viser forholdet mellom sulfatproduksjonsrate (SPR) og karbonatproduksjonsrate basert på Ca (Ca PR). Vann tilsatt (mL) er angitt som søyler.

6.3.5 Faktorer som påvirker utlekkingen

Kolonneforsøket har et umettet system, hvor mesteparten av vannet dreneres etter kort tid mens noe vann holdes tilbake på partikkeloverflaten ved feltkapasitet. Det er kjent at jo finere partikler kolonnematerialet har, jo høyere er feltkapasiteten (Arya & Paris, 1981; Richards & Weaver, 1944).

Som forventet hadde vannet lengst oppholdstid i finkornet alunskifer SS(Fin) (2-3min) i SS(Fin). Oppholdstiden var litt høyere i starten da kolonnematerialet var helt tørt og avtok utover i forsøket da kolonnene var litt fuktige fra forrige vanning. Den korteste oppholdstiden ble målt i SS(Grov) og KS(Grov) med henholdsvis 12 og 16 sekund (Tabell 11). På tross av at FS(Grov) hadde lik kornfordeling som SS(Grov) og KS(Grov) hadde vannet i disse kolonnene en høyere oppholdstid med 1 min 22 s, noe som trolig skyldes den porøse, og «myke» teksturen til kornene (mye løst finstøv på overflaten av kornene).

Utlekkingsraten fra kolonnene kan være overflatekontrollert eller transportkontrollert. Utlekkingsraten defineres som overflatekontrollert når det er reaksjonsraten og frigjøring av ioner fra partikkeloverflaten som kontrollerer utlekkingsraten. Dersom utlekkingsraten styres av den videre transporten av løste ioner ut av kolonnen er den transportkontrollert. Eksempelvis kan kolonner med høy prosentandel fine partikler ($<0,625$ mm) og dermed lav hydraulisk konduktivitet, føre til transportkontrollert utlekkingsrate (Erguler & Erguler 2015). Kornfordelingskurvene (Figur 36) i dette studiet viser derimot at kolonnematerialet i alle kolonnene var ensgradert med lite finpartikler ($<0,6$ mm) til stede og har god hydraulisk konduktivitet, noe som tyder på at utlekkingsraten i kolonnene er overflatekontrollert. Dette samsvarer med tidligere funn gjort ved kolonneforsøk av svartskifer fra Gran hvor det også ble konkludert at utlekkingsraten er overflatekontrollert.

Det er forventet at oksidasjonsraten vil være høyere for finkornet kolonnemateriale enn grovt på grunn av høyt spesifikt overflateareal (Aagard & Helgeson, 1982). Dette ser ut til å stemme med kolonneforsøket, da utlekkingen av ioner var dobbelt så høy i SS(Fin) i forhold til SS(Grov). Det samme ble observert ved et tidligere storskala kolonneforsøk med alunskifer fra Gran (Fjermestad et al., 2017). På tross av lik kornfordeling, var det stor forskjell i utlekking mellom SS(Grov) og KS(Grov), hvorav KS(Grov) hadde lavere utlekkingsrate. Dette var forventet med tanke på forskjeller i mineralogien, bergartens tekstur og sulfidinnhold. Morfologien og den romlige fordelingen av sulfidene i bergarten har også noe å si for oksidasjonsraten. KS(Grov) har en betydelig lavere konsentrasjon av sulfider enn SS-prøvene,

og sulfidene er oftest oppkonsentrert langs sprekker/svakhetssoner i den ellers ganske massive matriksen. Alunskiferen har derimot finkornede sulfider som ikke kan ses med det blotte øyet. Alunskiferen SS(Fin) og SS(Grov) har et høyere innhold av TOC, som påvirker skifriheten og fissibiliteten til bergarten, noe som er med på å øke kontaktflaten og forvitringen (NGI, 2015). Forvitret svartskifer (FS(Grov)) var kolonnetypen med lavest utlekkingsrate av løste ioner av alle gjennom hele forsøket med en lav E.C. Utlekkingsvannet fra FS(Grov) var imidlertid svært grumset med høyt innhold av partikulært materiale

Mellom hver vanning vil vann evaporere fra partiklenes overflate, og sulfatholdige salter som gips og jernoksyhydroksider som eksempelvis goethitt og jarositt kan felles ut på overflaten. I alunskifer- og svartskiferkolonnene ble observert et hvitt belegg på overflaten av partiklene etter andre vanningsrunde. Modellering av de filtrerte vannprøvene i Visual Minteq indikerer overmetning av det sulfatholdige saltet gips (CaSO_4) i utlekking fra alunskifer. Utfelling av sulfatholdige salter kan være med på å redusere syreproduksjonen, men de er lett løselige og kan også bidra til økt syreproduksjon når det kommer i kontakt med vann igjen. Jernhydroksidene kan binde til seg tungmetall og dermed redusere utlekkingen, og disse forbindelsene er mer tungtløselige enn de sulfatholdige saltene. Forskning på utlekking av tungmetall fra jern- og aluminiumoksider indikerer at Ni kan ha en tendens til å lekke ut fra jernhydroksider (Carbone et al., 2013). Det er observert høye utlekkingskonsentrasjoner av Ni og Cd i de filtrerte prøvene fra forvitret svartskifer (FS(Grov)). FS(Grov) har også en litt lavere pH (6) enn de ferske svartskiferkolonnene (Figur 40), som også kan bidra til utlekkingen. I motsetning til Cd og Ni viser U en lav utlekking fra FS(Grov). Dette kan skyldes at aktinoider som U har høy affinitet for jernoksyhydroksider og leirmineraler (Maher et al., 2013).

Det ble observert at vannet strømmet i foretrukkede strømningsveier langs kolonneveggen i FS-kolonnene. En tommelfingerregel for å unngå foretrukket strømming langs kolonneveggen er å ha en diameter på partiklene som er mer enn 10 ganger lavere enn diameteren på kolonnen, og alle kolonnene oppfyller dette kravet (ref. kommentar fra Cathrine (NGI) som hadde diskutert noe liknende med Pabst). Vannet vil ofte strømme langs foretrukne strømningsveier selv om dette kravet er oppfylt på grunn av naturlig heterogenitet i kolonnematerialet.

6.3.6 Mobilitet & biotilgjengelighet (speciering)

Forholdet mellom total- og filtrert prøve (Figur 48) i SS-prøvene indikerer at mesteparten av tungmetallene Cd, Ni og U transporteres ut av kolonnen i kolloidal (<0,45 – 0,001 μm) eller lavmolekylær form (<0,001 μm). Tungmetaller i denne størrelsesordenen kan være mer mobile enn partikler som lettere kan avsettes i sedimenter under transport (Salbu & Lind, 2020). Den geokjemiske modelleringen (Vedlegg 8) av filtrerte vannprøver (<0,45 μm) indikerer at Cd og Ni fra alle alunskiferprøvene (SS) hovedsakelig foreligger som frie ioner. Kun en mindre andel danner komplekser med sulfat og organisk materiale (Ni og Cd) samt karbonater (Ni). Tungmetaller som foreligger som ioner har en lavmolekylær masse (LMM) og er mer biotilgjengelig og giftig for organismer (Kim et al., 2015). I henhold til BLM-modellen (biotisk ligand modellen), vil toksisiteten til et tungmetall avhenge av konsentrasjonen frie ioner som er til stede i løsning og kan bindes til en protonakseptor i en cellevegg (vanLoon & Duffy, 2017). I kolonneforsøket og pH-målingene fra felt lå pH-en rundt nøytral-basisk (Figur 27 & Figur 40). Ved pH under 8, kan fritt Cd og Ni typisk adsorberes til oksyhydroksider av jern, mangan eller aluminium og således fjernes fra vannfasen, og ved pH over 8 kan de reagere med karbonat og felles ut. Dette kan være med på å redusere biotilgjengeligheten.

Uran fra SS-kolonnene vil hovedsakelig danne nøytrale $\text{Ca}_2\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3$ -komplekser, og noe $\text{CaUO}_2(\text{CO}_3)_3^{2-}$. I utlekkingsvannet fra kolonnene er karbonatinnholdet høyt, noe som gir en høy mobilitet og forhøyede konsentrasjoner av uran i vannfasen. Tidligere studier har også vist at uran binder seg dårlig til jord med høyt karbonatinnhold (Echevarria et al., 2001). I naturen er det hovedsakelig UO_2^{2+} og $\text{UO}_2(\text{OH})^+$ som er de mest biotilgjengelige U(VI)-speciene for organismer. Uran bundet til karbonat og organisk materiale vil være mindre biotilgjengelig for organismer i vann (Markich, 2002).

Utlekkingen fra forvitret svartskifer (FS) viser at mesteparten av tungmetalltransporten ut av kolonnene er i form av partikler (>0,45 μm), som vil kunne avsettes under transport. Den fraksjonen av Cd og Ni som er løst i vann vil det være mest frie ioner, samt noe bundet til organisk materiale. Mengden sulfatkompleks er lav da det er lite S til stede i kolonnematerialet som kan lekke ut. Det er også svært lite karbonat til stede, og uran vil derfor danne komplekser med organisk materiale i stedet.

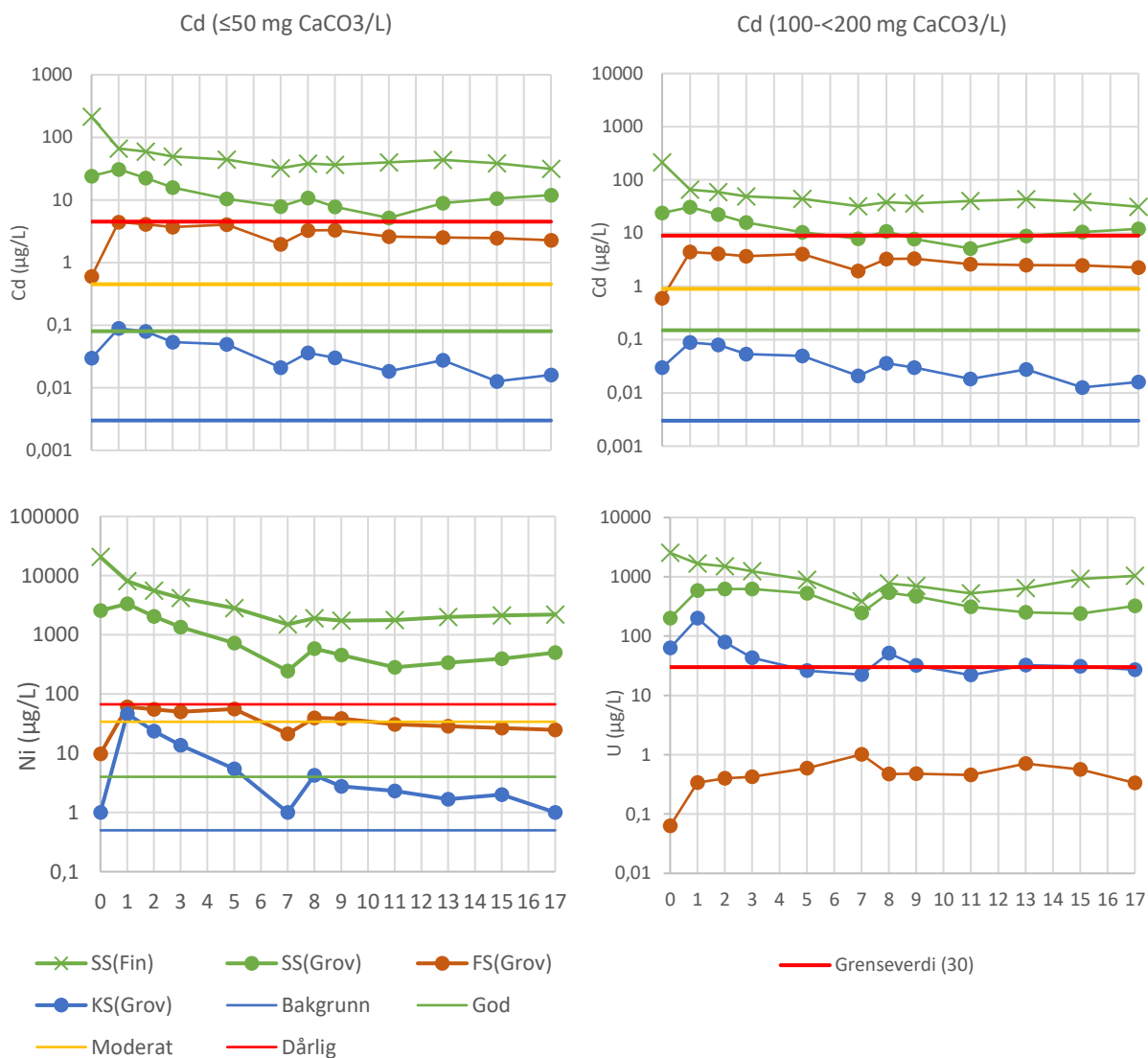
Generelt er det liten variasjon i tungmetallenes tilstandsklasser med varierende redoksforhold (pe 2-8).

Tabell 16: Vannkjemi for filtrerte (0,45µm) kolonneprøver fra siste dag i kolonneforsøket (dag 120) brukt til Visual Minteq modellering av spesieringen til Cd, Ni og U. Konsentrasjon av utvalgte/essensielle kompleksende element. Se vedlegg/appendix for mer detaljert vannkjemi. * «Mest representativ» prøve for SS (Grov)...2 av 3 replikater utviste denne kjemiske sammensetningen. De samme fargekodene brukes også for å skille mellom kakediagram fra ulike kolonnetyper nedenfor.

Uke	Type	Kolonne	Prøve nr.	Kationer				Anioner				pH
				Ca ²⁺	Cd ²⁺	Ni ²⁺	U	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	DOC	HCO ₃ ⁻	
				mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
17	SS (Fin)	1	229	540	26	2100	1100	0	1300	1,90	73,88	7,38
17	SS (Grov)	4	232	100	1,90	110	300	0	240	0,45	30,94	7,55
17	SS (Grov)*	5	233	200	17	720	380	0	510	0,40	29,57	7,30
17	FS (Grov)	7	235	2,90	2,50	27	0,35	0,24	11	1,10	2,54	5,98
17	KS (Grov)	10	238	35	0,03	1	25	0	93	0,63	27,13	7,66

6.3.7 Grenseverdier og tilstandsklasser for U, Cd og Ni

Alunskiferen (SS) hadde høyest utlekking av Cd, Ni og U, hvorav SS(Fin) hadde en betraktelig høyere utlekking enn SS(Grov). Konsentrasjonen for alle metallene var høyest i starten, noe som kan skyldes at partiklene kan være dekket av reaktivt finstøv fra knusing/sikting. Turbiditeten (Ø) indikerer også at det var mer finpartikler til stede ved første de 3-4 første vanningsrundene. Konsentrasjonene stabiliserte seg etter hvert ved noe lavere konsentrasjoner, men begge fraksjonene hadde utlekkingskonsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse «svært dårlig» gjennom hele forsøket. Grenseverdiene for Cd og de ulike tilstandsklassene varierer med hardheten til vannet (mg CaCO₃/L). Ved høyt innhold av CaCO₃ vil grenseverdiene for de ulike tilstandsklassene være høyere, og ved lav alkalitet vil de være lavere (Figur X). Dette skyldes at biotilgjengeligheten for Cd avtar ved høyt innhold av CaCO₃. SS(Fin) hadde en hardhet på ~100 mg CaCO₃/L, mens SS(Grov) hadde en hardhet på ≤ 50 mg CaCO₃/L og hadde dermed lavere grenseverdier enn SS(Fin). Konsentrasjonen av Cd i SS(Fin) er så høy at den faller innenfor tilstandsklasse «svært dårlig» uavhengig av vannets hardhet.



Figur 52: Utlekkingsdata for Cd, Ni og U sett i forhold til grenseverdiene for de ulike tilstandsklassene for ferskvann definert i Miljødirektoratets veileder M-608 (2020).

Utlekkingsvannet fra FS(Grov) utviste forhøyede konsentrasjoner av Cd tilstandsklasse «dårlig», på grensen til «svært dårlig» i starten (≤ 50 mg CaCO₃/L). Konsentrasjonen av Ni falt innenfor tilstandsklasse «dårlig» (på grensen til «svært dårlig») i starten til «moderat» mot slutten av forsøket. FS-prøvene er de med lavest utlekking av U, og konsentrasjonene var mye lavere enn grenseverdien på ≤ 30 µgU/L (WHO, 2005). Men dersom man ser på totalkonsentrasjonen av U i FS (partikulært), «overstiger» denne grenseverdien (ca. 90-300 µg U/L). Filteret ble fort tett ved filtrering av disse prøvene, noe som kan føre til en usikkerhet rundt hvilken fraksjon man filtrerer på. Det er forventet at alkaliteten er svært lav i disse prøvene da mineralogien og totalkjemien tilsier at det ikke er nevneverdige mengder karbonat til stede i kolonnematerialet. Dette skyldes en lang forvitningsprosess som har pågått i over 10 000 år

hvor sulfider og karbonater er blitt løst opp. pH-en i disse kolonnene var stabil med verdier rundt 6 da det var lite bufferkapasitet i kolonnen.

Av alle kolonnematerialene var det KS(Grov) som hadde den laveste utlekkingen av Cd og Ni, hvor alle målinger falt innenfor tilstandsklasse «god». Utlekkingen av U var lavere enn SS, men høyere enn FS. Konsentrasjonen av U var høyest de tre første ukene ($>30 \mu\text{g U/L}$), men etter det lå verdiene stort sett rett i grenseland. Utlekkingen av U er høyere enn den Canadiske grenseverdien på $15 \mu\text{g U/L}$, men stedvis lavere enn grenseverdien til WHO på $30 \mu\text{g U/L}$.

7 Kolonneforsøket som indikator for fremtidig avrenning fra veiskjæringen

Kolonneforsøket ble utført med et mål om å kunne si noe om fremtidig avrenning fra veiskjæringen i umettet sone. Dette vil naturligvis avhenge av hvilke typer svartskifer som er eksponert, hvor stort areal svartskifer som er eksponert og hvor mye vann som treffer veiskjæringen. Og de naturlige prosessene vil være mye mer komplekse enn man vil kunne gjenskape ved et kolonneforsøk.

Prøvene som er anvendt i kolonneforsøket ser ut til å være representative for de respektive lokalitetene både når det gjelder innholdet av karbonater og sulfider (Figur 39). Men noe usikkerhet må tilskrives disse dataene da pXRF-analysene til kolonneforsøket ble målt med et annet pXRF-instrument enn Skanskas prøver (Vedlegg 10). Det kan være forskjeller i hvordan disse instrumentene er kalibrert, noe som kan gi utslag i form av for høye/lave konsentrasjoner av enkelte grunnstoff. Statens Vegvesen (2016) har utviklet en brukermanual for hvordan man kan kalibrere pXRF-instrument ved hjelp av å bruke en «fasit-prøve» hvor total kjemien måles mer nøyaktig (ICP-MS-prøve). For kolonneprøvene ble det foretatt en enkel korreleringstest mellom pXRF og ICP-MS viste god korrelasjon mellom Ca og Fe, men ikke for S. Konsentrasjonen av S ble betydelig underestimert i pXRF-analysene sammenlignet med ICP-MS (Vedlegg 3 & 4).

Kolonneprøvene fra lok U1 ble hentet ut fra større blokker som ble sprengt ut fra veiskjæringen, mens Skanskas prøver er hentet fra borkaks. Borkaksprøvene kan muligens blandes litt ved boring. Kolonnematerialet fra lok. U2 ble hentet fra en haug med godt oppkjust

og blandet materiale. Når det er sagt, har svartskifer også en naturlig heterogenitet med innslag av kalklinser.

Alunskiferkolonnene (SS) er de som har den desidert høyeste utlekkingen, og er mest representativ for lok. U2 som er dekket av en impermeabel veikonstruksjon hvor overflatevann ledes bort via grøfter (Figur 9). Grunnvann fra skråningen oppstrøms for veien vil også fanges opp av veigrøften, og bekken vest for lok. U2 ligger i en forsenkning i terrenget som gjør at dette vannet trolig ikke vil komme i kontakt med alunskiferen. Bekken er også lagt i rør og hevet fra bakkenivå. Det er derfor lite sannsynlig at svartskiferen i traubunn vil utsettes for vann og føre til avrenning ved denne lokaliteten.

I planleggingsfasen av E16 Eggemoen-Olum ble det på bakgrunn av AEM og ERT målinger tatt høyde for at hele veiskjæringen potensielt kunne bestå av reaktiv alunskifer. Den ferdigstilte veiskjæringen består både av alunskifer og overliggende kalkrik svartskifer (ekv. til Bjørkåsholmformasjonen) som er gjennomført av en 20 m bred og 3-5 m høy mænaitt dike og 2-3 tynne mænaitt sill (Figur 11). Mænaitten regnes som godt fjell som ikke forårsaker miljøskadelig avrenning, og er dermed med på å redusere avrenningen fra veiskjæringen betydelig. Den kalkrike svartskiferen viser lavest utlekking av de ferske svartskiferene i kolonneforsøket, og ligger akkurat i grenseland i forhold til grenseverdien på $\leq 30 \mu\text{g/L}$ U og utlekkingen av Ni og Cd faller innenfor tilstandsklasse «god» (Figur 52). Det er usikkert nøyaktig hvor stort areal den kalkrike svartskiferen utgjør av veiskjæringens flate. Det resterende overflatearealet er dekket av reaktiv alunskifer som har et høyt utlekkingspotensiale. Som kolonneforsøket indikerer, styres avrenningen i stor grad av hvor stort overflateareal som eksponeres for forvitring. Man må også ta høyde for at skrifriheten til svartskiferen er med på å øke overflatearealet.

Mengde tilsatt vann per tid tilsvarer en ekstrem nedbørshendelse på 300-390 mm/t, og er dermed ikke et realistisk felt-scenario. Eksempelvis regnes 50 mm/t som ekstremnedbør. I felt vil den bratte utformingen til veiskjæringen føre til at mindre vann treffer veiskjæringen.

Sammenlignet med gjennomsnittlig årsnedbør for Jevnaker tilsvarer 300 mL ca. to uker nedbør, men med tanke på den høye og stabile temperaturen og jevn fukt-/tørkesyklus for kolonneforsøket antas det å representere et 1-2 års langt feltscenario. Når det er sagt, må man ta høyde for at naturen er langt mer kompleks. I forsøket er det eksempelvis benyttet deionisert vann i stedet for regnvann.

Konsentrasjonen av Cd i felt er betydelig lavere enn i kolonneforsøk. Cd konsentrasjonen i felt ble klassifisert som «moderat» på det høyeste, mens alunskiferprøvene fra kolonneforsøket hadde en utlekking tilsvarende tilstandsklasse «dårlig». KS(Grov) derimot, hadde svært lav utlekking av Cd,

Uran hadde verdier mellom 100-425 µg/L i juli-august, lav vannføring

- SS(Grov) «stabilisert» utlekking på 250-310 µg/L U
- KS(Grov) 22-32

pH nøytral til basisk gjennom hele perioden på lik linje med kolonneforsøket.

6 Konklusjon

Når det gjelder anleggsarbeidet er det avgjørende å tidlig få oversikt over områdets geologi og vannets naturlige strømningsveier slik at man kan planlegge uttaket best mulig. Sandvoller og bekk i rør kan være gode tiltak for å beskytte bekker i anleggsområdet.

Overflatevannet i Kleggerudkrysset hadde hovedsakelig økt avrenning av tungmetaller i selve uttaksperiodene for lok. U1 og U2. Det er særlig tre perioder med forhøyede konsentrasjoner og de kan knyttes til henholdsvis pigging av trau (U2), sprenging av østlig – og deretter vestlig side av veiskjæring (U1). I perioden før, mellom og etter disse uttakene var avrenningen betydelig redusert ved lokalitet V2 – nesten tilbake til bakgrunnsverdiene for området. Bakgrunnsverdiene i et område med svartskifer kan være høyere enn steder uten svartskifer. Derfor er det viktig å ha et godt datasett fra perioden før anleggsarbeidet startet slik at man vet hva som er normalen i området.

Kolonnestudiet gir et forenklet innblikk i hvor mye avrenning man kan forvente fra den ferdigstilte veiskjæringen. Det er tydelig at overflatearealet har mye å si for oksidasjonsraten og utlekkingsraten fra svartskifer.

Fordelingen av sulfider i berget

Selv om det ikke er stor forskjell i totalkonsentrasjonen av U i de ulike kolonnetypene, er det stor forskjell på utlekking fra alunskifer og kalkrik svartskifer (Bjørkåsholm FM).

Utlekkingen fra fin og grov alunskifer er høyere enn grenseverdiene, mens Bjørkåsholm (KS(Grov)) ligger akkurat i grenseland i forhold til grenseverdien på $\leq 30 \mu\text{g/L}$. Dette skyldes trolig at Bjørkåsholm har et lavere innhold av sulfidminerale og et høyere innhold av karbonatminerale.

Tilstandsformen til tungmetallene i vannprøvene fra kolonneforsøket indikerer at Cd og Ni som lekker ut fra alunskifer i stor grad foreligger som frie ioner som lett kan transporteres rundt i miljø og potensielt tas opp av organismer. Det dannes også en del Cd og Ni har i midlertid også høy affinitet for organisk materiale, og d Uran foreligger også

7 Referanser

- Abraham, Y. (2007). *Reactivity of alum and black shale in the Oslo region, Norway*.
- Allard, B., Arsenie, I., Håkansson, K., Karlsson, S., Ahlberg, A. C., Lundgren, T., Collin, M., Rasmuson, A. & Strandell, E. (1991). Effects of weathering on metal releases from an engineered deposit for alum shale leaching residues. *Water, Air, and Soil Pollution*, 57 (1): 431-440. doi: 10.1007/BF00282906.
- Alloway, B. J. (2013). Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. I: Alloway, B. J. (red.) *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*, s. 11-50. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Antun, P. (1967). Sedimentary pyrite and its metamorphism in the Oslo region. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 47: 211-235.
- Appelo, C. A. J. & Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2nd utg. Amsterdam, The Netherlands: A.A. Balkema Publishers.
- Arya, L. M. & Paris, J. F. (1981). A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Science Society of America Journal*, 45 (6): 1023-1030.
- Bastiansen, R., Morum, J. & Rosenquist, I. T. (1957). *Bidrag til belysning av visse bygningstekniske problemer ved Oslo-området alunskifere*. Norges Geolotekniske Institutt.
- Bazin, S. & Lysdahl, A. K. (2014). *Geofysiske grunnundersøkelser Vest-Oppland: Tolkning av helikopter- og geofysiske målinger langs E16 Eggemoen-Olum*. Oslo: NGI.
- Bazin, S., Lysdahl, A. K., Viezzoli, A., Günther, T., Anschutz, H., Scheibz, J., Pfaffhuber, A. A., Radic, T. & Fjermestad, H. (2018). Resistivity and chargeability survey for tunnel investigation: a case study on toxic black shale in Norway. *Near Surface Geophysics*, 16 (1): 1-11.
- Bear, J. (2012). *Hydraulics of groundwater*: Courier Corporation.
- Binley, A. & Slater, L. (2020). *Resistivity and Induced Polarization: Theory and Applications to the Near-Surface Earth*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bjørlykke, K. (1974). *Depositional history and geochemical composition of Lower Palaeozoic epicontinental sediments from the Oslo Region*: Universitetsforlaget.
- Brooks, K. N., Ffolliott, P. F. & Magner, J. A. (2013). *Hydrology and the management of watersheds*. Iowa: John Wiley & Sons, Inc.
- Bäckström, M. & Sartz, L. (2015). *Uranium leaching from a burning black shale deposit – present conditions and future scenarios*, Cham: Springer International Publishing.
- Børresen, H. S. (2017). *Geochemical and mineralogical evaluation of mineral-water reactions and leaching potential in a black shale depot - Weathering and transport of Ni, Zn, Cd, Sr and Co from Alum- and Black Shale*. Master. Oslo: Universitetet i Oslo.
- Carbone, C., Dinelli, E., Marescotti, P., Gasparotto, G. & Lucchetti, G. (2013). The role of AMD secondary minerals in controlling environmental pollution: Indications from bulk leaching tests. *Journal of Geochemical Exploration*, 132: 188-200. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.07.001>.
- Chapuis, R. & Légaré, P. (1992). *A SIMPLE METHOD FOR DETERMINING THE SURFACE AREA OF FINE AGGREGATES AND FILLERS IN BITUMINOUS MIXTURES*.
- Duffus, J. H. (2002). "Heavy metals" a meaningless term?(IUPAC Technical Report). *Pure and applied chemistry*, 74 (5): 793-807.
- Dutrow, B. & Clark, C. (2016). X-ray powder diffraction (XRD), geochemical instrumentation and analysis. Carleton College, https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html. [cited 2020/05/10].

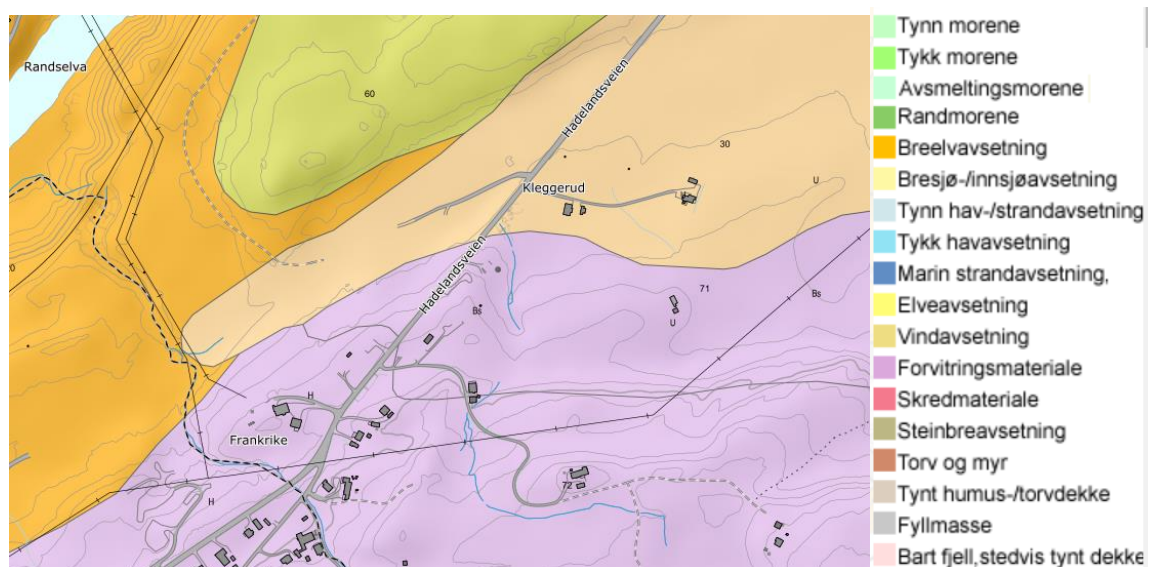
- earthresQue. (2021). *Om earthresQue*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/tjenester/sentre/earthresque/om-oss> (lest 20.07).
- Echevarria, G., Sheppard, M. I. & Morel, J. (2001). Effect of pH on the sorption of uranium in soils. *Journal of Environmental Radioactivity*, 53 (2): 257-264.
- Elless, M. P. & Lee, S. Y. (1998). Uranium Solubility of Carbonate-Rich Uranium-Contaminated Soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 107 (1): 147-162. doi: 10.1023/A:1004982515941.
- EPA. (u.d.). *EPA Facts about Uranium [Fact sheet]*. United States: Environmental Protection Agency. Tilgjengelig fra: <https://semspub.epa.gov/work/HQ/175267.pdf>.
- Erstad, L.-A. (2017). *Leaching of uranium and heavy metals from acid producing black shales - Experiments and modeling study*. Master: Universitetet i Oslo.
- Falk, H., Lavergren, U. & Bergbäck, B. (2006). Metal mobility in alum shale from Öland, Sweden. *Journal of Geochemical Exploration*, 90 (3): 157-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2005.10.001>.
- Fjermestad, H. (2013). *Mobilitet av uran og andre metall i bergarter i ny vegtrase på Gran, Hadeland*: Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Fjermestad, H., Hagelia, P. & Thomassen, T. (2017). Utlekkingsforsøk med svartskifer fra Rv. 4, Hadeland.
- Fjermestad, H., Gundersen, E., Hagelia, P., Moen, A. B. & Torp, M. (2018). Rv. 4 på Gran, nyttiggjøring av svartskifer: sluttrapport og erfaringer.
- French, H., Van der Zee, S. & Leijnse, A. (1999). Differences in gravity-dominated unsaturated flow during autumn rains and snowmelt. *Hydrological processes*, 13 (17): 2783-2800.
- Garrels, R. M. & Thompson, M. E. (1960). Oxidation of pyrite by iron sulfate solutions. *American Journal of Science*, 258-A: 57-67.
- Gautneb, H. & Sæther, O. M. (2009). A compilation of previously published geochemical data on the lower Cambro-Silurian sedimentary sequence, including the alum shales of the Oslo region.
- Gavrilescu, M., Pavel, L. & Cretescu, I. (2008). Characterization and Remediation of Soils Contaminated with Uranium. *Journal of hazardous materials*, 163: 475-510. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.07.103.
- Helmets, T. A. (2013). *The mobility of uranium from U-containing bedrock materials as a function of pH: implications for tunnel construction*: T.A. Helmers.
- Hjulström, F. (1935). Studies of Morphological Activities of rivers as illustrated by the river Fyris. *Bulletin of the Geological Institute University of Uppsala*, 25: 221-572.
- Jeng, A. S. (1992). Weathering of Some Norwegian Alum Shales, II. Laboratory Simulations to Study the Influence of Aging, Acidification and Liming on Heavy Metal Release. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 42 (2): 76-87. doi: 10.1080/09064719209410203.
- Kim, R.-Y., Yoon, J.-K., Kim, T.-S., Yang, J. E., Owens, G. & Kim, K.-R. (2015). Bioavailability of heavy metals in soils: definitions and practical implementation—a critical review. *Environmental geochemistry and health*, 37 (6): 1041-1061.
- Klimaservicesenter, N. (2021). *Klimaprofil Oppland*. Norsk Klimaservicesenter: Norsk Klimaservicesenter. Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/oppland#1-klimaet-og-klimaendringer-i-oppland> (lest 01.08.2021).
- Kreftforeningen. (u.d.). *Radon og kreft*. kreftforeningen.no. Tilgjengelig fra: <https://kreftforeningen.no/forebygging/kreftfremkallende-stoffer/radon-og-kreft/> (lest 11.08.2021).
- Lavergren, U., Astrom, M., Bergback, B. & Holmstrom, H. (2009). Mobility of trace elements in black shale assessed by leaching tests and sequential chemical extraction.

- Geochemistry-exploration Environment Analysis - GEOCHEM-EXPLOR ENVIRON ANAL*, 9: 71-79. doi: 10.1144/1467-7873/08-188.
- Lysdahl, A. K. & Bazin, S. (2014). *ERT-målinger Kleggerud, Jevnaker*: NGI.
- Maher, K., Bargar, J. R. & Brown, G. E. (2013). Environmental Speciation of Actinides. *Inorganic Chemistry*, 52 (7): 3510-3532. doi: 10.1021/ic301686d.
- Markich, S. (2002). Uranium Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems: An Overview. *The Scientific World Journal*, 2: 707 - 729.
- Morin, K. A. & Hutt, N. M. (2001). *Environmental geochemistry of minesite drainage: Practical theory and case studies, Digital Edition*: MDAG Publishing (www. mdag.com), Surrey, British Columbia.
- Mæhlum, T., Køhler, P. D. & Jenssen, P. D. H., G.R. (2010). *Grunnundersøkelser for infiltrasjon - mindre avløpsanlegg*: Norsk Vann BA.
- Nakrem, H. A. & Worsley, D. (2013). Havet oversvømmer landet. I: Ramberg, I., Bryhni, I., Nøttvedt, A. & Rangnes, K. (red.) *Landet blir til - Norges geologi*. Trondheim: Norsk Geologisk Forening.
- NGI. (2015). *Veildeder for Miljødirektoratet: Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter*: NGI.
- NGU. (2011). Alunskiferkart for vurdering av hensynssoner for radon i henhold til plan- og bygningsloven. Tilgjengelig fra: https://www.ngu.no/sites/default/files/alunskifer_ny.pdf.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. 2nd utg.: Wiley-Blackwell.
- NOAH. (2018). *Trygg håndtering av naturlig radioaktivitet*. Tilgjengelig fra: <https://www.noah.no/trygg-handtering-av-naturlig-radioaktivitet/>.
- NOAH. (2020). *Avfall mottatt og behandlet på Langøya, 2020*. Tilgjengelig fra: <https://www.noah.no/wp-content/uploads/2021/06/NOAH-mottak-Lang%C3%B8ya-2020.pdf> (lest 20.07).
- Nordahl-Olsen, T. (1994). *OPPKUVEN, Kvartærgeologisk kart 1815 II - M 1:50 000 med beskrivelse.*: Norges Geologiske Undersøkelse.
- Okpoli, C. C. (2013). Sensitivity and Resolution Capacity of Electrode Configurations. *International Journal of Geophysics*, 2013: 608037. doi: 10.1155/2013/608037.
- Owen, A. W., Bruton, D. L., Bockelie, J. F. & Bockelie, T. G. (1990). The Ordovician successions of the Oslo region, Norway.
- Palacky, G. J. (1987). Resistivity Characteristics of Geologic Targets. I: Nabighian, M. N. (red.) b. 3 *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics: Volume 1, Theory*, s. 0: Society of Exploration Geophysicists.
- Puura, E., Neretnieks, I. & Kirsimäe, K. (1999). Atmospheric oxidation of the pyritic waste rock in Maardu, Estonia. 1 field study and modelling. *Environmental Geology*, 39 (1): 1-19. doi: 10.1007/s002540050432.
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*: John Wiley & Sons.
- Richards, L. A. & Weaver, L. R. (1944). MOISTURE RETENTION BY SOME IRRIGATED SOILS AS. *Journal of Agricultural Research*, 69: 215.
- Salbu, B. & Lind, O. C. (2020). Analytical techniques for charactering radioactive particles deposited in the environment. *Journal of Environmental Radioactivity*, 211: 106078. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106078>.
- Singer, P. C. & Stumm, W. (1970). Acidic Mine Drainage: The Rate-Determining Step. *Science*, 167 (3921): 1121. doi: 10.1126/science.167.3921.1121.
- Skipperud, L., Alvarenga, E., Lind, O., Teien, H., Tollefsen, K., Salbu, B. & Wærsted, F. (2016). Effekter og miljørisiko knyttet til inngrep i områder med sulfidrike mineraler. *Statens vegvesen*.

- Statens Vegvesen. (2016). *Bruk av XRF på bergarter for vurdering av miljørisiko*.
- Statens Vegvesen. (2020). *Bergskjæringer (håndbok)*.
- Swanson, V. E. (1961). *Geology and geochemistry of uranium in marine black shales: a review*: US Government Printing Office Washington, DC.
- Tourtelot, H. A. (1979). Black shale; its deposition and diagenesis. *Clays and Clay Minerals*, 27 (5): 313-321.
- Udden, J. A. (1914). Mechanical composition of clastic sediments. *Geological Society of America Bulletin*, 25: 655-744.
- vanLoon, G. W. & Duffy, S. J. (2017). *Environmental Chemistry - a global perspective (4th edition)*. New York: Oxford University Press.
- Walker, C. H., Sibly, R. & Peakall, D. B. (2005). *Principles of ecotoxicology*: CRC press.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.
- WHO. (2005). *Uranium in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*.
- Wirth, K. & Barth, A. (2020). *Geochemical Instrumentation and Analysis: X-Ray Fluorescence (XRF)*. Tilgjengelig fra: <https://serc.carleton.edu/18398>.
- Wærsted, F. M. (2019). *Mobility of naturally occurring radionuclides and stable elements in alum shale : a case study of Gran, Highway 4, Norway = Mobiliteten til naturlig forekommende radionuklider og stabile grunnstoffer i alunskifer : en kasusstudie av Gran, riksvei 4, Norge*. Ås: Norwegian University of Life Sciences, Faculty of Environmental Sciences and Natural Resource Management.
- Xie, Y., Chen, C., Ren, X., Wang, X., Wang, H. & Wang, X. (2019). Emerging natural and tailored materials for uranium-contaminated water treatment and environmental remediation. *Progress in Materials Science*, 103: 180-234. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.01.005>.
- Åstebøl, S. O., Hvitved-Jacobsen, T. & Kjølholt, J. (2011). *NORWAT - Nordic Road Water Veg og vannforurensning - En litteraturgjennomgang og identifisering av kunnskapshull*.

Vedlegg 1

Tabell 17: Originalt løsmassekart over feltområdet (NGU).



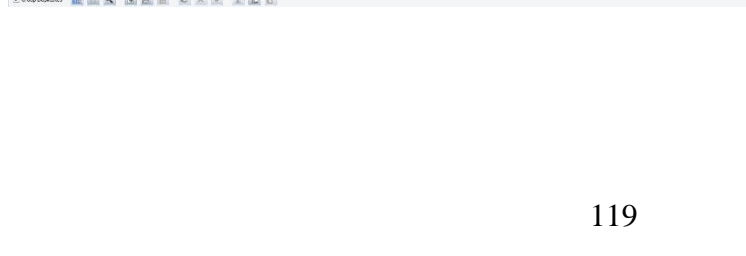
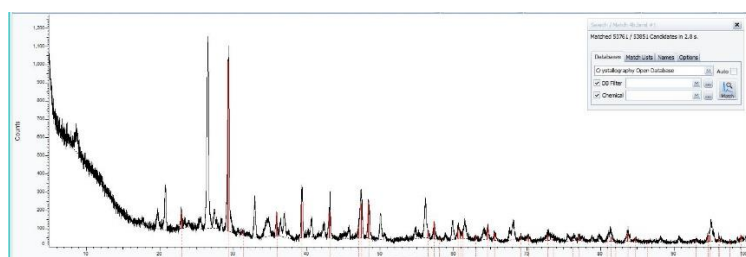
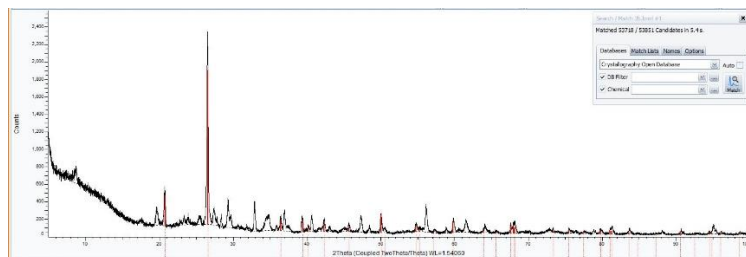
Vedlegg 2

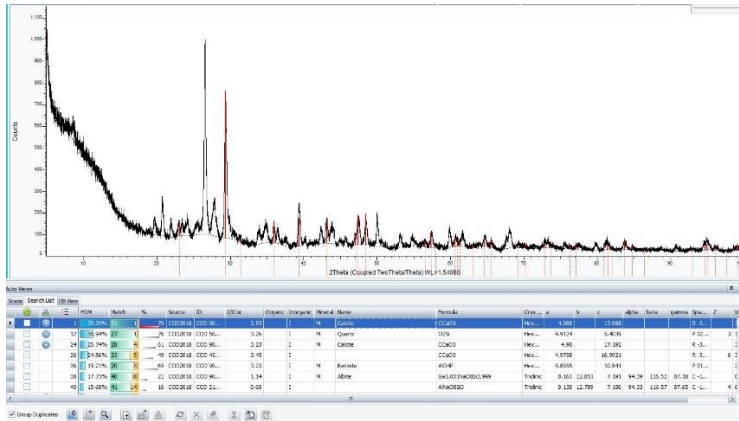
Tabell 18: Vannføringsdata (Skanska) for de ulike prøvetakingslokalitetene i bekken.

Dato	Vannføring (L/s)				
	V1	V2	V3	V3a	V3b
05.09.2019					
29.01.2020				0,1	
06.04.2020			10,8		
11.05.2020		0,8	4,5		
09.06.2020		0,1	2,3		
17.06.2020		0,1	2,3		
26.06.2020			2		
03.07.2020		0,3	1,7		
08.07.2020			2,4		
27.07.2020		0,6	3,2		
07.08.2020		0,7	3,7		
12.08.2020			2,9		
21.08.2020			3,1		
31.08.2020			2,8		
10.09.2020			2,6		
21.09.2020			2,1		
28.09.2020			3,2		
12.10.2020			16,7		
27.10.2020			17	4,1	
11.11.2020			13,5		
25.11.2020			11,5		
15.12.2020			17,4		
05.01.2021			17,8		

27.01.2021			11	2,6	
02.03.2021			6,7	2,5	
09.04.2021	ikke mulig	1,7	9,6	0,9	
21.05.2021			11,8		
25.06.2021			4,2	0,6	2,9

Vedlegg 3





Vedlegg 4

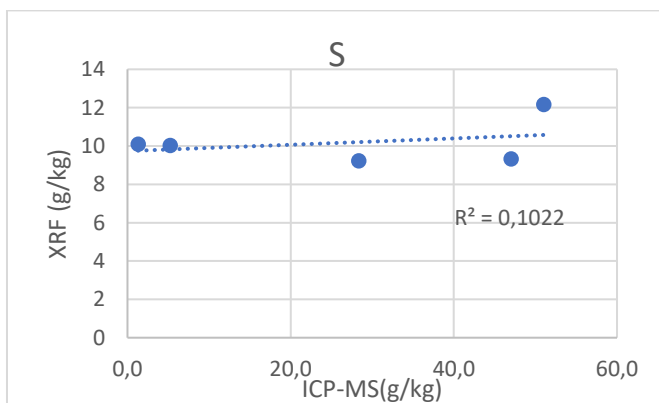
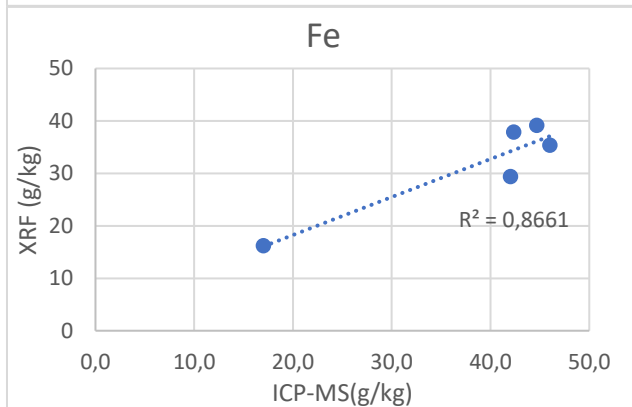
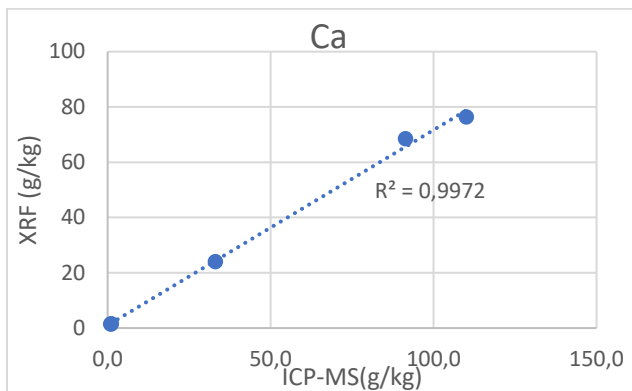
Kolonne nr:		2	4	9.1	9.2	11
Element	Enhet	SS(0,6-2)	SS(2-6)	FS(2-6)	FS(0,6-2)*	KS(2-6)*
Al	g/kg	52	38	68	68,67	34,33
S	g/kg	51	47	1,3	5,23	28,3
Ca	g/kg	33	110	0,85	1,10	91,33
Mn	g/kg	0,22	0,47	0,12	0,29	0,53
Fe	g/kg	46	42	17	42,3	44,7
Ni	mg/kg	320	240	52	136,67	253,33
Cu	mg/kg	140	100	120	353,33	130
Zn	mg/kg	260	210	86	196,67	176,67
Mo	mg/kg	280	190	160	443,33	206,67
Cd	mg/kg	5,6	4,7	2,10	5,10	4,07
Pb	mg/kg	36	29	29	126,67	30
U	mg/kg	130	120	40	150	140

Totalinnhold i prøvematerialet målt med XRF (n=5). Kolonne nr. 6 ble kun målt med XRF.

Kolonne nr:		2	4	6	9.1	9.2	11
Element	Enhet	SS(0,6-2)	SS(2-6)	SS(2-6)	FS(2-6)	FS(0,6-2)	KS(2-6)
Al	mg/kg	<2044	<1496	<2215	<1886	<2001	<1605
S	mg/kg	12171	9332	13646	10103	10030	9233
Ca	mg/kg	24086	76357	32913	1463	1533	68482
Mn	mg/kg	219	349	245	145	306	365
Fe	mg/kg	35355	29354	38782	16170	37857	39154
Co	mg/kg	136	105	94	54,5	72,6	129
Ni	mg/kg	272	212	271	43,89	88,4	178
Cu	mg/kg	117	89,2	115	125	255	123
Zn	mg/kg	197	160	174	86,8	139	176
As	mg/kg	68,3	48,42	69,6	47,17	158	9,61
Mo	mg/kg	260	200	240	180	440	250
Cd	mg/kg	<9	<10	20	<10	<8	10
Sn	mg/kg	<30	<20	<20	<30	<20	<20
Pb	mg/kg	50	40	60	40	110	40

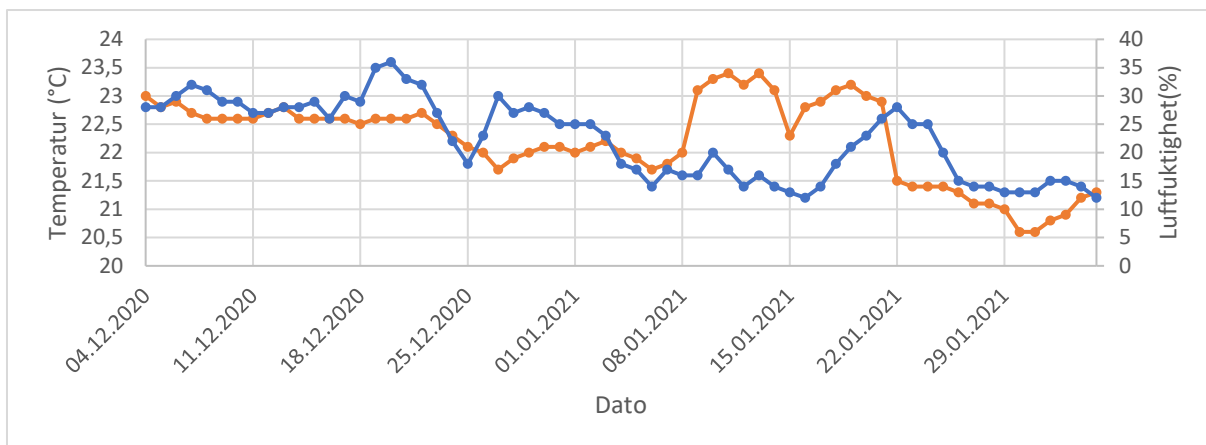
Th	mg/kg	20	20	30	20	30	20
U	mg/kg	120	110	130	80	160	140

Korrelasjonstester mellom målte verdier av Ca, Fe og S med pXRF og ICP-MS.



Vedlegg 5

Temperaturen (°C) og luftfuktighet (%) i rommet hvor kolonneforsøket ble utført. Gjennomsnittstemperatur på 21,9 °C. Mangler data fra oktober-november 2020.



Vedlegg 6

Sertifisert referansemateriale (OBS: SJEKK Al, Ca, Fe, Mg, Na, K – hvorfor er kalkulert (fra oksid-form) verdi 1000 ganger lavere enn observert verdi? Sikkert gjort noe rart her...)

Referanse materiale	Gr.stoff	Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Na	S	Sr	K	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	U	
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
ZC73007	Dekomp.	HNO3	HNO3	HNO3	HNO3	HF	HF	HF	HNO3	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF
	Forventet variasjon	9,43	0,2459	116,203	0,4565	421	1,08	0,2246	235-287	64-12	2,0354	26,5	30-34	92-108	0,23	59-63	5,6-6,2	
		9,57	0,3259	74kva beyst T??	0,5565	461	1,22	0,2646			2,1154	28,3			0,27			
	Observert	82000	2500	37000	4400	420	<LOD	2100	270	37	14000	27	31	100	0,27	62	5,3	
	%feil																	

Vedlegg 7

Filtrerte vannprøver fra kolonneforsøk.

Tabell 19: Filtrerte prøver fra kolonneforsøk.

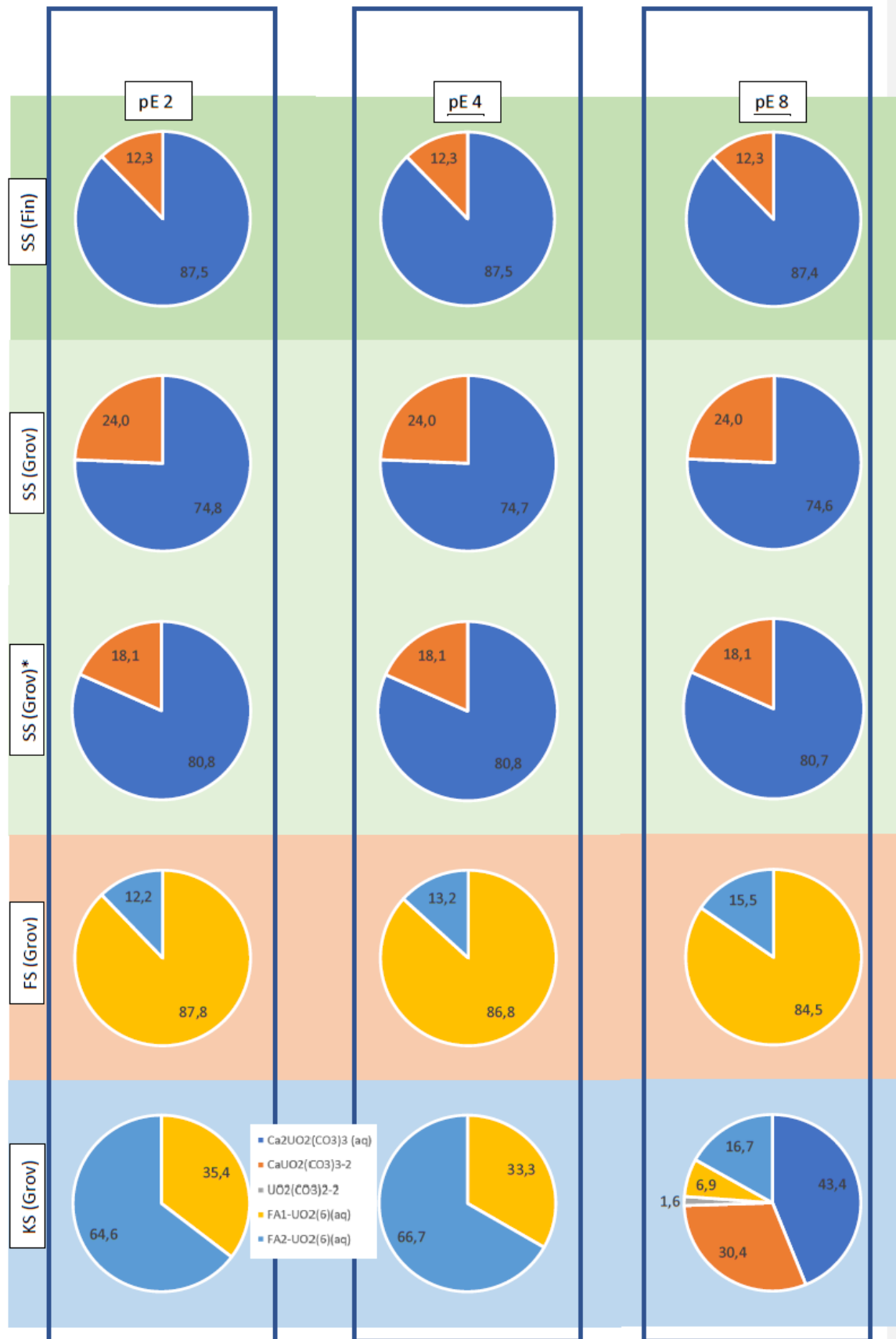
Dato	Dager	Kolonnenr.	Analyse nr.	Al mg/L	Ca mg/L	Cu µg/L	Fe mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	Zn mg/L	Cd µg/L	Pb µg/L	U µg/L	S mg/L	SO4 mg/L	Cl mg/L	NO3-N mg/L	DOC mg/L
08.10.2020	0	1 S5(Fin)	<0.006	790	250	<100	15	21	6.6	17	24	6.5	180	5.7	3200	1900	<0.22	0	2.5		
08.10.2020	0	2 S5(Fin)	<0.006	770	140	<100	15	16	5.6	9.6	19	6.4	230	0.95	2200	1800	<0.08	0	2.2		
08.10.2020	0	3 S5(Fin)	<1.00	760	45	<100	15	15	5.4	9.6	19	6.2	230	12	2200	1800	<0.19	0	1.88		
08.10.2020	0	4 S5(Grov)	<0.006	39	<100	<100	1.7	0.89	0.095	2.5	0.40	0.022	0.63	<0.18	44	75	0.17	0.04	0.80		
08.10.2020	0	5 S5(Grov)	<0.006	180	5.7	<100	3.0	2.0	0.78	3.4	2.6	0.59	25	<0.18	190	420	0	0.21	0.54		
08.10.2020	0	6 S5(Grov)	<0.006	240	18	<100	4.6	3.8	1.5	5.8	4.7	1.3	46	<0.18	370	590	<0.13	<0.19	0.67		
08.10.2020	0	7 S5(Grov)	<0.006	1.3	<100	<100	0.14	0.028	1.3	0.010	<0.025	0.70	<100	0.06	19	1.3	2	1.7			
08.10.2020	0	8 F5(Grov)	<0.006	1.2	<100	<100	4.0	0.13	<0.002	1.3	0.011	<0.015	0.61	0.26	0.08	18	1.2	1.7	1.4		
08.10.2020	0	9 F5(Grov)	<1.00	0.88	<100	<100	0.3	0.097	<0.002	0.86	0.008	<0.015	0.49	<100	0.05	13	1	2	1.1		
08.10.2020	0	10 F5(Grov)	0.080	24	<10	<100	3.6	1.0	0.005	5.1	<100	<0.015	0.036	<100	0.67	31	0.2	0.044	1.0		
08.10.2020	0	11 K5(Grov)	0.061	35	<100	<100	4.2	1.5	0.006	5.5	<100	<0.015	0.042	<0.18	77	65	0.31	0.042	1.0		
08.10.2020	0	12 K5(Grov)	0.13	15	<100	<100	0.0	0.67	0.004	2.5	<100	<0.015	<0.023	<100	46	23	0.15	0.016	0.51		
15.10.2020	7	1 S5(Fin)	<0.006	680	860	<100	12	32	6.7	27	9.5	1.9	64	12	2000	1600	0.65	0	0.99		
15.10.2020	7	2 S5(Fin)	<1.00	680	390	<100	13	29	6.0	21	7.6	1.4	68	5.1	1600	1000	0.68	0	1.1		
15.10.2020	7	3 S5(Fin)	<0.006	670	77	<100	13	26	5.6	18	1.9	7.2	66	4.5	1400	1600	<0.51	0	0.63		
15.10.2020	7	4 S5(Grov)	0.006	230	<100	<100	2.5	5.9	0.43	8.0	1.1	10	4.6	<0.18	630	940	<0.25	<0.18	0.92		
15.10.2020	7	5 S5(Grov)	<0.006	390	<10	<100	4.7	11	3.0	9.7	4.1	0.58	43	<100	530	940	<0.50	0	0.77		
15.10.2020	7	6 S5(Grov)	<1.00	410	36	<100	5.5	12	3.3	11	4.8	0.85	45	<0.18	590	1000	<0.29	0	0.68		
15.10.2020	7	7 F5(Grov)	<0.006	6.7	<10	<100	1.3	0.74	0.012	5.5	0.062	0.28	4.7	<0.18	0.34	23	1.1	1.3	1.2		
15.10.2020	7	8 F5(Grov)	0.017	4.2	<10	<100	1.1	0.66	0.012	4.2	0.068	0.14	4.5	<0.18	0.32	24	1.1	1.4	1.3		
15.10.2020	7	9 F5(Grov)	<0.006	5.2	<10	<100	1.2	0.56	0.010	5.5	0.052	0.17	4.1	<0.18	0.36	18	0.97	1.6	0.97		
15.10.2020	7	10 K5(Grov)	0.051	110	240	<100	6	8.8	0.057	10	0.042	0.061	0.11	<0.18	170	190	1.1	0	1.4		
15.10.2020	7	11 K5(Grov)	0.048	140	210	<100	6.8	10	0.073	9.7	0.062	0.064	0.092	<0.18	280	240	1.6	0	1.6		
15.10.2020	7	12 K5(Grov)	0.110	120	120	<100	6.1	8.0	0.055	8.0	0.054	<1.00	0.150	1.0	170	1.1	0	1.3			
22.10.2020	14	1 S5(Fin)	<0.006	660	140	<100	10	29	5.9	20	6.4	1.6	54	4.9	1900	1600	<0.44	0	0.58		
22.10.2020	14	2 S5(Fin)	<0.006	660	110	<100	11	27	5.8	18	5.3	1.4	63	3.8	1400	1400	0.93	0	1.1		
22.10.2020	14	3 S5(Fin)	<1.00	660	51	<100	10	24	5.2	14	5.1	1.3	60	3.9	1200	1300	<0.47	0	0.39		
22.10.2020	14	4 S5(Grov)	<1.00	390	<100	<100	3.8	8.3	1.9	5.4	1.7	0.43	21	<0.18	640	430	<0.46	0	0.44		
22.10.2020	14	5 S5(Grov)	<0.006	390	<100	<100	4.0	9.7	2.4	6.8	2.7	0.54	31	<0.18	640	840	1.2	0	0.15		
22.10.2020	14	6 S5(Grov)	<0.006	400	<10	<100	4.4	10	2.5	7.1	2.8	0.64	33	<0.18	580	900	<0.23	0.22	0.1		
22.10.2020	14	7 F5(Grov)	<0.006	6.0	13	<100	1.1	0.87	0.011	4.7	0.058	0.31	4.5	<100	0.43	22	1.6	1.3	1		
22.10.2020	14	8 F5(Grov)	<1.00	5.4	<100	<100	1.2	0.88	0.009	4.6	0.06	0.42	4.2	<100	0.41	23	1.1	1.7	0.99		
22.10.2020	14	9 F5(Grov)	<0.006	4.3	<100	<100	1.1	0.87	0.008	4.5	0.047	0.18	3.6	<100	0.38	18	0.79	1	1		
22.10.2020	14	10 K5(Grov)	0.047	54	160	<100	4.7	7.0	0.032	6.0	0.020	0.081	0.094	0.31	64	97	<0.59	0	0.66		
22.10.2020	14	11 K5(Grov)	0.034	78	470	<100	5.6	8.9	0.048	7.2	0.033	0.16	0.078	1.8	120	140	0.76	0	0.72		
22.10.2020	14	12 K5(Grov)	0.052	52	75	<100	4.5	8.2	0.048	4.9	0.018	0.030	0.066	<1.00	54	83	0.69	0	0.71		
29.10.2020	21	1 S5(Fin)	<0.006	630	92	<100	8.8	25	9	15	4.5	1.9	4.3	2.3	1500	1500	0	0	0.58		
29.10.2020	21	2 S5(Fin)	<1.00	630	68	<100	9.9	24	4.9	12	4.2	0.98	53	1.9	1200	1500	0	0	0.63		
29.10.2020	21	3 S5(Fin)	<1.00	630	22	<100	9.3	21	4.4	10	3.9	0.83	52	2.2	1000	1500	0	0	0.52		
29.10.2020	21	4 S5(Grov)	<0.006	180	47	<100	1.9	4.3	0.26	3.5	0.57	0.25	4.7	<100	640	390	<0.1	0	0.33		
29.10.2020	21	5 S5(Grov)	<1.00	330	<100	<100	3.8	8.3	1.9	5.4	1.7	0.43	21	<0.18	630	800	<0.2	0	0.2		
29.10.2020	21	6 S5(Grov)	<1.00	340	17	<100	3.9	8.7	1.9	5.4	1.8	0.57	22	<0.18	600	810	<0.16	0	0.38		
29.10.2020	21	7 F5(Grov)	<0.006	5.5	12	<0.017	1.1	0.61	0.010	4.1	0.052	0.26	4.0	<0.18	0.28	20	0.68	0.76	0.90		
29.10.2020	21	8 F5(Grov)	<0.006	4.8	<10	<0.017	1.1	0.52	0.009	3.9	0.055	0.15	3.8	<0.18	0.38	18	0.6	0.79	0.75		
29.10.2020	21	9 F5(Grov)	0.017	4.2	<10	<0.017	1.1	0.44	0.004	4.2	0.044	0.20	3.3	<0.18	0.42	16	0.6	0.82	0.76		
29.10.2020	21	10 K5(Grov)	0.047	37	160	<100	4.0	6.1	0.026	4.4	0.012	0.08	0.067	0.57	36	72	0.13	0	0.58		
29.10.2020	21	11 K5(Grov)	0.038	47	260	<100	4.7	7.2	0.031	5.1	0.018	0.12	0.043	1.9	60	90	0.17	0	0.54		
29.10.2020	21	12 K5(Grov)	0.048	37	55	<100	4.0	5.6	0.032	3.8	0.011	0.029	0.050	<1.00	34	64	0.18	0	0.57		
12.11.2020	35	1 S5(Fin)	<0.006	640	140	<100	8.8	22	6.1	17	8.0	1.8	40	3.6	340	540	0.68	0	0.68		
12.11.2020	35	2 S5(Fin)	<1.00	640	89	<100	9.6	22	4.6	9.4	3.1	1.1	47	2.1	940	1200	0.72	0	0.75		
12.11.2020	35	3 S5(Fin)	<0.006	630	22	<100	9.1	19	4.1	7.8	2.7	0.97	45	2.6	790	1200	0.63	<0.14	0.62		
12.11.2020	35	4 S5(Grov)	<0.006	170	11	<100	1.8	3.5	0.23	2.4	0.40	0.20	4.3	<100	600	390	<0.36	0	0.39		
12.11.2020	35	5 S5(Grov)	<1.00	290	<100	<100	3.3	8.6	1.2	3.9	0.88	0.31	13	<100	490	700	<0.41	0.5	0.47		
12.11.2020	35	6 S5(Grov)	<1.00	15	800	<100	1.5	800	1.7	0.3	0.96	0.40	1.4	<0.18	480	730	0.65	0	0.30		
12.11.2020	35	7 F5(Grov)	0.011	6.3	38	<0.017	1.5	0.69	0.014	4.7	0.059	0.28	4.4	<0.18	0.68	23	1.4	0.91	1.3		
12.11.2020	35	8 F5(Grov)	0.015	5.5	25	<0.017	1.4	0.59	0.011	4.6	0.062	0.37	4.2	<0.18	0.52	22	1.1	0.68	1.2		

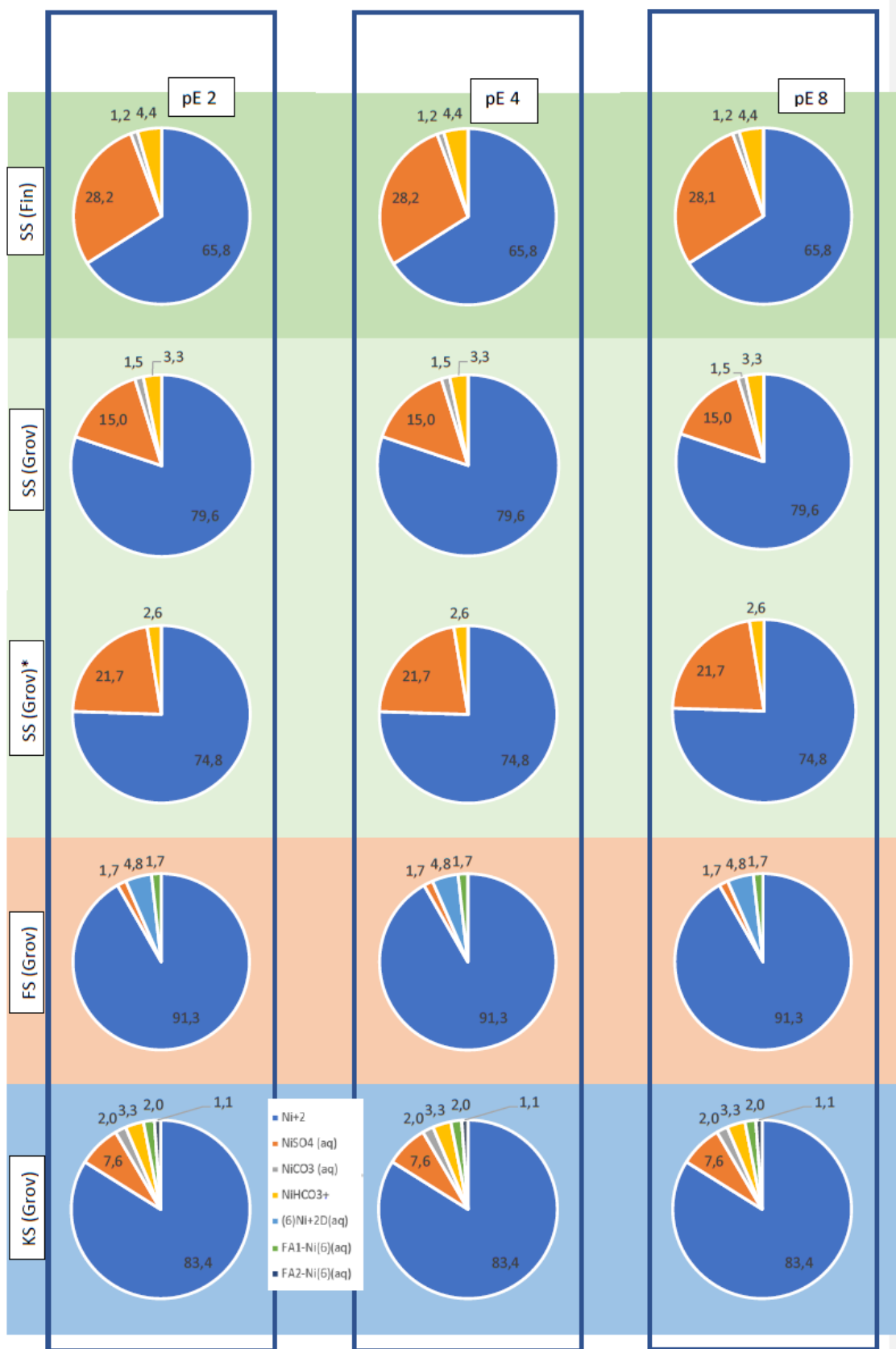
Tabell 20: Totalprøver fra kolonneforsøk.

Based on average weight,g:4,5
Dilution samples, mL:10,5

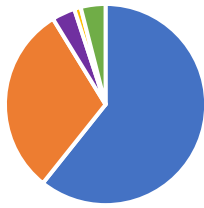
Uker	Kolonne nr	Prøve nr	navn	Al	Ca	Cd	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	S	Sr	Zn	U			
				mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
				Detection method				ICP-OES	ICP-OES	ICP-MS	ICP-MS	ICP-OES	ICP-MS	ICP-OES	ICP-OES	ICP-OES	ICP-MS	ICP-MS	ICP-OES	ICP-OES	ICP-MS	ICP-MS
				Decomposition				ICP-OES	ICP-OES	HNO3	HF	HNO3	HF	HNO3	HF	HF	HF	HNO3	HF	HNO3	HNO3	HF
Limit of detection, LOD in (w/w)				0,01	0,02	0,00002	0,001	0,03	0,04	0,001	0,002	0,003	0,05	0,002	0,00007	0,1	0,02	0,008	0,00001			
Limit of quantification, LOQ in (w/w)				0,044	0,05	0,00006	0,00430	0,09	0,13	0,0044	0,0070	0,0110	0,1500	0,00680	0,00022	0,4	0,05	0,02600	0,00004			
0	1	1	13	3,5	780	0,18	0,19	2,6	17	22	7,1	0,30	18	21	0,03	680	4,1	3,8	3,0			
1	1	13	37	0,60	670	0,065	0,96	0,37	13	33	6,8	2,6	28	8,9	0,018	680	6,1	1,8	2,1			
8	1	25	145	0,005	620	0,031	0,057	0,015	7,4	18	3,3	1,8	6,9	1,8	0,0011	530	5,1	0,68	0,81			
17	1	37	241	0,008	580	0,027	0,059	0,03	4,4	13	0,52	0,54	3,3	2,2	0,0018	470	5,6	0,87	1,2			
0	2	2	14	1,2	750	0,23	0,11	0,99	16	16	6,0	0,28	10	18	0,0083	650	3,5	5,6	2,2			
1	2	14	38	0,69	680	0,068	0,42	0,52	14	30	6,2	3,5	21	7,0	0,0093	740	5,6	1,3	1,6			
8	2	26	146	0,11	620	0,044	0,04	0,045	8,7	18	4,0	2,4	6,4	2,1	0,0014	530	5,1	0,80	0,88			
17	2	38	242	0,024	630	0,042	0,034	0,03	5,6	14	0,88	0,59	3	2,6	0,0019	510	5,9	1,2	1,3			
0	3	3	15	1,2	710	0,24	0,032	0,97	16	16	5,8	0,28	10	17	0,032	640	3,3	5,1	2,1			
1	3	15	39	0,11	680	0,067	0,081	0,045	13	26	5,7	3,2	19	6,8	0,0081	700	5,1	0,94	1,4			
8	3	27	147	0,068	650	0,040	0,0078	0,045	8,1	16	3,5	2,2	5,7	1,8	0,0017	540	4,9	0,61	0,58			
17	3	39	243	0,02	560	0,031	0,009	0,03	5	12	0,53	0,38	2,9	2,2	0,0017	460	5,3	0,95	0,83			
0	4	4	16	5,0	64	0,0014	0,016	2,6	4,8	2,1	0,18	0,94	3,6	0,66	0,0045	48	0,48	0,087	0,11			
1	4	16	40	28	270	0,0096	0,08	18	18	9,8	0,64	5,1	9,5	1,8	0,020	230	2,1	0,33	0,78			
8	4	28	148	3,3	170	0,0028	0,09	1,9	3,6	3,8	0,17	2,4	2,4	0,42	0,0036	140	1,3	0,22	0,51			
17	4	40	244	2,3	110	0,002	0,036	1,2	2,8	1,9	0,092	1,4	0,94	0,21	0,0023	82	0,82	0,17	0,3			
0	5	5	17	3,3	260	0,035	0,02	1,9	5,3	3,3	1,1	0,31	5,2	3,1	0,0048	220	1,0	0,73	0,29			
1	5	17	41	37	420	0,051	0,12	25	25	16	3,0	1,9	12	4,9	0,029	400	2,8	1,2	0,62			
8	5	29	149	3,4	360	0,016	0,057	2,1	5,3	8,4	1,1	1,6	4,3	0,92	0,0075	300	2,5	0,54	0,55			
17	5	41	245	3	220	0,018	0,026	1,8	4	4,9	0,3	0,41	1,9	0,94	0,0036	180	1,9	0,69	0,36			
0	6	6	18	3,2	290	0,044	0,029	2,0	6,1	4,4	1,5	0,37	6,0	4,1	0,0046	240	1,3	1,1	0,36			
1	6	18	42	19	440	0,049	0,15	12	16	15	3,4	2,2	12	5,1	0,018	410	3,1	1,2	0,60			
8	6	30	150	29	340	0,022	0,11	19	19	11	1,1	1,7	4,7	1,9	0,025	280	2,3	1,1	0,58			
17	6	42	246	1,9	210	0,018	0,027	1,1	3,4	4,7	0,31	0,47	1,8	0,80	0,003	170	1,8	0,65	0,27			
0	7	7	19	220	9,5	0,014	0,58	76	110	17	0,52	0,78	13	0,28	0,16	13	0,19	0,45	0,26			
1	7	19	43	180	8,8	0,012	0,54	64	87	14	0,4	0,70	12	0,22	0,15	15	0,18	0,59	0,21			
8	7	31	151	120	6,3	0,0077	0,33	33	51	8,7	0,22	0,42	6,5	0,13	0,069	8,2	0,10	0,40	0,13			
17	7	43	247	62	4,1	0,0049	0,2	21	30	5	0,15	0,3	3,9	0,090	0,043	5	0,071	0,25	0,079			
0	8	8	20	240	9,3	0,016	0,65	87	120	20	0,70	0,99	14	0,34	0,18	13	0,20	0,44	0,31			
1	8	20	44	190	9,2	0,013	0,53	68	96	16	0,54	0,82	12	0,27	0,15	14	0,17	0,45	0,23			
8	8	32	152	89	5,7	0,0073	0,25	23	38	6,7	0,19	0,37	5,9	0,13	0,043	7,6	0,08	0,35	0,10			
17	8	44	248	74	3,8	0,0057	0,23	26	36	6	0,21	0,37	4,1	0,11	0,05	5	0,059	0,26	0,099			
0	9	9	21	290	8,8	0,016	0,75	95	160	25	0,72	0,97	17	0,39	0,21	12	0,23	0,61	0,34			
1	9	21	45	240	8,4	0,014	0,63	83	130	21	0,61	0,92	15	0,28	0,21	14	0,21	0,58	0,27			
8	9	33	153	160	5,5	0,0091	0,43	42	68	12	0,31	0,52	7,9	0,17	0,095	7,5	0,12	0,60	0,16			
17	9	45	249	84	3,3	0,0053	0,25	27	41	6,8	0,21	0,35	4,5	0,11	0,062	4,6	0,069	0,41	0,099			
0	10	10	22	7,4	39	0,0004	0,067	2,5	7,9	2,2	0,070	0,92	6,5	0,02	0,0042	39	0,37	<0,03	0,075			
1	10	22	46	11	140	0,0008	0,3	8,0	13	11	0,21	1,2	13	0,13	0,011	170	1,5	0,19	0,21			
8	10	34	154	0,16	50	0,0001	0,17	0,045	5,7	16	0,012	0,076	4,0	0,0035	0,0028	72	0,58	0,072	0,043			
17	10	46	250	0,072	38	0,000025	0,083	0,03	5,5	18	0,0093	0,0255	1,5	0,002	0,0015	64	0,25	0,039	0,024			
0	11	11	23	7,1	49	0,0003	0,19	1,9	8,1	2,6	0,066	1,4	9,3	0,019	0,0044	54	0,51	0,07	0,092			
1	11	23	47	6,9	160	0,0005	0,24	4,0	11	12	0,16	1,9	12	0,1	0,0061	210	1,7	0,12	0,31			
8	11	35	155	0,15	46	0,00003	0,26	0,045	5,8	16	0,016	0,10	4,5	0,0072	0,0041	69	0,67	0,12	0,063			
17	11	47	251	0,047	35	0,000005	0,24	0,03	3,3	13	0,0072	0,0255	1,4	0,002	0,006	48	0,32	0,076	0,035			
0	12	12	24	17	63	0,0010	0,13	8,3	13	3,2	0,18	0,88	7,2	0,063	0,0089	39	0,42	0,07	0,087			
1	12	24	48	25	200	0,0021	0,23	20	20	12	0,48	1,1	13	0,24	0,017	160	1,7	0,16	0,25			
8	12	36	156	0,20	55	0,00003	0,049	0,045	5,6	14	0,015	0,079	3,9	0,0035	0,00055	71	0,63	0,013	0,036			
17	12	48	252	0,068	37	0,000005	0,071	0,03	2,3	14	0,01	0,01	1,2	0,002	0,0016	56	0,25	0,026	0,022			

Vedlegg 8



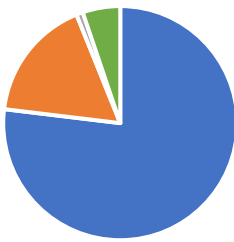


Cd+2 pE4, SS(Fin)



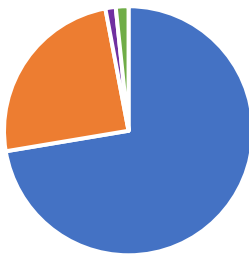
- Cd+2
- CdSO4 (aq)
- Cd(SO4)2-2
- CdHCO3+
- FA1-Cd(6)(aq)

Cd+2 pE4, SS(Grov) (kolonne 4)



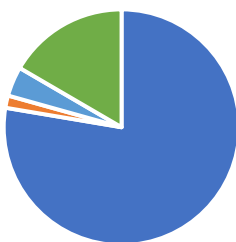
- Cd+2
- CdSO4 (aq)
- CdCO3 (aq)
- FA1-Cd(6)(aq)

Cd+2 pE4, SS(Grov) (kolonne 6)



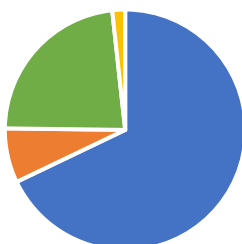
- Cd+2
- CdSO4 (aq)
- Cd(SO4)2-2
- FA1-Cd(6)(aq)

Cd+2 pE4, FS(Grov)



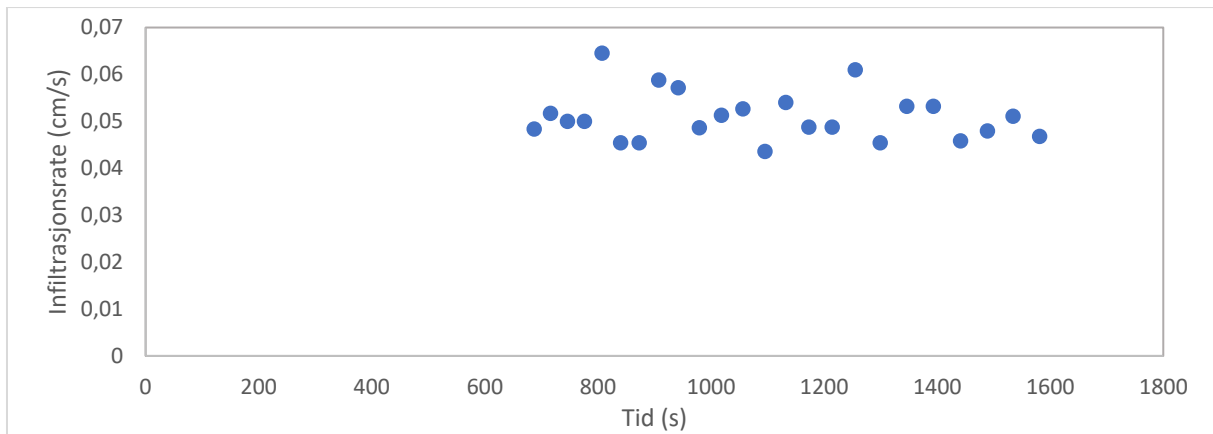
- Cd+2
- CdSO4 (aq)
- (6)Cd+2D(aq)
- FA1-Cd(6)(aq)

Cd+2 pE4, KS(Grov)

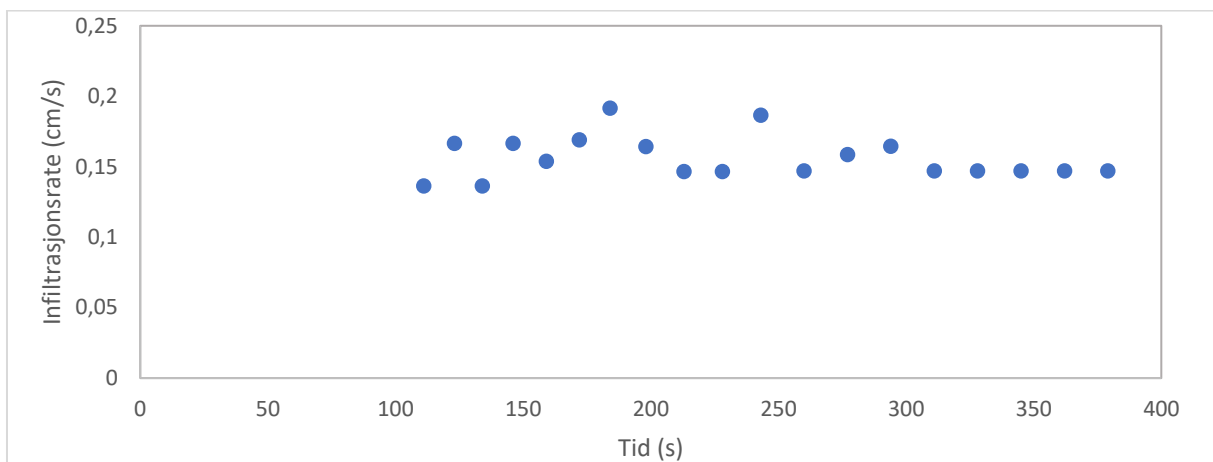


- Cd+2
- CdSO4 (aq)
- FA1-Cd(6)(aq)
- FA2-Cd(6)(aq)

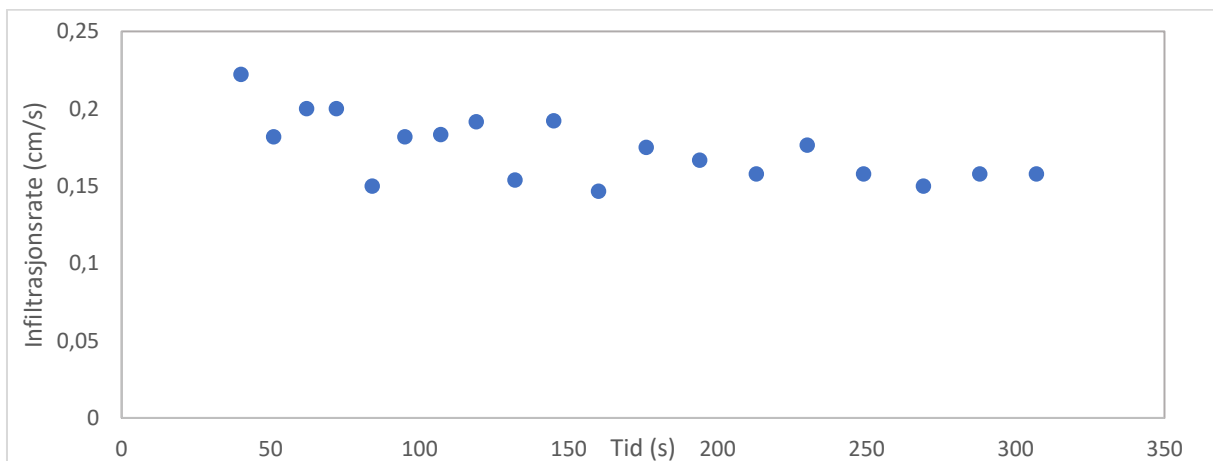
Vedlegg 9



Figur 53: Infiltrasjonstest for sandig silt v/lokaltet "Inf1" (se kart, Figur 7).



Figur 54: Infiltrasjonstest for breelavsetninger (grove elvekanalavsetninger) ved lokalitet "Inf2" (se kart, Figur 7).



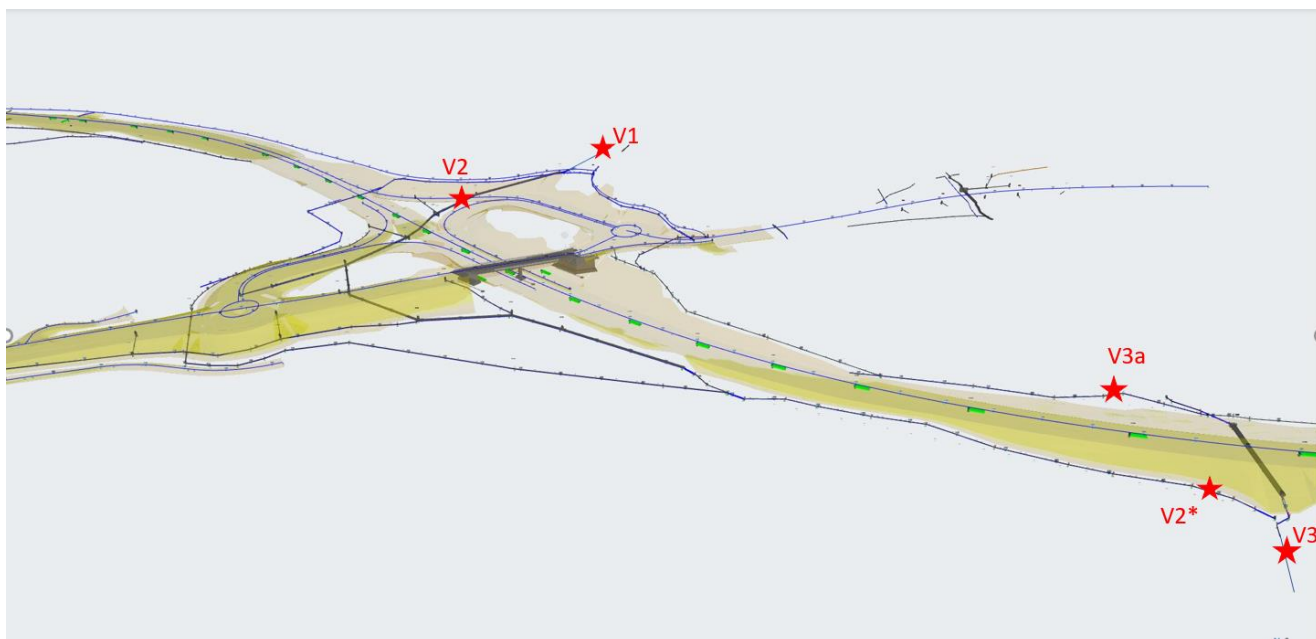
Figur 55: Infiltrasjonstest for vindavsetninger ved lokalitet "Inf3" (se kart, Figur 7).

Vedlegg 10

Tabell 21: pXRF-data fra Skanska (driftsdata).

Fra Kleggerud-krysset - vest for bekken							Ca	Fe	Ni	S	U
Fra vest og inn mot mænaittgangen P3350 til P3405							ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Reading No	Reading Ty	Duration	Time	Units	Sample	Heat	Ca	Fe	Ni	S	U
148	Mining	120.94	man. jun 29, 2020 - 12:43:35	Pkt. 10 Maenaitt	Synk ca 1,5	Klegg vest 29/6	54986	67417	41	13607	5
145	Mining	121.38	man. jun 29, 2020 - 12:32:13	Pkt. 1	Ganggrøve fra topp - deretter svart	Klegg vest 29/6	32664	57297	47	7164	19
141	Mining	120.70	man. jun 29, 2020 - 12:16:18	Pkt. 9 Maenaitt	Maenaitt topp, men svart prøve fra bunn	Klegg vest 29/6	159235	37434	136	17541	156
70	Mining	121.09	man. mai 25, 2020 - 08:57:52	ppm	P3390 høyre - KXH2-P1	22-05-2020, Borkaks, z=8m	135943	39454	136	16325	140
77	Mining	120.49	man. mai 25, 2020 - 09:59:28	ppm	P3390 høyre - KXF2extra-P1	22-05-2020, Borkaks, 0<z<4,6m	46450	26084	250	9384	124
76	Mining	120.15	man. mai 25, 2020 - 09:55:29	ppm	P3400 høyre - KXF2-P1	22-05-2020, Borkaks, z=1m	69605	47483	310	16874	150
75	Mining	120.27	man. mai 25, 2020 - 09:50:36	ppm	P3400 senter - KXD1-P1	22-05-2020, Borkaks, z=2,5m	171657	35169	148	16624	138
69	Mining	120.83	man. mai 25, 2020 - 08:53:29	ppm	P3405 senter - KXH1-P1	22-05-2020, Borkaks, z=6,3m	97962	44749	149	12736	128
139	Mining	120.14	man. jun 29, 2020 - 12:07:57	Pkt. 4	Synk 3,4	Klegg vest 29/6	62060	24662	226	11180	136
140	Mining	120.30	man. jun 29, 2020 - 12:11:23	Pkt. 12	Synk 4	Klegg vest 29/6	42007	31194	321	19943	139
142	Mining	120.92	man. jun 29, 2020 - 12:20:07	Pkt. 2	Synk 3,5	Klegg vest 29/6	25722	37408	205	11470	99
143	Mining	120.59	man. jun 29, 2020 - 12:24:12	Pkt. 8	Synk ca 2	Klegg vest 29/6	104379	35770	205	24620	121
144	Mining	120.70	man. jun 29, 2020 - 12:27:57	Pkt. 7	Synk 1,5 til 2,6	Klegg vest 29/6	95163	30145	208	20540	174
146	Mining	120.29	man. jun 29, 2020 - 12:35:26	Pkt. 11	Synk 4	Klegg vest 29/6	30820	30762	386	18127	116
147	Mining	120.75	man. jun 29, 2020 - 12:39:55	Pkt. 3	Synk 3,5	Klegg vest 29/6	72685	27850	241	14973	150
149	Mining	120.02	man. jun 29, 2020 - 12:48:47	Pkt. 1 Svart	Synk ca 2,1	Klegg vest 29/6	20715	33335	239	13121	123
150	Mining	120.53	man. jun 29, 2020 - 12:52:00	Pkt. 5	Synk 4	Klegg vest 29/6	153240	24287	127	12845	158
151	Mining	120.72	man. jun 29, 2020 - 12:55:33	Pkt. 6	Synk 4	Klegg vest 29/6	86343	35569	249	24625	178
Fra øst og inn mot mænaittgangen P3435 til P3460							Ca	Fe	Ni	S	U
Reading No	Reading Ty	Duration	Time	Units	Sample	Heat	Ca	Fe	Ni	S	U
71	Mining	120.28	man. mai 25, 2020 - 09:02:19	ppm	P3430 senter - KXE2-P1	22-05-2020, Borkaks, z=4,5m	80761	34818	184	15248	173
78	Mining	120.11	man. mai 25, 2020 - 10:03:00	ppm	P3430 venstre - KXC2-P1	22-05-2020, Borkaks, z=2,5m	105601	33778	274	15051	154
Prøver fra Kleggerud øst - samlet under denne overskriften							Ca	Fe	Ni	S	U
Reading No	Reading Ty	Duration	Time	Units	Sample	Heat	Ca	Fe	Ni	S	U
111	Mining	120.08	man. jun 8, 2020 - 14:06:47	ppm	ca P3512 Berg	Ved rampe påkjøring øst	5432	24908	186	16574	95
112	Mining	120.30	man. jun 8, 2020 - 14:21:52	ppm	ca P3515 Berg	Ved rampe påkjøring øst	9819	57565	157	50559	105
115	Mining	120.14	man. jun 8, 2020 - 14:50:30	ppm	P3520 Berg	Påkjøring rampe mot øst	42445	57037	220	21664	121
114	Mining	120.57	man. jun 8, 2020 - 14:42:29	ppm	P3530 Forvitret	Høyre - topp terreng	4177	37561	59	1204	72
Kleggerud øst - Boring med pallrigg 10 juni og testing av borkaks							Ca	Fe	Ni	S	U
Reading No	Reading Ty	Duration	Time	Units	Sample	Heat	Ca	Fe	Ni	S	U
127	Mining	120.94	ons. jun 10, 2020 - 15:06:51	ppm	P3515 - 7m høyre	Kun i alusksifer, svart	108241	30340	204	29215	108
125	Mining	120.65	ons. jun 10, 2020 - 15:02:52	ppm	P3520 10m venstre	Kun i alusksifer, svart	116572	36919	195	31359	123
116	Mining	120.35	tir. jun 9, 2020 - 17:11:01	ppm	P3520 Centerlinje - boret 1,5m	29660	29645	119	19459	83	
117	Mining	120.74	tir. jun 9, 2020 - 17:16:11	ppm	P3540 senter - boret 1,5m	16643	23343	183	11216	88	
118	Mining	120.36	tir. jun 9, 2020 - 17:20:16	ppm	P3540 høyre - boret 1,5m	0,4m kalk - svart under kalk	135683	23476	165	12281	85
128	Mining	121.59	ons. jun 10, 2020 - 15:11:19	ppm	P3540 - 7m venstre - forvitret	Forvitring 0,1m ned	414	17973	0	1010	30
119	Mining	120.52	tir. jun 9, 2020 - 17:26:14	ppm	P3560 senter - boret 1,5m	svart	28113	29309	368	20277	98
120	Mining	120.01	tir. jun 9, 2020 - 17:30:20	ppm	P3560 venstre 1,5m boret	0,7m kalk - svart under kalk	249578	16679	152	8406	51
121	Mining	120.94	tir. jun 9, 2020 - 17:36:42	ppm	P3540 V - S7 - 1,5m	0,35m kalk - svart under kalk	24297	26791	203	16120	96
122	Mining	120.79	tir. jun 9, 2020 - 17:40:31	ppm	P3580 center - 58	svart	179676	21907	239	17468	85
123	Mining	120.47	tir. jun 9, 2020 - 17:50:01	ppm	P3580 S9 høyre - 1,5m	svart	29599	28052	301	21560	93
124	Mining	121.61	tir. jun 9, 2020 - 17:53:09	ppm	P3600 S10 - senter 1,5m	svart	168184	25095	258	21297	97
158	Mining	120.75	fre. jul 3, 2020 - 14:02:32	ppm	Svartskiferi overgang mænaitt	Kleggerud 3/7	40348	38944	160	21604	216
Kleggerud øst - 3 prøver fra uttak ned til traubunn-3 svartskifer og en kalkrik prøve							Ca	Fe	Ni	S	U
Reading No	Reading Ty	Duration	Time	Units	Sample	Heat	Ca	Fe	Ni	S	U
132	Mining	120.96	tir. jun 16, 2020 - 14:42:38	ppm	Svartskifer prod 1 - 15/6	Kleggerud øst	15167	29475	113	29731	85
133	Mining	120.62	tir. jun 16, 2020 - 14:46:33	ppm	Svartskifer prod 2 - 15/6	Kleggerud øst	13772	24195	429	21522	87
	Mining	120.41	tir. jun 16, 2020 - 14:51:25	ppm	Svartskifer prod - kalkberg - 15/6	Kleggerud øst	354173	9607	40	16740	26
136	Mining	121.34	tir. jun 23, 2020 - 15:04:11	ppm	23 juni - pigget svartskifer berg	Kleggerud øst	12909	32350	471	31571	159
Kleggerud vest - borkaksprøver 3.august							Ca	Fe	Ni	S	U
Reading No	Reading Ty	Duration	Time	Units	Sample	Heat	Ca	Fe	Ni	S	U
167	Mining	120.68	man. aug 3, 2020 - 13:32:27	ppm	L3-1 Borkaks 5-7,5m dybde	Klegg vest 3/8	112843	32500	94	15082	128
168	Mining	120.82	man. aug 3, 2020 - 13:37:00	ppm	L3-1 Borkaks 0-5m dybde	Klegg vest 3/8	37355	33944	254	15369	178
169	Mining	120.96	man. aug 3, 2020 - 13:41:29	ppm	L3-2 Borkaks - blanding	Klegg vest 3/8	35066	30689	280	12541	145
170	Mining	120.66	man. aug 3, 2020 - 13:45:57	ppm	L2-1 Borkaks - 0-4,5m	Klegg vest 3/8	50714	35542	155	17400	162
171	Mining	120.35	man. aug 3, 2020 - 13:49:34	ppm	L2-1 Borkaks - 4,5-8,2m	Klegg vest 3/8	87947	68374	41	9545	15
172	Mining	121.23	man. aug 3, 2020 - 13:55:05	ppm	L2-2 Borkaks - 0-4m	Klegg vest 3/8	104725	33228	170	16248	145
173	Mining	120.29	man. aug 3, 2020 - 13:58:23	ppm	L2-2 Borkaks - 4-8m	Klegg vest 3/8	101263	61663	70	14633	46
174	Mining	121.23	man. aug 3, 2020 - 14:03:47	ppm	L2-3 Borkaks - 0-6m	Klegg vest 3/8	164065	30893	112	17147	147
175	Mining	120.88	man. aug 3, 2020 - 14:06:59	ppm	L2-3 Borkaks - 6-8m	Klegg vest 3/8	95987	50703	109	21608	98
176	Mining	121.15	man. aug 3, 2020 - 14:10:18	ppm	L2-4 Borkaks - bland	Klegg vest 3/8	175082	33692	111	14785	147
183	Mining	120.54	man. aug 3, 2020 - 14:41:40	ppm	L1-1 Borkaks - 0-3m	Klegg vest 3/8	124593	50524	150	18025	117
184	Mining	120.41	man. aug 3, 2020 - 14:44:49	ppm	L1-1 Borkaks - 3-8,5m	Klegg vest 3/8	61591	60031	60	4243	18
180	Mining	120.81	man. aug 3, 2020 - 14:27:06	ppm	L1-2 Borkaks - 0-6m	Klegg vest 3/8	201223	41862	98	19656	145
181	Mining	120.18	man. aug 3, 2020 - 14:30:28	ppm	L1-2 Borkaks - nedre 6-8m	Klegg vest 3/8	59734	70401	51	5501	4
182	Mining	121.01	man. aug 3, 2020 - 14:34:22	ppm	L1-3 Borkaks - bland	Klegg vest 3/8	131139	44835	142	16507	159
Kleggerud vest - supp. borkaksprøver 6.august							Ca	Fe	Ni	S	U
Reading No	Reading Ty	Duration	Time	Units	Sample	Heat	Ca	Fe	Ni	S	U
185	Mining	121.43	tor. aug 6, 2020 - 16:26:12	ppm	Kaks - presplit nordende	Klegg vest 6/8	38237	71059	55	1188	4
186	Mining	120.18	tor. aug 6, 2020 - 16:32:03	ppm	Kaks - presplit sørende	Klegg vest 6/8	44162	59515	62	2061	8
187	Mining	121.20	tor. aug 6, 2020 - 16:36:14	ppm	Kaks - hull 2	Klegg vest 6/8	42588	62747	229	4652	46
188	Mining	120.03	tor. aug 6, 2020 - 16:41:00	ppm	Kaks - hull 4	Klegg vest 6/8	58220	65404	0	3837	5
189	Mining	120.44	tor. aug 6, 2020 - 16:44:36	ppm	Kaks - hull 3 - 1,5-6m	Klegg vest 6/8	125964	35820	155	19526	179
190	Mining	120.52	tor. aug 6, 2020 - 16:48:24	ppm	Kaks - hull 1 - 3-6m	Klegg vest 6/8	178131	36636	146	19299	126
191	Mining	120.43	tor. aug 6, 2020 - 16:51:19	ppm	Kaks - hull 1 - 6,5-8m	Klegg vest 6/8	126764	56433	98	9641	50
Kleggerud mænaittgang - 2 bærprøver etter første salve							Ca	Fe	Ni	S	U
Reading No	Reading Ty	Duration	Time	Units	Sample	Heat	Ca	Fe	Ni	S	U
192	Mining	120.33	tir. aug 11, 2020 - 14:52:22	ppm	Prøver nr 1 etter salve, "hard"	Kleggerud mænaitt 11/8	118673	34806	116	16989	194
193	Mining	121.43	tir. aug 11, 2020 - 15:00:38	ppm	Prøver nr 2 etter salve "myk"	Kleggerud mænaitt 11/8	40764	38807	173	15963	237
Kleggerud - rampe påkjørsel mot øst ca 50m fra rundkjøring - og driftsvei på sørsiden ved P4525							Ca	Fe	Ni	S	U
Reading No	Reading Ty	Duration	Time	Units	Sample	Heat	Ca	Fe	Ni	S	U
201	Mining	120.18	tir. sep 1, 2020 - 10:54:41	ppm	Driftsvei på sørside ved P4525	31/8-20 Driftsvei-kant	2917	11626	0	7330	75
202	Mining	120.66	tir. sep 1, 2020 - 11:01:58	ppm	50m øst for rundkjøring	31/8-20 Rampe Klegg - påkjøring øst	668	5964	0	2655	31
Kleggerud - senter skjæring mot Fv241							Ca	Fe	Ni	S	U
Reading No	Reading Ty	Duration	Time	Units	Sample	Heat	Ca	Fe	Ni	S	U
203	Mining	120.85	ons. sep 2, 2020 - 15:26:24	ppm	Center E16 - 2m over trau	2/9-20 Ved skjæring Fv241	24037	29444	138	10182	185
204	Mining	121.09	ons. sep 2, 2020 - 15:32:16	ppm	Center E16 - 1m over trau	2/9-20 Ved skjæring Fv241	370100	9137	18	4230	56
Kleggerud X forvitring fra kum							Ca	Fe	Ni	S	U

Vedlegg 11



Figur 56: Kart som viser vannveiene i felt etter ferdigstilling av veitraseen. V3a mottar vann fra veiskjæringen. V2 er lagt i rør gjennom under veibanen og er lagt om slik at den kommer ut ved V2* og ikke V3a som tidligere (se kart i Figur 7 for «før» situasjon).

Vedlegg 12

Tabell 22: Vannprøver fra felt. Analysert med ICP-MS og IC. Opp. = oppsluttet, Fil. = filtrert.

Dato	Lok.	Alk.	pH	Kond.	Al	Ca	Ca	Cu	Fe	Fe	K	K	Mg	Mg	Mn	Mn	Na	Na	Ni	Pb	Zn	Cd	Cd	U	U	SO4	NO3-N	Cl	DOC	
		mmol/L		µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/L	
		pH 4,5			Opp.	Opp.	Fil.	Opp.	Opp.	Fil.	Opp.	Fil.	Opp.	Fil.	Opp.	Fil.	Opp.	Fil.	Opp.	Opp.	Opp.	Opp.	Fil.	Opp.	Fil.					
06.05.20	V1		8,0	227	0,37	44	43	<LOD	0,32	0,51	1,1	0,77	1,8	1,6	0,02	0,020	2,3	2,1	2,7	<0,4	0,02	0,064	0,059	2,5	2,1	16	0,66	1,7	2,7	
02.07.20	V1																													
11.08.20	V1	2,94	8,0	298	0,10	68	65	<LOD	<0,25	<LD	0,77	0,48	2,5	2,2	0	<LD	2,8	2,6	1,5	<0,4	<LOD	<0,028	<0,015	0,8	0,8	13	0,17	1,4	3,5	
17.09.20	V1																													
06.05.20	V2		7,8	224	0,03	47	46	<LOD	<LOD	0,050	0,63	<0,37	1,7	1,5	<LOD	<LD	2,1	1,9	1,1	<0,4	<0,02	0,033	<0,015	0,6	0,4	13	0,31	1,4	2,7	
24.06.20	V2a	2,13	8,3	259	0,31	55	52	<0,01	0,25	<LD	1,5	1,1	1,8	1,6	0,004	0,010	2,9	2,6	3,4	<0,4	<0,02	0,072	0,043	9,6	8,8	22	0,23	2,1	2,7	
24.06.20	V2b	2,18	8,1	323	0,11	68	64	<0,01	<LOD	<LD	2,4	2,1	2,3	2,0	0,04	0,040	3,4	3,1	4,2	<LOD	<LOD	0,13	0,047	15	0,6	48	0,55	3,9	3,2	
02.07.20	V2b	2,23	8,0	383	1,7	84	81	<0,01	1,7	<LD	3,1	2,4	3,6	3,0	0,11	0,070	4,1	3,8	18	1,2	0,02	0,26	0,094	160	120	87	2,7	3,9	2,6	
11.08.20	V2	2,45	7,8	661	0,93	140	140	<0,01	0,84	<LD	6,1	5,6	5,7	5,0	0,04	0,050	5,6	5,1	13	0,57	<LOD	0,3	0,13	170	71	200	5,2	7,9	2,7	
17.09.20	V2																													
02.07.20	V3	2,66	7,8	471	0,04	74	73	<LOD	<LOD	<0,046	2,2	2,0	5,1	4,7	0,05	0,12	23	22	4,4	<LOD	<LOD	0,05	0,050	3,4	2,3	49	3,4	35	2,8	
12.08.20	V3	2,56	7,7	477	0,14	77	75	<LOD	<0,25	0,070	2,4	2,2	5	4,5	0,06	0,14	23	21	13	<0,4	<LOD	0,11	0,023	5,6	1,2	24	3,2	34	2,6	
17.09.20	V3	2,68	7,9	525	0,10	83	81	<0,01	<0,25	0,050	2,6	2,5	5	4,5	0,03	0,040	27	26	9,4	<0,4	<0,02	0,055	0,032	5,3	4,1	48	3,2	34	2,6	
02.07.20	V3a																													
12.08.20	V3a	2,20	7,9	803	0,51	120	120	<LOD	0,53	0,070	8,7	8,6	7,5	6,7	0,06	0,060	42	39	11	<0,4	<LOD	0,049	0,037	42	48	150	13	67	2,9	
17.09.20	V3a	2,33	7,7	733	0,41	85	83	<LOD	0,35	<0,046	5,8	5,7	5,6	5,0	0,010	0,010	60	56	6,2	<0,4	0,03	0,044	0,019	33	21	45	6,8	77	2,2	
02.07.20	V3b	2,60	7,9	439	0,03	71	68	<0,01	<LOD	<LD	1,8	1,5	3,5	3,1	<LOD	<LD	24	22	1	<LOD	<LOD	0,042	0,033	1,9	1,9	34	3,5	34	1,7	
12.08.20	V3b	2,59	7,9	424	<0,02	71	68	<LOD	<LOD	<LD	1,8	1,6	3,4	3,1	<LOD	<LD	21	19	1,1	<LOD	<LOD	0,035	0,035	1,7	1,6	29	3,0	31	1,9	
17.09.20	V3b	2,62	7,9	478	0,02	76	73	<LOD	<LOD	<LD	1,9	1,8	3,9	3,5	<LOD	<LD	26	24	1	<LOD	<0,02	0,039	0,032	2	1,7	33	3,7	35	1,6	
12.08.20	Brønn	6,8		30	38	33	33	0,47	65	<0,046	20	14	8,1	3,1	0,80	0,49	3,3	2,1	51	310	300	0,2	0,091	35	0,7	26	0,12	200	16	
17.09.20	Brønn	7,0	682	0,84	18	17	0,028	6,6	3,0	27	31	1,9	1,7	0,24	0,21	3,0	3,1	8,6	18	200	0,44	0,39	2,2	3,2	18	0,16	60	17		
17.09.20	Darr	2,00	8,0	460	0,05	81	79	<LOD	<LOD	<LD	11	11	7	6,3	0,07	0,070	5,8	5,7	40	<LOD	<0,02	0,039	0,032	340	270	120	0,36	4,4	0,64	

Alk. = Alkalinitet
Kond. = Konduktivitet
Opp. = Oppsluttet
Fil. = Filtrert

Vedlegg 13

Kolonne nr	Type	Totalt volum (L)	Svartskifer-Volum (L)	Porevolum (L)	Porevolum (%)
1	SS (0,6-2)	2,21	1,26	0,94	42,76
2	SS (0,6-2)	2,21	1,28	0,92	41,81
3	SS (0,6-2)	2,21	1,26	0,94	42,76
4	SS (2-6)	2,04	0,98	1,05	51,77
5	SS (2-6)	2,09	1,08	1,01	48,18
6	SS (2-6)	2,04	0,98	1,06	51,90
7	FS (2-6)	2,09	0,97	1,12	53,67
8	FS (2-6)	2,04	0,89	1,15	56,34
9	FS (2-6)	2,09	0,99	1,10	52,57
10	KS (2-6)	1,98	0,99	0,99	50,07
11	KS (2-6)	2,21	1,04	1,16	52,73
12	KS (2-6)	1,98	1,05	0,93	46,99

Kolonne nr.	Type	Vekt (kolonne) (kg)	Volum (kolonne) (m ³)	Tetthet (kg/m ³)	Spesifikt overflateareal (m ² /kg)	Overflateareal av kolonnemateriale (m ²)
1	SS (0,6-2)	3	0,00221	0,0014	693,28	2079,92
2	SS (0,6-2)	3	0,00221	0,0014	675,4	2026,40
3	SS (0,6-2)	3	0,00221	0,0014	693,49	2080,96
4	SS (2-6)	3	0,00204	0,0015	316,54	949,68
5	SS (2-6)	3	0,00209	0,0014	284,51	853,54
6	SS (2-6)	3	0,00204	0,0015	264,77	794,36
7	FS (2-6)	2,43	0,00209	0,0012	324,09	787,53
8	FS (2-6)	2,43	0,00204	0,0012	297,7	723,42
9	FS (2-6)	2,43	0,00209	0,0012	320,4	778,58
10	KS (2-6)	3	0,00198	0,0015	374,66	1123,99
11	KS (2-6)	3	0,00221	0,0014	326,72	980,15
12	KS (2-6)	3	0,00198	0,0015	359,48	1078,62

LAB	Prøvekode	Prøvenavn	Prøvedato	Parameter	litert/sek.	Variering	Alkalinitet pH4.5	(FC)	Suspendert stoff	Ledingssevne (konduktivitet)	Temperatur	pH Verdi	P (for)	P (for)	Klorid (Cl-)	Sulfat (SO4)	Ammonium-N + Ammoniak-N	Nitrat-N (NO3-N)	Nitritt (NO2)	Filtering	Al (Aluminium)	As (Arsen)	K (Kalium)	Ba (Barium)	Ca (Kalsium)	Hg (kvikksilv)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (jern)	Mg (Magnesium)	Mn (Mangan)	Mo (Molibden)	Na (Natrium)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	S (Sulfur)	Sr (Strontium)	V (Vanadium)	Zn (Sink)	U (Uran)	S (Sovell)	P (for)	B (Bor)	Tl (Thallium)	Alkalinitet pH8 (Palkalinitet)
				mmol/L	mg/L	mg/L	ms/m	°C	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mmol/L
Kleggenudbekk oppstrøms																																															
Eurofin	EUNOMO-00237823	V1 Kleggenudbekken oppstrøms	05.09.19	2,2	2,8	8,2	26,8	7,8	0,015	2,1	19	7,6	860	Ja	4,5	0,23	0,9	53	<0,002	0,023	0,037	<0,050	0,58	8,4	1,8	1,2	1,5	<0,010	170	0,095	1,3	1,2	9,2	<0,30	4,9	<0,010	0										
Eurofin	EUNOMO-00251547	V1 Kleggenudbekken oppstrøms	29.01.20	1,6	3,1	18,7	8,1	0,006	1,4	12	<5	640	Ja	2,9	0,1	0,53	9,9	36	<0,002	0,005	0,029	<0,050	0,56	5,4	1,2	0,32	0,63	0,62	<0,010	97	<0,020	0,92	0,24	5,4	<0,30	4	<0,010	-67,5									
Eurofin	EUNOMO-00262317	V1 Kle. oppstrøms	09.06.20	2,4	3,4	25,7	8,1	0,007	1,6	11,4	5,1	270	Ja	1,7	0,005	0,024	0,056	0,94	0,002	0,024	0,029	<0,050	0,56	5,4	1,2	0,32	0,63	0,62	<0,010	97	<0,020	0,92	0,24	5,4	<0,30	4	<0,010	-67,5									
ALS		V1 17.06.2020 Kleggenud oppstrøms oppkom	17.06.2020	2,8	4,2	49	30,1	21	8	0,038	3,1	0,049	0,14	0,013	Ja	2,56	0,18	0,867	28	56,8	<0,002	0,013	0,026	0,058	1,35	0,002	1,91	0,064	0,994	2,85	1,18	<0,01	4,27	193	0,085	1,07	0,507	0									
ALS		Kleggenudbekk INN (i rør), 09.04.21 Elv/Bekk	09.04.2021	ikke mulig	1,8	2,7	<5	21,1	18	7,8	0,005	1,24	2,6	13	0,013	0,59	0,002	Ja	2,48	0,103	0,678	12	40,4	<0,002	0,005	0,033	0,032	0,47	0,021	1,19	1,19	0,736	1,8	0,736	<0,01	3,41	115	0,071	0,608	0,431	0						
Kleggenudbekk nedstrøms																																															
Eurofin	EUNOMO-00237823	V2 Kle. nedstrøms	05.09.19	2,5	5,2	5,7	26	8	0,016	1,2	14,9	5,4	560	Ja	4,9	0,17	0,67	53	<0,002	0,013	0,04	<0,050	0,97	7,5	1,6	1,2	1,3	<0,010	160	0,25	0,86	0,36	7	<0,30	5,3	<0,010	0										
Eurofin	EUNOMO-00251547	V2 Kle. nedstrøms	29.01.20	1,6	2,5	19,1	8	0,007	1,5	13,7	<5	920	Ja	4,2	0,13	0,74	22	39	<0,002	0,025	0,029	0,064	0,56	4,3	1,5	0,27	1,3	1,3	<0,010	110	<0,020	0,25	1,1	6,4	<0,30	7,9	<0,010	-63,96									
Eurofin	EUNOMO-00259576	V2 Kle. nedstrøms	11.05.20	0,8	1,9	3,4	22,3	8	0,017	1,9	14,3	<5	650	Ja	8,5	0,19	0,83	29	39	0,008	0,028	0,029	<0,050	0,48	8,2	1,4	0,68	2,1	1,3	130	<0,020	0,62	1,9	7,2	<0,30	0	<0,010	-63,96									
Eurofin	EUNOMO-00262317	V2 Kle. nedstrøms	09.06.20	0,1	2	3	26,4	8,2	0,15	3	24,6	8,1	850	Ja	1	0,008	0,25	0,064	4,3	0,002	0,25	0,064	4,3	0,008	0,25	0,064	4,3	1,7	<0,010	0,079	-	-	-	-	-	-	-	0									
ALS		V2 17.06.2020 Kleggenud nedstrøms v Fv 241	17.06.2020	0,1	2,1	3,7	180	26,9	22	8,2	0,14	1,68	0,006	0,65	0,013	Ja	44	0,535	1,52	32,3	50,6	<0,002	0,024	0,039	0,108	1,38	0,002	1,55	0,051	7,88	2,92	1,54	<0,01	4,11	175	0,714	1,25	14									
ALS		V2 26.06.2020 Kleggenud nedstrøms v Fv 241	26.06.2020	2,2	4,6	20	36,3	22	8,1	0,028	1,86	0,18	1,5	0,16	Ja	28,8	0,528	3,57	40,6	66,5	<0,002	0,165	0,83	0,118	1,9	0,028	2,13	84,7	16,2	3,71	7,01	0,018	4,09	283	0,416	1,18	29,7										
ALS		Kle. Nedstrøms v/Fv241 03.07.20 Fil. Elv/Be	03.07.2020	0,3	2,8	3,4	5	47,1	23	8,1	0,013	1,56	5,8	110	0,044	3,6	0,6	Ja	30,8	0,557	3,19	52,7	84,4	<0,002	0,197	0,637	0,06	1,1	0,003	3,18	41,6	39,8	4,41	5,68	<0,01	3,94	443	0,482	1,05	83,6							
ALS		Kleggenudbekk Ned 27.07.20 Fil. Elv/Bekk	27.07.2020	0,6	2,3	8,5	7	80,7	21	8,1	0,017	2,68	7,2	300	0,008	5,3	0,41	Ja	29,2	0,513	4,94	73,8	161	<0,002	0,522	0,717	0,026	0,951	0,001	6,11	100	229	6,58	32,1	<0,01	4,16	1040	0,286	1,25	425							
ALS		Kleggenud Ned, 07.08.20 Fil. Elv/Bekk	07.08.2020	0,7	2,7	6,9	5	56,8	23	8,1	0,025	3,22	5,2	150	0,012	15	0,033	Ja	16,1	0,344	3,21	57,8	109	<0,002	0,292	0,301	0,046	0,903	0,002	3,93	31,2	76,3	4,63	12,8	<0,01	4,44	572	0,307	1,28	147							
ALS		Kleggenudbekk UT (av rør), 09.04.21 Elv/Bekk	09.04.2021	1,7	1,9	2,6	10	21,2	18	8	0,012	2,1	2,8	13	<0,003	0,59	0,002	Ja	4,31	0,126	0,724	15,8	41,6	<0,002	0,02	0,043	0,041	0,783	0,009	1,24	1,72	0,982	1,88	1,09	<0,01	3,48	118	0,078	0,868	0,547							
Gens ebekken nedstrøms																																															
Eurofin	EUNOMO-00237823	V3 G.en nedstrøms	05.09.19	-	2,7	5	15	55,3	8	0,037	33	81,9	17	3400	Ja	23	0,2	2,6	81	0,002	0,089	0,45	0,11	1,6	29	7,2	1,8	8,7	<0,010	370	0,14	3,6	3,4	37	<0,30	18	0,017	0									
Eurofin	EUNOMO-00256439	V3 G.en nedstrøms	06.04.20	10,8	2	2,6	34,2	7,9	0,01	21	29,6	<5	3300	Ja	8,1	0,13	1,4	44	52	<0,002	0,021	0,096	0,087	0,75	6,2	2,8	9,9	1,3	1,3	190	0,089	0,58	1,9	13	<0,30	0	<0,010	-58,59									
Eurofin	EUNOMO-00259576	V3 G.en nedstrøms	11.05.20	4,5	2,2	2,6	39,2	8,1	0,007	28	32,2	<5	3200	Ja	5	0,12	1,5	55	56	0,009	0,043	0,094	0,069	0,74	7,2	3	17	1,3	1,4	230	<0,020	0,73	2,4	15	<0,30	0	<0,010	-58,59									
Eurofin	EUNOMO-00262317	V3 G. nedstrøms	09.06.20	2,3	2,4	2,8	45,4	8	0,011	33	45,9	<5	3500	Ja	0,16	0,002	0,056	0,11	1,1	0,002	0,056	0,11	1,1	0,002	0,056	0,11	1,1	3,4	0,093	3,1	2,8	19	0														
ALS		V3 17.06.2020 G. nedstrøms Fil. Elv/Bekk	17.06.2020	2,3	2,6	3,1	8	45,1	21	8	0,003	1,72	0,008	3	0,022	Ja	6,14	0,146	1,93	60,7	66,7	<0,002	0,025	0,074	0,098	0,701	0,001	3,89	0,05	1,63	21,6	2,28	<0,01	4,31	287	0,168	2,31	2,7									
ALS		V3 26.06.2020 G. nedstrøms Fil. Elv/Bekk	26.06.2020	2	2,7	3,5	4	47	21	8,1	0,007	1,75	0,007	3,3	0,004	Ja	9,3	0,147	2,07	65,7	69,7	<0,002	0,039	0,198	0,056	0,888	0,005	4,13	60,5	1,74	23,4	3,17	0,011	4,38	307	0,199	1,88	3,06									
ALS		G.en Nedstrøms, 03.07.20 Fil. Elv/Bekk	03.07.2020	1,7	2,8	3,1	4	48,6	23	8	0,009	1,28	39	52	0,024	3,4	0,005	Ja	9,28	0,152	2,06	67,4	68,6	<0,002	0,067	0,352	0,092	0,921	0,004	4,84	81,4	1,89	23,6	5,79	<0,01	4,34	324	0,152	2,92	3,4							
ALS		G.en Nedstrøms, 08.07.20 Fil. Elv/Bekk	08.07.2020	2,4	2,5	4,8	16	52	24	8	0,029	1,22	43	63	0,017	3,5	0,007	Ja	21	0,25	2,38	73,8	70,8	<0,002	0,092	0,815	0,092	1,15	0,005	5,7	143	2,92	25,7	9,3	<0,01	4,41	353	0,405	2,79	6,57							
ALS		G. Nede, 27.07.20 Fil. Elv/Bekk	27.07.2020	3,2	2,6	17	370	49,2	21	7,8	0,37	2,36	37	60	0,073	3,3	0,046	Ja	39	0,642	2,24	60	73,4	<0,002	0,013	0,157	0,076	0,859	0,018	4,79	22,3	3,63	20,5	1,63	0,026	4,36	349	0,775	0,883	7,27							
ALS		G. Ned, 07.08.20 Fil. Elv/Bekk	07.08.2020	3,7	2,9	3,4	<2	50,8	23	7,9	0,009	1,81	36	60	0,15	13	0,12	Ja	19,8	0,211	2,6	56,4	76,2	<0,002	0,154	2,22	0,072	1,36	0,008	4,74	108	3,7	21,7	16	<0,01	4,44	348	0,304	4,96	6,64							
ALS		G. Ned, 12.08.20 (flasker) Fil. Elv/bekk	12.08.2020	2,9	2,7	3,1	7	84,3	23	8	0,005	1,28	38	47	0,1	2,9	0,046	Ja	16,1	0,37	2,26	51,1	68,7	<0,002	0,142	2,77	0,085	1,43	0,009	4,24	134	3,14	22,7	16,1	0,012	4,24	311	0,388	4,56	5,55							
ALS		G. Ned Fil., 21.08.20 Elv/Bekk	21.08.2020	3,1	2,7	3,5	<2	49,2	18	7,7	0,003	1,75	42	68	0,044	15	0,063	Ja	13,3	0,339	2,9	41	73,3	<0,002	0,176	2,14	0,108	1,26	0,011	5,04	126	3,54	24,8	22,8	0,013	4,38	348	0,318	6,89	5,58							
ALS		G. Ned Fil., 31.08.20 Elv/Bekk	31.08.2020	2,8	2,8	6,6	99	54,5	20	7,9	0,069	2,53	46	70	0,06	3,4	0,038	Ja	72,2	0,437	3,03	38	78,6	<0,002	0,042	0,708	0,047	0,959	0,006																		

LAB	Prøvekode	Prøvenavn	Prøvedato	Parameter	litre/sek.	Variføring	Alkalinitet pH4.5	TOC	Suspensjonsstoff	Leidingssevne (konduktivitet)	Temperatur	pH Verdi	P (Forlor)	P (Festfor)	Klorid (Cl-)	Sulfat (SO4)	Ammonium-N + Ammoniak-N	Nitrat-N (NO3-N)	Nitritt (NO2)	Filtering	Al (Aluminium)	As (Arsen)	K (Kalium)	Ba (Barium)	Ca (Kalsium)	Hg (kvikksilv)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (jern)	Mg (Magnesium)	Mn (Mangan)	Mo (Molybden)	Na (Natrium)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	Si (Silisium)	Sr (Strontium)	V (Vanadium)	Zn (Sink)	U (Uran)	S (Svovel)	P (Festfor)	B (Bor)	Ti (Tillium)	Alkalinitet pH8 (Pantalkaly TA)					
					mmol/L	mg/L	mg/L	ms/m	°C	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L		
Grensebekken oppstrøms Ø (fra Kleggenud)																																																				
Eurofin	EUNOMO-00251547	V3a G.en Ø	29.01.20		0,1	1,6	2,9		23,3		7,8	0,007			11	16,2	6,2	2100	Ja	14	0,13	1,5	38	39	<0,002	0,022	0,055	0,068	0,69	20	1,9	5,4	1,5			1,2	0,01		140	0,24	2,3	2,6	7,2	<0,30	10	<0,010	-51,87					
ALS		V3a G.en Ø stover Linja, 08.07.20 Fil. Elv/B	08.07.2020		2,7	2,1	<2	45,4	23	8,2	0,002	1,47	37	36	<0,003	3,5	0,004		Ja	2,56	0,125	1,65	64,2	64,4	<0,002	0,028	0,086	0,11	0,829	0,001	3,08	0,258	1,42	24,1	0,939	0,01	4,3	275	0,13	1,68	1,9											
ALS		G. Opp Ø - Fil. Elv/bekk	27.10.2020		4,1	1,9	13	<2	28,6	18	7,6	0,15	2,27	12	32	0,011	1,3	0,008	Ja	17,1	0,236	1,52	25,7	49	<0,002	0,025	0,184	0,087	1,15	0,013	1,87	8,79	1,73	7,7	3,58	0,019	4,12	169	0,172	3,18	3,49											
ALS		G. Opp Ø., Fil. 27.01.21 Elv/bekk	27.01.2021		2,6	1,9	2,9	<5	32,8	20	7,7	0,007	2,3	23	28	0,032	2,3	0,006	Ja	12	0,104	1,69	42,5	49,7	<0,002	0,021	0,143	0,06	0,71	0,008	2,24	15,6	2,24	15,2	2,36	0,01	3,9	185	0,145	1,54	7,68											
ALS		G. Opp Ø., Fil. 02.03.21 Elv/bekk	02.03.2021		2,5	2,3	3	<5	58	22	7,6	0,007	1,98	69	55	0,13	4,7	0,056	Ja	7	0,215	3,71	79	72,9	<0,002	0,01	0,192	0,215	0,482	0,004	4,05	16	14,8	40,3	4,23	0,01	4,41	346	0,191	2,13	25,8											
ALS		G. Opp Ø., Fil. 09.04.21 Elv/bekk	09.04.2021		0,9	1,8	2,8	<5	49,9	19	7,5	0,005	1,15	43	79	0,014	4,9	0,013	Ja	11	0,186	3,98	124	67,4	<0,002	0,032	0,374	0,07	0,861	0,01	3,82	13	4,76	26,7	6,88	0,01	3,76	317	0,206	3,78	18,5											
ALS		G. Opp Ø., Fil. 25.06.21 Elv/bekk	25.06.2021		0,6	2,2	3,3	<5	58,3	22	7,7	0,004	1,26	54	87	0,023	5,2	0,045	Ja	7,73	0,166	3,93	98,2	78,9	<0,002	0,034	0,224	0,107	0,78	0,004	4,56	1,82	4,3	35,4	5,04	0,01	4,22	357	0,282	1,82	18,1											
Grensebekken oppstrøms S (fra Frankrike)																																																				
Eurofin	EUNOMO-00262317	V3b G. oppstrøms	09.06.20		2,5	1,9		41,5		8,2	0,006			30	33	<5	3400		Ja		0,095					<0,005	0,031		0,097	0,68					0,72	<0,010				1,3	1,6	14					0					
ALS		V3b 26.06.2020 G. oppstrøms mot sør Fil. Elv	26.06.2020		2,6	2,5	2	44,6	21	8,1	<0,003	1,68			0,004	3,4	0,002	Ja	3,3	0,131	1,69	62,2	66,3	<0,002	0,028	0,093	0,109	0,893	0,001	3,03	0,314	0,959	23,5	0,934	0,011	4,28	272	0,099	1,23	1,85												
ALS		G. Opp S, 07.08 Fil. Elv/bekk	07.08.2020		2,7	2,2	<2	43,1	23	8	0,003	1,66	33	31	<0,003	12	0,003	Ja	3,16	0,12	1,64	64,4	66	<0,002	0,035	0,073	0,094	0,757	0,002	3,01	0,248	0,936	20	0,996	<0,01	4,31	273	0,148	1,3	1,81												
ALS		G. Opp S, 12.08.20 (flasket) Fil. Elv/bekk	12.08.2020		2,3	2,5	<2	48,4	23	7,8	0,017	2,1	66	150	0,5	12	2,3	Ja	22,1	0,483	8,09	121	112	<0,002	0,061	1,4	0,051	1,53	0,015	6,38	60	29,7	41,8	9,7	<0,01	4,75	667	0,568	0,59	39,4												
ALS		G. Opp S., Fil. Elv/bekk	27.10.2020		2	9	<2	27,8	18	7,6	0,74	2,16	12	20	0,007	2,2	0,003	Ja	5,68	0,134	1,25	30,2	45,3	<0,002	0,015	0,063	0,089	1,32	0,003	1,87	0,38	0,729	10	1,06	<0,01	4,04	178	0,142	1,41	0,777												
ALS		G. Opp S., 25.11.20 Fil. Elv/bekk	25.11.2020		2,6	3,7	8,4	34		8,4	0,014	3,47	12	19				Ja	4,88	0,167	1,24	38,9	46,5	<0,002	0,016	0,049	0,105	1,41	0,003	1,98	0,389	0,948	11,1	1,08	<0,01	3,93	184	0,128	1,15	1,12												
ALS		G. Opp S., Fil., 05.01.21 Elv/bekk	05.01.2021		1,8	3,3	6	25,4	20	7,7		2,27	11	16				Ja	4,75	0,156	0,984	26,7	40,8	<0,002	0,012	0,049	0,072	1,08	0,003	1,66	0,183	0,728	7,8	0,907	<0,01	3,52	152	0,119	1,12	0,761												
ALS		G. Opp S., Fil., 25.06.21 Elv/bekk	25.06.2021		2,9	2,5	2,4	<5	36	22	7,9	0,003	1,73	22	27	0,0094	2	0,002	Ja	3	0,107	1,48	48,5	59	<0,002	0,023	0,082	0,067	0,916	0,001	2,39	0,459	0,96	14,4	0,908	<0,01	4,03	231	0,101	0,839	1,38											
Grensebekken oppstrøms V (fra myr retn. Kistefoss)																																																				
ALS		G. Opp. V - Fil. Elv/bekk	27.10.2020		2,4	16	2	44,1	19	7,5	0,008	12,8	30	57	0,064	2,8	0,039	Ja	40,3	0,403	2,2	57,3	68,2	<0,002	0,031	1,05	0,185	0,872	0,139	3,62	86,2	5,85	20,2	4,06	0,04	4,4	270	0,412	3,23	6,62												
ALS		G. Opp. V - Fil. Elv/bekk	02.03.2021		1,9	2,2	4,6	9	39,7	21	7,6	0,033	11,5	32	35	0,15	4,3	0,052	Ja	10,9	0,363	2,09	45,7	58,4	<0,002	0,004	0,234	0,081	0,45	0,073	2,77	44	7,08	20,3	1,08	0,05	3,97	210	0,528	1,64	7,96											
ALS		G. Opp. V - Fil. Elv/bekk	25.06.2021		1,5	2,6	5,2	<5	42,7	22	8	0,01	5,42	34	34	0,026	3,7	0,034	Ja	18,6	0,372	1,95	59,1	64	<0,002	0,016	0,156	0,101	0,709	0,026	2,83	10,9	6,4	23	1,17	0,028	3,9	247	0,412	0,354	5,44											
Parsellgrense nedstrøms																																																				
Eurofin	EUNOMO-00256439	V6 Parsellgrense nedstrøms	06.04.20		2,1	8,3		51,9		7,6	0,052			13	159	190	3900		Ja	19	0,4	1,8	88	95	<0,002	0,069	0,93	0,15	2,3	120	6,9	280	7			4,2			370	0,33	0,43	16	61	<0,30		0,024	-41,74					
Eurofin	EUNOMO-00259576	V6 Parsellgrense nedstrøms	11.05.20		3,5	6,5		52,1		7,8	0,02			16	95,3	120	3300		Ja	15	0,35	1,8	91	89	0,006	0,15	1,3	0,14	3,1	220	5,3	270	8			6,1			380	0,24	1,2	27	42	<0,30		0,032						
ALS		V6 22.06.2020 Parsellbakk nedstrøms Fil. Elv	22.06.2020		2,4	12	15	115	22	7,7	0,024	5,58			0,094	3,3	0,14	Ja	20,2	0,459	6,25	139	220	<0,002	0,156	0,404	0,074	3,97	0,035	23,4	253	20,2	10,3	11,9	<0,01	3,9	1340	0,173	2,78	22,3												
ALS		Parsellbakk, 27.07.20 Fil. Elv/Bekk	27.07.2020		3,1	15	20	82,4	21	7,7	0,03	4,32	12	280	0,019	1,6	0,029	Ja	35,3	0,514	3,45	124	152	<0,002	0,157	1,95	0,166	6,35	0,103	12,3	449	13,1	9,16	11,9	<0,01	3,89	829	0,189	2,07	29,9												
Kleggenudkryss et, dam på stoff (KleggX)																																																				
ALS		Kleggenud-X Fil., 21.08.20 Elv/Bekk	21.08.2020		2,2	2	<2	55,1	18	8,1	0,005	5,43	8	120	4,9	56	3,2	Ja	25,2	0,804	15,5	32,8	78,2	<0,002	0,223	3,11	0,013	8,04	0,002	7,59	97	147	8,33	21,3	<0,01	3,03	517	0,533	1,27	106												
ALS		KLEX-1 12.10.20 Fil. Elv/bekk	12.10.2020		2,2	2,5	<2	79,2	19	8,1	0,003	1,12	14	280	0,16	4,2	0,25	Ja	13,1	1,12	15,2	66	134	<0,002	0,433	4,9	0,032	0,476	0,004	9,28	210	171	12	126	<0,01	2,94	803	0,254	4,45	190												
Brandals bekken																																																				
Eurofin	EUNOMO-00251547	V4 Brandals bekken	29.01.20		0,51	3,2		6,42		7,6	0,005		0,87																																							

LAB	Prøvekode	Prøvenavn	Prøvestad	Parameter	Uanvendt	Uanvendt	Alkalinitet pH4.5	TOC	Suspensjonsstoff	Ledningsevne (konduktivitet)	Temperatur	pH Verdi	P Fosfor	P Fosfor	Klorid (Cl-)	Sulfat (SO4)	Ammonium-N + Ammoniak-N	Nitrat-N (NO3-N)	Nitritt (NO2)	Oppløst tungt	Al (Aluminium)	As (Arsen)	K (Kalium)	Ba (Barium)	Cs (Cesium)	Hg (Kvikksølv)	Cr (Kromium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mg (Magnesium)	Mn (Mangan)	Mo (Molybden)	Na (Natrium)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	Si (Silisium)	Sr (Strontium)	V (Vanadium)	Zn (Zink)	U (Uran)	S (Svovel)	P Fosfor	B Bor	Tl (Thallium)	Alkalinitet pH8 (p-alkalinitet, TA)	
				liter/ssek	mmol/L	mg/L	mg/L	ms/m	°C	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mmol/L
Kleggenbekk oppstrøms																																																
Eurofin UNOMO-0023782	V1 Kleggenbekkken oppstrøms	05.09.19			2,2	2,8	8,2	26,8		7,8	0,015		2,1	19	7,6	860		Ja	31	0,41	0,76	30	47	<0,005	0,034	0,17	<0,50	3	120	1,7	4,1	0,97		2,2	<0,20	160	0,34	<2,0	1,1	7,7	<0,30	9,6	<0,10	0				
Eurofin UNOMO-0025154	V1 Kleggenbekkken oppstrøms	29.01.20			1,6	3,1		18,7		8,1	0,006		1,4	12	<5	640		Ja	21	<0,20	0,48	11	34	<0,005	0,037	0,063	<0,50	1,5	41	1,1	2,7	0,72		1,1	<0,20	96	<0,20	<2,0	0,27	4,5	<0,30	<5,0	<0,10	-67,5				
Eurofin UNOMO-0026231	V1 Kle. oppstrøms	09.06.20			2,4	3,4		25,7		8,1	0,007		1,6	11,4		5,1	270		Ja		<0,20				<0,005	0,044	<0,50	1,7					1,1	<0,20														
ALS	V1 17.06.2020 Kleggen oppstr	17.06.2020			2,8	4,2	49	30,1	21	8	0,038	3,1				0,049	0,14	0,013	Ja	666	0,78	1,22	43,9	55,6	<0,02	0,106	0,555	1,06	4,35	1,02	2,23	55,1	1,01	3,06	3,12	1,03		3,08	12,3	0,587	5,79					0		
ALS	Kleggenbekk INN (i rør), 09.04.2021 ikke mulig	09.04.2021			1,8	2,7	<5	21,1	18	7,8	0,005	1,24	2,6	13		0,013	0,59	0,002	Ja	31,7	0,508	0,759	19,4	40,5	<0,02	<0,05	0,979	<0,09	<1	0,087	1,34	5,86	1,3	1,95	1,5	<0,5		0,232	<4	0,439	3,88							
Kleggenbekk nedstrøms																																																
Eurofin UNOMO-0023782	V2 Kle. nedstrøms	05.09.19			2,5	5,2	5,7	26		8	0,016		1,2	14,9	5,4	560		Ja	40	<0,20	0,59	20	45	<0,005	0,016	0,099	<0,50	2,1	80	1,5	0,83	0,26		1,5	<0,20	150	0,34	<2,0	2,23	5,8	<0,30	8,3	<0,10	0				
Eurofin UNOMO-0025154	V2 Kle. nedstrøms	29.01.20			1,6	2,5		19,1		8	0,007		1,5	13,7	<5	920		Ja	180	0,3	0,69	25	34	<0,005	0,12	0,18	0,68	2	220	1,4	12	1,6		3,2	0,58	99	1,2	5,3	0,88	5,4	<0,30	16	<0,10	-63,96				
Eurofin UNOMO-0025957	V2 Kle. nedstrøms	11.05.20			0,8	1,9	3,4	22,3		8	0,017		1,9	14,3	<5	650		Ja	300	0,42	1,1	41	49	<0,005	0,088	0,26	0,55	2	440	1,8	32	2,4		3,5	0,018	150	1,9	9,4	2,3	5,9	<0,30	6,1	<0,10					
Eurofin UNOMO-0026231	V2 Kle. nedstrøms	09.06.20			0,1	2	3	26,4		8,2	0,15	3	24,6		8,1	850		Ja		0,73					0,008	0,2	0,54	3,7					6,1	0,85										0				
ALS	V2 17.06.2020 Kleggen nedstr	17.06.2020			0,1	2,1	3,7	180	22	8,2	0,14	1,68				0,006	0,65	0,013	Ja	2830	2,56	2,49	114	49	<0,02	0,327	2,88	4,68	8,79	4,43	2,69	125	8,25	3,24	23,8	2,59		13,9	24	13,6	8,87							
ALS	V2 26.06.2020 Kleggen nedstr	26.06.2020			2,2	4,6	20	36,3	22	8,1	0,028	1,86				0,18	1,5	0,16	Ja	1030	1,97	4,06	57,4	65,8	<0,02	0,309	2,37	2,37	5,37	2,09	2,56	111	16,6	3,98	20	1,1		6,15	15,9	27,6	21,2							
ALS	Kle. Nedstrøms v/ Fv241 03.07	03.07.2020			0,3	2,8	3,4	5	47,1	23	8,1	0,013	1,56	5,8	110	0,044	3,6	0,6	Ja	77,2	<0,5	3,44	48	84	<0,02	0,187	0,571	<0,9	1,26	0,059	3,45	43,2	33,1	4,52	5,26	<0,5		0,598	<4	73	37,9							
ALS	Kleggenbekk Ned 27.07.20 E	27.07.2020			0,6	2,3	8,5	7	80,7	21	8,1	0,017	2,68	7,2	300	0,088	3,3	0,41	Ja	221	0,891	5,39	73,8	162	<0,02	0,475	0,893	<0,9	1,78	0,271	6,76	120	227	6,72	37,4	<0,5		1,54	5,18	448	114							
ALS	Kleggen Ned, 07.08.20 Elv/ B	07.08.2020			0,7	2,7	6,9	5	56,8	23	8,1	0,025	3,22	5,2	150	0,012	15	0,033	Ja	366	0,928	3,55	63,8	111	<0,02	0,352	0,884	<0,9	2,43	0,55	4,28	59,6	79,6	5,01	17,9	<0,5		2,49	4,16	141	54,6							
ALS	Kleggenbekk UT (av rør), 09.04.2021	09.04.2021			1,7	1,9	2,6	10	21,2	18	8	0,012	2,1	2,8	13	<0,003	0,59	0,002	Ja	132	<0,5	0,822	19,8	40,3	<0,02	<0,05	<0,2	<0,9	1,14	0,201	1,38	9,18	1,19	1,95	1,28	<0,5		0,794	<4	0,522	3,86							
Grens ebekken nedstrøms																																																
Eurofin UNOMO-0023782	V3 G. en nedstrøms	05.09.19			-	2,7	5	55,3		8	0,037		33	81,9	17	3400		Ja	33	0,29	2,5	70	80	<0,005	0,1	0,54	<0,50	1,6	52	7	95	2,1		8,6	<0,20	360	0,21	3,1	3,3	29	<0,30	29	<0,10	0				
Eurofin UNOMO-0025642	V3 G. en nedstrøms	06.04.20			10,8	2	2,6	34,2		7,9	0,01	21	29,6	<5	3300		Ja	18	<0,20	1,5	49	55	<0,005	0,035	0,11	<0,50	1,1	19	3	11	1,3		1,5	0,011	210	<0,20	<2,0	2,23	9,6	<0,30	9,8	<0,10	-58,59					
Eurofin UNOMO-0025957	V3 G. en nedstrøms	11.05.20			4,5	2,2	2,6	39,2		8,1	0,007		28	32,2	<5	3200		Ja	43	<0,20	1,8	58	69	<0,005	0,035	0,14	<0,50	1,3	66	3,6	26	1,5		2	0,018	260	<0,20	<2,0	2,3	13	<0,30	15	<0,10					
Eurofin UNOMO-0026231	V3 G. nedstrøms	09.06.20			2,3	2,4	2,8	45,4		8	0,011		33	45,9	<5	3500		Ja		<0,20					<0,005	0,09	<0,50	1,9					3,8	<0,20											0			
ALS	V3 17.06.2020 G. nedstrøms El	17.06.2020			2,3	2,6	3,1	8	45,1	21	8	0,003	1,72			0,008	3	0,022	Ja	132	<0,5	2,12	62,6	63	<0,02	0,0751	0,32	<0,9	<1	0,177	4,15	31,5	1,78	22,6	3,55	<0,5		0,767	<4	2,94	14,2							
ALS	V3 26.06.2020 G. nedstrøms El	26.06.2020			2	2,7	3,5	4	47	21	8,1	0,007	1,75			0,007	3,3	0,004	Ja	167	<0,5	2,11	66,6	67,3	<0,02	0,0602	0,575	<0,9	2,3	0,32	4,29	108	1,81	24	4,65	<0,5		0,771	5,74	3,03	15							
ALS	G. en Nedstrøm, 03.07.20 Elv/ I	03.07.2020			1,7	2,8	3,1	4	48,6	23	8	0,009	1,28	39	52	0,024	3,4	0,005	Ja	32,4	<0,5	2,32	61,5	68,3	<0,02	0,171	0,491	<0,9	<1	0,051	5,21	110	1,77	24,1	5,29	<0,5		0,297	<4	3,1	18,2							
ALS	G. en Nedstrøm, 08.07.20 Elv/ I	08.07.2020			2,4	2,5	4,8	16	52	24	8	0,029	1,22	43	63	0,017	3,5	0,007	Ja	368	<0,5	2,69	74,2	69,4	<0,02	0,105	1,19	<0,9	2,7	0,512	6,14	150	3,35	26,3	9,56	<0,5		1,57	7,83	8,56	21,8							
ALS	G. Nede, 27.07.20 Elv/ Bekk	27.07.2020			3,2	2,6	17	370	49,2	21	7,8	0,37	2,36	37	60	0,073	3,3	0,046	Ja	7400	8,48	3,82	162	72,3	0,0207	0,512	7,98	12	25,4	13,1	7,61	593	9,27	20,8	34	10,1		33,6	51,4	12,9	22,3							
ALS	G. Ned, 07.08.20 Elv/ Bekk	07.08.2020			3,7	2,9	3,4	<2	50,8	23	7,9	0,009	1,81	36	60	0,15	13	0,12	Ja	214	0,608	2,74	53,5	74,8	<0,02	0,208	2,56	<0,9	2,37	0,266	4,86	117	9,4	22,3	18,7	<0,5		0,779	4,49	6,19	21,2							
ALS	G. Ned, 12.08.20 (flasker), uFll	12.08.2020			2,9	2,7	3,1	7	84,3	23	8	0,005	1,28	38	47	0,1	2,9	0,046	Ja	242	0,599	2,52	51,8	70,6	<0,02	0,174	2,77	<0,9	1,43	0,346	4,48	132	3,05	23,5	15,6	<0,5		0,986	<4	5,17	16,6							
ALS	G. Ned, 21.08.20 Elv/ Bekk	21.08.2020			3,1	2,7	3,5	<2	49,2	18	7,7	0,003	1,75	42	68	0,044	15	0,063	Ja	42,1	0,659	3,14	41,1	76,7	<0,02	0,225	2,44	<0,9	1,99	0,048																		

LAB	Prøvekode	Prøvenavn	Prøvestad	Parameter	Uanvendt	Uanvendt	Alkalinitet pH 4.5	TOC	Suspensjonsstoff	Ledningsevne (konduktivitet)	Temperatur	pH Verdi	P Fosfor	P Fosfor	Kjod (Cl-)	Sulfat (SO4)	Ammonium-N + Ammoniak-N	Nitrat-N (NO3-N)	Nitritt (NO2)	Oppslutning	Al (Aluminium)	As (Arsen)	K (Kalium)	Ba (Barium)	Cs (Cesium)	Hg (Kvikksølv)	Cr (Kromium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mg (Magnesium)	Mn (Mangan)	Mo (Molybden)	Na (Natrium)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	Si (Silisium)	Sr (Strontium)	V (Vanadium)	Zn (Sink)	U (Uran)	S (Svovel)	P Fosfor	B Bor	Tl (Thallium)	Alkalinitet pH 8 (p-alkalinitet, TA)
					liter/ssek.	mmol/L	mg/L	mg/L	ms/m	°C	mg/L	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mmol/L		
Grensbebben oppstøms Ø (fra Kleggenud)																																															
Eurofin UNOMO-0025154	V3a G.en Ø		29.01.20		0,1	1,6	2,9		23,3		7,8	0,007		11	16,2	6,2	2100		Ja	36	<0,20	1,4	37	38	<0,005	0,068	0,092	0,69	2	53	1,8	6,1	2,3		3,1	0,44		130	<0,20	2,1	2	5,3	<0,30	100	<0,10	-51,87	
ALS	V3a G.en Ø st over Linja, 08.07	08.07.2020			2,7	2,1	<2	45,4	23	8,2	0,002	1,47	37	36	<0,003	3,5	0,004	Ja	21,8	<0,5	1,82	65,6	62,6	<0,02	0,0759	0,212	<0,9	1,12	0,022	3,28	4,6	1,16	24,5	1,06	<0,5		<0,2	<4	2,32	11,9							
ALS	G. Opp. Ø, 26.10.20 Elv/bekk	27.10.2020			4,1	1,9	13	<2	28,6	18	7,6	0,15	2,27	12	32	0,011	1,3	0,008	Ja	82,2	0,527	1,6	25,3	47,6	<0,02	<0,05	0,25	<0,9	1,06	0,078	1,91	9,18	3,52	7,84	4,03	<0,5		0,338	<4	3,1	9,8						
ALS	G. Opp Ø., 27.01.21 Elv/bekk	27.01.2021			2,6	1,9	2,9	<5	32,8	20	7,7	0,007	2,3	23	28	0,032	2,3	0,0056	Ja	130	<0,5	1,84	41	50,2	<0,02	<0,05	0,263	<0,9	1,05	0,137	2,43	17,4	2,18	15,1	2,86	<0,5		0,488	31,6	6,76	9,06						
ALS	G. Opp Ø., 02.03.21 Elv/bekk	02.03.2021			2,5	2,3	3	<5	58	22	7,6	0,007	1,98	69	55	0,13	4,7	0,056	Ja	30	<0,5	3,77	79,1	71,9	<0,02	<0,05	<0,2	<0,9	1,65	0,039	4,37	16,7	15,1	39,2	4,98	<0,5		0,303	7,94	24,5	18,4						
ALS	G. Opp Ø., 09.04.21 Elv/bekk	09.04.2021			0,9	1,8	2,8	<5	49,9	19	7,5	0,005	1,15	43	79	0,014	4,9	0,013	Ja	40,6	<0,5	4,08	66	67,8	<0,02	<0,05	0,343	<0,9	1,85	0,049	4,24	13,4	5,05	26,7	8,89	<0,5		0,312	5,14	16	26,2						
ALS	G. Opp Ø., 25.06.21 Elv/bekk	25.06.21			0,6	2,2	3,3	<5	58,3	22	7,7	0,004	1,26	54	87	0,023	5,2	0,045	Ja	63,1	<0,5	3,96	92,9	80,3	<0,02	0,0538	0,366	<0,9	1,12	0,089	5,03	7,07	4,26	35,1	6,64	<0,5		0,483	4,18	17,2	29,5						
Grensbebben oppstøms S (fra Frankrike)																																															
Eurofin UNOMO-0026231	V3b G. oppstøms		09.06.20			2,5	1,9		41,5		8,2	0,006		30	33	<5	3400			Ja	<0,20				<0,005	0,043		<0,50	1,2															0			
ALS	V3B 26.06.2020 G. oppstøms r	26.06.2020			2,6	2,5	2	44,6	21	8,1	<0,003	1,68			0,004	3,4	0,002	Ja	34,1	<0,5	1,71	60,5	63,8	<0,02	<0,05	<0,2	<0,9	<1	0,049	3,09	1,66	0,853	24,1	0,983	<0,5		<0,2	<4	1,82	11,5							
ALS	G. Opp S, 07.08.20 Elv/bekk	07.08.2020			2,7	2,2	<2	43,1	23	8	0,003	1,66	33	31	<0,003	1,2	0,003	Ja	11,2	<0,5	1,73	55	65	<0,02	<0,05	<0,2	<0,9	<1	0,015	3,06	1,08	3,08	20,6	1,16	<0,5		<0,2	<4	1,52	9,95							
ALS	G. Opp S, 12.08.20 (flas ker), uf	12.08.2020			2,3	2,5	<2	48,4	23	7,8	0,017	2,1	66	150	0,5	12	2,3	Ja	680	1,18	8,89	123	117	<0,02	0,0738	1,72	<0,9	2,58	0,893	6,92	72,4	27,4	42,8	13,8	0,752		2,66	<4	39,8	53,8							
ALS	G. Opp S, 26.10.20 Elv/bekk	27.10.2020			2	9	<2	27,8	18	7,6	0,74	2,16	12	20	0,007	2,2	0,003	Ja	27,2	<0,5	1,37	28,5	47	<0,02	<0,05	<0,2	<0,9	2,57	0,027	2	1,76	1,43	10,7	1,64	<0,5		<0,2	<4	0,711	6,42							
ALS	G. Opp S, 25.11.20 Elv/bekk	25.11.2020			2,6	3,7	8,4	34	8,4	0,014	3,47	12	19	19	19	0,014	3,47	12	19	Ja	91,6	<0,5	1,33	35,8	44,8	<0,02	<0,05	<0,2	<0,9	1,75	0,118	2,05	4,86	0,722	11,1	1,47	<0,5		0,328	5,99	101	5,5					
ALS	G. Opp S., 05.01.21 Elv/bekk	05.01.2021			1,8	3,3	6	25,4	20	7,7		2,27	11	16				Ja	52,4	<0,5	1,07	26,4	42,4	<0,02	<0,05	<0,2	<0,9	1,34	0,057	1,7	1,95	0,733	8,01	0,972	<0,5		0,239	<4	0,768	4,79							
ALS	G. Opp S., 25.06.21 Elv/bekk	25.06.21			2,9	2,5	2,4	<5	36	22	7,9	0,003	1,73	22	27	0,0094	2	0,002	Ja	<10	<0,5	1,5	46,1	59,7	<0,02	<0,05	<0,2	<0,9	1,48	0,016	2,67	2,12	0,865	14,7	1,11	<0,5		<0,2	<4	1,34	8,85						
Grensbebben oppstøms V (fra myr retn. Kistefoss)																																															
ALS	G. Opp. V, 26.10.20 Elv/bekk	27.10.2020			2,4	16	2	44,1	19	7,5	0,008	12,8	30	57	0,064	2,8	0,039	Ja	67	0,756	2,27	56,2	66,8	<0,02	<0,05	1,13	<0,9	1,2	0,214	3,67	85,4	5,82	20,7	3,89	<0,5		0,521	<4	6,13	18							
ALS	G. Opp. V - Elv/bekk	02.03.2021			1,9	2,2	4,6	9	39,7	21	7,6	0,033	11,5	32	35	0,15	4,3	0,052	Ja	175	0,633	2,2	50,1	58,8	<0,02	<0,05	0,66	<0,9	1,82	0,432	3,06	94,2	7,94	19,4	1,48	<0,5		1,31	<4	8,12	10,8						
ALS	G. Opp. V - Elv/bekk	25.06.21			1,5	2,6	5,2	<5	42,7	22	8	0,01	5,42	34	34	0,026	3,7	0,034	Ja	38,5	<0,5	1,99	55,5	65,5	<0,02	<0,05	0,201	<0,9	<1	0,072	3,16	15,5	6,57	23	1,2	<0,5		0,493	<4	5,38	11						
Pars ellgrens e nedstøms																																															
Eurofin UNOMO-002564E	V6 Pars ellgrens e nedstøms		06.04.20			2,1	8,3		51,9		7,6	0,052		13	159	190	3900		Ja	390	0,86	1,9	94	99	<0,005	0,12	1,4	0,62	3,9	1000	7,1	350	7,3		5,5	0,034		370	1,9	<2,0	18	47	<0,30	7	<0,10	-41,74	
Eurofin UNOMO-002595V	V6 Pars ellgrens e nedstøms		11.05.20			3,5	6,5		52,1		7,8	0,02		16	95,3	120	3300		Ja	460	0,62	2,3	100	110	<0,005	0,22	2,1	0,72	5,1	1100	6,4	380	9,1		8,5	0,023		440	1,9	3,8	29	35	<0,30	12	<0,10		
ALS	V6 22.06.2020 Pars ellbekk nedst	22.06.2020			2,4	12	15	115	22	7,7	0,024	5,58			0,094	3,3	0,14	Ja	269	0,818	6,82	139	213	<0,02	0,263	2,9	<0,9	5,77	1,06	25,3	620	20,4	10,8	13,8	<0,5		1,16	6,1	20,2	186							
ALS	Pars ellbekk, 27.07.20 Elv/Bekk	27.07.2020			3,1	15	20	82,4	21	7,7	0,03	4,32	12	280	0,019	1,6	0,029	Ja	346	0,812	3,71	126	148	<0,02	0,24	2,49	<0,9	9,65	1,77	13,1	532	12,7	9,11	14,9	<0,5		1,45	5,46	31,5	101							
Kleggenudknyss et, dam på s tuff (KleggX)																																															
ALS	Kleggenud-X, 21.08.20 Elv/Bekk	21.08.2020			2,2	2	<2	55,1	18	8,1	0,005	5,43	8	120	4,9	56	3,2	Ja	40,1	1,05	16,6	32,2	85,2	<0,02	0,28	3,06	<0,9	9,73	0,03	8,24	101	130	8,87	22,4	<0,5		0,658	<4	101	42,1							
ALS	KLEX-1 12.10.20 Elv/bekk	12.10.2020			2,2	2,5	<2	79,2	19	8,1	0,003	1,12	14	280	0,16	4,2	0,25	Ja	75,5	1,13	16,3	62,6	138	<0,02	0,386	5,3	<0,9	<1	0,097	10	203	181	12,6	123	<0,5		0,723	<4	211	101							
Brandals bekk																																															
Eurofin UNOMO-0025154	V4 Brandals bekk		29.01.20			0,51	3,2		6,42		7,6	0,005		0,87	4,17	<5	320		Ja	39	<0,20	0,25	4,5	10	<0,005	<0,010	<0,050	<0,50	<0,50	19	0,69	1,2	0,84		<0,50		27	<0,20	<2,0	<0,10	2,3	<3,0	<5,0	<0,10	-4,89		
Oppend oppstøms																																															
Eurofin UNOMO-002595V	V7 Oppend ved porten		11.05.20			1,1	3,1		17,9		7,8	0,011		1,3	31,8	77	540		Ja	210	0,4	0,52	11	39	<0,005	0,1	0,2	<0,50	1,4	270	0,81	6,9	7,7		2,3	0,024		91	1	2,3	1,5	11	<0,30	<5,0	<0,10		



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway