

Vedlegg 5 Beregning av utslipp

Beregning av aktivitet i utslipp av renset anleggsvann

Vurdering av grenseverdier for thorium og uran i anleggsvann

Det foreligger ingen norske veiledere som sier noe om konsentrasjonsgrenser/tilstandsklasser for thorium og uran i Norge, hverken for drikkevann, avløpsvann eller industrivann. Forslag til grenseverdier for disse stoffene har derfor blitt utarbeidet basert på praksis og erfaring fra tidligere prosjekter med arbeider i svartskifer. Forslagene til grenseverdier er konservative, og har i hovedsak basert seg på drikkevannskriterier fra USA (USEPA) og verdens helseorganisasjon (WHO). Se Tabell 7 for verdier og begrunnelse.

Tabell 7. Forslag til grenseverdier for stoffene thorium og uran ved utslipp av renset anleggsvann til resipient Snipetjernsbekken, prosjekt ved Taraldrud i Nordre Follo kommune.

Stoff	Grenseverdi	Begrunnelse
Thorium	0,5 µg/l	Kilde: Det er ikke funnet nasjonale eller internasjonale grenseverdier for thorium i drikkevann eller andre vannforekomster. Vurdering: Stoffet er sterkt bundet til tungt løselige mineraler og det forventes ikke å påvise stoffet høye konsentrasjoner. Analyser i tidligere utførte prosjekter har påvist thorium i enkelte prøver av renset anleggsvann, med maksimum konsentrasjon på 1,65 µg/l. Foreslått utslippsgrense vil basere seg på forventet utslipp av suspendert stoff til resipienten, og vil angis som en konsentrasjon. Endelig konsentrasjon i resipient beregnes ut ifra lavvannføring (NEVINA) og en estimert konsentrasjon av 0 µg/l thorium i bekken. Utslippsvannet prosjekteres å inneholde <50 mg/l SS (suspendert stoff), hvorav 9,8 mg/kg SS er thorium [8]. Utslipet vil da få en konsentrasjon på <0,49 µg/l. Uansett vannføring (evt. fortykning) vil anleggsrelatert konsentrasjon i bekken da bli <0,5 µg/l. Tiltaksspesifikk grenseverdi settes til 2,5 ganger deteksjonsgrensen til thorium (<0,2 µg/l) basert på forventede maksutslipp og manglende internasjonale grenseverdier.
Uran	30 µg/l	Kilde: US Environmental Protection Agency (Drinking water standards and health advisories table, 2007 [9]). Drikkevann: 30 µg/l Kilde: WHO (Guidelines for Drinking-water Quality, 2017 [10]). Drikkevann: 30 µg/l Vurdering: Anbefalt utslippsgrense vil basere seg på tåleevnen til resipienten, og vil angis som en total mengde/tidsenhet. I praksis vil dette kunne oversettes til en kombinasjon av utslippsvolum og konsentrasjon. Tåleevnen beregnes ut ifra lavvannføring (NEVINA) og en målt gjennomsnittskonsentrasjon av 2,6 µg/l uran i bekken. Utslipet prosjekteres å inneholde <50 mg/l SS (suspendert stoff), hvorav 59,2 mg/kg SS er uran [8]. Utslipet vil da få en konsentrasjon

		på <2,96 µg/l. Uansett vannføring (evt. fortynning) vil anleggsrelatert konsentrasjon i bekken da bli <2,96 µg/l. Grenseverdi settes derfor til 30 µg/l, samme som for drikkevann.
--	--	---

Beregning av aktivitet (Bq/g)

Svartskifer, og særlig alunskifer, har naturlig forhøyede konsentrasjoner av uran med sine datternuklider. Naturlig forekommende uran består av ^{238}U , ^{235}U og ^{234}U . De to første starter hver sin radioaktive kjede med flere radioaktive datternuklider før de ender opp som stabilt bly (^{206}Pb og ^{207}Pb), mens ^{234}U er en av døtrene til ^{238}U . De tre isotopene desintegrerer ved α -stråling med halveringstider på henholdsvis $4,468 \cdot 10^9$ år (^{238}U), $7,04 \cdot 10^8$ år (^{235}U) og $2,455 \cdot 10^5$ år (^{234}U). I naturen er det et gitt forhold mellom disse tre urannuklidene, og de tilsvarer 99,27 % (^{238}U), 0,72 % (^{235}U) og 0,0054 % (^{234}U) av massen til uran. I naturlig uran er aktiviteten til ^{238}U og ^{234}U like høy, ettersom disse er i sekulær likevekt. ^{235}U bidrar med 2,2 % av urans radioaktivitet, og ^{238}U og ^{234}U bidrar med 48,9 % hver.

Thorium forekommer også naturlig i svartskifer. Alle thoriumisotoper er radioaktive. Naturlig forekommende thorium består nesten utelukkende av ^{232}Th med halveringstid $1,405 \cdot 10^{10}$ år. Dessuten finnes spormengder ($1,34 \cdot 10^{-8}$ prosent) av ^{228}Th , som har halveringstid 1,91 år og er i radiokjemisk likevekt med ^{232}Th . ^{232}Th desintegrerer med alfastråling til ^{228}Ra . Den radioaktive transformasjonen fortsetter gjennom ni ledd med i alt seks alfa- og fire betadesintegrasjoner, og ender opp som stabilt bly (^{208}Pb).

I forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall [11] er U - nat definert til å være ^{238}U i likevekt med sine døtre. I denne søknaden forholder vi oss til grenseverdiene for U-nat. Disse gjelder for modernukliden (^{238}U) alene, men strålebidraget fra datterproduktene er tatt hensyn til i fastsettelsen av aktivitetsgrensen fra modernukliden.

For thorium er det ikke utført samme beregning av aktivitet da bidraget er svært lite i forhold til uran. Målt radioaktivitet fra fire borkjerner tatt ut i tilknytning til prosjekt nytt regjeringskvartal viser dette tydelig. Målt radioaktivitet i disse kjernene viser et bidrag fra ^{232}Th -serien på mellom 2-3 % av ^{238}U -serien.

I denne søknaden er det beregnet total aktivitet og spesifikk aktivitet knyttet til utslipp av rensset anleggsvann med innhold av naturlig uran. Total aktivitet er samlet radioaktivitet sluppet ut årlig, og angis i becquerel (Bq). Spesifikk aktivitet er radioaktivitet per masseenheter og angis i Bq/l og Bq/g. Total aktivitet oppgis ofte i megabecquerel (MBq), som tilsvarer 1 000 000 Bq.

Anleggsperioden som omfatter grunnarbeider med åpen byggegrop og eksponert alunskifer, er forventet å vare til 2026. Det er i denne perioden forventet behov for rensning og utslipp av alunskiferpåvirket anleggsvann til bekken.

For vurdering av aktivitet er det utført beregninger der utslippet konstant ligger på foreslått grenseverdi på 30 µg/l. Det presiseres at dette er et «worst-case» scenario, og er svært lite sannsynlig. Det er tatt utgangspunkt i estimert tilsig av overvann til byggegrop over en seks måneders periode der vann vil være eksponert for alunskifer. Dette tilsvarer en årlig utslippsmengde på 8810 m³/år. Se Tabell 8 for utregning.

Dette tilsvarer en antatt totalmengde uran per år på:

$(30 \mu\text{g/l} * 50 \text{ m}^3/\text{d} * 365 \text{ d} / \text{år} * 1000 \text{ l/m}^3) / 1000000 = \underline{547,5 \text{ g/år ved uraninnhold på } 30 \mu\text{g/l}}$

Total aktivitet og spesifikk aktivitet er regnet ut etter følgende formel:

$$\text{Radioaktivitet (Bq)} = \frac{m}{m_w} * N_A * \frac{\ln(2)}{t_{\frac{1}{2}}}$$

Der: m=masse i gram

m_w = molekylærvækt i gram

N_A = Avogadros konstant ($6.02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

$t_{\frac{1}{2}}$ = halveringstid til isotopen i sekunder

Tabell 8 viser teoretisk mengde i utslippet av de forskjellige isotopene av uran, ^{238}U , ^{235}U og ^{234}U , samt total aktivitet og spesifikk aktivitet i utslippet per år. Dette gjelder ved et konstant uraninnhold i renset anleggsvann på 30 $\mu\text{g/l}$.

Det forutsettes at en liter vann tilsvarer 1000 gram.

Tabell 8. Beregning av total aktivitet (Bq/år) og spesifikk aktivitet (Bq/l og Bq/g) for utslipp av renset anleggsvann til resipient, med et konstant uraninnhold på 30 $\mu\text{g/l}$.

Isotop	U-238	U-235	U-234	Totalt
Masse (%)	99,2745	0,72	0,0055	
Masse pr/år (gram)	543,5278875	3,94	0,03	547,5
Halveringstid (år)	4,47E+09	7,04E+08	2,46E+05	
Halveringstid (sek.)	1,41E+17	2,22E+16	7,74E+12	
Total aktivitet (Bq pr år)	6,76E+06	3,11E+05	6,82E+06	1,39E+07
Spesifikk aktivitet (Bq pr l påslipp)	3,92E-01	1,80E-02	3,95E-01	8,05E-01
Spesifikk aktivitet (Bq pr g påslipp)	3,92E-04	1,80E-05	3,95E-04	0,000805476

Beregning basert på påslippsmengde per år, og konstant innhold på 30 $\mu\text{g/l}$ uran, viser at spesifikk aktivitet (Bq/g) for utslippet er godt under grenseverdien på 0,1 Bq/g (0,0008 Bq/g).

Beregning av totalaktivitet viser en overskridelse av grenseverdien på 100 Bq/år. Konstant innhold på 30 $\mu\text{g/l}$ uran i utslippsvannet gir en total aktivitet på 13,9 MBq per år.

Det søkes derfor om tillatelse til utslipp av maksimum 13,9 MBq per år. Det presiseres at dette er et «worst-case»-scenario, der det konstant slippes ut renset anleggsvann med et uraninnhold på 30 $\mu\text{g/l}$. I realiteten er det forventet betydelig lavere utslipp enn dette.

Opplysninger om radioaktiv forurensing og forebygging av forurensing

Med bakgrunn i Miljødirektoratets veiledere M310/2015 [12] og M2105 [3] har NGI gjennomført en kartlegging av syredannende bergarter for hele tiltaksområdet.

Det ble gravd til sammen 16 sjakter av NGI [5] i 2017, på arealet hvor det antas, basert på flybilder og tidligere utførte sjakter, at det kan ha vært lagt ut svartskifer. Det ble tatt ut blandprøver av antatt skifermasser fra alle sjaktene. I tillegg ble det tatt vannprøver der det kom inni sjaktene. Det ble gjort geokjemiske analyser på skiferprøvene påfulgt av en geokjemisk identifisering av skifertype og karakterisering av syredannende potensial og radioaktivitet.

Den geokjemiske karakterisering viser at det er påtruffet syredannende svartskifer i 14 av 16 sjaktene. Hull 1-16) som er undersøkt ved feltarbeid. Kun prøver fra Hull 1 og øvre del i Hull 2 (hull 2a) viser Elnesskifer og kalkrik leirskifer, som er skifre uten syredannende potensial. I hull 4 ble det ikke funnet skifermasser. Hovedvekten av skifermassene klassifiseres som alunskifer. Det er imidlertid innslag av Hagaberg- og Galgeberg skifer i to av sjaktene (Hull 5 og 15). Disse skifertypene er også syredannende, men med et noe lavere potensial.

Prøveresultatene er vurdert etter de veilederne. Undersøkelsene og vurderingene er dokumentet i følgende rapportene ([13, 14, 7]). Flere av skiferprøvene har uraninnhold over grensen for radioaktivitet avfall (omtales videre i kapittel 0). En oversikt over alle analyserte prøver vises i Tabell 9.

Tabell 9. Oversikt over prøver ved Taraldrudkrysset i Nordre Follo kommune, som ut fra en visuell vurdering ble sendt til kjemisk analyse [5].

Prøvenavn	Uran	Svovel	Nikkel	Kobber	Krom	Vanadium	Barium	Molybden	TiC %	TOC %	AP	NP:AP	Formasjon
Hull 1	6,38	3500	129	48,1	213	144	772	2,65	1,91	0,312	10,94	14,5518	Elnessformasjon
Hull 2a	47,7	6080	14,4	14,5	9	84,9	555	20,1	10,7	1,41	19,00	46,92795	Kalkrik leirskifer
Hull 2b	145	53800	215	147	68,4	867	1380	299	0,463	7,31	168,13	0,229483	Alunskiferformasjon
Hull 5	52	19100	98,1	75,3	116	717	1930	171	0,719	5,98	59,69	1,003799	Galgeberg/Hagabergformasjonen
Hull 7	145	53300	140	156	59,1	670	1710	248	0,04	6,88	166,56	0,020012	Alunskiferformasjon
Hull 8	113	50500	255	114	53,2	1080	1420	243	0,024	7,28	157,81	0,012673	Alunskiferformasjon
Hull 11	130	47900	197	142	70,9	918	1570	268	0,026	7,61	149,69	0,014474	Alunskiferformasjon
Hull 15	91,6	19800	137	64,1	169	411	1110	104	4,54	2,09	61,88	6,114234	Galgeberg/Hagabergformasjonen
Hull 16	44,2	16800	25,5	23	77	993	1470	215	0,045	9,06	52,50	0,071426	Alunskiferformasjon

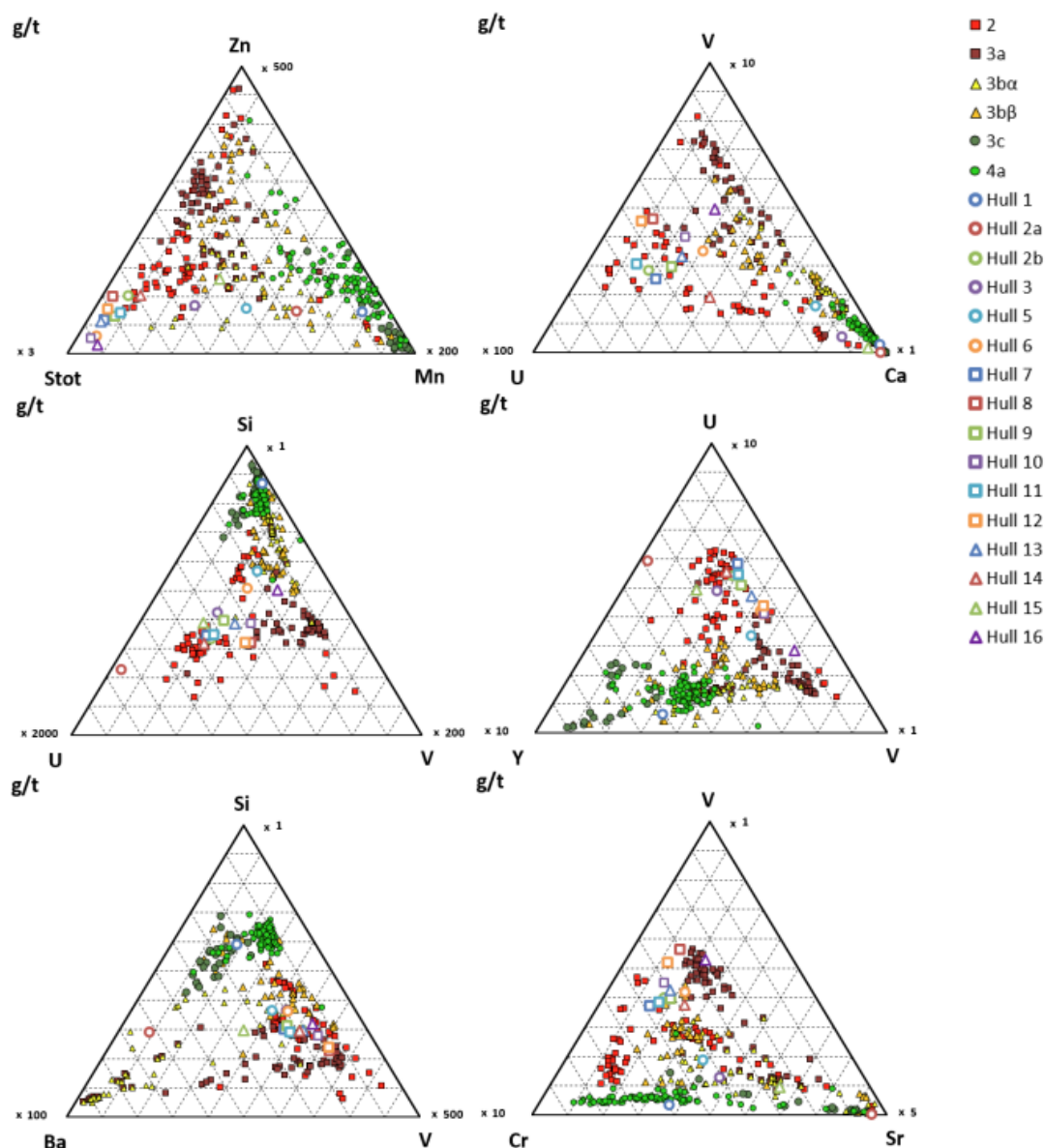
Overskuddssvartskifer som skal tas ut skal leveres til godkjent mottak for syredannende berg med tillatelse fra DSA.

Totalkjemiske analyser

Figur 4 viser seks utvalgte trekantdiagrammer som er brukt til identifikasjon av de ni ulike skiferprøvene som ble sendt til totalkjemisk analyse hos ALS.

Basert på sammenligningen av prøvene fra Taraldrud med referansedatabase av de ulike svartskiferhorisontene i Oslofeltet oppnås følgende resultat for prøvene fra Taraldrud:

- Hull 2b, 7, 8, 11 og 16 - Alunskiferformasjonen (etasje 2 og 3a). Potentielt syredannende
- Hull 1 – Elnessformasjonen (etasje 4a). Ikke potensielt syredannende
- Hull 2a – Kalkrik leirskifer, ikke potensielt syredannende
- Hull 5 og 15 – galgeberg-/Hagabergformasjonen (etasje 3ba og 3bβ). Potentielt syredannende



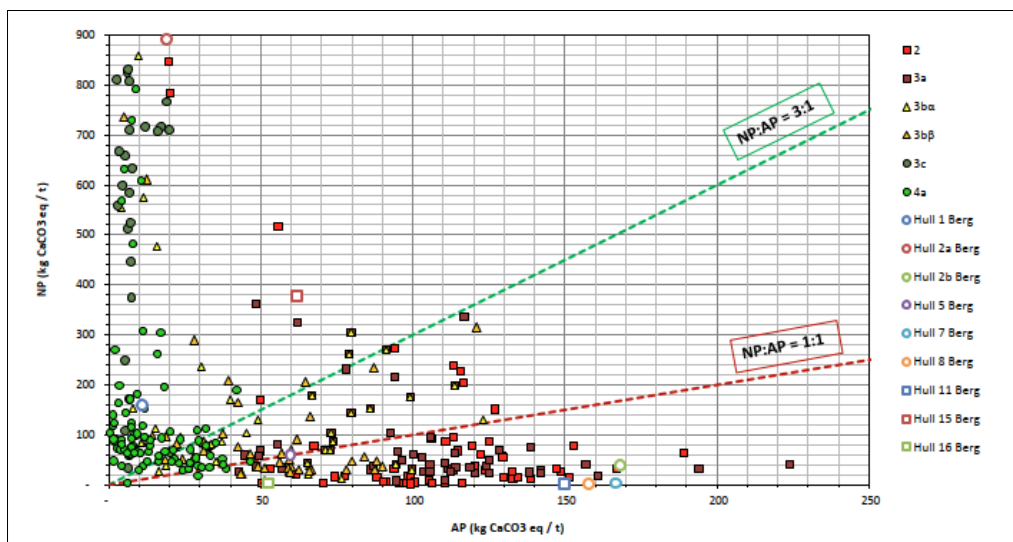
Figur 4. Analyseresultater med relativt innhold av flere elementer i prøven sammenlignet med analyser av referanseprøver fra svarte leirskiferhorisonter i Oslo-området. Prøvene fra Taraldrud er vist som åpne sirkler, kvadrater og triangler (Hull1-16) [14].

Syredannende potensial

Syredannelses potensial i en svart leirskifer bestemmes ved å plote syredannende potensial (AP) mot nøytraliserende potensial (NP). Dette er en statisk test, basert på totalkonsentrasjonene av svovel og totalt uorganisk karbon (TIC) i prøvene.

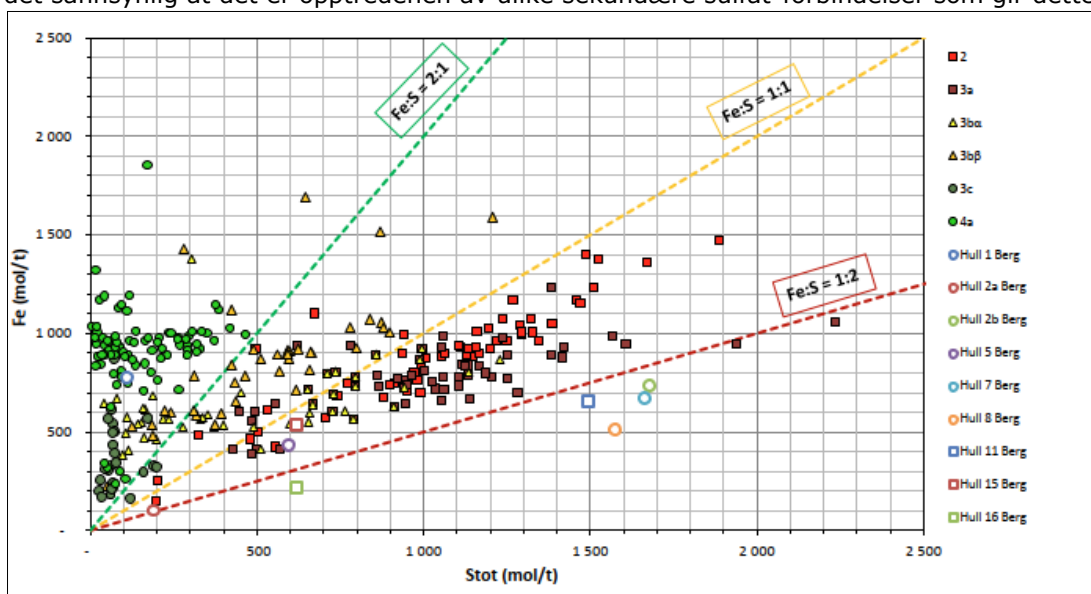
Videre kan forholdet mellom jern (Fe) og svovel (S) indikere om man kan knytte innhold av tungmetaller til sulfider og/eller silikater. Et overskudd av jern i forhold til svovel indikerer at en del av tungmetallene i prøvene er bundet i silikater eller oksider. Tungmetaller bundet i silikater eller oksider er mindre utsatt for utlekking ettersom disse mineralene ikke oksideres og er derfor relativt tungløselige. Disse mineralene vil imidlertid også kunne gå i oppløsning dersom de utsettes for væsker med svært lav pH.

Fra Figur 5 ser man at prøvene fra Hull 2b, 5, 7, 8, 11 og 16 alle ligger under linjen for NP:AP = 1:1 og indikerer at prøvene har betydelig syredannelsespotensial. Dataene fra Taraldrud sammenfaller også med data fra de skiferhorisontene de er assosiert med på bakgrunn av klassifiseringen som er utført. Prøvene fra Hull 1 og 2a ligger begge godt over NP:AP = 3:1 og besitter således en betydelig nøytraliseringskapasitet, og antas derfor ikke å kunne produsere sur avrenning.



Figur 5. AP-NP diagram hvor forskjellige soner er indikert. Prøvene fra Taraldrud er vist som åpne sirkler og kvadrater. De andre punktene er referanseprøver fra svarte leirskiferhorisonter i Oslo-området (horisontene 2, 3a, 3ba, 3bb og 4a) [1].

Figur 6 viser forholdet mellom jern (Fe) og svovel (S) i referanseprøver i ALS-analyserte prøver fra Taraldrud. Prøvene fra Hull 2b, 7, 8, 11 og 16 ligger alle under linjen for Fe:S= 1:2 og indikerer at svovel her finnes i andre mineraler enn jernsulfider og silikater. Basert på prøvenes forvitrede natur er det sannsynlig at det er opptredenen av ulike sekundære sulfat-forbindelser som gir dette utslaget.



Figur 6. Fe vs S-total (i mol/t). Prøvene fra Taraldrud er vist som åpne sirkler og kvadrater. De andre punktene er referanseprøver fra svarte leirskiferhorisonter i Oslo-området (horisontene 2, 3a, 3ba, 3bb og 4a) [1].