

Follobaneprojektet, Åsland
Radiometrisk kartlegging og vurdering av TBM-masser
og bekkesedimenter på Åsland, Oslo kommune

☒ Akseptert

☐ Akseptert m/kommentarer

☐ Ikke akseptert (kommentert)
Revider og send inn på nytt

☐ Kun for informasjon

Sign: 

Digitalt signert av
Thomas Nissen
Dato: 2025.04.25 08:40:03
+02'00'

00E	Ferdig utarbeidet rapport	11.04.2025	JB/SM	AOH	JK
Revisjon	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av
Tittel: Follobaneprojektet, Åsland, Radiometrisk kartlegging og vurdering av TBM-masser og bekkesedimenter på Åsland, Oslo kommune		Sider:			
		25			
		Produsert av:	Rejlers Sverige AB		
		Prod.dok.nr.:			Rev:
		Erstatter:			
		Erstattet av:			
Prosjekt:	Follobaneprojektet	Dokumentnummer:		Revisjon:	
Parsell:	Åsland	UFB-31-A-75073		00E	
		Drift dokumentnummer:		Drift rev.:	



Rapport

185076

Radiometrisk kartlegging
og vurdering av TBM-masser
og bekkesedimenter på Åsland,
Oslo kommune

Referansenummer
185076

Revisjon
00

Beskrivelse av programmet:
Radiometrisk undersøkelse

RAPPORT

Oversatt fra svensk til norsk av Bane NOR



Mottakere
Follobanen

Revisjonshistorikk

Revisjon	Dato	Beskrivelse av programmet	Forfatter	Anmeldt av
00	11-04-2025	Original versjon	JB/SM	JK

Forord

På oppdrag fra Bane NOR har Rejlers utført radiometriske målinger på Åsland i Oslo kommune. Dokumentasjonen gir grunnlag for å dokumentere TBM-massenes egnethet som byggegrunn og gi økt kunnskap om hvordan radioaktivitet spres, anrikes og nedbrytes i Maurtubekken. Denne rapporten sammenstiller og vurderer resultater fra Rejlers Feltundersøkelsene 1 (16-17 april 2024) og Feltundersøkelse 2 (1 juni 2024).

Rejlers har anvendt gammaspektrometriske metoder til å kartlegge radioaktive isotoper i terrengplanert område samt i bekkersedimenter og løsmasser langs Maurtubekken. Resultatene gir økt kunnskap om spesifikke aktivitetskonsentrasjoner, samt hvilke og hvordan enkeltisotoper spres og akkumuleres. Denne rapporten vurderer resultater sammenfatter konklusjoner fra de utførte feltarbeidene.

Feltarbeid og rapportering er planlagt og utført av Johan Byegård og Samuel Martinsson hos Rejlers, NIBIO m/ Simen G. Johansen, bisto Samuel under feltundersøkelse 2 (Maurtubekken). Under rapporteringsprosessen har det vær faglig etterprøving og dialog mellom Rejlers og Bane NOR, følgelig er usikkerheter, resultater og konklusjoner godt gjennomarbeidet. Bane NOR har oversatt rapporten til norsk samt bidratt til den helhetlige oppgavebeskrivelsen hvor bl.a. hydrauliske og geokjemiske naturgitte forhold inngår, her har geokjemiker Eva-Lena Tullborg (Terralogica AB) og miljøgeolog Arnt-Olav Håøya bidratt. Miljøgeolog Sigbjørn Økland (Multiconsult) har gjennomgått Rejlers rådata.

rapport_rejlers_se.docx

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING.....	1
2. MÅLSETTING.....	2
3. STRATEGI.....	2
4. METODE.....	2
4.1. GAMMA-SPEKTROMETERISKE MÅLINGER	2
4.2. RAD7 MÅLINGER	3
5. UTFØRT FELTARBEID	4
6. RESULTATER.....	7
7. VURDERINGER	11
7.1. URANINNHOLD I TBM-MASSER	11
7.2. RADONINNHOLD I TBM-MASSENE	13
7.3. RADIOAKTIVITET I BEKKESEDIMENT	13
7.3.1. <i>Feltundersøkelse 1</i>	13
7.3.2. <i>Feltundersøkelse 2</i>	13
7.3.3. <i>Tolkning av gammaspektra</i>	14
7.3.4. <i>Måleusikkerhet - Jernutfellinger</i>	16
7.3.5. <i>Måleusikkerhet – Grunnkalibrering vs. tolket gammaspektra</i>	17
7.4. FREMTIDIG AREALBRUK OG FORHOLD KNYTTET TIL RADIUM OG RADON.....	17
8. KONKLUSJON.....	18
9. REFERANSELISTE.....	19
10. VEDLEGG	20

1. Innledning

Bane NORs anleggsområde på Åsland skal opparbeides til friområde (LNF-område) og etter avtale overtas av Oslo kommune. Området er videre en del av kommunens fremtidige planer for en ny bydel, Gjersrud-Stensrud.

I dag er deler av anleggsområdet planert og oppfylt med 3,1 millioner m³ med TBM-masser. Massene ligger innenfor avgrenset nedbørsfeltet til Mautubekken, se Figur 1. I neste delprosjekt skal Bane NOR, i henhold til godkjent plan, blant annet anvende massene som i dag utgjør «Pyramiden» til å planere resterende del av anleggsområdet som da ligger i Myrerbekkens nedbørsfelt.

Vedlegg 1 og 2 gir en kort innføring i hvordan TBM-massene er produsert og hvordan dette har påvirket deres kjemiske (geokjemiske) egenskaper.

Denne rapporten skal utvide kunnskapsgrunnlaget om hvordan urankonsentrasjoner og naturlig radioaktivitet forekommer, endres og kan påvirke miljøet og et fremtidig boligområde. Bane NOR har derfor innhentet supplerende dokumentasjon, herunder de forhold som er dokumentert og analysert i denne rapporten. Rejlers har anvendt radon-sniffer og gammaspektrometri til å dokumentere og synliggjøre forhold knyttet til:

- Radon risiko ifm. byggegrunn:
 - Feltnålinger med gammaspektrometer for å dokumentere konsentrasjoner av uran, thorium og radium i terrengnivå samt i profiler (borkjerner). Borkjernene dekker nivå fra til underliggende leire/torv.
 - Målinger med radon-sniffer (RAD7) for å dokumentere radon-konsentrasjoner i luften over massene
- Aktivitetskonsentrasjoner (Bq/kg) ifm. miljørisiko: Feltnålinger med gammaspektrometer kartlegger konsentrasjoner og aktivitetskonsentrasjoner i sandige sedimenter langs Mautubekken.

Generelt om mobilisering av radium(II), uran(VI), thorium (IV) og radon (gass) i vann.

(KI frembragt informasjon, kontrollert av BN).

I et alkalisk miljø med høyt innhold av kalsium og sulfat vil mobiliteten til radium, uran, thorium og radon variere som følger:

Radium: Radium er relativt mobilt. Høyt innhold av kalsium kan konkurrere med radium for sorpsjonssteder, noe som kan øke radiums mobilitet. Radium er generelt mer mobil enn uran og thorium, men bindes til jernoksider og organisk materiale.

Uran: Uran har en mobilitet som ligger mellom thorium og radium. I alkalisk vann danner uran stabile komplekser med kalsium og karbonat, noe som signifikant øker mobiliteten til uran(VI).

Thorium: Thorium har generelt lav mobilitet i grunnvann, inkludert i alkalisk vann. Thorium har en tendens til å adsorberes til mineraloverflater som leire og jernutfelling.

Radon: Radon er en gass og er derfor svært mobilt i grunnvann. Det kan lett bevege seg gjennom vann og jord, og dets mobilitet påvirkes ikke betydelig av andre kjemiske forhold.

Generelt sett vil radon være mest mobilt, etterfulgt av radium, uran og til slutt thorium, i dette miljøet.

Urankompleksene vil her i hovedsak være med karbonat og kalsium. Dette vil bidra til en raskere utvasking av tilgjengelig uran(VI) og radium(II) fra kildematerialet (TBM-massene). Radium i bekken kan bindes til jernoksider og organisk materiale.

2. Målsetting

Området skal i fremtiden utvikles til boligområde hvor massene skal tilfredsstille krav til dette. Rapporten med tilhørende undersøkelser skal gi økt kunnskap om hvorvidt radon fra TBM-massene vil kunne påvirke utviklingen av fremtidig boligområde.

Videre skal ikke vannmiljø i nedstrøms resipienter varig forringes. Rapporten med tilhørende undersøkelser skal gi økt kunnskap om sammenhenger og virkninger knyttet til hvordan radioaktive isotoper spres og anrikes i Maurtubekken nedstrøms de oppfylte TBM-massene.

Økt prosessforståelse og kvalitativ dokumentasjon skal anvendes i videre risikovurdering, samt når målrettede avbøtende tiltak vurderes.

3. Strategi

Feltundersøkelse 1 skal dokumentere TBM-massenes innhold av U, Th og K samt aktivetskonsentrasjoner for K, Ra og Th. Undersøkelsen skal sette søkelys på område utfyllt med TBM-masser. Det skal i tillegg gjøres målinger på løsmasser (bekkesediment) i Maurtubekken der drens vann renner ut i dagen ved kum 62B (Figur 1).

Feltundersøkelse 2 skal dokumentere utslipp av radon fra TBM-massene (Rad7), og videre dokumentere innhold av U, Th og K samt aktivetskonsentrasjoner for Ra og Th i bekkesediment nedstrøms kum 62B.

Usikkerheter knyttet til målemetodene skal vurderes og beskrives, her inngår også instrumentets grunnkalibrering med forutsatt likevekt i henfallskjeden (U238- og Th232-serien).

4. Metode

4.1. Gamma-spektrometriske målinger

Målingene ble utført med et gammaspektrometer, scintillasjonsdetektor med bismuth-germ krystall (BGO RS-230). Instrumentet måler en kortlivet datterisotop i henfallskjeden i henholdsvis uran-238-serien (Bismut-214) og thorium-232-serien (Thalium-208) videre beregnes konsentrasjoner og aktivetskonsentrasjon som angitt i «Forklaring» under, samt i videre metodebeskrivelse.

Instrumentet er i sin grunnkonfigurasjon innstilt til å måle nivåene av de hyppigst forekommende naturlige radioisotopene; uran (U), thorium (Th) og kalium (K). Det forutsettes radioaktiv likevekt mellom moder- og datternukleider i henfallskjeden og aktivetskonsentrasjon (Bq/kg) for; kalium (K), radium (Ra), thorium (Th) og aktivitetsindeks (I) som angitt under:

- 1 % K = 313 Bq/kg kalium-40
- 1 ppm U = 1 g/tonn U = 12,35 Bq/kg radium-226 = 12,35 Bq/kg uran-238
- 1 g/tonn Th = 4,06 Bq/kg thorium-232
- $$I = \frac{C_{Th232}}{200} + \frac{C_{Ra226}}{300} + \frac{C_{K40}}{3000}$$

Gammaspektromettermålingene utføres på datterisotopene av U, Th og K på følgende måte (1):

- Th-kvantifiseres via isotopen Tl-208 og dens gammalinje på 2615 keV
- U kvantifiseres via isotopen Bi-214 og dens gammalinje på 1764 keV
- K-40 måles fra dens gammalinje på 1461 keV.

Der kjemisk analyse av TBM-masser gir nøyaktig konsentrasjon for et relativt lite prøvevolum gir spektrometeret gjennomsnittsverdier for større volum fra;

- 1) Punktmålinger utført på terrenget eller i kasser med materiale fra borkjerner. Borkjerner, med løsmasser, vil ha lavere tetthet enn *in situ*. Når det måles på en borkjerne i en kasse kan begrenset materialmengde gi lavere måleverdier sammenlignet med *in situ*-måling.
- 2) Målinger på et større område der detektoren er montert på en vogn som trekkes over et større område mens apparatet kontinuerlig måler.

(KI frembragt informasjon, kontrollert av BN).

Forklaring: Gammaspektrometer

Et gammaspektrometer brukes til å måle energispekteret av gammastråler som sendes ut fra radioaktive materialer. Det gir informasjon om hvilke isotoper som er til stede og deres konsentrasjoner. En scintillasjonsdetektor med bismuth-germanat (BGO) krystall er en type detektor som brukes til å oppdage og måle gammastråling.

Forklaring: Henfallsskjede

En henfallsskjede, også kjent som en radioaktiv serie, er en sekvens av radioaktive henfall hvor en ustabil atomkjerne henfaller til en annen ustabil kjerne, som igjen henfaller til en annen, og så videre, inntil en stabil kjerne dannes. I berggrunnen og TBM-massene er det radioaktiv likevekt mellom langlivede modernuklider og kortlivede datternukleider. Ved å måle innholdet av kortlivede nuklider (måletid er da ca. tilsvarende halveringstid) kan instrumentet beregne konsentrasjoner og aktivitetskonsentrasjoner for andre radionukleider i henfallsskjeden.

Under følger forenklet sammenstilling av U-238 serien og Th-232 serien. Det måles på Bi-214 (halveringstid ca. 20 min.) og Tl-208 (halveringstid ca. 3 min.):

Uran-238-serien: Starter med Uran-238 og ender med stabilt Bly-206. Denne kjeden inkluderer flere mellomliggende radioaktive isotoper som Thorium-234, Protactinium-234, Uran-234, Thorium-230, **Radium-226**, **Radon-222**, Polonium-218, Bly-214, **Bismut-214** (halveringstid ca 20 min.), Polonium-214, Bly-210, Polonium-210

Thorium-232-serien: Starter med Thorium-232 og ender med stabilt Bly-208. Denne kjeden inkluderer Radium-228, Actinium-228, Thorium-228, **Radium-224**, **Radon-220**, Polonium-216, Bly-212, Bismut-212, Polonium-212, og **Thallium-208**

Forklaring: Aktivitetsindeks «I»

1. Sammenligning med standarder: Den beregnede aktivitetsindeksen kan sammenlignes med etablerte kjemiske tilstandsklasser. EU-kommisjonen har for eksempel satt en anbefalt grense for aktivitetsindeksen i byggematerialer på 1,0.

Hvis indeksen overskrider denne verdien, indikerer det en mulig radiologisk risiko.

2. Risikovurdering: Ved å evaluere aktivitetsindeksen kan fageksperter vurdere den eventuelle radiologiske risikoen for mennesker og miljø. Hvis indeksen er over den sikre grensen, tyder det på at massene kan utgjøre en helserisiko på grunn av forhøyede nivåer av radioaktivitet. Det gjennomføres da en mer spesifikk kartlegging og risikovurdering av massene og området.

4.2. RAD7 målinger

Det er anvendt en bærbart radon-sniiffer (RAD7) som kan måle radongass (Rn-222 og Rn-220) i luft, vann og jord. Det er kartlagt radongass fra TBM-massene som følge av henfall fra Ra-226 (U-serien) og Ra-224 (Th-serien).

5. Utført feltarbeid

Denne rapporten omfatter to feltundersøkelser som ble gjennomført henholdsvis april 2024 (16&17.apr.24) juni 2024 (01.jun.24). Den omtrentlige plasseringen av målingene på de deponerte massene er vist i Figur 1. Tabell 1-3 viser måleresultatene.

Under feltundersøkelse 1 ble følgende målinger utført med gammaspektrometer:

- Mårtubekken:
 - Målinger av jernutfellinger ved utløp drencvann fra TBM-massene (kum 62B).
- TBM-masser
 - 11 snittundersøkelser i det nordøstlige undersøkelsesområdet.
 - 3 lokale måletekniske kontrollpunkter.
 - 10 punktmålinger langs veien opp bakken. Pyramiden.
 - Målinger på Sonic-borekjerner fra TBM-massene

Under feltundersøkelse 2 ble følgende målinger utført med gammaspektrometer og radon-sniffer (RAD7):

- Mårtubekken:
 - Målinger av jernutfelling (bekkesedimenter) lenger nedstrøms i bekken.
- TBM-masser:
 - 5 lokale måletekniske kontrollpunkter.
 - 15 måleserier med RAD7



Figur 1 Undersøkellesområdet på Åsland, sør for Oslo. Prøvepunktene er fra både feltundersøkelse 1 og 2.



Figur 2. Maurtubekken, Feltundersøkelse 1: Bildene viser punkt F1 og F2 NØ i figur 1. F1 viser drenskum (62B) og F2 viser bekk like nedstrøms kum, før bekken renner i betongrør gjennom underbygningen til Maurtuveien. Feltundersøkelse 1: Gammespektrometriske målinger er utført i området ved kummen.



Figur 3. Maurtubekken, Feltundersøkelse 2: Bildet viser eksempel på sandholdige sedimenter langs Maurtubekkens bekkeløp. Det er utført gammespektrometriske målinger langs Maurtubekkens løp nedstrøms Maurtuveien. Målingene er utført sandige masser som vist i bildene over.

6. Resultater

Resultatene av strålingsmålingene med konsentrasjoner, aktivitetskonsentrasjoner, aktivitetsindeks og gammastråling er presentert i Tabell 1 og Tabell 2. Målepunktene er vist Figur 1, enkelte av kontrollmålingene er ikke angitt i figuren, her refereres det da til et nærliggende målepunkt. Kontrollpunktene er lokale faste målepunkter som er anvendt til å kontrollere at måleinstrumentene, mellom kalibrering, gir stabilt måleresultat.

Målingene fra feltundersøkelse 1 (Tabell 1) omfatter hovedsakelig TBM-masser i terrengnivå samt profilmålinger fra borpunkt 1-4. Målingene er utført direkte i kassene hvor borkjernene var lagret. Målingene gav beregnede verdier for uran mellom 0,5 - 2,9 ppm. De beregnede verdiene for radium varierer mellom 6 - 36 Bq/kg.

Målingene fra feltundersøkelse 2 (Tabell 2) inkluder løsmasser og sedimenter (Figur 3) i Maurtubekken samt måletekniske kontrollmålinger. Målingene gav beregnede verdier for uran mellom 2,1 - 8,7 ppm. Beregnet aktiviteskonsentrasjon for radium varierer mellom 26 - 108 Bq/kg.

Rad7-målingene gav radon verdier (Tabell 3) for Rn-222 mellom 0 - 77 Bq/m³ (uran-238-serien) og verdier for Rn-220 (thorium-serien) mellom 0 - 203 Bq/m³.

Beregnet aktivitetsindeks («I», tabell 1 og 2) viser at alle målepunkter innenfor «Utfylt område med TBM-masser» er under 1.

Beregnet aktivitetsindeks («I», tabell 2) fra sandige sedimenter i Maurtubekken viser verdier mellom 0,9 – 1,6. Kontrollmålingene, ved lokalt kontrollpunkt, viser verdier mellom 0,6-0,7.

Tabell 1 inneholder 2 målinger «oppstrøms» og to målinger like nedstrøms like ved kum 62B (Figur 2). Aktivitetsindeks oppstrøms er 0,75 og nedstrøms er den 0,85.

Tabell 1. Feltundersøkelse 1, Resultater av gammastrålingsmålingene ved tidspunkt 1, beregnede aktivitetskonsentrasjoner, aktivitetsindeks (I) og gammastråling. Tall og fargekoding: 1-blå=Bekken oppstrøms, 2-grå=Maurtubekken nær kum 62B, 3- gul= TBM masser, 4-grønn=Kontrollmåling. «Målepunkt» er vist i Figur 1.

Måtpunkt	Plats	Kommentar	Koncentrasjon			Aktivitetskoncentrasjon			Aktivitetsindeks	Gammastråling
			K	U	Th	K	Ra	Th		
			(%)	(ppm)	(ppm)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(I)	µSv/h
2	16161	Bäcken, nedströms.	Järnutfällningar.	3,5	1,9	15,5	1096	23	0,76	0,11
	16162	Bäcken, uppströms.	Järnutfällningar.	3,8	2,8	16,3	1189	35	0,84	0,12
	16163	Bäcken, uppströms.	Bakgrundsvärde.	3,9	2,5	16,7	1221	31	0,85	0,12
2	16164	Bäcken, nedströms.	Bakgrundsvärde.	3,4	1,2	16,3	1064	15	0,74	0,11
3	16166	Sektion 1	Platån	2,8	2,6	9,6	876	32	0,59	0,09
	16167	sektion 2	Platån	2,9	2,2	9,8	908	27	0,59	0,09
	16168	sektion 3	Platån	2,7	2,2	8,9	845	27	0,55	0,08
	16169	sektion 4	Platån	2,7	2,5	10,3	845	31	0,59	0,09
	16170	sektion 5	Platån	2,6	2,6	9,6	814	32	0,57	0,08
	16171	sektion 6	Platån	2,7	1,8	9,8	845	22	0,55	0,08
4	16172	sektion 7	Platån	2,8	2,1	9,4	876	26	0,57	0,08
	16173	Platå 1	Kontrollpunkt, mätning på platån där sektion 1 - 7 utfördes.	3,2	2,7	10,7	1002	33	0,66	0,10
	16174	Platå 2	Kontrollpunkt, mätning på platån där sektion 1 - 7 utfördes.	2,9	2,6	11	908	32	0,63	0,09
	16175	Platå 3	Kontrollpunkt, mätning på platån där sektion 1 - 7 utfördes.	2,8	1,6	10,7	876	20	0,58	0,08
	16176	sektion 8	Serpentinvägen	2,7	1,6	11	845	20	0,57	0,08
	16177	sektion 9	Serpentinvägen	2,6	1,1	10,4	814	14	0,53	0,08
	16178	sektion 10	Serpentinvägen	2,6	1,3	11,5	814	16	0,56	0,08
	16179	sektion 11	Serpentinvägen, rund.	2,3	1,2	8,4	720	15	0,46	0,07
	16180	Pyramid 1		2,9	1,8	11,1	908	22	0,60	0,09
	16181	Pyramid 2		3,4	2,3	13,1	1064	28	0,72	0,10
3	16182	Pyramid 3		4	2,9	15,4	1252	36	0,85	0,12
	16183	Pyramid 4		3,1	2	12,6	970	25	0,66	0,10
	16184	Pyramid 5		3,4	1,8	12,5	1064	22	0,68	0,10
	16185	Pyramid 6		3,3	2,9	12,1	1033	36	0,71	0,10
	16186	Pyramid 7		3,1	2,4	11,5	970	30	0,66	0,10
	16187	Pyramid 8		2,7	2,3	8,3	845	28	0,54	0,08
	16188	Pyramid 10		2,9	2,2	10,6	908	27	0,61	0,09
	16189	Pyramid 11		2,9	1,2	11,1	908	15	0,58	0,08
	16190	Bakgrund 1	Inomhus, mätning på golvet.	1,9	1,1	9,9	595	14	0,44	0,06
	16191	Bakgrund 2	Inomhus, kördes om då den första behöve stabiliserar. Mätning på golvet.	1,8	1,3	8,8	563	16	0,42	0,06
4	16192	BP1 Reserv (24-29)	Mätt i bytta	1,9	1,5	8	595	19	0,42	0,06
	16193	BP1 Reserv (24-29)	Mätt i bytta, Roterade mätaren 180 grader.	1,9	1,5	8,1	595	19	0,42	0,06
	16194	BP1 Reserv (12-18)	Mätt i Bytta	1,8	1,2	9,2	563	15	0,42	0,06
	16195	BP1 Reserv (18-24)	Mätt i Bytta	1,9	1,3	9,2	595	16	0,44	0,06
	16196	Bakgrund 1 Utomh.	Mätt direkt på marken	2,5	0,5	9,3	783	6	0,47	0,07
	16197	Bakgrund 2 Utomh.	Mätt i en tom kärnlåda.	2,4	0,5	8,3	751	6	0,44	0,06
3	16198	BP3 0-3		2,2	1,1	8,1	689	14	0,33	0,06
	16199	BP3 9-12		2,6	0,6	10,4	814	7	0,42	0,07
	16200	BP3 9-12	10 min	2,4	1,2	11	751	15	0,52	0,08
	16201	BP3 15-18		2,4	1,3	9,9	751	16	0,40	0,07
	16202	BP4 0-3		2,4	0,5	9,7	751	6	0,39	0,07
	16203	BP4 0-3	10 min	2,4	0,7	10	751	9	0,41	0,07
	16204	BP4 0-3	15 min	2,4	0,6	10,7	751	7	0,43	0,07
	16205	BP4 9-11		2,4	1,3	11,9	751	16	0,48	0,08
	16206	BP4 22-23	Torv	2,2	0,6	8,6	689	7	0,35	0,06
	16207	BP4 24-25	Sediment, Lera skalrester	2,6	1,1	9,6	814	14	0,39	0,07
	16208	BP1 0-3		2,7	1,2	10,1	845	15	0,41	0,08
	16209	BP1 9-12		2,7	0,9	9,9	845	11	0,40	0,07
	16210	BP1 9-12	10 min	2,6	1,5	9,1	814	19	0,37	0,08
	16211	BP1 15-18		2,2	0,6	7,6	689	7	0,31	0,06
	16212	BP1 15-18	10 min	2	0,6	8,2	626	7	0,33	0,06
	16213	BP1 24-27		2,3	1,2	9,3	720	15	0,38	0,07
	16214	BP2 0-3		2,1	0,8	10	657	10	0,41	0,07
	16215	BP2 0-3	10 min	2,2	0,6	8,4	689	7	0,34	0,06
	16216	BP2 6-9		2,5	1,1	10,7	783	14	0,43	0,08
	16217	BP2 15-18		2,7	1,1	9,9	845	14	0,40	0,08
4	16218	BP2 20-20,5	Torv	2,3	0,5	9,2	720	6	0,37	0,06
	16219	Bakgrund 3 Utomh.	Med kärnlåda, 10min.	2,4	0,8	8,3	751	10	0,34	0,07
	16220	Bakgrund 4 Utomh.	Direkt på marken. 10 min.	2,5	0,5	9,3	783	6	0,38	0,07
	16221	Bakgrund 5 Utomh.	Direkt på marken. 15 min.	2,4	0,7	8,8	751	9	0,36	0,07

Se «Merknad»
i Tabell 2

Tabell 2 Resultater av gammastrålingsmålingene fra feltundersøkelse 2 med beregnede konsentrasjoner, aktivitetskonsentrasjoner, aktivitetsindeks (I) og målt gammastråling. Kartplassering av «Målepunkt» er vist i Figur 1. Se «Tall- og fargekoding» samt «Merknad» under.

Målepunkt	Plats	Kommentar	Koncentrasjon			Aktivitets konsentrasjon			Aktivitets indeks	Gamma stråling
			K	U	Th	K	Ra	Th		
			(%)	(ppm)	(ppm)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(I)	µSv/h
1	16265	Sandbank langs med bäcken	3	2,1	21,1	939	26	86	0,83	0,12
	16266	Sandbank langs med bäcken	2,8	2,2	25,3	876	27	103	0,90	0,13
	16267	Sandbank langs med bäcken	4,5	2,2	31	1409	27	126	1,19	0,17
	16268	Sandbank langs med bäcken	3,1	2,9	30,7	970	36	125	1,07	0,15
	16269	Sandbank langs med bäcken	3	2,9	25,2	939	36	102	0,94	0,14
	16270	Sandbank langs med bäcken	3,1	3,2	36,1	970	40	147	1,19	0,17
	16271	Sandbank langs med bäcken, 10min samma läge som 16270	3	2,3	38	939	28	154	1,18	0,17
	16272	Sandbank langs med bäcken	3,5	2,4	31,7	1096	30	129	1,11	0,16
2	16273	Sandbank langs med bäcken	2,9	8,7	48,4	908	107	197	1,64	0,24
	16274	Bäcken uppströms, mättes på samma ställe som mätning 16162	3,7	3,2	15,7	1158	40	64	0,84	0,12
	16275	Bäcken uppströms, mättes på samma ställe som mätning 16162. Bakgrundsvärde	3,7	2,7	18,1	1158	33	73	0,86	0,13
4	16276	Kontrollpunkt 3, utfördes i närheten av mätning 16175	2,9	2,1	10,6	908	26	43	0,60	0,09
	16278	Kontrollpunkt 2, utfördes i närheten av mätning 16174	3,1	2,8	9,9	970	35	40	0,64	0,09
	16279	Kontrollpunkt 1, utfördes i närheten av mätning 16173	3,3	2,7	11,3	1033	33	46	0,68	0,10

Tall- og fargekoding angir:

1-blå=Maurtubekken nedströms kulvert under Maurtuveien,

2-grå=Bekken oppströms kum 62B,

4-grønn=Kontrollmåling.

Merknad: I den grad jernutfellinger dannes vil disse også inneholde radium. Målingene påvirkes av akkumulert radioaktiv utfelling og sedimentenes mineralogi. Beregningene forutsetter at det eksisterer likevekt gjennom hele henfallskjeden.

Målepunkt (gult rektangel) 16273 har høyest aktivitetskonsentrasjon for Ra. Innhold av U og Th er derimot overestimert da disse er beregnet fra antatt likevekt i henfallskjeden til U-238 og Th-232 (se kapittel 6).

Målepunktene (grønt rektangel) 16275 (bekken oppströms), 16272 (sandig sedim.; bekken nedströms), samt 16173 (Tabell 1, upåvirket prøve; TBM masser) er plottet i Figur 5.

Tabell 3. Resultater fra radonmålinger med RAD7-instrument.

Instrumentet skiller mellom radoninnhold fra uran-serien (Rn-222) og thorium-serien Radon-220 (Thoron).

Kartplassering av «Målepunkt» er vist i Figur 1. (Halveringstid er for 1) Rn-222 er 3,82 dager og 2) Rn220=55sek)

Måtpunkt	Benämning i Figur 1	Mätid	1) Rn-222	2) Rn-220
			Radon (Bq/m ³)	Thoron (Bq/m ³)
Radon 1	16276	0501	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 1	16276	0502	0.00 ± 154	0.00 ± 71
Radon 1	16276	0503	38.4 ± 186	67.6 ± 327
Radon 2	Radon 2	0504	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon2	Radon 2	0505	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon2	Radon 2	0506	0.00 ± 154	67.6 ± 327
Radon 3	16278	0601	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 3	16278	0602	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 3	16278	0603	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 4	16279	0701	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 4	16279	0702	38.4 ± 186	0.00 ± 271
Radon 4	16279	0703	0.00 ± 154	67 ± 327
Radon 5	16279	0704	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 5	16279	0705	38.4 ± 186	0.00 ± 271
Radon 5	16279	0706	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 6	Radon 6	0801	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 6	Radon 6	0802	0.00 ± 154	67.6 ± 327
Radon 6	Radon 6	0803	76.8 ± 210	135 ± 370
Radon 7	Radon 7	0804	0.00 ± 154	271 ± 348
Radon 7	Radon 7	0805	38.4 ± 186	203 ± 406
Radon 7	Radon 7	0806	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 8	Radon 8	0807	0.00 ± 154	67.6 ± 327
Radon 8	Radon 8	0808	0.00 ± 154	67.6 ± 327
Radon 8	Radon 8	0809	0.00 ± 154	67.6 ± 327
Radon 9	Radon 9	0810	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 9	Radon 9	0811	76.8 ± 210	135 ± 370
Radon 9	Radon 9	0812	0.00 ± 154	135 ± 370
Radon 10	Radon 10	0901	0.00 ± 154	67.6 ± 327
Radon 10	Radon 10	0902	38.4 ± 186	0.00 ± 271
Radon 10	Radon 10	0903	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 11	Radon 11	0904	0.00 ± 154	67.6 ± 327
Radon 11	Radon 11	0905	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 11	Radon 11	0906	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 12	Radon 12	0907	0.00 ± 154	67.6 ± 327
Radon 12	Radon 12	0908	0.00 ± 154	67.6 ± 327
Radon 12	Radon 12	0909	0.00 ± 154	135 ± 370
Radon 13	Radon 13	0910	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 13	Radon 13	0911	0.00 ± 154	67.6 ± 327
Radon 13	Radon 13	0912	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 14	Radon 14	0913	0.00 ± 154	203 ± 406
Radon 14	Radon 14	0914	76.8 ± 210	135 ± 370
Radon 14	Radon 14	0915	38.4 ± 186	0.00 ± 271
Radon 15	Radon 15	0916	0.00 ± 154	135 ± 370
Radon 15	Radon 15	0917	0.00 ± 154	0.00 ± 271
Radon 15	Radon 15	0918	0.00 ± 154	67.6 ± 327

7. Vurderinger

7.1. Uraninnhold i TBM-masser

Kjemisk analyser (2) av TBM-masser (Figur 1) fra borpunkt BP 1-4 viser noe høyere uraninnhold enn gammaspektrometriske målinger (Tabell 4). Urankonsentrasjoner i mg/kg og ppm er vist i tabellen ved Figur 4. Når gammaspektrometriske målinger utføres på kjernemateriale i kassene, som vist i Tabell 4 under og Figur 4, tyder urankonsentrasjon (ppm) på at målingene jevnt over gir noe lavere konsentrasjon enn kjemisk analyser. Dette skyldes trolig at målevolum for gammastråling var mindre i kassene med borkjerner enn i terrenget. Det kan likevel konkluderes med at konsentrasjonene i undersøkt kjernematerialet har tilsvarende lavt uraninnhold som målinger i terrenget, samt kjemiske analyser viser.

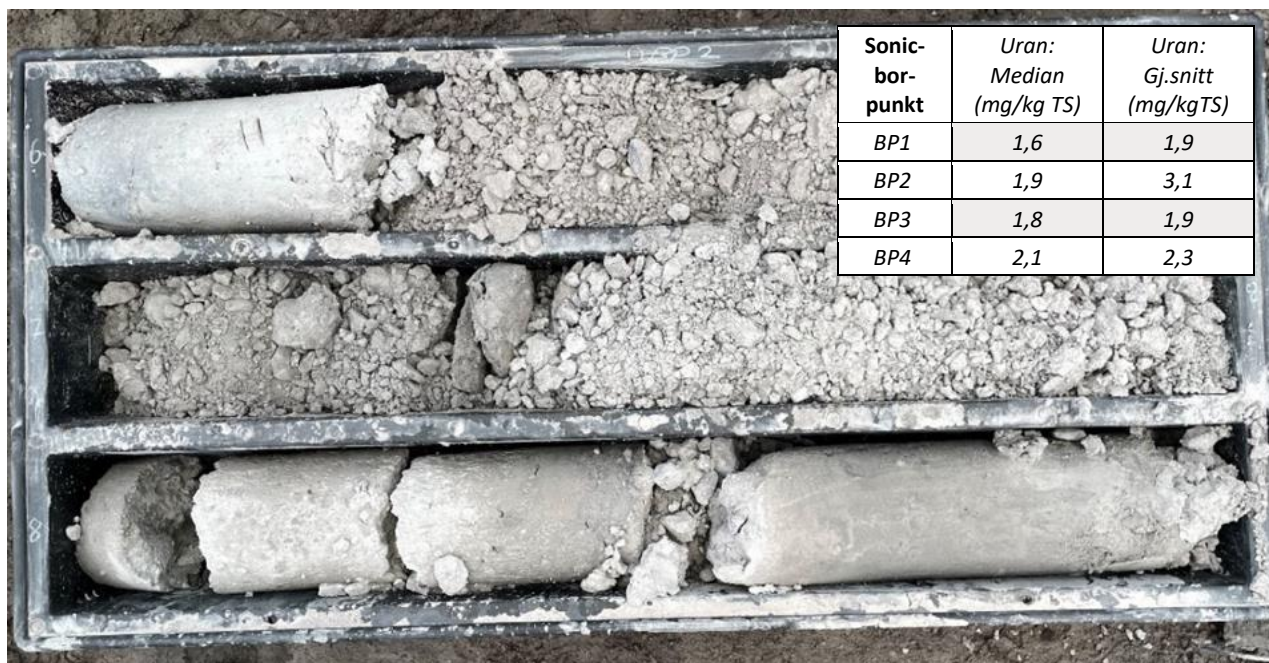
Tabell 4 sammenstiller i punkt A-F gjennomsnittsmålinger fra feltundersøkelse 1 (tabell 1) og punkt G viser intervallet for laveste og høyeste urankonsentrasjon ut fra analysert gjennomsnitt- og median-konsentrasjon i borpunkt 1- 4, hhv. 1,6- 3,1 mg/kg. Urankonsentrasjon som mg/kg tilsvarer ppm (parts per million), men kan ikke direkte sammenlignes med målt innhold fra de gammaspektrometriske målinger. Målt innhold av uran og thorium er trolig noe lavere enn det som er analysert i Sonic-borkjerner. Dette kan skyldes at målingene i terreng måler på et større massevolum enn det som er tilgjengelig i kassene med borkjerner

Målingene i bekken, hhv. punkt E og F er nær kum 62B viser noe høyere konsentrasjoner. Løsmasser/sedimenter i bekken er i kapittel 7.3.

Tabell 4. Gjennomsnittskonsentrasjoner av grupperte målinger fra feltundersøkelse 1 (Tabell 1). "Borkjerner" er her av TBM-masser, og representerer løsmasser fra terrengnivå til underliggende løsmasser (punkt D). Beregnet» U (ppm)» under punkt G benytter laveste og høyeste gjennomsnittskonsentrasjon (mg/kg=ppm). Forkortelse «I.A.» = ikke analysert.

STATISTISK SAMMENSTILLING: A-F: FELTUNDERSØKELSE 1 (TABELL 1) G: GJ.SNITT FRA KJ.ANALYSE «MEDIANKONS. BP1-4	K	U	TH	K	RA	TH	AKTIVITETS INDEKS	GAMMA STRÅLING
	(%)	(ppm)	(ppm)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(I)	µSv/h
A) GJSNITT: «BAKGRUNN» STD.AVVIK:	2,2 0,3	0,9 0,3	9,0 0,6	689,0 101	10,9 3,9	36,6 2,460	0,45 0,019	0,06 0,003
B) GJ.SNITT: «PROFIL/PLATÅ/PYRAMID» STD AVVIK:	3,0 0,3	2,2 0,4	10,9 1,7	936,0 105	27,6 5,5	44,3 6,702	0,63 0,074	0,09 0,011
C) GJSNITT: «BORKJERNER (BP)» STD AVVIK:	2,4 0,209	0,9 0,316	9,7 1,109	751,2 65,303	11,6 3,909	39,5 4,502	0,49 0,045	0,07 0,007
D) GJ.SNITT: «BORKJERNER M/TORV&LEIR» STD AVVIK:	2,4 0,208	0,7 0,321	9,1 0,503	740,8 65,156	9,1 3,970	37,1 2,043	0,46 0,043	0,07 0,006
E) GJ.SNITT: «BEKKEN OPPSTRØMS»	3,7	2,7	16,5	1205	32,7	67,0	0,85	0,12
F) GJ.SNITT: «BEKKEN NEDSTRØMS»	3,7	2,4	15,9	1142	29,0	64,5	0,80	0,12
G) KJEMISKE ANALYSER FRA BP 1-4, FIGUR 4 (2)	I.A.	1,6-3,1	I.A.	-	-	-	-	-

Sonic-boringen ble utført januar 2024. Figur 4 viser en kasse med 3x1 meter Sonic-borkjerne. Borkjernene er hentet ut fra terrengnivå ned til 20-29 meter under terreng. Deler av prøvematerialet var sendt til kjemisk analyse før Rejlers, ifm. feltundersøkelse 1, utførte gammaspektrometriske målinger på materiale i kassene. I Tabell 4 punkt C er gjennomsnittlig målt uraninnhold i kassene er 0,9±0,3 ppm (mg/kg) og kjemiske analyser i punkt G angir analysert innhold til mellom 1,6-3,1 ppm, se Tabell 4.



Figur 4. Kasse med borkjerner fra TBM-masser illustrert med borpunkt 4 (nivå 6-9m). Tabell over viser analysert innhold av uran i kjerneprøver fra borpunkt 1-4. Det er vist konsentrasjonene er vist som median- og gjennomsnittsverdier. Foto og kjemiske analyseresultater er hentet fra Bane NOR rapport (2)

TBM-massene innenfor område oppfylt med TBM-masser (Figur 1) inneholder bergartstyper som vist i Tabell 5, gneisbergarter vil dominere.

Uraninnholdet i bergartskjerner, løsmassekjerner og TBM-masser viser et lavt innhold av uran og thorium.

Tabell 5. Kjemisk innhold av uran og thorium i bergartskjerner fra Blix tunnelen (Bane NOR)

Kjemisk analyse av bergartskjerner fra TBM	Follobanen - Bergart	Prøvebeskr.	Parameter	Resultat: ppm
TBM4_20180721_18778_L_02. 0,7-0,8m	Fol-01 Suprakrustal gneis	Stein	Uran (U)	6,1
TBM4_20180721_18778_L_02. 0,7-0,8m	Fol-01 Suprakrustal gneis	Stein	Thorium (Th)	18
TBM4_20180721_18770_T_02. 0,8-1,0m	Fol-02 Granittisk gneis	Stein	Uran (U)	4,1
TBM4_20180721_18770_T_02. 0,8-1,0m	Fol-02 Granittisk gneis	Stein	Thorium (Th)	17
TBM4_20170220_13039_T_02. 1,0-1,1m	Fol-03 Amfibolitt	Stein	Uran (U)	<1,1
TBM4_20170220_13039_T_02. 1,0-1,1m	Fol-03 Amfibolitt	Stein	Thorium (Th)	<1,1
TBM4_20180717_18701_T_L_02. 0,8-1,0m	Fol-04 Tonalittisk gneis	Stein	Uran (U)	3,5
TBM4_20180717_18701_T_L_02. 0,8-1,0m	Fol-04 Tonalittisk gneis	Stein	Thorium (Th)	16
TBM4_20180814_19052 0,5-0,6m	Fol-05 Biotittisk gneis	Stein	Uran (U)	1,5
TBM4_20180814_19052 0,5-0,6m	Fol-05 Biotittisk gneis	Stein	Thorium (Th)	7,8
TBM4_20180727_18863_T. 0,0-0,1m	Fol-06 Pegmatitt	Stein	Uran (U)	4
TBM4_20180727_18863_T. 0,0-0,1m	Fol-06 Pegmatitt	Stein	Thorium (Th)	3,3
TBM1_20170805_07577_T_02. 0,0-0,07m	Fol-07 Porfyr	Stein	Uran (U)	6,3
TBM1_20170805_07577_T_02. 0,0-0,07m	Fol-07 Porfyr	Stein	Thorium (Th)	21
Gj.snitt: Uran (U)				3,8
Gj.snitt: Thorium (Th)				12,0

7.2. Radoninnhold i TBM-massene

De målte verdiene av uran og de beregnede nivåene av radium var lave og under grenseverdiene som Statens strålevern har satt i rapporten StrålevernInfo 6:15 (1). StrålevernInfo angir grenseverdier på 12 ppm uran og 150 Bq/kg radium. Rejlers høyeste målinger var 2,9 ppm uran og 36 Bq/kg radium.

Det ble også, som del av feltundersøkelse 2, utført radonmålinger med RAD7-instrumentet (Tabell 3). Dette for å sikre at tidligere utførte målinger med gammaspektrometeret stemte. RAD7 målingene bekreftet lave utslipp av Radon-222 og Radon-220 fra TBM-massene.

Rejlers har altså ikke funnet tegn til forhøyede radonnivåer i luften over TBM-massene, noe som er helt i tråd med at det heller ikke ble avdekket unormalt høye nivåer av hverken uran eller thorium.

Dette for å sikre at tidligere utførte målinger med gammaspektrometeret stemte. RAD7-målingene bekreftet lave utslipp av Radon-222 og Radon-220 fra TBM-massene.

Målsetningen var å dekke et større område slik at eventuelle forhøyde konsentrasjoner kunne avdekkes. anbefalt målstrategi var «kort-tidsmålingene» som ble utført på 15-30 minutter, disse målingene har høy analyseusikkerhet. Det er derimot målt flere steder innenfor hvert punkt for å redusere usikkerhet knyttet til lokale variasjoner ved hvert målepunkt.

7.3. Radioaktivitet i bekkersediment

7.3.1. Feltundersøkelse 1

På tidspunktet for den første måleserien (2024-04-16 - 2024-04-17) hadde området nylig vært utsatt for nedbør, og den tidligere observerte jernutfellingen ved bekken for avrenningen fra området trolig vasket bort. Målingene, ved kum 62B (Figur 2), ble da utført på masser med ubetydelig innhold av jernoksider. Tabell 4 (punkt E og F) angir et uraninnhold på 2,4-2,7 ppm og en aktiviteskonsentrasjon på radium på 29-33 Bq/kg. Her er «oppstrøms»- og «nedstrøms»-måling relativt like. Sedimentene ble visuelt klassifisert som grus med grovere fraksjoner.

7.3.2. Feltundersøkelse 2

Under målingene som ble utført 1. juli 2024, ble stein-, grus- og sandbanker undersøkt i den del av Mautbekken som ligger nedstrøms Mautuveien. Dette for å undersøke om dreinsvann fra TBM-massene har medført forhøyet innhold av radioaktive stoffer i nedstrøms sediment. Resultatene er samlet i Tabell 2.

Det ble målt høyere konsentrasjoner av kalium, uran og thorium nedstrøms enn i TBM-massene, og de høyeste konsentrasjonene ble målt i bunnen av bekken. Sedimentet også av finere kornstørrelse (Figur 3). Dette kan ha bidra til høyere konsentrasjoner av de målte stoffene.

Under målingene som ble utført 1. juli 2024 var det var mulig å utføre målinger på tørrlagte jernoksider på stein, grus og sandige sedimenter, i bekken nedstrøms. Det ble funnet klart forhøyede målte konsentrasjoner nedstrøms, noe som ut fra metodebeskrivelsen, hvor det antas likevekt i henfallsskjeden, kan tolkes som tilstedeværelse av U og Th. De høyeste konsentrasjonene ble dokumentert ved målepunkt lengst ned i bekken, her var også sedimentet av finere kornstørrelse. Dette kan favorisere høyere konsentrasjoner av de målte radioisotopene.

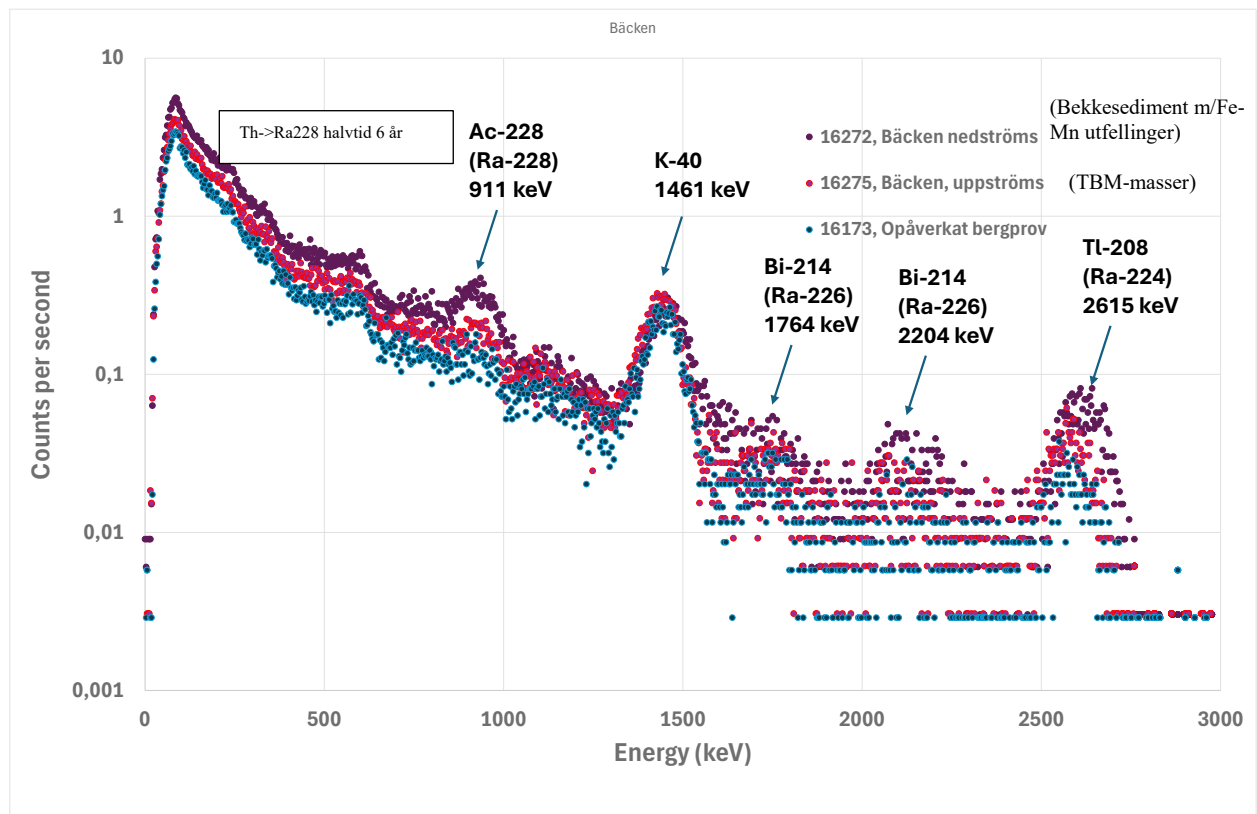
Det ble altså observert forhøyede nivåer av, som tidligere er nevnt i rapporten, radionukleider i uranserien (Bi-214) og i thoriumserien (Tl-208). Tilstedeværelsen av disse, og den relativt raske

dannelsen av dem er en klar indikasjon på at det hovedsakelig er isotopene Ra-226 i uranserien og Ra-228 i thoriumserien som har blitt frigjort fra TBM-massene og anriket i jernutfellinger og finkornede sedimenter. Det kan avvises at disse isotopene er et resultat av mobilitet av foreldrenuklidene U-238 og Th-232, ettersom dette krever svært lang tid med vekst av datternuklidene i jernutfellingene (100-talls år i uranserien, minst i thoriumserien 10 år, Figur 6) for å kunne måle de gammaaktive isotopene.

Teoretisk sett er det selvfølgelig en mulighet for at Th og U har blitt frigjort sammen med sine datternukleider. For resultatene i Th-serien anses ikke dette som sannsynlig, siden Th er svært lav løselig. Når det gjelder U, har de tidligere refererte målingene av innsjøsedimenter i området vist anrikning av U, noe som betyr at det ikke kan utelukkes at både U og Ra er utvasket fra bergmassene. For å få informasjon om eventuell fiksering av mobilt U og Th i jernoksidene må imidlertid disse prøvetas og sendes til analyse, f.eks. ved ICP-MS, der U og Th måles direkte og ikke på datterisotopene, slik det ble gjort i dette tilfellet.

7.3.3. Tolkning av gammaspektra

Gammaspektrene er ekstrahert og evaluert ut fra det målbare topparealet i forhold til bakgrunnen, se Figur 5 «Eksempler på gammaspektra fra målingene av de ulike prøvetypene», med nærmere beskrivelse under figuren.



Figur 5. Eksempler på gammaspektra fra målingene av de ulike prøvetypene; "16272, Bekken nedströms", "16275 Bekken oppströms" og "16173, Upåverket bergpröve". Topper fra de ulike kortlivede radioisotoper er angitt: I thorium serien måles Ac-228 som vist med 911keV toppen. Videre kan det antas likevekt mellom kortlivede isotoper og aktiviteskonsentrasjon til Ra-228 beregnes. "Bekken nedströms" punktene danner gir flere "counts per second" enn de andre prøvetypene.

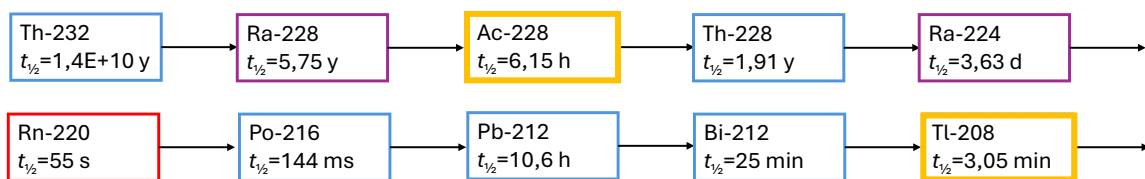
K-40 er her et unntak. Denne langlivede isotopen har en halveringstid på ca. 1 milliard år og punktskyene viser at det

er svært liten forskjell på de tre prøvetypene. Isotopen er ikke mindre viktig i denne sammenheng, men den viser en stabil topp som ikke differensierer de forskjellige prøvetypene.

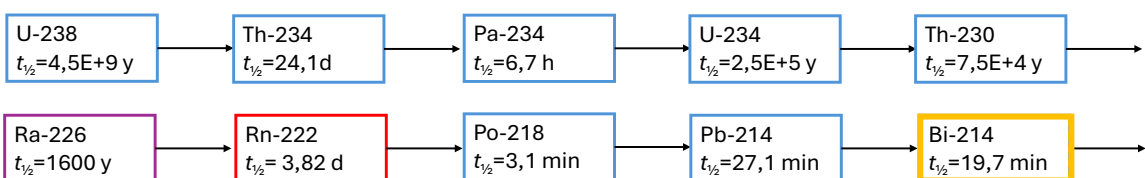
De ulike isotopene i uran- og thoriumseriene er illustrert i Figur 6. For isotopene i thoriumserien finnes det to målbare gammaisotoper:

- Ac-228 ($t_{1/2}=6,15$ h), dominerte toppen ved 911 keV. Dette kan forventes å være i likevekt med Ra-228 ($t_{1/2}=5,75$ y), som er det første henfallsproduktet etter Th-232.
- Tl-208 ($t_{1/2}=3,05$ min), dominerende topp ved 2615 keV. Dette kan forventes å være påvirket av frigjøring av Ra-224 (3,63 d) fra bergarten, men det er to grunner til at måling av Tl-208 underestimerer den faktiske mengden Ra som frigjøres:
 - Ra-224 henfaller til Rn-220 ($t_{1/2}=55$ s) som er en gass og kan forventes å frigjøres fra bergartsmaterialet, og at det derfor vil være "manglende" aktivitet fra døtrene (f.eks. Tl-208) i jernutfellingene.
 - Den relativt korte halveringstiden til Ra-224 (3,63 d) betyr at den utarmes raskt fra jernutfellingene når disse ikke lenger eksponert for vann som inneholder radium. Det forventes at modernukliden Th-228 ($t_{1/2}=1,91$ y) aldri har blitt vasket ut fra TBM-massene. Ra-224 må da overtid dannes fra Ra-228 ($t_{1/2}=5,75$ y) som deretter danne likevekt med sine datternukleider, til disse utarmes.

Thorium-serien



Uran-serien



Fargekode ut fra isotopens forventede løselighet (mobilitet) i grunn- og overflatevann

Ikke mobilt, (unntak U(VI) som vannløst «stabil»)

Forventet mobilt som Ra^{2+}

Forventet avgassing av Rn-isotop (radon)

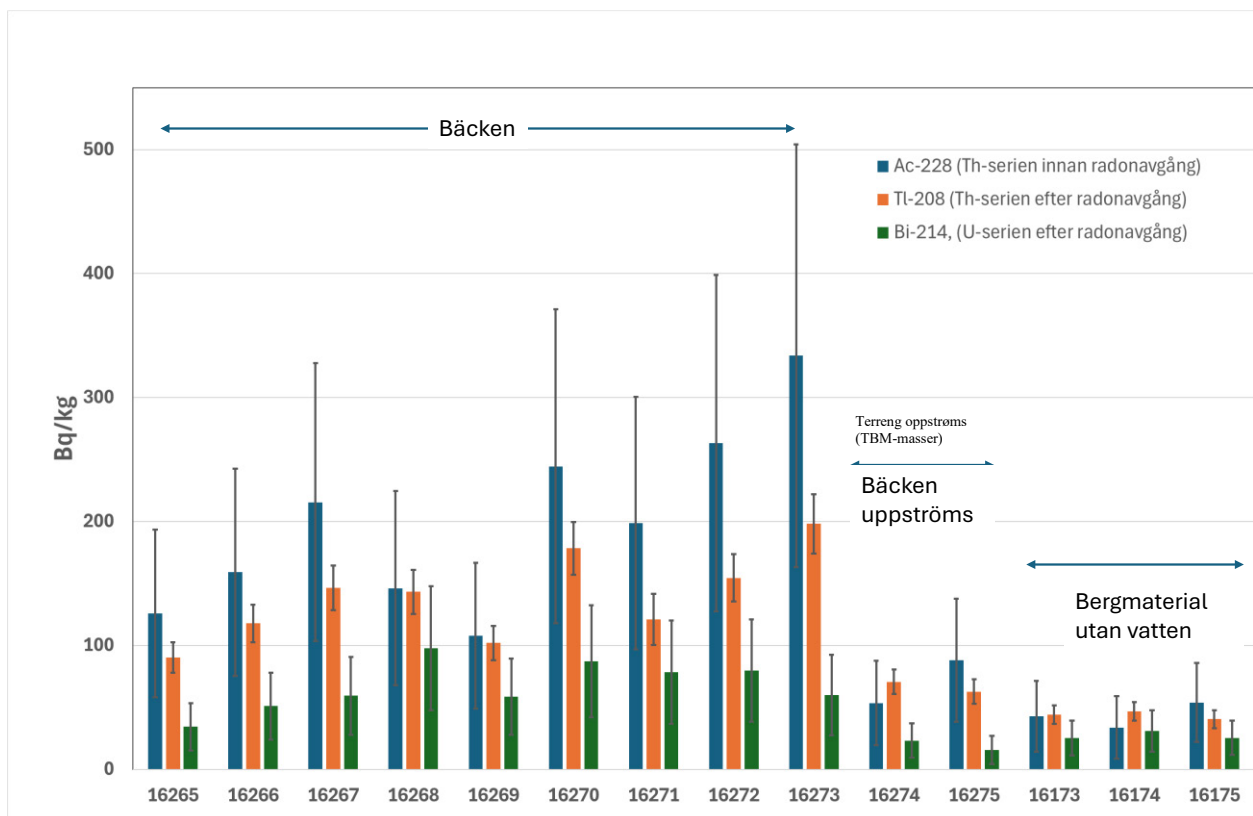
Isotop som kan måles med γ -spektrometre: I bekkesediment er disse dannet *in-situ* (fra henfallskjeden)

Figur 6. Radionukleider tilhører thorium- og uranseriene, og deres ulike forventede egenskaper som brukes i tolkningen av måleresultater, som fra drensvann til bekkeprøvene. (Se også kapittel 1; «Generelt om mobilisering av radium (II), uran (VI), thorium (IV) og radon (gass) i vann.»)

Tolkning av disse prøvene er presentert i Figur 7. Tolkning av aktiviteten til Ra-228 (via datterisotopen Ac-228) er vanskelig å utføre siden instrumentets innebygde kalibrering kun bruker Tl-208-toppene ved 2615 keV, og det ikke finnes noen innebygd mulighet til å evaluere aktiviteten til Ac-228. I denne tolkningen er imidlertid målinger fra punktene 16173 og 16175 brukt som kalibrering, dette er rene bergartsprøver uten synlig jernoksidutfelling, så det kan forventes at det er radioaktiv likevekt i hele thoriumserien i disse prøvene, dvs. at aktiviteten til Th-232 gjenspeiler aktiviteten til alle datterisotopene.

Sammenligner man aktiviteten av Ac-228 med Tl-208, ser man at for prøver påvirket av jernutfelling, synes aktiviteten av Ac-228 være høyere enn aktiviteten av Tl-208, noe som tyder på at prosessene, som beskrevet ovenfor dvs. frigjøring av kortlivet radon og/eller ubalanse på grunn av henfall av Ra-224, har påvirket disse prøvene. Det er derfor rimelig å forvente at grunnkalibreringen av instrumentet vil føre til en underestimert av Ra-228 og Ra-224. Disse frigjøres fra bergmassene og anrikes i nedstrøms i jernoksider.

Når det gjelder den antatte utvaskingen av Ra fra uranserien (Ra-226, $t_{1/2}=1600$ år), er det bare isotopen Bi-214 som kan måles, og denne skjer etter dannelsen av Rn-222 ($t_{1/2}=3,82$ d). Siden denne radonisotopen er betydelig mer langlivet enn den tilsvarende isotopen i thoriumserien (Rn-220, $t_{1/2}=55$ s), er det grunn til å anta at det har skjedd en betydelig større frigjøring fra jernoksidene, og at målingen via datterisotopen Bi-214 trolig underestimerer den reelle mengden Ra-226 anrikt i jernoksidene.



Figur 7. Maurtubekken: Resultater fra målingene av prøvene i bekkeområdet, sammenlignet med rene bergartsprøver der det ikke har funnet sted anrikning av jernoksider

Resultater fra måling av løsmasser/sedimenter i Maurtubekken sammenlignet med rene bergartsprøver der ikke er påvist anrikning av jernoksider.

7.3.4. Måleusikkerhet - Jernutfellinger

Det bør bemerkes at målingene har usikkerhet som følge av at kalibrering er utført på upåvirkede bergartsprøver. Usikkerhetene er størst for målingene av Ac-228 (Ra-228).

I disse tilfellene er det relativt små toppe i spektrene ved 911 keV og svært lite signal over bakgrunnsnivået (se Figur 5). Også for målingene av Bi-214 (Ra-226) er toppene diffuse, og det er svært lite signal over bakgrunnsnivået, noe som medfører en usikkerhet i kalibreringen.

Generelt kunne målingene med fordel ha vært utført med lengre måletid, noe som ville gitt mer definert punktsky i Figur 5.

7.3.5. Måleusikkerhet – Grunnkalibrering vs. tolket gammaspektra

Instrumentets grunnkalibrering, for bruk av metoden for U-, Th- og K-bestemmelse i bergmateriale, er utført med en homogen fordeling av radionukleider i bergmaterialet. I disse målingene er den største mengden til stede på løsmasser/sedimenter hvor overflaten er dekket av jernoksider, og det er en mulighet for at tolkningen overestimerer mengden av radionukleider.

Nærmere bestemt er instrumentet kalibrert på støpte betongplater (Borlänge flyplass) der kjente nivåer av U, Th og K er blandet inn.

7.4. Fremtidig arealbruk og forhold knyttet til radium og radon

I dag infiltreres TBM-massene av vann fra sideterrenget og nedbør. Grunnvannstand i massene er normalisert etter at pumpene i kum 62B ble fjernet i 2022, og drens vann strømmer i dag fritt ut av kummen. Radonkonsentrasjonen i kummen varierte i 2024 mellom 13-23 Bq/l, dette er konsentrasjoner som må ansees som lave sammenlignet med naturlig grunnvann. Grenseverdien for radon i drikkevann er 100 Bq/l (3).

TBM-massene har en mineralogi som tilsier lav radonrisiko. Radonmålingene (tabell 3) viser at det ikke er påvist forhøyede radonkonsentrasjoner, følgelig er det ikke behov for spesielle tiltak utover de vurderinger og tiltak som kreves i et byggeprosjekt.

Når området en gang i fremtiden utvikles til en ny bydel i Oslo (Gjersrud-Stensrud) vil all bebyggelse få vannforsyning fra kommunalt nett, og ikke lokale grunnvannsbrønner i TBM-massene.

Drikkevannbrønner til eksisterende boliger i nærområdet: Drikkevannsovervåkning dokumenter at sigevann fra område som utfyllt med TBM-masser ikke drenerer til og forurensar lokale drikkevannsbrønner. Det prøvetas per i dag hver annen måned.

8. Konklusjon

Området skal i fremtiden utvikles til boligområde. Masser innenfor Bane NORs anleggsområde på Åsland skal tilfredsstillende krav knyttet til radioaktivitet ved slik fremtidig arealbruk. Det er konkludert med at TBM-massene har et lavt innhold av radioaktive stoffer. Dette er videre dokumentert med et RAD7 instrument. RAD7 kartlegging fant ikke tegn til forhøyet radonnivå i luften over TBM-massene.

Avrenning fra TBM-massene skal i liten grad forringe nedstrøms bekkesystem, her Maurtubekken. Bekken er en liten og tidvis nær tørrlagt bekk som via Myrer- og Stensrubbekken renner ut i Gjersrudtjern. Bekkene er del av nedbørsområdet til Ljanselva.

Vann som infiltrerer TBM-massene ledes til områdets hoved-drenering, som videre leder vannet til kum 62B lengst nord på det oppfylte området. Geokjemiske prosesser i massene medfører at mineraler og tilført sulfat løses og ledes til Maurtubekken via kummen.

Generelt sett vil radium være mest mobilt, etterfulgt av uran. Urankomplekset vil her i hovedsak være kalsium-uranyll-karbonat. Kalsium-uranyll-karbonat er et «stabilt» vannløst kompleks som under de gitte geokjemiske betingelser «ikke felles», hverken i TBM-massene, i løsmasser eller i bekkene. Radium er her mobilt i TBM-massene. Når drens vannet igjen blir mer oksygenholdig dannes jernoksider. Radium absorberes på jernoksider i bekken/bekkesedimenter.

Målingene ved kum 62B, og videre i Maurtubekken, viser at sedimentene gradvis får økende innhold av radium, men konsentrasjonene regnes som lave.

Det ble altså dokumentert forhøyede nivåer av radionukleider i uranserien (Bi-214) og i thoriumserien (Tl-208). Tilstedeværelsen av disse er en klar indikasjon på at det hovedsakelig er isotopene Ra-226 i uranserien og Ra-228 i thoriumserien som har blitt frigjort fra TBM-massene og anriket i jernutfellinger i Maurtubekken. Måleusikkerhet, i forhold til instrumentets grunnkalibrering vs. tolket gammaspektra, tilsier at tolkningen kan ha overestimert ha mengden av radionukleider i bekkersedimentene.

9. Referanseliste

1. **Statens Strålevern.** Strålevern Info 6-15. *DSA Publikasjoner*. [Internett] 2015.
https://dsa.no/publikasjoner/straleverninfo-6-2015-radon-fra-tilkjorte-masser-under-bygg--anbefalt-grenseverdi/StralevernInfo_6-15.pdf.
2. **Multiconsult AS.** *Follobaneprosjektet, Tilbakeføring Åsland, Undersøkelser av prøver fra Sonic-boringer*. Follobaneprosjektet. s.l. : Bane NOR, 2024. s. 19.
3. **FHI.** Håndbok om innhold i drikkevann. *Radon*. [Internett]
<https://www.fhi.no/sm/drikkevann/handbok-innhold-i-drikkevann/innhold-i-drikkevann/kjemikalier-i-drikkevann/?term=#radon>.
4. **Fidel Grandia, Alba Valls, Maria Abada, Eva-Lena Tullborg & David García.**
Quantitative assessment of the impact of water treatment in tunnel construction of Follo Line on the uranium release from TBM soil deposits; Report on uranium mobility and radioecological impact. . s.l. : Amphos21, 2023. Report code: 3743_ Acciona_FolloLine_A21_IP_v1.

10. Vedlegg

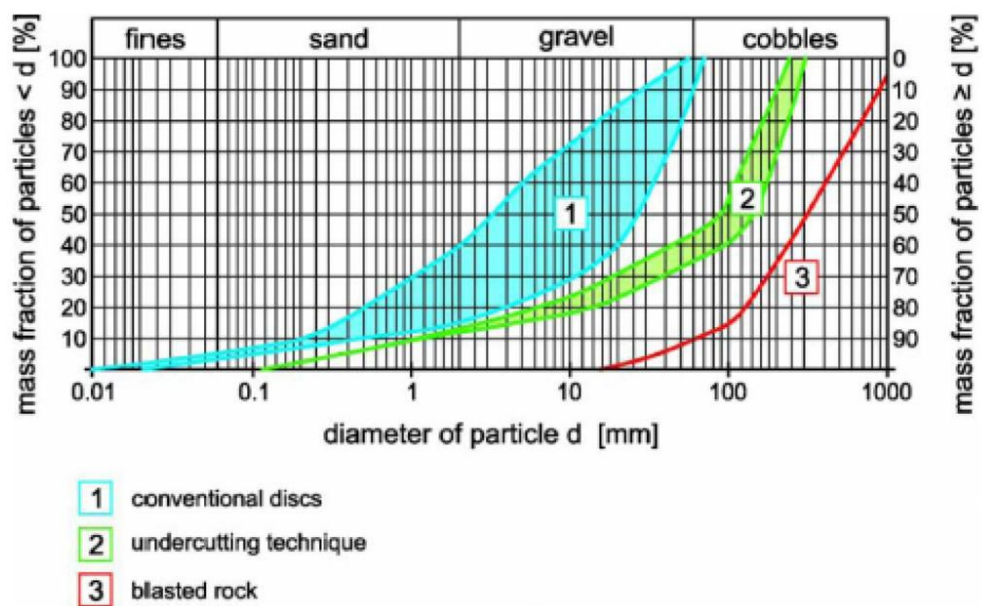
Vedlegg 1: Kort om prosesser som påvirker TBM-massenes sammensetning:

1. **TBM-boring:** a) Betongarbeider under driving/boring b) Kjøling med rensset prosessvann.
 - a. Sprekkesoner i berget ble etter behov tettet med injeksjons-sement.
 - b. Under selve boringen anvendes resirkulert rensset tunnelvann til kjøling av kutterhodene. (Info: Disse er montert på et TBMenes roterende skjold ($D=10,2m$)). Underveis i prosessen monteres betongringer som utgjør selve tunnel-løpet, videre fylles spesial-betong mellom betongringene og fjellet.)
 - c. Betongarbeidene påvirker alkaliteten til vann som lekker inn i tunnelen. Vann fra kjøling av TBMenes kutterhoder, samt innlekkasje av grunnvann, pumpes til renseanlegg på Åsland og renses før videre gjenbruk til kjøling, eller påslipp til Bekkelaget renseanlegg.
Renset prosessvann er bl.a alkalisk og inneholder sulfat bl.a. fra renseprosessen som reduserer krom-VI til krom-III. Dette vannet bindes kapillært i de nedknuste massene (se punkt 2)
2. **Utlagt TBM-masse:**

Nedknuste bergmasser, bestående av prekambriske bergarter, rester av injeksjonsbetong og tilført rensset prosessvann, ble transportert til Åsland med transportbånd. Figur under sammenligner forskjellige drivemetoder. TBM-massenes kornfordeling vil ligge innenfor kategori 1.

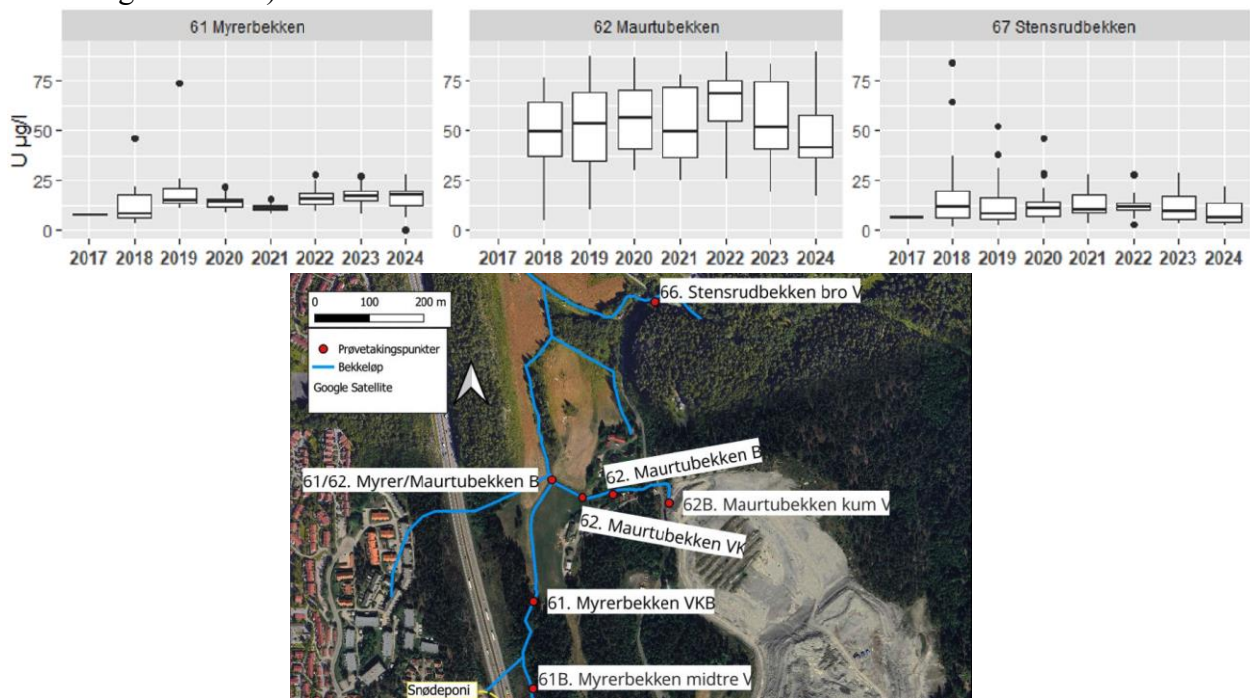
 - a. På Åsland er massene lagt ut lagvis og komprimert.
De friske uforvitrede bruddflatene vil påvirkes kjemisk av bl.a. tilført oksygen og alkalitet som bidrar til å oksidere og mobilisere bl.a. seksverdig uran (4).
 - b. Finknust masse vil holde på kapillært bundet vann og dette vannet vil inneholde bl.a. sulfat.
 - c. Infiltrasjon og utvasking skjer gjennom de inhomogene TBM-massene, med mektighet på opp til 20 meter.
 - d. Det foreligger kvalitativ dokumentasjon som
 - i. geokjemisk modellering (4) samt denne rapporten som omhandler radiometrisk vurdering av TBM masser samt bekkesedimenter i Maurtubekken.
 - ii. kjemiske analyser i form av utlekkings tester, porevann og grunnvann.
 - iii. I tillegg er det serier med isotopanalyser fra forskjellige vanntyper i området. Det er analysert på stabile isotoper av strontium, oksygen og sulfat, dette arbeidet er utført av IFE.

- e. TBM massenes kornfordeling: Massene vil generelt ha kornfordeling innenfor diagrammets blå kategori (1). Diagrammet sammenligner tre drivemetoder.



Vedlegg 2: Kort om det oppfylte området, massene og avrenning:

- Massene kommer fra tunneldrift med tunnelboremaskiner (TBM) og består av knuste bergmasser, hovedsakelig gneis. Kjemisk analyse av bergartskjerner boret fra TBMe viste et uraninnhold på <1-6 mg/kg (Tabell 5).
- Bane NOR overvåker resipientene ved Åsland, her inngår vannkjemi og økologi. Siden 2018 er har urankonsentrasjon i vann inngått i overvåkningsprogrammet (NIBIO årsrapport 2024, se figurer under)



- Det oppfylte området har ligget uendret siden 2019. Infiltrert nedbør og tilsig fra tilgrensende områder har over tid infiltrert massene og vasket ut blant annet naturlig uran og tilført sulfat.
- Vann fra oppstrøms nedbørsfelt for Maurtu- og Myrerbekken ledes over anleggsområdet både i midlertidig og permanent situasjon. Massenes mektighet vil i fremtiden være inntil 20 meter over underliggende terreng. Hoved-dreneringen, i den oppfylte delen, følger opprinnelig terreng og leder infiltrert vann fra syd mot nord til en betongkum (ID 62B) hvor drensvannet siden 2022 presses opp (artesisisk) og ledes til Maurtubekken. Fra 2017-2022 ble dette vannet pumpet gjennom et vannrenseanlegg og videre til samme bekk.
- Infiltrert nedbør kan ha mange års oppholdstid i TBM-massene før det når drensrør og ledes til kum 62B. De nedknuste massene er under tunnelboringen påvirket av renset prosessvann (tunnelvann), bergartenes sammensetning og sprekkesoner som før boring ble tettet med injeksjonssement, dette er også et bidrag i geokjemiske prosesser som forklarer hvorfor nedknuste bergarter fra tunnel-traséen, med lavt innhold av uran, lekker forhøyede konsentrasjoner av seksverdig uran. Siden 2022 har gjennomsnittskonsentrasjonene i Maurtubekken vært avtagende. Forhøyede konsentrasjoner med mobilisering av uran forklares med geokjemiske prosesser i løsmassene (4)
- Bane NOR har gjennomført omfattende kartlegging av TBM-massenes kjemi og utlekkingssegenskaper.