



NY VANNFORSYNING OSLO

Vedlegg til søknad om endret tillatelse for bruk av masser fra bergarter med lokalt forhøyede bakgrunnsnivåer av metaller

02K	Korrigert iht. kommentarer	25.02.2022	TFL/HEM/SIGO	GB	LH
01K	Kommentarutgave til VAV	24.02.2022	TFL/HEM/SIGO	GB	LH
Revisjon	Årsak til utgivelse	Dato	Utarbeidet	Kontrollert	Godkjent
NY VANNFORSYNING OSLO E8 FORBEREDENDE ARBEIDER Vedlegg til søknad om endret tillatelse for bruk av masser fra bergarter med lokalt forhøyede bakgrunnsnivåer av metaller		Sider: 21	Kontraktsnr: NVO DP3		
			Gradering: ÅPEN		
		Utarbeidet av:	Multiconsult		
 Oslo Vann- og avløpsetaten		Dokumentnummer: NVO-MCA-901-HK-003-0		Revisjon: 02K	

Innholdsfortegnelse

1	Innledning og sammendrag.....	3
2	Områdebeskrivelse.....	5
2.1	Utfyllingslokalitet og resipient	5
2.2	Grunn og bunnforhold.....	6
2.3	Beskrivelse av forurensningssituasjonen i sedimentene	6
2.3.1	Utfyllingsområdet øst for Holmen.....	6
2.3.2	Indre og midtre deler av Drammensfjorden	8
3	Klassifisering av sediment og jord	11
3.1	Sedimenter	11
3.2	Jord / finstoff fra mineralsk materiale.....	12
3.3	Representativitet og metode for å vurdere metalkonsentrasjoner.....	12
4	Naturlig bakgrunnsnivå av metaller i berggrunnen i Drammen- og Oslo-området	13
4.1	Konsentrasjoner av nikkel i masser fra NVO og FOB.....	15
5	Utfyllingsmetode	16
6	Miljørisikovurdering av aktuelle utfyllingsmasser fra NVO og FOB	17
6.1	Nikkelinnhold i utfyllingmasser	17
6.1.1	Anleggsperioden.....	17
6.1.2	Permanent situasjon	19
7	Referanser	20

Vedlegg

Vedlegg 1 – Sammenstilling av analyseresultater fra utførte analyser av bergmasser fra NVO, Fornebubanen, andre prosjekter og pukkverk i Oslo-området

1 Innledning og sammendrag

Vann- og avløpsetaten (VAV) har fått i oppgave å etablere en ny, fullgod reservevannforsyning for Oslo kommune.

Fjellarbeidene (hovedsakelig tunneler og fjellhaller) vil generere store mengder overskuddsmasser av stein. I den forbindelse har VAV og Drammen Havn inngått en avtale om at steinmasser fra NVO skal benyttes i pågående utvidelse av Drammen Havn ved Holmen ved utfylling i sjøen. Man prøver også å tilrettelegge for at steinmasser fra Fornebubanen (FOB) kan benyttes ved behov.

Utfyllingen av trinn 3 i Drammen Havn utføres iht. en tillatelse gitt av Statsforvalteren i Oslo og Viken (SFOV) (saksnr. 2020/20237, tillatelsesnr. 2020.1097.T). I det siste vedtaket om endring i tillatelsen av 8.feb. 2022, stilles det krav om å legge et tildekkingslag på 0,3 m over stedlige sedimenter før oppfylling med stein begynner. Tildekkingsmassene skal være frie for forurensning og skal tilfredsstillende tilstandsklasse II henhold til Miljødirektoratets veileder *Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota* (M-608/2016) (1). Det stilles ikke krav til utlegging av tildekkingsmasser der sjøbunnen allerede er dekket av eksisterende fylling. Tillatelsen stiller i tillegg krav til at eventuelle fine masser som følger utfyllingsmassene ikke skal overstige konsentrasjonsgrensene tilsvarende tilstandsklasse II for sediment.

Kjemiske analyser av bergartene fra NVO og FOB viser at spesielt skifere fra kambrosilur-lagrekken og hornfels (omdannet skifer) har en noe høyere gjennomsnittlig bakgrunnsverdi for nikkel enn tilstandsklasse II for sediment. Undersøkelser av 105 prøver av nedknuste masser fra NVO, FOB og andre prosjekter og pukkverk på Østlandsområdet (E18 Vestkorridoren, Vestfoldbanen Drammen-Kobberviksdalen, Franzefoss - Steinskogen pukkverk), viser videre at berggrunnen i regionen jevnt over har et høyere innhold av nikkel enn grenseverdien for tilstandsklasse II i sedimenter. I datagrunnlaget er det også påvist innhold av sink og arsen over tilstandsklasse II i hhv. fire og én prøve, samt to avvikende, høye resultater for kobber i prøver av rombeporfyr fra Bærum.

SFOV har opplyst om at vurdering av enkeltprøver har vært vanlig forvaltningspraksis ved vurdering av hvilke masser som kan fylles ut og ikke. I store anleggsprosjekter med uttak av flere tusen og millioner m³ med berg, er det i realiteten ikke gjennomførbart å sortere små batcher basert på resultater fra enkeltprøver. Multiconsult mener at statistiske vurderinger av metallinnholdet er en mer egnet metode i slike tilfeller med naturlig forhøyede bakgrunnsnivåer.

Kravet til finstoffets metallinnhold i eksisterende utfyllingstillatelse for trinn 3 og opplysningen om vurderingsmetode, medfører derfor at NVO og FOB ikke kan levere utfyllingsmasser til Drammen Havn. Dette vil i så fall ha store konsekvenser for massehåndteringen til prosjektene og utfyllingsprosjektet til Drammen Havn.

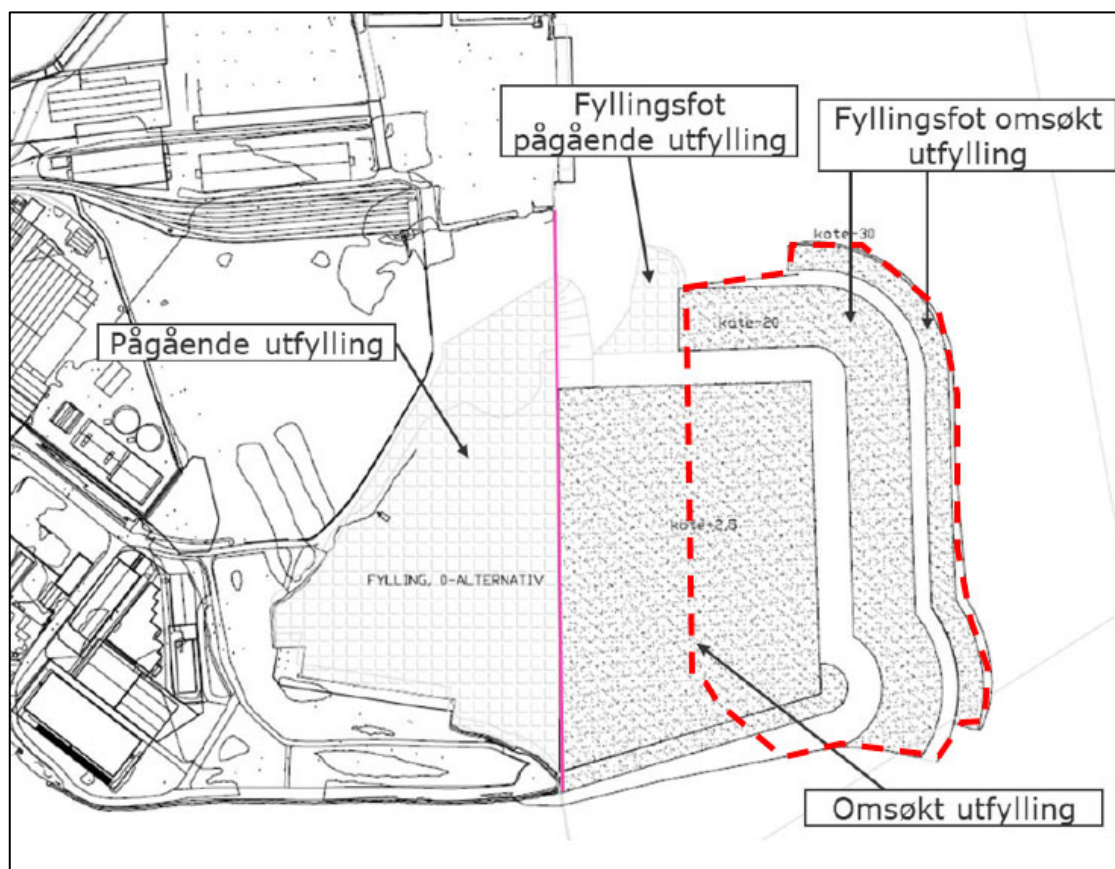
Det søkes derfor om endret tillatelse for utfyllingens trinn 3. Det anmodes om tillatelse til bruk av masser fra berggrunn med naturlig forhøyede bakgrunnsnivåer av enkelte metaller. Masser med bakgrunnsnivåer over forureningsforskriftens normverdier regnes ikke som forurenset grunn, jf. forskriftens § 2-3, men masser som benyttes kan likevel ikke medføre uakseptabel miljørisiko.

I denne rapporten er det utført en miljørisikovurdering som konkluderer med at massene fra NVO og FOB med lokalt forhøyede bakgrunnsnivåer av metaller kan benyttes i utfyllingen uten miljømessig uakseptable virkninger på fjorden.

2 Områdebeskrivelse

2.1 Utfyllingslokalitet og resipient

Utfyllingsområdet ligger på øya Holmen, i munningen til Drammenselva. Elva har en middelsvannføring på ca. 310 m³/s. Planlagt utfyllingsområde ligger i vannforekomsten Drammensfjorden-indre (vannforekomst ID: 0101020801-C). Drammensfjorden-indre er klassifisert i dårlig økologisk og kjemisk tilstand (2). Den dårlige økologiske tilstanden skyldes først og fremst indeksene for bløtbunnsfauna, innhold av organiske miljøgifter i biota (torsk) samt innholdet av næringssalter. Den dårlige kjemiske tilstanden skyldes først og fremst forurensningstilstanden i sedimenter (bl.a. metaller, PAH-forbindelser og TBT) og innholdet av organiske miljøgifter i biota (bl.a. torsk og krabbe). Prosjektet Ren Drammenfjord har utført flere omfattende undersøkelser i perioden 2008-2020. I årsrapportene fra 2015 (3) og 2020 (4) konkluderes det med at vanddirektivets mål om god kjemisk tilstand ikke er nådd, men at tilstanden i fjorden er i bedring, bl.a. ser det ut til at naturlig tildekking i dypere akkumulasjonsområder (> ca. 40 m) reduserer forurensningsnivået i overflatesedimentene. TBT ansees som den betydeligste miljøforurensningen i Drammensfjordens sedimenter. Figur 1 viser en tegning av utfyllingsområdet for trinn 3 øst på Holmen (5). Rødstiplet område angir ca. arealet der prosjektet er pålagt av Statsforvalteren å legge ut et tildekkingslag før utfylling av stein kan starte. Det er estimert at arealet av utfyllingsområdet i trinn 3 er ca. 270 000 m² inkludert arealet av fyllingsfoten.



Figur 1. Tegning over utfyllingsområdet øst på Holmen. Området vest for den rosa linjen indikerer utfylling i trinn 2, og rutete mønster øst for den rosa linjen indikerer den tilhørende fyllingsfoten. Øvrig

markert område utenfor den rosa linjen indikerer det omsøkte utfyllingsområdet med areal som vil etableres på land (kote +2.5) og fyllingsfot (kote -20 og kote -30). Rødstiplet område angir ca. arealet der prosjektet er pålagt av Statsforvalteren å tildekke fjordbunnen før utfylling av stein kan starte. Figuren er hentet fra Søknad om utfylling i sjø, trinn 3 (5).

2.2 Grunn og bunnforhold

Ifølge rapporter fra grunnundersøkelsene og geoteknisk prosjektering (6) (7) består løsmassene i fyllingsområdet av et 10-15 m tykt topplag av løst lagret sand/silt og leire. Under er det registrert middels fast siltig leire. I utfyllingsområdet er det påvist faste masser (antatt morene) på dybder mellom ca. 40 og 65 m. Fjell ligger dypere enn 70 m.

Analysen fra sedimentprøvetaking (8) viser at de øvre 10 cm av sedimentene på stasjonene DH-1 til DH-7 (se Figur 2) i hovedsak består av medium faste, finkornede masser (leire og silt) med en del sand. De enkelte delprøvene fra stasjonene hadde relativt liten grad av variasjon i kornstørrelse, konsistens, farge og lukt. Det ble observert svak H₂S lukt i de fleste delprøvene. Prøven fra stasjon DH-8 inneholdt mer sand og grus enn prøvene fra DH-1 til DH-7. Det antas at utfylling av steinmasser ved stasjon DH-8 er årsaken til innholdet av sand/grus i sedimentene på DH-8. I de øverste 2-3 cm av prøven fra stasjon DH-8 ble det registrert nylig sedimenterte finmasser. Sedimentasjonsraten ved utfyllingsområdet er forholdsvis høy med et gjennomsnitt på 3,7 mm/år.

2.3 Beskrivelse av forurensningssituasjonen i sedimentene

2.3.1 Utfyllingsområdet øst for Holmen

Forurensningssituasjonen i utfyllingsområdet er beskrevet i Rambølls rapport fra de miljøtekniske sedimentundersøkelsene (8) og i søknaden om utfylling (5). I dette kapittelet gis det en kortfattet oppsummering av forurensningssituasjonen. Figur 2 viser et kart over prøvetakingsstasjonene som er undersøkt i utfyllingsområdet.

Tabell 1 viser klassifiserte resultater fra overflatesedimenter (0-10 cm) fra stasjoner DH-1 til DH-11 i Drammen havn. Klassifiseringssystemet er beskrevet i kap. 3.1.

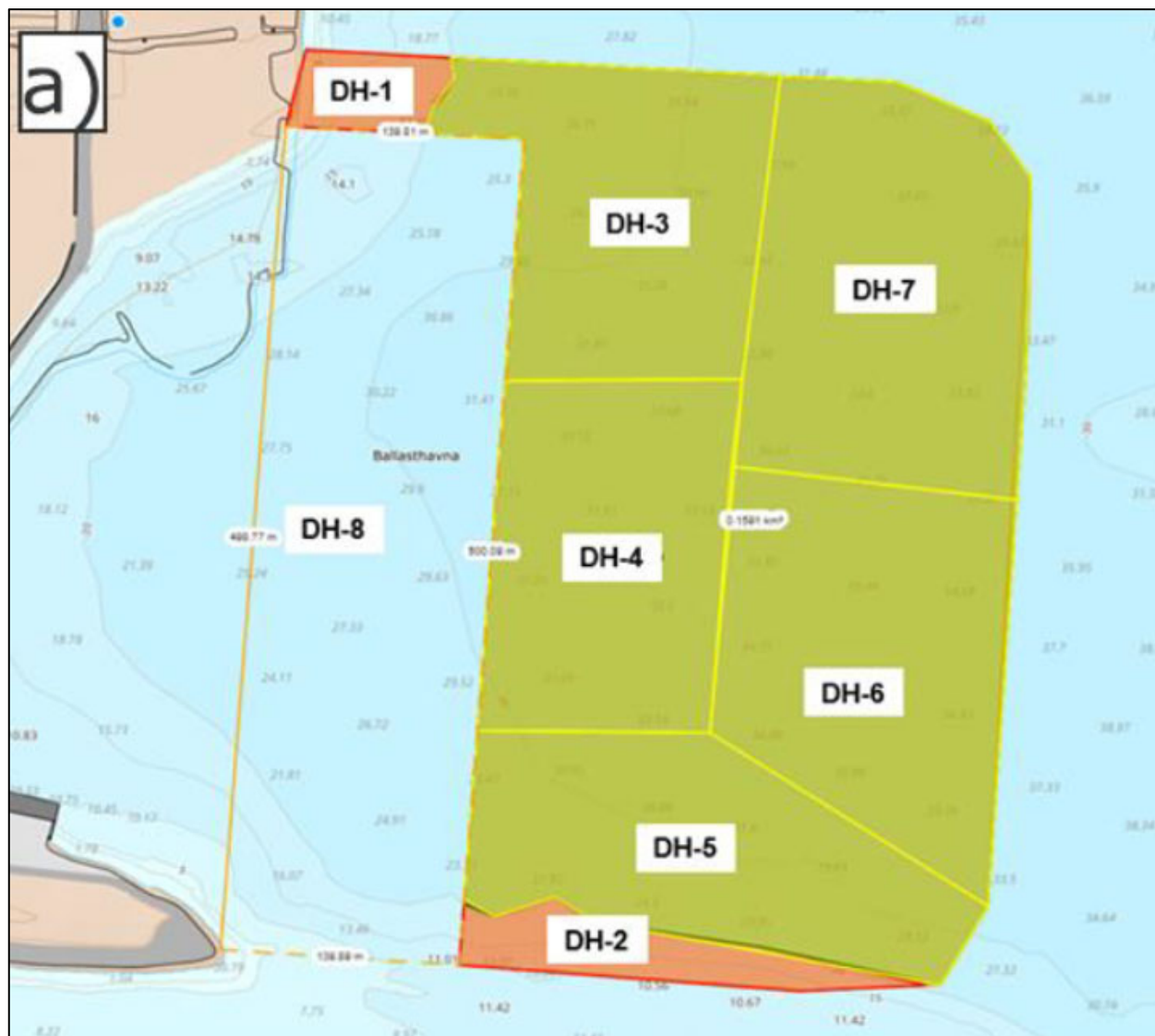
Rambøll utførte sedimentprøvetaking i åtte stasjoner i utfyllingsområdet øst for Holmen, hvor stasjonene DH1 til DH7 representerer området som skal fylles ut øst for Holmen, og stasjon DH8 er tatt som en referansestasjon i området som allerede er utfylt. Resultatene viser at det er relativt lite variasjon i konsentrasjoner av miljøgifter i utfyllingsområdet (Tabell 1).

Konsentrasjonen av metaller ved stasjonene DH-1 til DH-8 tilsvarer i hovedsak bakgrunnsnivå eller god tilstand (tilstandsklasse I eller II), men det ble påvist konsentrasjoner av nikkel i tilstandsklasse III (moderat tilstand) ved prøvestasjon DH4 og DH6, og sink i tilstandsklasse III ved prøvestasjon DH6 og DH8.

Innholdet av ΣPAH-16 er i tilstandsklasse II (god tilstand) i alle de undersøkte stasjonene (DH-1 til DH-8), men det er påvist enkeltforbindelser av PAH i tilstandsklasse III og IV (moderat - dårlig tilstand). Konsentrasjonene av PAH-forbindelser er høyest ved stasjon DH-2 som ligger i den sørvestlige delen av utfyllingsområdet.

Det ble ikke detektert PCB i sedimentprøvene.

I henhold til de forvaltningsmessige grenseverdiene ligger TBT-konsentrasjonene i tilstandsklasse II-IV (dvs. god – dårlig tilstand)). De høyeste konsentrasjonene av TBT er påvist i prøver fra stasjonene DH-4, DH-5 og DH-6. Disse stasjonene ligger i den dypest delen av utfyllingsområdet, dvs. i den østlige delen. Sammenlignet med sedimentprøver tatt av Norconsult i 2015, indikerer resultatene en reduksjon i konsentrasjonen av særlig kobber og TBT.



Figur 2. Oversiktsbilde over uttak av sedimentprøver i Drammen Havn fra utfyllingsområdet øst for Holmen – stasjonene DH-1 til DH-8. Området markert med rødt bakgrunnsfarge er grunnere enn 20 m, og området med grønn bakgrunnsfarge har vanddyb > 20 m (figuren er hentet fra Rambølls rapport Miljøtekniske sedimentundersøkelser (8)).

Tabell 1. Analyseresultater fra overflatesedimenter (0-10 cm) fra stasjoner DH-1 til DH-11 i Drammen havn. Prøvene ble tatt innenfor utfyllingsområdet. Resultatene er fargekodet etter tilstandsklasser i henhold til Miljødirektoratets veileder M-608/2016 Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Tabellen er hentet fra Rambølls rapport Miljøtekniske sedimentundersøkelser (8).

Parameter	Enhet	Tilstandsklasser iht.M-608										
		DH-1	DH-2	DH-3	DH-4	DH-5	DH-6	DH-7	DH-8	DH-9	DH-10	DH-11
Arsen	mg/kg	1.9	10	6	5.1	5.2	5.7	1.3	1.2	1.5	3.9	2.9
Bly	mg/kg	18	24	14	27	21	26	7	48	6	16	11
Kobber	mg/kg	56	47	49	65	55	59	13	32	7.1	20	16
Krom	mg/kg	30	27	31	51	38	43	7.6	23	5.2	13	9.4
Kadmium	mg/kg	0.2	0.42	0.16	0.19	0.13	0.25	0.06	0.64	0.05	0.12	0.09
Kvikksølv	mg/kg	<0.01	0.07	0.02	0.05	0.04	0.07	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.02
Nikkel	mg/kg	42	25	40	51	41	43	9.7	19	5	12	10
Sink	mg/kg	100	130	90	130	120	140	35	150	29	82	60
Naftalen	µg/kg	16	23	12	15	16	15	16	19	<10	<10	<10
Acenaftalen	µg/kg	<10	38	12	24	39	32	38	24	<10	<10	<10
Acenaften	µg/kg	21	26	35	31	31	23	34	25	<10	<10	<10
Fluoren	µg/kg	<10	14	<10	10	13	<10	<10	18	<10	<10	<10
Fenantren	µg/kg	31	68	32	46	57	37	44	73	<10	18	19
Antracen	µg/kg	17	68	23	46	47	36	44	36	4.5	8.7	9.4
Fluoranthen	µg/kg	38	290	45	92	120	71	95	94	22	60	49
Pyren	µg/kg	46	270	49	92	110	71	94	85	17	49	44
Benzo[a]antracen	µg/kg	19	170	20	43	53	32	47	40	<10	13	18
Chrysen	µg/kg	27	170	31	58	72	45	60	43	<10	23	22
Benzo[b]fluoranten	µg/kg	53	280	64	130	160	110	140	83	10	19	26
Benzo[k]fluoranten	µg/kg	14	110	24	42	46	34	43	20	<10	17	20
Benzo[a]pyren	µg/kg	29	190	30	63	68	49	64	42	<10	15	22
Dibenzo[ah]antracen	µg/kg	<10	17	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Benzo[ghi]perylene	µg/kg	34	100	30	66	60	47	60	29	<10	<10	<10
Indeno[123cd]pyren	µg/kg	16	84	24	48	46	35	46	19	<10	<10	11
PAH16	µg/kg	360	1900	430	810	940	640	830	650	<100	220	240
PCB7	µg/kg	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
TBT Effektbasert	µg/kg	5.9	23.1	19	124	133	154	96.2	2.37	12.3	3.74	3.47
TBT forvaltningsmessig	µg/kg	5.9	23.1	19	124	133	154	96.2	2.37	12.3	3.74	3.47

2.3.2 Indre og midtre deler av Drammensfjorden

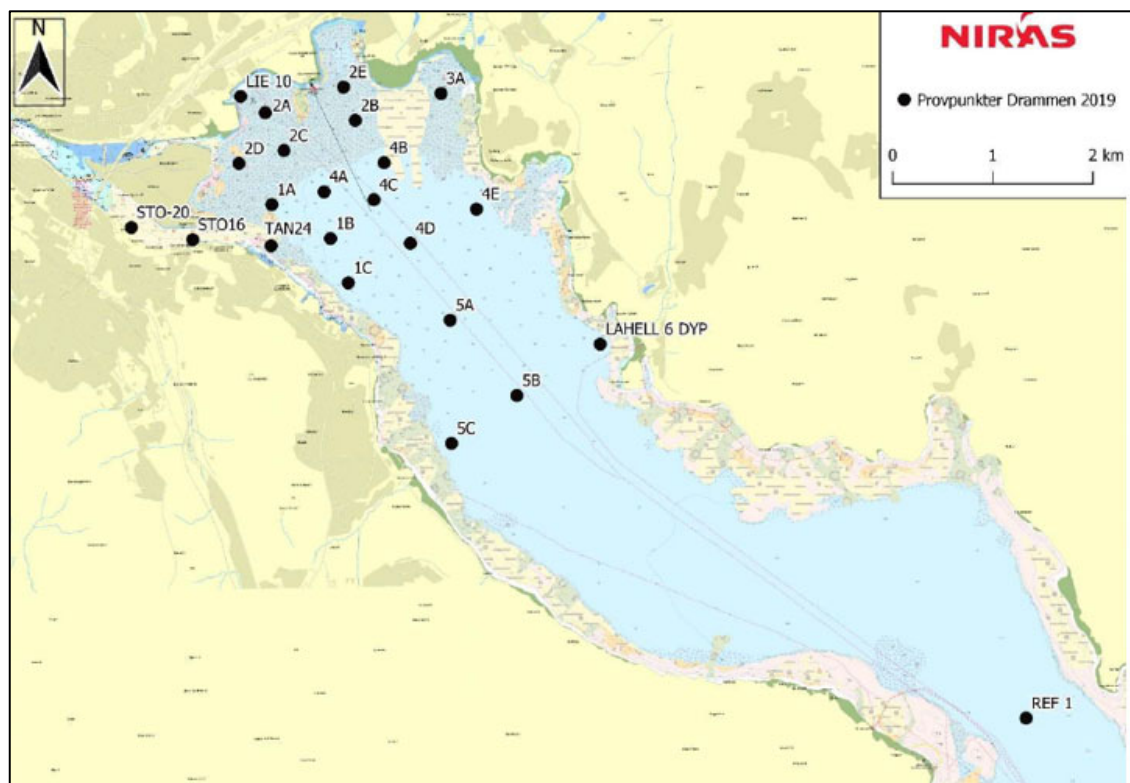
I 2019 utførte NIRAS en undersøkelse av sedimentene i de indre og midtre delene av Drammensfjorden (9). Det ble tatt sedimentprøver i 23 stasjoner. Figur 3 viser prøvetakingsstasjonene som ble undersøkt. Figur 4 viser tilstandsklassifisering mht. metaller, PAH-17 og PCB-7 i overflatesedimenter (0-2 cm). Tabell 2 viser klassifiserte resultater for metaller. Metallinnholdet i overflatesedimentene (0-2 cm) var hovedsakelig i tilstandsklasse I-II (svært god-god tilstand). Et unntak er innholdet av arsen og sink, da arsen og sink ble påvist i tilstandsklasse III i hhv. ni og tre stasjoner. I Drammensfjorden ligger nikkelkonsentrasjonene i sedimentene rundt 23 mg/kg i akkumulasjonsområder, og i de sentrale delene av utfyllingsområdet ligger konsentrasjonen omkring grensen mellom tilstandsklasse II og III (25-50 mg/kg).

Korrelasjonsanalyser indikerte at det kunne være felles utslippskilder til fjorden for Cu, Pb, Hg, Zn, PAH og PCB og As, Cr og Ni.

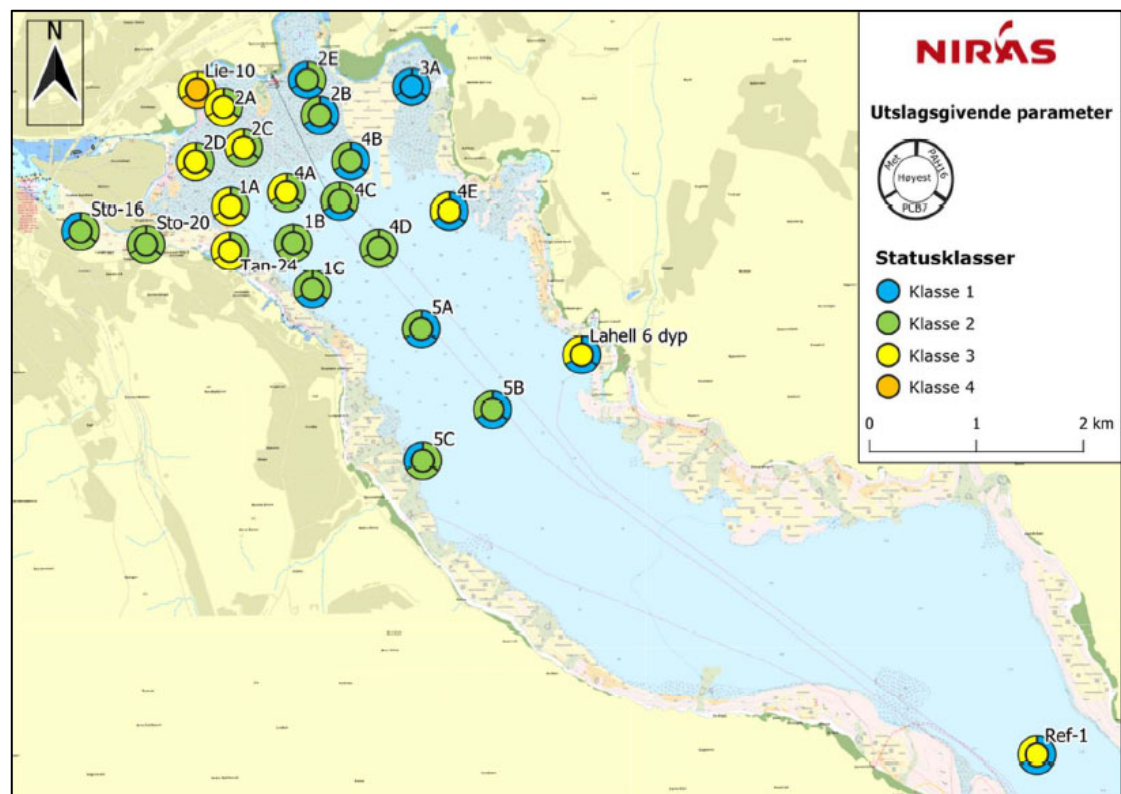
I rapporten vurderes det at de seks dypeste prøvestasjonene (> 62 m dybde; 4E, 4D, 5A, 5b, 5C, Lahelle 6 dyp og Ref-1) er akkumuleringsområder, mens de de øvrige stasjonene ble vurdert som transportområder (dvs. områder med aktiv sedimentforflytning). Sedimenter med observerbar bioturbasjon ble registrert mellom 40-60 m dyp. På grunnere dyp var tettheten av markrør sparsom og det ble ikke observert bioturbasjon på de tre grunneste stasjonene.

I 2020 undersøkte NIRAS bl.a. metallinnholdet i overvannsslam og i partikler som ble fanget i sedimentfeller (4). Det ble satt ut to feller i Drammenselva og 15 i Drammensfjorden. I prøvene av slam fra overvannskummene ble det observert en viss variasjon i metallinnholdet med maksimumsverdier i tilstandsklasse V (kobber og kvikksølv). Resultatene fra sedimentfellene viste i hovedsak sammenlignbart metallinnhold som i overflatesedimentene. Et unntak var arsen og sink som viste noe høyere verdier i fellene enn i sedimentene.

Det ble beregnet at sedimentasjonshastigheten ved stasjon 5B (78 m dybde) var $3,1 \text{ g/m}^2/\text{døgn}$ og at langtidsakkumulasjon hovedsakelig skjer i den ytre delen av undersøkelsesområdet, der vanddybden overstiger ca. 60 m. Den indre delen av Drammensfjorden består i større grad av erosjons- og transportbunn. Forurensningskonsentrasjonene på forskjellige sedimentdybder i stasjon 5B (0-26 cm) viste at forurensningssituasjonen i undersøkelsesområdet (indre og midtre Drammensfjord) har forbedret seg betraktelig de siste tiårene.



Figur 3. Prøvetakingspunkter i Drammensfjorden i NIRAS' undersøkelse i 2019. Figuren er hentet fra NIRAS' rapport Ren Drammensfjord sedimentundersøkelse 2019 (9).



Figur 4. Tilstandsklassifisering med hensyn til metaller, PAH16 og PCB i overflatesediment (0-2 cm) i Drammensfjorden 2019. Figuren er hentet fra NIRAS' rapport Ren Drammensfjord sedimentundersøkelse 2019 (9).

Tabell 2. Klassifisering av metaller i sediment (0-2 cm), Drammensfjorden 2019 (9).

	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
Sto-20	1	1	1	2	1	2	1	1
Sto-16	1	1	1	2	1	2	1	2
Lie-10 ny	2	2	1	2	2	2	1	3
2A	3	1	1	2	2	2	2	2
2D	3	1	1	2	2	2	2	2
2E	1	1	1	1	1	1	1	1
2C	3	1	1	2	1	2	2	2
2B	2	1	1	2	1	2	1	2
1A	3	1	1	2	2	2	1	3
3A	1	1	1	1	1	1	1	1
4A	3	1	1	2	1	2	1	2
4B	2	1	1	2	1	2	1	1
4C	1	2	1	2	1	2	1	2
1B	1	1	1	2	1	2	1	1
Tan-24	3	1	1	2	2	2	1	2
4E	3	1	1	2	1	2	1	2
4D	1	2	1	2	1	2	1	2
1C	1	1	1	2	1	2	1	1
5A	1	1	1	2	1	2	1	1
Lahell 6 dyp	3	1	1	2	2	2	1	2
5B	1	1	1	2	1	2	1	2
5C	1	1	1	1	1	1	1	1
Ref-1	3	2	1	2	2	2	2	3

3 Klassifisering av sediment og jord

3.1 Sedimenter

Sedimenter, ferskvann og sjøvann klassifiseres iht. Miljødirektoratets veileder M-608 (1). I dette klassifiseringssystemet representerer klassegrensene en forventet økende grad av skade på organismesamfunnet i vannsøylen og sedimentene. Klassifiseringssystemer for vann og sediment er vist i Tabell 3. Klassegrensene for metaller i sedimenter er vist i Tabell 4.

Grenseverdiene er i hovedsak effektbaserte og indikerer økologisk risiko, selv om grensen mellom tilstandsklasse I og II prinsipielt skal representere bakgrunnsverdier i sediment. For en rekke stoffer har det vært vanskelig å finne tilstrekkelig datamateriale for å bestemme klasse I, men ifølge veileder TA-3001 gjelder tilstandsklasse I som bakgrunnsverdier for tungmetaller og PAH i sedimenter (10). Veilederen påpeker likevel at naturlig innhold av stoffer (slik som tungmetaller) varierer fra område til område, og at det derfor er vanskelig å sette grenser som gjelder generelt. Dette betyr bl.a. at klassegrensene kan ha blitt satt for høyt eller for lavt. Grensene mellom tilstandsklassene som er høyere enn bakgrunnsverdiene (tilstandsklasse I) er primært basert på resultater fra økotoksikologiske laboratorietester. Det benyttes testresultatet fra den mest følsomme organismen man har testet på, samt en sikkerhetsfaktor (assessment factor: AF) hvor det tas høyde for at det finnes organismer som er mer følsomme enn dem man har brukt i laboratorietester.

Tabell 3. Klassifiseringssystem for vann og sediment. Hentet fra Miljødirektoratets veileder M-608.

I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtids-eksponering	Akutt toksiske effekter ved kort-tidseksponering	Omfattende toksiske effekter
Øvre grense: bakgrunn	Øvre grense: AA-QS, PNEC	Øvre grense: MAC-QS, PNEC _{akutt}	Øvre grense: PNEC _{akutt} * AF ¹⁾	

Tabell 4. Tilstandsklasser for metaller i sediment (mg/kg). Tabell er hentet fra Miljødirektoratets veileder M-608.

Navn på stoff	Enhet	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V
		Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Metaller						
Arsen	mg/kg TS	0 - 15	15 - 18	18 - 71	71 - 580	> 580
Bly ¹⁾	mg/kg TS	0 - 25	25 - 150	150 - 1480	1480 - 2000	2000-2500
Kadmium ²⁾	mg/kg TS	0 - 0,2	0,2 - 2,5	2,5 - 16	16 - 157	> 157
Kobber ³⁾	mg/kg TS	0 - 20	20 - 84		84 - 147	> 147
Krom ⁴⁾	mg/kg TS	0 - 60	60 - 620	620 - 6000	6000 - 15500	15500-25000
Kvikksølv	mg/kg TS	0 - 0,05	0,05 - 0,52	0,52 - 0,75	0,75 - 1,45	> 1,45
Nikkel	mg/kg TS	0 - 30	30 - 42	42 - 271	271 - 533	> 533
Sink	mg/kg TS	0 - 90	90 - 139	139 - 750	750 - 6690	> 6690

3.2 Jord / finstoff fra mineralsk materiale

Forurensende stoffer i jord vurderes normalt ved å kvantifisere mengden som er adsorbent til partikler, dvs. den andel av stoffet som er kjemisk bundet med forholdsvis svake, elektrostatiske bindinger til overflatene av partiklene. Kvantifiseringen utføres etter oppslutning av prøvematerialet i syre. Den spesifikke overflaten per vektenhet øker sterkt med avtagende partikkelstørrelse. Dette gjør at adsorbent forurensning normalt ikke anses som en relevant problemstilling for større kornfraksjoner. Det er ikke fastsatt noen grense mellom små / større kornfraksjoner, men det vanlig å sette grensen fra 20-50 µm, dvs. at større fraksjoner av jord / løsmasse (uten søl / synlig forurensning) i utgangspunktet anses som rene masser. Kjemiske laboratorier utfører normalt analyser på fraksjoner som er mindre enn 4 µm.

Normverdiene i forurensningsforskriften (11) angir de øvre grenseverdiene for ren jord / løsmasse. Grunn der konsentrasjonen av uorganiske helse- eller miljøfarlige stoffer ikke overstiger lokalt, naturlig bakgrunnsnivå i området skal likevel ikke anses for forurenset.

3.3 Representativitet og metode for å vurdere metallkonsentrasjoner

Prøvetaking av jord og berggrunn for å påvise stoffkonsentrasjoner i grave-/sprengningsmasser gjennomføres stort sett ved stikkprøver som skal representere et større volum, ev. ved blandprøve av flere stikkprøver. Prøvenes og resultatenes representativitet vil være svært avhengig av en rekke faktorer, f.eks. massenes / berggrunnens homogenitet, prøvetakingsstrategien, prøvetakerens kjennskap til avsetningsmønstre og geologiske historie samt laboratoriets prøvebearbeidelse og analyse (knusing, oppslutning, ekstraksjon og analysemetode).

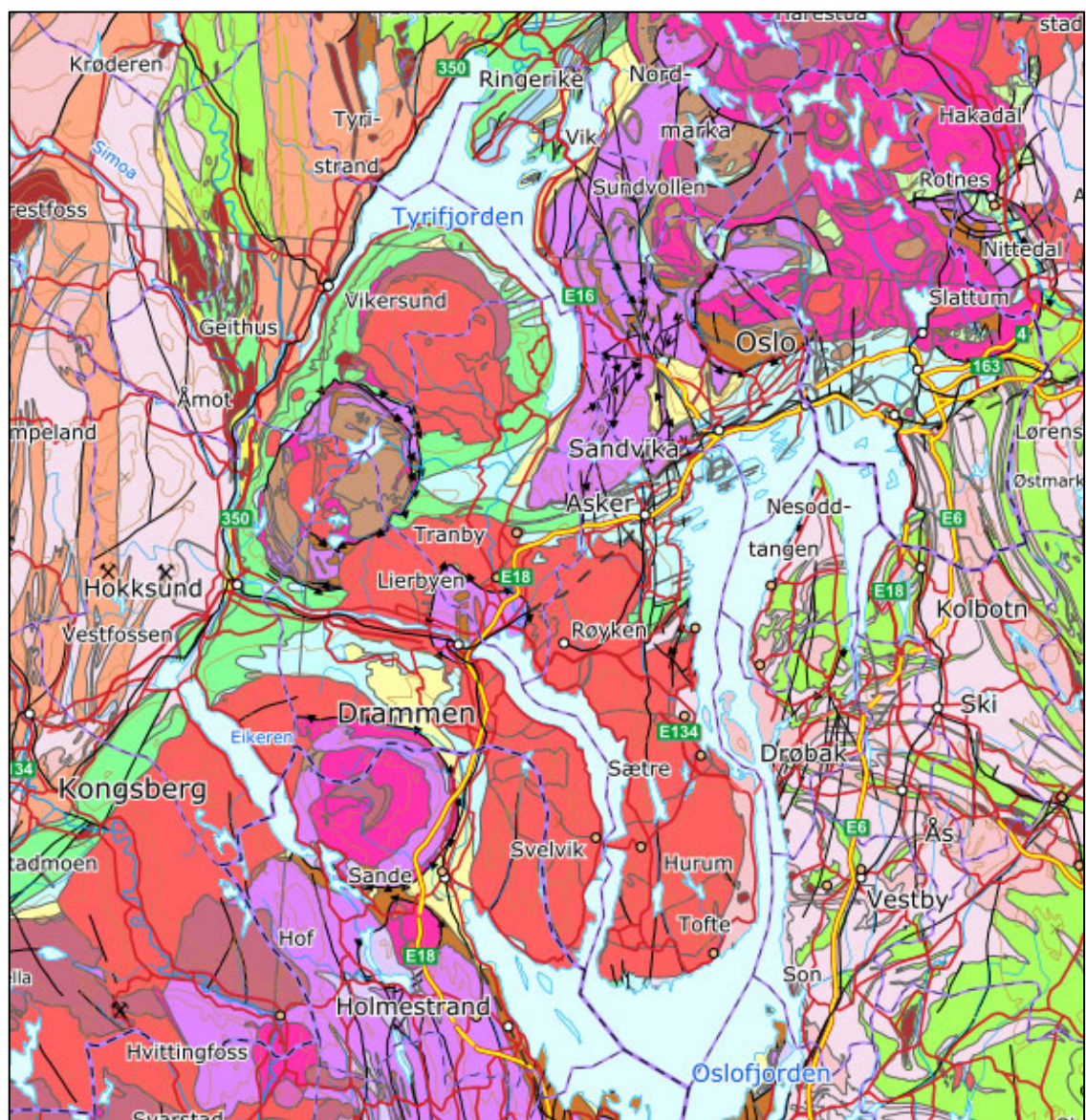
I naturlige avsetninger og berggrunn vil det alltid være en viss naturlig variasjon, i tillegg til usikkerhetene og variasjonen som kan forsterkes ved prøvetaking og i analyser. En av metodene for å avbøte dette problemet, er å skaffe tilstrekkelig store nok datamengder til å kunne beregne noenlunde robuste gjennomsnittsverdier og størrelser på variasjonen.

Alternativet er at alle masser kun bedømmes utfra enkeltprøver. I store anleggsprosjekter med uttak av flere millioner m³ med berg, er det i realiteten ikke gjennomførbart å sortere ut små batcher (f.eks. 100 m³ batcher) basert på resultater fra enkeltprøver. Statistiske vurderinger av de enkelte bergartene / avsetninger er etter Multiconsults syn en mer egnet metode i slike tilfeller hvor variasjonene har naturlige årsaker.

Et eksempel på denne vurderingsmetoden er beskrevet i veileder TA-1629/1999 (12), der det åpnes for bruk av statistiske vurderinger for å bedømme om jord på et område skal anses som forurenset. Miljødirektoratet har også kommentert bruk av statistiske vurderinger på sin nettside med spørsmål og svar vedr. forurenset grunn (spørsmål 11) (13).

4 Naturlig bakgrunnsnivå av metaller i berggrunnen i Drammen- og Oslo-området

Berggrunnen i Drammen hører til Oslofeltet, som er et geologisk område som strekker seg fra Langesund i sør til Brumunddal i nord. Oslofeltet er en såkalt paleorift, hvor gammel jordskorpe har sunket inn. Innsynkningen har ført til avsetning av diverse skifere, sandstein og kalkstein i kambro-silur-perioden. I samme geologiske tidsalder som riften utviklet seg, ble det dannet permiske intrusive/ekstrusive bergarter som basalter, rombeporfyr, mænaitt og granitter (f.eks. drammensgranitten). Der slike bergarter lå i kontakt med skiferbergarter, har det blitt dannet hornfels, som er en tett/finkornet omdannet skifer. Figur 5 viser utsnitt av NGUs berggrunnskart for Drammen og Oslo.



Figur 5. Utsnitt av NGUs berggrunnskart 1:250 000 (14). Lilla farge viser til basalt og rombeporfyr, rød farge viser til granitt, kalkstein, leirskifer og sandstein og gul farge viser til sandstein.

Ifølge data fra Bjørlykke (1974) (15) har kambrosiluriske sedimentære bergarter i Osloregionen et gjennomsnittlig innhold av nikkel på 98 mg/kg, noe som tilsvarer tilstandsklasse III for sediment i saltvann, se tabell 5. Samme artikkel viser at deler av midt-ordoviciske sedimentære bergarter (33 prøver) har et gjennomsnittlig sinkinnhold (122 mg/kg), som ligger nært opptil nedre grenseverdi for tilstandsklasse III for sediment i saltvann (139 mg/kg). Det betyr at enkeltanalyser sannsynligvis vil ha et innhold av sink som overskrider tilstandsklasse II.

Tabell 5. Innhold av metaller i kambrosiluriske sedimentære bergarter (ppm = mg/kg). Tabell er hentet fra NGU Bulletin 24 (15).

Fig. 6. Composition in Palaeozoic sediments of the Oslo Region in ppm. Weighted averages of stratigraphic units											
	No. samples	% Limestone	Trace elements								
			Ba	Rb	Sr	V	Ni	Cr	Zn	Cu	S
Cambrian–U. Cambrian	(42)	10% carbonates	1301	153	74	436	92	128	84	96	23799
Ordovician	(137)	50% "	1155	94	477	141	108	243	82	35	4962
Silurian	(19)	60% "	364	109	432	137	75	128	74	21	2845
Frage											
Cambrian–U. Silurian	(198)		798	105	427	160	98	181	78	33	5325

I forbindelse med de store utbyggingsprosjektene i Drammen og Oslo-området de siste årene er det utført mange kjemiske analyser av bergmasser som skal deponeres. Datagrunnlaget inkluderer 106 analyser av steinprøver (vedlegg 1). Analyserte bergarter kommer fra både NVO-prosjektet, Fornebubanen, InterCity-prosjektet Vestfoldbanen (Drammen-Kobbervikdalen), E18 Vestkorridoren (Lysaker-Ramstadsletta) og Franzefoss pukkverk på Steinskogen.

Tabell 6 viser en sammenstilling av resultatene, sortert etter bergarter. Resultatene viser at de sedimentære, kambrosilurske bergartene har et bakgrunnsnivå av nikkel som i gjennomsnitt ligger over både normverdien og tilstandsklasse II for sedimenter. De sedimentære bergartene fra NVO og FOB viser en gjennomsnittsverdi på 81 mg nikkel/kg, med en minimumsverdi på 13,5 mg/kg og en maksimumsverdi på 146 mg/kg.

Dersom alle analysene i vedlegg 1 sees under ett, viser gjennomsnittsverdien ingen overskridelser av tilstandsklasse II for sink, men enkeltresultatet for sink i slamstein/hornfels fra Vestfoldbanen overskrider tilstandsklasse II.

I praksis viser resultatene at det er nikkel som overskrider grensen for tilstandsklasse II, mens øvrige metaller har et gjennomsnittsinhold lavere enn tilstandsklasse II. Men pga. naturlig variabilitet i berggrunnen er det enkeltresultater med innhold over tilstandsklasse II for flere metaller. I datagrunnlaget er dette påvist for arsen i to prøver fra E18 Vestkorridoren, kobber i én prøve fra NVO og to fra Franzefoss og sink i tre prøver fra NVO og én fra Vestfoldbanen)). Av de 106 analyserte prøvene gjelder dette mao. to resultater for arsen, tre resultater for kobber og fire for sink.

Datagrunnlaget for bergartene i Oslofeltet viser at metallinnholdet ikke skyldes antropogen forurensning, men naturlig forekommende bakgrunnsverdier. Massene skal derfor ikke ansees som forurenset iht. forurensningsforskriften kapittel 2.

Tabell 6. Gjennomsnitt-, minimums- og maksimumsinnhold av tungmetaller i 106 analyserte prøver av ulike bergarter fra diverse prosjekter og pukkverk. Verdiene som er merket i rødt overskrider tilstandsklasse II for sedimenter i saltvann iht. M-608.

Bergart		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Antall prøver
Enhet		mg/kg tørrstoff								
Rombeoporfyrr/ syenittoporfyrr	Gjennomsnitt	1,5	0,3	19	25	0,0	11	24	126	10
	Min.	0,3	0,0	0,9	1,4	0,0	2,5	5,5	46	
	Maks.	3,5	2,1	106	118	0,1	69,1	100	241	
Basalt, diabas, gabbro	Gjennomsnitt	1,3	0,1	5,0	19	0,1	8,8	4,2	53,6	29
	Min.	0,3	0,0	0,1	0,1	0,0	0,5	0,5	3,0	
	Maks.	18,0	0,4	53	240	0,5	31	65	109	
Alle analyser av kambrosiluriske sedimentære bergarter*	Gjennomsnitt	6,1	0,1	160	27	0,1	123	11	65	46
	Min.	0,5	0,0	7,2	5,1	0,0	13,5	0,5	6,4	
	Maks.	21	0,9	530	46	0,5	333	72	284	
NVO og FOB: Kambrosiluriske sedimentære bergarter*	Gjennomsnitt	3,8	0,1	61	25	0,2	81	6,8	49	29
	Min.	0,5	0,0	7,2	5,1	0,0	13,5	0,5	6,4	
	Maks.	9,6	0,9	108	46	0,5	146	15	130	
Mænaitt/syenitt	Gjennomsnitt	1,3	0,1	2,3	10,4	0,3	3,7	11	81	7
	Min.	0,3	0,1	0,5	0,5	0,1	0,5	4,7	54	
	Maks.	2,0	0,2	9,5	49	0,5	17	14	106	
Gneis/breksjert gneis/amfibolitt	Gjennomsnitt	1,5	0,1	25	26	0,5	17	3,0	52	7
	Min.	1,5	0,1	8,7	4,4	0,5	8,8	1,5	19	
	Maks.	1,5	0,2	40	49	0,5	26	5,6	75	
Andre bergarter: Drammensgranitt, sandstein, pegmatitt	Gjennomsnitt	1,4	0,1	3,8	4,9	0,4	2,0	20	21	4
	Min.	1,0	0,1	0,7	0,1	0,1	0,5	1,1	5,6	
	Maks.	1,5	0,1	12	16	0,5	3,7	53	41	
Normverdi, jf. tabell 1		8	1,5	50	100	1	60	60	200	
Tilstandsklasse II for sedimenter i ferskvann, jf. tabell 5		18	1,5	112	210	0,52	42	66	139	
Tilstandsklasse II for sedimenter i saltvann, jf. tabell 5		18	2,5	620	84	0,52	42	150	139	

*Skifer, knollekalk, kalkstein, kalkholdig skifer, hornfels (omdannet/metamorf skiferbergart)

4.1 Konsentrasjoner av nikkel i masser fra NVO og FOB

Gjennomgang av analyserte steinprøver fra Osloregionen (vedlegg 1) viser at det i hovedsak er kambrosiluriske bergarter som har metallinnhold som overskrider tilstandsklasse II for nikkel i sediment i saltvann. Hele 43 av 46 prøver av kambrosilurske bergarter har et naturlig innhold av nikkel som overskrider grenseverdien. Som vist i Tabell 6, er høyeste målte konsentrasjon av nikkel 333 mg/kg (tilstandsklasse IV) med en gjennomsnittsverdi på 123 mg/kg (tilstandsklasse III) hva angår kambrosiluriske sedimentære bergarter. De høyeste konsentrasjonene av nikkel stammer fra prosjekt E18 Vestkorridoren. Dette prosjektet er ikke en del av de omsøkte massene til Drammen havn. Dersom disse prøvene fjernes, synker gjennomsnittsinholdet av nikkel til 81 mg/kg (tilstandsklasse III), med høyeste målte konsentrasjon på 146 mg/kg.

Gjennomsnittsinholdet av nikkel av kambrosiluriske bergarter fra NVO og FOB strekker seg ca. 17 % opp i tilstandsklasse III. Høyeste målte konsentrasjon tilsvarer 45 % opp i tilstandsklasse III.

Av de 63 resultatene fra NVO og FOB ligger gjennomsnittsverdiene for de øvrige metallene lavere enn tilstandsklasse II for sediment. Det er påvist tre enkeltresultater for sink og én kobberverdi som er over tilstandsklasse II i sediment, se vedlegg 1.

5 Utfyllingsmetode

Planlagt utfyllingsmetode er som følger:

1. Etablering av et tildekkingslag med tykkelse 0,3 m på sjøbunnen i utfyllingsområdet. Det er anbefalt at utleggingen av tildekkingslaget utføres fra splitlekter som slipper massene ut ca. 3-4 m under overflaten.
2. Etablering av en sprengstein-sjeté (erosjonssikring og støttefylling) i ytterkant av utfyllingsområdet.
3. Oppfylling med sprengstein og TBM-masser fra splitlekter inne i erosjonssikringen/støttefyllingen
4. Etter hver oppfylling med 2 meter av sprengstein innenfor erosjonssikringen / støttefyllingen, gjentas pkt. 2-3 opp til en kote der fyllingen er geoteknisk stabil.
5. Etter at det er oppnådd en geoteknisk stabil fylling, foretas videre utfylling ved å tippe og skyve ut massene fra land slik at fyllingsskråningen får en naturlig rasvinkel, eventuelt supplert med fylling fra lekter. Denne metoden benyttes opp til endelig kote på ca. +2,5.

På generelt grunnlag gjelder det at all utfylling gjøres etter anvisning/instruks fra Drammen Havns / Rambølls geoteknikere.

6 Miljørisikovurdering av aktuelle utfyllingsmasser fra NVO og FOB

Under følger en vurdering av miljørisikoen ved å benytte masser med naturlig høye bakgrunnsverdier av nikkel.

Miljøkonsekvenser kan deles inn i akutte virkninger og kroniske virkninger. Mulige akutte konsekvenser er akutt giftige (løste/biotilgjengelige) metallkonsentrasjoner i sjøvannet, tilslamming av vannmasser og viktige naturtyper samt muligens unnvikelsesadferd fra partikler hos fisk, noe som kan medføre begrenset vandring mellom fjord og elv.

Mulige kroniske konsekvenser vil først og fremst være forringelse av forurensningstilstanden i sedimentene og vannmassene i Drammensfjorden.

Tilslamming av vannmasser og habitater er tidligere vurdert av Rambøll og ble ansett å medføre liten risiko (16). Når det gjelder opprettholdelse av fiskevandring stiller tillatelsen krav om anleggsstans mellom klokken 23:00 – 06:00 i tidsperioden mellom 1. mai og 1. november for å ivareta dette.

Miljørisikoen fra oppvirvling av stedlig sediment vil ikke endres med variasjoner i metallinnholdet i utfyllingsmassene og blir derfor ikke nærmere omtalt. Det vises til Rambølls miljørisikoanalyse (16) og Multiconsult vurdering av tildekkingsmassenes egnethet (17).

6.1 Nikkelinnhold i utfyllingsmasser

6.1.1 Anleggsperioden

Miljørisikoen ved bruk av utfyllingsmasser med naturlig nikkelinnhold over tilstandsklasse II vil være knyttet til partikkeltransport til fjorden. Stor partikkeltransport kan medføre økte konsentrasjoner av nikkel i sedimentene der partikler bunnfeller. Økte nikkelkonsentrasjoner i suspendert stoff vil også gi en høyere konsentrasjon av løst, biotilgjengelig nikkel (dvs. nikkel < 0,45 µm).

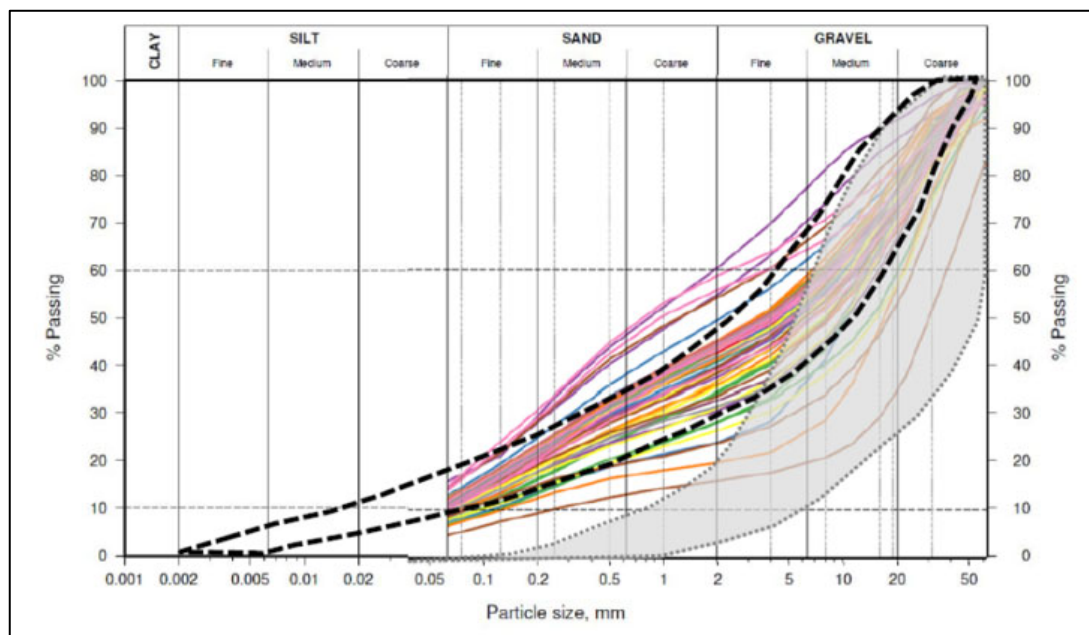
Utfyllingsmassene vil inneholde en variabel andel finstoff.

Tildekkingsmassene vil ligge innenfor fraksjonsspekteret 0-32 mm. Fraksjonen 0-4 mm er den som samsvarer best med det analyserbare materialet laboratoriene utfører analyser på. Andelen analyserbart finstoff, som er grunnlaget for å klassifisere sediment, varierer derfor med grovheten på tildekkingsmassene. Siktekurver fra relevante pukkverk og FOB-prosjektet viser at ca. 40-50 % av masser i fraksjon 0-16 mm og 0-32 mm er < 4 mm (17).

TBM-masser¹ har en sammenlignbar andel partikler < 4 mm som masser i fraksjon 0-32 mm, mens sprengstein har et noe lavere innhold på ca. 20 % (Figur 6).

På grunn av bruk av vann i produksjon vil andelen finstoff være relativt lav i både sprengstein og TBM-masser. Fraksjonen med størst spredningspotensial (silt/leire, dvs. partikler < 0,06 mm) vil derfor være liten. Som figur 6 viser, har ikke sprengstein et målbart innhold av silt/leir-fraksjonene.

¹ TBM = tunnelboremaskin



Figur 6. Kornfordelingskurver fra TBM på Follobanen. Stiplet, sort linje viser korngraderingskurver fra andre TBM-prosjekter. Gråkravert område viser kurver for sprengstein. Figuren er hentet fra NGIs rapport *Vurdering av TBM-kaks som fyllingsmateriale* (18).

Ved utløpet av Drammenselva og utover fjorden er det et sprangsjikt mellom lett ferskvann fra Drammenselva og det tyngre saltvannet i fjorden. Ettersom Svelviksundet er svært grunt og trangt, er saltvann fra havet og ytre Oslofjord det meste av tiden forhindret i å komme inn i Drammensfjorden. Følgelig er det så å si ingen bevegelse i det dype saltvannet og praktisk talt all bevegelse skjer i det øvre ferskvannslaget. Modellering viser at selv ved kraftig flom er strømhastighetene i de sentrale delene av utfyllingsområdet relativt lave (ca. 0,005-0,02 m/s). I den sydligste delen av utfyllingsområdet, ved Strømsløypet, har ferskvannslaget en høyere fart.

I Drammensfjorden ligger nikkelkonsentrasjonene i sedimentene rundt 23 mg/kg i de dype akkumulasjonsområdene, og i de sentrale delene av utfyllingsområdet ligger konsentrasjonen omkring grensen mellom tilstandsklasse II og III (25-50 mg/kg). Sedimentene i akkumulasjonsområdene i fjorden har opphav i mange kilder (erosjon fra hele Drammensvassdraget og Lierelva, avrenning fra urbane områder og overvannsledninger) og reflekterer i så måte summen av finstoffet som tilføres.

Tildekkingslaget slippes med splitlekter 3-4 meter under vannoverflaten som gjør at det slippes nær grensen mellom ferskvanns- og saltvannslaget. Over tildekkingslaget vil det fylles opp med sprengstein og TBM-masser. Under utfylling er det en grense for turbiditet på 10 NTU over referanseverdi over 20 minutter. Arbeidene kan ikke starte opp igjen før turbiditeten er på et stabilt nivå under grenseverdien.

Partikler som ev. spres fra utfyllingen vil sedimentere iht. forskjellig fallhastighet for de ulike fraksjonene, der de fineste fraksjonene (leirfraksjonen) vil ende i akkumulasjonsområdene. Andelen finstoff i leirfraksjonen er lav i alle aktuelle utfyllingsmasser, se figur 6.

De spredningsbegrensende og kontrollerende faktorene som sprengsteins-sjeté, turbiditetsmåling/-krav, rolige strømningsforhold og lav andel silt og leire i sprengstein og

TBM-massene tilsier at partikkelspredningen i hovedsak vil ha en begrenset utstrekning. Dette gir liten sannsynlighet for at finstoff i utfyllingsmassene spres i en slik grad at sedimentene i Drammensfjorden får forringet forurensningstilstand. Noe spredning kan forventes under utfylling, men ved gode rutiner for måling og overholdelse av turbiditetskrav vil dette være begrenset. Det forventes dermed at utfyllingen vil ha neglisjerbare kroniske konsekvenser.

Når det gjelder akutt giftige konsentrasjoner av løst nikkel, tyder resultatene fra ristetester på at utlekkingspotensialet er forholdsvis lavt. Ristetester av 46 prøver fra NVO (19) (20) (21) viser kun én verdi over kvantifiseringsgrensen (LOQ) på 0,030 mg/L (det ble da påvist 0,035 mg/L). For massene fra FOB viser resultatene fra 19 ristetester kun verdier under LOQ (22) (23). I trinn 2 i risikovurdering i veileder M-411 (24) tabell 3, vedlegg E, er grensen for initiell utlekking av nikkel i ristetest 0,034 mg/L. Med et ubetydelig unntak er det dermed ikke påvist overskridelser av denne grenseverdien. Utlekkingsgrensen i M-411 skal ivareta miljørisikoen ved etablering av ny sjøbunn som eksponeres for biota.

To kolonnetester utført av Golder viser nikkelkonsentrasjoner på 0,071 og 0,099 mg/L. Ifølge veileder M-608 ligger grensen for akutte giftvirkninger (MAC-EQS) fra nikkel i sjøvann på 34 µg/L. Analyser utført av Rambøll ifbm. av overvåkingen av utfyllingens trinn 2, viser noenlunde like og lave nikkelkonsentrasjoner i overflatevann og bunnlag ved fire prøvetakinger i 2020 (16). Konsentrasjonene varierte da fra <0,5 µg/L til 1,53 µg/L.

Dersom de mest konservative resultatene fra kolonnetesten legges til grunn, vil likevel MAC-EQS være oppnådd etter ca. 3 ganger fortykning med vannet i fjorden. Dette ansees å gi liten risiko for akutte virkninger.

6.1.2 Permanent situasjon

I permanent situasjon med utfylte masser til kote +2,5, fyllingsmektighet opptil 32 m og erosjonssikker sprengstein i randen, vil det aller meste av finstoffet ligge helt skjermet inne i det oppfylte volumet, og partikkelspredningen fra steinfyllingen vil være neglisjerbar.

Miljørisikoen vil være knyttet til økte konsentrasjoner av løst nikkel i vannfasen og nedgradering av tilstanden i fjorden. Vann-nett oppgir nikkelkonsentrasjonene i Drammensfjorden-indre til 2,0 µg/L. Siden fyllingen i stor grad vil forhindre gjennomstrømning av vann anses det som lite sannsynlig at utfyllingsmassene vil nedgradere tilstanden.

7 Referanser

1. **Miljødirektoratet.** *Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota.* 2016. M608_rev. 30.10.2020.
2. **NVE/Miljødirektoratet.** Vann-nett. [Internett] [Sisert: 13 2 2022.] <https://vann-nett.no/portal/#/mainmap>.
3. **Norconsult.** *Miljøovervåkning av Indre Drammensfjord. Sluttrapport for overvåkning i 2014-2015 og oppsummering av prosjektet "Ren Drammensfjord".* 2017. Rapport 5142611-02.
4. **NIRAS.** *Ren Drammensfjord 2020. Årsrapport.* 2020. 11516.
5. **Rambøll.** Søknad om utfylling i sjø, trinn 3. Holmen, Drammen Havn. 1350033597.
6. **Multiconsult.** *Datarapport sjøboringer.* 2018. 814203-3RIG-RAP-001.
7. **Rambøll.** *Videre utfylling iht. ny reguleringsplan. Geoteknisk vurdering.* 2019. 1350033597-G-not-001.
8. —. *Miljøtekniske sedimentundersøkelser, Drammen Havn.* 2020. 1350033697_rev02.
9. **NIRAS.** *Ren Drammensfjord sedimentundersøkelse 2019.* s.l. : Drammen og Lier kommuner, 2020. XTAXEUIDDNY4W-75177900-785.
10. **Miljødirektoratet.** *Utkast til bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sediment og biota.* 2012. TA-3001.
11. **LOVDATA.** Forurensningsforskriften kapittel 2. [Internett] [Sisert: 22 2 2022.] https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_1-2#%C2%A72-12.
12. **Miljødirektoratet.** *Veiledning om risikovurdering av forurenset grunn.* 1999. TA1629 - veiledning 99:01a.
13. **Miljø.** Spørsmål og svar om grunnforurensning. [Internett] [Sisert: 23 2 2022.] <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/forurenset-grunn/forurenset-grunn/grunnforurensning-svar/#normverdi>.
14. **Norges Geologiske Undersøkelser.** NGU Kart, Berggrunn. [Internett] [Sisert: 22 2 2022.] https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/.
15. **Bjørlykke, K.** *Depositional History and Geochemical Compositon of Lower Palaeozoic Epicontinental Sediments from the Oslo Region.* s.l. : Universitetsforlaget , 1974. NGU Nr. 305, Bulletin 24.
16. **Rambøll.** *Miljørisikoanalyse Utfylling i sjø, trinn 3, Drammen Havn.* 2020. 1350033597 – 005.
17. **Multiconsult.** *Vurdering av tildekkingsmassenes egnethet og miljørisiko ved utlegging.* 2022. NVO-MCA-901-HK-002-0.
18. **NGI.** *Vurdering av TBM-kaks som fyllingsmateriale.* s.l. : Vann- og Avløpsetaten, Oslo kommune, 2019. 20190407-01-R.
19. **Multiconsult.** *E5 Råvannstunnel. Vurdering av utlekkingspotensialet fra tunnelmasser på strekningen Vefsrud-Huseby.* 2021. NVO-MCA-20-HK-019-0.

20. —. *E6 Rentvannstunnel. Vurdering av utlekkingspotensialet fra tunnelmasser.* 2022. NVO-MA-40-HK-025-0.

21. —. *E8 Forberedende arbeider. Vurdering av utlekkingspotensialet fra steinmasser fra fjellhaller på Huseby.* 2021. NVO-MCA-30-HK-023-0.

22. **Golder.** *Utnyttelse av knuste steinmasser fra Fornebu.* 2022. 21494923-N1_rev04.

23. **Multiconsult.** *Vurdering av utlekkingspotensialet fra steinmasser fra Fornebubanen.* s.l. : Oslo kommune, 2021. PF-U-060-RB-0062.

24. **Miljødirektoratet.** *Testprogram for tildekkingsmasser.* 2015. M-411.

Vedlegg 1

Sammenstilling av analyseresultater fra utførte analyser av bergmasser fra NVO, Fornebubanen, andre prosjekter og pukkverk i Oslo-området

Prosjekt	Prøve-ID	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	S (mg/kg)	U (mg/kg)	Bergart	
NVO E5 Vefsrud-Huseby	BH 07-2017, K37-40	<3	<0,05	12,1	31,3	<0,01	9,26	16,1	108	116	10,6	Rombeporfy	
	BH 14/16, K51-K54	3,5	<0,05	5,83	7,37	<0,01	3,16	21,3	159	709	9,51	Rombeporfy	
	BH 09/16, K46-49	<3	<0,05	37,1	10,3	<0,009	6,25	23,3	157	<90	8,55	Rombeporfy	
	BH 14/16, K38-41	<3	<0,05	6,55	14,7	<0,01	3,46	16,9	94,3	343	6,53	Rombeporfy	
	BH 23/16, K70-73	<3	0,059	106	53,7	<0,01	69,1	5,47	138	140	1,53	Basalt/rombeporfy	
	HB2820 72-84	<1,00	<0,10	60	5,07	<0,20	43,7	1,2	14,3	812	0,18	Knollekalk* (helt til delvis omdannet hornfels)	
	K018 77-77,5	<1,00	<0,10	0,87	1,43	<0,20	<5,0	7,4	46,1	603	4,39	Syenittporfy i rombeporfyrområde	
	K3 106,6-161	1,51	0,16	19,1	1,79	<0,20	5,1	14,2	128	2370	2,76	Syenittporfy i kambrosiluroområdet	
	K0818 126-126,5	<1,00	<0,10	1,79	0,28	<0,20	8,5	1	60,3	<30	<0,10	Basalt	
	K0918 126,5-127	<1,00	<0,10	1,13	1,13	<0,20	<5,0	3,3	14,8	<30	0,68	Breksje/agglomerat	
	K1018 112,2-112,7	<1,00	<0,10	0,6	0,5	<0,20	<5,0	2,7	100	<30	0,36	Basalt i rombeporfyrområdet	
	K0718 98,5-99	<1,00	<0,10	0,61	0,11	<0,20	<5,0	<1,0	57,3	<30	0,17	Basalt	
Gjennomsnittsverdi	1,17	0,28	21	10,6	0,1	13,2	9,4	89,8	433	3,8			
Prosjekt	Prøve-ID	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	S (mg/kg)	U (mg/kg)	Bergart	
NVO E8 Fjellhaller-Huseby	BH K1 141,1-142,0	0,63	0,85	22,7	23,1	<0,20	56,5	2,7	130	1350	<1,0	Hornfels	
	BH K0518 101-102	1,2	<0,10	15,9	5,13	<0,20	44,4	3,5	6,4	261	<1,0	Hornfels	
	BH K1 199-200	0,58	<0,10	0,57	10,6	<0,20	<5,0	23,1	49,5	11300	<1,0	Gabbro/monzodioritt	
	BH K0518 207-208	<0,50	0,28	0,86	13,5	<0,20	<5,0	64,8	104	3370	1,1	Gabbro/monzodioritt	
	BH K1 326,75-327,75	<0,50	0,18	4,07	3,21	<0,20	<5,0	13,4	80,3	2120	<1,0	Mænaitt/syenittporfy	
	BH K0518 41-42	2,83	2,11	1,21	118	<0,20	<5,0	99,8	241	10800	8,4	Mænaitt/syenittporfy	
	Gjennomsnittsverdi	0,96	0,59	7,55	28,9	0,1	18,5	34,6	102	4867	1,92		
Prosjekt	Prøve-ID	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	S (mg/kg)	U (mg/kg)	Bergart	
NVO E6 Rentvannstunnel	K1620 59,45-60,0	8,71	<0,10	101	33,6	<1,00	128	13,9	52,4	0,903	0,561	Kalkholdig leirsifer	
	K2720 56,1-56,6	<3,00	<0,10	1,94	0,47	<1,00	1,4	3,2	69,6	0,244	0,235	Diabas	
	K1620 44,4-45,0										0,387	Askelag	
	K2620 33,5-34,0	<3,00	<0,10	72,8	19,6	<1,00	85,2	6,7	34,1	0,796	0,24	Kalkholdig leirsifer	
	K1820 122-122,5	4,25	<0,10	89,8	17,4	<1,00	105	10,2	41,2	0,613	0,113	Leirsifer m/kalksteinslag	
	K1920 159,5-160,0	<3,00	<0,10	107	14,6	<1,00	104	8,4	32,3	0,677	0,261	Leirsifer m/kalksteinslag	
	K1920 113,5-114,0	<3,00	<0,10	0,49	1,18	<1,00	<1,0	10,2	106	3,66	0,146	Mænaitt	
	K1920 65,1-65,6	<3,00	<0,10	1,7	0,89	<1,00	<1,0	13	76	4,03	0,042	Syenitt	
	K2020 142,5-143,0	3,8	<0,10	37,2	23,7	<1,00	63,1	6,7	38,3	1,1	0,336	Knollekalk	
	K2020 129,0-129,5	<3,00	<0,10	0,65	<0,10	<1,00	<1,0	1,1	17,7	8,28	<0,010	Sandstein	
	K2020 59,2-59,7	<3,00	<0,10	0,83	0,6	<1,00	<1,0	13,7	62,2	4,61	0,494	Syenitt	
	K2320 88,5-89,0	<3,00	<0,10	56	39,1	<1,00	92,9	8,7	51,9	1,17	0,069	Kalkholdig leirsifer	
	K2120 117,2-117,75	3,05	<0,10	34,9	12,8	<1,00	27,5	4	31,7	1,22	0,692	Hornfels	
	K2120 112,3-112,75	<3,00	<0,10	7,19	8,52	<1,00	13,5	<1,0	51,4	0,84	0,024	Hornfels	
	K2320 22,0-22,5	<3,00	0,12	0,81	<0,10	<1,00	<1,0	4,8	83,7	0,318	0,22	Diabas	
	K2920 62,0-62,5	3,68	<0,10	45,2	27,6	<1,00	74,9	6,3	53,3	1,3	0,32	Knollekalk	
	K2920 74,0-74,6	3,31	<0,10	108	34,3	<1,00	117	8,9	57,6	2,02	0,396	Leirsifer m/kalksteinslag	
	K2920 28,1-28,6	<3,00	<0,10	9,52	20,2	<1,00	17	4,7	53,6	0,214	1,12	Mænaitt	
	K2920 15,3-15,8										0,296	Knollekalk	
	K1420 98,3-98,8	<3,00	<0,10	39,7	12,6	<1,00	16,8	1,8	47,6	0,99	<0,010	Breksjert gneis	
	K1420 78,5-79,0	<3,00	<0,10	1,11	16,2	<1,00	3,7	19,8	19,2	2,5	0,186	Pegmatitt	
	K1420 119,0-119,5	<3,00	0,17	34	44,8	<1,00	26,1	2,1	72,9	<0,100	0,193	Amfibolitt med granater	
	K1520 71,0-72,5	<3,00	<0,10	1,14	0,57	<1,00	1,2	7,9	5,6	0,37	0,121	Pegmatitt	
	K1520 120,0-121,0	<3,00	<0,10	25,5	49,4	<1,00	21,9	2,7	56,2	<0,100	0,368	Amfibolitt med granater	
	K1520 154,5-155,0	<3,00	<0,10	19,2	4,39	<1,00	14,4	5,6	75,1	2,16	0,052	Breksjert gneis	
	K1520 121,5-122,0	<3,00	0,11	23,1	36,7	<1,00	20	2,2	58,6	<0,100	0,245	Amfibolitt med granater	
	K1420 89,47-89,9	<3,00	<0,10	8,69	27,6	<1,00	8,8	1,5	19,4	2,03	<0,010	Gneis glimmerrik	
	K1420 138-138,5	<3,00	<0,10	26,4	5,45	<1,00	13,2	4,9	36,3	1,94	0,06	Gneis glimmerrik	
	Gjennomsnittsverdi	2,18	0,06	32,8	17,4	<1,00	36,9	6,9	50,2	1,8	0,26		
	Prosjekt	Prøve-ID	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	S (mg/kg)	U (mg/kg)	Bergart
	Fornebuabanen (Fornebu-Majorstua)	K2 17-20	7,84	<0,10	99,7	31,2	<0,20	146	9,2	47	5210	<1,0	Skifer, Elnes 4aa
		K1 12,5-14,5	3,6	<0,10	25,5	25,3	<0,20	41,9	7,5	49,3	5740	<1,0	Skifer
K1 80-81,5		1,23	<0,10	73,3	18,2	<0,20	97,5	6,6	26,8	2880	<1,0	Skifer og knollekalk	
K3 65-67		2,1	<0,10	68,8	42,4	<0,20	108	9,5	49,8	4100	<1,0	Skifer og knollekalk	
K3 147-149		<0,50	<0,10	0,93	0,47	<0,20	<5,0	10,2	93,6	984	1,4	Mænaitt	
K4 30-35		0,92	<0,10	63,5	23,9	<0,20	74,4	5,5	35,8	831	<1,0	Knollekalk	
K6 35-40		4,12	<0,10	98,7	18,8	<0,20	87,8	5,1	68,7	4570	<1,0	Skifer og kalkstein	
K11 10-13		2,73	<0,10	46,4	26,4	<0,20	78,6	8,2	34,2	2920	<1,0	Knollekalk	
K12 47-49		1,34	<0,10	48,7	32,2	<0,20	80,4	6,8	41	2230	<1,0	Knollekalk	
K10 114-115		<0,50	<0,10	9,17	12,5	<0,20	14,8	2,4	47,6	3590	<1,0	Diabas	
K11 155-157		8,13	<0,10	40,4	37,6	<0,20	78,7	13,2	85,2	5420	1,1	Skifer	
K11 66-68		9,57	<0,10	45,4	45,7	<0,20	85,3	14,5	88,1	11600	<1,0	Skifer og knollekalk	
K102 16-20		<0,50	<0,10	1,53	30,9	<0,20	13,9	3,3	109	7130	<1,0	Diabas	
K102 70-74		0,99	0,17	1,47	48,7	<0,20	<5,0	7,8	74,2	7700	<1,0	Mænaitt	
K100 142-149		2,03	<0,10	1,37	0,86	<0,20	<5,0	13,7	99,2	3300	2,2	Syenitt	
K100 130-140		4,98	<0,10	72,4	23	<0,20	95,3	6,9	35,4	3440	<1,0	Knollekalk	
K1 42-44		3,73	<0,10	99,4	25,6	<0,20	130	9	47,3	3870	<1,0	Skifer og kalkstein	
Gjennomsnittsverdi		3,2	0,1	46,9	26,1	0,1	67,1	8,2	60,7	4442	0,7		
Prosjekt		Prøve-ID	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	S (mg/kg)	U (mg/kg)	Bergart
E18 Vestkorridoren, Lysaker-Ramstadsletta		KB1 74,84 m	7,4	0,068	308	45	<0,02	197	11	96			Etasje 4 i kambrosilur-lagrekken.
	KB1 78,15 m	<3	0,21	12	5,3	<0,02	51	28	74			Jern i prøvene er i hovedsak bundet til silikatmineraler og ikke til sulfider, noe som indikerer at tungmetaller også er sterkt bundet i silikater og er dermed lite mobile	
	KB1 84,73 m	15	<0,05	317	35	<0,02	188	15	88				
	KB1 90,36 m	12	0,056	335	38	<0,02	213	13	103				
	KB1-2 47,03 m	19	<0,05	502	46	<0,02	308	18	102				
	KB1-2 51,34 m	15	0,054	530	42	<0,02	333	15	95				
	KB2 45,00 m	15	<0,05	525	40	<0,02	289	14	77				
	KB2 50,32 m	21	<0,05	301	38	<0,02	224	23	92				
	KB2 55,10 m	8,2	<0,05	522	42	<0,02	206	12	94				
	KB2 60,54 m	17	<0,05	431	37	<0,02	213	14	81				
	KH1 30,60 m	10	<0,05	282	36	<0,02	194	17	79				
	KH1 34,70 m	3,1	<0,05	70	8,8	<0,02	56	4,6	32				
	KH1 39,75 m	3	<0,05	73	11	<0,02	61	5	45				
	KH1 44,80 m	9,7	<0,05	340	35	<0,02	211	10	98				
KH1 50,85 m	6,7	<0,05	434	30	<0,02	233	9,8	64					
KH1 53,50 m	<3	<0,05	530	37	<0,02	292	7,8	71					
Gjennomsnittsverdi	11,6	0,097	345	33	0,01	204	14	81					
Prosjekt	Prøve-ID	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	S (mg/kg)	U (mg/kg)	Bergart	
Fornebuabanen (Golder tabell 1)	1	4	<0,020	44	23	<0,01	63	3,9	41			Kalkstein og skiferbergarter	
	2	4,9	<0,020	57	25	<0,01	80	4,6	5				