



## Follobaneprojektet Tilbakeføring Åsland

### Beregninger og vurderinger mhp. sulfat

<input checked="" type="checkbox"/>	Akseptert
<input type="checkbox"/>	Akseptert m/kommentarer
<input type="checkbox"/>	Ikke akseptert (kommentert) Revider og send inn på nytt
<input type="checkbox"/>	Kun for informasjon
Sign: _____	

00C	Første utgave	30.04.2024	SIRH/HEM	GO	MF	
Revisjon	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
<b>Tittel:</b> <b>Follobaneprojektet</b> <b>Tilbakeføring Åsland</b> <b>Beregninger og vurderinger mhp. sulfat</b>		Sider:				
		<b>23</b>				
		Produsert av:				
		Prod.dok.nr.:		Rev:		
		Erstatter:				
		Erstattet av:				
Prosjekt:	Follobaneprojektet	Dokumentnummer:		Revisjon:		
Parsell:	Åsland	<b>UFB-31-A-73143</b>		<b>00C</b>		
		Drift dokumentnummer:		Drift rev.:		

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>INNLEDNING .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>BESKRIVELSE AV NEDBØRSFELT .....</b>	<b>3</b>
2.1	BEREGNINGER I NEVINA .....	3
2.2	MÅLINGER UTFØRT AV NIBIO OG FELTOBSERVASJONER VÅREN 2024 .....	5
<b>3</b>	<b>DATAGRUNNLAG OG BEREGNINGER .....</b>	<b>8</b>
3.1	VANNMENGDER MÅLT AV AGJV .....	8
3.2	BEREGNING AV SULFATKONSENTRASJONER UTFØRT AV BANE NOR .....	8
3.3	OPPLYSNINGER OM INNKJØPTE PRODUKTER MED SULFAT .....	9
3.4	SULFATINNHOOLD I ANALYSER AV PRØVEMATERIALE .....	9
3.5	ESTIMAT AV MENGDEN SULFAT I TBM-MASSENE .....	14
<b>4</b>	<b>VARIGHET AV SULFATUTLEKKING .....</b>	<b>15</b>
4.1	MAURTUBEKKEN .....	16
4.2	MYRERBEKKEN .....	16
4.3	USIKKERHETER .....	16
<b>5</b>	<b>MILJØDIREKTORATETS SPREDNINGSVERKTØY .....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>OPPSUMMERING AV UTLEKKING .....</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>SÅRBARHET OG EFFEKTER AV SULFAT I RESIPIENTER .....</b>	<b>18</b>
7.1	MÅLINGER I RESIPIENTER .....	18
<b>8</b>	<b>REFERANSER .....</b>	<b>22</b>
<b>9</b>	<b>DOKUMENTINFORMASJON .....</b>	<b>23</b>
9.1	ENDRINGSLOGG .....	23

# 1 INNLEDNING

Statsforvalteren i Oslo og Viken har i brev av 20.12.2023 pålagt Bane NOR et tiltaks- og undersøkelsesprogram for å vurdere forurensningsrisikoen fra TBM-fyllingen på Åsland samt å bedre kunnskapsgrunnlaget mht. utlekking av uran og sulfat fra TBM-masser.

Denne rapporten beskriver datagrunnlaget som foreligger for sulfat i masser, i porevann og grunnvann, samt sprednings- og mobilitetsmekanismer. Det er gjort anslag på mengder og konsentrasjoner av sulfat som forventes vasket ut fra TBM-massene som er lagt ut på Åsland.

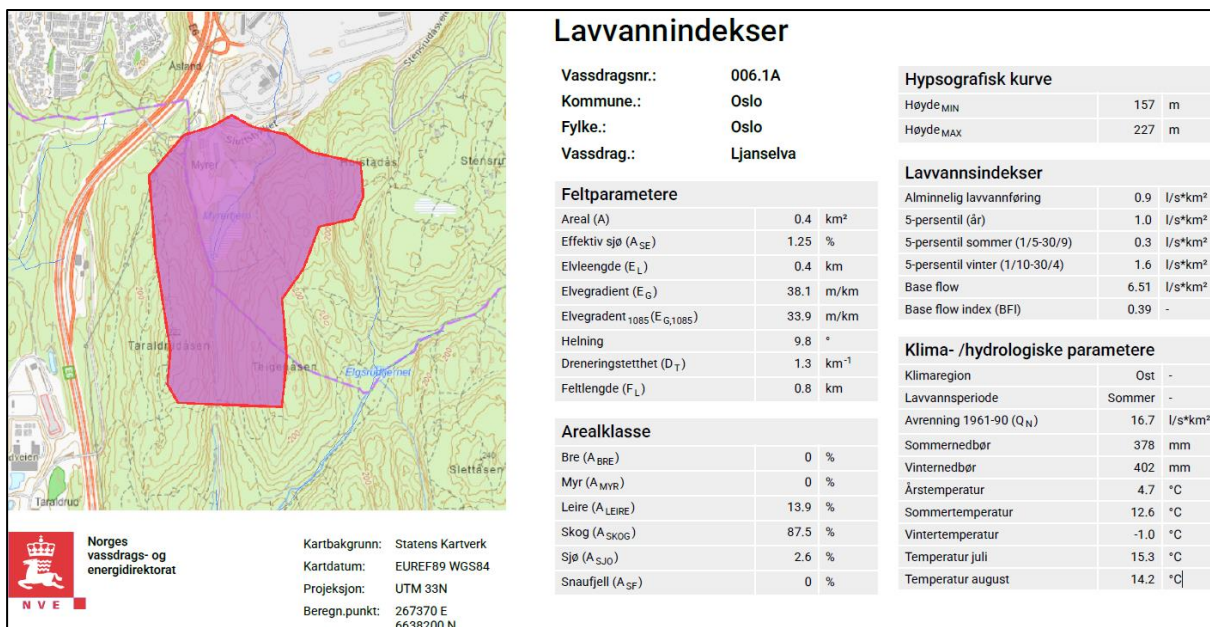
Primærresipienter er Myrerbekken og Maurtubekken, og rapporten beskriver også resipientenes sårbarhet for sulfat.

# 2 BESKRIVELSE AV NEDBØRSFELT

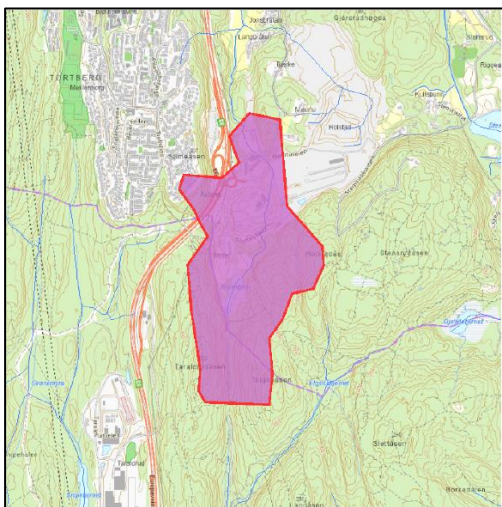
## 2.1 Beregninger i NEVINA

Lavvannsindeksene i figurene under er avgrenset nedstrøms, til bekkentløpene. Figur 2-1 til Figur 2-4 viser lavvannsindeks fra NEVINA (1) fra punkter i oppstrøms område av tilbakeføringsområdet og ved utløp til bekkene.

Maurtubekken har svært små grener i øvre del av nedbørsfeltet, og oppstrøms punkt er derfor satt nokså sentralt på området. Ifølge NEVINA kommer vannet i dette punktet både fra vest og sør. Ettersom Maurtubekken ikke har noe toppvann i nedbørsfeltet, men består av små vannsig, antas det at NEVINA overestimerer vannføringen i punkter inne på oppfylt område. Avrenningskoeffisienter i NEVINA beregnes med bakgrunn i slik området var før oppstart anleggsarbeider og må nødvendigvis være endret etter at det er lagt permeable masser på området. Tabell 2-1 oppsummerer vannføringer fra NEVINA.



Figur 2-1. Beregning av lavvannsindeks i Myrerbekken ved innløp til Low Area (NEVINA).



Norges vassdrags- og energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk  
Kartdatum: EUREF89 WGS84  
Projeksjon: UTM 33N  
Beregn.punkt: 267263 E  
6638759 N

### Lavvannindekser

Vassdragsnr.: 006.1A  
Kommune.: Oslo  
Fylke.: Oslo  
Vassdrag.: Ljanselva

#### Feltparametere

Areal (A)	0.6 km <sup>2</sup>
Effektiv sjø (A <sub>SE</sub> )	0.48 %
Elvleengde (E <sub>L</sub> )	1.1 km
Elvegradient (E <sub>G</sub> )	35.7 m/km
Elvegradient <sub>1085</sub> (E <sub>G,1085</sub> )	35.9 m/km
Helning	9.6 °
Dreneringstetthet (D <sub>T</sub> )	1.9 km <sup>-1</sup>
Feltlengde (F <sub>L</sub> )	1.4 km

#### Arealklasse

Bre (A <sub>BRE</sub> )	0 %
Myr (A <sub>MYR</sub> )	0 %
Leire (A <sub>LEIRE</sub> )	17.2 %
Skog (A <sub>SKOG</sub> )	67.0 %
Sjø (A <sub>SJO</sub> )	1.6 %
Snau fjell (A <sub>SF</sub> )	0 %

#### Hypsografisk kurve

Høyde <sub>MIN</sub>	136 m
Høyde <sub>MAX</sub>	227 m

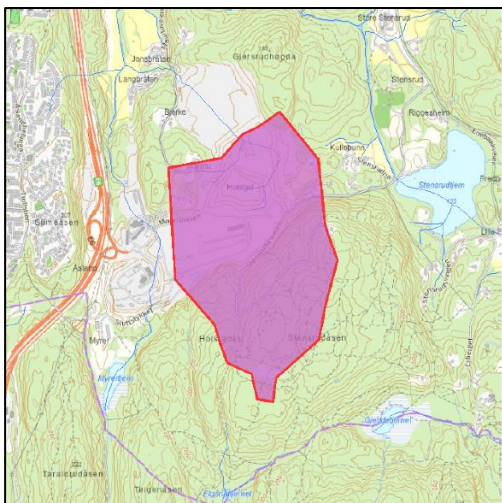
#### Lavvannindekser

Alminnelig lavvannføring	0.8 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil (år)	0.9 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil sommer (1/5-30/9)	0.3 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil vinter (1/10-30/4)	1.4 l/s*km <sup>2</sup>
Base flow	6.44 l/s*km <sup>2</sup>
Base flow index (BFI)	0.39 -

#### Klima- /hydrologiske parametere

Klimaregion	Ost	-
Lavvannsperiode	Sommer	-
Avrenning 1961-90 (Q <sub>N</sub> )	16.5	l/s*km <sup>2</sup>
Sommernedbør	378	mm
Vinternedbør	402	mm
Årstemperatur	4.7	°C
Sommertemperatur	12.7	°C
Vintertemperatur	-1.0	°C
Temperatur juli	15.4	°C
Temperatur august	14.3	°C

Figur 2-2. Beregning av lavvannindekser i Myrerbekken ved utløp nedstrøms Vefald-tomta (NEVINA).



Norges vassdrags- og energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk  
Kartdatum: EUREF89 WGS84  
Projeksjon: UTM 33N  
Beregn.punkt: 267741 E  
6638943 N

### Lavvannindekser

Vassdragsnr.: 006.1A  
Kommune.: Oslo  
Fylke.: Oslo  
Vassdrag.: Ljanselva

#### Feltparametere

Areal (A)	0.5 km <sup>2</sup>
Effektiv sjø (A <sub>SE</sub> )	0 %
Elvleengde (E <sub>L</sub> )	0.5 km
Elvegradient (E <sub>G</sub> )	17.4 m/km
Elvegradient <sub>1085</sub> (E <sub>G,1085</sub> )	24.6 m/km
Helning	7.9 °
Dreneringstetthet (D <sub>T</sub> )	1.9 km <sup>-1</sup>
Feltlengde (F <sub>L</sub> )	1.1 km

#### Arealklasse

Bre (A <sub>BRE</sub> )	0 %
Myr (A <sub>MYR</sub> )	1.8 %
Leire (A <sub>LEIRE</sub> )	19.8 %
Skog (A <sub>SKOG</sub> )	54.5 %
Sjø (A <sub>SJO</sub> )	0 %
Snau fjell (A <sub>SF</sub> )	0 %

#### Hypsografisk kurve

Høyde <sub>MIN</sub>	140 m
Høyde <sub>MAX</sub>	240 m

#### Lavvannindekser

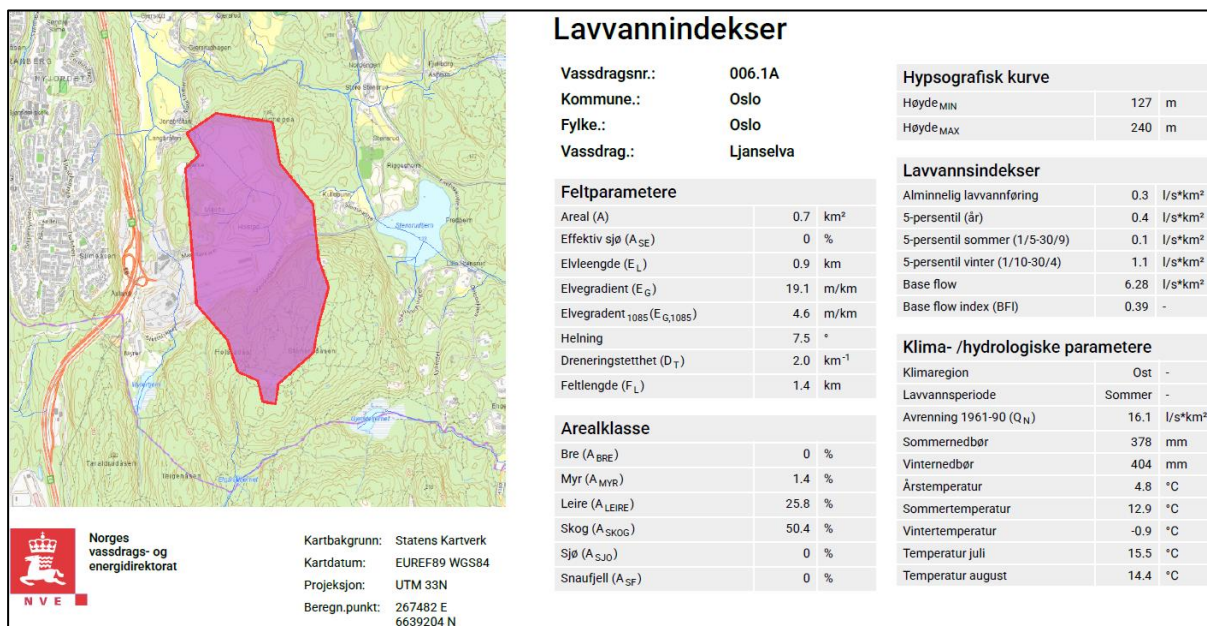
Alminnelig lavvannføring	0.3 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil (år)	0.4 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil sommer (1/5-30/9)	0.1 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil vinter (1/10-30/4)	1.0 l/s*km <sup>2</sup>
Base flow	6.43 l/s*km <sup>2</sup>
Base flow index (BFI)	0.4 -

#### Klima- /hydrologiske parametere

Klimaregion	Ost	-
Lavvannsperiode	Sommer	-
Avrenning 1961-90 (Q <sub>N</sub> )	16.1	l/s*km <sup>2</sup>
Sommernedbør	378	mm
Vinternedbør	403	mm
Årstemperatur	4.8	°C
Sommertemperatur	12.8	°C
Vintertemperatur	-0.9	°C
Temperatur juli	15.5	°C
Temperatur august	14.4	°C

Figur 2-3. Beregning av lavvannindekser i Mautubekken sentralt på etablert fylling (NEVINA).





Figur 2-4. Beregning av lavvannindekser i Mautubekken ved utløp nedstrøms etablert fylling (NEVINA).

Tabell 2-1. Oppsummering av vannføringer fra NEVINA.

Bekk	Punkt	Areal nedbørsfelt (km <sup>2</sup> )	Spesifikk alminnelig vannføring (l/s*km <sup>2</sup> )	Spesifikk alminnelig lavvannføring (l/s*km <sup>2</sup> )	Alminnelig vannføring (l/s)	Alminnelig lavvannføring (l/s)
Myrerbekken	Oppstrøms	0,4	16,7	0,9	6,7	0,4
	Nedstrøms	0,6	16,5	0,8	9,9	0,5
Mautubekken	Oppstrøms	0,5	16,1	0,3	8,0	0,2
	Nedstrøms	0,7	16,1	0,3	11,3	0,2

## 2.2 Målinger utført av NIBIO og feltobservasjoner våren 2024

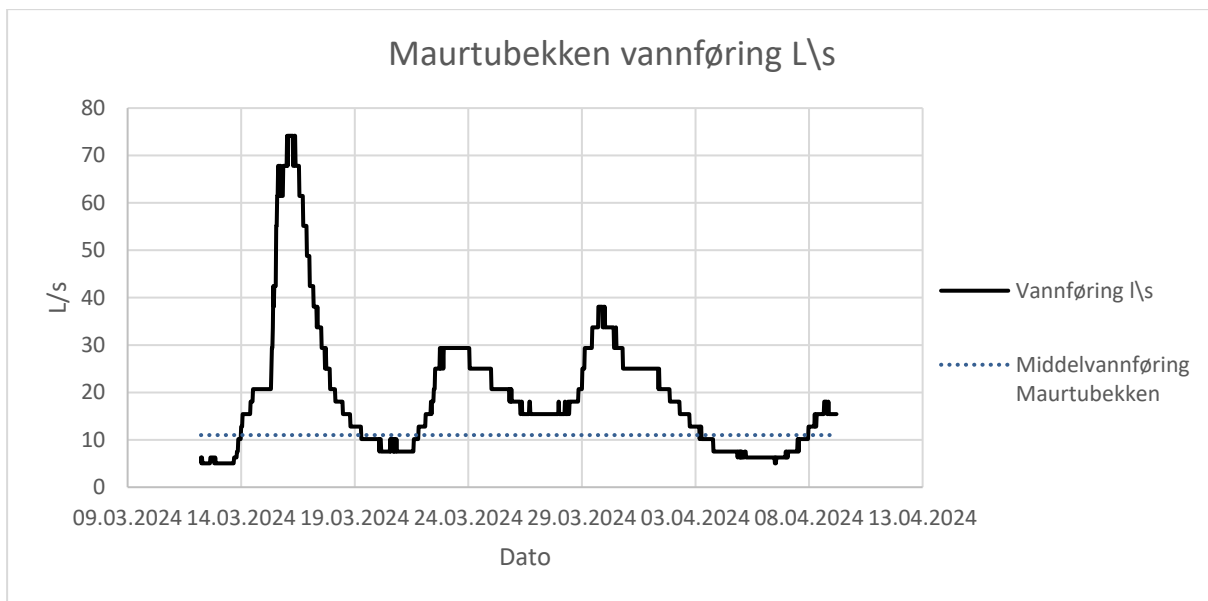
Begge bekkeløp over tilbakeføringsområdet er midlertidig lagt i rør over TBM-massene ila. mars og april 2024. Figur 2-5 og Figur 2-6 viser kurver fra vannføringsmålinger i bekkene.

Målepunktet i Mautubekken er ca. 100 m nedstrøms fyllingen, mens målepunktet i Myrerbekken er ca. 250 m nedstrøms bekkeutløpet i sørenden av Vefald-tomta, dvs. også nedstrøms kulverten som kommer fra E6 og Oslo kommunes snødeponi når dette er i bruk (Figur 2-7).

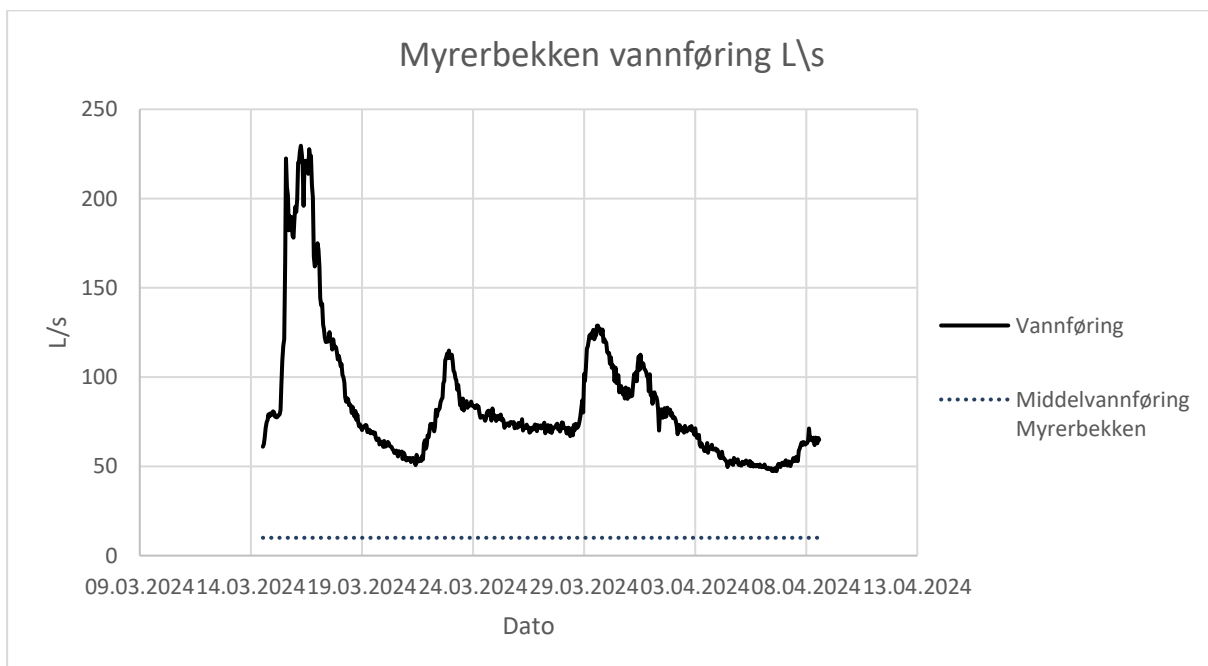
Det er installert radarmåling i røret som er lagt for Mautubekken (Figur 2-8), men det er ennå ikke registrert data ettersom det pr. d.d. ikke er registrert vann i røret etter at måler ble installert. Multiconsult har i forbindelse med andre feltarbeider på området registrert en god del vann i dette røret i perioden like etter at det ble lagt, som var under snøsmeltingen. Feltobservasjoner tilsier at det i praksis har vært tørt fra starten av april 2024, men at det fører noe vann i forbindelse med nedbørsperioder. Det er behov for lengre måleperiode for å kunne angi et godt estimat på hvor mye vann som over tid nå går i røret i stedet for å infiltrere i TBM-massene.

Myrerbekken er også lagt midlertidig i rør forbi Low Area og til eksisterende rør under Vefald-tomta. Vannmengder i røret er ennå ikke målt, men på befaring 24. april ble vannmengden anslått til 3-4 L/s, basert på enkel bøttetest i utløpet i pukkfyllingen. Feltobservasjonene tilsier at bekken mottar en del tilsig på strekningen nedenfor pukkfyllingen.

Det er også her behov for en lengre måleperiode av vannmengder i røret for å kunne angi et godt estimat på hvor mye vann som over tid nå går forbi Low Area i stedet for å infiltrere til området. Radarmålingene i Myrerbekken viser relativt stor vannføring, særlig i mars, og det er viktig å huske at målingene så langt er gjort under vårløsning og at målingene også fanger opp vannmengder fra E6.



Figur 2-5. Vannføring i Maurtubekken i mars og april 2024.



Figur 2-6. Vannføring i Myrerbekken i mars og april 2024.



Figur 2-7. Flyfoto fra Finn kart med skissering av punkter i Maurtu- og Myrerbekken.



Figur 2-8. Foto av radarmåling som er installert over det midlertidige røret som er lagt for Maurtubekken (bilde fra NIBIO, 19. april 2024).



### 3 DATAGRUNNLAG OG BEREGNINGER

#### 3.1 Vannmengder målt av AGJV

Ved Myrerbekken Water treatment plant (WTP) ble grunnvann pumpet fra Low Area til en rense-/overvåkningscontainer og videre til utslipp i Myrerbekken, der alt vann normalt skulle gå gjennom denne løsningen. Ved WTP Maurtubekken ble alt drens vann fra spoilområdet samt overvann fra det tidligere fabrikkområdet samlet. Disse dataene er representative for Spoil Area. Tabell 3-1 viser en sammenstilling av vannmengder som er oppgitt i AGJVs rapporter.

Gjennomsnittlig avrenning er 5,6 L/s for Myrerbekken og 5,8 L/s for Maurtubekken. Mengdene gir ikke en riktig vannføring i bekken, men en indikasjon. Blant annet er det en viss responstid i løsmasser.

Tabell 3-1. Vannføringer som ble målt ut av AGJVs WTP (Water Treatment Plant) i perioden 2017-2021.

År	Vann (m <sup>3</sup> /år) WTP Myrerbekken	Vann (m <sup>3</sup> /uke) WTP Myrerbekken	Vann (m <sup>3</sup> /år) WTP Maurtubekken	Vann (m <sup>3</sup> /uke) WTP Maurtubekken	Rapport
2017	198263	3813	203280	3909	UFB-EW-W-00003-1805
2018	224326	4314	242638	4666	UFB-EW-W-00004-1911
2019	200016	3846	244388	4700	UFB-EW-W-00005-2005
2020	130021	2500	132593	2550	UFB-EW-U-00017-2118, UFB-EW-U-00018-2138, UFB-EW-U-00019-2146
2021	129639	2493	86969	1672	UFB-EW-U-00017-2118, UFB-EW-U-00018-2138, UFB-EW-U-00019-2146
<b>Gjennomsnitt</b>		3393		3499	

#### 3.2 Beregning av sulfatkonsentrasjoner utført av Bane NOR

I Bane NORs årsrapport fra 2022 er det estimert et samlet utslipp av sulfat på ca. 500 tonn til Myrerbekken og Maurtubekken i perioden 2015-2022. Tabell 3-2 viser en sammenstilling av beregnede sulfatmengder som er vasket ut. Gjennomsnittsmengden sulfat pr. år er ifølge disse beregningene ca. 71 tonn.

Tabell 3-2. Vannføringer som ble målt ut av AGJVs WTP (Water Treatment Plant) i perioden 2017-2021.

År	Myrerbekken (kg SO <sub>4</sub> /år)	Maurtubekken (kg SO <sub>4</sub> /år)	Totalt (kg SO <sub>4</sub> /år)
2015	16894	3432	20326
2016	17914	13960	31874
2018	32578	52141	84719
2019	28173	81178	109351
2020	23219	79686	102905
2021	15871	62188	78059
2022	12102	45078	57180
<b>SUM</b>	146751	337663	484414

Under pH-justering av prosessvannet ble det benyttet svovelsyre og til reduksjon av krom(VI), samt at det ble det benyttet jernsulfat, som begge genererer sulfatavrenning. Det ble i en periode også benyttet saltsyre (HCl) til pH-justering. Saltsyre genererer kloridavrenning. Perioder med bruk av disse stoffene er som følger:

- Bruk av svovelsyre for pH-justering startet i september 2016
- I uke 9 i 2017 byttet AGJV til saltsyre for pH-justering
- I uke 22 i 2017 byttet AGJV til svovelsyre for pH-justering
- I uke 37 i 2017 byttet AGJV til saltsyre for pH-justering
- Tidlig 2018 erstattet AGJV saltsyre med CO<sub>2</sub> for pH-justering
- Januar 2018 ble jernsulfat tatt i bruk for å redusere krom-6 til krom-3.



### 3.3 Opplysninger om innkjøpte produkter med sulfat

Multiconsult har fått opplyst følgende:

- Det ble kjøpt inn 431 tonn jernsulfat. Det ble kjøpt inn 2746 tonn med svovelsyre i en 50:50 blanding med vann.
- Av innkjøpt mengde svovelsyre skal maksimalt 2356 tonn kunne ha blitt resirkulert og kommet i kontakt med TBM-masser.
- De to svovelholdige stoffene ble mottatt i perioden mellom september 2017 og mars 2018, med siste leveranse i mars 2018.
- Det meste av TBM-masser som ble levert til anlegg utenfor Åsland, var påvirket av sulfat fra  $\text{FeSO}_4$ .
- Det ble benyttet ca. 230 000 m<sup>3</sup> med backfill grout (sement) til å fylle hulrommet mellom prefabrikkerte betongsegmenter i tunnelen og fjellet.
- Sementinnholdet pr. kubikkmeter produkt er 340 kg, med et maksimalt innhold av sulfat i sementen på 4 %. Mengden sement blir da 78 000 tonn og gitt et sulfatinnhold på 2 % blir mengden sulfat ca. 1 500 tonn.

Tabell 3-3 til Tabell 3-5 viser anslag på mengder sulfat som kan ha fulgt massene. I beregningene er det lagt følgende til grunn:

- Vektandelen av sulfat i tilsatt jernsulfat vil være ca. 0,63
- I en 50 volum-% blanding av vann og svovelsyre vil vektandelen av svovelsyren være ca. 0,84
- Innholdet av sulfat i sement er 2 vekt-%. Øvre grense er ifølge datablad  $\leq 4$  %.

Fordelingen av sulfat mellom avløpsnett og TBM-masser er ukjent. Det er dermed usikkerheter knyttet til både hvor mye svovelsyre som er blitt brukt på Åsland samt hvor mye av sulfatet fra svovelsyre, jernsulfat og sement som har gått til renseanlegget på Bekkelaget.

Dersom det antas at 10 % av sulfatet har fulgt massene, tilsvarer dette ca. 650 tonn sulfat. Dersom det antas at 1/3 av sulfatet har fulgt massene tilsvarer dette ca. 1 900 tonn.

Tabell 3-3. Anslag på mengder sulfat som kan ha fulgt TBM-massene fra innkjøpt svovelsyre.

Innkjøpt svovelsyre						
	Svovelsyre ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 50 volum-% med vann	Svovelsyre ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 100%	$\text{SO}_4$ som kan ha blitt resirkulert	Gitt at 10 % fulgte massene	Gitt at 25 % fulgte massene	Gitt at 50 % fulgte massene
<b>Tonn</b>	2356	1990	1950	200	490	1000

Tabell 3-4. Anslag på mengder sulfat som kan ha fulgt TBM-massene fra innkjøpt jernsulfat.

Innkjøpt jernsulfat					
	Jernsulfat ( $\text{FeSO}_4$ )	$\text{SO}_4$ som kan ha blitt resirkulert	Gitt at 10 % fulgte massene	Gitt at 25 % fulgte massene	Gitt at 50 % fulgte massene
<b>Tonn</b>	431	273	27	70	140

Tabell 3-5. Anslag på mengder sulfat som kan ha fulgt TBM-massene fra innkjøpt jernsulfat.

Mengde sulfat i sement i backfill grout, antatt 2 % innhold av $\text{SO}_4$ i sement					
	Mengde sement	Sulfat ( $\text{SO}_4$ ) som kan ha blitt resirkulert	Gitt at 10 % fulgte massene	Gitt at 25 % fulgte massene	Gitt at 50 % fulgte massene
<b>Tonn</b>	78 000	1500	150	380	750

### 3.4 Sulfatinnhold i analyser av prøvemateriale

I løpet av 2023 og 2024 er det analysert for innhold av sulfat i 173 prøver av TBM-masser. Det er tatt til sammen 47 prøver fra pyramiden, 28 prøver fra mellomlageret rett øst for pyramiden og 98 prøver

fra etablert fylling. Fra 2024 foreligger et også 9 analyser av sulfat fra torv- og leirprøver fra stedlig grunn under etablert fylling. Figur 3-1 viser et kart med prøvepunktene.

Resultatene for torv viser sulfatverdier under kvantifiseringsgrensen (<100 mg/kg). Resultatene for leire viser verdier på 300-420 mg/kg SO<sub>4</sub>.

Tabell 3-6 viser resultater for sulfat fra prøvegraving i pyramiden i 2023 (25 prøver av TBM-masser). Tabell 3-7 viser resultater for sulfat fra prøvegraving i mellomlager nord og på etablert fylling i 2023 (69 prøver av TMB-masser, prøvegroper P1-P10). Tabell 3-8 viser resultater fra boring med Sonic-rigg i 2024 (79 prøver av TBM-masser). Tørrstoffinnholdet i undersøkte TBM-masser ligger på ca. 94 %.

Tabell 3-6. Resultater for sulfat fra prøvegraving i pyramiden i 2023. For beregning av gjennomsnittsverdier i mg/kg er det benyttet halv kvantifiseringsgrense (som er 0,1 % TS).

Prøve-ID	Prøver fra pyramiden, 2023	
101	SO4 (mg/kg TS)	500
102	SO4 (mg/kg TS)	1600
105	SO4 (mg/kg TS)	1400
106	SO4 (mg/kg TS)	1300
107	SO4 (mg/kg TS)	500
108	SO4 (mg/kg TS)	500
109	SO4 (mg/kg TS)	1100
110	SO4 (mg/kg TS)	500
111	SO4 (mg/kg TS)	1100
112	SO4 (mg/kg TS)	500
113	SO4 (mg/kg TS)	500
114	SO4 (mg/kg TS)	500
115	SO4 (mg/kg TS)	500
116	SO4 (mg/kg TS)	1400
117	SO4 (mg/kg TS)	1300
118	SO4 (mg/kg TS)	500
119	SO4 (mg/kg TS)	500
120	SO4 (mg/kg TS)	1400
121	SO4 (mg/kg TS)	500
122	SO4 (mg/kg TS)	1400
123	SO4 (mg/kg TS)	500
124	SO4 (mg/kg TS)	500
125	SO4 (mg/kg TS)	1400
P18	SO4 (mg/kg TS)	500
P20	SO4 (mg/kg TS)	1800
<b>Gjennomsnitt pyramide (n = 25)</b>	<b>SO4 (mg/kg TS)</b>	<b>888</b>
Min.	SO4 (mg/kg TS)	500
Maks.	SO4 (mg/kg TS)	1800

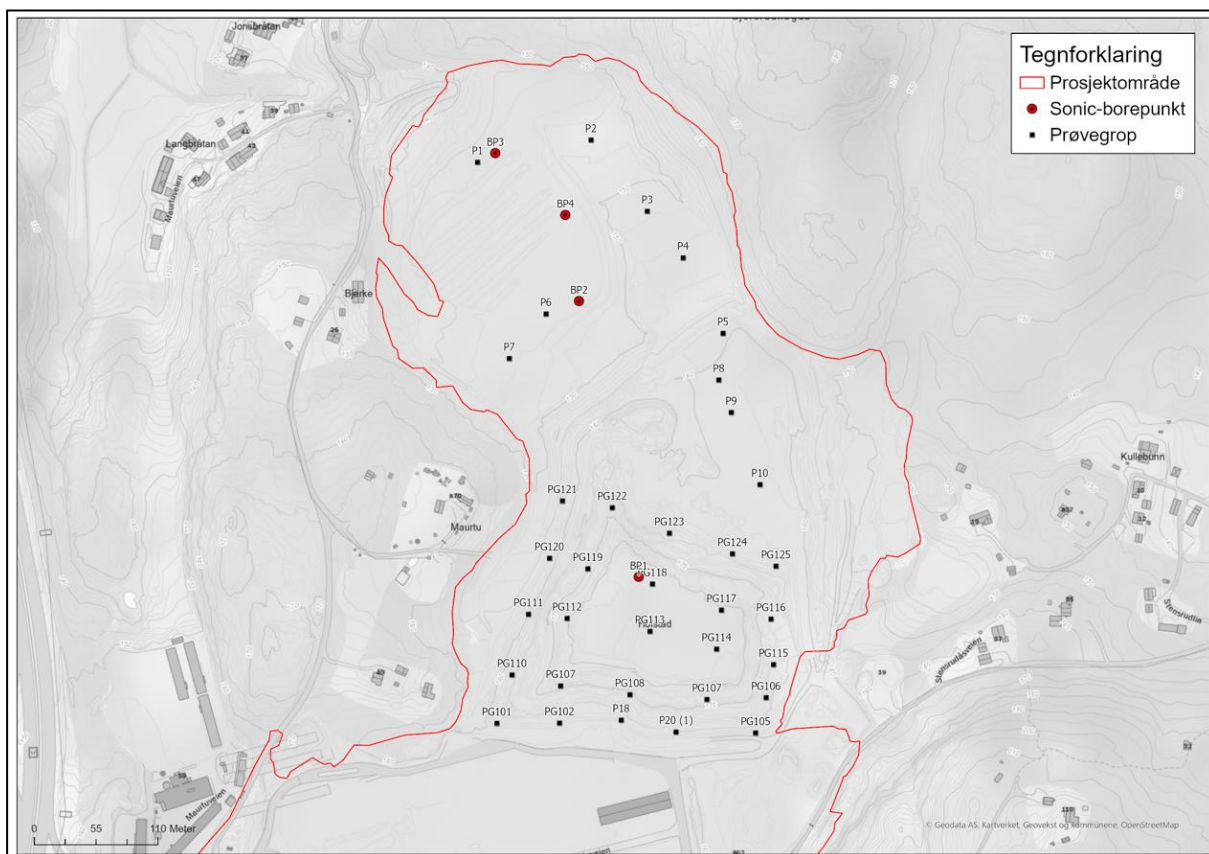
Tabell 3-7. Resultater for sulfat fra prøvegraving i mellomlager nord og på etablert fylling i september 2023.

Prøve-ID	Prøvegrøper etablert fylling, september 2023		Prøve-ID	Prøvegrøper mellomlager nord, september 2023	
1.1	SO4 (mg/kg TS)	71	5.1	SO4 (mg/kg TS)	66
1.2	SO4 (mg/kg TS)	91	5.2	SO4 (mg/kg TS)	230
1.3	SO4 (mg/kg TS)	240	5.3	SO4 (mg/kg TS)	110
1.4	SO4 (mg/kg TS)	140	5.4	SO4 (mg/kg TS)	160
1.5	SO4 (mg/kg TS)	270	5.5	SO4 (mg/kg TS)	87
1.6	SO4 (mg/kg TS)	280	5.6	SO4 (mg/kg TS)	100
2.1	SO4 (mg/kg TS)	47	5.7	SO4 (mg/kg TS)	140
2.2	SO4 (mg/kg TS)	82	8.1	SO4 (mg/kg TS)	180
2.3	SO4 (mg/kg TS)	470	8.2	SO4 (mg/kg TS)	86
2.4	SO4 (mg/kg TS)	190	8.3	SO4 (mg/kg TS)	270
2.5	SO4 (mg/kg TS)	130	8.4	SO4 (mg/kg TS)	120
2.6	SO4 (mg/kg TS)	180	8.5	SO4 (mg/kg TS)	200
2.7	SO4 (mg/kg TS)	110	8.6	SO4 (mg/kg TS)	200
3.1	SO4 (mg/kg TS)	50	8.7	SO4 (mg/kg TS)	300
3.2	SO4 (mg/kg TS)	150	9.1	SO4 (mg/kg TS)	99
3.3	SO4 (mg/kg TS)	190	9.2	SO4 (mg/kg TS)	120
3.4	SO4 (mg/kg TS)	130	9.3	SO4 (mg/kg TS)	120
3.5	SO4 (mg/kg TS)	140	9.4	SO4 (mg/kg TS)	220
3.6	SO4 (mg/kg TS)	130	9.5	SO4 (mg/kg TS)	400
3.7	SO4 (mg/kg TS)	130	9.6	SO4 (mg/kg TS)	290
4.1	SO4 (mg/kg TS)	260	9.7	SO4 (mg/kg TS)	370
4.2	SO4 (mg/kg TS)	48	10.1	SO4 (mg/kg TS)	44
4.3	SO4 (mg/kg TS)	160	10.2	SO4 (mg/kg TS)	66
4.4	SO4 (mg/kg TS)	80	10.3	SO4 (mg/kg TS)	81
4.5	SO4 (mg/kg TS)	120	10.4	SO4 (mg/kg TS)	170
4.6	SO4 (mg/kg TS)	120	10.5	SO4 (mg/kg TS)	270
4.7	SO4 (mg/kg TS)	120	10.6	SO4 (mg/kg TS)	190
6.1	SO4 (mg/kg TS)	10	10.7	SO4 (mg/kg TS)	200
6.2	SO4 (mg/kg TS)	28			
6.3	SO4 (mg/kg TS)	240			
6.4	SO4 (mg/kg TS)	60			
6.5	SO4 (mg/kg TS)	40			
6.6	SO4 (mg/kg TS)	110			
6.7	SO4 (mg/kg TS)	78			
7.1	SO4 (mg/kg TS)	8,1			
7.2	SO4 (mg/kg TS)	1100			
7.3	SO4 (mg/kg TS)	80			
7.4	SO4 (mg/kg TS)	100			
7.5	SO4 (mg/kg TS)	75			
7.6	SO4 (mg/kg TS)	510			
7.7	SO4 (mg/kg TS)	340			
<b>Gjennomsnitt etablert fylling (n = 41)</b>	<b>SO4 (mg/kg TS)</b>	<b>168</b>	<b>Gjennomsnitt mellomlager nord (n =28 )</b>	<b>SO4 (mg/kg TS)</b>	<b>189</b>
Min.	SO4 (mg/kg TS)	8,1	Min.	SO4 (mg/kg TS)	44
Maks.	SO4 (mg/kg TS)	1100	Maks.	SO4 (mg/kg TS)	400

Tabell 3-8. Resultater for sulfat fra boring med Sonic-rigg i 2024. For beregning av gjennomsnittsverdier er det benyttet halv kvantifiseringsgrense (som er 100 mg/kg SO<sub>4</sub>). Prøver av annet materiale enn TBM-masser og stein nederst i fyllingen er utelatt.

Prøver fra Sonic-boring 2024				
Dybde (m)	BP1 (pyramide)	BP2	BP3	BP4
	SO <sub>4</sub> (mg/kg TS)	SO <sub>4</sub> (mg/kg TS)	SO <sub>4</sub> (mg/kg TS)	SO <sub>4</sub> (mg/kg TS)
1	450	50	170	50
2	220	50	110	140
3	260	50	200	140
4	140	50	170	100
5	50	50	160	50
6	50	50	120	50
7	50	50	120	100
8	300	50	100	130
9	170	50	50	50
10	300	50	300	140
11	140	50	450	310
12	50	50	260	50
13	140	50	370	270
14	50	50	470	50
15	50	50	230	50
16	50	50	240	
17	50	50	510	50
18	50	50	210	50
19	50	50	50	100
20	50			
21	130			160
22	50			
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>130</b>	<b>50</b>	<b>226</b>	<b>107</b>
Min.	50	50	50	50
Maks.	450	50	510	310





Figur 3-1. Kart som viser en oversikt over prøvepunkter. P1-P10 angir sjaktgraving til 7 meters dybde i september 2023. PG101-PG125 angir prøvegraving i pyramiden i oktober 2023. BP1-BP4 angir Sonic-borpunkter i 2023.

### **Vurdering av usikkerheter i resultatene**

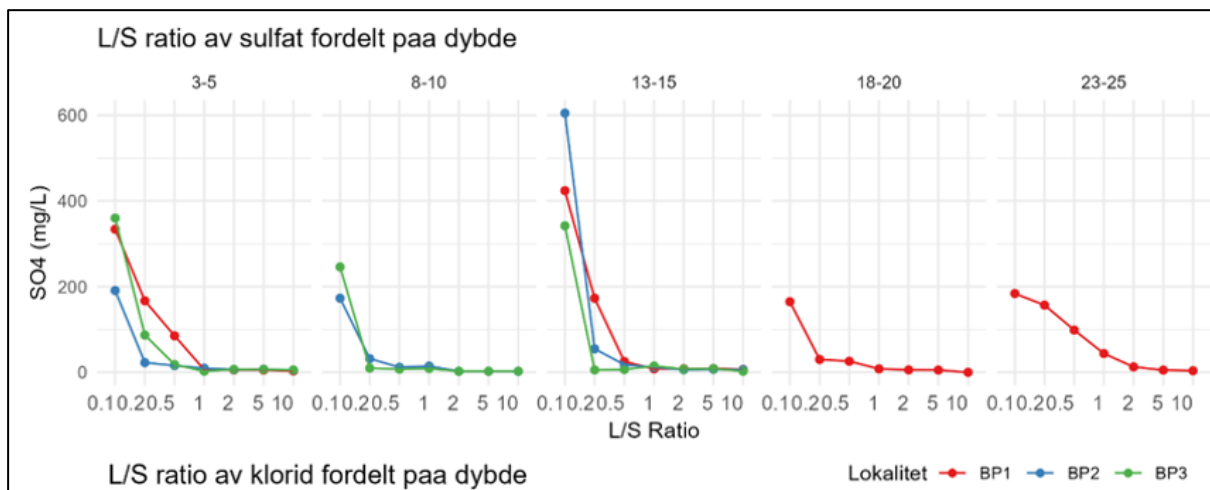
Resultatene viser nokså sammenlignbare resultater fra prøvegravingen i september 2023 og i Sonic-boringene i 2024. Gjennomsnittsverdiene fra de 14 punktene som ble undersøkt i disse to rundene varierer fra 50-316 mg/kg SO<sub>4</sub>.

Resultatene fra prøvegravingen i pyramiden i 2023 skiller seg ut med høyere verdier (gjennomsnitt på 888 mg/kg SO<sub>4</sub>). I dette gjennomsnittet ligger det mange resultater der konsentrasjoner ikke ble påvist, og det er benyttet halv rapporteringsgrense, dvs. en verdi på 500 mg/kg SO<sub>4</sub>. Påviste konsentrasjoner er imidlertid nokså høye, og 11 av 25 prøver er målt med > 1000 mg/kg SO<sub>4</sub>. Høyere prøveresultater i denne undersøkelsen enn i de andre kan muligens være nyttig til analysemetoden. Hovedhensikten var å karakterisere bergets syredannende potensial. Prøvematerialet blir da først knust ned og malt opp ettersom analysen først og fremst skal gi informasjon om sammensetningen av selve steinen/mineralet, og ikke primært måle mengden adsorbent forurensning. Boringen i 2024 (BP1) indikerer at sulfatinnholdet i pyramiden er mer sammenlignbart med de øvrige prøvene når analysemetoden er lik. Det samme gjelder prøvegravingen fra september 2023, der det ble gravd i masser som ble behandlet på samme måte som massene i pyramiden (på dette tidspunktet ble det benyttet FeSO<sub>4</sub> for å redusere krom(VI)).

Entreprenørs analyser av TBM-masser fra 2018 viser at det er store variasjoner i sulfatverdiene, og at det dermed fremdeles kan ventes å registrere høye verdier. Det er likevel påfallende at gjennomsnittet fra prøvegravingen med analyser på alunskiferpakken (25 sjakter) gir et gjennomsnitt på 888 mg/kg SO<sub>4</sub> mens de 22 prøvene fra Sonic-boringen i pyramiden gir et gjennomsnitt på 130 mg/kg SO<sub>4</sub>.

Resultatene fra kolonnetestene (Figur 3-2) tyder også på liten forskjell i sulfatinnhold mellom massen i pyramiden og øvrige TBM-masser. Basert på disse betraktningene vurderes prøvene fra BP1 og mellomlager nord å gi et bedre anslag på sulfatinnholdet i pyramiden enn prøvene som er analysert på alunskiferpakken.

Tabell 3-9 viser en oversikt over mengder og estimer.



Figur 3-2. Resultater fra syv-trinns kolonnetester. Rød kurve er BP1 (pyramiden), blå og grønn kurve er fra etablert fylling.

Tabell 3-9. Oversikt over mengder TBM-masser, gjennomsnittsverdier av sulfat og hvor fordeling av prøver fra pyramiden og etablert del av masseoppfyllingen.

Mengder og estimater	
TBM masse (tonn) totalt på Åsland	5 500 000
Volum pyramide (m <sub>3</sub> )	580 000
Vekt TBM-masser på etablert fylling (tonn)	4 224 000
TBM masse pyramide (tonn) med omregningsfaktor på 2,2 tonn / m <sub>3</sub> (jf. Langford m.fl.)	1 276 000
Forhold pyramide / fylling	0,23
Antall prøver pyramide	47
Antall prøver mellomlager nord	28
Antall prøver utlagt fylling	98
Forhold prøver pyramide og mellomlager nord / etablert fylling	0,77
Gjennomsnittsverdi i etablert fylling (mg/kg SO <sub>4</sub> )	147
Gjennomsnittsverdi på mellomlager nord (mg/kg SO <sub>4</sub> )	189
Gjennomsnittsverdi i pyramide (mg/kg SO <sub>4</sub> ) (analyser fra 2023 og 2024)	533
Gjennomsnittsverdi i pyramide og mellomlager nord (mg/kg SO <sub>4</sub> )	389
Gjennomsnittsverdi BP1 i pyramide (mg/kg SO <sub>4</sub> )	130
Gjennomsnitt i mellomlager nord og BP1 (mg/kg SO <sub>4</sub> )	166
Gjennomsnitt alle prøver (etablert fylling, mellomlager nord og pyramide) (mg/kg SO <sub>4</sub> )	255
Anslag av gjenværende mengde sulfat i pyramide (tonn), basert på mellomlager nord, BP1 og aluskiferpakke	496
Anslag av gjenværende mengde sulfat i pyramide, basert på mellomlager nord og BP1 (mg/kg SO <sub>4</sub> )	212
Anslag av gjenværende mengde sulfat i etablert fylling (tonn)	619
Anslag av gjenværende mengde sulfat totalt (tonn) med prøver analysert på aluskiferpakke	1115
Anslag av gjenværende mengde sulfat totalt (tonn), uten prøver analysert på aluskiferpakke	830

### 3.5 Estimert av mengden sulfat i TBM-massene

Ettersom massene i pyramiden skal flyttes, er det skilt mellom gjennomsnittet for sulfat i pyramiden og på etablert fylling. Tabell 3-10 viser estimater for sulfatmengder basert på analyseresultatene. Det lave estimatet tyder på at det er ca. 830 tonn med sulfat i massene, mens det høye estimatet gir ca. 1115 tonn med sulfat.

<b>Follobaneprosjektet</b>	Follobaneprosjektet, Tilbakeføring	Side:	15 av 23
	Åsland, Beregninger og vurderinger mhp.	Dok.nr:	UFB-31-A-73143
	sulfat	Rev:	00C
		Dato:	30.04.2024

Tabell 3-10. Estimert av mengden sulfat i TBM-massene.

TBM-masser i pyramiden (kg)		Gjennomsnitt pyramide (mg/kg SO <sub>4</sub> ) (2023 og 2024)	SO <sub>4</sub> (kg)	SO <sub>4</sub> (tonn)
Lavt estimat	1 276 000	166	212 000	212
Høyt estimat	1 276 000	389	496 000	496
TBM-masser i etablert fylling (kg)		Gjennomsnitt etablert fylling (mg/kg SO <sub>4</sub> ) (2024)	SO <sub>4</sub> (kg)	SO <sub>4</sub> (tonn)
4 224 000		147	619 000	619
<b>SUM (tonn)</b>				<b>830 - 1115</b>

Dersom man legger til den anslåtte mengden sulfat som er vasket ut (500 tonn) blir den totale sulfatmengden mellom ca. 1 300 og 1600 tonn. Som vist i Tabell 3-3 til Tabell 3-5, er innkjøpte mengder av sulfat større enn dette estimatet, men tapet av sulfat med vann som ble sluppet på ledningsnettet må ha vært betydelig fra innkjøpt mengde. Det er derfor sannsynlig at det også har vært bidrag av sulfat fra andre kilder, som porevann fra leire, torv og noe oksidasjon av svovel fra berget.

Setninger i torv og leire under fyllingen har bidratt med avrenning av sulfat fra disse massene: Under boringer med Sonic-rigg i 2024 ble det registrert et lag på 1,2 m med fast, tørr torv over leire i BP1 og BP2. Ifølge geotekniske undersøkelser (rapport UFB-31-A-67013) var det før utfylling et torvlag på 1-2 m på området med etablert fylling. Vanninnholdet i torven varierte mellom 260 og 1200 %. Middelerdien for vanninnhold tilsier at ca. 80 % torva besto av vann. Området med torv er målt til ca. 50 000 m<sup>2</sup> i historisk flyfoto (2008) og i så fall skal ca. 60 000 m<sup>3</sup> med vann være presset ut fra torv etter at masser ble lagt ut. Sulfatinnholdet i torv eller vannet i torva før tiltak er ikke kjent, og i 2024 ble innholdet målt til <100 mg/kg TS. Undersøkelser fra Landbrukshøgskolen i Ås fra sur-nedbørperioden viser at torvmasser i Ås-området hadde et sulfatinnhold på 15-30 mg/kg SO<sub>4</sub>.

Sulfatinnholdet i leirprøvene er i 2024 målt til 300-430 mg/kg TS. Setninger etter utlegging av fylling har presset ut porevann, men med en ukjent sulfatkonsentrasjon. Dersom man tar utgangspunkt i saltfordelingen i sjøvann (dette er marin leire), utgjør sulfatet 8 % av de 35 g med salt per liter, dvs. 2700 mg/L. Som en grov tilnærming ansees leire å bli kvikk hvis saltinnholdet i porevannet synker til < 2 %, dvs. < 700 mg/L. Hvis sulfat utgjør 8 % av denne mengden tilsvarer dette en konsentrasjon på 56 mg/L SO<sub>4</sub>.

Torv og leire har nok vært en av kildene til sulfatavrenning, men bidraget vurderes som lite sammenlignet med de øvrige kildene. Basert på de siste setningsmålingene fremstår det også som lite sannsynlig at torv og leire vil bidra med vesentlig mengder sulfat fremover i tid.

Ved høy pH og oksiderende forhold er det sannsynlig at sulfider i bergartene vil løses opp. Svovel oksideres og danner sulfationer som forblir i løsning. I prøvene fra 2023 og 2024 er det lavere innhold av totalsvovel, men et høyere innhold av sulfater i TBM-massene sammenlignet med kjerneprøver fra 2011. Reduksjonen i innhold av totalsvovel indikerer at noe av sulfatet kommer fra sulfidoksidasjon. Dette er også i overensstemmelse med kildevurderinger av sulfatisotoper som ble utført av AGJV i 2024.

## 4 VARIGHET AV SULFATUTLEKKING

Det legges til grunn at det er 212 tonn SO<sub>4</sub> i pyramiden og 620 tonn SO<sub>4</sub> i etablert fylling. Lavt anslag på total mengde er sulfat er anslått til 830 tonn. Høyt anslag på total mengde er sulfat er anslått til 1115 tonn. Jamfør Bane NORs beregning av mengden som er vasket ut til nå, utgjør gjenværende mengde ca. 2/3 av opprinnelig sulfatmengde.

Dersom videre utvasking skjer med raten som er anslått av Bane NOR, dvs. 71 tonn i året, gir dette en varighet på mellom ca. 12 og år 16 før anslaget på total sulfatmengde er vasket ut, gitt samme utvaskingshastighet som i dag.

<b>Follobaneprojektet</b>	Follobaneprojektet, Tilbakeføring	Side:	16 av 23
	Åsland, Beregninger og vurderinger mhp.	Dok.nr:	UFB-31-A-73143
	sulfat	Rev:	00C
		Dato:	30.04.2024

Scenariet er lite realistisk: Videre utvaskingsrate er usikker pga. forskjellen i sulfatkonsentrasjoner mellom pyramiden og etablert fylling samt den vil påvirkes av reduserte vanngjennomstrømning etter at bekkene midlertidig er lagt i rør (strakstiltak) og etter reetablering av bekker på terreng.

#### 4.1 Mautubekken

Mautubekken har ikke noe vann øverst i nedbørsfeltet og har ustabil vannføring. Ettersom vann fra skogen i sør ikke har rent inn over fyllingen og til bekkeløpet, antas det at NEVINA overestimerer vannmengden i punkter inne på fyllingsområdet.

Som et strakstiltak er Mautubekken midlertidig lagt i rør over TBM-massene, og det er installert vannmengdemålere i røret og nedstrøms i selve bekkeleiet. Hittil er det kun blitt målt vannmengde i perioden etter snøsmelting, og da er røret tørt. Under snøsmeltingen ble det imidlertid registrert en god del vann i røret, men på dette tidspunktet var ikke radarmålingen installert ennå. Det er dermed usikkert hvor store vannmengder som over tid vil gå i røret og over fyllingen i stedet for å infiltrere. Observasjonene tyder så langt på at røret kun vil føre vann i perioder med en del nedbør og under snøsmelting.

Det legges til grunn at rørlegging/reetablering av Mautubekken over tid vil hindre ca. 1/3 av middelvannføringen i bekken (ca. 3-4 L/s) i å infiltrere i TBM-massene.

Gjennomsnittskonsentrasjonen av sulfat på etablert fylling antas å være den samme som ble målt i 2024, dvs. 147 mg/kg SO<sub>4</sub>. En gjenværende sigevannsmengde på 7-8 L/s med gjennomsnittlig 300 mg/L SO<sub>4</sub> vil bruke 9 år på å vaske ut 620 tonn med sulfat. En del av tilsiget fra bekken vil imidlertid følge terreng og i liten grad vaske ut sulfat. Nedbørsmengden pr. år tilsier infiltrasjon av 6,3 L/s. (areal etablert fylling på 224 000 m<sup>2</sup> med 892 mm/år). Dette er antagelig en mer realistisk mengde og som gir utvasking ilt. 11 år. Dersom man tar høyde for noe fordampning og opptak fra planter etter at området er revegetert, vil utvaskingen gå langsommere.

#### 4.2 Myrerbekken

Etter midlertidig rørlegging og etter reetablering av Myrerbekken antas størsteparten av vannmengden som infiltrerer gjennom TBM-massene å komme fra nedbør. Gjennomsnittlig årsnedbør i Ås er 892 mm (1991-2020). Hvis det antas at nedslagsfeltet til Low Area er 140 000 m<sup>2</sup> tilsvarer dette 125 000 m<sup>3</sup> med nedbør i året, eller 2400 m<sup>3</sup> i uken og ca. 4 L/s med vann som infiltrerer. I denne mengden er det ikke tatt hensyn til opptak i vegetasjon eller fordampning, etc. Det vil imidlertid komme noe grunnvannstilsig langs oppstrøms fjellflater som bidrar til den totale sigevannsmengden, selv om dette vannet ikke i like stor grad vil komme i kontakt med TBM-massene.

Gjennomsnittskonsentrasjonen av sulfat på Low Area etter flytting av TBM-masser antas å være et sted mellom de høye verdiene fra analyser på alunskiferpakke og de som ble målt i pyramiden i 2024 og i september 2023. Ved lavt forhold mellom vann og faststoff (L/S = 0,1) tilsier kolonnetestene at sulfatkonsentrasjoner i vannet vil ligge i overkant av 300 mg/L (dvs. omtrent likt med medianverdien for sulfat som er målt i Mautubekken). Ytterligere oppkonsentrering i vannet på Low Area kan ikke utelukkes ettersom sigevannet vil infiltrere gjennom 15 m med TBM-masser.

Gitt infiltrasjon av 4 L/s med vann som har 300 mg/l SO<sub>4</sub>, vil det ta 6 år å vaske ut sulfatmengden i det lave anslaget (dvs. ikke medregnet analysene utført på alunskiferpakken). For det høye anslaget av sulfatmengder (dvs. medregnet analysene utført på alunskiferpakken) viser estimatet at det vil ta 13 år.

#### 4.3 Usikkerheter

Det er betydelige usikkerheter i anslagene for både Mautubekken og Myrerbekken:

- Vann som infiltrerer vil ha foretrukne veier der sulfat vaskes ut i større grad enn andre steder. Selv om sulfat mobiliseres svært lett ved første kontakt med vann, vil ujevn utvasking kunne medføre avtagende konsentrasjoner i sigevannet og lengre tid på hele utvaskingsprosessen. Områdene med mest kontakt med vann vil først tømmes for sulfat og deretter vil det trolig være en mer gradvis utvasking fra områder som er mindre eksponert.



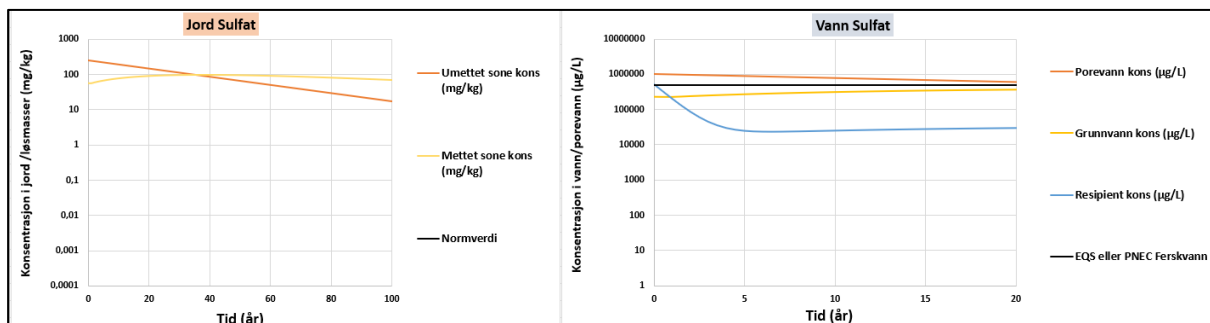
- Kildene til sulfat er primært sulfat fra prosessvann, oksidasjon av svovel i steinmassene samt noe tilførsel fra torv og leire, iallfall i den første tiden etter utlegging av TBM-masser når setninger var størst. Analyser tyder på en reduksjon av totalsvovel i TBM-massene siden 2011, der en andel totalsvovel er blitt oksidert til sulfat. Bergartene har et lavt totalinnhold av svovel, men under oksidiske betingelser og nøytrale – basiske forhold vil noe oksidasjon forekomme også i fremtiden.
- Revegetering etter tilbakeføring vil redusere vannmengder gjennom TBM-massene og medføre langsommere utvasking.

## 5 MILJØDIREKTORATETS SPREDNINGSVERTKØY

Det er forsøkt å modellere sulfatutslipp med Miljødirektoratets spredningsverktøy (2). Hovedresultatet er vist i Figur 5-1 Verktøyet anslår den totale mengden av sulfat i TBM-massene til ca. 3500 tonn når gjennomsnittskonsentrasjonen for alle maser legges inn..

Ser man på Figur 5-1 og Tabell 7-1, treffer verktøyet godt på dagens verdi i resipient (Maurtubekken) ettersom verdien er basert på målte data som er lagt inn (300 µg/L SO<sub>4</sub>). Etter dette regner verktøyet med maksimalkonsentrasjoner i resipient på ca. 25 µg/L som er oppnådd ila. 5 år. Fordelingskoeffisient (K<sub>d</sub>-uorganisk), som verktøyet foreslår, er basert på porevannskonsentrasjoner og tørrstoffanalyser. Med denne K<sub>d</sub>-verdien sier verktøyet at det ila. 100 år vil vaskes ut ca. 88 % av den totalt anslått mengde i umettede TBM-masser.

Verktøyet beregner en svært raskt avtakende konsentrasjon. Faktiske overvåkningsdata tilsier ikke en så rask reduksjon i utlekking, og vi mener verktøyets prognose er svært usikker og, basert på overvåkningsdata, virker det mer sannsynlig at reduksjonen i resipientkonsentrasjonene vil gå langsommere. Dersom man tenker seg verktøyets beregning satt 5 år tilbake i tid, er det åpenbart at utvaskingen går langsommere enn verktøyet foreslår, men beregningen tilsier iallfall ikke noen økte i sulfatkonsentrasjoner i resipient.



Figur 5-1. Prognoser for sulfatutlekking fra Miljødirektoratets spredningsverktøy.

## 6 OPPSUMMERING AV UTLEKKING

Foreliggende beregninger tyder på at det ligger anslagsvis 620 tonn med sulfat i TBM-massene på etablert fylling og mellom 210 - 500 tonn i massene som skal flyttes til Low Area.

Anslag på utvaskingsrater tyder på at etablert fylling i teorien skal kunne vaskes ut ila. 10-15 år. Varigheten på Low Area antas å være ca. 10 år. Utvaskingsratene etter rørlegging av bekker er usikre, men ettersom de mest vannekspanerte delene av TBM-massene vil vaskes ut først, forventes det at sulfatkonsentrasjoner vil avta gradvis, selv om sulfat mobiliseres svært raskt ved kontakt med vann.

## 7 SÅRBARHET OG EFFEKTER AV SULFAT I RESIPIENTER

Primærresipientene er Myrer- og Maurtubekken. Sekundærresipient er Stensrubbekken. Myrerbekken er ca. 500 m lang før den renner sammen med Maurtubekken, og Maurtubekken er ca. 250 m lang før samløpet. Fra samløpet Myrer-/Maurtubekken til samløp med Stensrubbekken er det ca. 380 m. På denne strekningen kommer det inn en liten landbruksgrøft fra øst.

### 7.1 Målinger i resipienter

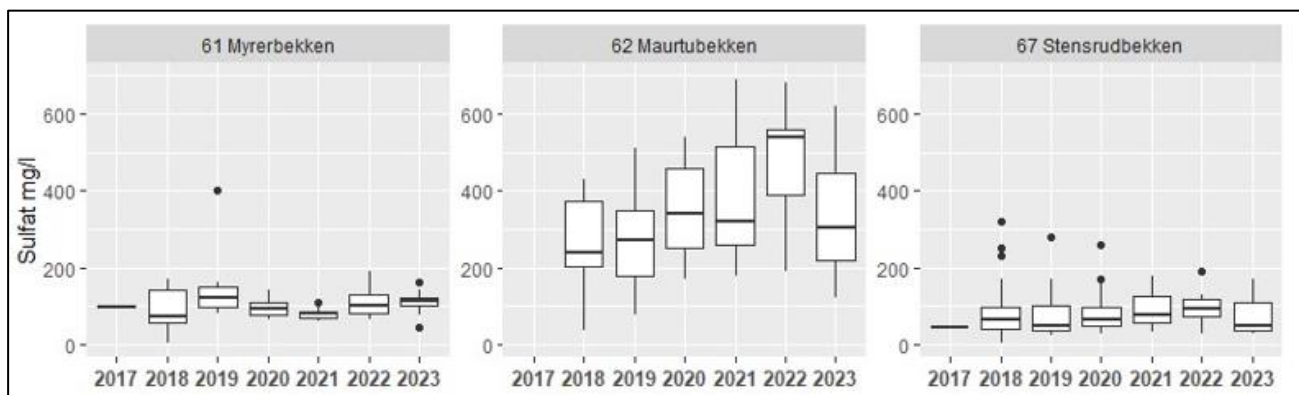
Tabell 7-1 viser sulfatkonsentrasjoner (mg/l) som årsverdier med snitt, min og maks i Myrerbekken, Maurtubekken og Stensrubbekken i perioden 2017-2023, og Figur 7-1 viser et boksplott for samme periode.

Gjennomsnittsverdiene viser at konsentrasjonen synker med ca. 4-5 ganger etter samløpet med Stensrubbekken som er ca. 800 m nedstrøms tilbakeføringsområdet. Ifølge beregningsverktøyet NEVINA har Maurtubekken og Myrerbekken omtrent samme middelvannføring, og gitt omtrent samme vannføring i bekkene så vil gjennomsnittskonsentrasjonene etter samløpet mellom Myrer- og Maurtubekken være mellom 195 og 300 µg/L SO<sub>4</sub>.

De høyeste konsentrasjonene av sulfat måles i Maurtubekken (vannforekomst ID 006-113584). Her er trenden for sulfat svakt stigende fra 2018 til i dag. Konsentrasjonene varierer imidlertid med årstider og vannføring i bekken. Det har de tre siste årene blitt målt relativt stabilt mellom 200 og 600 mg/l sulfat, med noen høyere topper opp til 700 mg/l. Trenden er vist i Figur 7-2 og Figur 7-3.

Tabell 7-1. Årsverdier for sulfat (mg/l) med snitt, min og maks ved 61 Myrerbekken, 62 Maurtubekken og 67 Stensrubbekken i perioden 2017-2023. Tabell fra NIBIO (3).

År	61			62			67		
	Snitt	Maks	Min	Snitt	Maks	Min	Snitt	Maks	Min
2017	93	96	90				58	72	44
2018	105	170	22	286	430	36	87	250	23
2019	131	400	79	256	410	75	65	170	22
2020	92	140	63	356	540	170	80	260	29
2021	81	110	60	378	690	180	88	180	30
2022	110	190	63	481	680	190	92	190	28
2023	111	160	43	337	620	120	45	170	29
<b>Totalt</b>	<b>103</b>	<b>400</b>	<b>22</b>	<b>349</b>	<b>690</b>	<b>36</b>	<b>74</b>	<b>260</b>	<b>22</b>



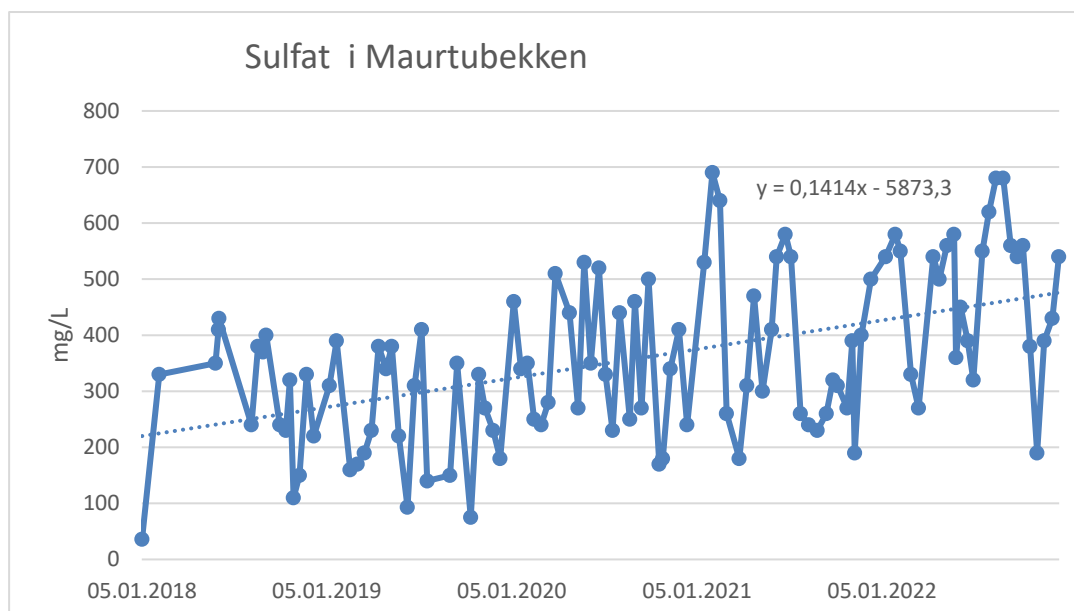
Figur 7-1. Boksplott med sulfatkonsentrasjoner i Myrerbekken, 62 Maurtubekken og 67 Stensrubbekken i perioden 2017-2023. Figur fra NIBIO (3).

I drikkevannsforskriften har sulfat en tiltaksgrense på 250 mg/l. Tiltaksgrensen på 250 mg/l er i tillegg satt ut fra risiko for korrosjon og ikke ut fra helsefaglige eller økologiske vurderinger. Det er tålegrenser for vannlevende organismer som vil være styrende for hva som kan aksepteres av sulfatkonsentrasjoner og det gjøres det ingen videre vurderinger av sulfat mht. eksponering av

mennesker for vannmiljøet i denne vurderingen. Videre vurderinger avgrenses derfor til liv som finnes i det akvatiske miljøet.

I Vannforskriften (4) er det ikke fastsatt grenseverdier for sulfat i overflatevann. I sjøvann ligger gjennomsnittlig sulfatkonsentrasjoner til sammenligning på ca. 2500-2700 mg/L (5). Det er ikke de samme artene som typisk lever i ferskvann som i sjøvann, og ferskvannsorganismer tåler vanligvis ikke på langt nær så høye sulfatkonsentrasjoner. Toksisitet/tålegrenser for sulfat varierer imidlertid med vannets hardhet<sup>1</sup> for flere vannlevende organismer, der økt hardhet gir lavere toksisitet. Utslippet og nedstrøms bekker på Åsland har høy hardhet, og således er de målte konsentrasjonene av sulfat mindre toksiske for vannlevende organismer enn standardverdier i litteratur. Målt innhold av kalsium i bekkestrengene nedstrøms Åsland er vist i Figur 7-2.

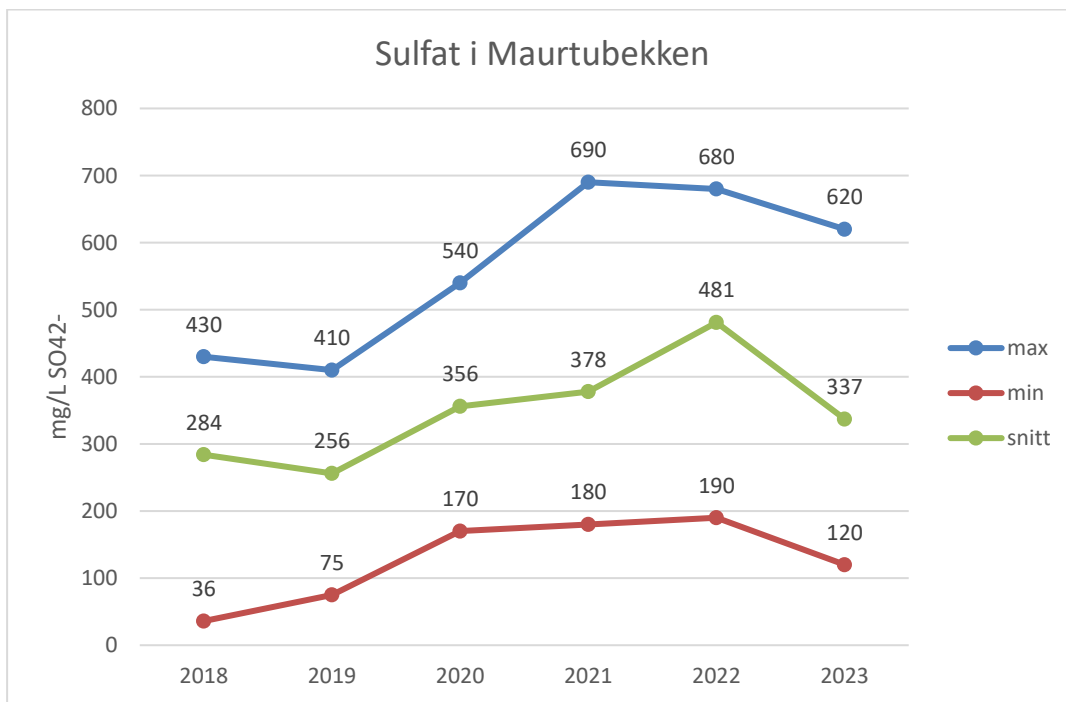
Følsomhetskurve for ulike typer vannlevende organismer for sulfat i hhv. hardt vann (10-40 mg/l), moderat hardt vann (80-100 mg/l) og hardt vann (150-250 mg/l) er vist i Figur 7-5. Hardheten er angitt som kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>), dvs. at Myrebekkens kalkinnhold i 2023 på 90 mg/L Ca tilsvarende en hardhet på 238 mg /L CaCO<sub>3</sub>. I 2023 hadde Maurtubekken en hardhet på 331 mg /L CaCO<sub>3</sub>. Elphick *et al.* oppgir NOEC (no effect concentrations) for overlevelse for invertebrat i hardt vann til 1450 mg/L. I hardt vann ble det observert effekt på reproduksjon fra 480 mg/L.



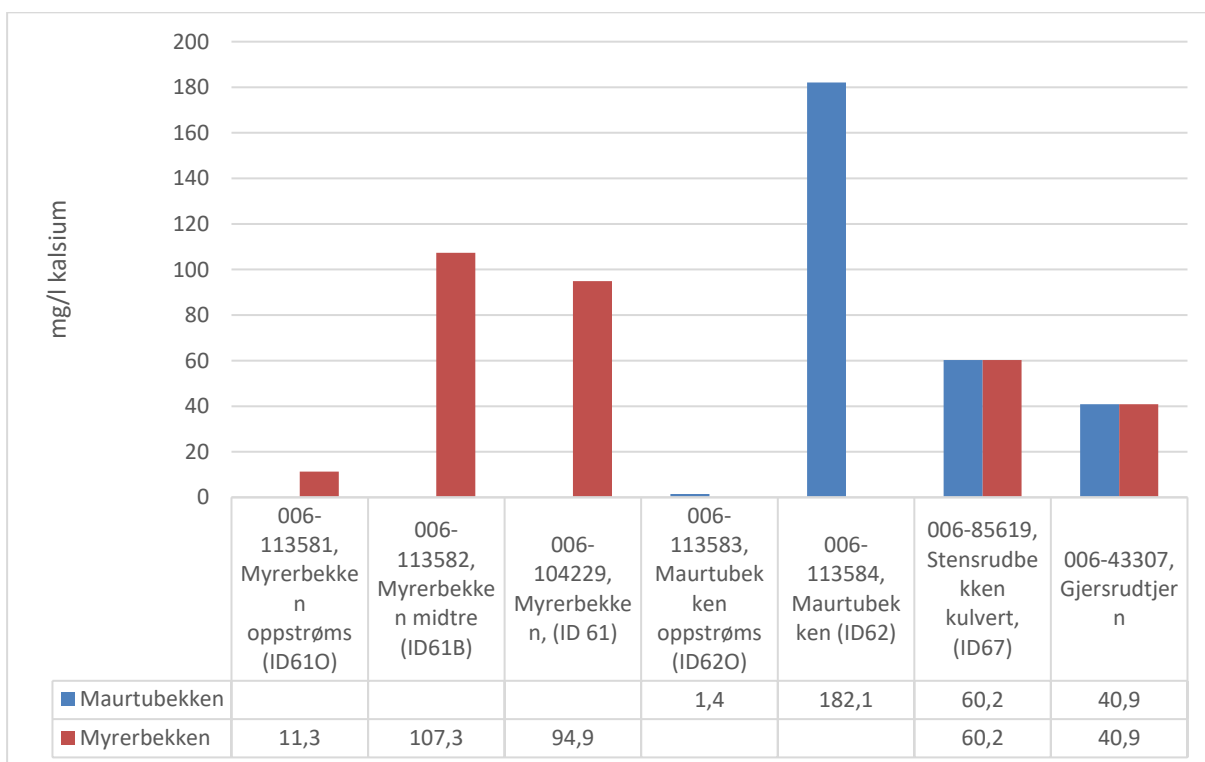
Figur 7-2. Innholdet av sulfat målt i Maurtubekken (vannforekomst ID 006-113584) viser en svakt stigende trend fra 2018 til i dag. Men om en kun ser på de siste 3 årene har nivået stabilisert seg<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Vann omtales som hardt når det har høyt mineralinnhold, og da typisk av kalsium- og magnesiumsalter. Vi har i denne miljørisikovurderingen benyttet inndelingen fra Sheppard *et al.* på at 10-40 mg/l CaCO<sub>3</sub>- ekvivalenter er bløtt, 80-100 mg/l er moderat hardt vann og 150-250 mg/l er hardt vann.

<sup>2</sup> Grafen tar kun med seg data tom 2022 fordi NIBIO sin overvåkning ikke er lagt inn i Vannmiljø ennå.

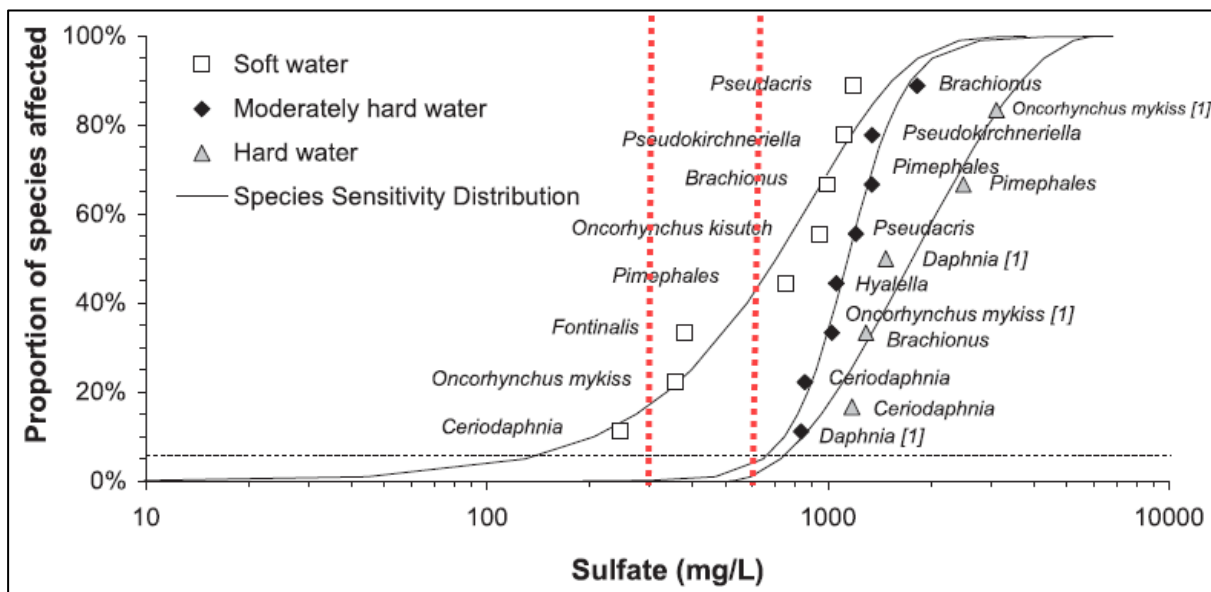


Figur 7-3. Målte konsentrasjoner av sulfat i målestasjon for Maurtubekken som viser at sulfatkonsentrasjonen har vært relativt stabil de siste årene.



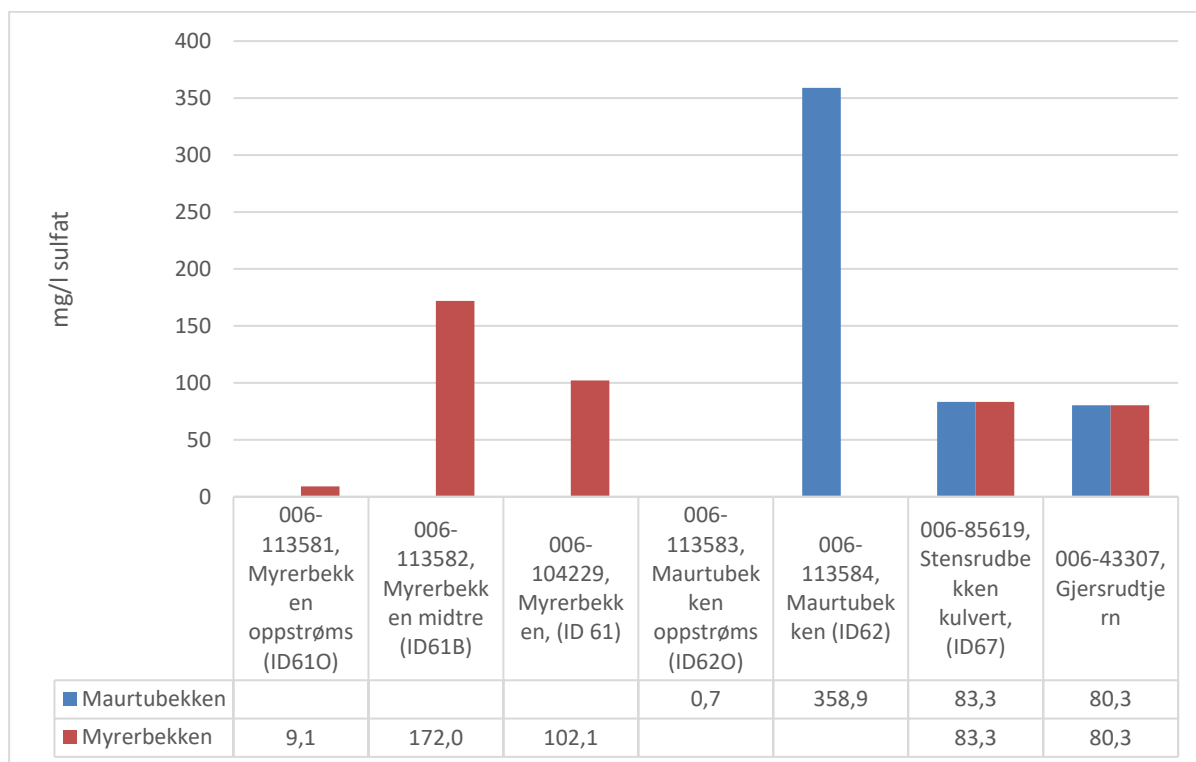
Figur 7-4. Gjennomsnittlige konsentrasjoner målt av kalsium (Ca<sup>2+</sup>) i bekkesystemene registrert i databasen Vannmiljø. Bekkevannet blir karakterisert som «moderat hardt» nedstrøms fylling i Myrerbekken og «hardt» nedstrøms fylling i Maurtubekken.





Figur 7-5. Følsomhetskurve for ulike arter (ulike typer vannlevende organismer) for sulfat i hhv. hardt vann (10-40 mg/l), moderat hardt vann (80-100 mg/l) og hardt vann (150-250 mg/l). Kilde: Elphick et al. 2011 (6). Daphnia er vannlopper. Pseudacris er amfibier. Oncorhynchus mykiss er regnbueørret. Vannet i bekke-resipientene klassifiseres som moderat hardt til hardt. Høyeste målte sulfatverdi i bekker nedstrøms fylling på Åsland i 2023 var i Maurtubekken hvor det ble målt 620 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L, og median i bekken var på 337 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L. Dette er vist med røde streker i figuren.

Vanntilførsel fra Stensrudbekken og overflater nedstrøms tilbakeføringsområdet gjør at sulfatkonsentrasjonen naturlig blir lavere (≈ 4-5 ganger) et stykke ned i bekkestrengene, som vist i Figur 7-6.



Figur 7-6. Gjennomsnittlige konsentrasjoner målt av sulfat i bekkesystemene registrert i databasen Vannmiljø. Det er gjennomsnittlig data fra oppstart av målinger og frem til og med 2022 som er lagt inn i databasen og ligger til grunn for grafen. Som figuren viser er konsentrasjonene av sulfat lave i bekkepunktene oppstrøms, og høyest i første målepunkt nedstrøms fylling på Åsland, før de deretter gradvis avtar i målestasjonene nedover i bekkesystemet.

Bunndyrene i Myrer- og Maurtubekken er de mest følsomme organismene for sulfat i og ved bekkene. Det høye kalsiumnivået moderer negative virkninger fra høye sulfatnivåer når det er testet på andre invertebrater, men det påpekes at effekten på de aktuelle artene i bekken ikke er undersøkt. Testing av effekter tyder på at periodene med de høyeste sulfatnivåene i Maurtubekken gir suboptimale forhold for noen bunndyr. Basert på effektstudiene foreslås det et akseptkriterium for sulfat på 480 mg/L.

I en situasjon der kalktilførselen til bekken avtar, vil også konsentrasjoner av sulfat og andre anioner fra TBM-fyllingen avta, ettersom vannet ikke kan ha overskudd av negativt ladede ioner.

Mengde tilgjengelig sulfat for utlekking til bekkene vil være styrt av hvor mye sulfat det er i massene, graden av egenproduksjon i massene og hvor raskt sulfatet vaskes ut. I 2023 viste målingene i bekkene verdier på nivå med 2022-målingene. Sulfat er mobilt og lekker ut raskt til vannmiljø, noe som er tydelig i resultatene fra utlekkingstester, porevann og grunnvann. Nesten all sulfat vaskes ut ilt. de to første trinnene kolonnetester ( $L/S = 0,1$  og  $L/S = 0,2$ ). Porevannet oppnår også høye verdier av sulfat på ca. 800-1300 mg/L. Fordelingskoeffisienten mellom porevann og masser er beregnet til ca. 0,25, noe som er lavt.

Anslaget på fremtidig utlekking tyder på at sulfatnivåene vil avta ilt. 10-15 år. Utvaskingsratene etter rørlagging av bekker er særlig usikre, ettersom TBM-massene da vil få noe mindre vanngjennomstrømning. Etablering av vegetasjonsdekke vil også forsinke utvaskingen.

Akseptabelt innhold og miljørisiko for sulfat er vurdert opp mot effektstudier og vassdragsspesifikke forhold. Konsentrasjonene som måles av sulfat i bekkene nedstrøms fylling på Åsland ser ut til å ha stabilisert seg og det ikke er ventet vesentlige effekter i vannmiljø. Basert på en framskrivning fra teoretiske mengdeberegninger av hva som allerede er lekket ut og hva som gjenstår – så vurderes det å være liten kost nytte- verdi i å gjøre tiltak for å redusere sulfatutlekkingen til bekkene. Etter vår vurdering er forholdene i bekkene akseptable med hensyn på sulfat, dvs. det er ikke avgjørende for tilstand i vannmiljø, med en forhøyet konsentrasjon av sulfat målt i begrensede strekninger direkte nedstrøms massefyllingen. Det anbefales at det fortsettes med kontrollmålinger for å dokumentere en ventet nedadgående trend av sulfat i resipientene. Målingene i både Myrerbekken og Maurtubekken bør utføres med en viss hyppighet i en periode på minimum fem år og det bør deretter gjøres nye vurderinger.

## 8 REFERANSER

1. **NVE.** NEVINA. [Internett] [Sitert: 5 3 2024.] <http://nevina.nve.no/>.
2. **Miljødirektoratet.** *Verktøy for å beregne spredning fra forurenset grunn.* 2024. M-2173.
3. **NIBIO.** *Utbygging av Follobanen. Overvåking av vannkvalitet. Årsrapport for 2023.* 2024. NIBIO Rapport. VOL.:10, NR.:32.
4. **LOVDATA.** Forskrift om rammer for vannforvaltningen. [Internett] 25 3 2024. [Sitert: 13 11 2023.] <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446>.
5. **FaunaMarin.** SULFUR / SULFATE. [Internett] [Sitert: 20 3 2024.] <https://www.fauamarin.de/en/knowledge-base/sulfur-sulfate/>.
6. *An Aquatic Toxicological Evaluation of Sulfate: The Case for Considering Hardness as a Modifying Factor in Setting Water Quality Guidelines.* **Elphick, JR. Davies, M., Gilron, G., Canaria, EC., Lo, B & Bailey, HC.** s.l. : Environmental Toxicology and Chemistry, 2011. Vol. 30, No. 1, pp. 247-253.

## 9 DOKUMENTINFORMASJON

### 9.1 Endringslogg

Rev.	Endring
00C	Første utgave