

TEKNISK NOTAT

Oppdragsnavn **Killingdal skisseprosjekt renseanlegg**

Prosjekt nr. **1350048783**

Kunde **Trondheim kommune**

Notat nr. **N-01**

Versjon **01**

Til **Kyrre Halvorsen, Trondheim kommune**

Fra **Magnus Kile Andersen**

Kopi

Utført av **Magnus K Andersen, Erica Johnsson, Dag Eirik Brevik, Ivar Folgerøholm, Lise Støver, Gunhild Flaamo**

Kontrollert av **Ivar Folgerøholm**

Godkjent av **Ivar Folgerøholm**

NOTAT FOR DEL-LEVERANSE, SKISSEPROSJEKT KILLINGDAL RENSEANLEGG

Dato 14.12.2021

Innhold

1	INNLEDNING	2
2	BAKGRUNN	2
3	SIGEVANN	3
3.1	Sigevannets fraksjoner («takvann» og «tunnelvann»)	3
3.2	Variasjoner av sigevannet i tunnelen	4
3.3	Karakterisering av sigevannet	5
3.4	Sigevannsmengder	7
4	RENSEMETODER	8
4.1	Mål for rensing av vannet (utslippskonsentrasjoner)	8
4.2	Aktuelle renseprosesser for sigevannet	9
4.3	Slamhåndtering	10
4.4	Liknende renseanlegg	10
4.5	Mulig renseløsning for Killingdal	12
5	ALTERNATIVER FOR RENSEANLEGG	13
5.1	Alternativ 1: Påslipp på tunnelen til Høvringen	13
5.2	Alternativ 2: Renseanlegg ved Høvringen RA	14
5.3	Alternativ 3: Renseanlegg nord for Killingdal gruver	16
5.4	Alternativ 4: Renseanlegg utenfor tunnelen ved Killingdal	17
5.5	Kostnader	18
6	PÅSLIPP TIL AVLØPSTUNNEL HØVRINGEN RA	18
7	VIDERE ARBEID	20

Rambøll
Kobbegate 2
PB 9420 Torgarden
N-7493 Trondheim

T +47 73 84 10 00
<https://no.ramboll.com>

1 INNLEDNING

Rambøll er engasjert av Trondheim kommune for å bidra til løsninger vedrørende Killingdal gruver.

Dette oppdraget innebærer å lage et skisseprosjekt knyttet til punkt 5 i listen under. Listen er utarbeidet av Trondheim kommune som tiltak for sigevannet ved Killingdal gruver:

1. Fjerne kilder til metallavrenning slik at avrenningen blir akseptabel uten renseanlegg, slik som opprinnelig planlagt.
2. Etablere passiv rensing lignende det som ble skissert av Multiconsult i 2015 med sedimentering og filtrering inne i tunnelen med drift ca. hvert 3 år.
3. Renseanlegg der tunnelen inngår i prosessen for eksempel som buffer og for sedimentering.
4. Renseanlegg inne i adkomsttunnelen slik som vi nå etablerer for å rense i en kortere periode.
5. Renseanlegg utenfor tunnelen med alternativer til plassering og alternativer for prosess.

Dette notatet er første del-leveranse av skisseprosjektet Trondheim kommune har engasjert Rambøll til å utføre på punkt 5 i listen. Notatet har til hensikt å oppsummere de tiltak og løsninger som innledningsvis kan synes hensiktsmessige å utrede videre i skisseprosjektet. Notatet inneholder ingen konklusjoner, kun anbefalinger om videre utredning.

Notatet er utarbeidet i tidsrommet uke 47-49 2021, og har i stor grad benyttet arbeidsgrupper og diskusjon som gjennomføringsmetode.

2 BAKGRUNN

Killingdal gruver avsluttet sin aktivitet i 1986 og området rundt gruven ble sanert og ryddet opp i 2010-2011. Siden oppryddingen har den gamle utlastingstunnelen fungert som et oppsamlingsbasseng for forurenset vann. Vannet infiltreres gjennom forurensete masser og trenger inn i tunnelen, der det sedimenterer og til tider går i overløp ut til fjorden ved Ilsvika, se Figur 1 for oversikt slik området så ut før oppfylling. Trondheim kommune har utført flere tiltak ved gruven siden oppryddingen i 2011, blant annet ved separering av vannfraksjoner, gjennomføring av pilotforsøk, samt etablering av lokale renseanlegg i den tørre delen av gruvetunnelen.

Følgende utfordringer kan nevnes vedrørende Killingdal:

- Høyt innhold av metaller i sigevann og overflatevann i tunnelen
- Varierende konsentrasjoner og mengder på sigevannet
- Punktvis svært lav pH, som gjør det utfordrende å felle ut metaller som sink og kobber
- Utfordrende arbeidsmiljø i tunnelen
- Begrenset med plass til etablering av lokal renseløsning inne i- eller utenfor tunnelen
- Utfordringer med håndtering av slamfraksjonen etter felling og sedimentering



Figur 1 Oversiktsbilde før tildekking. Kilde: Multiconsult 2009

3 SIGEVANN

De påfølgende kapitlene vil se nærmere på differensieringen mellom «takvann» og «tunnelvann», samt se på en representativ karakteristik av vannet som behøver renses. Karakteristikken vil være en avgjørende input til aktuelle rensemetoder, og valg av endelig løsning for håndtering av sigevannet.

3.1 Sigevannets fraksjoner («takvann» og «tunnelvann»)

Sigevannet fra Killingdal deles i to fraksjoner, «takvann» og «tunnelvann». Takvannet defineres som en fraksjon som i hovedsak stammer fra innlekk fra bekkefar, og som anses som så lite forurenset at det i dag føres direkte til resipient gjennom et taknedløpssystem lengst nord, og lengst sør i tunnelen. Tunnelvannet er en fraksjon som infiltreres gjennom forurensete masser før det når tunnelen. Dette vannet er betydelig mer forurenset enn takvannet og vil føre til en stor belastning på resipient om den ikke gjennomgår en form for renseprosess før utslipp.



Figur 2. Oppsamling av takvann i nord



Figur 3: Innsig av forurenset vann fra vegg og tak til tunnel (tunnelvann)

Tidligere analyser har altså slått fast at takvannet både er mer begrenset i volum og mindre forurenset enn tunnelvannet. Ifølge data fra kommunen, bidro tunnelvannet med om lag 70% av den totale vannmengden mellom november 2020 og november 2021, se Tabell 1. Data er basert på et døgngjennomsnitt.

Tabell 1: Vannmengde for tak- og tunnelvann i m³/år basert på data fra november 2020 – november 2021.

Fraksjon	Mengde (m ³ /år)	Andel (%)
Takvann	8 800	29
Tunnelvann	21 500	71

Basert på analyse av metallinnhold og vannmengde fra tak- og tunnelvann, kan en total utslippsmengde av metallene beregnes. Konsentrasjonene er hentet fra overløpet av tak- og tunnelvannet. Som vist i Tabell 2 og Tabell 3 er takvannet mindre forurenset og bidrar mindre til det totale utslippet av metaller i resipienten.

Tabell 2: Gjennomsnitt metallinnhold i tak- og tunnelvann fra overløpet.

Fraksjon (antall prøver)	Al (µg/L)	Cr (µg /L)	Fe (µg /L)	Ni (µg /L)	Cu (µg /L)	Zn (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg /L)	Pb (µg/L)
Takvann (4)	320	1,5	2480	3,2	280	600	1,3	2,2	3,3
Tunnelvann (5)	1260	1,7	4240	15	4540	5290	2,0	19	9,5

Tabell 3: Utslipp av metaller over ett år og takvannets bidrag.

Fraksjon	Vann- mengde (m ³ /år)	Al (kg/år)	Cr (kg/år)	Fe (kg/år)	Ni (kg/år)	Cu (kg/år)	Zn (kg /år)	As (kg /år)	Cd (kg/år)	Pb (kg/år)
Takvann	8 800	2,82	0,01	21,83	0,03	2,46	5,28	0,01	0,02	0,03
Tunnel- vann	21 500	27,09	0,04	91,16	0,32	97,61	113,73	0,04	0,41	0,20
Total- mengde	30 300	29,90	0,05	112,98	0,35	100,07	119,01	0,05	0,43	0,23
Bidrag % fra takvann	29 %	9%	27%	19%	8%	2%	4%	21%	5%	12%

I følge Tabell 3 er bidraget fra takvannet høyt for følgende metaller; krom, arsen og jern. Men, konsentrasjonene av krom og arsen fra begge fraksjonene av vannet er lave, og bidraget fra takvannet gir dermed større utslag. Takvannet kan synes å være så lett forurenset at det enten kan slippes direkte ut til resipient uten rensing, eller at strømmen renses separat med en mindre omfattende prosess. Beste løsning bør undersøkes nærmere, og sees i sammenheng med løsningen som foreslås for håndtering av tunnelvannet.

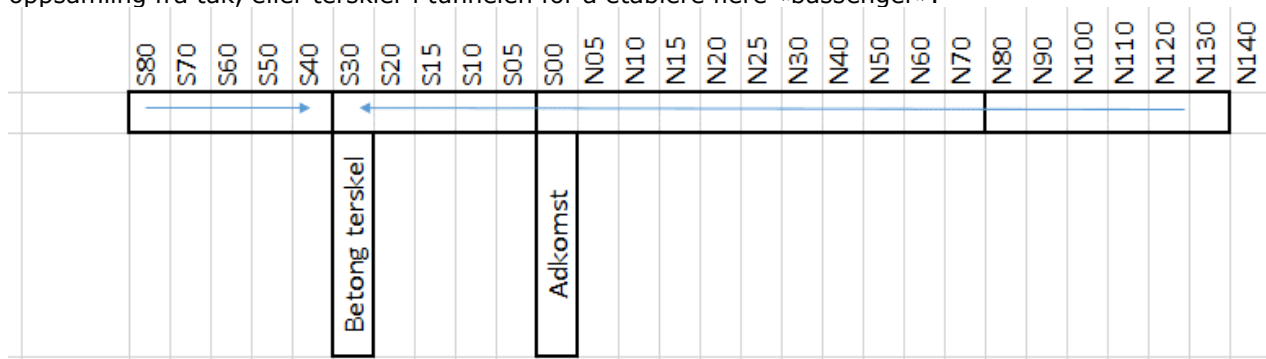
Basert på de ovenfornevnte forhold, begrenses videre utredning av sigevannet fra Killingdal til å omfatte «tunnelvannet».

3.2 Variasjoner av sigevannet i tunnelen

Kommunen har undersøkt variasjoner i sigevannet langs tunnelens lengde. Avhengig av hvor i tunnelen prøven samles inn, kan man se at pH, metallkonsentrasjoner, og suspendert stoff varierer. Utformingen

av tunnelen vises skjematisk i Figur 4 (tunnelen er 210 m lang, 140 m i nordlig retning og 80m i sørlig retning, henvist ved N og S etterfulgt av meterangivelse).

Ser man særlig på pH målt ved forskjellige punkter i tunnelen vises i Tabell 4, viser det seg at pH er betydelig lavere i nordsiden av tunnelen enn sør. Det er ikke vurdert hvordan og om dette varierer over året, eller ved ulike nedbørshendelser, men det kan synes mulig å utnytte denne variasjonen med tanke på renseprosessen. For eksempel kunne man forsøkt å skille vannet i ytterligere fraksjoner, for å gjennomføre tilpasset rensing for hver fraksjon. Har kunne man sett for seg en løsningen med oppsamling fra tak, eller terskler i tunnelen for å etablere flere «bassenger».



Figur 4: Utformingen av tunnelen i Killingdal.

Tabell 4: pH- variasjoner gjennom tunnelen. * TV-OM står for omrørt stikkprøve tunnelvann. ** TV-OV står for overflate stikkprøve tunnelvann.

Dato	Punkt i tunnelen	Prøvested	pH
2021-09-17	N10	N10 kasse	2,7
2021-09-17	N15	N15 kasse	4
2021-09-17	N20	N20 kasse	2,6
2021-10-04	N20	N20 TV-OV**	3,2
2021-11-09	N30	N30 TV-OM*	2,6
2021-10-11	N70	N70 vegg	7,3
2021-10-11	N80	N80 Tak sjakt	7,3
2021-10-11	N80	N80 TV-OV**	3,3
2021-10-04	S10	S10 TV-OV**	4,7
2021-09-17	S15	S15 Kasse	7,1
2021-10-11	S15	S15 TV-OM*	7,4
2021-09-17	S20	S20 Tak Kasse	7,6
2021-09-17	S23	S23 Tak Kasse	7,6
2021-09-17	S26	S26 Tak Kasse	7,7
2021-09-02	S30	S30 Vegg	6,9
2021-09-17	S32	S32 Tak Kasse	7,8
2021-09-17	S40	S40 Tak Kasse	7,8
2021-11-09	S50	S50 TV-OM*	7,1

3.3 Karakterisering av sigevannet

Trondheim kommune har tatt flere prøver i løpet av årene av takvann, tunnelvann og sediment. De har samlet inn prøver fra flere steder i tunnelen, både sør og nord fra inngangen. Metallinnholdet i de ulike fraksjonene varierer, avhengig av hvor prøven er samlet. Siden det er sediment i bunnen av tunnelen,

kan metallkonsentrasjonene økes da det er fare for at slam suspenderer under prøvetaking, og slammet røres opp når man går gjennom tunnelen. Det er derfor vanskelig å si hva en representativ metallkonsentrasjonene er i tunnel- og takvannet, der prøvene er samlet fra overflatevannet i tunnelen.

Trondheim kommune har tidligere hatt pilotanlegg i tunnelen for å rense vannet og har tatt flere prøver på innløpet. Disse prøvene brukes som referanser til innholdet til nytt framtidig renseanlegg. Innholdet i prøvene vises i tabellene nedenfor. Som vist i tabellene er variasjonen stor mellom de ulike prøvene, og siden rensed vann fra pilotanlegget er ført tilbake til tunnelen, vil prøvene ikke gi et helt riktig bilde av faktiske forhold. For å få en mer representativ karakterisering av sigevannet, må dette undersøkes nærmere i neste fase av prosjektet gjennom f.eks. mer prøvetaking.

Tabell 5: Innholdet i sigevannet.

Dato	Prøvested	pH	Turbiditet (NTU)	Tørrstoff (mg/l)	Suspendert stoff (mg/l)
2021-09-29	Inn til RA	5,7	47	1018	23
2021-09-03	Inn til RA	4,3	268	1430	95
2021-07-20	Inn til RA	8	6,3	1045	11
2021-06-15	Inn til RA	6,3	3930	2317	1210
2021-06-15	Inn til RA	7,3	3,8	1148	6

Tabell 6: Metallinnholdet i sigevannet.

Dato	Prøvested	Al (µg/L)	Cr (µg/L)	Fe (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Pb (µg/L)
2021-09-29	Inn til RA	1370	2,1	8040	18,1	6400	5730	4,73	19,2	12,4
2021-09-03	Inn til RA	2010	5,4	44 400	54,9	15200	15900	38,5	59,4	16,7
2021-07-20	Inn til RA	329	<2,5	2080	6,4	1370	968	<1,25	4,49	1,75
2021-06-15	Inn til RA	14900	76,4	538 000	19,1	10600	5970	511	21,8	206
2021-06-15	Inn til RA	163	<1,3	1250	4,1	250	839	1,06	3,93	1,23

Tabell 7: Gjennomsnitt-, min- og maksverdier for metaller i sigevannet.

	Al (µg/L)	Cr (µg/L)	Fe (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Pb (µg/L)
Gjennomsnitt	3754	18	118754	21	6764	5881	111	22	48
Min	163	<1,3	1250	4,1	250	839	1,06	3,93	1,23
Maks	14900	76,4	538000	54,9	15200	15900	511	59,4	206

Prøvene i Tabell 6 er også filtrert gjennom ett filter 0,45 µm for å se mengden metaller som er løselige i vannet. Disse vises i Tabell 8. I stor grad er nikkell, kadmium og sink mens jern og aluminium er partikkelbundet.

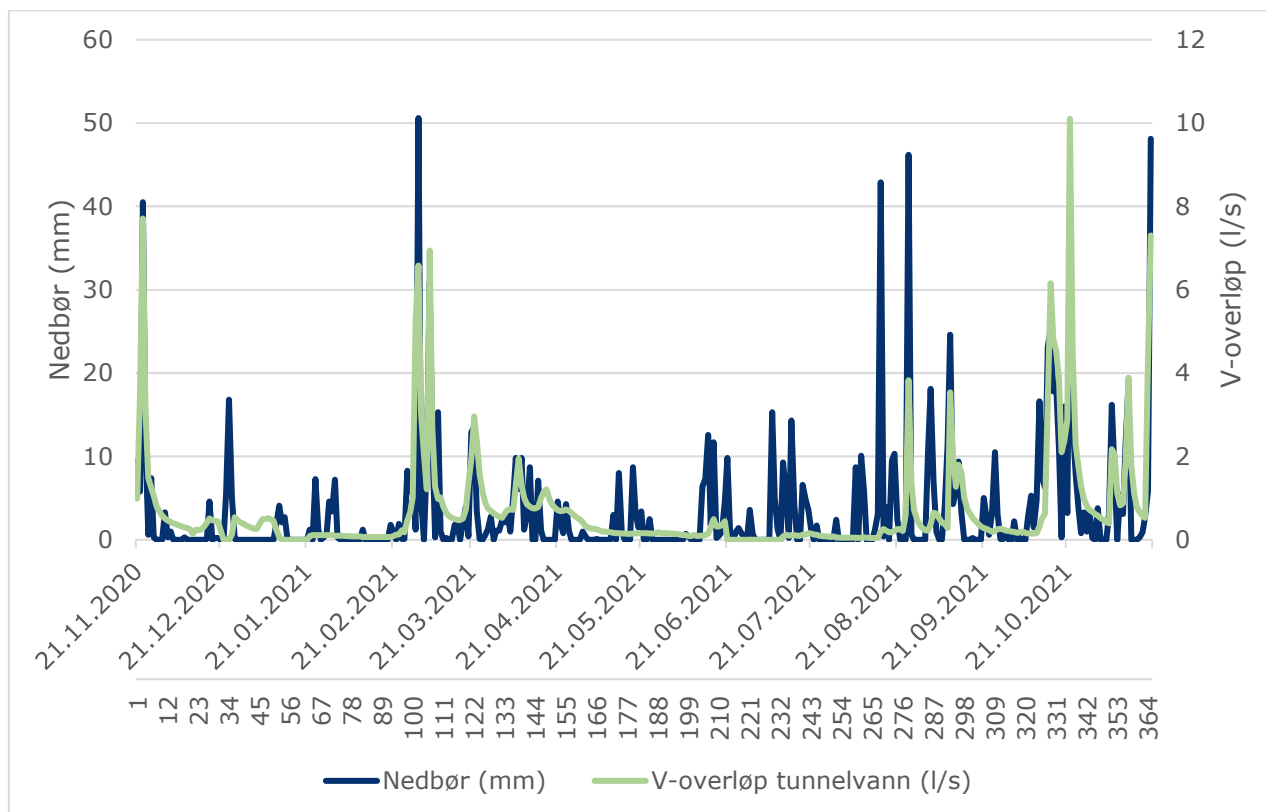
Tabell 8: Gjennomsnitt ufiltrert og filtrert sigevann.

	Al (µg/L)	Cr (µg/L)	Fe (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg Cd/L)	Pb (µg/L)
Gjennomsnitt ufiltrert	3754	18	118 754	21	6 764	5 881	111	22	48
Gjennomsnitt filtrert	178	1	1 164	17	3 978	4 836	0,6	18,7	0,7

3.4 Sigevannsmengder

For et fremtidig rensesanlegg er det avgjørende å bestemme en forventet tilrenning av sigevann.

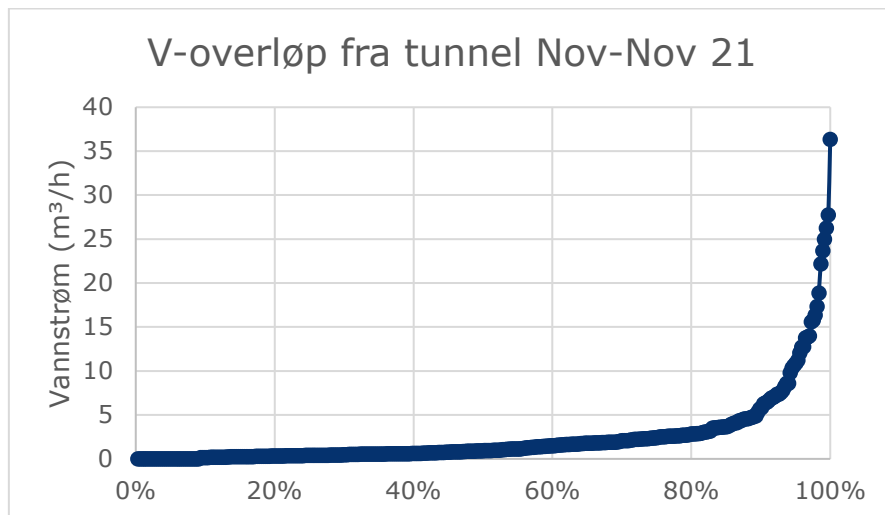
Som vist i figuren nedenfor, er det en tydelig sammenheng mellom nedbøren og overløpet av tunnelvann. Periodene med høyest overløp for tunnelvann er om høsten og i forbindelse med snøsmelting. I perioden mai til september er overløpet for tunnelvann lav, selv om der er relativt mye nedbør. Dette er mest sannsynlig på grunn av fordampning.



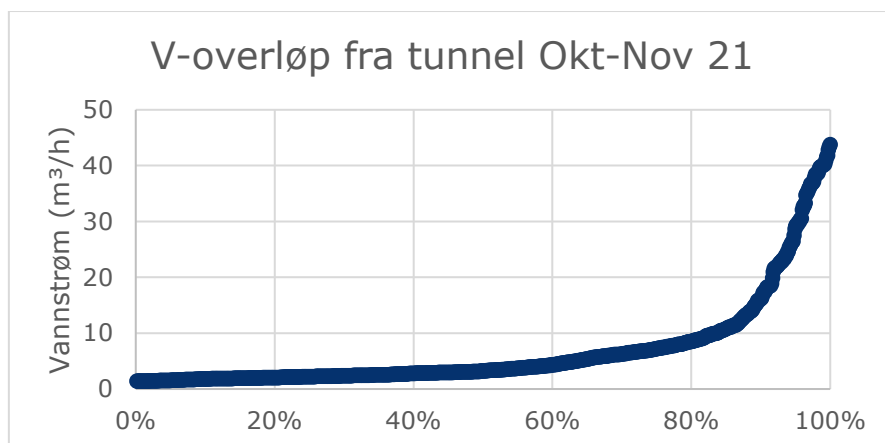
Figur 5: Nedbøren i Trondheim i løpet av november 2020 – november 2021 og overløpet av tunnelvann i samme periode.

Døgn gjennomsnitt på overløp av tunnelvannet varierer fra 0 til 10 l/s (0 – 36 m³/h) over det målte året. Dersom det benyttes timegjennomsnitt i løpet av de våteste månedene i det målte året, varierer overløp av tunnelvannet fra 0,4 til 12 l/s (1 – 43 m³/h). Figur 6 viser et varighetsdiagram over overløpet for tunnelvannet basert på døgn gjennomsnitt. Over 90% av tiden er strømmen av tunnelvann lavere enn 6 m³/h, men der er noen topper som er betydelig større. Hvis man i stedet ser på timegjennomsnitt fra

oktober til november 2021 (se Figur 7), må et renseanlegg dimensjoneres for 15 m³/h for å kunne rense 90% av sigevannet ved Killingdal. Hvilken mengde og risiko kommunen ønsker å dimensjonere for, diskuteres nærmere i videreførelsen av prosjektet.



Figur 6: Varighetsdiagram for tunnelvann over november 2020 – november 2021.



Figur 7: Varighetsdiagram for tunnelvann over oktober 2021 – november 2021.

Ved å benytte tunnelen som utjevningvolum, eller etablere en separat utjevningstank, kan riktignok anlegget dimensjoneres for en lavere gjennomstrømning. Dette er noe som bør undersøkes nærmere senere i prosjektet.

Innledningsvis foreslår Rambøll at anlegget skal dimensjoneres for mellom 6 – 15 m³/h.

4 RENSEMETODER

4.1 Mål for rensing av vannet (utslippskonsentrasjoner)

Gjeldene utslippstillatelse (2018-2021) for Killingdal vises i Tabell 9. I Tabell 10 sammenlignes utslippsmengdene for metaller i tillatelsen og de beregnede utslippene av metaller fra urensset vann fra Killingdal per år (Tabell 12 og Tabell 9)

Tabell 9: Gjeldene utslippstillatelse Killingdal.

Utslippskomponent	Trondheimsfjorden		Krav til årlig gjennomsnittlig renseseffekt
	Konsentrasjonsgrense ukentlig ($\mu\text{g/L}$)	Utslippsmengde (kg/år)	
Kadmium	6	0,5	
Bly	2	0,1	
Nikkel	25	0,6	
Kobber	1552	120	50%
Sink	1759	136	50%
Arsen	2	0,1	
Krom	4	0,3	

Tabell 10: Utslippsmengder for ulike metaller. Rød- overskrider verdien, Oransje – nær verdien og Grønn- under verdien.

Utslippskomponent	Tillatelse Utslippsmengde (kg/år)	Urenset vann fra Killingdal Utslippsmengde (kg/år)
Kadmium	0,5	0,5
Bly	0,1	1,0
Nikkel	0,6	0,4
Kobber	120	145
Sink	136	126
Arsen	0,1	2,4
Krom	0,3	0,4

Slik det fremgår, er det flere metaller som overskrider verdiene i tillatelsen. Ved lokal rensing er det i hovedsak de rødmerkede metallene som må fjernes. Som tidligere nevnt er det imidlertid en usikkerhet med de fastsatte konsentrasjonene, og som det fremgikk i Tabell 6 varierer konsentrasjonene mye (og som spesifisert tidligere, kan disse prøvene ha blitt forurenset med allerede avsett slam og vise høyere metallkonsentrasjoner av den grunn).

4.2 Aktuelle renseprosesser for sigevannet

Det finnes flere forskjellige metoder for rensing av sigevann. Valget av renseteknikk avhenger blant annet av sammensetningen av det aktuelle sigevann og de utslippskrav som gjelder. I dette kapitlet presenteres ett sammendrag av aktuelle rensemetoder for Killingdal. Trolig vil en sammensetting av flere av disse utgjøre et fremtidig rensaneanlegg.

4.2.1 Sedimentering og kjemisk felling

Sedimenteringstrinnet innebærer en separering av partikler med høyere tetthet enn vann, og er basert på suspenderte partikler som synker til bunnen og dermed separeres fra vannfasen. Sedimentering kan brukes som forbehandling for å redusere belastningen på etterfølgende rensetrinn eller som hoved separasjonsprosess. I tilfeller der sedimentering er hovedprosess for å redusere suspenderte stoffer tilsettes normalt kjemikalier for å oppnå en høyere reduksjon, i en kjemisk felling. For å gjøre partiklene lettere å skille på et senere tidspunkt kan det også tilsettes polymer. Kjemisk felling brukes hovedsakelig til å felle ut oppløste metaller i sigevannet.

4.2.2 Lufting

Ved å introdusere luft (oksygen) i vannet kan noen metaller (hovedsakelig jern og mangan) oksideres. I vannet fra Killingdal har man høye konsentrasjoner av nettopp jern. Gjennom luftingen omdannes

jernet fra den løselige formen til den uløselige formen av jern. Det utfelte jernet kan deretter separeres gjennom f.eks. et filter eller gjennom sedimentering.

4.2.3 Filtrering

Filtrering innebærer fysisk barriere, som skiller faste partikler fra vann. Den fysiske barrieren består av et filtermedium som tillater væsken å passere gjennom, men beholder de faste partiklene.

Sandfiltre er en meget velprøvd teknikk for å redusere mengden suspendert stoff i forskjellige typer vann. I tillegg til den fysiske filtreringen skjer noe adsorpsjon og sedimentering. For at filtret ikke skal tettes for raskt, anbefales en god forbehandling før sandfilteret. Når sandfilter benyttes, kreves også en tilbakespyling av filteret. Skyllvannet må deretter renses eller føres til spillvannsnett.

Aktivt kullfilter er en filtertype av gruselignende størrelse (granulært aktivert karbon, GAK) som er godt egnet som filtermateriale. Aktivert karbon har en evne til å adsorbere metaller som er organisk bundet. Renseeffekten av det aktiverte karbonet reduseres over tid, og karbonet må derfor byttes ut når reduksjonen har nådd en viss grense.

4.2.4 Andre separasjonsteknikker

Ionebytte er en vannbehandlingsmetode der en eller flere uønskede ioniske forurensninger fjernes fra vann ved utveksling med et annet ikke-støtende, eller mindre støtende ionisk stoff. Det er hovedsakelig tungmetallene som reduseres ved rensing med ionebytte. Når ionemassen er mettet, kan den reaktiveres, slik at en del av ionemassen forblir inaktiv for fremtidige sykluser, og til slutt må hele ionutvekslingsmassen byttes ut.

Av nyere og foreløpig mindre utprøvede teknikker, har man for eksempel **MIVAMAG**. Selskapet Mivanor har utviklet denne kompakte renseløsningen som bruker kjemisk felling og et jernbasert pulver som binder seg til flokkene i sigevannet. Dette gjør flokkene magnetiske. I stedet for sedimentering brukes en magnet for å fjerne flokkene. MIVAMAG er som sagt en relativt ny teknologi som ikke brukes for mange renselanlegg for sigevann. Derimot benyttes denne løsningen ved flere deponi, og blant annet Oredalen deponi har nylig installert en slik løsning (2021). Da løsningen er svært kompakt, kan den være interessant å se på for Killingdal, men om den passer for sigevannet samt hvordan slammet vil se ut, er foreløpig usikkert.

4.3 Slamhåndtering

Slammet som separeres ved de ulike rensetrinnene, må behandles videre for å øke tørrstoffinnholdet før videre håndtering. To teknikker som kan være aktuelle er **sentrifuge** og **skrupresse**. For begge teknikkene kan det være nødvendig med polymer for å oppnå et tilstrekkelig tørrstoffinnhold i slammet.

4.4 Liknende renselanlegg

Behandling av sigevannet ved Killingdal er komplekst og på dette stadiet i undersøkelsene finnes ingen åpenbar løsning for rensing. Utfordringene på Killingdal ligger blant annet i metallsammensetningen, mengden og variasjonen av konsentrasjoner. Derfor bør det søkes etter erfaringer ved liknende anlegg og situasjoner både her til lands og i utlandet (i første omgang Norden).

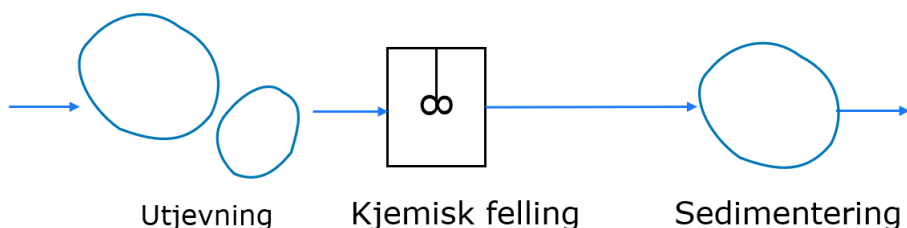
Grunnet relativt kort tid til undersøkelser i dette notatet, er det kun listet opp et fåtall liknende anlegg, men disse kan likevel gi en pekepinn på aktuelle metoder for Killingdal. Videre utredelser i skisseprosjektet vil enten utelukke eller bygge videre på disse eksemplene.

4.4.1 Blaikengruva (Sorsole, Sverige)

Blaikengruva har etablert et renselanlegg for sigevann fra en stengt gruve.

- Problem med høye konsentrasjoner av Zn, Cd, Pb, Cu og Ni er også til stede i forhøyede nivåer.
- Renseanlegget baserer seg på et utjevningsvolum, kjemisk felling med kalk og jernsulfat og sedimentering
- Anlegget har utslippsforhold for kobber, bly, sink og suspendert stoff

Anlegget kan sammenliknes med Killingdal med tanke på metallinnhold, men behandler en betydelig større mengde sigevann. Blaiken har også større arealer tilgjengelig, slik at lufting og sedimentering kan skje i store åpne bassenger/dammer.



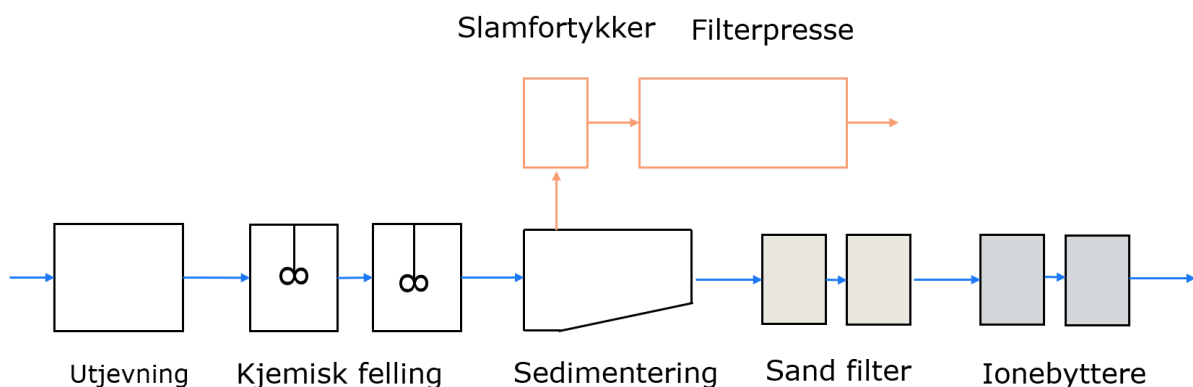
Figur 8 Renseprinsipp Blaikengruva

4.4.2 Heimdal varmesentral (Trondheim)

I Trondheim er det etablert et vannrenseanlegg for prosessvannet ved Heimdal varmesentral.

- Høyt innhold av tungmetaller, særlig Cd og Hg.
- Renseanlegget baserer seg på felling, sedimentering samt filtrering og ionebytting som sluttpolering.
- Slammet fortykkes og føres til filterpresse før videre avhending.

Anlegget håndterer ikke sigevann fra gruve, og er således ikke direkte sammenliknbart med Killingdal. Likevel håndterer anlegget tungmetaller, og det kan være nyttig å se til renseprinsippene som benyttes der.



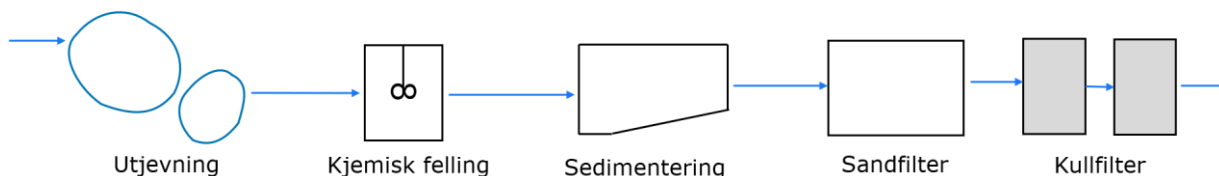
Figur 9 Renseprinsipp Heimdal Varmesentral

4.4.3 Fläskebo (Harryda, Sverige)

Fläskebo har renseanlegg for sigevann fra aktivt deponi i Sverige.

- RA baserer seg på et utjevningsvolum, pH justering og kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter som sluttpolering
- Deponiet arbeider kontinuerlig med reduksjon av metaller og organiske forurensinger

Anlegget kan gi noen gode pekepinner på avansert renseprosess, som også kan være aktuell ved Killingdal.



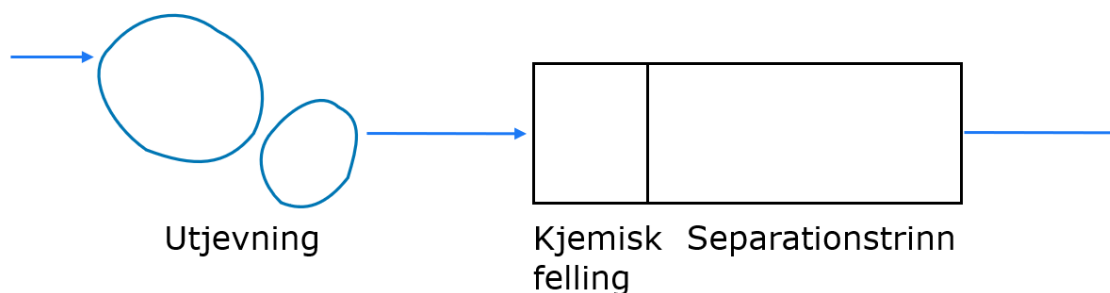
Figur 10 Renseprinsipp ved Fläskebo

4.4.4 Lindum Oredalen avfallsdeponi (Asker)

Lindum Oredalen har etablert renseanlegg for sigevann fra sitt aktive deponi i Asker, som nylig ble oppgradert i 2021

- RA baserer seg på et utjevningsdam med lufting, og en renseløsning fra Mivanor (kjemisk felling + jernpulver og separasjon ved hjelp av magneter)
- Renseløsningen viser god reduksjon av metaller og suspenderte stoffer for sigevannet.

Anlegget har altså tatt i bruk den nye teknologien som nevnt i kapittel 4.2.4, og kan være interessant å se nærmere på også for Killingdal.



Figur 11 Renseprinsipp for Lindum Oredalen

4.5 Mulig renseløsning for Killingdal

På dette tidspunktet er det vanskelig å si hvilken teknologi som er best egnet for det spesifikke sigevannet ved Killingdal gruver. Man kan likevel se for seg to ulike innfallsvinkler for å håndtere sigevannet. Én, der man baserer seg på enkle prinsipper, men godtar et mer begrenset rensresultat, eller to, en mer avansert rensing og fjerning av mest mulig stoffer i sigevannet.

Rent teknologisk kan følgende synes å oppfylle disse innfallsvinklene:

1. Utjevningssbasseng + lufting + sedimentering (evt. pH-justering og kjemisk felling)
2. Utjevningssbasseng + lufting og sedimentering + pH justering + kjemisk felling i flere trinn + sedimentering + ionbyttere/aktivt karbon

Det kan også være mulig å kjøre en delvis rensing av enkelte metaller og deretter sende vannstrømmen til Høvringen RA.

Avhending av slammet fra renseanlegget blir et viktig punkt for videre utredning, da slamfraksjonen fra dagens midlertidige renseløsning viser seg vanskelig å bli kvitt.

5 ALTERNATIVER FOR RENSEANLEGG

For behandling av sigevannet vil det kreves en rensetrustning tilpasset vannets innhold og mengde. På dette stadiet av utredningen, synes det naturlig å enten tenke påslipp til Høvringen RA eller et eget separat anlegg spesielt tilpasset vannet fra Killingdal. Dette kapittelet vil ta for seg 4 alternativer, med en punktvis beskrivelse av løsningene.

For alternativ 2, 3 og 4 er det tenkt et separat bygg på 10x20m², som er en realistisk størrelse for et slikt renseanlegg. Det er naturlig å tenke seg et 2 etasjers bygg for å huse bassenger/kummer og øvrig utstyr, slik at bygget vil være om lag 6-8 meter høyt.

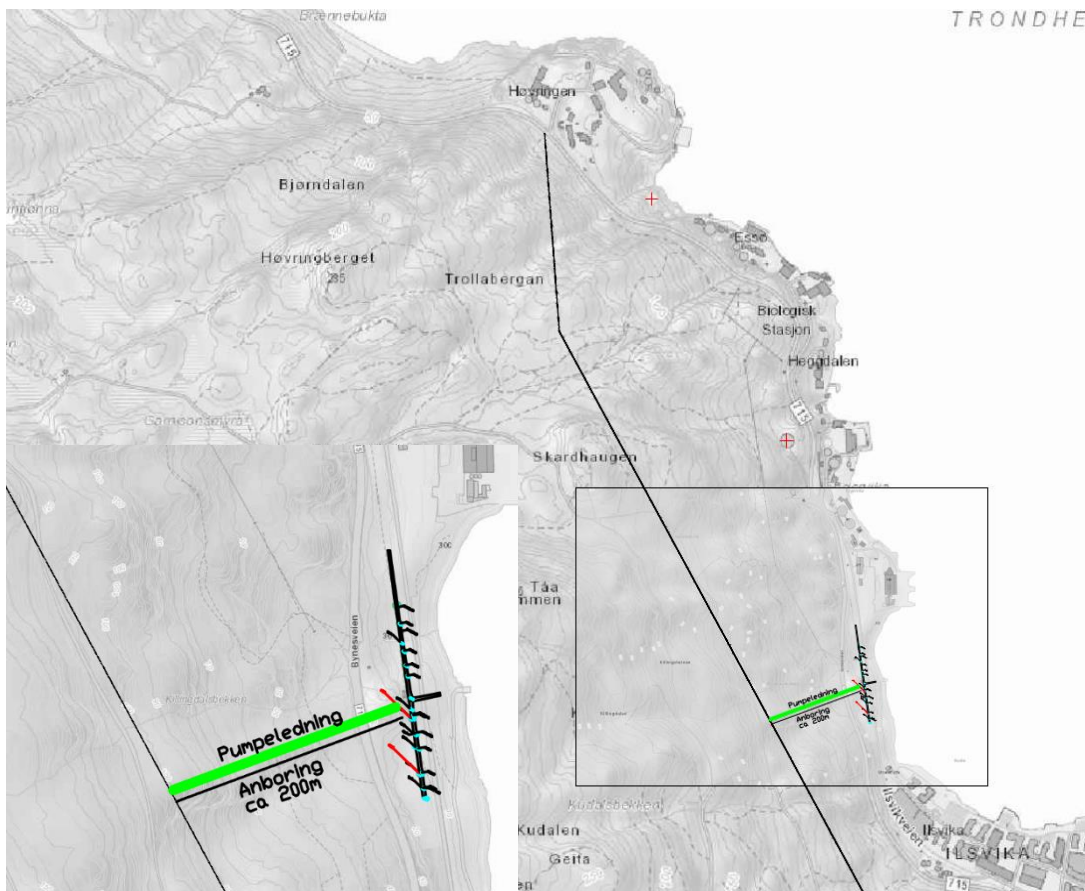
Felles for alle alternativene, er at slammet i gruvetunnelen må pumpes ut og tunnelen renses så godt som mulig før etablering av ny renseløsning. Overflatevannet er svært forurensset, og vil skape problemer for dimensjonering og drift av et ny oppstartet renseanlegg.

5.1 Alternativ 1: Påslipp på tunnelen til Høvringen

Alternativet dreier seg om å slippe sigevannet fra Killingdal inn på tilførselstunnelen til Høvringen RA. Sigevannet vil i dette tilfellet blandes med øvrig avløp i tunnelen. En slik løsning vil avhenge av at sigevannet ikke påvirker slammet (og utslippet) på Høvringen på en slik måte at kvaliteten forringes. Dette omtales på en overordnet måte i kapittel 6, men bør sjekkes opp nøyere i neste fase av prosjektet.

Løsningen vil innebære følgende:

- Slammet i gruvetunnelen må pumpes ut og tunnelen renses så godt som mulig
- Gruvetunnelen benyttes som pumpekum og fordrøyning av sigevannet (alternativt etableres pumpekum på utsiden av tunnelen)
- Ca 200m an boring fra oversiden av tunnelen ved gangveien, ca kote +16
- Det legges en pumpeledning fra Killingdal, i an boring med påslipp til avløpstunnelen til HØRA
- Godkjenning av slammets påvirkning på HØRAs slamkonsentrasjon
- Det må avgjøres om påslippet påvirker utslippstillatelsen til Høvringen



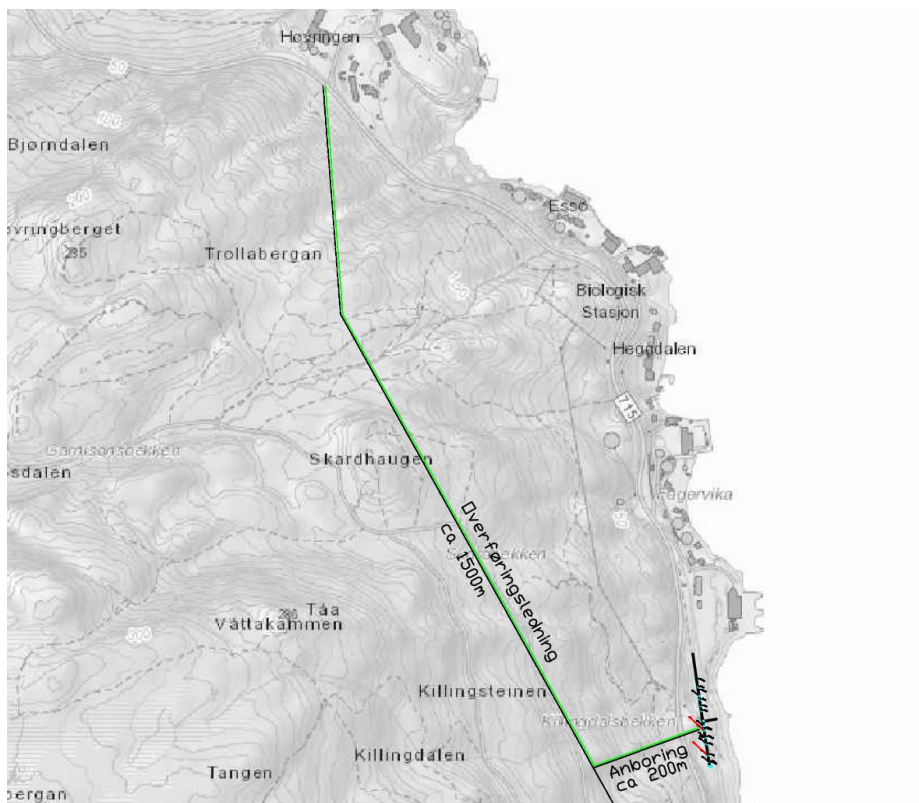
Figur 12 Anboring til Høvringen avløpstunnel

5.2 Alternativ 2: Renseanlegg ved Høvringen RA

Et alternativ for håndtering av sigevannet, kan være overføringsledning til HØRA og etablering av et renseanlegg i en av de ubrukte fjellhallene der. Forslagsvis kunne Hall 5 vært benyttet til et RA dedikert for sigevannet fra Killingdal.

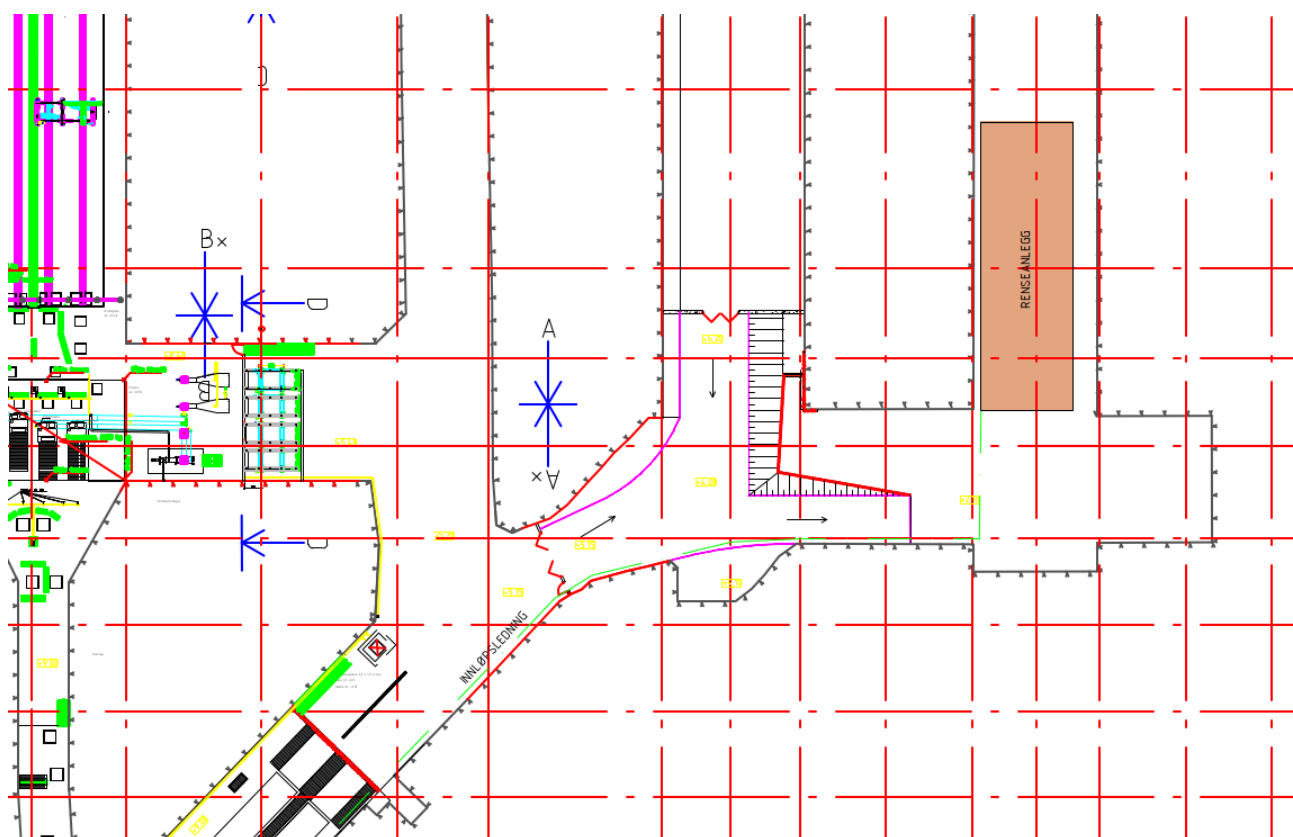
Løsningen innebærer følgende:

- Gruvetunnelen benyttes som pumpekum og fordrøyning av sigevannet (alternativt etableres pumpekum på utsiden av tunnelen)
- Ca 200m anboring fra oversiden av tunnelen ved gangveien, ca kote +16
- Pumpeledning, eller ledning på selvføll i avløpstunnelen (ca 1500+m). Ledning forankres langs vegg i grovsprengt tunnel.



Figur 13 Overføringsledning til HØRA

- Fra innløpet på Høvringen, føres sigevannet på selvfall til Hall 5
- De gamle hallene på HØRA står ubrukte, og kan være aktuelt å benyttes til et RA. Disse må i et slik tilfelle vurderes og eventuelt sikres. Det må etableres lys, forbruksvann, strøm og signal til hallen.
- Etter gjennomgått renseprosess, føres utslippet/behandlet vann fra hallen til utslippskanalen på Høvringen RA
- Fra tidligere er det etablert tilkomsthall med rampe for containerbiler. Dermed synes det forholdsvis enkelt å hente ut slamcontainere fra det nye rensenanlegget.
- Operatører og oppfølging skjer direkte fra HØRA
- For det nye anlegget bør det etableres et eget prøvetakingspunkt
- Det må avgjøres om påslippet påvirker utlippstillatelsen til Høvringen



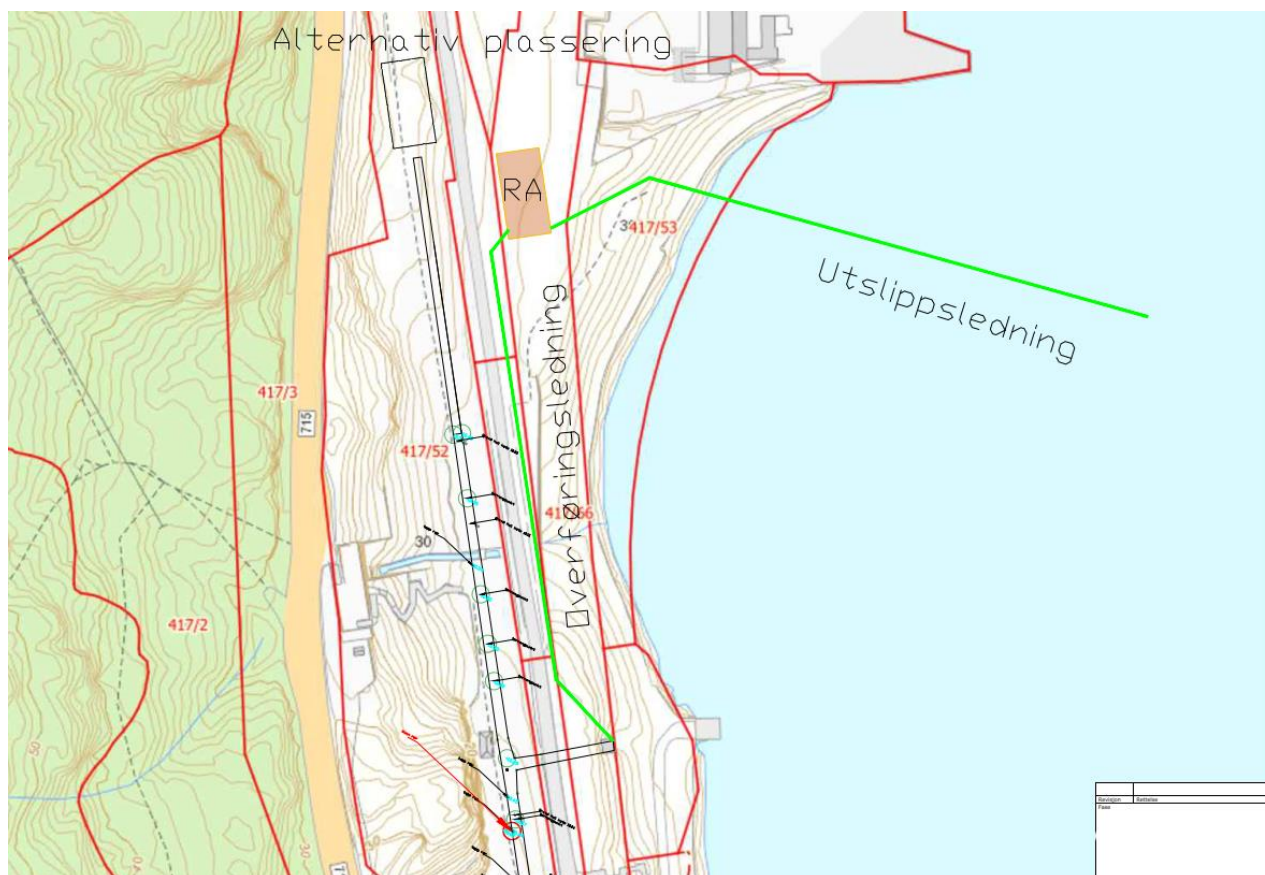
Figur 14 Innløpsledning og RA i Hall 5

5.3 Alternativ 3: Renseanlegg nord for Killingdal gruver

Alternativet baserer seg på et RA plassert nord for Killingdal, på motsatt side av Killingdalsbekken. Her tenkes et anlegg plassert på en relativt plan tomt vest for industritomten, på kote +12-13. Teknisk sett synes det mulig å etablere et anlegg her, med innkjøringsveier og snuhammere for containerbiler fra nord. Det synes også forholdsvis enkelt å etablere strøm og forbruksvann fra nord, langs gangveien. Det er ikke tatt stilling til eierskap til tomt eller naboforhold, og skulle tomten vise seg vanskelig å realisere her, kan det vurderes en lokasjon mellom Bynesveien og gangveien. Her er det vesentlig trangere, og vil kreve nøyere planlegging før en etablering kan realiseres.

Løsningen innebærer følgende:

- Etablering av et bygg i to etasjer, med adkomstvei
- Bygget graves ned slik at topp dekke legges ca på kote 13/14
- Oppgradering av vei og VA-infrastruktur, samt strøm og signal
- Eierskap til tomt må avklares, eventuelt reguleres
- Det kan etableres en egen utslippsledning eller rensset vann kan pumpes tilbake til Høvringen avløpstunnel. Da må det anbores og legges ledning som vist i alternativ 1 og 2
- Det må etableres et prøvetakingspunkt på utslippet
- Slam må fraktes bort fra anlegget og avhendes
- Egen utslippstillatelse søkes for anlegget (hvis man ikke slipper på tunnelen til HØRA)



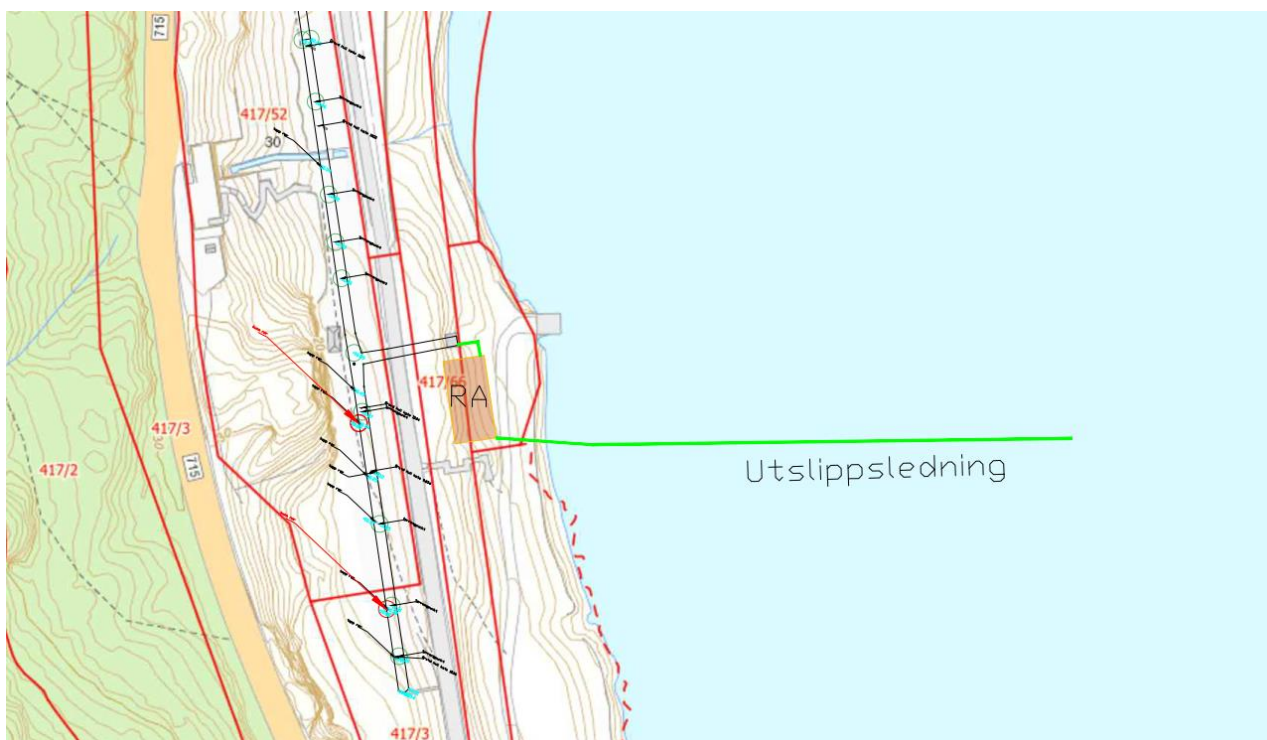
Figur 15 Renseanlegg nord for gruva

5.4 Alternativ 4: Renseanlegg utenfor tunnelen ved Killingdal

Alternativet baserer seg på etablering av anlegg i nær tilknytning til inngangstunnelen på Killingdal. Området utenfor er bratt og smalt (stigning ca. 1:1,5), og må i stor grad opparbeides og sikres for å kunne være en aktuell lokasjon. Tilkomst til anlegget vil være fra sør forbi Mellomila, som samtidig innebærer en oppgradering av veien/stien ut til Killingdal. Veien/stien er i dag ikke opparbeidet for tyngre kjøretøyer, og det er usikkert om forholdene ligger til rette for en oppgradering innenfor et rimelig kostnadsbilde.

Løsningen innebærer følgende:

- Oppgradering av veien fra mellomila til Killingdal (ca 250m)
- Oppgradering av vann og avløp til anlegget, fra sør
- Kjøring skjer forbi boligområde på Mellomila
- Utfordrende å etablere vendehammere og generell navigering med driftsbiler og containerbiler
- Anlegget må bygges ned mot tidevannssonen, og bunnplate ender da ned mot kote 0
- Det må enten etableres egen utslippsledning til resipient, eller anbringning med pumpeledning til avløpstunnelen til Høvringen RA.
- Eget prøvetakingspunkt etableres uansett løsning
- Egen utslippstillatelse søkes for anlegget (hvis man ikke slipper på tunnelen til HØRA)



Figur 16 Renseanlegg utenfor gruveinngangen

5.5 Kostnader

På dette stadiet i utredningene er kostnadsbildet svært usikkert, og det lyktes dessverre ikke å etablere et totalt kostnadsbilde på løsningene innenfor tidsrammen for dette notatet.

Erfaringstall for renseanlegg tilsier en entreprisekost på bygget på om lag 15-17.000 NOK/m², om anlegget bygges i 2 etasjer med bassenger i betong. Renseutrustningen avhenger i stor grad av valgte løsninger og kvalitet, men kan anslås til 6-8 mill NOK. El og ventilasjon, samt automasjon anslås til 30% av entreprisekost bygg.

Et frittstående renseanlegg estimeres da til en kostnad på mellom 16-20 mill NOK. I tillegg kommer opparbeidelse av tomt, etablering av vei/plass, el, vann og signal, samt inn/utslippsledninger.

6 PÅSLIPP TIL AVLØPSTUNNEL HØVRINGEN RA

Som nevnt, kan «Alternativ 1: Påslipp på tunnelen til Høvringen» muligens medføre uønskede effekter på både utslippet og slammet fra HØRA. For å undersøke effekten en tilknytning av tunnelvannet vil ha på Høvringen RA, kan man sammenligne akkumulerte metaller fra tunnelvannet per år med innkommende metaller til renseanlegget, se Tabell 11, Tabell 12 og Tabell 13.

Vannmengde til Høvringen RA er basert på data fra tidligere driftsassistanse og fra informasjon fra Trondheim kommune. For disse beregninger er vannmengde til anlegget satt til 73 000 m³/d.

Tabell 11: Innkommende konsentrasjoner av metaller til Høvringen RA og mengdene av disse metallene.

Metall	Enhet	Verdi	Gjennomsnitt til Høvringen	
			kg/d	kg/år
Arsen (As)	µg /L	1,37	0,10	36,58
Kadmium (Cd)	µg /L	0,132	0,01	3,52
Krom (Cr)	µg /L	9,3	0,68	248,80
Nikkel (Ni)	µg /L	5,8	0,42	154,37
Bly (Pb)	µg /L	3,21	0,23	85,59
Sink (Zn)	µg /L	102,3	7,47	2 727,03
Kobber (Cu)	µg /L	52,6	3,84	1 400,78
Kvikksølv (Hg)	µg /L	0,033	0,00	0,88
Aluminium (Al)	µg /L	1 609	117,43	42 863,48

Rambøll har ikke innløpskonsentrasjoner for jern (Fe) og der er derfor vanskelig å si hva bidraget fra Killingdal ville gjort på prosessen i renseanlegget.

Tabell 12: Utgående konsentrasjoner av metaller fra Killingdal gruve og mengdene av disse metallene.

Metall	Enhet	Verdi	Gjennomsnitt fra tunnelvann	
			kg/d	kg/år
Arsen (As)	µg /L	111,308	0,01	2,39
Kadmium (Cd)	µg /L	21,764	0,001	0,47
Krom (Cr)	µg /L	17,54	0,001	0,38
Nikkel (Ni)	µg /L	20,52	0,001	0,44
Bly (Pb)	µg /L	47,616	0,003	1,02
Sink (Zn)	µg /L	5881,4	0,35	126,44
Kobber (Cu)	µg /L	6764	0,40	145,42
Kvikksølv (Hg)	µg /L	0,018*	1,1*10 ⁻⁶	0,0004
Aluminium (Al)	µg /L	3754,4	0,22	80,72

* Siden det ikke er verdier for kvikksølv i de nye analysene, er det tatt en gammel verdi for Rambølls rapport fra 2016, Overvåking Utslipp Killingdal, denne verdien er 18 ng/L eller 0,018 µg /L.

Tabell 13: Sammenligning mellom utgående mengder metaller fra Killingdal og innkommende mengder metaller til Høvringen RA

Metall	Høvringen RA (kg/år)	Tunnelvann (kg/år)	Bidrag tunnelvann (%)
Arsen (As)	36,58	2,39	6%
Kadmium (Cd)	3,52	0,47	12%
Krom (Cr)	248,80	0,38	0,2%
Nikkel (Ni)	154,37	0,44	0,3%
Bly (Pb)	85,59	1,02	1%
Sink (Zn)	2 727,03	126,44	4%
Kobber (Cu)	1 400,78	145,42	9%
Kvikksølv (Hg)	0,88	0,0004	0,04%
Aluminium (Al)	42 863,48	80,72	0,2%

Bidraget av vannet fra Killingdal gruve til Høvringen RA for de fleste metallene er små, dog; bidraget av kadmium, kobber og arsen er høyere. Det er uklart om metallene fra Killingdal vil bli utfelt i ett av prosesstrinnene, og vil være til stede i slammet, eller om det vil være til stede i det behandlede vannet som går til resipienten. Forholdene mellom konsentrasjoner ved Høvringen sett opp mot bidraget fra Killingdal bør utredes nærmere i neste steg i prosjektet.

7 VIDERE ARBEID

For videre arbeid med skisseprosjektet er det blant annet ønskelig å gå nærmere inn på:

- Karakterisering av sigevannet, samt representative mengder over året
- Muligheten for å skille deler av sigevannet for mer tilpasset rensing for de ulike fraksjonene
- Aktuelle renseløsninger, og valg av innfallsvinkel på rensingen
- Påslipp på Høvringen avløpstunnel, og påvirkningen på utslipp og slam ved Høvringen
- Liknende renselanlegg i Norden, og erfaringer fra liknende sigevann
- Mer detaljert kostnadsbilde for de ulike løsningene
- Aktuelle lokasjoner for et lokalt renselanlegg, og byggeteknisk løsning på disse

Listen over er ikke uttømmende, da det trolig vil dukke opp andre forhold som kan og bør utredes underveis i skisseprosjektet. Denne innledende undersøkelsen vil trolig ikke ha fanget opp alle muligheter for håndtering av sigevannet ved Killingdal.