

An aerial black and white photograph of a mining town. The town is built on a hillside, with several large, multi-story industrial buildings with dark roofs and many windows. A large, conical pile of material, likely ore or waste, is prominent in the background. The town is surrounded by forested hills. In the foreground, there are smaller buildings, a road, and a body of water. The text is overlaid in orange on the left side of the image.

Forurensningsbegrensende tiltak i Løkken gruveområde, en presentasjon som viser mulige rensemetoder og deres anvendbarhet på gruveforurensning.

**Stein Broch Olsen
Aquateam COWI**

Fagerlivannet / Wallenbergssjakt

Bjørnlivannet

Løkkensiden

Raubekken



Rensetrinn pr i dag

- > Gruva, innpumping av grøfte-/drensvann
- > Oppumping og tilsetning av hydratkalk ved Wallenberg
- > Utfelling av gips og metaller i Fagerlivannet



Årsmiddelerverdi for 2011-2012

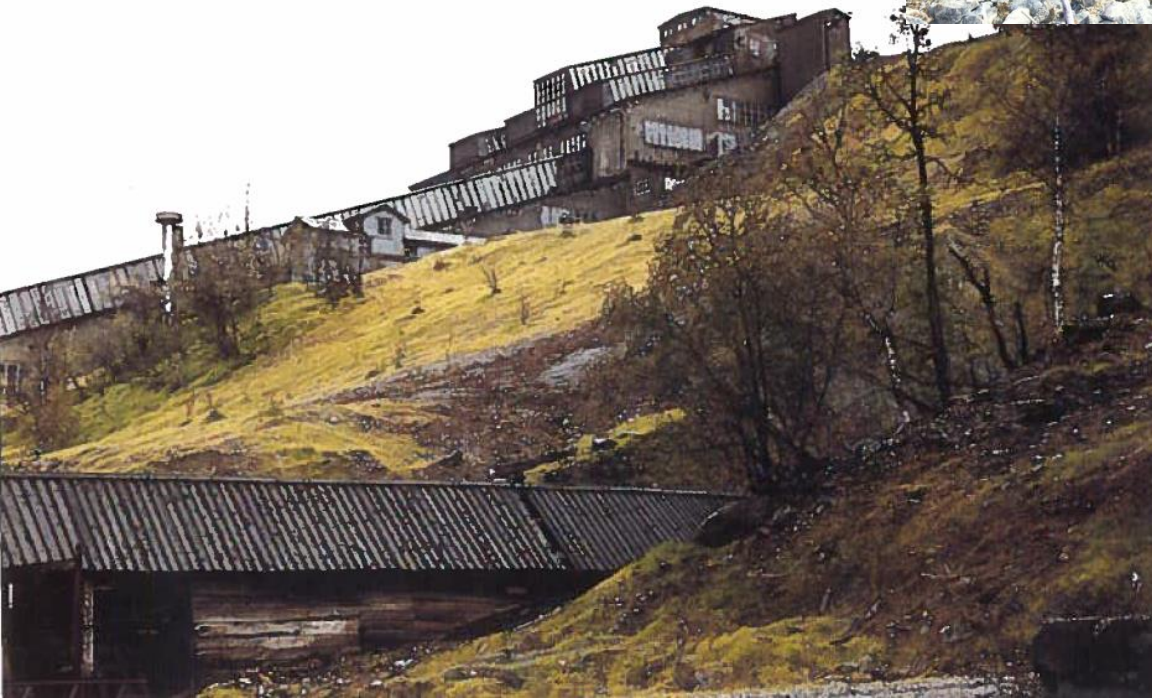
	pH	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Zn	Fe
		/ug/L	/ug/L	/ug/L	/ug/L	/ug/L	/ug/L	/ug/L	/ug/L
Wallenberg	3,14		72	104	12320		220	32000	262000
Raubekken	6,01			2,9	400			950	2030

Kravene fra KLIF 2008

- > All forurensning fra Fagerlivatnet til Bjørnlivatnet skal opphøre.
- > Kobberkonsentrasjonen ved inntak til Raubekken kraftstasjon skal ikke overstige 175 µg/l.
- > Kobberkonsentrasjon ved målestasjon i Orkla skal ikke overstige 10 µg/l.

Hva med capping?

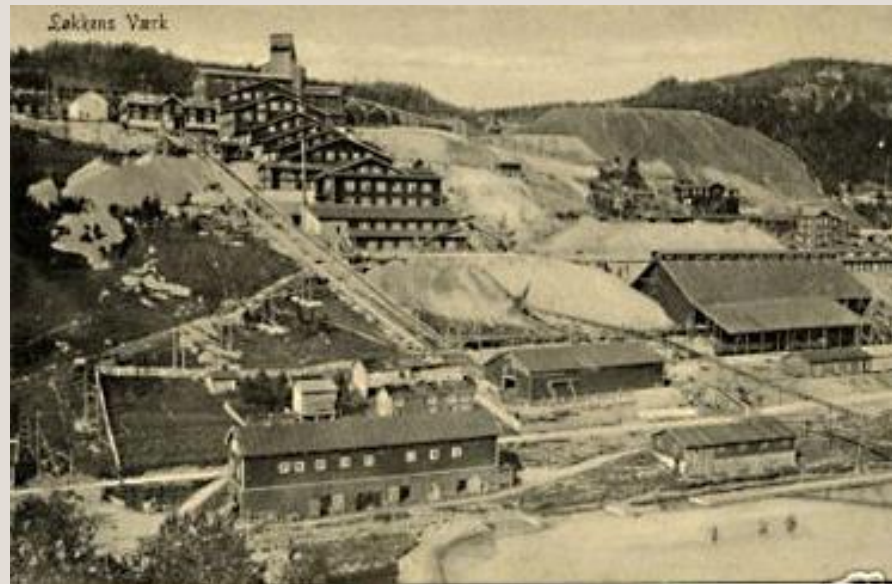
- > Gjort på 1970-tallet og 1991
- > Ikke tilfedsstillende
- > Intelligent capping gjøres nå i 2015



*Bilde fra 1971.
Tildekking med
morene, såing av
grasfrø og planting
av bjørk.*

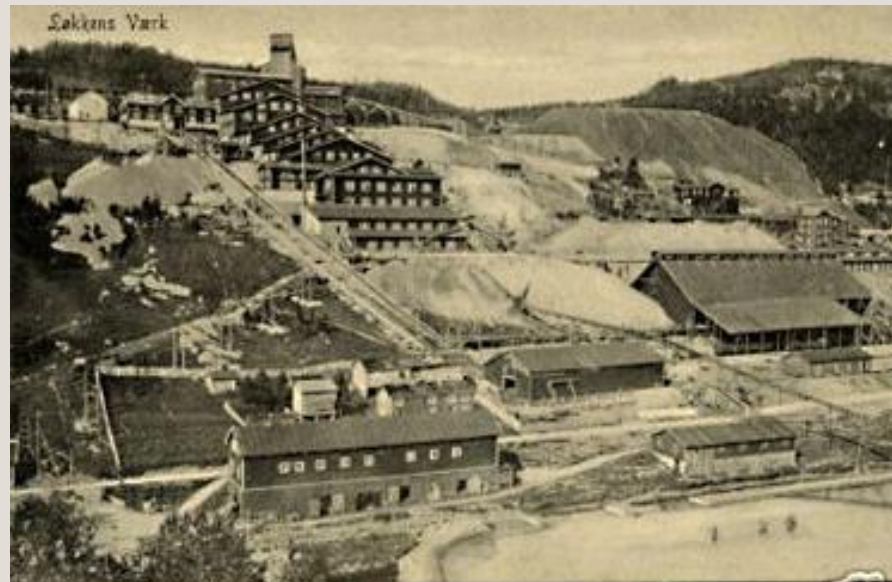
Tiltaksplanen 2013

- > Fortsatt bruk av gruven som hydraulisk buffer, samt rensetrinn
- > Forurensningsbegrensning ved capping
- > Oppsamling av drensvann i Raubekken - dobbeltbunnet bekk
- > Aktiv rensing ved Fagerlivatn
- > Valg av renseteknologi
- > Passiv rensing ved Raubekken

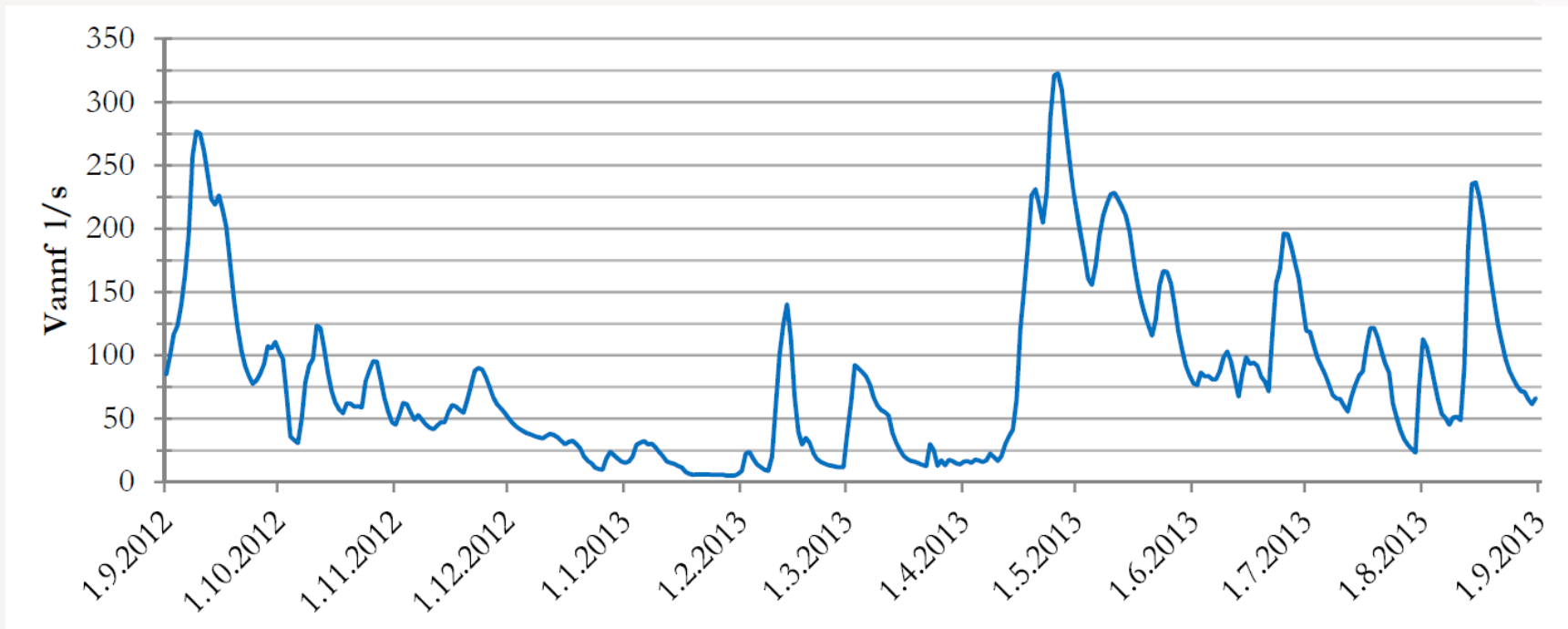


Tiltaksplanen 2013

- > **Fortsatt bruk av gruven som hydraulisk buffer, samt rensetrinn**
- > Forurensningsbegrensning ved capping
- > Oppsamling av drensvann i Raubekken - dobbeltbunnet bekk
- > **Aktiv rensing ved Fagerlivatn**
- > **Valg av renseteknologi**
- > Passiv rensing ved Raubekken



Variasjoner i vannstrømmen (utløp Bjørnlivatn)



- › Store variasjoner i vannstrømmen fra nedbør/snøsmelt
- › Store variasjoner i mengden av forurenset drensvann som skal renses
 - › Krever meget stort bufferbasseng
 - › Krever meget stort renseanlegg
 - › Utløp av urensset vann ved kraftig regn

Bruke gruveen som buffer, rense gruvevann ved Fagerlivann / Wallenbergssjaket

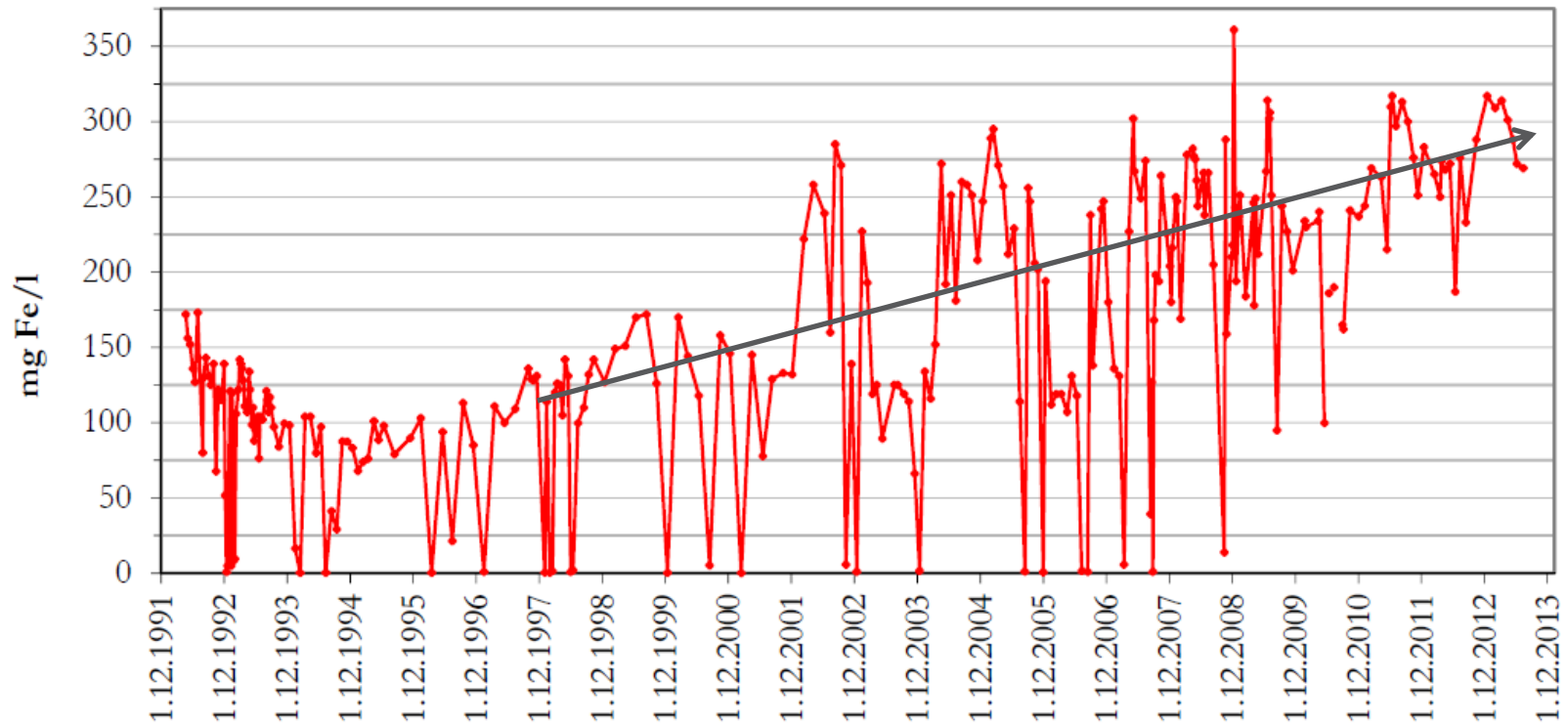
> **Hvorfor bruke gruveen som hydraulisk buffer?**

- > Variasjoner i mengden av grøfte-/drensvann som må renses
- > Gruvens nåværende, (men avtakende) renseseffekt
- > Mulighet for bedre vannkvalitet i dypet av gruveen (>400m)

> **Rensing av surt drens- og gruvevann som pumpes opp ved Fagerlivannet**

- > Nøytralisering av surt gruvevann med hydratkalk
- > Oksidasjon av gruvevannet med lufting (nytt 2016, testing pågår)
- > Felling av metallene som slam
- > Deponering av metallslammet i Fagerlivann (=redusere metaller i vann som føres til Bjørnlivannet)

Gruvens avtakene renseseffekt



Figur 20. Jernkonsentrasjoner ved Wallenberg pumpestasjon 1992-2013.

Massebalanser - vann og metaller inn og ut av graven

> Drensvannet som ledes ned i graven utgjør 25-40% av den samlede vannmengden.

> Mengden av metaller som tilbakeholdes i graven avhenger av metallet og av vannstrømmen.

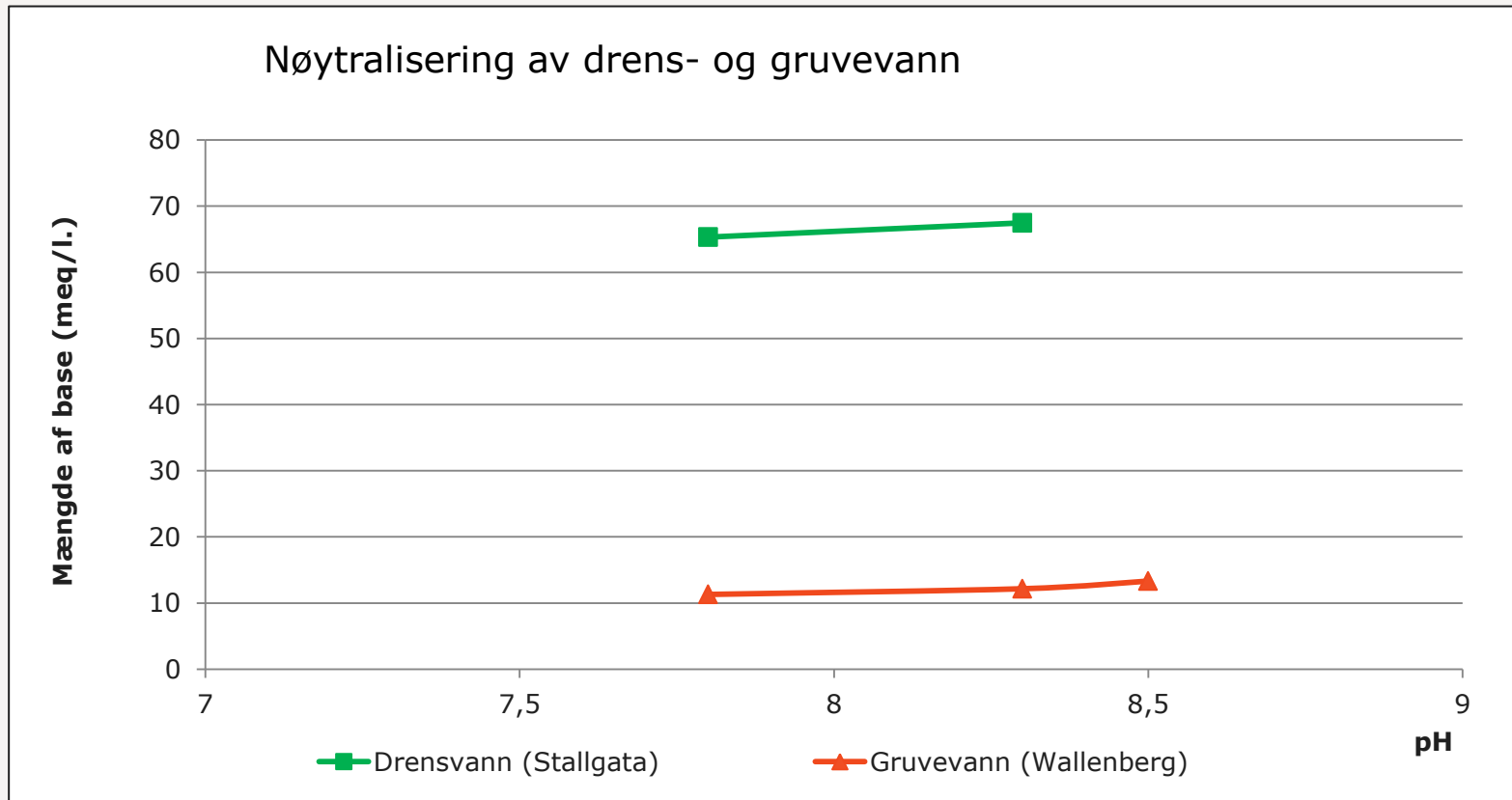
> Konsentrasjonen av metaller i vannet som pumpes ut av graven økes med tiden

> pH i vannet som pumpes ut av graven faller med tiden (surhet økes)

	A. Stallgata		B. Nordre		C. Grøft		D. Astrup		A+B+C+D		Wallenberg-sjakt	
	m ³ /h	m ³ /år	m ³ /h	m ³ /år	m ³ /h	m ³ /år	m ³ /h	m ³ /år	m ³ /h	m ³ /år	m ³ /h	m ³ /år
Flow	9,76	85.531	7,95	69.630	4,08	35.719	1,87	16.355	23,66	207.235	71,72	628.24
Max	26,39		45,0		21,6		5,93		98,94		104,17	
	Målinger/analyse		Målinger/analyse		Målinger/analyser		Målinger/analyse		Målinger/analyse		Målinger/analyser	
	mg/l	tonn/år	mg/l	tonn/år	mg/l	tonn/år	mg/l	tonn/år	mg/l	tonn/år	mg/l	tonn/år
pH	2,47		2,33		2,42						3,14	
µS/c	4.570		5.215		9073						3347	
SO ₄	3.808	325,70	5.171	360,06	13.624	486,64	2.079	34	5.821	1.206	2.353	1.478
Ca	346	29,59	176	12,25	293	10,47	410	6,7	285	59,01	382	240
Mg	120	10,26	126	8,77	610	21,79	73,4	1,2	203	42,03	131	82,3
Al	131	11,20	151	10,51	598	21,36	30,6	0,5	210	43,58	59	37,1
Fe	561	47,98	1264	88,01	3081	110,05	55,0	0,9	1192	246,9	262	164,6
Cu	47,4	4,054	51,1	3,558	194	6,929	36,7	0,6	73,1	15,14	12,3	7,73
Zn	36,9	3,156	23,8	1,657	129	4,608	79,5	1,3	51,7	10,72	32	20,10
Cd	0,152	0,013	0,093	0,006	0,48	0,017	0,428	0,007	0,210	0,044	0,104	0,07
Pb	0,044	0,004	0,057	0,004	0,15	0,005			0,063	0,013	0,072	0,05
Mn	6,24	0,534	4,42	0,308	18,6	0,664			7,266	1,506	4,49	2,82
Ni	0,43	0,037	0,25	0,017	1,19	0,043			0,467	0,097	0,22	0,14
Co	1,62	0,139	2,13	0,148	9,49	0,339			3,020	0,626	0,99	0,62
Si	58,6	5,012	35,4	2,465	36,7	1,311			42,4	8,788	30,1	18,91

Gruvens funksjon som rensiltak

- > Betydelig "Renseeffekt" - ikke primært for konsentrasjonen av metaller, men ift. mengden av base nødvendig for å nøytralisere drensvannet.



Utredning i våren 2013

Teknologi	Prinsipp for rensing
Nøytralisering og felling	Base tilsettes, hvoretter pH økes. Metallene omdannes til partikler, som feller ut.
Ionebytting	Metallene tilbakeholdes i tilpasset harpiks. Byttes ut med harmløse ioner som f.eks. natrium.
Væske-væske ekstraksjon	Samme som ionebytting, men med flytende, organisk ionebyttemateriale.
Membranteknologi	Finesiler som holder tilbake metallene.
Opparbeiding eller deponering av metaller	

Nøytralisering og felling

Relevante baser

- > Natronlut, NaOH: testet, høye driftskostnad
- > (Hydrat)-kalk, Ca(OH)₂: testet, billig, utfelling av gips
- > Magnesiumoksid, MgO: billig, langsom reaksjon, ingen utfelling av gips

Relevante oksidasjonsmidler

- > Hydrogenperoksid (H₂O₂)
- > Oksygen (O₂) fra luften

Kjemikaliepriser

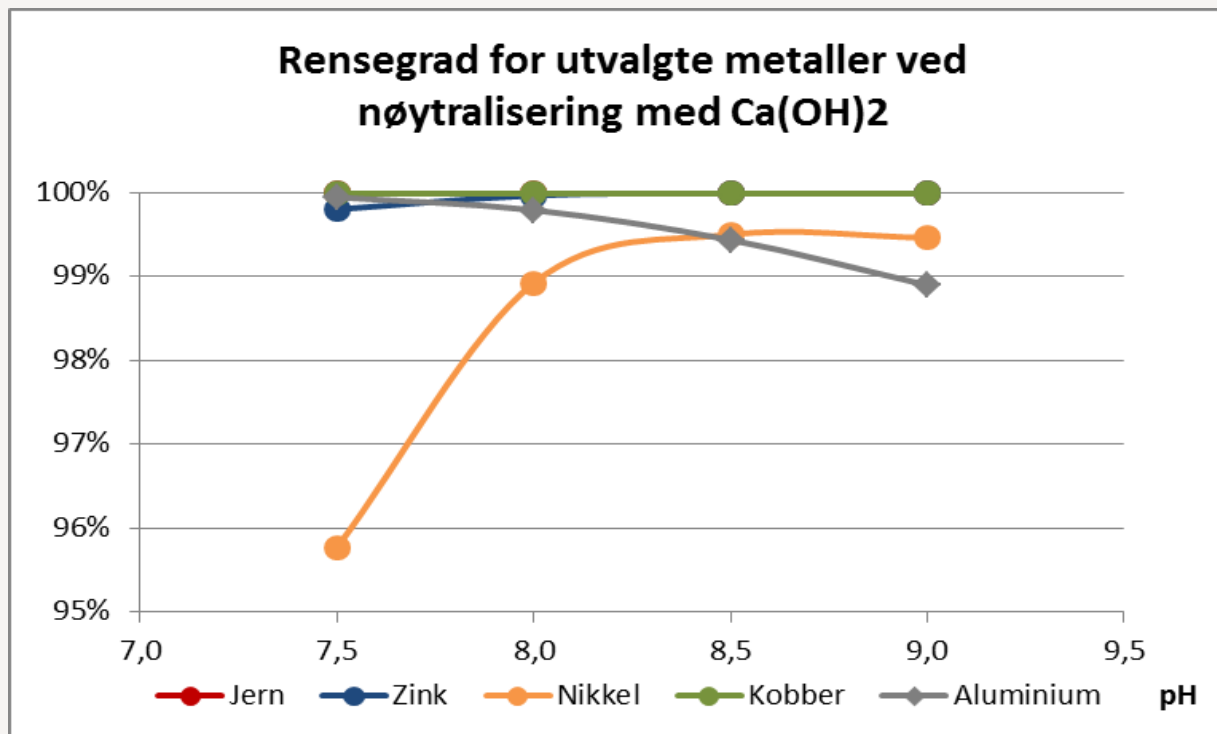
Tabell 6: Sammenligning av de mest alminnelige baser til nøytralisering av AMD

Base	g/eq	Eq-forholdstall	Kr/kg	Kr pr. kEq
MgO	20,15	1,00	4,00	80,6
CaO	28,05	1,39	1,74	48,8
Ca(OH) ₂	37,05	1,84	2,09	77,4
NaOH	40,0	1,99	7,86	314,4

Det fremgår at CaO (brent kalk) er det billigste kjemikaliet. Ca(OH)₂ (hydrat-kalk) koster 59% mer, MgO koster 65% mer og natronlut koster 544% for samme basemengde.

Forsøksresultater

Parameter	Enhet	Wallenberg Niva 2012	Løkken drensvann Niva 2012	Løkken drensvann Prøve 2013	Renset Lab. 2013
Jern, Fe	mg/l	260	1289	1240	< 0,01
Kobber, Cu	mg/l	12,3	32,3	55	< 0,005
pH	-	3,14	2,47	2,2	7,5 – 8,5



Felling av metalhydroksid ved nøytralisering

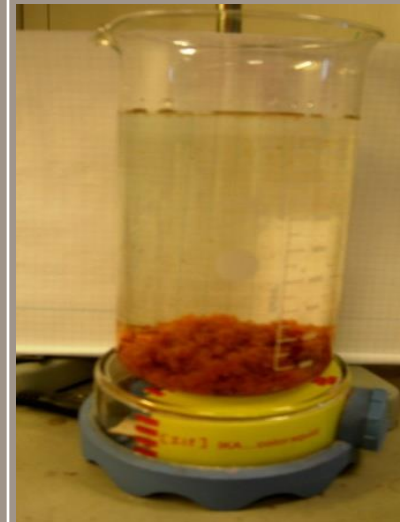
Urenset spillvann



Nøytralisert spillvann



Spillvann etter sedimentasjon

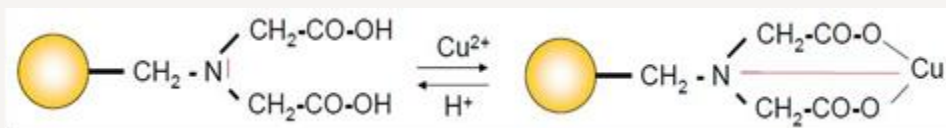


Pilotforsøk på Løkken



Ionebytting

- > Man vil typisk anvende selektiv ionbytting til gruvevann. Selektiv ionbytting har vært anvendt i over 30 år på flere hundre anlegg.
- > Allerede i 1995 undersøkte man forskjellige ionebytteharpikser. De beste produkter til selektiv fjerning av kobber inneholdt iminodiacetic acid eller picolylamin som reaktive grupper.



Figur 15: Prinsipp for selektiv ionebytte av kobber med TP207 (iminodiacetic acid)

- > I Serbien ble det etablert et fullskala forsøksanlegg med TP207 (iminodiacetic acid) kobbergjenvinning (300 tonn/år) i 2006.
- > I Falun ble det i 2008 etablert et anlegg med flere ionebytteanlegg med TP207 til gjenvinning av kobber, jern, sink og aluminium.
- > Lanxess har levert TP207 til manges gruver, men kundene ønsker ikke å gi oss tekniske opplysninger om disse anleggene.

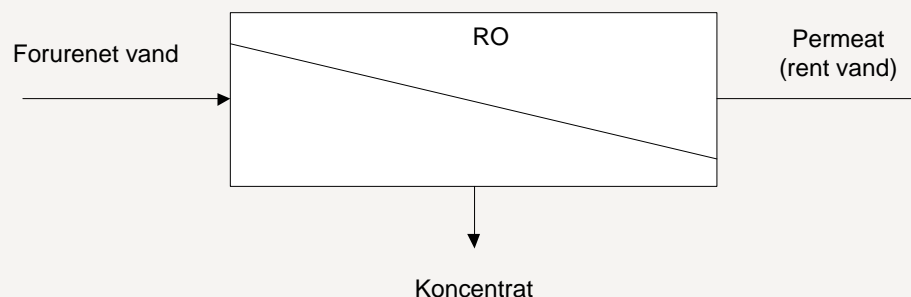
Væske-væske ekstraksjon

- > Ved væskeekstraksjon er det aktive kjemikalie oppløst i en organisk fase (F.eks. petroleum), som blandes med gruvevannet, hvoretter metaller eller andre ioner ekstraheres til den organiske fasen.
- > På 70-tallet undersøkte man muligheten for å rense gruvevann med noen nyutviklede produkter av LIX-typen. Det lyktes aldri å få utviklet en praktisk anvendelig prosess til gruvevann.
- > I 2008 utviklet man på Battelle Instituttet i USA en hel ny væskeekstraksjonsprosess, VEP-prosessen. Med VEP kan man ekstrahere både metaller og sulfat. Den er utprøvt i pilot plant på gruvevann fra en kullgruve som hovedsakelig inneholdt jern, aluminium og svovelsyre.
- > VEP-prosessen er også testet på gruvevann fra Folldal med suksess. Det lyktes å ekstrahere alle metallene og det meste av sulfatet, og det er gode forslag til fullstendig optimering av prosessen. Winner Global, som eier prosessen, har likevel ikke kunnet gi en oppskrift på hvordan man vil avskille og opparbeide metallene.

Membranteknologi

> De aktuelle membranprosesser er:

- > Omvendt osmose (RO), $< 0,002 \mu\text{m}$
- > Nanofiltrering (NF), $< 0,002 \mu\text{m}$
- > Ultrafiltrering (UF), $0,02-0,2 \mu\text{m}$
- > Mikrofiltrering (MF), $0,02-4 \mu\text{m}$



- > Med RO kan man i prinsippet fjerne alle stoffer i vann. Ved prosessen oppstår både rent vann og forurenset konsentrat. Utfelling av gips er nok den største hindringen for å anvende RO til gruvevann.
- > RO er en oppkonsentreringsprosess, og det kan mest sannsynlig ikke være kostnadssvarende å anvende RO direkte på gruvevann, med mindre det er stort behov for rent drikkevann i området.

Rensemetoder valgt for Løkken - tiltaksplan 2013

Kun om det er ønske om det og vi har tid 😊

Endelig valg av rensemetode

Det er mange faktorer, som spiller inn ved valg av rensemetode for gruvevann:

- > Utgifter (både investering og drift) ved nøytralisering av gruvevann
- > Utgifter for bortkjøring og deponering av avfall
- > Muligheter for utvinning og opparbeiding av metaller og salter
- > Kan det være mer lønnsomt å gjøre forebyggende tiltak (capping mv)
- > Hva mener interessentene
- > Hvem skal betale for en løsning
- > Hvordan lages den beste miljøløsningen
- > Kan vi overhodet oppfylle Mdirs krav for Raubekken
- > Skal man velge den sikre eller den "smarte" løsningen

Opparbeidelse av metaller

Metodene kan ikke anvendes etter en blandet kjemisk felling

De aktuelle metodene er:

- > Sementering av kobber på jernspon (kan brukes til Cu + Fe)
- > Utreduksjon av kobber med natriumdithionit (kan brukes til Cu + Fe)
- > Utkrystallisering av jernsulfat (krever en ren jernsulfatoppløsning)
- > Utkrystallisering av kobbersulfat (krever en ren kobberoppløsning)
- > Elektrolytisk utskillelse av kobber (krever en ren kobberoppløsning)
- > Elektrolytisk utskillelse av sink (krever en ren sinkoppløsning)
- > Opparbeidelse av ZnS og CuS på et metalverk (forudsetter sulfidfelling)
- > Fremstilling av metaloxider til pigmenter, ZnO, Cu₂O og Fe₂O₃

Bortkjøring og deponering av restprodukter

- > HDS-slam kan ifølge canadiske undersøkelser antakeligvis deponeres i gruen. Det er likevel litt usikkert om slammet kan gå i oppløsning når det kommer i berøring med pyrit.
- > Metalhydroxidslam kan deponeres i Fagerlivatn – evt. med capping. Danske erfaringer hos Kommunekjemi viser, at det kun er en liten utvasking av tungmetaller ved pH = 7-8.
- > Metalhydroxidslam kan også avleveres til godkjendt avfallsmottaker (Langøya). Prisen er likevel relativt høy bl.a. på grunn av transporten.

Når deponeringsomkostningene er store, kan det være lønnsomt å redusere slammengden, og det kan evt. gjøres rentabelt å opparbeide og gjenvinne metaller og salter.

Metode 1: Nøytralisering med NaOH

- > Nøytralisering med kalk er valgt bort siden det gir store driftsproblemer
- > NaOH er valgt i første omgang siden det er vanlig brukt til nøytralisering av industrispille vann
- > MgO kan antakeligvis med fordel anvendes siden det gir en meget stor besparelse i forhold til NaOH
- > Bruker graven til buffer ved høy vannbelastning.
- > Det oksyderes i 2 trinn med hydrogenperoxid samtidig med NaOH-dosering
- > Etter flokkulering separeres metalhydroksidslam fra i en lamelseparator
- > Etter fortykking av slammet, avvannes det i en filterpresse. I første omgang har vi kalkulert priser på bortkjøring av filterkaker til Langøya.
- > Renset vann fra lamelseparatoren filtreres i trykksandfilter

Investering i metode 1:

Tabell 21: Investeringsoverslag for nøytraliseringsanlegg med NaOH

Post	Pris i kr.
Utstyr	7.180.000
Montasje og material, 20%	1.436.000
Saldo 2	8.616.000
Prosjektering og tilsyn, 20%	1.723.200
Utforutsette utgifter, 15%	1.292.400
Investering, total	11.631.600

Nøytraliseringsanlegget krever et bygg på ca. 500 m² + 50 m² til driftspersonalet.
Byggkostnad ca. 8 mio. Kr kommer da i tillegg.

Driftsutgifter for metode 1:

Tabell 22: Estimerte driftsutgifter for et nøytraliseringsanlegg med NaOH

Post	Enheter/år	Kr./enhet	Kr. total
Natronlut, 50%, tonn	4.260	3.930	16.741.800
Hydrogenperoksid, 50%, tonn	225	9.680	2.178.000
Polymer konsentrat, kg	12.400	20	248.000
Elektrisitet, kWh	300.000	0,50	150.000
Vann, m ³	500	5	2.500
Pasning, timer	5.000	300	1.500.000
Vedlikeholdelse, 2,5% av utstyr			179.500
Total			20.999.800

Utgifter til bortkjøring av filterkaker er ikke medtatt.

Driftsutgiftene på ca. 21,0 mio. kr./år kan reduseres med ca. 12,5 mio. kr./år, hvis man anvender MgO i stedet for NaOH til nøytralisering

Metode 2:

- > Først oksyderes med hydrogenperoxid for å oksydere Fe^{+2} til Fe^{+3}
- > Deretter fjernes jern og kobber ved selektiv ionebytting med TP207
- > Kobber opparbeides til metallisk kobber fra konsentratet med sementering
- > Jern opparbeides fra konsentratet som jernsulfat
- > Det for-rensete gruvevannet nøytraliseres nå etter metode 1
- > Ved opparbeiding av kobber og jern reduseres slammengden med ca. 72% i forhold til metode 1.

Investering i metode 2:

Tabell 28: Investeringsoverslag for ionebytte + nøytralisering.

Post	Pris i kr.
Utstyr	17.282.000
Montasje og material, 20%	3.456.400
Saldo 2	20.738.400
Rådgivning og tilsyn, 15%	3.110.760
Utforutsette utgifter, 15%	3.110.760
Investering, total	26.959.920

Metode 2 har flere komponenter enn metode 1 og krever derfor mer plass. Derfor er plassbehovet estimert til ca. 750 m² +50 m² til driftspersonalet.

Bygginvesteringen er anslått til 9 mio. Kr.

Driftsutgifter for metode 2:

Tabell 29: Estimerte driftsutgifter for en ionebytte + nøytralisering

Post	Enheter/år	kr./enhet	kr. total
Natronlut, 50%, tonn	4.260	3.930	16.741.800
Hydrogenperoksid, 50%, tonn	225	9.680	2.178.000
Svovelsyre, 96% , tonn	1810	2400	4.344.000
Jernstøv, tonn	?		
Polymer konsentrat, kg	12.400	20	248.000
Elektrisitet, kWh	1.200.000	0,50	600.000
Vann, m ³	500	5	2.500
Pasning, timer	7.000	300	2.100.000
Vedlikeholdelse, 2,5% av utstyr			432.050
Total			26.646.350

Utgifter til bortkjøring av filterkaker ikke er medtatt (ca. 1 mill ekstra)

Det vil sannsynligvis kunne spares 12,5 mio kr. pr. år ved anvendelse av MgO i stedet for NaOH, og det vil sannsynligvis kunne spares minst 1 mio. kr. pr. år til hydrogenperoksid ved å finne en billigere leverandør.

Verdien av kobber er estimert til 1 mio. kr, mens verdien af jernsulfat er estimert til 900.000 kr.